



# Konsep & Implementasi **Internet Of Things**

Muhammad Rizal • Debby Erce Sondakh • Ilham Firman Ashari  
Mohamad Arif Suryawan • A. Aviv Mahmudi • Wahyu Hidayat M  
Rolly Junius Lontaan • Agussalim • Dary Mochamad Rifqie  
Hazriani • Sirmayanti • Nova Purnama Lisa • Budi Fajar Supriyanto  
Ahmad Syamil • Ery Muchyar Hasiri • Tambi • Hujemiati • Janner Simarmata

# Konsep & Implementasi **Internet Of Things**



## UU 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

### Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

### Pembatasan Perlindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- a. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- b. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- c. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- d. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

### Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).

# **Konsep dan Implementasi Internet of Things**

Muhammad Rizal, Debby Erce Sondakh, Ilham Firman Ashari  
Mohamad Arif Suryawan, A. Aviv Mahmudi, Wahyu Hidayat M  
Rolly Junius Lontaan, Agussalim, Dary Mochamad Rifqie  
Hazriani, Sirmayanti, Nova Purnama Lisa  
Budi Fajar Supriyanto, Ahmad Syamil, Ery Muchyar Hasiri  
Tambi, Hujemiati, Janner Simarmata



Penerbit Yayasan Kita Menulis

# Konsep dan Implementasi Internet of Things

Copyright © Yayasan Kita Menulis, 2023

Penulis:

Muhammad Rizal, Debby Erce Sondakh, Ilham Firman Ashari  
Mohamad Arif Suryawan, A. Aviv Mahmudi, Wahyu Hidayat M  
Rolly Junius Lontaan, Agussalim, Dary Mochamad Rifqie  
Hazriani, Sirmayanti, Nova Purnama Lisa  
Budi Fajar Supriyanto, Ahmad Syamil, Ery Muchyar Hasiri  
Tambi, Hujemiati, Janner Simarmata

Editor: Matias Julyus Fika Sirait

Desain Sampul: Devy Dian Pratama, S.Kom.

Penerbit

Yayasan Kita Menulis

Web: [kitamenulis.id](http://kitamenulis.id)

e-mail: [press@kitamenulis.id](mailto:press@kitamenulis.id)

WA: 0821-6453-7176

IKAPI: 044/SUT/2021

Muhammad Rizal., dkk.

Konsep dan Implementasi Internet of Things

Yayasan Kita Menulis, 2023

xvi; 284 hlm; 16 x 23 cm

ISBN: 978-623-342-883-5

Cetakan 1, Juli 2023

- I. Konsep dan Implementasi Internet of Things
- II. Yayasan Kita Menulis

## Katalog Dalam Terbitan

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak maupun mengedarkan buku tanpa  
izin tertulis dari penerbit maupun penulis

# Kata Pengantar

Selamat datang di buku "Konsep dan Implementasi Internet of Things" yang akan membawa Anda dalam perjalanan yang menarik menuju dunia yang saling terhubung. Buku ini merupakan kompilasi dari 18 bab yang membahas berbagai aspek penting tentang Internet of Things (IoT). Setiap bab ditulis untuk memberikan wawasan mendalam tentang konsep dan penerapan praktis dari IoT.

Internet of Things telah menjadi fenomena yang mempengaruhi hampir setiap aspek kehidupan kita. Dalam buku ini, Anda akan mempelajari dasar-dasar IoT, termasuk arsitektur yang mendasarinya dan protokol komunikasi yang digunakan untuk memungkinkan perangkat-perangkat terhubung saling berkomunikasi. Anda juga akan menjelajahi sensor dan aktuator yang menjadi komponen penting dalam ekosistem IoT, serta platform yang memfasilitasi pengembangan dan integrasi perangkat IoT.

Secara Lengkap buku ini membahas:

Bab 1 Pengenalan Internet of Things (IoT)

Bab 2 Arsitektur Internet of Things

Bab 3 Protokol Komunikasi dalam IoT

Bab 4 Sensor dan Aktuator pada IoT

Bab 5 Platform Internet of Things (IoT)

Bab 6 Keamanan dan Privasi dalam IoT

Bab 7 Integrasi IoT dengan Cloud Computing

Bab 8 Penanganan Big Data pada Internet of Things

Bab 9 Pemanfaatan Machine Learning dalam IoT

Bab 10 Teknologi Blockchain dalam IoT

Bab 11 IoT dan 5G

Bab 12 Implementasi IoT pada Smart Home

Bab 13 Implementasi IoT pada Smart City

Bab 14 Implementasi IoT pada Industri Manufaktur

Bab 15 Implementasi IoT pada Pertanian

Bab 16 Implementasi IoT pada Sistem Monitoring Kelistrikan

Bab 17 Implementasi IoT pada Lingkungan Hidup

Bab 18 Masa Depan Internet of Things

Kami berharap buku ini dapat memberikan Anda pemahaman yang komprehensif tentang Internet of Things, membangun dasar pengetahuan yang kuat, dan memberikan inspirasi untuk berinovasi dalam menerapkan konsep dan teknologi IoT di lingkungan Anda.

Terima kasih kepada penerbit Yayasan Kita Menulis dan para penulis yang telah berkontribusi dalam buku ini, dan semoga buku ini menjadi sumber pengetahuan yang berharga bagi Anda. Selamat membaca!

Makassar, Juni 2023

Penulis  
Rizal, dkk.

# Daftar Isi

Kata Pengantar .....	v
Daftar Isi .....	vii
Daftar Gambar .....	xiii
Daftar Tabel.....	xv

## **Bab 1 Pengenalan Internet of Things (IoT)**

1.1 Definisi Internet of Things (IoT) .....	1
1.2 Sejarah dan Perkembangan IoT.....	3
1.3 Karakteristik dan Komponen IoT.....	4
1.4 Potensi dan Manfaat IoT .....	5
1.5 Teknologi dan Standar dalam IoT .....	7
1.6 Tren IoT.....	9
1.7 Tantangan dan Masalah dalam IoT .....	11

## **Bab 2 Arsitektur Internet of Things**

2.1 Pendahuluan.....	13
2.2 Karakteristik Arsitektur IoT.....	14
2.3 Arsitektur IoT.....	16
2.3.1 Three-layer.....	16
2.3.2 Five-layer .....	23
2.3.3 Soa-based IoT .....	27
2.4 Blok Fungsional IoT.....	29

## **Bab 3 Protokol Komunikasi dalam IoT**

3.1 Pendahuluan.....	33
3.2 Protokol MQTT .....	35
3.3 Protokol CoAp.....	38
3.4 Protokol HTTP .....	42
3.5 Protokol AMQP.....	44

**Bab 4 Sensor dan Aktuator pada IoT**

4.1 Pendahuluan.....	49
4.2 Jenis-Jenis Sensor dan Aktuator .....	51
4.3 Prinsip Kerja Sensor dan Aktuator.....	58
4.4 Komunikasi Sensor dan Aktuator pada IoT .....	62

**Bab 5 Platform Internet of Things (IoT)**

5.1 Definisi Platform IoT .....	65
5.2 Blok Bangunan Platform IoT .....	68
5.3 Platform Internet of Things (IoT).....	71
5.4 Pemilihan IoT Platform.....	72
5.5 Jenis Platform IoT .....	72
5.6 IoT Platform.....	74
5.7 Evaluasi Platform IoT .....	76

**Bab 6 Keamanan dan Privasi dalam IoT**

6.1 Pendahuluan.....	79
6.2 Konsep Dasar Keamanan IoT .....	80
6.3 Komponen Utama dalam Ekosistem IoT .....	84
6.4 Pertumbuhan dan Perkembangan IoT .....	86
6.5 Hubungan Antara Keamanan dan Privasi Pengguna IoT.....	90
6.6 Dampak Pelanggaran Privasi dalam IoT .....	94

**Bab 7 Integrasi IoT dengan Cloud Computing**

7.1 Pendahuluan.....	97
7.2 Skalabilitas dan Kapasitas.....	98
7.3 Pengolahan Data Real-time .....	100
7.4 Keamanan Data .....	102
7.5 Analisis Data .....	104
7.6 Penyimpanan Data .....	106
7.7 Manajemen Perangkat .....	108
7.8 Pemantauan dan Pemeliharaan.....	110

**Bab 8 Penanganan Big Data pada Internet of Things**

8.1	Pendahuluan.....	113
8.2	Tantangan Penanganan Big Data pada IoT .....	114
8.2.1	Volume Data yang Besar dan Pertumbuhannya yang Eksponensial	114
8.2.2	Kecepatan Data yang Tinggi dan Kebutuhan akan Pemrosesan Real-Time .....	116
8.2.3	Keanekaragaman Data Dari Berbagai Sumber Dan Format.....	116
8.3	Metode Penanganan Big Data pada IoT .....	117
8.3.1	Infrastruktur Skalabilitas dan Fleksibilitas, seperti Cloud Computing dan Edge Computing .....	117
8.3.2	Integrasi Fog/Edge Computing dan Cloud Computing pada IoT..	120
8.3.3	Implementasi Fog/Edge Computing pada Internet of Things (Studi Kasus: Smart Home).....	121
8.4	Tantangan Masa Depan dan Peluang.....	125

**Bab 9 Pemanfaatan Machine Learning dalam IoT**

9.1	Pengenalan Singkat Tentang Machine Learning .....	127
9.1.1	Artificial Neural Network.....	130
9.2	Tantangan Mengimplementasikan Machine Learning dalam IoT .....	131
9.2.1	Efisiensi Level Algoritma.....	132
9.2.2	Penggunaan Platform Hardware untuk Sistem IoT .....	135

**Bab 10 Teknologi Blockchain dalam IoT**

10.1	Pendahuluan .....	137
10.2	Konsep Blockchain .....	138
10.3	Framework IoT Chain .....	141
10.4	Peluang dan Tantangan Penerapan BC-IoT .....	143
10.5	Potensi Penerapan BioT.....	145

**Bab 11 IoT dan 5G**

11.1	Pendahuluan.....	147
11.2	Jenis-jenis Penerapan 5G dalam IoT.....	148
11.3	Perkembangan IoT era Industry 4.0 dan Society 5.0.....	150
11.4	Sistem Jaringan 5G.....	152
11.5	Layanan 5G di Indonesia .....	157

## **Bab 12 Implementasi IoT pada Smart Home**

12.1	Pendahuluan.....	161
12.2	Konsep Smart Home System .....	162
12.2.1	Keunggulan Smart Home System .....	164
12.2.2	Pemanfaatan Teknologi IoT pada Smart Home System .....	165
12.2.3	Deficiency Smart Home System .....	167
12.3	Smart Home sebagai Elemen Teknologi .....	169
12.4	Contoh Penerapan IoT pada Metode Smart Home.....	170

## **Bab 13 Implementasi IoT pada Smart City**

13.1	Pendahuluan.....	173
13.2	Sejarah Perkembangan Smart City di Indonesia.....	174
13.3	Implementasi IoT Bidang Tata Pemerintahan.....	175
13.4	Implementasi IoT Bidang Pelayanan Masyarakat .....	178
13.5	Implementasi IoT Bidang Keamanan .....	181

## **Bab 14 Implementasi IoT pada Industri Manufaktur**

14.1	Pendahuluan.....	185
14.2	Konsep Dasar IoT.....	186
14.3	Penerapan IoT pada Industri Manufaktur .....	187
14.3.1	Transformasi Industri Manufaktur melalui IoT .....	187
14.3.2	Pengumpulan Data Sensor dan Monitoring Otomatis.....	187
14.3.3	Pemrosesan Data dan Analisis Big Data .....	188
14.3.4	Pengendalian dan Pengoptimalan Proses Produksi .....	188
14.3.5	Manajemen Rantai Pasok Berbasis IoT.....	188
14.3.6	Keamanan dan Privasi dalam Sistem IoT Industri Manufaktur..	188
14.4	Studi Kasus Implementasi IoT pada Industri Manufaktur .....	189
14.4.1	Studi Kasus 1: IoT untuk Monitoring dan Pemeliharaan Mesin	189
14.4.2	Studi Kasus 2: IoT untuk Pengendalian Kualitas Produk .....	189
14.4.3	Studi Kasus 3: IoT untuk Pengelolaan Stok dan Inventaris .....	190
14.4.4	Studi Kasus 4: IoT untuk Peningkatan Efisiensi Energi.....	190
14.4.5	Analisis dan Evaluasi Implementasi IoT pada Studi Kasus.....	190
14.5	Tantangan dan Peluang Masa Depan.....	191
14.5.1	Tantangan Implementasi IoT pada Industri Manufaktur.....	191
14.5.2	Peluang dan Potensi Masa Depan .....	192
14.5.3	Upaya Pengembangan dan Peningkatan Kinerja IoT pada Industri Manufaktur .....	193

**Bab 15 Implementasi IoT pada Pertanian**

15.1 Definisi IoT sebagai Pendukung Teknologi Pertanian Modern.....	195
15.1.1 Pentingnya Teknologi IoT pada Pertanian. ....	195
15.1.2 Konsep IoT sebagai Pendukung Teknologi Pertanian Modern..	197
15.1.3 Cakupan Sistem Otomatisasi Pertanian.....	201
15.1.4 Keuntungan Penggunaan teknologi IoT dan Otomatisasi dalam Meningkatkan Produktivitas Dan Kualitas Hasil Pertanian.....	203
15.1.5 Tantangan dan kendala dalam penerapan teknologi IoT dan otomatisasi di sektor pertanian.....	205
15.2 Model Implementasi IoT pada Pertanian.....	207
15.2.1 Implementasi IoT Pemantauan Kondisi Tanah Lahan Pertanian .	207
15.2.2 Implementasi IoT untuk Manajemen Irigasi, Pemupukan dan Pemberian Pestisida .....	209
15.2.3 Implementasi IoT untuk Pemantauan Iklim dan Kualitas Udara Area Lahan Pertanian.....	210
15.2.4 Implementasi IoT pada Perangkat Pertanian.....	211
15.2.5 Implementasi IoT pada Manajemen Greenhouse .....	212

**Bab 16 Implementasi IoT pada Sistem Monitoring Kelistrikan**

16.1. Pendahuluan.....	217
16.2. Sistem Monitoring Kelistrikan .....	219
16.2.1 Smart Grid .....	220
16.2.2 Kerangka Kerja yang Mengintegrasikan Kekuatan Internet of Things Dengan Sistem Fisik Cyber.....	221
16.2.3 Smart Home .....	225
16.2.4 Smart Meter.....	226
16.2.5 Manfaat Penerapan IoT dalam Bidang Energi .....	227
16.2.6 Tantangan dalam Implementasi IoT di Bidang Energi.....	228

**Bab 17 Implementasi IoT pada Lingkungan Hidup**

17.1 Pelestarian Lingkungan Hidup .....	229
17.2 Internet of Things (IoT) .....	231
17.3 IoT untuk Kelestarian Lingkungan .....	231
17.4 Beragam Bidang Penerapan IoT, Jadikan Lingkungan Lebih Baik .....	233
17.4.1 Penggunaan IoT terhadap Pertanian.....	235
17.4.2 Penerapan IoT Pada Irigasi.....	236
17.4.3 Mendeteksi Kesuburan Tanah Di Lahan Perkebunan .....	237
17.5 Penerapan Teknologi Internet of Things untuk Energi.....	237
17.6 Penerapan IoT Di Kehidupan Sehari-hari .....	239

17.6.1 Unsur-Unsur Pembentuk IoT .....	239
17.6.2 Cara Kerja Internet of Things (IoT) .....	240
17.6.3 Manfaat IOT (Internet of Things) .....	241
17.6.4 IoT dalam Smart City .....	241
<b>Bab 18 Masa Depan Internet of Things</b>	
18.1 Internet of Things .....	243
18.2 Contoh Internet of Things Dimasa Depan.....	244
18.2.1 Smart Home.....	244
18.2.2 Smart City.....	245
18.2.3 Perangkat Elektronik (Wearables).....	247
18.2.4 Sistem Keamanan Biometrik .....	248
18.2.5 Mobil Pintar.....	248
18.3 Perangkat IoT pada Masa Mendatang .....	249
Daftar Pustaka .....	253
Biodata Penulis .....	275

# Daftar Gambar

Gambar 2.1: Three-layer IoT .....	16
Gambar 2.2: Five-layer IoT .....	24
Gambar 2.3: SoA-based IoT .....	28
Gambar 3.1: Arsitektur MQTT.....	36
Gambar 3.2: Protokol CoAP.....	42
Gambar 3.3: Protokol HTTP.....	44
Gambar 3.4: Protokol AMQP.....	47
Gambar 4.1: Sensor Suhu.....	51
Gambar 4.2: Sensor Kelembapan Tanah .....	52
Gambar 4.3: Sensor Suhu dan Kelembapan Udara.....	52
Gambar 4.4: Sensor Gerak (tipe HC-SR501).....	53
Gambar 4.5: Sensor Reed Switch Magnetic.....	53
Gambar 4.6: Sensor kapasitif.....	54
Gambar 4.7: Sensor Getaran.....	54
Gambar 4.8: Sensor Cahaya.....	55
Gambar 4.9: Sensor Suara.....	55
Gambar 4.10: Sensor Kualitas Udara (MQ135).....	56
Gambar 4.11: Sensor Asap (MQ2).....	56
Gambar 5.1: Ilustrasi Platform IoT.....	71
Gambar 8.1: Volume Data Yang Dibuat, Dicapture, Disalin, Dan Dikonsumsi Seluruh Dunia.....	115
Gambar 8.2: Ilustrasi Integrasi Fog Computing Dan Cloud Computing.....	121
Gambar 8.3: Ilustrasi Integrasi Fog Computing Dan Cloud Computing Skenario Sistem Smart Home dengan Fog computing .....	122
Gambar 8.4: Topology Ifogsim yang menghubungkan 4 smart home dan 12 Sensor Melalui Fog Node Ke Cloud Server Via Proxy Server..	123
Gambar 8.5: Topology Ifogsim yang Menghubungkan 4 Smart Home Dan 12 Sensor Ke Cloud Server .....	124
Gambar 8.6: Perbandingan Network Usage Antara Fog Dan Cloud Computing.....	124
Gambar 9.1: Model Neural Network. Setiap lingkaran biru merepresentasikan	

Perceptron dalam neural network .....	130
Gambar 9.2: Board Jetson Nano yang memiliki GPU sebagai prosesor tambahan.....	135
Gambar 9.3: Board PYNQ-Z1 yang mempunyai pemroses FPGA. ....	136
Gambar 10.1: Proses Kerja Blockchain .....	140
Gambar 10.2: Framework IoT Chain.....	143
Gambar 11.1: IoT pada Transportasi dan Logistik.....	150
Gambar 11.2: Perkembangan dan keterkaitan era Industry 4.0 dan Society 5.0 .....	151
Gambar 11.3: Alokasi Rentang Frekuensi pada 5G.....	155
Gambar 11.4: Gambaran implementasi IoT melalui Jaringan 5G .....	157
Gambar 12.1: Smart Home Network Example .....	163
Gambar 12.2: Smart Home Service (a).....	163
Gambar 12.3: Smart Home Service (b).....	167
Gambar 12.4: Implementasi IoT pada Smart Home Terstruktur .....	169
Gambar 12.5: Blok Diagram Prototipe Pengendalian pada Sistem Smart Home .....	171
Gambar 13.1: Salah Satu Contoh Jam Tangan Yang Sekaligus Berfungsi Sebagai Alat Deteksi Kesehatan.....	181
Gambar 15.1: Konsep IoT pada pertanian .....	202
Gambar 15.2: Model Implementasi IoT menggunakan Sensor Soil Moisture, sensor pH, sensor NPK, dan Sensor Suhu .....	210
Gambar 15.3: Model implementasi IoT pada manajemen irigasi, pemupukan dan pemberian pestisida pada lahan pertanian.....	211
Gambar 15.4: Model Implementasi IoT untuk Iklim dan kualitas udara .....	212
Gambar 15.5: Model implementasi IoT pada mesin traktor.....	214
Gambar 15.6: Implementasi IoT pada Greenhouse .....	215
Gambar 16.1: Model konsep sebuah Smart Grid .....	221
Gambar 16.2: Susunan Daya IoT .....	222
Gambar 16.3: Skema susunan lapisan dan teknologi yang mendukung CPPS .....	223
Gambar 16.4: Skema Sistem Manajemen Rumah Yang Cerdas .....	226
Gambar 17.1: Rangkaian dari perangkat “smart irigasi” .....	236
Gambar 18.1: Smart Home .....	245
Gambar 18.2: Penerapan IoT Smart City.....	247
Gambar 18.3: Perangkat wearables .....	247
Gambar 18.4: Model Sistem Keamanan Sepeda Motor Berbasis IOT .....	248
Gambar 18.5: Ilustrasi Mobil Pintar .....	249

# Daftar Tabel

Tabel 12.1: Identifikasi Kebutuhan .....	171
--	-----



# Bab 1

## Pengenalan Internet of Things (IoT)

### 1.1 Definisi Internet of Things (IoT)

*Internet of Things (IoT)* adalah jaringan objek fisik, alat, kendaraan, bangunan, dan barang lainnya yang ditanamkan dengan elektronik, sirkuit, perangkat lunak, sensor, dan konektivitas jaringan yang memungkinkan objek-objek ini untuk mengumpulkan dan bertukar data. *Internet of Things* memungkinkan objek-objek tersebut dapat diindera dan dikendalikan secara jarak jauh melalui infrastruktur jaringan yang sudah ada, menciptakan peluang untuk integrasi yang lebih langsung antara dunia fisik dengan sistem berbasis komputer, dan menghasilkan peningkatan efisiensi dan akurasi (Khan, 2019).

*Internet of Things (IoT)* merujuk pada konsep di mana objek fisik di sekitar kita dapat saling terhubung dan berkomunikasi melalui jaringan internet. Dalam definisi ini, "objek fisik" dapat berupa perangkat elektronik, sensor, kendaraan, peralatan rumah tangga, dan banyak lagi. Tujuan utama dari IoT adalah mengintegrasikan dunia fisik dengan dunia digital, sehingga memungkinkan pertukaran data yang cepat dan efisien antara perangkat yang terhubung. Melalui konektivitas ini, IoT menciptakan ekosistem yang kaya dengan berbagai kemungkinan penggunaan dan manfaat.

Dalam jaringan IoT, perangkat terhubung dapat berinteraksi satu sama lain melalui protokol komunikasi yang sesuai. Mereka dapat mengirim dan menerima data, memonitor kondisi lingkungan, mengambil keputusan secara otomatis, dan bahkan berkolaborasi untuk mencapai tujuan tertentu.

Salah satu konsep kunci dalam IoT adalah konektivitas. Dengan adanya koneksi internet, perangkat IoT dapat terhubung dengan infrastruktur jaringan yang lebih besar, seperti cloud computing dan sistem backend. Ini memungkinkan pengiriman data secara real-time, penyimpanan data yang besar, dan kemampuan analisis yang kuat. Konektivitas juga memungkinkan kontrol jarak jauh dan pengelolaan perangkat yang efisien.

Keuntungan dari adopsi IoT sangat beragam. Dalam lingkungan perkotaan, IoT dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi, mengoptimalkan lalu lintas, dan memantau kualitas udara. Di sektor kesehatan, IoT dapat mendukung pemantauan pasien jarak jauh, pengiriman perawatan kesehatan yang lebih baik, dan memprediksi penyakit berdasarkan data yang dikumpulkan. Dalam industri, IoT dapat meningkatkan proses produksi, menerapkan pemeliharaan prediktif, dan mengoptimalkan rantai pasokan (Madakam, Ramaswamy and Tripathi, 2015).

Namun, ada juga tantangan dan masalah yang perlu diatasi dalam implementasi IoT. Keamanan dan privasi data menjadi perhatian utama, karena semakin banyak perangkat yang terhubung, semakin besar potensi kerentanan dan serangan siber. Kompleksitas infrastruktur dan interoperabilitas juga merupakan tantangan, karena perangkat dari berbagai produsen harus dapat bekerja bersama dengan lancar.

Dalam kehidupan sehari-hari, kita sudah melihat berbagai contoh penggunaan IoT yang sukses. Misalnya, rumah pintar yang memungkinkan pengguna mengontrol pencahayaan, suhu, dan keamanan rumah melalui smartphone. Ada juga mobil terhubung yang dapat memberikan notifikasi ke pengemudi tentang kondisi jalan, menawarkan layanan hiburan, dan memantau kesehatan kendaraan. Bahkan, dalam pertanian, IoT digunakan untuk memantau tanaman, mengoptimalkan irigasi, dan mengendalikan suhu dalam rumah kaca.

## 1.2 Sejarah dan Perkembangan IoT

Asal mula konsep IoT dapat ditelusuri kembali ke tahun 1982, ketika seorang insinyur di Carnegie Mellon University bernama Mark Weiser memperkenalkan konsep "komputasi yang tertanam" atau "ubiquitous computing". Dia membayangkan dunia di mana komputer-komputer kecil terintegrasi ke dalam objek sehari-hari untuk memberikan kemampuan komputasi yang lebih luas dan terdistribusi.

Istilah "Internet of Things" pertama kali digunakan pada tahun 1999 oleh Kevin Ashton, seorang peneliti di Auto-ID Labs, ketika ia membahas bagaimana teknologi RFID (Radio Frequency Identification) dapat digunakan untuk menghubungkan objek fisik melalui internet.

Pada tahun 2008, Konferensi Ekonomi Dunia menyatakan bahwa IoT merupakan salah satu dari enam tren teknologi terpenting yang akan membentuk dunia di masa depan. Perkembangan teknologi komunikasi, seperti jaringan nirkabel yang semakin luas dan lebih cepat, menjadi katalisator penting dalam perkembangan IoT. Kemajuan dalam teknologi sensor dan kemampuan komputasi juga memungkinkan perangkat IoT yang lebih kecil, lebih cerdas, dan lebih hemat energi.

Penggunaan IoT secara komersial mulai meluas pada awal 2000-an. Contoh awal termasuk aplikasi di sektor industri, seperti pemantauan jaringan, pemeliharaan prediktif, dan otomatisasi proses produksi.

Kemajuan dalam teknologi sensor dan penggunaan sensor semakin meluas di berbagai sektor. Sensor-sensor ini memungkinkan perangkat IoT untuk mengumpulkan data tentang lingkungan fisik, seperti suhu, kelembaban, tekanan, dan banyak lagi. Data ini kemudian dapat digunakan untuk analisis dan pengambilan keputusan yang lebih baik.

Perkembangan platform IoT, seperti cloud computing, telah memfasilitasi penyimpanan data yang besar, pemrosesan yang cepat, dan analitik yang kuat. Ini memungkinkan perangkat IoT untuk beroperasi dengan lebih efisien dan membantu pengguna untuk memahami dan menggunakan data yang dikumpulkan.

Kemajuan dalam kecerdasan buatan (AI) telah memberikan kemampuan yang lebih canggih kepada perangkat IoT. Kombinasi antara IoT dan AI

memungkinkan perangkat untuk belajar, beradaptasi, dan mengambil keputusan secara otonom berdasarkan data yang dikumpulkan.

Masa depan IoT terlihat sangat cerah. Diperkirakan akan ada peningkatan signifikan dalam jumlah perangkat IoT yang terhubung, termasuk mobil terhubung, rumah pintar, kota pintar, dan industri 4.0. Teknologi seperti kecerdasan buatan, blockchain, dan komputasi edge juga diperkirakan akan berperan penting dalam mengembangkan potensi penuh IoT.

## 1.3 Karakteristik dan Komponen IoT

Salah satu karakteristik unik dari IoT adalah penggunaan sensor. Sensor merupakan komponen penting dalam IoT yang digunakan untuk mengumpulkan data tentang lingkungan fisik (Mekonnen *et al.*, 2019). Sensor dapat mendeteksi berbagai parameter seperti suhu, kelembaban, tekanan, cahaya, dan banyak lagi. Data yang dikumpulkan oleh sensor ini kemudian dapat digunakan untuk pemantauan, analisis, dan pengambilan keputusan yang lebih baik.

Komponen utama dalam IoT adalah perangkat terhubung. Ini mencakup berbagai jenis perangkat elektronik seperti smartphone, perangkat wearable, kendaraan terhubung, peralatan rumah tangga pintar, dan lainnya. Perangkat ini dilengkapi dengan kemampuan untuk terhubung ke jaringan internet dan berkomunikasi dengan perangkat lainnya dalam jaringan IoT (Muttaqin *et al.*, 2023).

Konektivitas adalah aspek kunci dalam IoT. Ini memungkinkan perangkat IoT untuk terhubung dan berkomunikasi satu sama lain. Konektivitas ini dapat dicapai melalui berbagai teknologi seperti jaringan nirkabel (seperti Wi-Fi, Bluetooth, dan 4G/5G), jaringan berbasis kabel (seperti Ethernet), dan teknologi jaringan lainnya. Konektivitas yang andal dan cepat adalah prasyarat penting bagi pengoperasian yang efektif dari jaringan IoT.

Perangkat keras (hardware) merupakan salah satu komponen utama dalam IoT. Ini mencakup sensor, perangkat terhubung, dan komponen elektronik lainnya yang digunakan dalam perangkat IoT. Perangkat keras ini dirancang untuk memungkinkan pengambilan data, komunikasi, dan interaksi dengan lingkungan fisik.

Perangkat lunak (software) juga penting dalam IoT. Ini mencakup sistem operasi perangkat IoT, aplikasi, algoritma analisis data, dan platform pengembangan. Perangkat lunak ini memungkinkan pengolahan data, pengelolaan perangkat, dan implementasi fungsi yang kompleks dalam jaringan IoT.

Infrastruktur jaringan adalah bagian kritis dalam IoT. Ini mencakup jaringan komunikasi yang mendukung konektivitas antar perangkat IoT. Infrastruktur ini meliputi jaringan kabel, jaringan nirkabel, infrastruktur cloud, dan sistem backend yang diperlukan untuk menyimpan, mengelola, dan menganalisis data yang dihasilkan oleh perangkat IoT.

Selain itu, teknologi pengolahan data yang kuat juga merupakan komponen penting dalam IoT. Data yang dihasilkan oleh perangkat IoT dapat sangat besar dalam jumlahnya. Oleh karena itu, diperlukan algoritma dan teknik pengolahan data yang efisien untuk menganalisis dan mendapatkan wawasan yang berarti dari data tersebut.

Keamanan dan privasi juga merupakan karakteristik yang penting dalam IoT. Dalam jaringan IoT yang terhubung secara luas, penting untuk melindungi data dan menjaga keamanan perangkat. Langkah-langkah keamanan seperti enkripsi data, otentikasi perangkat, dan pengaturan akses yang tepat harus diterapkan untuk menjaga integritas dan kerahasiaan informasi.

Skalabilitas adalah karakteristik penting dalam IoT. Jaringan IoT diharapkan dapat mengakomodasi dan mengintegrasikan jutaan, bahkan miliaran perangkat terhubung. Kemampuan jaringan untuk bertahan dan beroperasi secara efisien dalam skala yang besar adalah faktor yang sangat penting dalam kesuksesan dan pertumbuhan IoT.

## 1.4 Potensi dan Manfaat IoT

Penggunaan IoT memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi operasional di berbagai sektor. Misalnya, dalam industri manufaktur, implementasi IoT dapat memungkinkan pemantauan dan pemeliharaan prediktif mesin, pengaturan otomatis suhu dan kelembaban, serta optimisasi rantai pasokan. Hal ini dapat mengurangi biaya operasional, meningkatkan produktivitas, dan menghindari kerusakan peralatan yang tidak terduga.

Salah satu manfaat penting dari IoT adalah peningkatan kualitas hidup. Dalam sektor kesehatan, perangkat kesehatan terhubung dapat memantau kondisi pasien secara real-time, mengingatkan untuk minum obat, atau mengirimkan data vital ke dokter jarak jauh. Di rumah tangga, perangkat IoT seperti perangkat pengatur suhu, sistem keamanan, dan peralatan pintar dapat meningkatkan kenyamanan dan keamanan penghuni.

IoT juga berkontribusi pada inovasi bisnis. Dalam sektor ritel, penempatan sensor di rak atau produk dapat memberikan informasi tentang tingkat inventaris dan preferensi pelanggan, membantu perusahaan dalam pengambilan keputusan yang lebih baik dan pengelolaan stok yang lebih efisien. Selain itu, IoT dapat memungkinkan adanya pengalaman pelanggan yang disesuaikan dan interaksi yang lebih personal.

Konsep Smart Cities, yang melibatkan integrasi teknologi IoT dalam infrastruktur kota, memiliki potensi besar dalam meningkatkan kualitas hidup dan efisiensi di lingkungan perkotaan. Dengan memanfaatkan sensor dan konektivitas, Smart Cities dapat mengoptimalkan penggunaan energi, memantau dan mengontrol lalu lintas, meningkatkan keamanan, dan mengelola limbah dengan lebih efisien.

Salah satu manfaat IoT dalam konteks Smart Cities adalah pengelolaan lalu lintas yang lebih baik. Sensor lalu lintas yang terhubung dapat mengumpulkan data lalu lintas secara real-time, memungkinkan pengaturan lampu lalu lintas yang adaptif, deteksi kecelakaan, dan pengalihan rute yang efisien. Hal ini dapat mengurangi kemacetan dan waktu perjalanan, serta meningkatkan keamanan pengguna jalan.

Dalam konteks Smart Homes, IoT memberikan manfaat signifikan bagi penghuni. Pengguna dapat mengendalikan perangkat rumah tangga seperti pencahayaan, pemanasan, dan keamanan melalui smartphone atau asisten virtual. Ini tidak hanya memberikan kenyamanan, tetapi juga membantu pengguna menghemat energi dan mengurangi biaya utilitas.

Manfaat IoT juga dapat dirasakan dalam sektor pertanian. Dengan memanfaatkan sensor tanah, cuaca, dan lingkungan, petani dapat mengoptimalkan penggunaan air, mengatur penggunaan pupuk secara tepat, dan memantau kondisi tanaman dengan lebih baik. Hal ini dapat meningkatkan produktivitas, mengurangi biaya produksi, dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

IoT juga dapat berperan penting dalam peningkatan keamanan. Misalnya, dalam sektor keamanan publik, kamera dan sensor yang terhubung dapat memantau dan mendeteksi kejadian yang mencurigakan, mengirimkan peringatan ke petugas keamanan, dan membantu tindakan respons yang lebih cepat dan efektif.

Dalam industri energi, penggunaan IoT dapat membantu dalam pengelolaan dan pemantauan penggunaan energi yang lebih efisien. Sensor yang terhubung dapat mengidentifikasi pola konsumsi energi yang tidak efisien dan memberikan informasi yang diperlukan untuk pengoptimalan.

Selain manfaat yang sudah disebutkan, IoT juga dapat memberikan kontribusi dalam pengelolaan limbah, pemantauan lingkungan, pengembangan transportasi pintar, dan banyak lagi. Potensi dan manfaat IoT adalah melimpah, dan dengan terus berkembangnya teknologi, kita dapat mengharapkan adanya inovasi dan penerapan yang lebih luas untuk meningkatkan kehidupan dan bisnis di masa mendatang.

## 1.5 Teknologi dan Standar dalam IoT

Konektivitas nirkabel (wireless connectivity) adalah teknologi yang penting dalam implementasi IoT. Teknologi ini memungkinkan perangkat IoT untuk terhubung ke jaringan tanpa kabel fisik. Beberapa teknologi konektivitas nirkabel yang umum digunakan dalam IoT termasuk Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, Z-Wave, dan LoRaWAN. Setiap teknologi memiliki keunggulan dan kelemahan tertentu tergantung pada kebutuhan dan skenario penggunaannya (Sharma and Gondhi, 2018).

Internet Protocol (IP) adalah protokol yang digunakan untuk mengirim dan menerima data di internet. Dalam konteks IoT, penggunaan IP memungkinkan perangkat IoT untuk berkomunikasi dan bertukar informasi melalui jaringan internet. Protokol IP seperti IPv6 (Internet Protocol version 6) sangat relevan dalam IoT karena dapat memberikan alamat IP yang cukup untuk mendukung jumlah besar perangkat terhubung di jaringan IoT (Simarmata *et al.*, 2022).

Protokol komunikasi IoT lainnya yang penting adalah MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). MQTT adalah protokol ringan yang dirancang khusus untuk komunikasi yang efisien dalam jaringan IoT (Saxena, Tyagi and

Singh, 2018). Protokol ini dapat digunakan untuk mengirim pesan telemetri antara perangkat IoT dan server atau platform IoT.

Untuk memastikan interoperabilitas dan kompatibilitas antara perangkat IoT dari berbagai vendor, standar adalah hal yang penting. Salah satu standar yang umum digunakan adalah MQTT-SN (Message Queuing Telemetry Transport for Sensor Networks), yang dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan protokol MQTT dalam jaringan sensor yang memiliki sumber daya terbatas.

Selain itu, ada juga standar seperti OMA LwM2M (Open Mobile Alliance Lightweight M2M), yang menyediakan kerangka kerja untuk manajemen perangkat IoT yang efisien. Standar ini memungkinkan penggunaan protokol komunikasi yang efisien dan aman dalam pengaturan jaringan yang memiliki sumber daya terbatas.

Untuk memastikan keamanan dalam implementasi IoT, ada standar seperti MQTT-TLS (Transport Layer Security) yang menyediakan enkripsi data melalui protokol MQTT. Standar ini memastikan bahwa data yang dikirimkan antar perangkat IoT dan platform IoT tetap terlindungi dari ancaman keamanan.

Di tingkat jaringan, standar seperti IPv6 *over Low-Power Wireless Personal Area Network* (6LoWPAN) memungkinkan perangkat IoT dengan sumber daya terbatas untuk terhubung dengan jaringan IPv6 melalui teknologi seperti *Zigbee* atau *Bluetooth Low Energy* (BLE).

*AllJoyn* adalah framework perangkat lunak yang dikembangkan oleh *AllSeen Alliance* untuk mendukung interoperabilitas antara perangkat IoT. Framework ini *menyediakan* protokol komunikasi dan API yang umum untuk berbagai perangkat IoT dari berbagai vendor.

*Thread* adalah protokol jaringan yang dikembangkan oleh Thread Group. Protokol ini memungkinkan perangkat IoT untuk terhubung dan berkomunikasi secara aman dalam jaringan rumah yang cerdas (smart home) menggunakan teknologi *wireless* seperti Wi-Fi dan *Bluetooth Low Energy* (BLE).

*Zigbee* adalah teknologi jaringan nirkabel yang dirancang khusus untuk perangkat IoT. Protokol ini memiliki tingkat konsumsi daya yang rendah, jangkauan jaringan yang luas, dan dukungan untuk topologi jaringan yang berskala besar. Standar *Zigbee* memastikan interoperabilitas dan kompatibilitas antara perangkat IoT yang menggunakan teknologi *Zigbee*.

Dengan adanya teknologi dan standar yang tepat, implementasi IoT dapat dilakukan secara efisien, aman, dan terinterkoneksi dengan baik antara perangkat IoT yang berbeda.

## 1.6 Tren IoT

Salah satu tren terkini dalam dunia IoT adalah adopsi edge computing. Edge computing memungkinkan pemrosesan data dan analisis yang terjadi di tepi jaringan, di dekat perangkat IoT itu sendiri. Dengan memindahkan pemrosesan data yang intensif ke tepi jaringan, edge computing memungkinkan respons yang lebih cepat, mengurangi latensi, dan mengurangi kebutuhan akan transfer data yang besar ke cloud.

AIoT (Artificial Intelligence of Things) adalah perkembangan yang menggabungkan kecerdasan buatan (AI) dengan IoT. Dalam AIoT, perangkat IoT diperkaya dengan kemampuan untuk memahami, memproses, dan mengambil keputusan berdasarkan data yang dihasilkan. Hal ini membuka peluang baru dalam analisis data real-time, pengambilan keputusan otonom, dan penggunaan yang lebih cerdas dari perangkat IoT.

Penggunaan 5G menjadi faktor penting dalam perkembangan IoT. Teknologi 5G menawarkan kecepatan dan latensi yang lebih rendah, kapasitas yang lebih besar, dan konektivitas yang lebih andal. Hal ini memungkinkan implementasi dan skala yang lebih luas dari aplikasi IoT yang membutuhkan respons cepat, transfer data yang besar, dan konektivitas yang handal (Jamaludin *et al.*, 2020).

Tren lain yang berkembang adalah integrasi IoT dengan sistem *Blockchain*. *Blockchain* dapat memberikan keamanan, transparansi, dan keandalan yang tinggi dalam pertukaran data dan transaksi di jaringan IoT. Hal ini penting dalam meningkatkan kepercayaan, mencegah pemalsuan, dan melindungi privasi dalam lingkungan IoT yang saling terhubung.

Penggunaan perangkat IoT yang lebih kecil, lebih cerdas, dan lebih hemat energi menjadi tren yang terus berkembang. Misalnya, pengembangan sensor yang lebih kecil dan hemat daya memungkinkan integrasi yang lebih luas dari perangkat IoT dalam berbagai objek, termasuk pakaian pintar, perangkat medis, atau lingkungan pintar di sekitar kita.

Penerapan IoT dalam sektor kesehatan terus berkembang. Penggunaan perangkat IoT yang terhubung, seperti sensor kesehatan, wearable devices, atau sistem pemantauan pasien, dapat memungkinkan pemantauan jarak jauh, pemantauan kondisi kesehatan yang kontinu, dan perawatan yang lebih personal. Ini dapat membantu meningkatkan pengelolaan kesehatan individu, mendukung praktisi medis dalam pengambilan keputusan yang lebih baik, dan meningkatkan efisiensi pelayanan kesehatan.

*Smart Cities* akan menjadi bagian penting dalam perkembangan IoT di masa depan. Dengan integrasi yang lebih luas dari perangkat IoT dalam infrastruktur kota, seperti pengelolaan lalu lintas yang cerdas, manajemen energi yang efisien, pengumpulan dan analisis data lingkungan, dan pelayanan publik yang terhubung, *Smart Cities* dapat meningkatkan kualitas hidup, efisiensi, dan keberlanjutan.

Prediksi masa depan IoT melibatkan adopsi yang lebih luas dalam industri dan sektor lainnya. Dari industri manufaktur yang menggunakan IoT untuk pemantauan dan pemeliharaan mesin, hingga sektor pertanian yang mengoptimalkan irigasi dan penggunaan sumber daya, hingga transportasi yang semakin terhubung dan otomatis, IoT akan menjadi bagian integral dari berbagai industri.

Pengembangan yang lebih lanjut dalam bidang kecerdasan buatan (AI) dan *Machine Learning* (ML) akan berkontribusi pada pertumbuhan IoT. Dengan kemampuan AI dan ML untuk memproses dan menganalisis data yang besar dan kompleks, IoT dapat menjadi lebih cerdas, mampu mengidentifikasi pola, membuat prediksi, dan mengambil keputusan secara otonom.

Dalam jangka panjang, pengembangan IoT akan melibatkan konektivitas yang lebih luas, interoperabilitas yang lebih baik antara perangkat dan platform, dan pengaturan keamanan yang lebih baik. IoT akan terus mengubah cara kita hidup, bekerja, dan berinteraksi dengan lingkungan sekitar kita, membawa dampak positif dalam berbagai aspek kehidupan dan membuka peluang baru untuk inovasi dan pengembangan teknologi di masa depan.

## 1.7 Tantangan dan Masalah dalam IoT

Salah satu tantangan utama dalam implementasi IoT adalah keamanan dan privasi data. Karena banyaknya perangkat yang terhubung dalam jaringan IoT, terdapat potensi risiko keamanan seperti serangan siber, pencurian data, atau penggunaan yang tidak sah. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan strategi keamanan yang kokoh, termasuk enkripsi data, otentikasi yang kuat, pemantauan keamanan yang terus-menerus, dan pelatihan penggunaan yang baik.

Tantangan lainnya adalah interoperabilitas, yaitu kemampuan perangkat IoT yang berasal dari vendor yang berbeda untuk berkomunikasi dan beroperasi bersama. Ketidaksesuaian protokol, format data, atau standar komunikasi dapat menghambat pertukaran informasi yang efektif antara perangkat. Solusi untuk mengatasi masalah ini adalah mengadopsi standar dan protokol komunikasi yang bersifat terbuka dan universal, serta melakukan pengujian interoperabilitas sebelum mengimplementasikan perangkat IoT dalam skala besar.

Skalabilitas juga merupakan tantangan dalam IoT. Dalam jaringan IoT yang berkembang pesat, jumlah perangkat yang terhubung dapat meningkat secara signifikan. Hal ini memerlukan infrastruktur yang mampu menangani volume data yang besar, pemrosesan yang efisien, dan ketersediaan jaringan yang andal. Skalabilitas dapat diatasi dengan merancang arsitektur jaringan yang fleksibel, menggunakan teknologi cloud dan *edge computing*, serta mengoptimalkan pengelolaan sumber daya.

Salah satu masalah yang muncul adalah masalah privasi data. Perangkat IoT mengumpulkan dan mengirimkan banyak data pribadi pengguna. Penting untuk memastikan bahwa data ini dikelola dengan baik, hanya digunakan untuk tujuan yang sah, dan dilindungi dari akses yang tidak sah. Solusi meliputi implementasi kebijakan privasi yang ketat, pemantauan kepatuhan privasi, serta penggunaan teknik enkripsi dan anonimisasi data.

Masalah energi dan daya tahan baterai juga menjadi tantangan dalam implementasi IoT, terutama pada perangkat yang memiliki sumber daya terbatas. Perangkat IoT yang beroperasi dengan baterai perlu mempertimbangkan efisiensi energi, manajemen daya yang cerdas, dan penggunaan teknologi hemat energi. Selain itu, penggunaan teknologi

pengisian nirkabel dan harvesting energi dapat membantu memperpanjang masa pakai baterai.

Kompleksitas sistem IoT juga merupakan masalah yang perlu diatasi. Integrasi perangkat dari berbagai vendor, manajemen data yang kompleks, dan analisis data yang mendalam dapat menjadi rumit. Strategi untuk mengatasi kompleksitas ini termasuk adopsi platform dan kerangka kerja yang menyediakan manajemen terpusat, pemantauan yang efektif, dan visualisasi data yang intuitif.

Dalam skala yang lebih luas, masalah keberlanjutan dan dampak lingkungan juga menjadi perhatian. Perangkat IoT yang banyak digunakan dapat menyebabkan peningkatan konsumsi energi dan limbah elektronik. Solusi yang dapat diterapkan meliputi pengembangan perangkat yang lebih efisien secara energi, daur ulang dan manajemen limbah elektronik yang bertanggung jawab, serta penerapan solusi IoT yang mendukung penggunaan sumber daya yang berkelanjutan.

Tantangan dalam hal biaya juga perlu diperhatikan. Implementasi dan operasionalisasi infrastruktur IoT dapat memerlukan investasi yang signifikan, terutama pada skala yang besar. Untuk mengatasi masalah ini, strategi pengelolaan biaya yang efektif, seperti penggunaan perangkat IoT yang lebih terjangkau, pemilihan infrastruktur yang tepat, dan peningkatan efisiensi operasional, dapat membantu mengurangi biaya yang terkait dengan IoT.

Masalah regulasi dan kebijakan juga dapat menjadi hambatan dalam implementasi IoT. Karena IoT melibatkan berbagai aspek seperti privasi, keamanan, dan pengelolaan data, penting untuk memiliki kerangka kerja regulasi yang jelas dan kebijakan yang memadai untuk mengatur penggunaan dan perlindungan data. Kerjasama antara pemerintah, regulator, dan industri sangat penting untuk mengembangkan kebijakan yang seimbang dan responsif terhadap perkembangan teknologi.

Dengan memperhatikan tantangan ini dan menerapkan solusi yang tepat, implementasi IoT dapat menjadi lebih efektif, aman, dan berdampak positif bagi berbagai sektor dan kehidupan kita secara keseluruhan.

## Bab 2

# Arsitektur Internet of Things

## 2.1 Pendahuluan

*Internet of Things* (IoT) telah memungkinkan gagasan konektivitas di mana-mana, di mana individu dapat terhubung ke perangkat atau sistem apa pun, kapan pun dan dari lokasi mana pun. IoT terdiri dari beragam teknologi dan sistem, daripada menjadi teknologi tunggal. IoT mencakup sejumlah besar perangkat yang saling terhubung, berpotensi berjumlah jutaan atau miliaran, yang terlibat dalam komunikasi dan interaksi melalui internet (Samizadeh Nikoui et al., 2020). Konsep yang mendasari IoT melibatkan pemanfaatan beragam objek, termasuk namun tidak terbatas pada perangkat *Radio Frequency Identification* (RFID), sensor, aktuator, ponsel, dan teknologi *Near Field Communication* (NFC), yang memiliki kemampuan untuk berkomunikasi dan bertukar informasi satu sama lain. Entitas yang disebut sebagai "objek pintar" memiliki kemampuan untuk merasakan rangsangan pendengaran dan visual, terlibat dalam proses kognitif, dan melakukan berbagai operasi melalui komunikasi antar objek, sehingga memfasilitasi pertukaran informasi. Kecerdasan mereka dapat dikaitkan dengan fungsionalitas yang ditingkatkan dan teknologi canggih. Internet of Things memungkinkan augmentasi objek sehari-hari, peningkatan operasi rutin, dan penyediaan komunikasi informatif. Tidak mengherankan jika banyak skenario cerdas telah dirancang untuk aplikasi IoT dengan tujuan

meningkatkan kecerdasan lingkungan. Contoh skenario tersebut antara lain smart health, smart home, dan smart building. Arsitektur IoT sebagai konsep kunci memainkan peran penting untuk menyediakan layanan yang diinginkan.

Arsitektur IoT merujuk pada struktur dan organisasi sistem yang memungkinkan perangkat dan aplikasi IoT saling terhubung, berkomunikasi, dan beroperasi secara efisien. Ini melibatkan kombinasi dari komponen perangkat keras, perangkat lunak, protokol komunikasi, dan infrastruktur jaringan yang bekerja bersama untuk mendukung aplikasi dan layanan IoT.

## 2.2 Karakteristik Arsitektur IoT

Arsitektur IoT adalah faktor penting dalam memastikan efektivitas implementasi IoT, karena menyediakan metodologi sistematis untuk merancang, menggabungkan, dan mengelola solusi IoT. Menentukan arsitektur yang dapat mendukung fitur saat ini dan ekstensi di masa mendatang merupakan tantangan yang signifikan dalam mempromosikan penerapan sistem IoT dalam bidang teknologi.

Menurut Lombardi (2021), arsitektur yang terstruktur dengan baik berfungsi sebagai dasar untuk membangun sistem IoT yang tangguh dan efektif, menjamin skalabilitas, interoperabilitas, distributif, keamanan, dan keandalan.

### 1. Skalabilitas

Arsitektur IoT dirancang untuk mengakomodasi semakin banyak perangkat dan data dalam ekosistem IoT. Arsitektur yang dapat diskalakan memungkinkan penambahan atau penghapusan perangkat dengan mudah, menangani peningkatan volume data, dan beradaptasi dengan perubahan kebutuhan bisnis, tanpa menurunkan kinerjanya.

### 2. Interoperabilitas

Dalam konteks IoT, perangkat, protokol, dan platform berasal dari berbagai vendor dan dapat beroperasi di lingkungan yang berbeda untuk mencapai tujuan bersama. Konsep interoperabilitas memfasilitasi integrasi tanpa batas dan penggunaan berbagai perangkat, sehingga memastikan kemampuan beradaptasi dan keserbagunaan solusi. Arsitektur IoT dirancang untuk mendorong

interoperabilitas melalui penetapan standar, protokol, dan kerangka kerja yang memungkinkan komunikasi dan pertukaran data yang efisien di antara perangkat dan sistem yang heterogen.

### 3. Distributif

Arsitektur IoT memfasilitasi integrasi tanpa batas dari beragam perangkat, protokol, dan aplikasi dalam ekosistem IoT. IoT menyediakan kerangka kerja untuk membakukan antarmuka, format data, dan protokol komunikasi, memungkinkan aliran data yang efisien dan interaksi antar komponen, untuk memungkinkan terciptanya lingkungan terdistribusi di mana, setelah dikumpulkan dari sumber yang berbeda, data diproses oleh entitas yang berbeda secara terdistribusi.

### 4. Keamanan

Aspek mencakup mekanisme dan praktik untuk melindungi data, perangkat, jaringan, dan privasi pengguna. Arsitektur yang dirancang dengan baik menggabungkan langkah-langkah keamanan seperti otentikasi, enkripsi, kontrol akses, dan pemeriksaan integritas data. Ini juga membahas pertimbangan keamanan di setiap lapisan arsitektur, memastikan bahwa sistem IoT tangguh terhadap ancaman dunia maya dan akses tidak sah.

### 5. Keandalan

Arsitektur IoT bertujuan untuk memastikan keandalan sistem IoT, memungkinkan pengoperasian yang berkelanjutan dan waktu henti yang minimal. Ini melibatkan redundansi, toleransi kesalahan, dan mekanisme pemulihan bencana untuk mengurangi dampak kegagalan atau gangguan. Arsitektur yang andal menciptakan sistem tangguh yang dapat bertahan dari tantangan lingkungan, mampu beroperasi dengan sedikit sumber daya, dan memberikan kinerja yang konsisten.

## 2.3 Arsitektur IoT

Arsitektur IoT dapat dikonseptualisasikan sebagai sistem yang mencakup fisik, virtual, atau kombinasi dari kedua jenis komponen tersebut. Sistem ini terdiri dari banyak objek fisik aktif, sensor, aktuator, layanan cloud, protokol IoT khusus, lapisan komunikasi, pengguna, pengembang, dan lapisan perusahaan, sebagaimana dikemukakan oleh Ray (2018). Saat ini, komunitas riset telah mengembangkan banyak arsitektur IoT. Arsitektur IoT harus memiliki sifat yang fleksibel untuk memfasilitasi interkoneksi objek heterogen dalam miliaran dan triliunan (Kaur, 2018). Saat ini, kesepakatan tentang arsitektur untuk IoT masih kurang karena fragmentasi aplikasi potensial yang melekat. Setiap aplikasi bergantung pada banyak variabel dan spesifikasi desain yang seringkali berbeda satu sama lain. Berbagai desain arsitektur telah dikemukakan dalam literatur-literatur ilmiah.

### 2.3.1 Three-layer

Arsitektur fundamental untuk IoT adalah arsitektur tiga lapis, yang awalnya diusulkan selama tahap awal penelitian di domain ini. Sistem ini terdiri dari tiga lapisan berbeda, yang secara khusus diidentifikasi sebagai lapisan persepsi, jaringan, dan aplikasi.



**Gambar 2.1:** Three-layer IoT

1. Lapisan Persepsi

Lapisan ini diimplementasikan di bagian bawah arsitektur. Ini adalah lapisan yang sebenarnya menghubungkan "Things to Internet". Itu

melakukan semua tugas seperti mengumpulkan data dari lingkungan atau mengontrol tindakan fisik berdasarkan instruksi yang diterima. Lapisan persepsi memainkan peran penting dalam menangkap informasi real-time tentang dunia fisik dan memberikan masukan yang diperlukan untuk pemrosesan dan analisis lebih lanjut dalam ekosistem IoT.

Objek pintar, sensor, dan aktuator membentuk blok bangunan dari lapisan persepsi. Objek pintar dapat berupa objek dengan penggunaan umum, seperti televisi, kendaraan, dll., Dilengkapi dengan sensor dan kemampuan komputasi termasuk *communication*, *identification*, *addressability*, *sensing and actuation*, *information processing*, *localization*, dan *user interface* (Lombardi, Pascale and Santaniello, 2021)

a. Communication

Untuk memungkinkan objek terhubung satu sama lain dan ke sumber daya di internet untuk menggunakan data dan layanan, memperbarui statusnya, dan bekerja sama untuk mencapai tujuan bersama. Beberapa teknologi yang digunakan antara lain Bluetooth, Wifi, NFC, RFID, dan sebagainya.

b. Identification

Untuk memungkinkan objek diidentifikasi secara unik. Beberapa teknologi yang digunakan antara lain Electronic Product Code (EPC), *Quick Response* (QR), dan sebagainya.

c. Addressability

Untuk mengaktifkan objek agar dapat dijangkau secara langsung, diinterogasi, atau dikonfigurasi dari jarak jauh. Beberapa teknologi yang digunakan antara lain IPv4 dan IPv6.

d. Sensing and Actuation

Untuk memungkinkan objek mengumpulkan informasi tentang dunia sekitarnya dan memanipulasinya melalui penggunaan sensor dan aktuator. Beberapa teknologi yang digunakan antara lain *Micro Electro-Mechanical Systems* (MEMS), e *Micro-Opto-Electro-Mechanical Systems* (MOEMS), dan sebagainya.

Sensor adalah perangkat yang mendeteksi dan mengukur kuantitas fisik seperti suhu, kelembaban, tekanan, gerakan, cahaya, dan suara. Mereka mengubah pengukuran fisik ini menjadi sinyal listrik atau data digital yang dapat diproses oleh sistem IoT. Aktuator, di sisi lain, adalah perangkat yang merespons perintah dari sistem IoT dan melakukan tindakan fisik. Mereka dapat mengontrol dan memanipulasi berbagai elemen di lingkungan fisik, seperti menyalakan/mematikan lampu, menyesuaikan suhu, atau membuka/menutup katup.

a. Information processing

Objek dilengkapi dengan kemampuan kalkulasi untuk mengolah hasil sensor dan menggerakkan aktuator. Beberapa teknologi yang digunakan antara lain Field Programmable Gate Array (FPGA), Programmable Logic Controller (PLC), mikrokontroler, Single-board computer, System-on-Chip (SoC), dan sebagainya.

b. Localization

Memungkinkan objek untuk menyadari lokasi fisik mereka atau dapat ditemukan. Global positioning system (GPS) adalah salah satu teknologi yang digunakan.

c. User Interface

Memungkinkan objek untuk berkomunikasi secara tepat dengan pengguna melalui tampilan atau antarmuka lainnya, misalnya dengan menggunakan remote control.

Akuisisi data adalah aspek penting dari lapisan persepsi. Ini melibatkan pengumpulan data dari sensor dan sumber lain secara real-time. Berbagai teknik dapat digunakan untuk akuisisi data, termasuk komunikasi sensor-ke-cloud secara langsung, komunikasi sensor-ke-gateway, dan komunikasi sensor-ke-perangkat. Setiap teknik memiliki pertimbangan tersendiri dalam hal latensi data, kebutuhan bandwidth, konsumsi daya, dan konektivitas jaringan.

Pemrosesan awal dan pemfilteran data di perangkat merupakan pertimbangan penting dalam lapisan persepsi. Perangkat, yang sering digunakan lebih dekat ke sumber data, berperan dalam melakukan

pemrosesan dan pemfilteran data awal sebelum mentransmisikan data ke cloud atau sistem pemrosesan pusat. Ini membantu mengurangi bandwidth transmisi data, meningkatkan waktu respons, dan menghemat sumber daya jaringan. Teknik preprocessing data di perangkat mungkin melibatkan penyaringan noise, agregasi data, kompresi data, atau ekstraksi fitur yang relevan. Dengan melakukan tugas-tugas pra-pemrosesan ini di perangkat, sistem IoT dapat secara efisien menangani volume data yang besar dan berfokus pada pengiriman informasi yang bermakna dan dapat ditindaklanjuti.

## 2. Lapisan Jaringan

Lapisan jaringan memiliki tugas mengangkut data yang disediakan oleh tingkat persepsi ke lapisan aplikasi. Ini mencakup semua teknologi dan protokol yang memungkinkan koneksi ini. Ini bertindak sebagai perantara antara Lapisan Persepsi dan lapisan yang lebih tinggi, memfasilitasi transfer data dan informasi.

Lapisan jaringan telah menyaksikan perubahan signifikan untuk mendukung peningkatan jumlah perangkat, beragam opsi konektivitas, dan kebutuhan akan komunikasi latensi rendah dan andal. Ada banyak protokol yang dapat digunakan di IoT, masing-masing memiliki pro dan kontra, dan penggunaannya harus dievaluasi sesuai dengan aplikasinya. Protokol IPv6 lahir pertama untuk memecahkan masalah pengalamatan ruang dan kemudian untuk memastikan skalabilitas untuk sistem. Namun, protokol ini dirancang untuk jaringan kabel.

Pada lapisan ini, protokol nirkabel sangat penting. Dibandingkan dengan yang membutuhkan kabel, sensor nirkabel dapat dipasang di lingkungan yang sulit dijangkau dan membutuhkan lebih sedikit material dan sumber daya manusia untuk pemasangan. Selain itu, dalam jaringan sensor nirkabel, berbagai node dapat ditambahkan atau dihapus dengan mudah, dan lokasinya dapat diubah tanpa mempertimbangkan kembali struktur seluruh jaringan.

Selanjutnya, protokol *Wireless Sensor Network* (WSN) 6LoWPAN telah dibuat. WSN sebenarnya terdiri dari perangkat yang ditandai

dengan daya komputasi rendah yang seringkali harus meminimalkan konsumsi energi. Menggunakan protokol 6LoWPAN, perangkat dapat langsung mengabaikan jaringan tanpa memerlukan perangkat lain yang bertindak sebagai gateway. Namun, dalam aplikasi tertentu, gateway semacam itu mungkin diperlukan. Dalam kasus ini, dimungkinkan untuk menggunakan protokol lapisan data link, seperti Bluetooth atau ZigBee, untuk menghubungkan gateway dan sensor, dan kemudian hanya menghubungkan gateway ke jaringan menggunakan lapisan jaringan protokol IPv6.

Pemilihan protokol yang akan digunakan bergantung pada ukuran jaringan, konsumsi daya setiap node, dan kecepatan transmisi yang dibutuhkan dalam aplikasi tertentu. Dari segi jangkauan konektivitas, Wi-Fi menawarkan jangkauan yang relatif jauh, sehingga cocok untuk aplikasi IoT yang membutuhkan komunikasi di area yang lebih luas. Bluetooth, di sisi lain, memiliki jangkauan yang lebih pendek tetapi unggul dalam konsumsi daya yang rendah, sehingga cocok untuk aplikasi yang melibatkan perangkat dalam jarak dekat. Zigbee sering lebih disukai untuk aplikasi berdaya rendah dan kecepatan data rendah, seperti otomatisasi rumah, karena efisiensi energi dan kemampuan jaringan meshnya.

Faktor lain yang perlu dipertimbangkan adalah kecepatan transfer data yang didukung oleh opsi konektivitas. Wi-Fi dan jaringan seluler biasanya memberikan kecepatan transfer data yang lebih tinggi, menjadikannya cocok untuk aplikasi yang memerlukan transmisi data real-time atau bandwidth tinggi. Bluetooth dan Zigbee, meski menawarkan kecepatan data yang lebih rendah, lebih cocok untuk aplikasi dengan persyaratan throughput data yang lebih rendah, seperti jaringan sensor atau perangkat yang dapat dipakai.

Konsumsi daya merupakan pertimbangan penting, terutama untuk perangkat IoT bertenaga baterai. Jaringan Wi-Fi dan seluler cenderung mengonsumsi lebih banyak daya dibandingkan dengan Bluetooth dan Zigbee, yang dirancang agar hemat energi dan dioptimalkan untuk pengoperasian dengan daya rendah. Pilihan opsi

konektivitas bergantung pada batasan daya perangkat IoT dan masa pakai baterai yang diinginkan.

Kompatibilitas adalah aspek lain yang perlu dipertimbangkan saat memilih opsi konektivitas. Perangkat IoT yang berbeda mungkin memiliki kemampuan perangkat keras dan perangkat lunak yang berbeda-beda, dan penting untuk memastikan kompatibilitas antara perangkat dan opsi konektivitas yang dipilih. Standar dan interoperabilitas memainkan peran penting dalam memastikan komunikasi yang lancar antar perangkat dari berbagai produsen atau lintas platform IoT yang berbeda.

Seiring berkembangnya dan diversifikasi IoT, protokol baru telah dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan khusus perangkat IoT. Dua contoh penting adalah LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) dan NB-IoT (Narrowband IoT). Protokol-protokol ini dirancang untuk komunikasi jarak jauh berdaya rendah, membuatnya sangat cocok untuk aplikasi IoT yang melibatkan perangkat yang disebarkan di area yang luas atau di lokasi terpencil. LoRaWAN, berdasarkan teknik modulasi LoRa, memungkinkan komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah, menjadikannya ideal untuk aplikasi seperti pertanian cerdas, pelacakan aset, dan infrastruktur kota cerdas. NB-IoT, di sisi lain, beroperasi dalam jaringan seluler yang ada dan menawarkan jangkauan yang lebih baik di lingkungan yang menantang, sehingga cocok untuk aplikasi seperti pengukuran cerdas, pemantauan jarak jauh, dan otomasi industri.

Selain itu, munculnya jaringan 5G membawa kemajuan signifikan dalam konektivitas untuk IoT. Jaringan 5G menawarkan kecepatan lebih tinggi, latensi lebih rendah, dan kapasitas lebih besar dibandingkan jaringan seluler generasi sebelumnya. Konektivitas yang ditingkatkan ini memungkinkan komunikasi waktu nyata, transfer data bandwidth tinggi, dan dukungan untuk penerapan IoT besar-besaran. Jaringan 5G siap untuk membuka potensi penuh IoT dengan mengaktifkan aplikasi seperti kendaraan otonom, kota pintar,

dan otomasi industri yang memerlukan latensi sangat rendah, keandalan tinggi, dan konektivitas tanpa batas.

### 3. Lapisan Aplikasi

Lapisan aplikasi bertanggung jawab untuk memberikan layanan khusus aplikasi kepada pengguna. Data dari level sebelumnya disimpan, dikumpulkan, difilter, dan diproses, dan basis data, perangkat lunak analisis, dll., digunakan. Sebagai hasil dari proses pemrosesan ini, data tersedia untuk aplikasi IoT nyata (smart wearable, smart car, dll.). Ini mencakup aplikasi, antarmuka, dan pengalaman pengguna yang memungkinkan pengguna untuk berinteraksi dengan dan mendapatkan nilai dari sistem IoT.

Inti dari Lapisan Aplikasi adalah antarmuka pengguna (UI) yang menyediakan sarana bagi pengguna untuk berinteraksi dengan sistem IoT. Antarmuka ini dapat mengambil berbagai bentuk, termasuk dasbor berbasis web, aplikasi seluler, asisten suara, atau bahkan pengalaman *augmented reality/virtual reality* (AR/VR). UI memungkinkan pengguna untuk memantau, mengontrol, dan mengakses data yang dihasilkan oleh perangkat IoT, memberikan pengalaman yang mulus dan intuitif.

API (Application Programming Interfaces) memainkan peran penting dalam Lapisan Aplikasi dengan memfasilitasi integrasi dengan layanan pihak ketiga dan memungkinkan interoperabilitas antara sistem yang berbeda. API memungkinkan pengembang untuk mengakses dan memanfaatkan data dan fungsionalitas dari perangkat dan platform IoT, memungkinkan pembuatan aplikasi dan layanan yang inovatif. Integrasi dengan layanan pihak ketiga membuka kemungkinan untuk analisis data, pembelajaran mesin, dan menggabungkan data IoT dengan sumber data lain untuk mendapatkan wawasan yang bermakna.

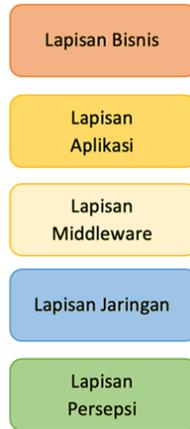
Lapisan Aplikasi juga mencakup studi kasus dan contoh aplikasi IoT di berbagai industri. Contoh-contoh ini menunjukkan bagaimana IoT digunakan untuk memecahkan masalah dunia nyata dan menciptakan peluang baru. Misalnya, dalam industri perawatan kesehatan, IoT

memungkinkan pemantauan pasien jarak jauh, perawatan kesehatan yang dipersonalisasi, dan manajemen perangkat medis yang efisien. Di bidang pertanian, IoT digunakan untuk pertanian presisi, memantau kondisi tanah, dan mengoptimalkan sistem irigasi. Aplikasi IoT industri mencakup pemeliharaan prediktif, pelacakan aset, dan pengoptimalan rantai pasokan. Studi kasus ini menunjukkan beragam aplikasi IoT dan dampaknya pada berbagai sektor.

Merancang aplikasi IoT yang ramah pengguna dan intuitif merupakan pertimbangan penting dalam Lapisan Aplikasi. Sistem IoT sering melibatkan data dan interaksi yang kompleks, dan sangat penting untuk menyajikan informasi dengan cara yang jelas dan bermakna kepada pengguna. Prinsip desain yang berpusat pada pengguna, seperti navigasi intuitif, tata letak responsif, dan informasi kontekstual, harus diterapkan untuk menciptakan pengalaman pengguna yang mulus dan menarik. Pertimbangan juga harus diberikan pada aksesibilitas, memastikan bahwa aplikasi IoT dapat digunakan oleh orang-orang dengan beragam kemampuan.

### 2.3.2 Five-layer

Arsitektur Lima Lapis atau *middleware-based architecture*. Arsitektur lima lapis, yang terdiri dari: lapisan persepsi, lapisan jaringan, lapisan middleware, lapisan aplikasi, dan lapisan bisnis telah diusulkan untuk memenuhi kebutuhan IoT dalam skalabilitas, interoperabilitas, keandalan, QoS, dan sebagainya (Lin et al., 2017). Dalam hal ini, arsitektur IoT berbasis middleware membantu dalam membuat aplikasi dengan lebih efisien. Peran lapisan persepsi, jaringan, dan aplikasi sama dengan arsitektur dengan tiga lapisan. Fungsi dari dua lapisan yang tersisa diuraikan pada bagian berikut.



**Gambar 2.2:** Five-layer IoT

Lapisan middleware bertindak sebagai penghubung antara aplikasi.

### 1. Lapisan Middleware

Lapisan middleware juga dikenal sebagai lapisan pemrosesan. Ini menyimpan, menganalisis, dan memproses sejumlah besar data yang berasal dari lapisan jaringan. Itu dapat mengelola dan menyediakan beragam layanan ke lapisan bawah. Itu juga melakukan penemuan informasi, dan menyediakan kontrol akses ke perangkat untuk aplikasi. Ini menggunakan banyak teknologi seperti database, komputasi awan, dan modul pemrosesan data besar.

Sederhananya, Lapisan middleware bertindak sebagai lapisan perantara yang menyediakan layanan penting untuk pemrosesan data, integrasi, dan komunikasi dalam arsitektur IoT. Komponennya, seperti message broker, data broker, *device management systems*, dan *protocol converter*.

#### a. Message broker

Message broker bertindak sebagai hub terpusat untuk merutekan dan mengirimkan pesan antara berbagai perangkat dan aplikasi IoT. Ini memastikan bahwa data yang dihasilkan oleh sensor di Lapisan Persepsi mencapai tujuan yang diinginkan di Lapisan Aplikasi secara efisien dan andal. Dengan memisahkan pengirim

dan penerima, perantara pesan mengaktifkan komunikasi asinkron dan mendukung berbagai pola pengiriman pesan seperti terbitkan/langganan dan permintaan/tanggapan.

b. Data broker

Data broker berfokus pada pengelolaan aliran dan transformasi data dalam sistem IoT. Ini menangani tugas-tugas seperti pemfilteran data, agregasi, dan pengayaan untuk mengekstrak wawasan yang bermakna dari data sensor mentah. Pialang data dapat menggunakan teknik seperti normalisasi data, fusi data, dan analitik data untuk memproses aliran data yang masuk dan menghasilkan informasi berharga untuk aplikasi tingkat tinggi

c. Device management systems

Sistem manajemen perangkat menyediakan fungsionalitas untuk mengelola siklus hidup perangkat IoT, termasuk registrasi perangkat, autentikasi, dan penyediaan. Sistem manajemen perangkat menangani tugas seperti memasang perangkat baru, memastikan komunikasi yang aman, memantau kesehatan dan status perangkat, dan melakukan pembaruan over-the-air. Sistem ini memainkan peran penting dalam menjaga keamanan, keandalan, dan skalabilitas penerapan IoT.

d. Protocol converter

*Protocol converter* memfasilitasi interoperabilitas antara perangkat dan protokol yang mungkin menggunakan standar komunikasi atau format data yang berbeda. Konverter protokol memungkinkan perangkat yang beroperasi pada teknologi jaringan yang berbeda atau memanfaatkan protokol data yang berbeda untuk berkomunikasi secara mulus satu sama lain. Mereka menangani terjemahan, transformasi, dan adaptasi data antara protokol yang berbeda, memastikan kompatibilitas dan pertukaran data yang efisien dalam sistem IoT.

2. Lapisan Bisnis

Lapisan bisnis mengelola seluruh sistem IoT, termasuk aplikasi, model bisnis dan laba, serta privasi pengguna. Ini melibatkan

pengintegrasian solusi IoT ke dalam proses bisnis yang ada, mendefinisikan model bisnis, mengatasi masalah keamanan dan privasi, membuat keputusan strategis, mengalokasikan sumber daya, dan menciptakan nilai melalui wawasan yang berasal dari data IoT.

Salah satu aspek kunci dalam Lapisan Bisnis adalah pengembangan dan penerapan model bisnis yang sesuai. Organisasi perlu mengidentifikasi bagaimana mereka dapat menciptakan nilai dan menghasilkan pendapatan dari inisiatif IoT mereka. Ini melibatkan eksplorasi berbagai strategi monetisasi, seperti menawarkan produk atau layanan yang mendukung IoT, model berbasis langganan, model bayar per penggunaan, atau monetisasi data melalui wawasan yang berasal dari data IoT. Lapisan Bisnis bertanggung jawab untuk mendefinisikan dan menyempurnakan model bisnis ini untuk memastikan profitabilitas dan keberlanjutan.

Salah satu aspek kunci dalam Lapisan Bisnis adalah pengembangan dan penerapan model bisnis yang sesuai. Organisasi perlu mengidentifikasi bagaimana mereka dapat menciptakan nilai dan menghasilkan pendapatan dari inisiatif IoT mereka. Ini melibatkan eksplorasi berbagai strategi monetisasi, seperti menawarkan produk atau layanan yang mendukung IoT, model berbasis langganan, model bayar per penggunaan, atau monetisasi data melalui wawasan yang berasal dari data IoT. Lapisan Bisnis bertanggung jawab untuk mendefinisikan dan menyempurnakan model bisnis ini untuk memastikan profitabilitas dan keberlanjutan.

Kebijakan keamanan dan pertimbangan privasi juga merupakan aspek penting dari Lapisan Bisnis. Karena sistem IoT melibatkan pengumpulan, pemrosesan, dan pembagian data dalam jumlah besar, memastikan keamanan dan privasi data tersebut menjadi yang terpenting. Lapisan Bisnis menetapkan kebijakan dan kerangka kerja yang diperlukan untuk melindungi informasi sensitif, menerapkan kontrol akses, mekanisme enkripsi, dan protokol autentikasi untuk melindungi dari potensi ancaman keamanan siber. Ini juga membahas

masalah privasi dan kepatuhan terhadap peraturan yang relevan, seperti perlindungan data dan undang-undang privasi.

Lapisan Bisnis juga mencakup pengambilan keputusan strategis dan alokasi sumber daya. Ini melibatkan penyelarasan inisiatif IoT dengan keseluruhan strategi bisnis dan tujuan organisasi. Ini termasuk menentukan area di mana IoT dapat menciptakan nilai paling banyak, mengidentifikasi sumber daya yang diperlukan (keuangan, manusia, dan teknologi), dan memprioritaskan proyek IoT berdasarkan potensi dampak dan pengembalian investasinya. Lapisan Bisnis memfasilitasi proses pengambilan keputusan, memastikan bahwa sumber daya dialokasikan secara efektif dan efisien untuk mendorong keberhasilan penerapan IoT.

Selain itu, Lapisan Bisnis berfokus pada penciptaan nilai melalui wawasan dan kemampuan yang disediakan oleh sistem IoT. Ini melibatkan pemanfaatan data yang dikumpulkan dari perangkat IoT untuk mendapatkan wawasan berharga, membuat keputusan berdasarkan data, dan mengoptimalkan proses bisnis. Lapisan ini memungkinkan organisasi untuk mengekstrak informasi yang dapat ditindaklanjuti dari data IoT, melakukan analitik lanjutan, dan memperoleh pola dan korelasi bermakna yang dapat mendorong inovasi, pengoptimalan proses, dan peluang bisnis baru.

### 2.3.3 Soa-based IoT

Arsitektur berorientasi layanan (SoA) adalah berbasis model komponen, yang dapat dirancang untuk menghubungkan berbagai unit fungsional aplikasi melalui antarmuka dan protokol. SoA dirancang untuk mengoordinasikan layanan dan memungkinkan penggunaan kembali komponen perangkat lunak dan perangkat keras.

Dalam arsitektur berorientasi layanan, lapisan layanan diperkenalkan antara jaringan dan lapisan aplikasi untuk membuat arsitektur lebih fleksibel dan menyediakan layanan data di IoT. Ini adalah model yang digunakan untuk menghubungkan berbagai layanan menggunakan antarmuka dan protokol. Lapisan layanan terdiri dari *service discovery*, *service composition*, *service management*, dan *service interfaces* (Lombardi, Pascale and Santaniello,

2021). Penemuan layanan digunakan untuk menemukan permintaan layanan; komposisi layanan digunakan untuk berinteraksi dengan objek yang terhubung dan mengintegrasikan layanan untuk mendapatkan permintaan dengan cara yang efisien; manajemen layanan digunakan untuk mengelola dan menentukan mekanisme kepercayaan untuk memahami permintaan layanan; antarmuka layanan digunakan untuk mendukung interaksi di antara semua layanan yang disediakan.



**Gambar 2.3:** SoA-based IoT

1. *Service discovery* adalah mekanisme yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menemukan layanan yang tersedia dalam sistem IoT. Ini memungkinkan perangkat, aplikasi, atau layanan IoT lainnya untuk menemukan dan berkomunikasi dengan layanan khusus yang mereka butuhkan. Penemuan layanan memungkinkan pendaftaran dan pencarian layanan yang dinamis dan otomatis, memastikan bahwa layanan dapat dengan mudah ditemukan dan digunakan oleh komponen lain dalam arsitektur IoT.
2. *Service composition* melibatkan integrasi dan koordinasi beberapa layanan untuk memenuhi permintaan khusus atau mencapai hasil yang diinginkan. Ini memungkinkan kombinasi dan orkestrasi layanan individu untuk menciptakan fungsionalitas yang lebih kompleks dan bernilai tambah. Dengan memanfaatkan komposisi

layanan, sistem IoT dapat dengan mulus mengintegrasikan berbagai layanan, memungkinkan agregasi dan pemrosesan data dari berbagai sumber atau pelaksanaan tindakan terkoordinasi di berbagai perangkat atau komponen.

3. *Service management* berfokus pada administrasi dan kontrol layanan dalam ekosistem IoT. Ini melibatkan tugas-tugas seperti penyediaan layanan, pemantauan, dan pemeliharaan. Manajemen layanan memastikan bahwa layanan diterapkan, dikonfigurasi, dan dipelihara dengan benar sepanjang siklus hidupnya. Ini juga mencakup mekanisme untuk mengelola aspek kepercayaan dan keamanan layanan, termasuk otentikasi, otorisasi, dan kontrol akses, untuk memastikan integritas dan keandalan interaksi layanan.
4. *Service interfaces* menyediakan sarana untuk komunikasi dan interaksi antara layanan dalam arsitektur IoT. Mereka menentukan protokol, format, dan metode yang digunakan untuk bertukar data, perintah, dan respons di antara berbagai layanan. Antarmuka layanan memungkinkan interoperabilitas dan interaksi mulus antar layanan, terlepas dari teknologi, bahasa pemrograman, atau platform yang mendasarinya. Mereka memastikan bahwa layanan dapat berkomunikasi dan berkolaborasi secara efektif satu sama lain untuk mencapai fungsionalitas yang diinginkan atau memenuhi permintaan layanan.

## 2.4 Blok Fungsional IoT

Sistem IoT terdiri dari sejumlah blok fungsional yang mengacu pada komponen atau modul berbeda yang menjalankan fungsi atau serangkaian fungsi tertentu. Blok fungsional ini dirancang untuk menangani tugas atau operasi tertentu yang diperlukan untuk keberhasilan implementasi dan pengoperasian IoT, seperti penginderaan, identifikasi, aktuasi, komunikasi, dan manajemen (Ray, 2018).

Dalam blok fungsional IoT terdapat:

1. Blok Perangkat

Dalam sistem IoT, perangkat hadir dalam berbagai jenis seperti sensor yang dapat dikenakan, jam tangan pintar, lampu LED, mobil, dan mesin industri. Perangkat ini dapat bertukar data dengan perangkat dan aplikasi lain yang terhubung. Mereka dapat mengumpulkan data dari perangkat lain dan memprosesnya secara lokal atau mengirimkannya ke server terpusat atau aplikasi berbasis cloud untuk diproses lebih lanjut. Bergantung pada kendala seperti memori, kemampuan pemrosesan, latensi komunikasi, dan tenggat waktu, perangkat IoT dapat melakukan tugas secara lokal atau dalam infrastruktur IoT. Mereka memiliki banyak antarmuka untuk komunikasi, termasuk antarmuka I/O untuk sensor, antarmuka konektivitas internet, antarmuka memori dan penyimpanan, dan antarmuka audio/video.

2. Blok Komunikasi

Blok komunikasi berfokus pada pengelolaan aspek konektivitas sistem IoT. Ini melibatkan penanganan konektivitas jaringan, protokol, dan komunikasi antar perangkat, server jarak jauh dan sistem backend, untuk memastikan transmisi data yang andal dan aman antara perangkat dan infrastruktur pusat. Protokol komunikasi IoT umumnya bekerja di lapisan data link, lapisan jaringan, lapisan transport, dan lapisan aplikasi.

3. Blok Layanan

Sistem IoT melayani berbagai jenis fungsi seperti layanan untuk pemodelan perangkat, kontrol perangkat, penemuan perangkat, dan penerbitan data. Itu juga bertanggung jawab untuk analitik data menggunakan berbagai teknik, seperti analisis statistik, pembelajaran mesin, atau algoritme kecerdasan buatan, untuk mengungkap pola, tren, dan korelasi dalam data.

4. Blok Manajemen

Blok manajemen menyediakan fungsi untuk mengatur sistem IoT untuk mencari tata kelola yang mendasari sistem IoT.

## 5. Blok Keamanan

Blok fungsional keamanan mengamankan sistem IoT dengan menyediakan fungsi seperti, otentikasi, otorisasi, privasi, integritas pesan, integritas konten, dan keamanan data.

## 6. Blok Aplikasi

Lapisan aplikasi adalah yang paling penting bagi pengguna karena bertindak sebagai antarmuka yang menyediakan modul yang diperlukan untuk berinteraksi, mengontrol, dan memantau berbagai aspek sistem IoT. Blok aplikasi memungkinkan pengguna untuk memvisualisasikan, dan menganalisis status sistem pada tahap tindakan saat ini, terkadang memprediksi prospek futuristik.

Kesimpulannya, arsitektur IoT berfungsi sebagai dasar untuk merancang dan mengimplementasikan solusi Internet of Things (IoT). Ini menyediakan kerangka kerja terstruktur yang mengatur dan mengintegrasikan berbagai komponen dan lapisan dalam ekosistem IoT. Sepanjang bab ini, kami telah menjelajahi definisi dan signifikansi arsitektur IoT, serta lapisan dan fungsinya.

Arsitektur IoT memainkan peran penting dalam keberhasilan implementasi IoT. Ini memastikan skalabilitas, interoperabilitas, keamanan, dan keandalan sistem IoT. Dengan mendefinisikan lapisan dan interaksinya, arsitektur IoT memfasilitasi pemahaman dan kolaborasi berbagai pemangku kepentingan yang terlibat dalam pengembangan dan penerapan solusi IoT. Lapisan arsitektur, termasuk lapisan persepsi, lapisan jaringan, lapisan middleware, dan lapisan aplikasi, bekerja sama untuk mengaktifkan konektivitas tanpa batas, pemrosesan data, dan integrasi aplikasi. Setiap lapisan memiliki tanggung jawab dan antarmuka khusus dengan lapisan lain untuk memastikan fungsi sistem IoT yang efisien.

Arsitektur IoT bukanlah konsep statis. Ini berkembang dari waktu ke waktu untuk mengakomodasi kemajuan teknologi, perubahan persyaratan bisnis, dan standar industri yang muncul. Evolusi arsitektur IoT didorong oleh kebutuhan akan peningkatan kinerja, peningkatan keamanan, dan peningkatan fleksibilitas. Arsitektur IoT yang dirancang dengan baik dan dapat disesuaikan sangat penting untuk mewujudkan potensi penuh IoT. Ini memberikan peta jalan untuk merancang dan mengintegrasikan solusi IoT, memungkinkan organisasi memanfaatkan kekuatan perangkat yang terhubung, analitik data, dan otomatisasi. Dengan merangkul arsitektur IoT, organisasi dapat

menciptakan solusi inovatif dan transformatif yang mendorong efisiensi, meningkatkan pengambilan keputusan, dan membuka peluang baru di berbagai industri.

# Bab 3

## Protokol Komunikasi dalam IoT

### 3.1 Pendahuluan

IoT merujuk pada jaringan-jaringan fisik yang saling terhubung dan dapat berkomunikasi secara mandiri melalui internet (Ashari & Ayuningtyas, 2022). Dalam konteks IoT, protokol komunikasi digunakan untuk memungkinkan perangkat IoT berbagi data dan saling berinteraksi dengan perangkat lain, sistem, atau aplikasi.

Protokol komunikasi dalam IoT sangat penting karena berperan dalam mengatur bagaimana perangkat IoT berkomunikasi, berbagi data, dan menjalankan perintah.

Protokol tersebut harus mempertimbangkan aspek-aspek berikut:

1. Efisiensi

Protokol komunikasi IoT harus efisien dalam hal penggunaan sumber daya, seperti bandwidth, daya, dan kapasitas memori. Banyak perangkat IoT memiliki keterbatasan sumber daya, sehingga protokol yang efisien menjadi penting untuk menjaga kinerja perangkat.

2. Skalabilitas

Protokol komunikasi harus dapat diimplementasikan dalam jaringan IoT yang berkembang dengan banyak perangkat yang terhubung.

Protokol skalabel memungkinkan integrasi mudah dan penambahan perangkat baru tanpa mengganggu kinerja jaringan secara keseluruhan.

### 3. Keamanan

Dalam IoT, keamanan merupakan aspek penting (Muttaqin et al., 2023). Protokol komunikasi harus mampu menyediakan mekanisme keamanan yang memadai untuk melindungi integritas, kerahasiaan, dan otentikasi data yang dikirim antara perangkat IoT dan sistem yang terhubung.

### 4. Interoperabilitas

Jaringan IoT sering kali terdiri dari perangkat dan sistem yang berasal dari berbagai vendor dan platform (Ashari et al., 2022). Oleh karena itu, protokol komunikasi harus mendukung interoperabilitas, yaitu kemampuan perangkat dan sistem yang berbeda untuk saling berkomunikasi dan beroperasi bersama tanpa hambatan.

### 5. Latensi dan Responsivitas

Beberapa aplikasi IoT membutuhkan komunikasi real-time atau responsif yang cepat antara perangkat dan sistem yang terhubung (Ashari, 2022). Oleh karena itu, protokol komunikasi harus mampu menangani latensi rendah dan memberikan kinerja yang responsif.

Ada banyak protokol komunikasi yang digunakan dalam IoT, seperti MQTT, CoAP, HTTP, AMQP, dan WebSocket, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Pilihan protokol komunikasi tergantung pada kebutuhan spesifik aplikasi dan lingkungan jaringan yang digunakan.

Secara keseluruhan, protokol komunikasi dalam IoT menjadi fondasi penting untuk memastikan interaksi yang efisien, aman, dan terkoordinasi antara perangkat IoT dan sistem terkait.

## 3.2 Protokol MQTT

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) adalah sebuah protokol komunikasi yang dirancang khusus untuk aplikasi IoT yang memiliki keterbatasan sumber daya, seperti perangkat dengan daya baterai terbatas atau jaringan konektivitas yang terbatas. MQTT menggunakan model penerbit-langganan (publish-subscribe) di mana perangkat IoT dapat mengirim pesan ke topik tertentu dan perangkat lain dapat berlangganan topik tersebut untuk menerima pesan tersebut.

Berikut adalah beberapa komponen dan cara kerja protokol MQTT:

### 1. Broker MQTT

Broker MQTT adalah pusat server yang bertanggung jawab untuk mengoordinasikan komunikasi antara penerbit (publisher) dan pelanggan (subscriber). Ketika penerbit mengirim pesan ke topik tertentu, broker menyimpan pesan tersebut dan mengirimkannya kepada pelanggan yang telah berlangganan topik tersebut.

### 2. Penerbit (Publisher)

Penerbit adalah perangkat atau aplikasi yang mengirimkan pesan ke broker MQTT dengan menggunakan topik tertentu. Pesan yang dikirim oleh penerbit dapat berisi sensor data, perangkat status, atau perintah untuk perangkat lain.

### 3. Pelanggan (Pelanggan)

Pelanggan adalah perangkat atau aplikasi yang berlangganan (berlangganan) ke topik tertentu di broker MQTT. Pelanggan akan menerima pesan yang dikirim oleh penerbit ke topik yang sama dengan yang telah mereka langgani.

### 4. Topik (Topik)

Topik adalah string yang digunakan untuk mengidentifikasi subjek atau kategori tertentu yang berkaitan dengan pesan. Penerbit dan pelanggan berkomunikasi melalui topik-topik ini. Misalnya, perangkat sensor suhu dapat menerbitkan pesan ke topik "suhu/ruang1" dan perangkat lain dapat berlangganan ke topik yang sama untuk menerima pembaruan suhu ruangan tersebut.

## 5. QoS (Quality of Service)

MQTT mendukung beberapa level QoS untuk mengatur permintaan dan pengiriman pesan. Ada tiga level QoS yang tersedia:

### a. QoS 0 (Fire and Forget)

Pesan dikirimkan sekali tanpa konfirmasi pengiriman. Tidak ada jaminan bahwa pesan akan sampai ke penerima.

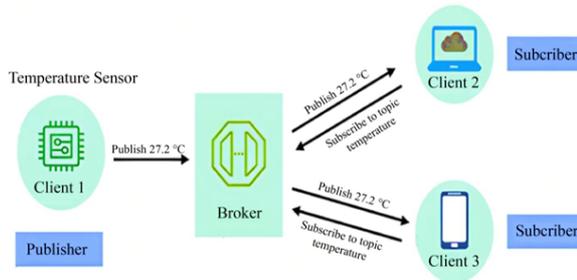
### b. QoS 1 (Setidaknya Sekali)

Pesan dikirimkan sekali dan dikonfirmasi oleh penerima. Jika penerima tidak mengirimkan konfirmasi, penerbit akan mengirim ulang pesan.

### c. QoS 2 (Tepat Sekali)

Pesan dikirimkan dengan memastikan bahwa pesan tiba tepat sekali ke penerima. Proses ini melibatkan pertukaran pesan konfirmasi antara penerbit dan pelanggan.

Proses kerja MQTT secara umum adalah sebagai berikut:



**Gambar 3.1:** Arsitektur MQTT (Pawar et al., 2023)

- (1) *Publisher* mengirim pesan ke broker MQTT dengan menyertakan topik yang sesuai.
- (2) *Subscriber* menerima pesan dari penerbit dan menyimpannya.
- (3) *Subscriber* mengirim pesan kepada pelanggan yang telah berlangganan ke topik yang sama.
- (4) Pelanggan menerima pesan dari broker dan memprosesnya sesuai kebutuhan.

1. Koneksi ke Broker MQTT:  
Perangkat atau aplikasi IoT harus terhubung ke broker MQTT. Biasanya, perangkat IoT akan menggunakan protokol TCP/IP untuk melakukan koneksi dengan broker melalui port yang ditentukan (biasanya port 1883 atau port 8883 untuk koneksi yang aman dengan TLS/SSL).
2. Publisher (Penerbit):
  - a. Perangkat atau aplikasi yang ingin mengirimkan pesan ke broker MQTT disebut sebagai penerbit.
  - b. Penerbit membuat pesan dengan data yang ingin dikirim dan menentukan topik (topik) yang sesuai. Topik digunakan untuk mengidentifikasi subjek atau kategori pesan yang akan dikirim.
  - c. Penerbit mengirim pesan ke broker MQTT dengan menyertakan topik yang sesuai dan dapat menggunakan salah satu tingkat QoS (Quality of Service) yang didukung oleh MQTT (QoS 0, QoS 1, atau QoS 2). Tingkat QoS menentukan perbedaan dan pengiriman pesan.
3. MQTT broker:
  - a. Broker MQTT berperan sebagai pusat server yang menerima dan mengkoordinasikan pesan antara penerbit dan pelanggan.
  - b. Broker menerima pesan dari penerbit dan menyimpan sesuai dengan topik yang terkait.
  - c. Setelah menerima pesan, broker mengirimkan pesan tersebut kepada semua pelanggan yang telah berlangganan ke topik yang sama dengan topik pesan yang diterima.
4. Subscriber (Pelanggan):
  - a. Perangkat atau aplikasi yang ingin menerima pesan dari broker MQTT disebut sebagai pelanggan.
  - b. Pelanggan berlangganan ke topik tertentu yang mereka minati di broker MQTT.
  - c. Ketika ada pesan baru yang diterbitkan ke topik yang telah mereka langgani, broker mengirimkan pesan tersebut kepada pelanggan yang berlangganan topik tersebut.

- d. Pelanggan menerima pesan dari broker dan memprosesnya sesuai kebutuhan mereka.
5. Interaksi Berkelanjutan:
    - a. Penerbit dan pelanggan dapat berinteraksi secara berkelanjutan dengan broker MQTT, mengirim dan menerima pesan sesuai kebutuhan.
    - b. Pelanggan dapat berlangganan ke beberapa topik sekaligus untuk menerima pesan dari berbagai sumber yang relevan.

Selama proses komunikasi, MQTT juga mendukung mekanisme pengaturan waktu tetap (Retained Message) di mana broker dapat menyimpan pesan terakhir yang diterbitkan ke suatu topik. Ini memungkinkan pelanggan yang baru bergabung untuk menerima pesan terakhir tentang topik yang mereka langgani setelah mereka terhubung ke broker.

Secara keseluruhan, protokol MQTT memungkinkan perangkat IoT untuk berkomunikasi secara efisien, dengan kelembutan dan latensi yang dapat disesuaikan menggunakan tingkat QoS yang tepat.

## 3.3 Protokol CoAp

Protokol CoAP (Constrained Application Protocol) adalah protokol aplikasi web yang dirancang khusus untuk perangkat IoT yang memiliki keterbatasan sumber daya, seperti perangkat dengan daya baterai terbatas atau konektivitas jaringan yang terbatas. CoAP dirancang agar efisien dalam penggunaan bandwidth dan memperhatikan kendala sumber daya pada perangkat IoT.

Berikut adalah beberapa poin penting tentang protokol CoAP:

1. Efisiensi dan Ringan  
CoAP dikembangkan dengan tujuan menjadi protokol yang ringan dan efisien. Protokol ini meminimalkan komunikasi overhead dan penggunaan bandwidth, sehingga cocok untuk perangkat IoT yang memiliki keterbatasan sumber daya.

## 2. Model Klien-Server

CoAP menggunakan model klien-server, di mana perangkat IoT bertindak sebagai klien yang mengirim permintaan (request) ke server yang melayani (serve). Permintaan dapat berupa pengambilan (GET), pengiriman (POST), pembaruan (PUT), atau penghapusan (DELETE) sumber daya yang disediakan oleh server.

## 3. Pengalamatan dan Identifikasi

CoAP menggunakan skema pengalamatan dan bantuan yang sederhana. Identifikasi sumber daya (resource) dalam CoAP menggunakan URI (Uniform Resource Identifier) yang mirip dengan HTTP. Contohnya, sebuah sumber daya dapat diidentifikasi dengan URI `coap://[alamat_IP]:[port]/[path]`.

## 4. Protokol Berbasis UDP

CoAP menggunakan *User Datagram Protocol* (UDP) sebagai protokol transportasinya. UDP lebih ringan dibandingkan dengan *Transmission Control Protocol* (TCP) yang umum digunakan dalam protokol HTTP. Penggunaan UDP memungkinkan pengurangan overhead dan latensi, serta efisien dalam situasi jaringan yang memiliki keterbatasan.

## 5. Dukungan untuk QoS

CoAP mendukung tiga tingkat QoS yang serupa dengan MQTT, yaitu QoS 0 (pengiriman sekali), QoS 1 (pengiriman setidaknya satu kali), dan QoS 2 (pengiriman tepat satu kali). Tingkat QoS ini memungkinkan penyesuaian pengiriman pesan tergantung pada kebutuhan aplikasi IoT.

**Mekanisme Observe:** CoAP menyediakan fitur Observe yang memungkinkan perangkat IoT untuk berlangganan ke sumber daya dan menerima pembaruan secara asinkron ketika sumber daya tersebut berubah. Fitur ini sangat berguna untuk menyatukan perubahan data dalam waktu nyata tanpa perlu melakukan permintaan secara berulang.

**Keamanan:** CoAP juga memiliki mekanisme keamanan yang dapat diimplementasikan menggunakan Datagram Transport Layer Security

(DTLS), yaitu protokol keamanan yang mirip dengan SSL/TLS untuk melindungi integritas dan kerahasiaan data yang dikirim melalui CoAP.

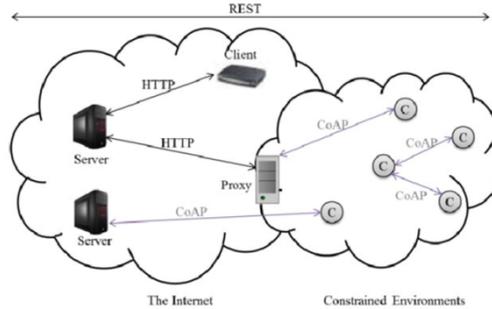
Protokol CoAP digunakan secara luas dalam lingkungan IoT, terutama pada perangkat dengan keterbatasan sumber daya seperti sensor jarak jauh, sistem rumah pintar, dan aplikasi industri yang terhubung. Protokol ini memberikan alternatif yang efisien dan ringan dalam komunikasi.

Cara kerja protokol CoAP (Constrained Application Protocol) melibatkan beberapa komponen dan langkah-langkah berikut:

1. Klien CoAP:
  - a. Perangkat atau aplikasi yang ingin mengakses sumber daya melalui CoAP disebut sebagai klien CoAP.
  - b. Klien CoAP membuat permintaan (request) ke sumber daya dengan menggunakan metode yang sesuai, seperti GET (untuk pengambilan data), POST (untuk pengiriman data), PUT (untuk pembaruan data), atau DELETE (untuk penghapusan data).
  - c. Permintaan juga mencakup URI (Uniform Resource Identifier) yang mengidentifikasi sumber daya yang diinginkan, seperti `coap://[alamat_IP]:[port]/[path]`.
2. CoAP server:
  - a. Server CoAP adalah perangkat atau aplikasi yang menyediakan sumber daya dan melayani permintaan dari klien CoAP.
  - b. Server CoAP menangani permintaan yang masuk dan memberikan tanggapan (response) sesuai dengan metode permintaan yang diterima.
  - c. Respon server CoAP berisi kode status (status code), payload data, dan informasi tambahan seperti tipe media (content type) dari data yang dikirimkan.
3. Datagram Transport Layer Security (DTLS):
  - a. CoAP dapat digunakan dengan DTLS untuk menyediakan lapisan keamanan tambahan.
  - b. DTLS adalah protokol keamanan yang mirip dengan SSL/TLS, dan digunakan untuk melindungi integritas dan kerahasiaan data yang dikirimkan melalui CoAP.

- c. Dengan menggunakan DTLS, klien dan server CoAP dapat melakukan pertukaran kunci dan menyandikan data yang dikirim secara aman.
4. Format Pesan CoAP:
- a. Pesan CoAP terdiri dari header dan opsi (opsi) yang menyertakan informasi tambahan terkait permintaan atau respons.
  - b. Header CoAP mencakup informasi seperti jenis metode (GET, POST, PUT, DELETE), status kode, dan nomor bantuan untuk mengelola aliran pesan.
  - c. Opsi CoAP adalah pasangan nilai kunci yang digunakan untuk mengirimkan informasi tambahan seperti tipe media, jalur URI, atau observasi (amati) sumber daya.
5. Pertukaran Pesan:
- a. Pesan pesan dalam CoAP dapat menggunakan operasi unicast (poin ke poin) atau multicast (mengirim ke beberapa perangkat secara bersamaan).
  - b. Klien CoAP mengirimkan permintaan ke server CoAP melalui UDP (User Datagram Protocol), dengan menggunakan port khusus untuk protokol CoAP (biasanya port 5683).
  - c. Server CoAP menerima permintaan, memprosesnya, dan mengirimkan tanggapan ke klien CoAP.
  - d. Respon dapat berisi data yang diminta oleh klien, kode status untuk menunjukkan kegagalan atau kegagalan, dan opsi tambahan seperti tipe media atau pengamatan (amati).

Melalui langkah-langkah di atas, protokol CoAP memungkinkan klien CoAP untuk berkomunikasi dengan server CoAP secara efisien di lingkungan yang memiliki keterbatasan sumber daya, seperti perangkat IoT. Gambaran protokol dari CoAP dapat dilihat pada gambar 3.2.



**Gambar 3.2:** Protokol CoAP (Ouakasse & Rakrak, 2019)

## 3.4 Protokol HTTP

Protokol HTTP (Hypertext Transfer Protocol) adalah protokol komunikasi yang digunakan untuk pertukaran data antara klien dan server di web. Dalam konteks IoT (Internet of Things), protokol HTTP sering digunakan untuk komunikasi antara perangkat IoT dan server cloud.

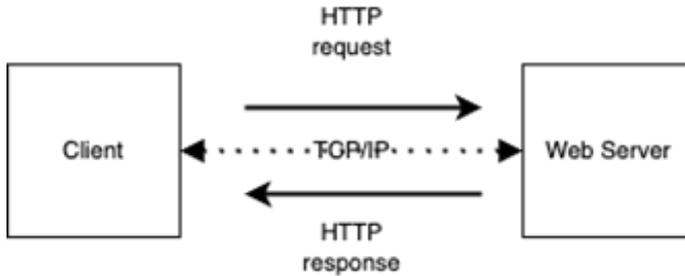
HTTP adalah aplikasi protokol yang berjalan di atas protokol protokol seperti TCP (Transmission Control Protocol) atau TLS (Transport Layer Security). Protokol ini digunakan untuk mengirimkan permintaan dari klien ke server dan menerima respon dari server. HTTP beroperasi dalam mode tanggap permintaan, di mana klien mengirimkan permintaan HTTP ke server, dan server merespons dengan data yang diminta atau kode status yang relevan.

Adapun cara kerja dari protokol ini adalah:

1. Permintaan HTTP dari Klien:
  - a. Perangkat IoT bertindak sebagai klien HTTP yang ingin mengirimkan permintaan ke server.
  - b. Klien HTTP membuat permintaan pesan yang terdiri dari beberapa komponen utama, termasuk metode (GET, POST, PUT, DELETE), URI (Uniform Resource Identifier) yang mengidentifikasi sumber daya yang diminta, dan opsi tambahan seperti header (seperti Content-Type) atau payload (data yang dikirimkan).

2. Pengiriman permintaan ke Server:
  - a. Permintaan HTTP dikirimkan dari klien ke server menggunakan protokol transportasi yang mendasarinya, seperti TCP atau TLS.
  - b. Klien membuat koneksi dengan server menggunakan alamat IP dan port yang ditentukan untuk server HTTP.
3. Tanggapan dari Server:
  - a. Server menerima permintaan HTTP dari klien dan memprosesnya.
  - b. Server menghasilkan respons yang terdiri dari beberapa komponen, termasuk kode status HTTP (misalnya 200 OK untuk sukses atau 404 Not Found untuk sumber daya yang tidak ditemukan), header (seperti Content-Type dan Content-Length), dan payload (data yang dikirimkan kembali ke klien).
4. Respon Pengiriman ke Klien:
  - a. Respons HTTP dikirimkan dari server ke klien melalui protokol transportasi yang sama yang digunakan untuk permintaan.
  - b. Respon dikirim dalam format yang sesuai, seperti HTML, JSON, atau XML, tergantung pada tipe konten yang diminta oleh klien melalui header Content-Type.
5. Menangani Respon di Klien:
  - a. Klien menerima respon dari server dan memprosesnya sesuai kebutuhan.
  - b. Klien dapat mengambil data dari tanggapan, memperbarui konfigurasi perangkat, mengirimkan permintaan berikutnya, atau melakukan tindakan lain sesuai dengan keperluan aplikasi IoT.

Melalui protokol HTTP, perangkat IoT dapat berkomunikasi dengan server secara standar dan terstandarisasi. Ini memungkinkan pengiriman data, pengambilan data, dan interaksi dengan aplikasi web atau layanan cloud yang ada. Protokol HTTP memainkan peran penting dalam integrasi perangkat IoT dengan sistem yang lebih luas dalam ekosistem internet. Gambaran protokol HTTP dapat dilihat pada gambar 3.3.



**Gambar 3.3:** Protokol HTTP

## 3.5 Protokol AMQP

Protokol AMQP (Advanced Message Queuing Protocol) adalah protokol yang dirancang untuk pengiriman pesan yang canggih dan efisien antara aplikasi atau perangkat IoT. Protokol ini memungkinkan komunikasi yang handal, skalabel, dan interoperabilitas yang tinggi di dalam lingkungan IoT.

Protokol AMQP (Advanced Message Queuing Protocol) berfungsi sebagai protokol komunikasi yang memfasilitasi pertukaran pesan canggih antara aplikasi atau perangkat IoT.

Berikut adalah cara kerja protokol AMQP dalam konteks IoT:

1. Penerbit (Penerbit):
  - a. Penerbit adalah entitas yang mengirimkan pesan ke bursa (exchange) dalam protokol AMQP.
  - b. Penerbit membuat pesan dengan memasukkan konten pesan dan atribut lainnya, seperti kunci perutean (kunci rute) yang mengarahkan pesan ke antrian atau barang yang tepat.
  - c. Penerbit kemudian mengirimkan pesan tersebut ke bursa menggunakan koneksi AMQP.
2. Pertukaran (Pertukaran):
  - a. Pertukaran dalam protokol AMQP bertindak sebagai penghubung antara penerbit dan antrian.

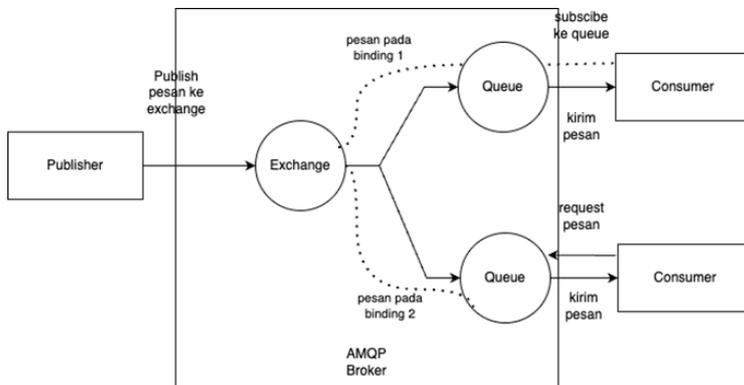
- b. Pertukaran menerima pesan dari penerbit dan mengarahkan pesan tersebut ke antrian yang sesuai berdasarkan aturan routing yang ditentukan.
    - c. Aturan routing dapat ditentukan berdasarkan rute kunci (routing key), tipe pertukaran, atau kriteria lain yang ditentukan.
3. Antrian (Antrian):
  - a. Antrian dalam protokol AMQP berfungsi sebagai penyimpanan sementara untuk pesan yang dikirimkan dari pertukaran.
  - b. Antrian menyimpan pesan sampai ada penerima (pelanggan) yang siap menerima pesan tersebut.
  - c. Penerima dapat menerima pesan dari antrian sesuai dengan aturan yang ditentukan, seperti konsumsi pesan secara FIFO (First-In-First-Out).
4. Pelanggan (Pelanggan):
  - a. Pelanggan adalah entitas yang menerima pesan dari antrian dalam protokol AMQP.
  - b. Pelanggan membuat koneksi ke antrian yang sesuai dan meminta pesan dengan menggunakan protokol AMQP.
  - c. Setelah pesan diterima, pelanggan dapat memproses pesan tersebut sesuai dengan kebutuhan aplikasi IoT.
5. Konfirmasi dan Keandalan:
  - a. Protokol AMQP menyediakan mekanisme konfirmasi untuk memastikan kerahasiaan pengiriman pesan.
  - b. Setelah penerima menerima pesan dari antrian, penerima mengirimkan konfirmasi ke antrian atau hal yang menandakan bahwa pesan telah diterima dengan sukses.
  - c. Jika pesan tidak dapat dikonsumsi atau ada kegagalan dalam pengiriman, pesan tetap berada dalam antrian untuk diproses kembali atau ditangani sesuai dengan kebijakan antrian yang telah ditentukan.

6. Skalabilitas dan Interoperabilitas:
  - a. Protokol AMQP mendukung skenario yang memungkinkan skala yang tinggi dan interoperabilitas dengan berbagai perangkat dan platform yang mendukung protokol ini.
  - b. Protokol ini memungkinkan pertukaran pesan yang efisien antara perangkat IoT yang berbeda dan integrasi dengan sistem lain dalam lingkungan IoT.
7. Keamanan:
  - a. Protokol AMQP menyediakan fitur keamanan melalui mekanisme otentikasi dan enkripsi pesan.
  - b. Keamanan dapat diterapkan dengan menggunakan protokol
8. Mekanisme Otentikasi:
  - a. Protokol AMQP mendukung mekanisme otentikasi yang memungkinkan klien dan server untuk memverifikasi identitas satu sama lain sebelum memulai pertukaran pesan.
  - b. Hal ini dapat dilakukan melalui penggunaan sertifikat, akses token, atau metode otentikasi lainnya yang disepakati antara klien dan server.
9. Enkripsi Pesan:
  - a. Untuk menjaga kerahasiaan dan integritas pesan yang dikirimkan melalui jaringan, protokol AMQP dapat menggunakan protokol transportasi yang aman seperti TLS (Transport Layer Security).
  - b. Dengan menggunakan enkripsi, pesan yang dikirim antara klien dan server dienkripsi sehingga hanya penerima yang sah yang dapat membaca.
10. Pemantauan dan Manajemen:
  - a. Protokol AMQP juga menyediakan fitur monitoring dan manajemen untuk mengatasi kesehatan sistem, melacak browser, dan mengelola antrian atau transaksi.
  - b. Dengan fitur ini, pengelola sistem dapat memantau aktivitas pesan, menangani antrian yang penuh, dan melacak statistik kinerja dalam lingkungan IoT.

### 11. Integrasi dengan Layanan Lain:

- a. AMQP juga dapat diintegrasikan dengan layanan dan protokol lain dalam ekosistem IoT, seperti protokol MQTT atau layanan cloud seperti Azure Service Bus atau RabbitMQ.
- b. Integrasi ini memungkinkan perangkat IoT untuk berkomunikasi dan berinteraksi dengan sistem lain secara efisien dan terstandarisasi.

Dengan cara kerja yang dijelaskan di atas, protokol AMQP memfasilitasi pertukaran pesan yang andal, aman, dan efisien antara perangkat IoT dan aplikasi lainnya. Protokol ini memainkan peran penting dalam menyediakan infrastruktur komunikasi yang kuat dalam lingkungan IoT yang kompleks dan terdistribusi. Gambaran cara kerja protokol AMQP dapat dilihat pada gambar 3.4.



**Gambar 3.4:** Protokol AMQP



# Bab 4

## Sensor dan Aktuator pada IoT

### 4.1 Pendahuluan

Sensor dan aktuator memegang peranan penting dalam *Internet of Things* (IoT). Kedua hal tersebut menghubungkan antara dunia fisik dan digital. Sensor memproses secara digital sedangkan aktuator yang melakukan tindakan fisiknya. Sensor merupakan perangkat yang mendeteksi keadaan atau perubahan suasana lingkungan kemudian mengubahnya menjadi sinyal listrik sehingga dapat diterima dan diproses oleh perangkat elektronik. Sedangkan aktuator adalah perangkat yang menerima sinyal dari sistem pengendali untuk menggerakkan atau mengendalikan sistem.

Sensor dalam IoT berperan sebagai pengumpul data dari lingkungan sekitarnya, contohnya: suhu, kelembapan, tekanan, cahaya, gerakan, dan lainnya. Data dari keadaan lingkungan tersebut digunakan untuk tujuan tertentu, seperti pemantauan, analisis, dan pengambilan keputusan. Sensor berperan merespons perubahan dalam interaksi dengan lingkungan. Sistem kendali yang terhubung dengan internet berfungsi sebagai pemantau dan pengendali secara langsung. Contohnya, sensor suhu mendeteksi dan memantau keadaan suhu ruangan, apabila suhu ruangan panas atau dingin maka sensor akan mengirimkan sinyal suhu panas ke mikrokontroler.

Sinyal yang dikirimkan dari sensor akan diolah mikrokontroler, selanjutnya mengirimkan sinyal pada perangkat aktuator untuk mengendalikan atau menggerakkan sistem gerak atau tindakan. Contohnya: perangkat aktuator menerima sinyal untuk menyalakan pendingin udara. Pendingin udara akan terus bekerja selama sensor belum mendeteksi suhu yang ditetapkan sebagai suhu ideal ruangan. Perangkat aktuator akan mematikan pendingin udara jika sensor mendeteksi udara dalam ruangan sesuai dengan yang diinginkan dan telah diprogram dalam mikrokontroler.

Perangkat aktuator dalam IoT berperan untuk melakukan tindakan fisik berdasarkan instruksi yang diterima. Selain itu juga, aktuator dapat mengontrol lebih dari satu perangkat dan sistem. Contoh, aktuator dapat digunakan untuk mengendalikan pendingin udara, atau peralatan elektronik. Perangkat aktuator dapat berfungsi secara otomatis. IoT dapat bekerja tanpa campur tangan manusia. Dalam sistem rumah pintar, aktuator dapat mengendalikan lampu, pemanas air, televisi, pendingin udara, kamera pemantau, dan peralatan elektronik lainnya. Semua komponen dalam rumah pintar yang terhubung dengan internet, dapat dikendalikan dari jarak jauh.

IoT berperan sangat penting dalam mendukung efisiensi dan penghematan energi. Sensor dan aktuator dapat mengatur konsumsi listrik dalam rumah pintar dengan mengatur penggunaan semua peralatan elektronik. Sistem otomatis akan bekerja untuk menghemat energi, contohnya lampu penerangan dinyalakan hanya jika dibutuhkan saja, pendingin udara akan dinyalakan sesuai kebutuhan suhu ruangan, televisi akan dimatikan otomatis jika tidak ditonton. Sensor dan aktuator juga sangat berperan dalam sistem keamanan. Contohnya, keamanan pintu dan jendela rumah dapat dikontrol untuk mengunci dan membuka secara otomatis, kamera pemantau keamanan rumah dapat mendeteksi aktivitas yang mencurigakan, aktuator dapat mengunci pintu dan mengaktifkan alarm tanda bahaya.

## 4.2 Jenis-Jenis Sensor dan Aktuator

Sensor dalam *Internet of Things* (IoT) banyak jenisnya. Jenis sensor disesuaikan dengan kegunaannya dalam aplikasi IoT. Berikut ini beberapa sensor yang umum digunakan dalam IoT adalah:

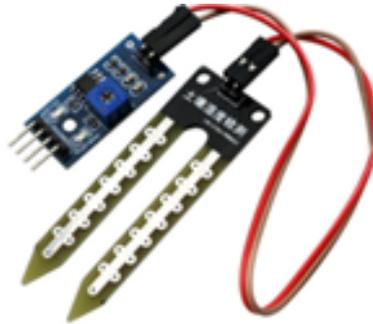
### 1. Sensor suhu dan kelembapan

Untuk mengukur suhu dan kelembapan udara, terdapat tiga jenis sensor, pertama sensor suhu berfungsi untuk mengukur temperatur udara. Sensor suhu ini bekerja dengan cara mengubah temperatur yang ditangkap oleh sensor menjadi sinyal listrik yang dapat dianalisis nilainya. Selanjutnya mikrokontroler akan mengolah sinyal dari sensor suhu untuk ditampilkan nilai temperaturnya.



**Gambar 4.1:** Sensor Suhu

Kedua sensor kelembapan tanah, berfungsi untuk mengukur kelembapan tanah. Sensor ini berbentuk lempengan plat yang ditancapkan ditanah. Sensor akan mengirimkan sinyal tegangan menuju mikrokontroler untuk diproses menampilkan nilai kelembapan.



**Gambar 4.2:** Sensor Kelembapan Tanah

Ketiga adalah sensor suhu dan kelembapan udara. Sensor ini berfungsi untuk mengetahui suhu dan kelembapan udara. Sensor DHT11 memiliki elemen pengukur kelembapan dan termistor untuk mengukur suhu. Elemen pengukur kelembapan mengukur dengan memanfaatkan perubahan resistansi antara dua elektroda yang memiliki lapisan polimer sedangkan termistor pengukur suhu bekerja dengan memanfaatkan perubahan resistansi perubahan suhu. Kemudian sensor suhu dan kelembapan udara tersebut mengirimkan sinyal digital kepada mikrokontroler untuk diolah dan ditampilkan dalam angka suhu dan kelembapan udara.



**Gambar 4.3:** Sensor Suhu dan Kelembapan Udara

## 2. Sensor gerak

Berfungsi mendeteksi gerakan didepan sensor, seperti keberadaan seseorang yang ada di dalam ruangan. Contoh sensor gerak adalah

HC-SR501. Sensor ini bekerja dengan cara mendeteksi pancaran sinar inframerah pasif dari obyek didepan sensor, kemudian menangkap sinar inframerah yang mengandung energi panas sehingga dapat menghasilkan sinyal listrik yang menimbulkan tegangan sehingga dapat dibaca oleh mikrokontroler.



**Gambar 4.4:** Sensor Gerak (tipe HC-SR501)

3. Sensor pintu dan jendela

Pengaman pintu dan jendela menggunakan beberapa sensor yaitu: sensor reed switch magnetic, sensor ini bekerja dengan cara bila pintu atau jendela terbuka, magnet akan bergerak menjauhi switch, kemudian switch akan mengirim sinyal kepada sistem kontrol.



**Gambar 4.5:** Sensor Reed Switch Magnetic

Selanjutnya sensor kapasitif, mampu bekerja dengan mengubah switch dan mengirimkan sinyal kepada sistem kontrol. Sensor tersebut mengeluarkan medan listrik, jika ada material didekatnya

maka medan listrik akan terganggu dan sensor akan membaca sebagai obyek (Juliansyah, 2022).



**Gambar 4.6:** Sensor kapasitif

Sensor berikutnya adalah getaran, sensor tersebut mendeteksi getaran dari pintu atau jendela yang dibuka dengan paksa. Sensor yang banyak digunakan adalah accelerometer. Sensor ini bekerja dengan mengukur getaran dari elemen kapasitas (capacitive), piezoelectric, resistan (piezoresistive), perubahan pada daerah terinduksi magnet, resistivitas magnet dan suhu panas (Sensorindo, 2020).



**Gambar 4.7:** Sensor Getaran

#### 4. Sensor cahaya

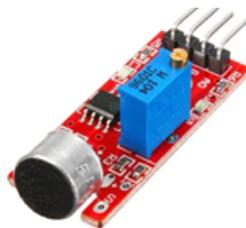
Sensor ini berguna untuk mengatur menyalakan dan mematikan lampu pada saat diperlukan saja untuk menghemat energi listrik. Sensor cahaya juga dapat mengatur pencahayaan sesuai dengan kebutuhan. Salah satu sensor cahaya adalah Light Dependent Resistor

(LDR), prinsip kerja dari sensor ini adalah semakin kuat intensitas cahaya yang didapat maka resistansinya akan semakin kecil. Saat sensor terkena cahaya akan melepaskan banyak elektron yang menyebabkan resistansi menjadi kecil dan pada saat gelap elektron yang dilepas hanya sedikit sehingga nilai resistansinya menjadi besar (Madenginer, 2023).



**Gambar 4.8:** Sensor Cahaya

5. Sensor suara dapat melakukan pekerjaan berdasarkan perintah suara, seperti menyalakan atau mematikan lampu, peralatan elektronik, atau mendeteksi kebisingan. Cara kerja sensor suara dengan cara mengubah gelombang sinus suara menjadi gelombang sinus energi listrik. Gelombang suara yang mengenai membran sensor yang menentukan kuat atau lemahnya gelombang listrik yang dihasilkan (Prastyo, 2022b).



**Gambar 4.9:** Sensor Suara

6. Sensor kualitas udara  
Sensor ini dapat mendeteksi polusi udara berbahaya dan bisa mengatur sistem pembersih udara. Contoh sensor kualitas udara adalah MQ135. Sensor ini dapat mendeteksi gas amonia ( $\text{NH}_3$ ),

Natrium Dioksida ( $\text{NO}_x$ ), Alkohol atau Ethanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ), Benzena ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), Gas Belerang atau Sulfur Hidroksida ( $\text{H}_2\text{S}$ ), Karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), dan asap. Sensor ini memiliki sensitivitas yang ditentukan oleh nilai resistansi yang berbeda untuk setiap konsentrasi gas. Kalibrasi konsentrasi  $\text{NH}_3$  sebesar 100 ppm atau alkohol sebesar 50 ppm (Rosa, Simon and Lieanto, 2020).



**Gambar 4.10:** Sensor Kualitas Udara (MQ135)

7. Sensor kebakaran dan asap

Sensor ini berguna untuk mendeteksi dini kebakaran dan asap. Dalam mendeteksi kebakaran, komponen utama alat pendeteksian kebakaran adalah sensor pendeteksian, panel kontrol, perangkat pemberitahuan, dan sumber listrik. Ketika ada kebakaran, sensor asap akan mengirimkan sinyal kepada panel kontrol kemudian sistem alarm kebakaran akan diaktifkan. Contoh sensor asap adalah MQ2, sensor ini dapat mendeteksi gas Methane, Butane, LPG dan asap (Prastyo, 2020).



**Gambar 4.11:** Sensor Asap (MQ2)

Aktuator dalam IoT adalah perangkat yang melakukan fungsi berdasarkan perintah yang diterima dari sistem kontrol atau perintah dari pengguna. Aktuator memiliki fungsi sebagai komponen keluaran untuk berinteraksi dengan tindakan fisik.

Aktuator dapat dibedakan berdasarkan fungsi kerjanya yaitu:

1. Aktuator melakukan tindakan fisik sesuai perintah sensor  
Sensor berfungsi sebagai penangkap informasi dari lingkungan sekitar sensor, kemudian mengirimkan sinyal kepada sistem kontrol, selanjutnya memerintahkan aktuator untuk melakukan tindakan. Contohnya: sistem irigasi pintar, sensor kelembapan tanah akan melakukan monitor terhadap kelembapan tanah, jika sensor kelembapan tanah menurun, maka aktuator akan membuka penutup pipa air untuk menyalakan sprinkler air ditanah yang kering.
2. Aktuator berfungsi sebagai pengontrol  
Dalam IoT aktuator dapat berfungsi sebagai perangkat dan sistem. Contohnya: aktuator dalam rumah pintar berfungsi sebagai pengendali, seperti mengatur pencahayaan lampu di dalam dan diluar rumah, termostat dapat mengatur suhu ruangan dengan pendingin ruangan, bisa suhu ruangan sudah pada batas yang ditentukan maka aktuator akan menurunkan suhu agar tetap stabil. Pintu garasi akan bekerja secara otomatis, pintu garasi akan terbuka atau tertutup otomatis apabila kendaraan sudah dimasukkan di dalam garasi. Aktuator bekerja berdasarkan deteksi dari sensor atau bisa juga bekerja dengan cara perintah dari pengguna, menggunakan perintah suara atau gerakan.
3. Aktuator bekerja berdasarkan pengaruh lingkungan  
Aktuator dapat bekerja secara otomatis dalam merespons lingkungan. Contohnya: sistem keamanan rumah pintar, sensor gerak mendeteksi gerakan yang tidak biasa maka sistem kontrol akan mengirimkan perintah kepada aktuator untuk mengunci pintu, kemudian menyalakan lampu dan alarm tanda bahaya.

#### 4. Aktuator bekerja otomatis

Selain dapat bekerja dari respons sensor dan berdasarkan pengaruh lingkungan, aktuator dapat bekerja secara otomatis. Dengan aktuator, sistem IoT dapat mengendalikan secara otomatis semua perangkat berdasarkan data sensor, hal ini dapat meningkatkan efisien dan kenyamanan. Contohnya: lampu penerangan taman akan menyala dan mati otomatis sesuai dengan waktu yang sudah ditentukan,

#### 5. Hemat energi

Aktuator dalam IoT dapat meningkatkan efisiensi energi. Contohnya: pada IoT rumah pintar, semua alat elektronik seperti penerangan, pemanas air, pendingin ruangan dan lainnya berfungsi secara otomatis sesuai dengan kebutuhan, dengan demikian konsumsi energi listrik yang dipakai akan lebih hemat.

## 4.3 Prinsip Kerja Sensor dan Aktuator

Perangkat sensor berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur keadaan fisik atau kimia suatu lingkungan kemudian mengubahnya menjadi sinyal yang dikirimkan kepada sistem kontrol untuk diproses lebih lanjut. Sensor sebagai perangkat yang mendeteksi memiliki prinsip kerja yang beragam sesuai dengan jenis sensornya.

Beberapa prinsip kerja yang digunakan dalam sensor adalah:

#### 1. Sensor optik

Sensor optik bekerja dengan menangkap cahaya atau radiasi elektromagnetik untuk mengubah besaran cahaya menjadi besaran elektrik. Ada dua jenis sensor cahaya berdasarkan perubahan elektrik yaitu: *Photovoltaic* dan *Photoconductive*. Jenis pertama adalah Photovoltaic yaitu jenis sensor yang mengubah besaran cahaya menjadi perubahan tegangan listrik. Contohnya: solar cell. Jenis sensor ini bekerja dengan cara menerima pancaran sinar matahari pada lapisan solar cell kemudian mengubahnya menjadi energi tegangan listrik. Tegangan DC akan muncul pada kedua solar cell

sebesar 0,5 Vdc sampai 0,6 Vdc. Contohnya solar cell pada kalkulator. Jenis yang kedua adalah Photoconductive, sensor jenis ini menangkap cahaya kemudian mengubahnya menjadi nilai resistansi. Contohnya adalah sensor Light Dependent Resistor (LDR), Photo Diode, dan Photo Transistor. Ketiga sensor tersebut pada dasarnya bekerja dengan cara mengubah besaran cahaya yang diterima menjadi besaran konduktans. Sensor jenis ini baik digunakan untuk mengontrol penerangan diluar ruangan yang mendeteksi intensitas cahaya matahari, apabila cahaya matahari redup maka lampu akan menyala (Elektronika, 2023b).

## 2. Sensor listrik

Sensor jenis ini mengukur perubahan arus listrik, tegangan, atau resistansi pada lingkungan sekitarnya. Contoh sensor listrik adalah sensor tekanan, sensor suhu, atau sensor kelembapan. Contoh sensor tekanan adalah MPX4100 merupakan seri *Manifold Absolute Pressure* (MAP). Sensor ini dapat mendeteksi tekanan udara dalam suatu manifold (berjenis). Sensor MPX4100 ini dilengkapi dengan rangkaian kondisi sinyal dan temperatur kalibrasi membuat sensor stabil terhadap perubahan suhu. Contoh sensor suhu adalah termistor atau tahanan thermal adalah komponen semikonduktor dengan karakter sebagai tahanan dengan koefisien tahanan temperatur tinggi (Elektronika, 2023c). Selanjutnya contoh sensor kelembapan adalah YL-69, terdiri dari dua elektroda yang bekerja berbasis resistansi. Sensor membaca kelembapan tanah dari elektroda yang ditanamkan ditanah, kemudian mengalirkan sinyal listrik kepada sistem kendali untuk menentukan nilai kelembapan tanahnya. Sensor lainnya adalah sensor suhu dan kelembapan DHT11. Sensor ini mendeteksi kelembapan suhu dengan kapasitor, perubahan nilai kapasitans menentukan tingkat kelembapan. Sedangkan yang mendeteksi suhu menggunakan termistor koefisien, jika nilai resistansi turun maka suhu naik dan apabila nilai resistansi naik maka suhu akan turun (Maulana, 2022).

### 3. Sensor magnetis

Sensor mendeteksi perubahan medan magnet dalam menentukan perubahan disekitarnya. Contohnya: sensor efek hall. Sensor ini digunakan untuk mengukur kecepatan. Prinsip kerjanya adalah perubahan medan magnet yang terus menerus menyebabkan timbulnya pulsa yang dapat ditentukan besar frekuensinya (Elektronika, 2023a).

4. Sensor akustik mendeteksi perubahan pada lingkungan disekitarnya dengan menangkap gelombang suara atau getaran. Contoh: sensor suara, sensor ultrasonik, dan sensor getaran. Prinsip kerja sensor suara adalah gelombang suara yang masuk akan menggetarkan membran menjadi sinyal listrik kemudian dikirimkan ke sistem kendali untuk diproses lebih lanjut. Contoh sensor suara yaitu KY-307, sensor ini berfungsi untuk mengukur tinggi rendahnya suara dan sebagai mikrofon. Berikutnya, sensor ultrasonik bekerja dengan cara memancarkan sinyal ultrasonik dengan frekuensi dan waktu tertentu, sinyal akan merambat sebagai bunyi, ketika membentur benda didepannya maka sinyal tersebut akan dipantulkan kembali ke sensor penerima. Sinyal yang diterima kemudian diproses untuk mengetahui jarak benda tersebut. Contoh sensor ultrasonik adalah HC-SR04, sensor ini dapat mengukur jarak benda 2 sampai 4 meter. Selanjutnya, sensor getaran mendeteksi getaran yang akan diubah menjadi sinyal listrik. Sensor ini digunakan untuk menghitung kecepatan dan percepatan (Prastyo, 2022a).

5. Sensor kimia dapat mendeteksi atau mengukur perubahan reaksi kimia. Prinsip kerjanya menggunakan elektrokimia, fotokimia untuk menghasilkan sinyal yang akan diukur pada sistem kontrol. Contoh sensor kimia adalah sensor gas. Dalam IoT rumah pintar sensor yang dibutuhkan adalah tipe MQ2 dapat mendeteksi bau gas metana, alkohol, LPG, asap, propana, hidrogen dan karbon monoksida. Selain itu tipe MQ7 merupakan sensor yang dapat mendeteksi gas karbon monoksida (CO) (Prastyo, 2020).

6. Sensor termal adalah sensor yang dapat mengukur perubahan suhu dilingkungan sekitarnya. Prinsip kerjanya adalah mendeteksi perubahan resistansi, emisi radiasi, atau perubahan konduktivitas termal yang diubah menjadi sinyal yang akan dikirimkan kepada sistem kontrol untuk diproses lebih lanjut. Contoh sensor termal adalah Resistance Thermal Detector (RTD) mengubah nilai temperatur menjadi hambatan listrik, semakin besar tinggi temperaturnya semakin besar resistansinya.

Aktuator pada IoT berfungsi mengubah sinyal input menjadi gerakan fisik. Aktuator bekerja tergantung pada jenis aktuatornya. Beberapa prinsip kerja yang digunakan dalam aktuator yaitu:

1. Aktuator elektromagnetik menggunakan medan magnet arus listrik untuk melakukan gerakan mekanik. Komponen mekanik seperti katup, penggerak, atau motor, bergerak berdasarkan arus listrik yang dialirkan pada kumparan medan magnet.
2. Aktuator hidrolika bergerak berdasarkan tekanan fluida melalui silinder hidrolika. Gerakan mekanik yang dilakukan seperti piston.
3. Aktuator pneumatika adalah aktuator yang bergerak berasal dari tekanan udara melalui silinder pneumatika.
4. Aktuator elektro hidrolika menggunakan prinsip hidrolika dan elektro mekanik menggunakan arus listrik yang mengendalikan katup yang mengalirkan fluida hidrolika, sehingga menghasilkan gerakan mekanik.
5. Aktuator elektrostatik menggunakan gaya elektrostatik yang menghasilkan gerakan mekanik.

Sensor dan aktuator yang digunakan untuk keamanan rumah terdiri dari sensor PIR untuk mendeteksi sesuatu, sinyal dikirimkan untuk menggerakkan aktuator untuk menyalakan alarm, mengambil gambar dan merekam video. selain itu aktuator akan mengaktifkan kontrol pengunci pintu secara otomatis (Kurniasih, Rakhman and Salamah, 2020)

## 4.4 Komunikasi Sensor dan Aktuator pada IoT

Bagaimana sensor dan aktuator berkomunikasi dalam jaringan IoT, termasuk protokol komunikasi yang digunakan.

Komunikasi antara sensor dan aktuator pada IoT melibatkan jaringan nirkabel dan cloud. Proses komunikasi antara sensor dan aktuator secara umum adalah:

1. Pengumpulan data

IoT berfungsi sebagai penghubung dalam jaringan cloud dengan sensor. Seperti sensor suhu, kelembapan, atau tekanan, yang dapat mengirimkan data sensor melalui jaringan cloud. Data sensor dalam cloud dapat diakses oleh perangkat telepon pintar untuk mengontrol kerja sensor, misalnya mengontrol keadaan lampu di rumah dari jarak jauh, mengunci atau membuka kunci pintu rumah, atau fungsi sensor lainnya.

2. Pengolahan data

Pengolahan data dilakukan pada sistem kontrol berdasarkan data sinyal yang dikirim dari sensor. Selanjutnya dianalisis dan diproses dalam IoT. Analisis dan proses dalam IoT diolah menggunakan algoritma dan model machine learning. Hasil pengolahan data dalam IoT menghasilkan keputusan berdasarkan data yang diterima.

3. Pengambilan keputusan

Analisis data yang dilakukan dalam jaringan IoT menghasilkan keputusan yang akan diambil. Keputusan yang diambil dikirimkan kembali melalui jaringan nirkabel kepada perangkat aktuator yang sesuai.

4. Tindakan aktuator

Tindakan yang dilakukan oleh aktuator berdasarkan perintah dari IoT. IoT mengirimkan perintah kepada aktuator berdasarkan analisis data yang dilakukan. Contohnya, aktuator mengendalikan pendingin ruangan berdasarkan masukan dari sensor suhu.

Protokol komunikasi pada IoT bekerja berdasarkan kebutuhan dari aplikasi, keamanan, jarak, dan juga kebutuhan daya. Beberapa protokol komunikasi yang digunakan dalam IoT adalah

1. Protokol Message Queue Telemetry Transport (MQTT) dirancang untuk komunikasi berbasis pesan antara perangkat dengan bandwidth rendah. Protokol MQTT dapat bekerja pada kondisi jaringan yang tidak bagus karena daya yang digunakan lebih efisien.
2. Constrained Application Protocol (CoAP) menggunakan protokol berbasis web dengan teknologi rendah. Metode komunikasi yang dilakukan melalui internet dengan permintaan dan respons menggunakan HTTP.
3. Hypertext Transfer Protocol/Secure (HTTP/HTTPS) menggunakan metode komunikasi dengan World Wide Web antar perangkat dan server cloud.
4. ZigBee adalah protokol yang dirancang untuk komunikasi nirkabel dengan daya rendah, seperti rumah dengan sistem kontrol otomatis atau sensor jaringan.
5. Bluetooth digunakan untuk protokol dengan transmisi jarak pendek antara perangkat.

Sensor dan aktuator pada Internet of Things (IoT) berperan penting dalam interaksi antara digital dengan fisik. Sensor berperan penting dalam mengumpulkan data dari lingkungan disekitarnya, seperti suhu, kelembapan, tekanan, suara, cahaya, dan lain sebagainya. Sensor tersebut ditempatkan pada berbagai macam perangkat, selanjutnya data yang terkumpul dari sensor kemudian dikirimkan melalui jaringan nirkabel menuju ke platform IoT yang ada di cloud.

Aktuator merupakan perangkat yang dapat melakukan tindakan fisik sesuai dengan instruksi yang diterima. Instruksi yang dikirim ke aktuator adalah hasil analisis dari platform IoT yang mendapatkan data dari sensor. Contohnya, aktuator mengaktifkan pendingin udara berdasarkan instruksi dari platform IoT berdasarkan masukan dari sensor suhu. Aktuator juga dapat bekerja sebagai pengontrol pendingin udara sesuai dengan ketentuannya.

Protokol komunikasi menjembatani hubungan antara sensor, platform IoT, dan aktuator. Ada beberapa jenis protokol sesuai dengan kebutuhan aplikasi IoT

yang dibangun. Contohnya, MQTT, CoAP, HTTP/HTTPS, ZigBee, dan Bluetooth. Kebutuhan spesifik dari aplikasi IoT menentukan protokol apa yang akan digunakan. Hal ini berhubungan dengan jarak komunikasi, jumlah data yang dikirimkan, konsumsi daya, dan faktor lainnya.

Sensor dan aktuator pada IoT dapat berguna untuk mengumpulkan data secara nyata dari sensor kemudian melakukan analisis data pada platform IoT untuk kemudian melakukan respons dengan aksi nyata yang digunakan untuk mendukung sistem secara otomatis, efisien, dan responsif.

# Bab 5

## Platform Internet of Things (IoT)

### 5.1 Definisi Platform IoT

Platform IoT Merupakan rangkaian komponen perangkat lunak berbasis cloud pada lokasi yang mengatur pergerakan data antara perangkat IoT dan aplikasi IoT, yang juga menyediakan kemampuan tingkat aplikasi bagi manusia untuk berinteraksi dengan sistem IoT (Al-Qaseemi et al., 2017). Platform IoT adalah sekumpulan komponen yang memungkinkan pengembang menyebarkan aplikasi, mengumpulkan data dari jarak jauh, mengamankan konektivitas, dan menjalankan manajemen sensor (Gupta and Quamara, 2020). Platform IoT terkadang disebut sebagai middleware yang berfungsi sebagai jembatan perangkat lunak antara perangkat keras dan lapisan aplikasi. Namun, platform IoT tidak berada di tengah-tengah arsitektur IoT, platform IoT berintegrasi dengan semua lapisan IoT lainnya untuk merampingkan manajemen infrastruktur dan mendukung keamanan di berbagai titik di seluruh tumpukan IoT. Platform IoT menawarkan konektivitas, integrasi, interoperabilitas, dan komposisi dinamis untuk memfasilitasi komunikasi, aliran data, manajemen perangkat, kustomisasi sistem, dan personalisasi layanan. Pada dasarnya, sebuah platform menyediakan alat perangkat lunak yang dikendalikan

pengguna yang dikembangkan dengan tujuan membuka potensi penuh infrastruktur IoT (Verma et al., 2019).

Platform IoT biasanya merupakan tools berbasis Software as a service (SaaS) yaitu perangkat lunak yang bisa digunakan dan diakses melalui internet tanpa harus melakukan pembelian program atau sistem, serta perangkat keras. IoT disediakan/dihosting oleh vendor pihak ketiga yang digunakan untuk mendukung perangkat IoT dan manajemen titik akhir, konektivitas dan manajemen jaringan, manajemen data, pemrosesan dan analisis, pengembangan aplikasi, keamanan siber, kontrol akses, pemantauan, pemrosesan acara, dan *interfacing/integrasi*. Dokumentasi tentang pihak ketiga semacam itu dapat memberikan informasi penting tentang praktik keamanan siber rantai pasokan dan kerentanan untuk memungkinkan pengguna IoT menentukan risiko yang terkait dengan penggunaan platform IoT dengan lebih akurat. Platform IoT mengelola konektivitas perangkat dan memungkinkan pengembang membangun aplikasi perangkat lunak, memfasilitasi pengumpulan data dari perangkat dan memungkinkan transformasi bisnis, menghubungkan berbagai komponen, memastikan aliran komunikasi yang tidak terputus antar perangkat (Gazis et al., 2015).

Implementasi Platform IoT pada dunia bisnis membantu dalam memahami kebutuhan pelanggan dan memfasilitasi pembuatan produk yang memenuhi kebutuhan mereka, sehingga mendukung visibilitas yang lebih besar ke dalam operasi, yang memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik. Internet of Things (IoT) berusaha untuk menghubungkan perangkat dari jarak jauh untuk fungsi yang mulus dan kemudahan pengoperasian. Platform IoT menjembatani kesenjangan antara sensor perangkat dan jaringan data. Ini memberikan wawasan tentang data yang digunakan dalam aplikasi backend (Byun et al., 2016).

Platform IoT terbagi dalam dua kategori Infrastruktur IoT dan Solusi IoT (Verma et al., 2019)

### 1. Infrastruktur IoT?

Infrastruktur IoT mewakili rangkaian layanan tingkat rendah diskrit yang diperlukan untuk menghasilkan Solusi IoT, termasuk layanan otorisasi, layanan sertifikat, layanan penyimpanan data, layanan antrean, layanan komputasi, dan layanan analitik serta layanan komunikasi sinkron dan asinkron.

## 2. Solusi IoT?

Solusi IoT adalah produk kondisi akhir yang diproduksi dan dijual oleh vendor untuk menawarkan kemampuan platform IoT tingkat tinggi yang diperlukan untuk mendapatkan produksi perangkat yang terhubung dengan cerdas di lapangan dan/atau menggunakan perangkat tersebut untuk memberikan layanan bisnis kepada pelanggan. Layanan ini dapat mencakup firmware perangkat dan manajemen firmware, muatan standar dan definisi objek, kemampuan penyediaan dan commissioning perangkat, manajemen undangan akun pengguna, layanan notifikasi, dan integrasi dengan sistem notifikasi seluler. Solusi IoT juga dapat mencakup kontrol perangkat, pemberitahuan perubahan status perangkat, dan layanan lain untuk perangkat komersial/ritel. Terakhir, Solusi IoT dapat mencakup integrasi ke platform perangkat pihak ketiga, manajemen rutin/adekan, kemampuan penemuan perangkat, model preferensi pengguna, dan manajemen multi-pengguna. Solusi IoT dibangun berdasarkan pola arsitektur dan memanfaatkan layanan yang disediakan oleh penyedia Infrastruktur IoT. Hasil bagi pelanggan yang membuat solusi perangkat lunak adalah perbedaan antara membangun dan memelihara solusi backend IoT lengkap Anda sendiri (dalam hal memanfaatkan infrastruktur IoT) versus membawa perangkat dan menggunakannya.

Tujuan utama platform IoT adalah untuk mengurangi kompleksitas dalam penyebaran dan implementasi sistem IoT, selain itu juga untuk memberikan solusi cerdas yang berkelanjutan untuk pengembang IoT, penyedia layanan, perangkat lunak aplikasi, API, mesin data, dan algoritma. Platform IoT harus semakin kritis dalam menghadapi tantangan yang diciptakan oleh lingkungan yang semakin kompleks. Tantangan tersebut sangat bervariasi tergantung pada aplikasi IoT, beberapa aspek termasuk di dalamnya adalah konektivitas multiprotokol, interoperabilitas dan abstraksi pemrograman, penemuan dan manajemen perangkat, adaptasi dan personalisasi, skalabilitas, manajemen data, keamanan dan privasi, layanan cloud, dan deteksi konteks. Singkatnya, platform IoT mengabstraksi perangkat keras sambil menyederhanakan

penerapan, meningkatkan ketahanan, memaksimalkan skalabilitas, meningkatkan keandalan, mengurangi biaya, dan meminimalkan latensi.

## 5.2 Blok Bangunan Platform IoT

Kekuatan inti dari IoT adalah konektivitas, platform IoT bisa sesederhana infrastruktur perangkat lunak yang memungkinkan konektivitas antar objek fisik. Dalam bentuk yang lebih maju, platform tersebut dapat dilengkapi dengan kemampuan seperti kecerdasan buatan (AI), pembelajaran mesin, dan augmented reality.

Platform IoT end-to-end seperti itu biasanya terdiri dari blok bangunan penting berikut:

### 1. Connectivity

Konektivitas yang aman dan luas dari perangkat dan platform IoT adalah komponen dasar dari arsitektur IoT. Setiap platform IoT memiliki lapisan konektivitas yang menyediakan saluran untuk akuisisi data, akses jarak jauh, dan kontrol. Manajemen konektivitas yang andal, aman, dan tepercaya memungkinkan perangkat IoT terhubung dan beroperasi hampir di mana saja, melalui gateway lapangan atau gateway cloud. Dalam lingkungan konektivitas IoT yang terfragmentasi secara masif saat ini, kemampuan untuk mengelola koneksi multi-protokol, multi-lapisan, dan multi-jaringan secara efisien sangat penting untuk mencapai keamanan, produktivitas, dan fleksibilitas.

### 2. Device management

Modul Device management dari platform IoT menangani tugas penyediaan, pendaftaran perangkat, identifikasi perangkat, pemodelan perangkat, administrasi jarak jauh, pembaruan perangkat lunak, otentikasi cloud/backend, pengumpulan dan pengelolaan log terpusat, toleransi kesalahan, pemecahan masalah, diagnostik, dan reboot jarak jauh. Manajemen perangkat IoT menyediakan cara yang efisien untuk merampingkan proses pengelolaan perangkat secara aman dan andal dari platform cloud. Itu juga memiliki kemampuan

untuk menggunakan aturan sisi cloud untuk memulai tindakan, membuat kumpulan perintah yang disesuaikan, dan mengontrol volume, frekuensi, dan tujuan (misalnya, entitas cloud) dari data perangkat.

### 3. Application enablement

Komponen platform ini dirancang untuk menyediakan aplikasi berbasis logika yang berfungsi mengoordinasikan penanganan data pada perangkat IoT, membuat rangkaian pernyataan bersyarat, dan memungkinkan platform "cerdas" dengan menggunakan algoritma pencocokan urutan. Optimalisasi aplikasi menyediakan pola perilaku manajemen dalam menentukan aturan dan pemicu untuk mengotomatiskan tugas dan layanan. Komponen ini memungkinkan pengembang solusi IoT untuk membuat prototipe, membangun, mengintegrasikan, mengelola, dan menyesuaikan aplikasi yang unik bagi pengguna.

### 4. Data management

Manajemen data mengacu pada pengembangan, pelaksanaan, dan pengawasan arsitektur, perangkat lunak, dan disiplin ilmu yang mengontrol, melindungi, mengirimkan, dan meningkatkan nilai aset data dan informasi. Manajemen data IoT memperluas konsep manajemen data dari pencatatan data berbasis relasional tradisional, penyimpanan offline, pemrosesan query, dan manajemen operasional transaksi menjadi pemrosesan, analisis, visualisasi, dan penyimpanan data real time yang heterogen, streaming, dan tersebar secara geografis.

### 5. Cloud backend

Kemampuan untuk menangani big data serta penghematan biaya dibandingkan dengan infrastruktur di lokasi menganggap cloud computing (komputasi awan) sebagai bagian tak terpisahkan dari penerapan IoT komersial. Layanan cloud computing tersedia dalam tiga model: Infrastructure as a Service (IaaS), Software as a Service (SaaS) dan Platform as a Service (PaaS). Aplikasi IoT biasanya ditemukan dalam skenario bisnis IaaS dan dengan demikian

memerlukan backend cloud untuk merampingkan konsumsi data, penyimpanan data, pemrosesan data, analisis data, orkestrasi layanan, dan manajemen keamanan.

#### 6. Security

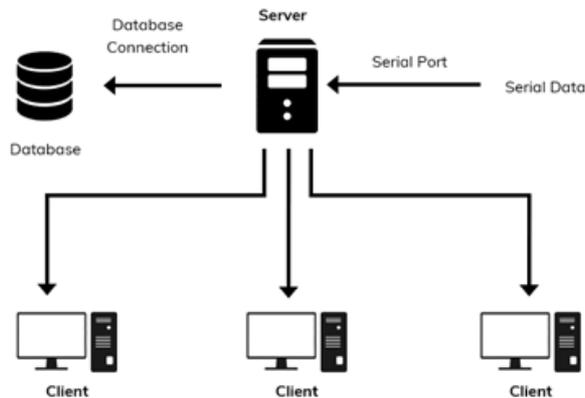
Blok fungsional keamanan dalam arsitektur IoT memberikan pengelolaan keamanan, kepercayaan, privasi, dan identitas di seluruh perangkat endpoint, jaringan, dan cloud. Membuat dan memelihara model keamanan holistik yang mampu memberikan perlindungan end-to-end dan mengatasi perubahan dinamis sistem IoT menjadi semakin menantang. Platform IoT harus mengamankan integritas dan kerahasiaan data melalui berbagai fitur privasi dan keamanan jaringan seperti otentikasi, identifikasi, dan enkripsi pada tingkat yang berbeda (perangkat, jaringan, dan aplikasi).

#### 7. Data Management

Data merupakan nyawa dari sistem IoT. Ini mencakup spektrum varietas: suhu, getaran, gaya, tekanan, berat, suara, aliran, kecepatan, durasi, percepatan, kemiringan, sudut, optik, cahaya sekitar, listrik, magnet, posisi, kedekatan, gerak, hunian, kecepatan, kelembaban, kelembaban, gerakan, emosi, dan kehadiran. Manajemen data berfokus pada pengelolaan aliran data di seluruh blok bangunan sistem IoT: Perangkat Keras, Komunikasi, backend Perangkat Lunak, dan Aplikasi. Blok perangkat keras adalah tempat data dihasilkan. Blok komunikasi adalah tempat data diangkut. Backend perangkat lunak adalah tempat data dikelola. Blok aplikasi adalah tempat data diubah menjadi nilai. Sistem manajemen data platform IoT terdiri dari lima komponen: penyerapan data, pemrosesan data, penyimpanan data, analitik data, dan visualisasi data.

## 5.3 Platform Internet of Things (IoT)

*Platform Internet of Things (IoT)* merupakan kumpulan dari teknologi yang memiliki dan menyediakan infrastruktur untuk membangun sebuah aplikasi dengan fitur-fitur khusus sesuai dengan kebutuhan pengguna. *Platform Internet of Things (IoT)* juga merupakan sebuah ekosistem yang saling tergabung menjadi sebuah wadah dalam membuat produk serta solusi IoT sehingga terjadi efisiensi waktu. (Gubbi et al., 2013). Platform IoT juga menjadi ruang lingkup IoT yang siap digunakan untuk sebuah produk untuk menunjang bisnis yang dimanfaatkan untuk mengumpulkan, menyimpan, serta menampilkan data dari berbagai sumber, mengelola dan mengontrol perangkat. Tujuan platform IoT ini membuat dan mengembangkan aplikasi dengan kelengkapan fitur yang sesuai dengan kebutuhan perusahaan sesuai dengan target konsumen. Platform IoT mampu mengurangi biaya dan risiko yang dibutuhkan untuk pengembangan produk ke pasar. Produk IoT memberikan informasi penting bagi pengguna sehingga pengguna dapat melakukan pengambilan keputusan sesuai dengan informasi dari platform tersebut (Musie, 2016). Ilustrasi platform IoT sebagaimana Gambar 5.1



**Gambar 5.1:** Ilustrasi Platform IoT

## 5.4 Pemilihan IoT Platform

Dalam memilih platform IoT, pengguna harus memperhatikan beberapa hal sebagai berikut:

1. Reputasi perusahaan penyedia IoT platform  
Perusahaan penyedia Platform IoT harus memiliki reputasi yang baik dari sisi track record maupun finansial, karena IoT sangat berkaitan dengan jaringan yang ada pada perusahaan.
2. Ekosistem luas  
Pilih partner platform IoT yang memiliki aplikasi yang stabil dan kuat sehingga mendukung perusahaan dalam melakukan ekspansi. Platform IoT memiliki ekosistem yang sangat luas sehingga pemilihan partner harus selektif.
3. Open API  
Hal ini dimaksudkan agar perusahaan memilih penyedia platform IoT juga mengizinkan akses program secara fungsional.
4. Fokus vertical  
Perusahaan penyedia platform IoT harus memahami industry sehingga dapat menyesuaikan jenis data dan proses Analisa yang dibutuhkan
5. Orientasi yang kuat  
Mengadopsi platform IoT seharusnya dilakukan secara transparan. Cari perusahaan yang memiliki departemen layanan yang baik dengan solusi yang tepat guna sehingga dapat membantu menjelaskan konsep dan memberikan pelatihan kepada tim.

## 5.5 Jenis Platform IoT

Platform IoT terbagi ke berbagai model tergantung pada jenis layanan yang ditawarkan kepada pengguna akhir, tergantung dari kebutuhan industri/pasar. Pelanggan industri IoT memperhatikan berbagai fitur, fungsi, dan kemampuan

yang melibatkan perangkat lunak yang disematkan, aplikasi yang disesuaikan, manajemen perangkat, manajemen data, atau keamanan.

Secara umum, ada enam jenis utama platform IoT komersial:

1. End-to-end platforms (Platform ujung ke ujung)  
Platform full-stack ini menggunakan pendekatan satu ukuran untuk semua yang memungkinkan menyediakan semua hal yang diperlukan pengguna untuk menerapkan sistem IoT yang efisien. Artinya, pengguna mendapatkan perangkat keras, perangkat lunak, dan alat lain yang diperlukan untuk konektivitas dan keamanan yang memungkinkan penerapan sistem IoT dengan cepat.
2. Connectivity management platform (Platform manajemen konektivitas)  
Jenis platform IoT tertentu menghadirkan perangkat lunak, perangkat keras konektivitas, dan data kepada pengguna yang diperlukan untuk mengelola dan melacak perangkat dan jaringan yang mendukung IoT. Platform semacam itu memastikan manajemen dan pemantauan koneksi yang efisien dan menyediakan banyak alat tambahan, termasuk status konektivitas waktu nyata.
3. Cloud storage platforms (IaaS) (Platform penyimpanan cloud)  
Platform cloud IoT memberi klien infrastruktur yang diperlukan untuk menciptakan sistem IoT yang koheren. Mereka berfungsi sebagai lokasi pusat untuk menyimpan data tempat pengguna menautkan proses backend mereka. Di antara keuntungan terpenting dari platform penyimpanan cloud adalah skalabilitasnya.
4. Application enablement platforms (Platform pemberdayaan aplikasi)  
Solusi IoT yang fleksibel ini menghadirkan inti middleware yang dapat diperluas yang memungkinkan pengembang IoT untuk berkonsentrasi pada aplikasi IoT khusus pasar.
5. Device management platforms (Platform manajemen perangkat)  
Dengan platform IoT tersebut, pengguna dapat memperoleh perangkat, memperbarui perangkat lunak, memperbarui firmware, keamanan tambahan, mengontrol perangkat dari jarak jauh, memantau dan melaporkan metrik spesifik terkait aset IoT.

#### 6. Analytics platforms (Platform analitik)

Platform analitik berfungsi sebagai infrastruktur analitik yang digunakan untuk menjalankan aplikasi analitik, pemrosesan data besar, atau algoritme pembelajaran mesin (ML). Platform semacam itu menawarkan alat statistik dan pengoptimalan untuk mengekstraksi data berharga guna meningkatkan proses pengambilan keputusan klien.

## 5.6 IoT Platform

Beberapa platform gratis untuk penggunaan tertentu dan berbayar untuk fasilitas yang lebih lengkapnya.

### 1. Firebase

Firebase merupakan platform milik google yang memungkinkan pengembng aplikasi untuk mengembangkan aplikai, tanpa harus memberikan effort yang besar dalam backend. Fire base memiliki beberapa fitur diataranya: Google analitic, realtime database, authentication, scloud storage dan hosting.

### 2. Arduino IoT Cloud

Beberapa fitur Arduino diataranya dapat menampilkan data dengan cepat secara realtime, dengan tampilan dashboard yang simple dan mudah dipahami pengguna. Arduino memiliki fitur Arduino create yag dapat digunakan untuk memprogram development board tanpa harus menggunakan software. Arduiono juga memiliki fleksibilitas untuk berbagai device, sehingga pengguna dapat dengan mudah menggunakan teknologi IoT.

### 3. Ubidots

Ubidots merupakan platform IoT yang memberikan jasa secara gratis untuk pengguna dalam menambah sensor, selain itu ubidots juga memberikan layanan notifikasi email dan SMS melalui data sensor sesuai yang ditetapkan pengguna. Ubidots juga sudah melengkka panduan pengguna sehingga memeudahkan user dalam mengakses

dan menggunakan Ubidots sesuai dengan board development yang dimiliki user.

#### 4. ThinkSpeak

ThingSpeak merupakan sebuah platform open source IoT dan API untuk mengambil dan menyimpan data menggunakan protokol http, melalui internet atau jaringan LAN (Local Area Network). ThingSpeak didukung software Matlab yang menyediakan visualisasi data secara real-time yang memungkinkan untuk menambah data untuk kepentingan analisis dan pemrosesan. ThingSpeak memiliki beberapa fitur yaitu: Visualisasi data sensor secara real-time, Agregasi data dari penyedia pihak ketiga, Task IoT analytics terjadwal guna menganalisis data, Event Scheduling, Menjalankan aksi berdasarkan data yang diterima

#### 5. Blynk

Blynk adalah platform untuk aplikasi mobile baik iOS maupun Android yang bertujuan untuk kendali module Arduino, Raspberry Pi, ESP8266, WEMOS D1, dan module sejenisnya melalui Internet. Blynk tidak terikat pada papan atau module tertentu. Aplikasi Blynk merupakan wadah untuk membuat antarmuka grafis untuk project yang akan diimplementasikan hanya dengan metode drag and drop widget sehingga sangat mudah digunakan. Platform ini sangat mudah digunakan untuk monitoring dan controlling berbagai perangkat IoT karena pemrograman pada board yang tidak rumit dan konfigurasi pada mobile app yang sangat mudah.

Beberapa contoh platform IoT yang lain di antaranya: Thinger.io, AWS IoT, Telkomsel IoT, Geeknesia.

## 5.7 Evaluasi Platform IoT

Dalam pemilihan platform IoT perlu dipertimbangkan beberapa hal sebagai berikut:

### 1. Stabilitas Platform

Dengan begitu banyak platform di pasar, kemungkinan beberapa akan gagal, sehingga penting untuk memilih platform yang kemungkinan akan ada selama beberapa tahun, jika tidak, investasi akan sia-sia.

### 2. Skalabilitas dan Fleksibilitas Platform

Pastikan platform berfungsi saat baru memulai bisnis, tetapi juga akan berfungsi saat berkembang pesat. Selain dapat diskalakan, platform harus cukup fleksibel untuk mengikuti teknologi, protokol, atau fitur yang berubah dengan cepat. Platform fleksibel seringkali adalah platform yang dibangun di atas standar terbuka dan yang berkomitmen untuk mengimbangi protokol, standar, dan teknologi IoT yang terus berkembang, serta menawarkan integrasi pihak ketiga dan Application Programming Interface/API (Antarmuka Pemrograman Aplikasi). Harus dipastikan bahwa platformnya adalah agnostik jaringan, yang dapat mengintegrasikan dan bekerja dengan semua sistem teknologi, daripada dikunci ke dalam satu vendor.

### 3. Pekerjaan Sebelumnya dari Penyedia Platform

Aplikasi IoT sangat bervariasi, jika penyedia platform telah melakukan pekerjaan sebelumnya yang mirip dengan aplikasi yang telah digunakan merupakan indikator yang bagus dalam memenuhi kebutuhan spesifik Anda.

### 4. Model Penetapan Harga dan Kasus Bisnis

Pastikan penyedia platform transparan dalam penetapan harganya; sehingga penetapan pada saat tarif pengenalan serta kenaikan pembayaran tidak signifikan. Pengguna Platform IoT harus memikirkan rencana model langganan atau dijual kembali. Jika melakukan model berlangganan untuk layanan platform IoT maka pelanggan dapat memasukkan biaya ke dalam harga. Namun,

jikapelanggan akan menjual perangkat keras, akan lebih baik lebih untuk memilih opsi platform dengan lisensi di muka sehingga pelanggan menggunakan opsi memasukkan ke dalam biaya pengembangan produk perangkat keras.

5. Bagaimana Penyedia Platform Menangani Keamanan?

Keamanan sangat penting untuk sistem IoT apa pun dan platform IoT harus memiliki keamanan yang dibangun di setiap lapisan. Hal yang harus dipertanyakan tentang keamanan, maka: keamanan jaringan device to cloud, keamanan jaringan aplikasi ke nirkabel pengguna, keamanan awan, keamanan perangkat (termasuk autentikasi dan sertifikat terbaru), autentikasi aplikasi, data enkripsi, perlindungan data (at rest, transit, dan cloud), inisiasi sesi aman, dan rencana konkret untuk memperbarui keamanan, termasuk melalui komunikasi over-the-air (OTA).

6. Time to market

Platform IoT diharapkan dapat melakukan percepatan waktu pemasaran, sehingga dapat mendukung percepatan proses bisnis bagi perusahaan.

7. Analisis Data dan Kepemilikan Data

Keuntungan lebih Internet of Things ada pada data, data dapat memberikan wawasan yang dapat ditindaklanjuti ke dalam operasi atau aktivitas sederhana sehari-hari untuk mengurangi inefisiensi atau meningkatkan pengalaman. Pengguna platform harus mencari analitik deskriptif dasar, visualisasi, diagnostik, analitik prediktif, dan bahkan mungkin alat pembelajaran mesin.

8. Kepedulian Penyedia Platform IoT

Ini adalah salah satu pertimbangan paling kritis, penyedia platform yang peduli dengan pengguna dan kesuksesan pengguna akan berusaha semaksimal mungkin untuk efektivitas penggunaan platform yang ditawarkan, sehingga jika ada kekuangan maka penyedia platform akan mengkomunikasikan solusinya.



# Bab 6

## Keamanan dan Privasi dalam IoT

### 6.1 Pendahuluan

Privasi dan keamanan merupakan tantangan utama dalam konteks *Internet of Things* (IoT). Seperti yang ditekankan oleh Tawalbeh dan rekan-rekan (2020, hlm. 1), ada beberapa tantangan yang dihadapi IoT, seperti pembaruan perangkat yang tidak tepat, protokol keamanan yang kurang efisien dan kuat, kurangnya kesadaran pengguna, dan kurangnya pemantauan perangkat yang aktif. Salah satu isu yang muncul adalah kurangnya ketersediaan informasi mengenai privasi dan keamanan perangkat IoT bagi konsumen sebelum mereka membuat keputusan pembelian. Meskipun para legislator telah merekomendasikan penambahan label yang ringkas dan dapat diakses oleh konsumen, namun mereka belum memberikan panduan yang jelas mengenai konten label tersebut (Emami-Naeini et al., 2020, hlm. 1).

*Internet of Things* (IoT) merujuk pada jaringan perangkat fisik yang terhubung dan saling berinteraksi melalui internet. Konsep dasar IoT melibatkan penggunaan sensor, perangkat elektronik, dan perangkat lunak yang memungkinkan perangkat tersebut mengumpulkan dan bertukar data secara otonom. Tujuannya adalah untuk menciptakan konektivitas yang lebih luas

antara dunia fisik dan dunia digital, sehingga memungkinkan integrasi dan interaksi yang lebih baik antara manusia, perangkat, dan lingkungan sekitarnya.

## 6.2 Konsep Dasar Keamanan IoT

Dengan perkembangan yang terus berlanjut dalam ekosistem IoT, menjadi semakin mendesak untuk mencegah terjadinya risiko cedera atau kerusakan fisik yang tidak dapat diterima oleh manusia. Penting untuk mempertimbangkan faktor perilaku sosial dan etika dalam penggunaan teknologi IoT guna mencapai tingkat keamanan dan keselamatan yang efektif (Atlam & Wills, 2020).

Namun, dalam penelitian yang dilakukan oleh Alshohoumi dkk (2019), mereka menemukan bahwa tidak ada arsitektur IoT yang mereka teliti yang memperhatikan masalah privasi sebagai faktor penting yang harus dipertimbangkan untuk keberlanjutan dan kesuksesan IoT. Mereka menyoroti perlunya mempertimbangkan solusi keamanan dan privasi secara tidak dapat dihindari ketika merancang arsitektur IoT (Alshohoumi et al., 2019).

Dalam konsep IoT, setiap objek atau perangkat yang terhubung memiliki identitas unik dan kemampuan untuk mentransfer data melalui jaringan. Perangkat IoT dapat berupa perangkat elektronik konvensional yang dilengkapi dengan sensor dan konektivitas internet, seperti smartphone, kendaraan, perangkat rumah pintar, atau peralatan industri. Mereka juga dapat berupa sensor atau perangkat khusus yang didesain secara khusus untuk tujuan tertentu, seperti sensor suhu, detektor gerakan, atau sistem pemantauan lingkungan.

Konsep dasar IoT melibatkan tiga elemen utama, yaitu:

1. Perangkat IoT (IoT Devices)

Merupakan perangkat fisik yang terhubung ke jaringan dan memiliki kemampuan untuk mengumpulkan, menyimpan, dan mentransfer data.

## 2. Jaringan IoT (IoT Network)

Merupakan infrastruktur jaringan yang memungkinkan perangkat IoT berkomunikasi dan bertukar data dengan sistem backend atau perangkat lainnya.

## 3. Cloud Computing dan Sistem Backend

Merupakan infrastruktur yang digunakan untuk mengelola, menganalisis, dan menyimpan data yang dikumpulkan oleh perangkat IoT. Cloud computing memungkinkan pemrosesan data yang skalabel dan analisis yang mendalam.

Dengan menggunakan konsep IoT, data yang dikumpulkan oleh perangkat IoT dapat dianalisis dan digunakan untuk mendapatkan wawasan yang berharga, mengoptimalkan proses bisnis, meningkatkan kualitas hidup, dan menciptakan berbagai layanan yang lebih cerdas dan efisien. Namun, dalam implementasinya, perhatian yang serius terhadap keamanan dan privasi sangat penting untuk melindungi perangkat, data, dan privasi pengguna dalam ekosistem IoT yang semakin terhubung dan kompleks.

*Internet of Things* (IoT) memungkinkan perangkat yang sebelumnya tidak terhubung menjadi terkoneksi dan berkomunikasi melalui internet. Dalam konteks IoT, perangkat-perangkat tersebut dapat saling berinteraksi dan berbagi data tanpa campur tangan manusia. Sebagai contoh, dalam sebuah rumah pintar, perangkat seperti lampu, termostat, kunci pintu, dan peralatan lainnya dapat saling berkomunikasi untuk menciptakan lingkungan yang terotomatisasi dan terintegrasi.

Salah satu konsep utama dalam IoT adalah konektivitas yang luas dan terus-menerus. Perangkat IoT dapat terhubung secara nirkabel melalui berbagai teknologi, seperti Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, atau protokol jaringan seluler. Koneksi ini memungkinkan perangkat IoT untuk mengirim dan menerima data dalam waktu nyata, memberikan kemampuan pemantauan, pengendalian, dan analisis yang lebih baik.

Selain itu, perangkat IoT dilengkapi dengan sensor yang memungkinkan mereka untuk mengumpulkan data tentang lingkungan sekitar, seperti suhu, kelembaban, cahaya, gerakan, dan banyak lagi. Data ini kemudian dapat dikirim ke sistem *backend* atau *cloud computing* untuk analisis lebih lanjut. Analisis data yang canggih ini dapat menghasilkan wawasan yang berharga, seperti tren, pola, atau kejadian yang penting.

Implikasi dari konsep IoT sangat luas. Di bidang kesehatan, IoT memungkinkan pemantauan jarak jauh untuk pasien, pemantauan kesehatan pribadi, dan pengelolaan perawatan yang lebih efisien. Di sektor industri, IoT dapat digunakan untuk mengoptimalkan rantai pasok, memantau dan mengelola mesin industri, serta meningkatkan efisiensi produksi. Di sektor transportasi, IoT dapat memberikan informasi waktu nyata tentang lalu lintas, mengatur parkir cerdas, atau mengintegrasikan kendaraan otonom.

Namun, perlu diingat bahwa dengan meningkatnya jumlah perangkat IoT yang terhubung, tantangan keamanan dan privasi juga meningkat. Kehadiran perangkat yang terhubung secara terus-menerus meningkatkan risiko kebocoran data, serangan cyber, dan penyalahgunaan informasi pribadi. Oleh karena itu, keamanan dan privasi harus menjadi fokus utama dalam desain, implementasi, dan penggunaan IoT guna memastikan perlindungan yang memadai terhadap data sensitif dan informasi pribadi pengguna.

Berikut adalah beberapa contoh penggunaan IoT dalam kehidupan sehari-hari:

1. Rumah Pintar (Smart Home)

IoT memungkinkan pengguna untuk mengotomatisasi berbagai aspek rumah tangga. Contohnya adalah sistem pengendalian suhu yang terhubung, yang memungkinkan pengguna untuk mengatur suhu ruangan melalui smartphone mereka dari jarak jauh. Pengguna juga dapat mengendalikan pencahayaan, keamanan pintu, sistem hiburan, dan peralatan lainnya dengan menggunakan perangkat IoT yang terhubung.

2. Kendaraan Terhubung (Connected Cars)

Mobil yang dilengkapi dengan teknologi IoT dapat terhubung ke jaringan, memungkinkan pengguna untuk mendapatkan akses ke berbagai fitur dan layanan. Contoh penggunaannya adalah sistem navigasi yang terhubung, pemantauan kesehatan kendaraan secara real-time, notifikasi pemeliharaan, dan layanan darurat yang otomatis terpicu saat terjadi kecelakaan.

3. Pemantauan Kesehatan (Health Monitoring)

Perangkat wearable seperti jam tangan pintar dan sensor kesehatan yang terhubung dapat digunakan untuk memantau aktivitas fisik, detak jantung, kualitas tidur, dan parameter kesehatan lainnya. Data

yang dikumpulkan dapat diakses melalui aplikasi seluler atau platform web untuk memberikan wawasan tentang kesehatan dan kebugaran pengguna.

#### 4. Pengelolaan Energi

IoT digunakan dalam sistem pengelolaan energi yang cerdas untuk memantau dan mengontrol konsumsi energi dalam rumah atau bangunan. Contoh penggunaannya adalah pengaturan termostat cerdas yang menyesuaikan suhu berdasarkan preferensi pengguna dan kondisi lingkungan, serta penggunaan peralatan listrik yang efisien berdasarkan pola penggunaan.

#### 5. Sistem Keamanan Rumah

IoT digunakan dalam sistem keamanan rumah yang terhubung, yang mencakup kamera pengawas, sensor gerak, dan sistem peringatan. Pengguna dapat mengakses sistem tersebut dari jarak jauh melalui smartphone mereka, menerima notifikasi ketika ada aktivitas yang mencurigakan, dan mengontrol keamanan rumah mereka.

#### 6. Smart Appliances

Perangkat rumah tangga seperti kulkas, mesin cuci, atau oven yang terhubung ke IoT dapat memberikan fitur-fitur pintar. Contohnya adalah kulkas yang dapat mengirimkan pemberitahuan tentang persediaan makanan yang rendah, mesin cuci yang dapat diatur melalui aplikasi seluler, atau oven yang dapat diprogram dan diawasi dari jarak jauh.

#### 7. Pemantauan Lingkungan

IoT digunakan untuk memantau lingkungan, seperti kualitas udara, suhu, kelembaban, dan polusi suara. Data yang dikumpulkan digunakan untuk memantau kondisi lingkungan yang penting, seperti kualitas udara di dalam ruangan, suhu dalam ruang penyimpanan, atau pemantauan kebisingan di daerah perkotaan.

Ini hanya beberapa contoh penggunaan IoT dalam kehidupan sehari-hari. Potensi IoT dalam memfasilitasi kehidupan kita terus berkembang dengan adanya inovasi baru. Dengan konektivitas yang luas dan kemampuan berkomunikasi yang ditingkatkan, IoT memberikan manfaat nyata dalam

meningkatkan kenyamanan, efisiensi, keamanan, dan kualitas hidup secara keseluruhan.

## 6.3 Komponen Utama dalam Ekosistem IoT

Zhou dkk (2019) mengakui bahwa dalam beberapa tahun terakhir, IoT telah menimbulkan ancaman yang signifikan terhadap keamanan dan privasi. Meskipun terdapat peningkatan dalam penelitian untuk mengatasi ancaman-ancaman ini, masih ada banyak masalah yang belum terselesaikan. Alfandi dan rekan-rekan (2021) melakukan penelitian terhadap penggunaan teknologi blockchain sebagai solusi utama untuk mengatasi sejumlah masalah keamanan dan privasi dalam konteks IoT.

Dalam ekosistem IoT, terdapat beberapa komponen utama yang bekerja bersama untuk memungkinkan konektivitas dan pertukaran data antara perangkat.

Berikut adalah penjelasan singkat mengenai komponen-komponen tersebut:

### 1. Perangkat IoT (IoT Devices)

Komponen utama dalam ekosistem IoT adalah perangkat IoT itu sendiri. Perangkat IoT dapat berupa perangkat elektronik yang dilengkapi dengan sensor dan konektivitas internet, seperti smartphone, kamera pengawas, sensor suhu, lampu pintar, atau peralatan industri yang terhubung. Perangkat IoT ini bertindak sebagai pengumpul data dan memungkinkan komunikasi dengan perangkat lain melalui jaringan.

### 2. Jaringan IoT (IoT Network)

Jaringan IoT adalah infrastruktur yang memungkinkan perangkat IoT untuk berkomunikasi satu sama lain dan mentransfer data. Jaringan ini dapat menggunakan berbagai teknologi, seperti Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, LoRaWAN, atau protokol jaringan seluler seperti 4G atau 5G. Jaringan IoT memungkinkan perangkat untuk terhubung secara

nirkabel, memfasilitasi pertukaran data dalam waktu nyata atau secara periodik.

### 3. Platform IoT (IoT Platforms)

Platform IoT adalah perangkat lunak atau infrastruktur yang menyediakan lingkungan untuk mengelola, mengontrol, dan menganalisis data yang dihasilkan oleh perangkat IoT. Platform ini memungkinkan integrasi yang mudah antara perangkat IoT, pengumpulan data yang efisien, analisis data, dan pengambilan keputusan berdasarkan wawasan yang dihasilkan. Selain itu, platform IoT juga menyediakan fitur keamanan dan privasi untuk melindungi data dan perangkat IoT dari serangan atau penyalahgunaan.

### 4. Cloud Computing dan Sistem Backend

Cloud computing dan sistem backend merupakan infrastruktur yang mendukung penyimpanan, pemrosesan, dan analisis data IoT. Data yang dikumpulkan oleh perangkat IoT dapat disimpan di cloud untuk diakses secara mudah dan aman dari mana saja. Selain itu, cloud computing juga memungkinkan pemrosesan data yang kompleks dan analisis yang mendalam untuk menghasilkan wawasan yang berharga dari data IoT. Sistem backend ini juga menyediakan antarmuka dan layanan yang memungkinkan pengguna untuk mengontrol dan mengelola perangkat IoT mereka.

Keempat komponen utama tersebut, yaitu perangkat IoT, jaringan IoT, dan platform IoT, bekerja secara bersama-sama untuk menciptakan ekosistem IoT yang terhubung dan berfungsi dengan baik. Dengan adanya integrasi yang baik antara komponen-komponen ini, data yang dikumpulkan oleh perangkat IoT dapat diolah dan digunakan untuk meningkatkan efisiensi, memberikan wawasan yang berharga, dan mengoptimalkan berbagai aspek kehidupan sehari-hari.

## 6.4 Pertumbuhan dan Perkembangan IoT

Dalam penelitian mereka, Yao dan timnya (2020) mengkaji secara mendalam masalah yang kompleks terkait keamanan dan privasi IoT. Mereka membagi siklus hidup objek fisik menjadi tiga tahap, yaitu pra-kerja, dalam kerja, dan pasca-kerja. Berdasarkan premis ini, mereka mengusulkan arsitektur keamanan berbasis objek fisik untuk IoT (Yao et al., 2020). Sebagai contoh, seringkali diperlukan interaksi antara objek fisik yang tidak saling mengenal di domain keamanan yang berbeda. Membangun kepercayaan dasar antara dua objek fisik yang tidak mengenal satu sama lain adalah dasar dari keamanan dan privasi mereka (Yao et al., 2020).

Lebih jauh lagi, Sharma dan rekan-rekan (2020) menunjukkan bahwa Internet of Things (IoT) mengalami pergeseran ke perangkat IoT yang cerdas, terhubung, dan bergerak (M-IoT). Mereka menggambarkan masalah yang meluas dalam hal keamanan, privasi, dan kepercayaan untuk jaringan semacam itu, dan kurangnya penegakan persyaratan ini menghadirkan ancaman yang signifikan bagi perangkat dan platform M-IoT (Sharma et al., 2020).

Pertumbuhan dan perkembangan Internet of Things (IoT) telah mengalami peningkatan yang pesat selama beberapa tahun terakhir. Berikut adalah beberapa poin penting mengenai pertumbuhan dan perkembangan IoT:

### 1. Jumlah Perangkat IoT

Jumlah perangkat IoT yang terhubung terus meningkat secara eksponensial. Menurut perkiraan, pada tahun 2020, terdapat sekitar 31 miliar perangkat IoT yang terhubung di seluruh dunia. Diperkirakan jumlah perangkat IoT akan terus bertambah hingga mencapai lebih dari 75 miliar perangkat pada tahun 2025.

### 2. Penerapan di Berbagai Sektor

IoT telah diterapkan di berbagai sektor, termasuk kesehatan, manufaktur, transportasi, energi, pertanian, dan smart city. Di sektor kesehatan, IoT digunakan untuk pemantauan kesehatan jarak jauh, manajemen penyakit, dan perawatan yang personal. Di sektor manufaktur, IoT digunakan untuk meningkatkan efisiensi operasional

dan pemeliharaan prediktif. Di sektor transportasi, IoT digunakan untuk sistem transportasi cerdas, manajemen lalu lintas, dan kendaraan terhubung. Penerapan IoT di sektor-sektor ini terus berkembang dengan inovasi baru dan adopsi yang lebih luas.

### 3. Teknologi Pendukung

Kemajuan dalam teknologi pendukung seperti konektivitas nirkabel, sensor, dan cloud computing telah mempercepat pertumbuhan IoT. Perkembangan teknologi jaringan seperti 5G telah memungkinkan konektivitas yang lebih cepat, lebih andal, dan lebih luas. Sensor yang semakin kecil, murah, dan hemat daya memungkinkan pengumpulan data yang akurat dari berbagai lingkungan. Cloud computing menyediakan kapasitas penyimpanan dan pemrosesan data yang besar serta layanan analisis yang canggih.

### 4. Data dan Analitik

Pertumbuhan IoT telah menghasilkan jumlah data yang besar dan kompleks. Data ini memiliki potensi besar untuk memberikan wawasan yang berharga jika dikelola dan dianalisis dengan baik. Analitik data yang canggih memungkinkan pemrosesan data secara real-time, analisis prediktif, dan pengambilan keputusan yang lebih cerdas. Perusahaan dan organisasi dapat memanfaatkan data IoT untuk meningkatkan efisiensi operasional, mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang pelanggan, dan mengoptimalkan proses bisnis mereka.

### 5. Tantangan dan Keamanan

Pertumbuhan IoT juga memunculkan tantangan keamanan yang signifikan. Dengan semakin banyaknya perangkat yang terhubung, risiko kebocoran data dan serangan cyber meningkat. Keamanan dan privasi data menjadi fokus penting dalam desain dan implementasi sistem IoT. Diperlukan upaya yang kuat untuk mengamankan perangkat IoT, jaringan, dan data yang dikirim dan disimpan.

### 6. Komputasi Edge

Perkembangan teknologi komputasi edge memungkinkan pemrosesan data yang lebih dekat dengan sumber data IoT, seperti perangkat end-

point atau gateway. Hal ini mengurangi latensi dalam mentransfer data ke cloud dan memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat. Komputasi edge juga memberikan keleluasaan dalam mengelola dan menganalisis data secara lokal sebelum data dikirim ke cloud.

#### 7. Integrasi AI dan Machine Learning

Integrasi kecerdasan buatan (AI) dan machine learning dalam ekosistem IoT memberikan kemampuan untuk mengambil wawasan yang lebih mendalam dari data yang dihasilkan. Dengan memanfaatkan algoritma machine learning, sistem IoT dapat belajar dari pola dan tren data untuk membuat prediksi, mengoptimalkan operasi, dan mengidentifikasi anomali. AI dan machine learning juga memungkinkan pengembangan aplikasi yang lebih cerdas dan otonom dalam ekosistem IoT.

#### 8. IoT dan Blockchain

Blockchain, sebagai teknologi yang mengamankan dan mengelola transaksi digital, juga memainkan peran penting dalam perkembangan IoT. Blockchain dapat digunakan untuk memastikan keamanan dan integritas data dalam ekosistem IoT, mencegah pemalsuan dan manipulasi data, serta menyediakan jejak audit transparan. Teknologi ini juga dapat digunakan untuk mengatur pembayaran dan transaksi otomatis antara perangkat IoT.

#### 9. Skalabilitas dan Interoperabilitas

Dalam perkembangan IoT, penting untuk menciptakan sistem yang skalabel dan interoperabel. Skalabilitas mengacu pada kemampuan sistem untuk menangani jumlah perangkat yang semakin besar dan volume data yang tinggi. Interoperabilitas berarti perangkat IoT yang berbeda dan sistem dapat berkomunikasi dan bekerja bersama tanpa hambatan. Upaya standarisasi dan protokol komunikasi yang bersifat terbuka menjadi kunci dalam mencapai skalabilitas dan interoperabilitas yang lebih baik dalam ekosistem IoT.

Pertumbuhan dan perkembangan IoT terus mendorong perubahan di berbagai sektor dan membuka peluang baru untuk efisiensi, inovasi, dan kenyamanan.

Namun, tantangan seperti keamanan, privasi, dan manajemen data perlu terus diatasi untuk memastikan keberhasilan dan adopsi yang lebih luas dari teknologi IoT.

Pertumbuhan IoT dalam beberapa tahun terakhir telah mencapai tingkat yang mengesankan. Berikut ini adalah gambaran umum tentang pertumbuhan IoT dalam beberapa tahun terakhir, Munculnya Smart Home: Smart home menjadi salah satu aspek utama pertumbuhan IoT dalam beberapa tahun terakhir. Penggunaan perangkat IoT dalam rumah tangga, seperti lampu pintar, pengunci pintu pintar, kamera pengawas pintar, dan asisten suara seperti Amazon Echo atau Google Home, telah menjadi lebih umum. Smart home memberikan kontrol yang lebih cerdas dan kenyamanan bagi penghuni rumah dengan menggunakan konektivitas IoT. Meningkatnya Adopsi Industrial IoT (IIoT): IIoT mengacu pada penggunaan IoT dalam lingkungan industri. Penerapan IIoT telah membawa perubahan signifikan dalam sektor manufaktur, logistik, pertanian, dan energi. Dalam industri, IIoT digunakan untuk pemantauan kondisi mesin, pemeliharaan prediktif, pengoptimalan rantai pasok, dan efisiensi produksi yang lebih tinggi.

Perkembangan Infrastruktur dan Teknologi Pendukung: Infrastruktur IoT terus berkembang dengan perkembangan teknologi pendukung seperti konektivitas 5G, sensor cerdas, komputasi edge, dan cloud computing. Konektivitas 5G yang lebih cepat dan andal membuka pintu bagi aplikasi IoT yang lebih kompleks dan waktu nyata. Sensor cerdas yang lebih kecil, hemat energi, dan biaya terjangkau memungkinkan pengumpulan data yang lebih akurat dan luas. Komputasi edge memungkinkan pemrosesan data di tepi jaringan untuk mengurangi latensi dan meningkatkan kinerja aplikasi IoT. Sementara itu, cloud computing menyediakan kapasitas penyimpanan dan pemrosesan data yang diperlukan untuk analisis dan aplikasi IoT yang kompleks.

Pertumbuhan IoT dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan tren yang terus berkembang. Dengan adanya inovasi teknologi dan penerapan yang lebih luas, IoT terus memberikan potensi besar untuk mengubah cara kita hidup, bekerja, dan berinteraksi dengan lingkungan di sekitar kita. Penerapan IoT dalam berbagai sektor, seperti rumah pintar, kesehatan, industri, dan transportasi IoT (Internet of Things) telah menginspirasi dan membawa perubahan dalam berbagai sektor kehidupan. Berikut adalah beberapa contoh penerapan IoT dalam sektor-sektor utama:

## 6.5 Hubungan Antara Keamanan dan Privasi Pengguna IoT

Keamanan dan privasi memiliki peran krusial dalam konteks Internet of Things (IoT) karena melibatkan interkoneksi yang luas antara perangkat, jaringan, dan data yang dikumpulkan. Berikut adalah beberapa alasan mengapa keamanan dan privasi sangat penting dalam IoT:

Ogonji dan rekan-rekan (2020) mencatat bahwa meskipun IoT terus berkembang, penelitian saat ini di bidang privasi dan keamanan menunjukkan bahwa integrasi dan penyatuan yang kurang dalam hal keamanan dan privasi dapat menghambat adopsi teknologi oleh pengguna karena kekhawatiran terhadap pengungkapan data pribadi.

Dalam buku "IoT: Paradigma Keamanan dan Privasi", Pal dan rekan-rekan (2020) berupaya menggabungkan semua teknologi terkait keamanan dan privasi menjadi satu sumber daya, agar mahasiswa, peneliti, dan praktisi dapat merujuk ke buku tersebut untuk memahami masalah keamanan dan privasi dalam IoT dengan lebih mudah. Upaya untuk mengelola informasi dalam satu sumber seperti ini merupakan langkah maju dalam pemahaman yang lebih komprehensif tentang sistem IoT dan tantangan yang dihadapinya. Terutama, penelitian terbaru (Tian et al., 2020) menyimpulkan bahwa keamanan dan privasi IoT masih menghadapi tantangan yang signifikan.

**Perlindungan terhadap Serangan:** IoT dapat menjadi rentan terhadap serangan siber, termasuk serangan peretasan, pencurian data, dan sabotase. Perangkat IoT yang tidak aman dapat menjadi pintu masuk yang memungkinkan akses yang tidak sah ke jaringan dan sistem yang lebih luas. Keamanan yang kuat diperlukan untuk mencegah akses yang tidak diinginkan, menjaga integritas data, dan melindungi infrastruktur IoT.

**Privasi Pengguna:** Perangkat IoT sering kali mengumpulkan dan mengirimkan data pribadi pengguna, seperti lokasi, preferensi, kebiasaan, dan informasi kesehatan. Penting untuk menjaga privasi pengguna dan memastikan bahwa data pribadi yang dikumpulkan dan dikirimkan secara aman serta hanya digunakan sesuai dengan persetujuan pengguna.

**Pengamanan Jaringan:** Dalam ekosistem IoT, banyak perangkat yang saling terhubung dan berkomunikasi melalui jaringan. Keamanan jaringan yang kuat diperlukan untuk melindungi komunikasi antara perangkat, mencegah

serangan seperti serangan DDoS (Distributed Denial of Service), dan mencegah akses yang tidak sah ke data yang dikirimkan melalui jaringan. Keamanan Sistem: Perangkat IoT yang rentan dapat menjadi sasaran serangan untuk mendapatkan akses ke sistem yang lebih luas, seperti jaringan perusahaan atau infrastruktur kritis. Keamanan yang baik pada perangkat IoT termasuk keamanan fisik perangkat, otentikasi yang kuat, enkripsi data, pembaruan perangkat lunak yang teratur, dan penggunaan protokol komunikasi yang aman. Kepercayaan Publik: Keamanan dan privasi yang buruk dalam IoT dapat merusak kepercayaan publik terhadap teknologi tersebut. Untuk memastikan adopsi yang lebih luas dan sukses dalam penerapan IoT, penting untuk memberikan jaminan bahwa keamanan dan privasi pengguna menjadi prioritas utama.

Untuk mengatasi tantangan keamanan dan privasi dalam IoT, perlu adanya pendekatan yang holistik, termasuk desain keamanan yang kuat pada perangkat, penggunaan protokol dan standar keamanan yang baik, pembaruan perangkat lunak yang teratur, dan kesadaran pengguna yang ditingkatkan terkait praktik keamanan dan privasi. Selain itu, perlu juga melibatkan keterlibatan pihak-pihak terkait seperti produsen perangkat, penyedia jaringan, regulator, dan pengguna dalam memastikan perlindungan yang memadai terhadap keamanan dan privasi dalam konteks IoT.

Jumlah Perangkat yang Terhubung: Dalam ekosistem IoT, terdapat jutaan bahkan miliaran perangkat yang terhubung secara bersamaan. Jumlah yang besar ini menyediakan lebih banyak pintu masuk potensial bagi serangan dan penyalahgunaan. Jika keamanan tidak dijaga dengan baik, perangkat IoT rentan terhadap serangan siber dan dapat digunakan untuk melanggar privasi pengguna. Sensitivitas Data yang Dikumpulkan: Perangkat IoT seringkali mengumpulkan dan memproses data sensitif, seperti informasi lokasi, kesehatan, kebiasaan pengguna, dan informasi pribadi lainnya. Jika data ini jatuh ke tangan yang salah, dapat mengancam privasi individu, mengarah pada penyalahgunaan data, dan risiko identitas yang meningkat.

Keamanan Rantai Pasok: IoT melibatkan banyak elemen dalam rantai pasok, mulai dari produsen perangkat hingga penyedia layanan dan infrastruktur jaringan. Rentannya satu komponen dalam rantai pasok dapat membuka celah keamanan yang dapat dimanfaatkan oleh penyerang untuk mengakses data atau mengganggu fungsi sistem secara keseluruhan.

**Serangan Terhadap Infrastruktur Kritis:** IoT digunakan dalam sektor-sektor seperti energi, transportasi, dan infrastruktur kritis lainnya. Jika perangkat IoT yang terhubung pada infrastruktur ini tidak aman, dapat memberikan akses yang tidak sah dan berpotensi merusak infrastruktur kritis, yang berdampak pada aspek keamanan nasional dan kehidupan sehari-hari.

**Kepercayaan Publik dan Adopsi:** Keamanan dan privasi yang buruk dalam IoT dapat merusak kepercayaan publik dan menghambat adopsi teknologi. Jika pengguna tidak merasa yakin bahwa data mereka akan aman dan privasi mereka dijaga, mereka mungkin enggan mengadopsi solusi IoT atau menggunakan perangkat yang terhubung.

**Kompleksitas Keamanan:** IoT melibatkan berbagai komponen seperti perangkat keras, perangkat lunak, jaringan, dan infrastruktur cloud. Kompleksitas ini memperumit keamanan, karena setiap komponen harus dijamin keamanannya agar keseluruhan sistem tidak rentan terhadap serangan atau pelanggaran privasi.

Dalam rangka mengatasi isu-isu keamanan dan privasi dalam IoT, diperlukan pendekatan yang komprehensif yang mencakup desain keamanan yang kuat, enkripsi data, otentikasi yang ketat, pembaruan perangkat lunak yang teratur, pelatihan keamanan, serta kerja sama antara produsen perangkat, penyedia layanan, pemerintah, dan pengguna akhir untuk menjaga integritas dan kepercayaan dalam ekosistem IoT.

Keamanan dalam konteks Internet of Things (IoT) melibatkan berbagai risiko yang dapat membahayakan perangkat, jaringan, dan data yang dikumpulkan. Beberapa risiko potensial yang terkait dengan keamanan IoT meliputi: Serangan Peretasan, Serangan peretasan merupakan ancaman serius terhadap perangkat IoT. Penyerang dapat mencoba memanfaatkan kelemahan keamanan pada perangkat untuk mendapatkan akses yang tidak sah, mengendalikan perangkat, atau mencuri data yang sensitif. Serangan DDoS: Serangan Distributed Denial of Service (DDoS) adalah serangan yang bertujuan untuk mengganggu aksesibilitas perangkat atau jaringan dengan membanjiri lalu lintas jaringan dengan permintaan yang berlebihan. Serangan DDoS pada perangkat IoT dapat membuat perangkat menjadi tidak responsif atau tidak dapat diakses.

**Pencurian Data:** Perangkat IoT seringkali mengumpulkan dan mengirimkan data yang sensitif. Ancaman pencurian data melibatkan serangan untuk mencuri data tersebut, baik itu informasi pribadi, keuangan, atau informasi

bisnis yang penting. Manipulasi atau Pemalsuan Data: Peretas dapat memanipulasi atau memalsukan data yang dikumpulkan oleh perangkat IoT. Hal ini dapat mengakibatkan pengambilan keputusan yang salah atau dapat membahayakan integritas dan keandalan data.

Serangan Fisik pada Perangkat: Perangkat IoT yang terhubung secara fisik dapat rentan terhadap serangan langsung, seperti manipulasi perangkat keras, perusakan, atau pencurian. Serangan fisik ini dapat membahayakan operasional perangkat, kerahasiaan data, atau keberlangsungan fungsi sistem. Kerentanan pada Jaringan: Jaringan IoT juga dapat menjadi target serangan. Serangan pada jaringan IoT dapat menyebabkan gangguan komunikasi antara perangkat, mencuri data yang dikirimkan melalui jaringan, atau mengganggu infrastruktur jaringan secara keseluruhan.

Kurangnya Pembaruan Perangkat Lunak: Beberapa perangkat IoT mungkin tidak mendapatkan pembaruan perangkat lunak yang teratur dari produsen. Kurangnya pembaruan ini dapat meninggalkan perangkat dengan kerentanan yang tidak teratasi dan dapat dimanfaatkan oleh penyerang. Kurangnya Kesadaran Pengguna: Pengguna perangkat IoT mungkin tidak menyadari pentingnya keamanan dan privasi dalam penggunaan perangkat tersebut. Kurangnya kesadaran ini dapat menyebabkan praktik keamanan yang buruk, seperti penggunaan kata sandi yang lemah atau berbagi informasi pribadi dengan pihak yang tidak sah.

Serangan Man-in-the-Middle (MitM): Serangan MitM terjadi ketika penyerang mencuri atau memanipulasi komunikasi antara perangkat IoT dan server atau perangkat lainnya. Dalam serangan ini, penyerang dapat memperoleh akses ke data yang dikirimkan antara perangkat, mengubah atau mencuri informasi yang sensitif. Serangan Penggantian Identitas (Identity Spoofing): Dalam serangan ini, penyerang mencoba menyamar sebagai perangkat yang sah dan mengambil alih kendali atau mengakses data yang seharusnya hanya dapat diakses oleh perangkat tersebut. Serangan penggantian identitas dapat memungkinkan penyerang untuk melakukan tindakan yang tidak sah atau mencuri informasi.

Serangan Replay: Serangan replay melibatkan penyerang merekam data yang dikirimkan antara perangkat IoT dan server, kemudian memutar ulang data tersebut di waktu yang berbeda. Hal ini dapat memungkinkan penyerang untuk melakukan tindakan yang tidak sah atau mengakses data yang sensitif.

**Serangan Jamming:** Serangan jamming melibatkan penyerangan terhadap frekuensi komunikasi yang digunakan oleh perangkat IoT. Dengan mengganggu sinyal komunikasi, penyerang dapat mencegah perangkat IoT untuk berkomunikasi dengan server atau perangkat lainnya, mengganggu fungsionalitas dan ketersediaan sistem.

**Kerentanan pada Infrastruktur Cloud:** Banyak perangkat IoT mengandalkan infrastruktur cloud untuk penyimpanan data dan komputasi. Kerentanan pada infrastruktur cloud dapat mengakibatkan akses yang tidak sah ke data yang disimpan, kehilangan data, atau pemrosesan yang tidak aman. **Ketergantungan pada Vendor dan Pihak Ketiga:** Penggunaan perangkat IoT sering melibatkan ketergantungan pada vendor dan pihak ketiga untuk menyediakan keamanan dan privasi yang memadai. Jika vendor atau pihak ketiga tersebut tidak menjaga keamanan dengan baik, perangkat IoT dapat menjadi rentan terhadap serangan dan pelanggaran privasi. **Kurangnya Standar Keamanan yang Konsisten:** IoT masih dalam tahap perkembangan, dan kekurangan standar keamanan yang konsisten menjadi masalah. Kurangnya standar yang jelas dapat menyebabkan perangkat IoT memiliki kerentanan yang berbeda-beda, sehingga mempersulit upaya melindungi sistem secara menyeluruh.

Untuk mengatasi risiko-risiko ini, perlu adanya pendekatan yang holistik dalam melindungi keamanan dan privasi IoT. Hal ini melibatkan penggunaan teknologi keamanan yang kuat, pembaruan perangkat lunak yang teratur, pemantauan keamanan yang aktif, pendidikan dan kesadaran. Dalam menghadapi risiko-risiko ini, penting untuk menerapkan praktik keamanan yang ketat, seperti enkripsi data, otentikasi yang kuat, pembaruan perangkat lunak yang teratur, pemantauan keamanan secara aktif, dan pendidikan pengguna yang berkelanjutan tentang praktik keamanan yang baik dalam penggunaan perangkat IoT.

## 6.6 Dampak Pelanggaran Privasi dalam IoT

Pelanggaran privasi dalam pengumpulan, pengolahan, dan penggunaan data dalam konteks *Internet of Things* (IoT) memiliki implikasi serius yang dapat memengaruhi individu, organisasi, dan masyarakat secara luas.

Beberapa implikasi utama meliputi:

1. Penyalahgunaan Informasi Pribadi

Dalam konteks IoT, perangkat yang terhubung mengumpulkan data yang beragam, termasuk informasi pribadi seperti lokasi, kebiasaan pengguna, preferensi, dan data kesehatan. Jika data ini jatuh ke tangan yang salah atau disalahgunakan, dapat mengakibatkan pelanggaran privasi yang signifikan. Informasi pribadi dapat digunakan untuk pemantauan yang tidak sah, identitas palsu, penipuan, atau penargetan yang tidak diinginkan.

2. Keberlanjutan Kepercayaan Publik

Kepercayaan publik terhadap IoT sangat penting untuk keberlanjutan dan adopsi yang lebih luas. Jika terjadi pelanggaran privasi yang signifikan, seperti kebocoran data yang luas atau penyalahgunaan yang merugikan pengguna, maka kepercayaan publik dapat terkikis. Hal ini dapat menghambat adopsi IoT di berbagai sektor dan memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan teknologi ini.

3. Dampak pada Kebebasan Individu

Pelanggaran privasi dalam IoT dapat mengancam kebebasan individu. Jika informasi pribadi dikumpulkan dan digunakan tanpa persetujuan yang tepat atau untuk tujuan yang tidak diinginkan, individu mungkin kehilangan kontrol atas data mereka dan mengalami pelanggaran privasi yang melanggar hak-hak mereka. Ini dapat mengganggu privasi, otonomi, dan kebebasan individu dalam kehidupan sehari-hari, adpun Potensi Diskriminasi dan Pengawasan yang Tidak Adil: Dalam konteks IoT, data yang dikumpulkan dari berbagai perangkat dapat digunakan untuk mengambil keputusan yang memengaruhi individu secara signifikan, seperti penentuan kelayakan asuransi, persetujuan pinjaman, atau evaluasi kinerja karyawan. Jika data ini digunakan secara tidak adil atau diskriminatif, dapat terjadi pengawasan yang tidak adil, penilaian yang salah, atau pembatasan hak-hak individu.

#### 4. Ancaman pada Keamanan Fisik

Jika data IoT yang sensitif jatuh ke tangan yang salah, misalnya tentang kebiasaan pengguna atau keberadaan fisik, dapat membahayakan keamanan fisik individu. Penyalahgunaan data ini dapat menyebabkan tindakan kriminal seperti pencurian, penyerangan, atau kebocoran informasi yang merugikan. Kerugian Bisnis dan Kerugian Keuangan: Pelanggaran privasi yang signifikan dalam konteks IoT dapat berdampak pada reputasi perusahaan dan menyebabkan kerugian finansial yang serius. Biaya pemulihan, sanksi hukum, dan tuntutan hukum yang mungkin timbul akibat pelanggaran privasi dapat menghancurkan bisnis dan menyebabkan kerugian finansial yang signifikan. Untuk mengatasi implikasi pelanggaran privasi dalam IoT, penting untuk menerapkan langkah-langkah keamanan dan privasi yang kuat, seperti enkripsi data, pengaturan izin yang tepat, pemantauan yang ketat terhadap penggunaan data, dan pematuhan terhadap regulasi privasi yang berlaku. Transparansi dan edukasi kepada pengguna tentang praktik pengumpulan dan penggunaan data juga sangat penting untuk membangun kepercayaan dan menjaga privasi individu dalam ekosistem IoT.

# Bab 7

## Integrasi IoT dengan Cloud Computing

### 7.1 Pendahuluan

"Integrasi Internet of Things (IoT) dengan Cloud Computing" adalah istilah yang mengacu pada kombinasi teknologi *Internet of Things* (IoT) dan untuk mengimplementasikan integrasi standar cloud dan IoT yang mencapai potensi maksimalnya, perlu dilakukan lebih banyak penelitian di berbagai bidang (Jahantigh et al., 2020). *Internet of Things* (IoT) adalah jaringan perangkat fisik yang terhubung ke internet untuk berkomunikasi dan mengumpulkan data. Namun, *cloud computing* adalah model komputasi yang memungkinkan pemrosesan, penyimpanan, dan akses ke data melalui jaringan internet.

Saat ini, dua teknologi yang sangat menguntungkan adalah *Internet of Things* (IoT) dan *Cloud Computing*. Perangkat pintar Internet of Things terdiri dari sensor, aktuator, jaringan, dan perangkat lainnya yang tersebar luas. Namun, masalah keamanan dan privasi sering muncul karena kapasitas penyimpanan dan pemrosesan yang terbatas (Alam, Shakil & Khan, 2020). Perangkat Internet of Things (IoT) diatur untuk mengirimkan data yang dikumpulkan ke platform cloud melalui jaringan internet selama integrasi ini. Selanjutnya, data disimpan, dikelola, dan diproses di cloud. Data yang berasal dari perangkat

*Internet of Things* dapat dianalisis, diekstraksi wawasan berharga, dan digunakan untuk pengambilan keputusan yang lebih baik dengan memanfaatkan kekuatan cloud computing.

Dengan mengintegrasikan IoT dengan *Cloud Computing*, organisasi dapat memanfaatkan potensi penuh dari data yang dihasilkan oleh perangkat IoT, seperti skalabilitas yang tinggi untuk menangani volume data yang besar, pemrosesan data real-time untuk mendapatkan data dengan cepat, penyimpanan data yang aman dan mudah diakses, dan kemampuan untuk mengelola dan mengatur perangkat IoT secara sentral (Giap *et al.*, 2020; Muttaqin *et al.*, 2023).

## 7.2 Skalabilitas dan Kapasitas

Teknologi yang jauh lebih matang sekarang tersedia untuk menangani masalah skalabilitas IoT: *Cloud Computing*. *Cloud computing* memberikan kemampuan tak terbatas, teknologi ini dapat mengelola secara efisien pertumbuhan eksponensial dari perangkat yang terhubung (Zyane, Bahiri & Ghammaz, 2019). Integrasi IoT dengan *Cloud Computing* memungkinkan perangkat IoT untuk mengelola volume besar data yang dihasilkan. *Cloud Computing* memungkinkan penyimpanan dan pemrosesan yang skalabel, yang memungkinkan penggunaan perangkat IoT dalam skala yang besar. Selain itu, dalam skenario IoT di mana terdapat sejumlah besar sensor dan aktuator, seperti di smartcity, perlu untuk menganalisis skalabilitas sistem ini (Pérez & Salvachúa, 2021).

Dalam *Internet of Things* (IoT), ribuan, jika tidak jutaan, perangkat terhubung satu sama lain dan terus menghasilkan data. Data ini dapat sangat besar dan kompleks dan mencakup informasi seperti suhu, tekanan, kelembaban, lokasi, atau status lainnya yang terkait dengan perangkat atau lingkungan sekitarnya.

*Cloud Computing* memainkan peran penting dalam hal ini. *Cloud Computing* menawarkan kapasitas pemrosesan dan penyimpanan yang dapat diukur sesuai kebutuhan. Dengan kata lain, cloud dapat dengan mudah meningkatkan kapasitasnya untuk menampung dan mengolah jumlah data yang lebih besar jika jumlah perangkat IoT dan data yang dihasilkan meningkat. Hal ini memungkinkan penggunaan perangkat IoT dalam skala yang luas tanpa batasan fisik atau kapasitas terbatas.

Sistem penyimpanan terdistribusi atau penyimpanan berbasis objek memungkinkan peningkatan kapasitas penyimpanan data dalam infrastruktur cloud. *Cloud Computing* yang elastis memungkinkan pengaturan pemrosesan data secara paralel. Oleh karena itu, infrastruktur cloud akan beradaptasi secara dinamis untuk menangani peningkatan jumlah perangkat IoT dan data.

Dengan skalabilitas dan kapasitas *cloud computing*, organisasi dapat menggunakan perangkat IoT dalam skala yang lebih besar untuk mengumpulkan, menyimpan, dan menganalisis jumlah data yang lebih besar. Dengan demikian, penggunaan perangkat IoT dapat melibatkan jaringan yang lebih luas, volume data yang lebih besar, dan aplikasi yang lebih canggih, yang dapat memberikan potensi manfaat yang lebih besar bagi organisasi atau pengguna.

Studi kasus: Kota XYZ adalah sebuah "Smart City" dengan pengelolaan parkir pintar. Mereka ingin meningkatkan sistem pengelolaan parkir mereka dengan solusi berbasis *Internet of Things*. Namun, mereka menghadapi masalah mengelola jumlah besar data yang dihasilkan oleh sensor parkir yang terhubung ke jaringan *Internet of Things*, yang mencakup informasi tentang ketersediaan slot parkir, waktu parkir, dan informasi tentang biaya parkir. Pemerintah kota XYZ memutuskan untuk menggabungkan solusi mereka dengan *Cloud Computing* untuk mengatasi masalah tersebut. Mereka bekerja sama dengan penyedia layanan cloud terkemuka untuk mengelola dan menyimpan data parkir dengan lebih baik.

Setiap slot parkir memiliki sensor yang terhubung ke jaringan IoT, yang mengirimkan data tentang ketersediaan parkir secara real-time. Data ini dikumpulkan dan dikirim ke cloud untuk diproses dan disimpan, dan solusi cloud computing ini memungkinkan data dari ribuan sensor parkir disimpan dan diakses dengan mudah.

Selain itu, kapasitas pemrosesan yang ditingkatkan diberikan oleh cloud computing untuk memproses data parkir dalam skala besar. Melalui aplikasi seluler atau papan informasi di jalan, algoritma cerdas mengolah data dan memberikan informasi ketersediaan parkir secara real-time kepada pengguna dalam skala kecil.

Solusi ini dapat digunakan dalam skala yang lebih besar untuk mengoptimalkan manajemen lalu lintas di kota XYZ. Dengan menggabungkan data dari sensor parkir dengan data dari sensor lalu lintas lainnya, seperti kamera pemantauan atau sensor kecepatan kendaraan, solusi ini akan

memberikan pengguna informasi tentang waktu tempuh, rute tercepat, dan perkiraan waktu tiba.

Kota XYZ berhasil mengatasi masalah skalabilitas dan kemampuan untuk mengelola data parkir dengan mengintegrasikan IoT dengan cloud computing. Mereka dapat dengan mudah dan efisien menyimpan dan mengakses data dari ribuan sensor parkir, serta memproses data secara real-time untuk memberikan informasi yang bermanfaat bagi pengguna dan mengoptimalkan manajemen lalu lintas kota. Solusi ini meningkatkan efisiensi, mengurangi kemacetan, dan memberikan pengalaman.

## 7.3 Pengolahan Data Real-time

Berbagai perangkat yang terhubung ke Internet of Things mengolah data secara real-time. Pemrosesan data secara real-time memungkinkan wawasan yang cepat dan akurat berkat integrasi dengan cloud computing. Dengan kemampuan ini, dapat dilakukan pengambilan keputusan yang lebih cepat berdasarkan data yang diperoleh. Istilah "pengolahan data real-time" mengacu pada kemampuan untuk memproses data secara instan saat data dihasilkan oleh berbagai perangkat *Internet of Things* (IoT). Untuk ilustrasi, sensor suhu di pabrik dapat menyampaikan informasi suhu aktual setiap detik, atau perangkat deteksi gerakan di rumah pintar dapat menyampaikan informasi tentang aktivitas penghuni dalam waktu nyata. Data ini sangat berharga jika dapat diproses dan digunakan secara langsung. Selain itu pengolahan data real-time juga bisa di terapkan untuk mengembangkan platform pengelolaan tanaman IoT murah dan real-time baru yang diaktifkan cloud untuk memantau dan mengotomatisasi perkebunan tomat dalam ruangan (Thilakarathne et al., 2023).

*Cloud Computing* memainkan peran penting dalam hal ini. Adanya integrasi dengan cloud memungkinkan data yang dikirim dari *perangkat Internet of Things* (IoT) untuk diproses secara instan dan cepat. Infrastruktur cloud yang skalabel dan sistem pemrosesan paralel memungkinkan pemrosesan simultan dan cepat. Manfaat yang signifikan dari pengolahan data real-time ini adalah bahwa organisasi dapat membuat keputusan yang lebih cepat dan tepat dengan mendapatkan akses instan ke data yang diperoleh dari perangkat IoT. Misalnya, dalam industri manufaktur, sistem dapat secara otomatis mengirimkan peringatan kepada operator atau mematikan mesin secara

otomatis untuk mencegah kerusakan lebih lanjut jika sensor menunjukkan suhu mesin yang berlebihan. Dalam bisnis ritel, data penjualan dapat dilihat secara real-time.

Pengolahan data secara real-time menjadi mungkin dengan integrasi IoT dan *cloud computing*. Ini memungkinkan organisasi untuk meningkatkan efisiensi operasional, memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat, dan mendukung inisiatif bisnis yang responsif terhadap perubahan kondisi dan kebutuhan yang terjadi secara real-time.

Studi kasus: Pemantauan Kualitas Udara dengan Sensor Internet of Things  
Sebuah organisasi lingkungan di kota ABC sangat peduli dengan kualitas udara. Mereka ingin memantau kualitas udara secara real-time dengan menggunakan sensor *Internet of Things* yang dipasang di berbagai lokasi strategis di kota.

Untuk melakukan pengolahan data real-time, organisasi tersebut bekerja sama dengan penyedia layanan cloud terkemuka untuk menyimpan dan menganalisis data yang dikumpulkan oleh sensor.

Setiap sensor yang dipasang di lokasi tertentu mengukur kelembaban, suhu, partikel PM2.5 dan PM10, serta konsentrasi gas berbahaya di udara. Data yang dihasilkan oleh sensor dikirim secara real-time ke cloud untuk diproses dan dianalisis. Organisasi lingkungan dapat memanfaatkan kemampuan pemrosesan data real-time yang disediakan oleh layanan cloud dengan mengintegrasikan *Internet of Things* (IoT) dengan komputasi cloud. Data yang dihasilkan oleh sensor IoT diproses dan dihubungkan dengan data lain, seperti data cuaca dan lalu lintas, untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang kualitas udara di kota ABC. Dengan menggunakan integrasi IoT dengan cloud computing, organisasi Selain itu, data kualitas udara yang dikumpulkan secara real-time dapat diintegrasikan ke dalam aplikasi atau situs web yang dapat diakses masyarakat.

Selain itu, organisasi dapat mendeteksi pola atau tren dalam kualitas udara secara cepat berkat pengolahan data real-time. Misalnya, organisasi dapat segera menemukan penyebab peningkatan konsentrasi partikel berbahaya dan mengambil tindakan pencegahan yang diperlukan, seperti memberikan peringatan kepada masyarakat atau bekerja sama dengan otoritas kesehatan.

Dalam studi kasus ini, organisasi lingkungan memperoleh keuntungan besar dari pengolahan data real-time dalam memantau dan mengelola kualitas udara

berkat integrasi *Internet of Things* dengan *Cloud Computing*. Solusi ini memungkinkan mereka memproses data sensor secara cepat, mengambil tindakan tepat waktu, dan memberikan informasi yang relevan kepada masyarakat untuk meningkatkan kesadaran akan masalah lingkungan yang signifikan.

## 7.4 Keamanan Data

Tantangan dan masalah keamanan platform cloud telah diatasi selama tiga tahun terakhir, terlepas dari penggunaan dan proliferasi senjata cyber multifaset secara berturut-turut. Evolusi yang cepat dari *Deep Learning* (DL) dalam domain *Artificial Intelligence* (AI) telah membawa banyak manfaat yang dapat dimanfaatkan untuk mengatasi masalah keamanan industri di cloud (Fairuzabadi *et al.*, 2023). Temuan dari penelitian yang diusulkan meliputi hal-hal berikut: kami menyajikan survei komprehensif tentang pengaktifan arsitektur, layanan, konfigurasi, dan model keamanan IoT berbasis cloud; klasifikasi masalah keamanan cloud di IoT menjadi empat kategori utama (data, jaringan dan layanan, aplikasi, dan masalah keamanan terkait manusia), yang dibahas secara mendetail; kami mengidentifikasi dan memeriksa kemajuan terbaru dalam serangan IoT berbasis cloud; kami mengidentifikasi, mendiskusikan, dan menganalisis masalah keamanan yang signifikan di setiap kategori dan menyajikan batasan dari perspektif umum, kecerdasan buatan, dan pembelajaran mendalam; kami memberikan tantangan teknologi yang diidentifikasi dalam literatur dan kemudian mengidentifikasi kesenjangan penelitian yang signifikan dalam infrastruktur cloud berbasis IoT untuk menyoroti arah penelitian di masa mendatang untuk memadukan keamanan siber di cloud (Ahmad *et al.*, 2022).

Pertama dan terpenting, protokol yang aman untuk berkomunikasi antara perangkat *Internet of Things* (IoT) dan cloud harus digunakan. HTTPS (Hypertext Transfer Protocol Secure) adalah protokol yang paling umum digunakan untuk mengamankan data saat dikirim melalui jaringan internet dengan menggunakan enkripsi SSL/TLS.

Penggunaan otentikasi yang kuat juga sangat penting untuk menjaga keamanan data. Sebelum data dikirim, perangkat IoT dan cloud harus mengotentikasi satu sama lain dengan token, sertifikat digital, atau protokol otentikasi yang aman lainnya.

Selain itu, sangat penting untuk melindungi cloud dan data Internet of Things dengan menerapkan kebijakan keamanan yang ketat. Tindakan ini termasuk penggunaan firewall, sistem deteksi intrusi, pengaturan akses yang tepat, dan tindakan pengamanan tambahan untuk menghentikan akses yang tidak sah atau penyalahgunaan data.

Keamanan data IoT sangat penting ketika IoT diintegrasikan dengan cloud computing. Ini dapat dipertahankan dengan baik dengan menggunakan protokol komunikasi yang aman, enkripsi data yang kuat, dan otentikasi yang ketat, serta langkah-langkah keamanan lainnya. Ini melindungi integritas, kerahasiaan, dan ketersediaan data yang dikirimkan dan disimpan di cloud.

Studi kasus: Sistem Smart Home dengan Keamanan Data yang Tinggi: Perusahaan XYZ adalah penyedia solusi rumah cerdas yang menggabungkan berbagai perangkat Internet of Things (IoT), seperti sensor pintu, kamera pengawasan, dan sistem pengendalian suhu, ke dalam sistem yang terhubung ke cloud. Mereka memprioritaskan keamanan data pelanggan mereka.

XYZ Company menggunakan protokol komunikasi yang aman untuk memastikan keamanan datanya saat mengintegrasikan Internet of Things dengan cloud computing:

1. Penggunaan protokol komunikasi yang aman: Perusahaan XYZ mengirimkan data dari perangkat IoT ke cloud menggunakan protokol komunikasi yang aman seperti HTTPS atau MQTT yang dienkripsi dengan TLS/SSL. Ini memastikan bahwa data yang dikirimkan aman dan tidak dapat diakses oleh pihak yang tidak berwenang.
2. Keamanan pada tingkat perangkat: Setiap perangkat IoT yang terhubung ke sistem rumah cerdas perusahaan XYZ memiliki lapisan keamanan sendiri. Mereka melindungi perangkat dari akses yang tidak sah dengan menggunakan teknik otentikasi yang kuat, seperti kata sandi yang kompleks atau pengenalan sidik jari.
3. Keamanan pada tingkat cloud: Perusahaan XYZ memilih penyedia layanan cloud yang terpercaya dan memiliki kebijakan keamanan yang ketat untuk memastikan bahwa infrastruktur cloud yang mereka gunakan memiliki tingkat keamanan yang tinggi. Selain itu, mereka mengambil tindakan tambahan, seperti penggunaan kebijakan akses

yang terukur dan enkripsi data saat menyimpannya untuk mengontrol siapa yang dapat mengakses data pelanggan.

4. Pemantauan dan deteksi ancaman: Perusahaan XYZ menggunakan sistem canggih untuk menemukan tindakan mencurigakan atau ancaman keamanan. Dengan sistem ini, mereka dapat segera melindungi data pelanggan mereka.

Dalam studi kasus ini, XYZ Company menunjukkan komitmennya terhadap keamanan data melalui penerapan protokol komunikasi yang aman, keamanan pada tingkat perangkat, dan integrasi Internet of Things dengan Cloud Computing.

Dengan menerapkan protokol komunikasi yang aman, keamanan pada tingkat perangkat, keamanan pada tingkat cloud, dan pemantauan ancaman, mereka berhasil menjaga keamanan data pelanggan dan memastikan bahwa informasi pribadi dan sensitif tetap aman. Ini membangun kepercayaan pelanggan dan menjadikan sistem rumah cerdas mereka sebagai pilihan yang aman dan andal bagi pengguna.

## 7.5 Analisis Data

Analisis data IoT tipikal melibatkan pengiriman data ke cloud, menganalisisnya di cloud, dan kemudian mengirimkan hasilnya ke perangkat lain. Misalnya, data pemantauan proses dari pabrik pintar dapat ditransfer ke pusat data yang jaraknya ribuan mil dari tempat penyimpanan dan pemrosesannya; kemudian, hasilnya dikirim kembali ke pabrik yang sama untuk pengoptimalan proses. Alur kerja ini tidak hanya meningkatkan lalu lintas jaringan, tetapi juga latensi transfer data. Namun, komputasi analitik data tidak dapat dilakukan hanya pada perangkat yang terhubung karena perangkat tersebut memiliki sumber daya komputasi yang terbatas (Ghosh & Grolinger, 2021).

Dalam konteks IoT, kemampuan Deep Learning untuk melakukan pembelajaran representasi dan mengubah data menjadi representasi abstrak hierarkis bermanfaat untuk analitik data IoT karena memungkinkan mempelajari fitur-fitur yang baik (Ghosh & Grolinger, 2021). Dengan menggabungkan *Internet of Things* (IoT) dengan cloud, data yang

dikumpulkan dari berbagai perangkat IoT dapat dikumpulkan, disimpan, dan dianalisis untuk menghasilkan wawasan yang berharga. Kemampuan komputasi dan pemrosesan yang kuat diberikan oleh *cloud computing*. Setelah data yang dibuat oleh perangkat *Internet of Things* (IoT) diunggah ke cloud, alat analisis data yang canggih dapat digunakan untuk mengekstrak informasi berharga. Data dari berbagai sumber IoT dapat digabungkan dan dikaitkan di cloud untuk membentuk gambaran yang lebih luas.

Berbagai algoritma dan teknik dapat digunakan dalam analisis data cloud, seperti analisis statistik, analisis prediktif, pembelajaran mesin, atau kecerdasan buatan. Tujuan dari analisis data ini adalah untuk menemukan pola, tren, atau wawasan yang dapat membantu perusahaan atau organisasi. Sebagai contoh, dengan melihat data suhu dari perangkat IoT di pabrik, dapat menemukan pola peningkatan suhu yang mencurigakan yang dapat menunjukkan masalah mesin. Seseorang dapat menggunakan informasi ini untuk mencegah atau memperbaiki kerusakan yang lebih parah.

Integrasi *Internet of Things* (IoT) dengan cloud dapat menawarkan berbagai manfaat analisis data. Misalnya, mereka dapat membantu mengoptimalkan proses bisnis, mempercepat pengambilan keputusan, meningkatkan efisiensi operasional, atau menemukan peluang baru. Analisis data penjualan perangkat adalah contoh tambahan.

Organisasi dapat mengoptimalkan nilai data yang dihasilkan oleh perangkat IoT dengan memanfaatkan kekuatan analisis data cloud. Informasi yang dihasilkan dari analisis data dapat digunakan untuk membuat keputusan yang lebih cerdas, mengembangkan produk dan layanan baru, meningkatkan efisiensi operasional, dan memperoleh keunggulan kompetitif di pasar yang semakin kompetitif.

Studi Kasus: Analisis Data dalam Pertanian Presisi Sebuah perusahaan pertanian menggunakan konsep pertanian presisi untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi budidaya tanaman mereka dengan menggunakan *Internet of Things* (IoT) dan cloud computing. Untuk menganalisis data yang dikumpulkan, mereka menempatkan sensor dan perangkat IoT di lahan pertanian mereka dan menghubungkannya ke sistem cloud.

Setiap tanaman memiliki sensor untuk mengukur suhu, kelembaban tanah, cahaya, dan tingkat nutrisi. Petani dapat menganalisis data yang dikumpulkan dari berbagai sensor dan perangkat IoT, yang dikirim secara real-time ke sistem cloud. Mereka dapat melacak kondisi pertumbuhan tanaman secara

real-time dan menemukan masalah potensial, seperti kekurangan air atau nutrisi, untuk meningkatkan produktivitas.

Petani dapat menggunakan algoritma cerdas dan teknik pembelajaran mesin dalam analisis data ini untuk memprediksi perkembangan tanaman, mengoptimalkan penggunaan pestisida dan pupuk, dan mengatur irigasi yang tepat. Petani dapat membuat pilihan budidaya dan panen yang lebih baik dengan menggunakan analisis data untuk menemukan pola dan tren yang berkaitan dengan pertumbuhan tanaman.

Studi kasus ini menunjukkan bagaimana penggabungan *Internet of Things* (IoT) dengan *cloud computing* memungkinkan analisis data yang lebih mendalam dalam konteks pertanian yang tepat. Petani dapat mengoptimalkan praktik budidaya mereka, meningkatkan hasil panen, dan mengurangi biaya produksi dengan menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk mengumpulkan data sensor dan memadukannya dengan sistem cloud. Analisis data yang lebih baik, prediksi yang cerdas, dan pengambilan keputusan yang lebih baik membantu perusahaan pertanian meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi risiko, dan menghasilkan hasil yang lebih baik.

## 7.6 Penyimpanan Data

Dibutuhkan sistem penyimpanan data yang dapat menjaga privasi data pengguna sehingga ancaman terhadap privasi data pengguna dapat diminimalkan karena penggunaan cloud saat ini untuk menyimpan data IoT membuat pengelolaan data diserahkan sepenuhnya kepada penyedia cloud (Utomo, Bhawiyuga & Amron, 2019). Tanpa batasan fisik, cloud dapat menampung peningkatan jumlah perangkat IoT dan data yang dihasilkan. Hal ini memungkinkan organisasi untuk menyimpan informasi Internet of Things (IoT).

Selain itu, penyimpanan data di cloud memungkinkan akses yang mudah dan cepat ke data IoT. Data IoT dapat diunggah ke cloud secara langsung dari perangkat IoT, dan kemudian dapat diakses dan dikelola melalui antarmuka atau API yang disediakan oleh penyedia layanan cloud. Pengguna, seperti pengambil keputusan, analis data, atau pengembang aplikasi, dapat dengan mudah mengakses data untuk tujuan pemrosesan, analisis, pemantauan, dan Hal ini melindungi data dari kehilangan karena bencana alam atau kegagalan

perangkat keras. Dengan redundansi data, data tetap dapat diakses jika salah satu server mengalami masalah.

Dengan menggunakan penyimpanan data di cloud, organisasi dapat menghindari keterbatasan fisik dan biaya yang terkait dengan penyimpanan data lokal. Selain itu, pengguna dapat dengan mudah mengakses dan menganalisis data IoT yang disimpan di cloud untuk keperluan bisnis atau pengambilan keputusan. Integrasi antara Internet of Things dan Penyimpanan cloud memungkinkan organisasi untuk memanfaatkan kemampuan penyimpanan ya

**Studi Kasus: Pemantauan Kesehatan Pasien dengan Penyimpanan Data Cloud:** Sebuah rumah sakit terkemuka menggunakan solusi Internet of Things untuk memantau kondisi kesehatan pasien mereka secara real-time dengan mengintegrasikan berbagai jenis aplikasi.

Dengan menggunakan penyimpanan data di cloud, organisasi dapat menghindari keterbatasan fisik dan biaya yang terkait dengan penyimpanan data lokal. Selain itu, pengguna dapat dengan mudah mengakses dan menganalisis data IoT yang disimpan di cloud untuk keperluan bisnis atau pengambilan keputusan.

Dengan integrasi *Internet of Things* (IoT) dan cloud computing, organisasi dapat memanfaatkan kapasitas penyimpanan cloud yang skalabel, kemudahan akses, keandalan, dan redundansi. Akibatnya, data IoT dapat disimpan dengan efisien, diakses dengan mudah, dan digunakan secara optimal untuk mendukung kegiatan bisnis dan pengambilan keputusan yang lebih baik.

Keuntungan utama dari penyimpanan data di cloud adalah akses mudah dan cepat. Tim medis dapat melihat data kesehatan pasien secara real-time, memantau perubahan kondisi pasien, dan mengambil tindakan yang diperlukan dengan cepat. Data yang tersimpan di cloud juga dapat digunakan untuk analisis jangka panjang, perbandingan pasien, dan pemantauan tren kesehatan yang penting.

Data kesehatan dihasilkan secara terus-menerus oleh setiap perangkat IoT yang terhubung ke pasien. Data disimpan dalam penyimpanan yang skalabel dan dikirim ke sistem cloud melalui koneksi aman.

Data kesehatan pasien dapat disimpan dengan efektif di cloud dengan menggabungkan Internet of Things dan cloud computing. Melalui antarmuka

yang aman, tim medis yang berwenang dapat mengakses data dari mana saja dan kapan saja.

Keuntungan utama penyimpanan data di cloud adalah akses mudah dan cepat. Ini memungkinkan tim medis untuk melihat data kesehatan pasien secara real-time, melacak perubahan kondisi pasien, dan mengambil tindakan yang diperlukan dengan cepat. Data di cloud juga dapat digunakan untuk analisis jangka panjang, perbandingan pasien, dan pemantauan tren kesehatan yang signifikan.

Dalam studi kasus ini, penyimpanan data di cloud memungkinkan rumah sakit mengatasi masalah penyimpanan data yang signifikan yang membutuhkan skalabilitas. Mereka tidak perlu mengawasi infrastruktur penyimpanan fisik yang mahal dan kompleks. Rumah sakit juga sangat memperhatikan keamanan data, seperti mengadopsi protokol komunikasi yang aman dan mengenkripsi informasi kesehatan pasien. Dengan menggabungkan Internet of Things dengan cloud computing, rumah sakit dapat menikmati penyimpanan data yang aman, skalabel, dan mudah diakses. Hal ini memungkinkan pengambilan keputusan yang cepat, pemantauan kesehatan pasien yang efektif, dan peningkatan kualitas perawatan medis.

## 7.7 Manajemen Perangkat

Salah satu keuntungan penting dari integrasi *Internet of Things* (IoT) dan *Cloud Computing* adalah manajemen perangkat. *Cloud computing* dengan kemampuan dan sumber daya virtualnya yang tidak terbatas dapat memfasilitasi IoT untuk menutupi keterbatasan teknologinya seperti energi, pemrosesan, dan penyimpanan. Aplikasi dengan memanfaatkan hal-hal dan data yang dihasilkan oleh mereka ditangani secara khusus oleh *cloud computing* serta manajemen dan komposisi layanan IoT (Jahantigh et al., 2020). Ini dapat digunakan untuk mengelola, memantau, dan mengkonfigurasi perangkat secara sentral dalam skenario IoT yang besar, di mana banyak perangkat terhubung. Ini memungkinkan organisasi untuk mengelola perangkat IoT dengan lebih efisien. Pengelolaan perangkat secara individual dapat menjadi sulit dan memakan waktu, terutama jika ribuan atau bahkan jutaan perangkat berada di tempat yang berbeda.

Selain itu, penggunaan *cloud computing* memungkinkan pengaturan perangkat yang dilakukan secara sentral. Pengiriman perintah konfigurasi, pembaruan firmware, dan pengaturan perangkat dapat dilakukan secara massal melalui cloud. Oleh karena itu, organisasi dapat mengelola dan memperbarui konfigurasi perangkat IoT dengan mudah tanpa harus berinteraksi secara langsung dengan masing-masing perangkat.

Skalabilitas yang lebih baik dapat dicapai melalui manajemen perangkat yang efektif. *Cloud computing* memiliki kemampuan untuk mengontrol penambahan atau pengurangan perangkat dalam situasi di mana perangkat Internet of Things terus ditambahkan atau dihapus. Sementara penghapusan perangkat yang tidak lagi diperlukan dapat dilakukan dengan cepat, penambahan perangkat baru dan pengaturan sesuai kebutuhan dapat dilakukan dengan mudah.

Dengan menggabungkan IoT dan *cloud computing*, organisasi dapat mengawasi, memantau, mengkonfigurasi, dan mengelola perangkat IoT dengan lebih mudah dan efisien. Hal ini memungkinkan bisnis untuk meningkatkan kinerja dan keandalan jaringan IoT mereka, mengoptimalkan penggunaan perangkat, dan mengurangi biaya dan waktu yang diperlukan untuk mengelola perangkat secara individual.

**Studi Kasus: Manajemen Jaringan Telekomunikasi:** Untuk memberikan layanan telekomunikasi kepada pelanggannya, perusahaan telekomunikasi besar mengelola jaringan yang luas dan kompleks. Mereka menggabungkan *Internet of Things* (IoT) dengan *cloud computing* dalam manajemen infrastruktur jaringan mereka untuk meningkatkan efisiensi operasional dan kualitas layanan mereka.

Perusahaan telekomunikasi dapat melakukan manajemen perangkat jaringan yang efektif karena setiap perangkat jaringan, seperti router, switch, dan pemancar sinyal, dilengkapi dengan sensor dan kontroler *Internet of Things* (IoT) dan terhubung ke sistem cloud. Data yang dikumpulkan oleh perangkat IoT dikirim ke cloud untuk dianalisis dan dikelola. Mereka dapat melihat kinerja perangkat secara real-time, menemukan masalah atau kerusakan, dan mengatur perbaikan atau perawatan yang diperlukan.

Perusahaan dapat meningkatkan layanan pelanggan, menghindari downtime yang tidak terduga, dan mengoptimalkan kinerja jaringan dengan data yang dikumpulkan dan dianalisis melalui *cloud computing*. Mereka dapat mengoptimalkan penggunaan perangkat jaringan, merencanakan

pemeliharaan, dan menemukan pola gangguan atau tren yang dapat memengaruhi kinerja jaringan.

Studi kasus ini menunjukkan bagaimana integrasi *Internet of Things* (IoT) dengan *cloud computing* memungkinkan manajemen perangkat yang efisien dalam konteks infrastruktur jaringan telekomunikasi. Perusahaan telekomunikasi dapat meningkatkan keandalan jaringan, mengurangi downtime, dan memberikan pengalaman pelanggan yang lebih baik dengan menggunakan teknologi IoT untuk memantau perangkat secara real-time dan menghubungkannya dengan sistem cloud.

Menggabungkan IoT dengan cloud computing memungkinkan manajemen perangkat jaringan yang terpusat, pemantauan kinerja yang akurat, dan tindakan perbaikan yang cepat. Ini membantu perusahaan telekomunikasi dalam mengoptimalkan infrastruktur jaringan mereka, meningkatkan efisiensi operasional, dan memberikan layanan yang handal kepada pelanggan.

## 7.8 Pemantauan dan Pemeliharaan

Dengan integrasi IoT dengan *cloud computing*, pemantauan dan pemeliharaan perangkat IoT memungkinkan pemantauan dan pemeliharaan perangkat IoT secara efektif. Teknologi ini memungkinkan proses pengembangan dan integrasi yang fleksibel dari komponen sistem dan memfasilitasi pemantauan dan skalabilitas (Pérez & Salvachúa, 2021). Data yang dikumpulkan dari perangkat IoT dapat digunakan untuk memantau kinerja perangkat, mendeteksi masalah atau kerusakan, dan mengatur perawatan atau perbaikan yang diperlukan. Data ini dapat mencakup sensor, suhu, kelembaban, kecepatan, dan informasi lainnya yang berkaitan dengan kinerja perangkat *Internet of Things* (IoT).

Integrasi dengan cloud memungkinkan perawatan dan pemeliharaan perangkat IoT yang efektif selain pemantauan. Tantangan signifikan *cloud computing* meliputi pemeliharaan ketersediaan, integritas, dan kerahasiaan. Dengan menggunakan data yang dikumpulkan, organisasi dapat menentukan jadwal perawatan atau perbaikan sesuai dengan kondisi perangkat yang sebenarnya (Ahmad et al., 2022). Misalnya, perangkat *Internet of Things* dapat diprogram untuk memberikan peringatan atau pemberitahuan tentang perawatan rutin atau penggantian komponen. Integrasi IoT dengan *cloud computing*

memberikan manfaat besar dalam pemantauan dan pemeliharaan perangkat IoT. Dengan memantau kinerja perangkat secara real-time, mendeteksi masalah dengan cepat, dan mengatur perawatan atau perbaikan yang tepat waktu, organisasi dapat meningkatkan ketersediaan, efisiensi, dan umur pakai perangkat.

### **Studi Kasus: Pemantauan dan Pemeliharaan Energi di Industri Manufaktur**

Sebuah perusahaan manufaktur yang sangat besar ingin meningkatkan pemeliharaan peralatan dan menghemat energi. Dengan demikian, mereka menggabungkan *Internet of Things* (IoT) dengan cloud computing dalam sistem pemantauan dan pemeliharaan energi.

Studi kasus ini menunjukkan bagaimana penggabungan *Internet of Things* (IoT) dengan *cloud computing* memungkinkan pemantauan dan pemeliharaan yang efektif dalam industri manufaktur. Penggunaan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk mengumpulkan data energi dan memadukannya dengan sistem cloud memungkinkan perusahaan untuk mengoptimalkan penggunaan energi, mengurangi biaya operasional, dan meningkatkan efisiensi produksi secara keseluruhan. Integrasi teknologi IoT dengan *cloud computing* memungkinkan pemantauan energi secara real-time, analisis data yang mendalam, dan perawatan yang tepat waktu. Ini meningkatkan efisiensi operasional perusahaan manufaktur, memperpanjang umur peralatan, dan mencegah *downtime* yang tidak terduga.



# Bab 8

## Penanganan Big Data pada Internet of Things

### 8.1 Pendahuluan

*Internet of Things* (IoT) adalah konsep yang mengacu pada jaringan perangkat fisik yang terhubung ke internet dan saling berkomunikasi tanpa campur tangan manusia. Perangkat IoT ini dapat mencakup berbagai jenis, mulai dari sensor, alat pengukur, kendaraan, peralatan rumah tangga, hingga infrastruktur perkotaan. Perkembangan IoT telah mengubah cara kita berinteraksi dengan dunia di sekitar kita. Dengan menghubungkan perangkat-perangkat tersebut ke internet, IoT memungkinkan pertukaran data yang luas dan otomatis antar perangkat. Data ini dikumpulkan dari berbagai sumber seperti sensor, sistem pemantauan, dan perangkat lainnya yang ada di lingkungan sekitar. (Mansyur, 2020).

Salah satu dampak utama dari pertumbuhan IoT adalah penciptaan Big Data. Big Data mengacu pada volume, kecepatan, dan keanekaragaman data yang sangat besar yang dihasilkan oleh perangkat IoT. Setiap perangkat IoT secara terus-menerus menghasilkan data dalam jumlah besar, baik dalam bentuk sensorik yang terus-menerus mengumpulkan data lingkungan, maupun data terstruktur dan tidak terstruktur yang dihasilkan oleh perangkat tersebut. Peran

utama IoT dalam menciptakan Big Data adalah melalui koneksi yang terus-menerus antara perangkat dan infrastruktur internet. Data yang dihasilkan oleh perangkat IoT ini mencakup informasi tentang keadaan lingkungan, perilaku pengguna, kinerja perangkat, dan banyak lagi. Semakin banyak perangkat yang terhubung ke IoT, semakin banyak pula data yang dihasilkan

Data ini memiliki potensi besar untuk memberikan wawasan berharga dan mendalam tentang berbagai aspek kehidupan kita. Namun, tantangan utama yang harus diatasi adalah penanganan dan analisis data yang besar, heterogen, dan seringkali berubah-ubah. Data IoT perlu dikelola, diproses, dan dianalisis dengan cara yang efektif untuk mengambil manfaat maksimal dari potensinya.

Dalam konteks ini, penanganan Big Data pada IoT melibatkan teknik dan metode untuk mengelola dan menganalisis data yang dihasilkan oleh perangkat IoT. Hal ini meliputi infrastruktur yang skalabel, pemodelan data yang tepat, teknik pemrosesan data paralel, analisis real-time, dan pemanfaatan kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) dan analisis prediktif. Dengan penanganan yang tepat, data IoT dapat memberikan wawasan yang berharga untuk pengambilan keputusan yang lebih baik, inovasi produk dan layanan, pengoptimalan proses bisnis, dan pemecahan masalah yang lebih efektif di berbagai sektor seperti kesehatan, transportasi, manufaktur, dan banyak lagi.

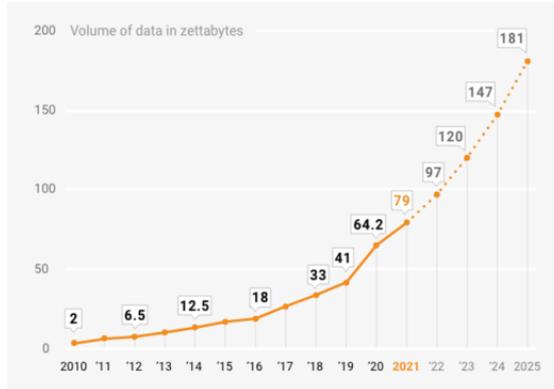
Dalam bab ini, kita akan membahas secara rinci tantangan, metode, dan potensi penanganan Big Data pada IoT, serta dampak transformasional yang dapat diberikan oleh data IoT dalam menghadapi tantangan dan peluang di era digital yang terus berkembang.

## 8.2 Tantangan Penanganan Big Data pada IoT

### 8.2.1 Volume Data yang Besar dan Pertumbuhannya yang Eksponensial

Volume data yang besar dan pertumbuhannya yang eksponensial telah menjadi salah satu karakteristik utama dalam era digital saat ini, seperti terlihat pada gambar 1 (<https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/>). Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan teknologi informasi

dan komunikasi, serta adopsi luas Internet of Things (IoT) telah menghasilkan ledakan data yang belum pernah terjadi sebelumnya. Fenomena ini telah menciptakan tantangan baru dalam penanganan, penyimpanan, pemrosesan, dan analisis data yang berkelanjutan.



**Gambar 8.1:** Volume Data Yang Dibuat, Dicapture, Disalin, Dan Dikonsumsi Seluruh Dunia (<https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/>)

Pertumbuhan volume data yang sangat besar berasal dari berbagai sumber seperti perangkat IoT, media sosial, aplikasi bisnis, sensor, transaksi keuangan, rekaman medis, dan banyak lagi. Setiap interaksi manusia dengan teknologi digital menghasilkan jejak data yang terus bertambah seiring berjalannya waktu. Selain itu, perangkat IoT yang terhubung ke internet menghasilkan data dalam jumlah besar secara kontinu. Perangkat IoT semakin banyak digunakan dalam berbagai lingkungan, termasuk rumah tangga, industri, transportasi, dan sektor publik. Setiap perangkat ini menghasilkan data secara terus-menerus, termasuk data sensorik, data lokasi, dan data pengguna. Pertumbuhan jumlah perangkat IoT secara signifikan meningkatkan volume data yang dihasilkan.

Selain itu Sensor digunakan dalam berbagai industri seperti manufaktur, pertanian, perawatan kesehatan, transportasi, dan energi. Sensor-sensor ini mengumpulkan data lingkungan, kondisi perangkat, performa mesin, dan parameter lainnya yang relevan. Pertumbuhan penggunaan sensor dalam berbagai aplikasi menyebabkan peningkatan volume data yang signifikan.

## 8.2.2 Kecepatan Data yang Tinggi dan Kebutuhan akan Pemrosesan Real-Time

Kecepatan data yang tinggi dan kebutuhan akan pemrosesan real-time telah menjadi salah satu aspek kunci dalam penanganan dan analisis data dalam era digital yang terus berkembang. Dalam lingkungan yang semakin terhubung dan cepat, kemampuan untuk memproses data dengan cepat dan secara real-time menjadi kunci dalam mengambil keputusan yang tepat, memberikan respons yang cepat, dan mengoptimalkan operasi bisnis.

Kecepatan data yang tinggi merujuk pada kemampuan untuk mentransfer, memperbarui, dan mengakses data dengan kecepatan tinggi. Dalam konteks *Internet of Things* (IoT), perangkat yang terhubung secara terus-menerus menghasilkan data dalam waktu nyata. Sensor-sensor IoT dapat mengumpulkan data dalam detik atau bahkan milidetik, dan data ini harus diproses dan dianalisis dengan cepat untuk menghasilkan informasi yang berarti.

Untuk mendukung kebutuhan akan pemrosesan real-time, teknologi seperti pemrosesan data streaming (Ranjan, 2014), pemrosesan in-memory (Grady, 2000), dan sistem analitik real-time telah dikembangkan (Ta, V. D, 2016). Dalam pemrosesan data streaming, data diproses saat datang, memungkinkan analisis dan tindakan real-time. Sementara itu, pemrosesan in-memory menggunakan memori utama untuk menyimpan dan memproses data dengan kecepatan tinggi (Grady, 2000).

## 8.2.3 Keanekaragaman Data Dari Berbagai Sumber Dan Format

Perangkat IoT yang terhubung ke internet menghasilkan data dalam berbagai format. Sensor-sensor ini dapat mengumpulkan data lingkungan, lokasi, suhu, tekanan, getaran, dan banyak lagi. Data dari perangkat ini dapat bersifat terstruktur atau tidak terstruktur, bergantung pada jenis sensor dan jenis data yang dikumpulkan. Keanekaragaman data dari berbagai sumber dan format menawarkan peluang dan tantangan yang unik dalam penanganan dan analisis data.

Beberapa tantangan yang muncul adalah sebagai berikut:

1. **Integrasi Data**  
Data yang berasal dari berbagai sumber dan format perlu diintegrasikan untuk menciptakan gambaran yang komprehensif dan holistik. Integrasi data melibatkan pemahaman tentang struktur data, konsistensi, dan hubungan antar data yang berasal dari sumber yang berbeda.
2. **Kualitas Data**  
Data yang beragam juga sering kali memiliki masalah kualitas seperti ketidaklengkapan, ketidakakuratan, duplikasi, dan inkonsistensi. Penting untuk melakukan pembersihan data dan memastikan kualitas yang baik sebelum dilakukan analisis lebih lanjut.
3. **Pemrosesan dan Analisis Data**  
Keanekaragaman data dari berbagai sumber dan format memerlukan teknik dan alat analisis yang sesuai. Metode pemrosesan data yang fleksibel dan algoritma analisis yang dapat menangani berbagai jenis data harus diterapkan.
4. **Keamanan dan Privasi: Keanekaragaman data** juga membawa tantangan dalam hal keamanan dan privasi. Data yang berasal dari berbagai sumber dan format harus dilindungi dengan baik untuk mencegah akses yang tidak sah dan melanggar privasi pengguna.

## 8.3 Metode Penanganan Big Data pada IoT

### 8.3.1 Infrastruktur Skalabilitas dan Fleksibilitas, seperti Cloud Computing dan Edge Computing

Infrastruktur skalabilitas dan fleksibilitas, seperti *cloud computing* dan *edge computing*, telah menjadi kunci dalam mendukung pertumbuhan dan kebutuhan komputasi modern. Infrastruktur skalabilitas adalah kemampuan

sistem komputasi untuk mengatasi pertumbuhan beban kerja dan volume data yang besar secara efisien. Beban kerja dan kebutuhan data dapat meningkat secara eksponensial seiring dengan perkembangan teknologi dan penggunaan aplikasi.

Beberapa faktor penting dalam infrastruktur skalabilitas adalah:

1. Elasticity

Kemampuan untuk menyesuaikan sumber daya komputasi, seperti CPU, memori, dan penyimpanan, sesuai dengan kebutuhan saat ini. Dengan pendekatan elastis, organisasi dapat menghindari pemborosan sumber daya dan memastikan ketersediaan sumber daya yang cukup saat diperlukan.

2. Skalabilitas Horizontal

Kemampuan untuk menambahkan lebih banyak sumber daya secara horizontal, seperti menambahkan lebih banyak server atau instance, untuk meningkatkan kapasitas komputasi. Dengan pendekatan ini, organisasi dapat meningkatkan kapasitas sistem dengan menambahkan lebih banyak entitas yang sama.

3. Skalabilitas Vertikal

Kemampuan untuk meningkatkan kapasitas sistem dengan meningkatkan kemampuan perangkat keras yang ada, seperti meningkatkan kecepatan CPU atau kapasitas penyimpanan. Pendekatan ini cocok untuk meningkatkan kinerja aplikasi dengan memanfaatkan sumber daya yang ada secara maksimal.

Cloud computing adalah paradigma pengelolaan dan penyediaan sumber daya komputasi melalui internet. Ini memungkinkan organisasi untuk mengakses sumber daya komputasi secara fleksibel dan sesuai permintaan, tanpa perlu memiliki infrastruktur fisik yang rumit.

Beberapa aspek penting dari cloud computing adalah:

1. Skalabilitas Tak Terbatas

Layanan cloud computing menyediakan kemampuan untuk dengan mudah meningkatkan atau mengurangi kapasitas komputasi sesuai

kebutuhan. Pengguna dapat mengalokasikan sumber daya sesuai permintaan dan membayar hanya untuk apa yang digunakan.

## 2. Pemulihan Bencana dan Redundansi

Layanan cloud computing sering kali menyediakan mekanisme otomatis untuk pemulihan bencana dan replikasi data yang terdistribusi secara geografis. Hal ini memberikan keandalan yang tinggi dan mengurangi risiko kehilangan data.

## 3. Ketersediaan Global

Layanan cloud computing tersedia di seluruh dunia dengan pusat data yang terletak di berbagai lokasi. Ini memungkinkan akses cepat dan responsif ke aplikasi dan data, terlepas dari lokasi fisik pengguna.

## 4. Layanan Berbasis Permintaan

Cloud computing menyediakan berbagai layanan berbasis permintaan, termasuk infrastruktur sebagai layanan (IaaS), platform sebagai layanan (PaaS), dan perangkat lunak sebagai layanan (SaaS). Ini memungkinkan pengguna untuk memilih dan menggunakan layanan sesuai kebutuhan mereka.

Edge computing adalah pendekatan yang berfokus pada pemrosesan dan analisis data yang dekat dengan sumber data itu sendiri, misalnya di ujung jaringan (edge), di samping atau dalam perangkat IoT.

Beberapa manfaat utama edge computing meliputi:

### 1. Pemrosesan Real-time

Dengan melakukan pemrosesan data secara lokal di ujung jaringan, edge computing memungkinkan pemrosesan real-time yang cepat dan responsif. Hal ini penting dalam aplikasi yang membutuhkan waktu respons yang rendah, seperti kendaraan otonom atau pengawasan keamanan.

### 2. Pengurangan Beban Jaringan

Dengan melakukan pemrosesan data di ujung jaringan, edge computing dapat mengurangi lalu lintas jaringan dan beban yang dihasilkan oleh mentransfer data ke pusat data atau cloud. Ini memungkinkan penggunaan bandwidth yang lebih efisien.

### 3. Keamanan dan Privasi

Dalam edge computing, data sensitif dapat diproses dan dianalisis secara lokal, tanpa perlu mentransfer data ke infrastruktur pusat yang mungkin rentan terhadap serangan atau pelanggaran privasi. Ini memberikan tingkat keamanan dan privasi yang lebih tinggi.

### 4. Ketersediaan Layanan

Dengan menjalankan aplikasi dan layanan di ujung jaringan, edge computing memungkinkan akses ke layanan yang tetap tersedia bahkan ketika koneksi jaringan ke pusat data atau cloud terputus. Hal ini berguna dalam kasus-kasus di mana konektivitas tidak dapat diandalkan, seperti di lingkungan yang terpencil atau dalam situasi bencana.

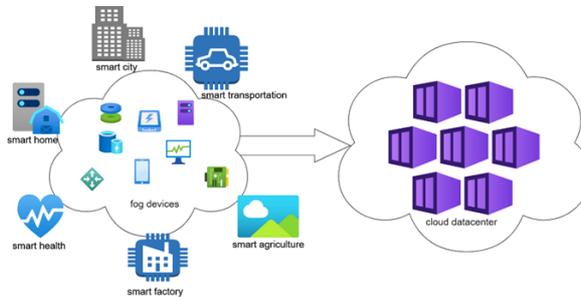
## 8.3.2 Integrasi Fog/Edge Computing dan Cloud Computing pada IoT

*Fog Computing* atau yang biasa juga didefinisikan sebagai *Edge Computing*, merupakan istilah baru dalam paradigma komputasi yang menawarkan layanan mirip seperti *Cloud server* tapi berlokasi di *edge network*, yang bertujuan untuk membantu sejumlah besar perangkat IoT dalam memberikan layanan. Dalam *fog computing*, perangkat heterogen seperti peralatan jaringan Cisco IOx, pusat data mikro, Nanoserver, ponsel pintar, komputer pribadi dan Cloudlets dapat diterapkan menjadi sebuah node Fog. Hal ini bertujuan untuk mendistribusikan layanan pemrosesan data dari perangkat IoT secara langsung dari sumbernya.

Oleh karena itu, komputasi Fog memiliki peran penting dalam meminimalkan latensi jaringan pada proses pengiriman data layanan dari berbagai perangkat IoT. Sehingga dapat menurunkan beban jaringan komunikasi Ketika menangani sejumlah besar data (F. Bonomi, 2012). Jika dibandingkan dengan cloud computing, node Fog memiliki sumber daya komputasi yang lebih kecil. Sehingga sering ditemui penerapan fog dan *Cloud computing* yang bekerja secara terintegrasi untuk meningkatkan Kualitas Layanan (QoS) dari sistem yang IoT skala besar (Bertino, E, 2016) seperti yang terlihat pada gambar 2.

Walaupun memiliki kelebihan, penggunaan fog computing dalam jumlah besar juga memunculkan tantangan baru yang berkaitan dengan manajemen sumber daya. Penggunaan sejumlah besar node fog yang beragam serta

resource yang terbatas dalam memenuhi permintaan perangkat IoT yang terdistribusi seperti pada fungsi penginderaan jauh pada layanan smart transportation sangat memengaruhi manajemen sumber daya pada fog computing.



**Gambar 8.2:** Ilustrasi Integrasi Fog Computing Dan Cloud Computing

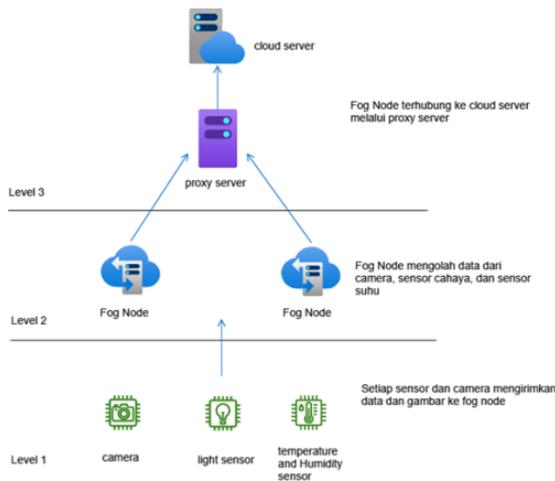
*Cloud Computing* bertugas mengumpulkan dan memproses data yang dikirimkan dari setiap perangkat IoT, kemudian melakukan eksekusi dan mengirimkan Kembali informasi yang telah diolah secara visual (proses ini disebut sebagai aktuasi). Proses ini membutuhkan kemampuan komputasi tinggi serta media penyimpanan yang besar yang tidak bisa dipenuhi oleh perangkat IoT. Di mana perangkat IoT tersebut harus didesain dengan konsumsi daya yang rendah.

Permasalahan muncul Ketika lokasi dari cloud computing jauh dari sumber data IoT, sehingga dibutuhkan komunikasi multi-hop dari sumber data IoT menuju Cloud Server. Model komunikasi ini dapat meningkatkan latensi dalam proses pengiriman data dari perangkat IoT ke cloud server yang berdampak pada waktu respon dari layanan system IoT terutama yang membutuhkan data secara real time seperti Pemantauan Kesehatan pasien intensive care, manajemen lalu lintas, kondisi darurat seperti kebakaran dan lainnya. Selain itu semakin banyak perangkat IoT yang digunakan semakin besar data yang dihasilkan dalam satuan waktu tertentu. Hal ini mengakibatkan terjadinya kelebihan beban data pada jaringan Internet.

### 8.3.3 Implementasi Fog/Edge Computing pada Internet of Things (Studi Kasus: Smart Home)

Pada penelitian Agussalim (2022) merancang *Arsitektur scenario fog computing* pada *multiple smart home* seperti terlihat pada gambar 8.3.

Terdapat 3 node yaitu camera, light sensor, dan *temperature & humidity sensor*. Secara kontinyu camera akan mengcapture gambar kemudian Teknik image processing akan dilakukan untuk mengetahui siapa saja yang berada atau memasuki lingkungan rumah, hasil tangkapan gambar kemudian akan dikirimkan ke fog node melalui microcontroller. Fog node akan melakukan proses deteksi objek dan tracker objek Dengan fitur ini Ketika ada orang yang tidak dikenal memasuki lingkungan rumah, maka secara otomatis akan dikirimkan notifikasi kepada smartphone pemilik rumah.

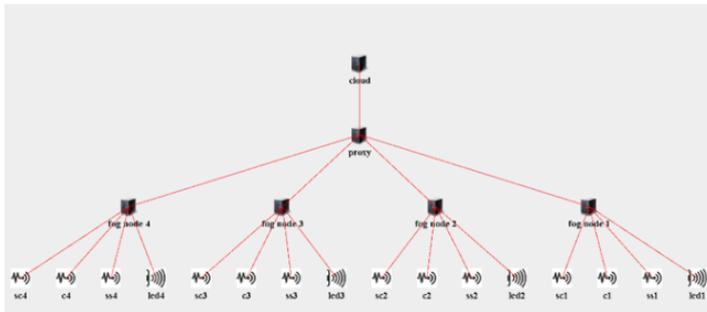


**Gambar 8.3:** Ilustrasi Integrasi Fog Computing Dan Cloud Computing Skenario Sistem Smart Home Dengan Fog Computing (Agussalim, 2022)

Sensor *temperature* dan *humidity* digunakan untuk mendeteksi kondisi suhu ruangan, data sensor suhu dan kelembaban secara berkala akan dikirimkan ke fog node untuk dilakukan pengklasifikasian apakah kondisi lingkungan rumah saat ini termasuk dalam kondisi sangat nyaman, cukup nyaman, dan nyaman. Sensor selanjutnya adalah lightbulb yang terintegrasi dengan sensor cahaya. Sensor cahaya digunakan untuk mengetahui nilai intensitas cahaya. Secara berkala sensor akan mengirimkan data ke fog node untuk diproses menggunakan klasifikasi yang akan digunakan untuk mengatur kecerahan dari lightbulb.

Untuk mengetahui performa *Fog/edge Computing* jika dibandingkan dengan *cloud computing*, dikembangkan skenario pengujian yang terdiri dari beberapa smarhome seperti yang terlihat pada gambar 8.4. Fog node akan mengirimkan

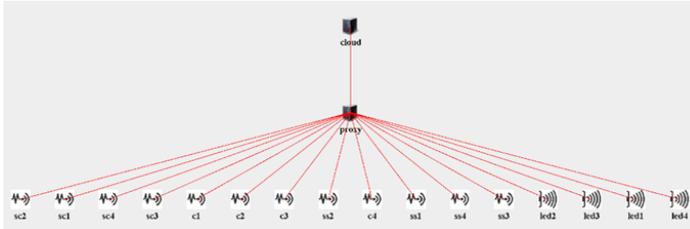
data ke cloud server untuk penyimpanan data dalam waktu lama. Gambar 8.4 juga memperlihatkan skenario jika terdapat lebih dari satu unit smarthome, di mana setiap unit smarthome akan dilayani oleh satu fog node yang akan terkoneksi secara terpusat ke cloud server. Skenario pengujian tersebut kemudian disimulasikan menggunakan Ifogsim, di mana dengan Ifogsim dapat dievaluasi latency dan penggunaan jaringan.



**Gambar 8.4:** Topology Ifogsim yang menghubungkan 4 Smart Home dan 12 Sensor Melalui Fog Node Ke Cloud Server Via Proxy Server. (Agussalim, 2022)

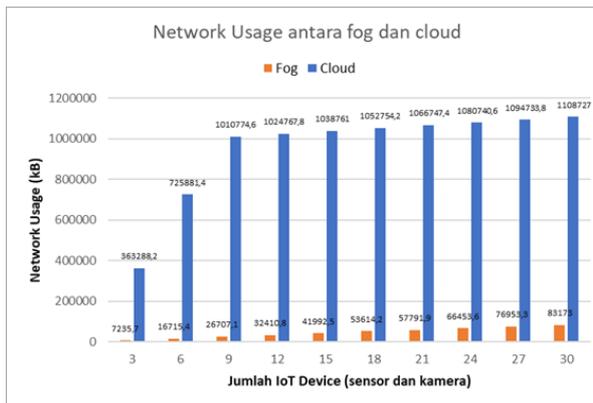
Selain itu untuk mengetahui kinerja *fog computing* pada skenario yang diusulkan, kami juga membuat satu skenario untuk dijadikan pembandingan di mana skenario pembandingan tersebut tidak menggunakan fog node. Semua data dari sensor secara langsung dikirim ke *cloud server* melalui *proxy* untuk diolah menjadi informasi. Camera langsung mengirimkan gambar ke cloud, begitupun untuk sensor suhu dan *humidity* langsung mengirimkan data ke cloud. Serta untuk sensor cahaya secara langsung mengirimkan data intensitas cahaya ke *cloud server* kemudian *cloud server* akan melakukan klasifikasi dan mengirimkan kembali hasil klasifikasi untuk penentuan cahaya dari lightbulb (led).

Pengujian ini dilakukan sebanyak 10 kali dengan penambahan sejumlah 3 buah IoT device (sensor dan kamera) setiap kali simulasi dijalankan, sehingga total IoT device pada akhir pengujian terdapat 30 buah atau 10 smarthome. Adapun pengujian performa dilakukan untuk mengetahui network usage Ketika menggunakan fog computing atau tanpa menggunakan fog computing. Begitupun dengan besaran latency tanpa fog computing atau dengan fog computing.



**Gambar 8.5:** Topology Ifogsim yang Menghubungkan 4 Smart Home Dan 12 Sensor Ke Cloud Server. (Agussalim, 2022)

Gambar 8.6 memperlihatkan perbandingan *network usage* (penggunaan jaringan) Ketika antara *fog computing* dan *cloud computing*. Alasan utama penggunaan *Fog computing* adalah untuk mengurangi beban jaringan Ketika semua IoT device secara simultan mengirimkan hasil pembacaan sensor secara bersamaan ke *cloud server* untuk diolah. Pengaruh penggunaan fog computing dapat secara significant menurunkan *network usage*, walaupun jumlah IoT device bertambah sampai 10 kali lipat tetapi network usage pada fog jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan cloud computing. Pada scenario ini di mana satu fog node melayani satu unit smarthome yang terdiri dari 3 IoT device. Ketika 30 IoT device secara bersamaan mengirimkan hasil pembacaan sensor, maka terdapat 10 fog node yang bertugas melayani permintaan pemrosesan data tersebut. Berbeda dengan scenario tanpa fog computing, cloud server akan melayani semua permintaan dari IoT device yang secara langsung akan meningkatkan penggunaan jaringan (*network usage*).



**Gambar 8.6:** Perbandingan Network Usage Antara Fog Dan Cloud Computing. (Agussalim, 2022)

## 8.4 Tantangan Masa Depan dan Peluang

Skalabilitas infrastruktur merupakan aspek penting dalam pengembangan dan implementasi *Internet of Things* (IoT). Dalam ekosistem IoT, jumlah perangkat yang terhubung terus meningkat secara eksponensial. Dari perangkat rumah tangga hingga infrastruktur industri, setiap perangkat yang terhubung memerlukan sumber daya infrastruktur yang cukup untuk beroperasi dengan lancar. Skalabilitas infrastruktur memungkinkan penambahan perangkat baru secara mudah dan efisien tanpa mengorbankan kinerja keseluruhan sistem.

IoT menghasilkan volume data yang besar dan beragam dari berbagai sumber. Infrastruktur harus mampu mengumpulkan, menyimpan, dan memproses data ini dengan cepat dan efisien. Skalabilitas infrastruktur memastikan bahwa sistem dapat mengatasi volume data yang tinggi dan mampu memberikan pemrosesan yang real-time atau sesuai kebutuhan bisnis.

IoT membutuhkan ketersediaan yang tinggi untuk menjaga kontinuitas layanan dan operasional. Infrastruktur skalabel harus memiliki kemampuan untuk mempertahankan tingkat ketersediaan yang tinggi dengan menyediakan sistem cadangan (redundansi) dan kemampuan pemulihan yang cepat saat terjadi gangguan.

Berikut ini kebutuhan akan teknologi yang lebih maju untuk mendukung IoT:

### 1. Jaringan dan Konektivitas

IoT memerlukan jaringan yang handal dan cakupan konektivitas yang luas untuk mendukung perangkat yang tersebar secara geografis. Kebutuhan akan jaringan yang lebih kuat, seperti jaringan 5G, yang mampu menangani volume data yang tinggi dan memberikan latensi yang rendah, sangat penting untuk mendukung pertumbuhan dan kompleksitas IoT.

### 2. Edge Computing/Fog Computing

Edge computing merupakan paradigma komputasi yang memindahkan pemrosesan data dan analisis ke tepi jaringan, dekat dengan perangkat IoT. Ini memungkinkan pemrosesan real-time dan

pengambilan keputusan yang cepat tanpa mengandalkan latensi jaringan yang tinggi. Keberadaan infrastruktur yang skalabel di tepi jaringan memungkinkan pemrosesan data yang lebih efisien dan respons yang lebih cepat.

### 3. Cloud Computing

Cloud computing memiliki peran krusial dalam mendukung skalabilitas infrastruktur IoT. Dengan menyimpan dan memproses data di cloud, organisasi dapat mengelola dan memanfaatkan data secara efisien tanpa membatasi kapasitas fisik lokal. Fleksibilitas dan elastisitas cloud computing memungkinkan penyesuaian kapasitas infrastruktur sesuai dengan kebutuhan yang berubah dan memungkinkan akses global ke data dan layanan IoT.

### 4. Keamanan dan Privasi

Teknologi yang lebih maju diperlukan untuk menjaga keamanan dan privasi data dalam infrastruktur IoT yang skalabel. Solusi seperti enkripsi data, otentikasi yang kuat, deteksi serangan canggih, dan pengelolaan hak akses yang tepat harus diimplementasikan untuk melindungi data dari ancaman keamanan yang berkembang seiring dengan pertumbuhan IoT. (Chanal, et. Al., 2020).

## Bab 9

# Pemanfaatan Machine Learning dalam IoT

### 9.1 Pengenalan Singkat Tentang Machine Learning

Pada era perkembangan teknologi yang sedang terjadi dalam kehidupan kita sehari-hari, kita sering mendengar istilah machine learning. Penerapannya pun telah kita jumpai di berbagai bidang seperti *recommender system* yang ada pada platform belanja online, penyediaan navigasi dan pemetaan jalur lalu lintas, pendeteksi wajah dan masih banyak lagi. Kedepannya teknologi ini diprediksi akan semakin luas jangkauan aplikasinya, dan akan membantu bahkan menggantikan pekerjaan yang selama ini dilakukan oleh manusia. Dengan begitu banyaknya aplikasi dan manfaat dari teknologi tersebut, apa sebenarnya machine learning itu, dan apa yang membuat teknologi tersebut istimewa sampai dapat diaplikasikan dalam banyak bidang ?

*Machine learning* (ML) adalah suatu ilmu pengembangan model dan algoritma yang digunakan oleh sistem komputer untuk menjalankan tugas tanpa instruksi ataupun diprogram secara eksplisit, atau dengan kata lain algoritma ML dapat “belajar” dengan sendirinya secara otomatis tanpa arahan

dari manusia. Algoritma ML dapat menjalankan tugas dengan otomatis karena algoritma tersebut belajar melalui data yang diberikan. Sebagai contoh, misalkan filter spam pada akun email anda adalah program ML yang dapat mempelajari cara menandai spam dengan diberikan data contoh email spam (misalnya ditandai oleh pengguna) dan contoh email biasa (nonspam). Melalui data tersebut, algoritma ML membangun suatu model dari data yang telah dipelajari untuk membedakan email mana yang masuk di dalam kategori spam. Proses ML membangun model lewat data email spam dan non-spam yang dipelajari disebut proses training. Sedangkan contoh data email spam dan nonspam yang digunakan model ML untuk belajar disebut training set. Dalam sistem ML, ada banyak jenis algoritma yang dapat diaplikasikan. Algoritma-algoritma tersebut dapat dikategorikan kedalam tiga jenis, yaitu *supervised learning*, *unsupervised learning* dan *reinforcement learning*.

*Supervised learning* dalam *machine learning* adalah salah satu jenis pendekatan di mana model ML belajar dari contoh-contoh yang diketahui dengan jelas. Dalam *supervised learning*, *training set* yang digunakan untuk melatih model terdiri dari pasangan input dan output yang telah diketahui sebelumnya atau dengan kata lain telah diberi label. Tujuan utama dari *supervised learning* adalah untuk mengembangkan model yang dapat mempelajari hubungan atau pola yang ada antara input dan output yang telah diberi label, sehingga dapat menggeneralisasi dan memprediksi output yang benar untuk input baru yang belum pernah dilihat sebelumnya.

Proses dalam *supervised learning* melibatkan beberapa langkah dasar. Pertama, kita mempersiapkan training set yang terdiri dari contoh input-output yang telah diberi label. Kemudian, model ML dipilih dan dilatih menggunakan dataset ini. Selama proses training, model mempelajari hubungan antara input dan output dengan mengoptimalkan fungsi objektif yang telah ditentukan sebelumnya, seperti *mean squared error* atau *cross-entropy loss*. Setelah melalui tahap training, model yang belajar ini akan diuji menggunakan dataset validasi atau dataset uji yang berbeda dengan dataset yang digunakan saat proses training. Model akan menerima input dari dataset pengujian dan memprediksi output yang sesuai. Performa model dievaluasi dengan membandingkan prediksi model dengan output yang sebenarnya dari dataset pengujian menggunakan metrik evaluasi yang relevan, seperti akurasi, presisi, atau recall.

*Supervised learning* digunakan dalam berbagai tugas dalam *machine learning*, seperti klasifikasi, di mana tujuannya adalah untuk memprediksi label kategori

dari input yang diberikan, dan regresi, di mana tujuannya adalah untuk memprediksi nilai kontinu. Contoh tugas-tugas yang menggunakan supervised learning termasuk deteksi spam email, klasifikasi gambar, pengenalan suara, dan banyak lagi. Beberapa contoh algoritma *supervised learning* antara lain adalah *Linier Regression*, *Logistic Regression*, *Support Vector Machine*, *Decision Tree* dan juga *Neural Network*. Dari seluruh algoritma tersebut, algoritma Neural Network menjadi algoritma ML yang paling banyak diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari. Penjelasan khusus tentang neural network akan dijelaskan dalam sesi sub-bab berikutnya.

*Unsupervised learning* adalah jenis pendekatan dalam machine learning di mana model pembelajaran mesin mencoba menemukan pola atau struktur tersembunyi dalam data yang tidak memiliki label atau informasi target yang jelas. Dalam unsupervised learning, dataset pelatihan terdiri dari contoh-contoh input tanpa informasi tentang output yang diinginkan. Oleh karena itu, tujuan utama *unsupervised learning* adalah untuk mengeksplorasi dan menggali wawasan dari data tersebut. Dalam unsupervised learning, model pembelajaran mesin berusaha mengorganisir data menjadi kelompok-kelompok atau kategori yang berbeda, atau mencari pola tersembunyi dan representasi data yang lebih bermakna. Beberapa tugas yang sering digunakan dalam unsupervised learning termasuk clustering (pengelompokan), reduction dimension, dan association learning rule.

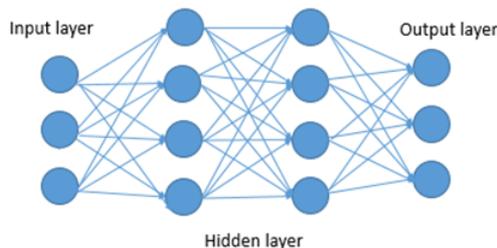
Unsupervised learning dapat menjadi alat yang kuat untuk eksplorasi data dan mendapatkan wawasan baru tanpa memerlukan label yang diberikan. Namun, karena ketiadaan informasi target yang jelas, evaluasi performa model dalam unsupervised learning bisa lebih subjektif dan bergantung pada interpretasi manusia. Penerapan dari model unsupervised pun juga masih jarang diimplementasikan dalam kehidupan sehari-hari.

*Reinforcement learning* (RL) adalah salah satu cabang dari machine learning yang berfokus pada bagaimana agen belajar untuk mengambil tindakan tertentu dalam lingkungan yang dinamis dengan tujuan untuk mencapai nilai maksimum dari reward tertentu. Pada model RL, agen belajar melalui pengalaman interaktif dengan lingkungan dengan cara mengambil tindakan, menerima umpan balik dalam bentuk reward, dan menggunakan informasi ini untuk meningkatkan kinerjanya seiring waktu. Pada dasarnya, RL mirip dengan cara manusia belajar. Sebagai contoh, bayangkan seorang anak yang belajar bermain sebuah game. Pada awalnya, mereka tidak tahu apa yang harus dilakukan, tetapi seiring berjalannya waktu dan pengalaman pada saat

memainkan game tersebut, mereka mempelajari tindakan dan peraturan yang ada dalam game, dengan demikian dapat menghasilkan skor tertinggi atau reward yang lebih besar dari hasil belajar dan pengalaman sebelumnya. Dalam RL, agen juga beroperasi dalam lingkungan yang tidak terstruktur dan harus mengambil keputusan yang tepat berdasarkan pengalaman mereka. Algoritma RL melibatkan konsep-konsep penting seperti state (keadaan), action (tindakan), reward (penghargaan), dan policy (kebijakan). State adalah penjelasan formal dari lingkungan pada suatu waktu tertentu, action adalah tindakan yang diambil oleh agen, reward adalah umpan balik yang diberikan oleh lingkungan sebagai respons terhadap tindakan agen, dan policy adalah strategi yang digunakan oleh agen untuk memilih tindakan berdasarkan state yang diberikan.

### 9.1.1 Artificial Neural Network

Dari sekian banyak model matematis dan algoritma yang ada pada *Machine Learning*, algoritma *Artificial Neural Network* (ANN), atau biasa disebut neural network saja, yang paling banyak digunakan dan diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari. Model machine learning membuat sebuah keputusan berdasarkan data yang diberikan, sementara model neural network dapat mengatur algoritmanya sendiri secara otomatis untuk membuat keputusan berdasarkan data yang telah dipelajari. Berdasarkan kemampuan inilah algoritma neural network mempunyai akurasi yang lebih baik dibanding model machine learning lainnya, sehingga model ini lebih sering digunakan dan diterapkan dalam berbagai macam aplikasi.



**Gambar 9.1:** Model Neural Network. Setiap Lingkaran Biru Merepresentasikan Perceptron Dalam Neural Network.

*Artificial Neural network* (jaringan saraf buatan) adalah sebuah algoritma atau model komputasi yang terinspirasi oleh struktur dan fungsi dari jaringan saraf

pada otak manusia. ANN terdiri dari sejumlah besar unit pemrosesan yang disebut perceptron dan saling terhubung dalam arsitektur yang rumit, seperti yang tertera pada gambar 9.1. Perceptron sendiri adalah sebuah pemodelan matematis sederhana dari unit terkecil otak manusia, yaitu neuron.

Setiap perceptron dalam *neural network* menerima masukan data, melakukan komputasi sederhana pada data tersebut, dan menghasilkan keluaran yang kemudian akan menjadi masukan bagi perceptron lainnya dalam jaringan. Kumpulan perceptron ini dikelompokkan dalam beberapa lapisan (*layer*), dengan input ada pada lapisan awal (*input layer*), lalu output dari setiap perceptron di lapisan tersebut menjadi input untuk lapisan berikutnya, dan seterusnya. Lapisan terakhir disebut lapisan output (*output layer*), yang menghasilkan hasil akhir dari neural network. Lapisan yang ada antara lapisan input dan output dinamakan *hidden layer*.

Masing-masing perceptron dalam neural network dapat memiliki parameter (*weight* dan *bias*) yang digunakan untuk mengatur pengaruh relatif setiap input. Selama proses pelatihan, parameter dalam neural network diperbarui berdasarkan data yang diberikan, sehingga model tersebut dapat belajar untuk melakukan pemetaan dari input ke output yang diinginkan.

Ada berbagai jenis arsitektur neural network seperti *Convolutional Neural Network* (CNN), *Recurrent Neural Network* (RNN), dan masih banyak lagi. Setiap jenis arsitektur memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Neural network telah terbukti sangat efektif dalam banyak aplikasi seperti pendeteksi objek, pengenalan wajah, terjemahan mesin dan masih banyak lagi.

## 9.2 Tantangan Mengimplementasikan Machine Learning dalam IoT

Konsep dari sistem IoT sendiri adalah kemampuan objek untuk mengumpulkan dan bertukar data melalui koneksi internet, tanpa adanya campur tangan dan interaksi manusia. Objek ini dapat mencakup berbagai perangkat, mulai dari peralatan rumah tangga seperti lampu, TV, dan kulkas, hingga kendaraan dan peralatan industri. Dalam model sistem IoT tersebut, data yang dihasilkan oleh perangkat seperti sensor dikirim ke pusat data server yang jauh untuk diproses dan dianalisis.

Untuk memperoleh keuntungan dan efisiensi yang lebih, sistem IoT dapat dipadukan dengan model sistem *edge computing*. Model sistem *edge computing* adalah sistem komputasi yang pemrosesan datanya terjadi di dekat sumber data, dengan kata lain data tidak perlu lagi dikirim ke server ataupun cloud untuk diproses dan dianalisis. Dalam sistem IoT, data dikirim ke pusat server untuk diproses dan kemudian dikirim kembali ke perangkat yang membutuhkannya. Namun, dengan dipadukannya *edge computing* dan IoT, pemrosesan data yang dilakukan dekat sumber data dapat meningkatkan efisiensi dari segi latensi, keamanan dan juga skalabilitas. Gabungan kedua sistem ini dirancang untuk mempercepat dukungan terhadap aplikasi secara real time, seperti pemrosesan video, kecerdasan buatan dan lain sebagainya.

Untuk dapat mengimplementasikan *Machine learning* khususnya algoritma *neural network* pada sistem IoT yang sudah dipadukan dengan sistem *edge computing*, dibutuhkan beberapa teknik efisiensi algoritma dan juga penggunaan *hardware platform* yang memadai untuk mendukung implementasi tersebut. Algoritma *Neural network* membutuhkan *resource* komputasi yang besar saat dijalankan karena data dan komputasi yang diolah oleh model tersebut sangat besar. *Neural network* mempunyai jutaan parameter yang harus diproses untuk mendapatkan hasil keluarannya. Oleh karena itu, penggunaan algoritma ini tidak efisien baik dari segi konsumsi energi, biaya dan juga kecepatan pekeksesusiannya. Hal ini juga menyulitkan algoritma tersebut untuk diaplikasikan kedalam *embedded system* ataupun *edge computing system*, dikarenakan sistem tersebut memiliki limitasi pada ukuran perangkat kerasnya, keterbatasan penggunaan daya dan juga aplikasinya membutuhkan pengolahan data secara real-time. Berdasarkan uraian ini, dibutuhkan pengembangan baik pada level hardware maupun software yang memungkinkan algoritma ini dapat dijalankan secara efisien dari segi konsumsi energi dan *resource hardware*, dan juga kecepatan eksekusinya tanpa mengorbankan akurasi dari hasil model tersebut. Berikut pada sub-bab selanjutnya dijelaskan tentang teknik efisiensi pada sistem level algoritma dan juga penggunaan hardware platform yang dapat sesuai agar implementasi machine learning pada IoT dapat berjalan efisien.

### 9.2.1 Efisiensi Level Algoritma

Algoritma ML yang banyak diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari adalah algoritma *neural network*. Oleh sebab itu, teknik efisiensi level algoritma yang dijelaskan pada subbab ini adalah efisiensi penggunaan model *neural network*.

Tujuan dari teknik efisiensi ini ialah untuk mengurangi penggunaan memori dan konsumsi energi dan meningkatkan kecepatan eksekusi, dengan mempertahankan hasil akurasi dari model *neural network*.

Ada dua teknik yang dapat dilakukan untuk mengurangi penggunaan memori pada algoritma *neural network*, yaitu teknik kuantisasi dan juga teknik pruning. Selain mengurangi ukuran memori, teknik ini juga dapat mengurangi kompleksitas komputasi pada model *neural network*.

Kuantisasi dalam *neural network* adalah teknik untuk mengurangi jumlah bit yang digunakan untuk merepresentasikan parameter, yaitu weight dan bias, dalam *neural network*. Tujuannya adalah untuk mengurangi kompleksitas komputasi dan ukuran memori yang dibutuhkan oleh model, sehingga implementasi algoritma menjadi lebih efisien pada perangkat keras dengan sumber daya terbatas. Dalam kuantisasi, parameter dalam *neural network* yang semula direpresentasikan dalam format floating-point 32-bit dikonversi menjadi representasi dengan jumlah bit yang lebih kecil. Misalnya, parameter bisa diubah menjadi bilangan bulat dengan 8-bit bahkan lebih rendah yaitu 4-bit. Implementasi teknik kuantisasi dapat mengakibatkan penurunan akurasi model, karena representasi parameter mungkin tidak dapat memperkirakan dengan tepat pemetaan antara fitur input dan output yang diinginkan. Oleh karena itu, setelah kuantisasi dilakukan, umumnya dilakukan fine-tuning atau training ulang pada model untuk memperbaiki akurasi yang hilang akibat kuantisasi.

Selanjutnya, teknik untuk mengurangi konsumsi energi lainnya yang dapat digunakan adalah teknik *pruning*. *Pruning* bertujuan untuk menghilangkan parameter ataupun neuron/perceptron yang memiliki kontribusi kecil terhadap kinerja model. Dalam tahap training, beberapa parameter atau perceptron mungkin menjadi terlalu banyak atau tidak signifikan dalam menentukan output yang akurat. Dengan menghapus parameter atau perceptron ini, kita dapat mengurangi kompleksitas jaringan dan mempercepat komputasi serta mengurangi kebutuhan memori. Pruning dapat diterapkan pada berbagai jenis arsitektur neural network, termasuk *fully connected neural network* dan *convolutional neural network*.

Proses pruning dapat dilakukan dengan berbagai pendekatan. Salah satu pendekatan umum adalah "pruning berbasis threshold" di mana parameter dengan nilai di bawah ambang batas tertentu dihapus. Pendekatan lainnya termasuk "pruning berbasis sensitivitas", di mana parameter dengan kontribusi

yang rendah terhadap gradien atau sensitivitas model dihapus. Ada juga teknik pruning yang menggunakan metode optimisasi matematika seperti L1 atau L2 regularization atau metode kompresi, seperti pruning berbasis saluran (channel pruning) pada CNN. Setelah proses pruning selesai, biasanya dilakukan tahap finetuning atau training untuk mengkompensasi kehilangan akurasi akibat penghapusan parameter. Dengan melakukan pruning dan finetuning yang tepat, kita dapat menghasilkan model neural network yang lebih kecil, lebih efisien, tetapi tetap memiliki kinerja yang kompetitif.

Kuantisasi dan pruning telah menjadi topik penelitian dalam pengembangan model neural network, terutama dalam konteks pengimplementasian model pada perangkat yang memiliki keterbatasan daya komputasi, seperti perangkat IoT. Dengan diimplementasikannya teknik dan metode ini, dapat mengurangi ukuran memori dan kompleksitas komputasi yang mengarah pada efisiensi penggunaan energi.

Untuk metode peningkatan kecepatan eksekusi pada level algoritma, ada beberapa cara yang dapat dilakukan. Inti dan sebagian besar dari operasi algoritma neural network sendiri adalah perkalian matriks. Dengan begitu, dengan menggunakan algoritma perkalian matriks yang lebih efisien, neural network dapat bekerja dengan lebih cepat dan efisien. Ada 2 jenis algoritma perkalian matriks yang lebih efisien yang dapat digunakan pada neural network yaitu algoritma strassen dan juga algoritma winograd.

Algoritma Strassen adalah sebuah algoritma yang digunakan untuk melakukan perkalian matriks yang lebih efisien daripada algoritma perkalian matriks biasa. Algoritma ini dikembangkan oleh Volker Strassen pada tahun 1969. Perkalian matriks konvensional memiliki kompleksitas waktu sebesar  $O(n^3)$ , di mana  $n$  adalah ukuran matriks. Algoritma Strassen, di sisi lain, dapat melakukan perkalian matriks dengan kompleksitas waktu yang lebih rendah, yaitu sekitar  $O(n^{2.8})$ . Hal ini membuatnya lebih efisien untuk matriks berukuran besar.

Algoritma perkalian matriks menggunakan metode winograd juga dapat mengurangi kompleksitas komputasi dari neural network. Dalam algoritma Winograd, matriks input dibagi menjadi beberapa submatriks kecil. Selanjutnya, dilakukan beberapa operasi perhitungan pada submatriks tersebut, yang mengurangi kompleksitas perkalian yang diperlukan. Setelah operasi tersebut selesai, hasilnya dijumlahkan untuk menghasilkan matriks perkalian akhir.

## 9.2.2 Penggunaan Platform Hardware untuk Sistem IoT

Untuk mendapatkan manfaat yang lebih signifikan, efisiensi dan teknik pada level hardware sangat dibutuhkan. Ada 3 jenis hardware platform yang saat ini tersedia untuk menjalankan suatu algoritma yaitu *Central Processing Unit* (CPU), *Graphics Processing Unit* (GPU) dan *Field Programmable Field Array* (FPGA).

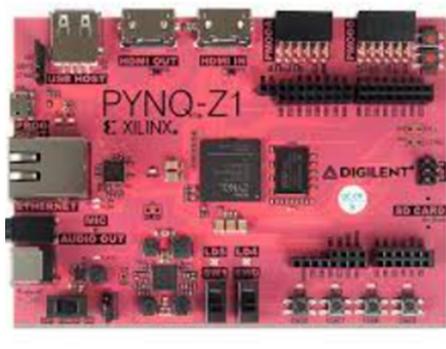
Saat ini sebagian besar *hardware platform* yang digunakan dalam sistem IoT menggunakan *mikrokontroler*, di mana CPU sebagai pemroses utamanya. CPU memiliki arsitektur yang dirancang untuk mengeksekusi tugas secara sekuensial. Akan tetapi, untuk mengimplementasikan Machine Learning pada IoT menggunakan *mikrokontroler*, seperti board arduino dan *raspberry*, dibutuhkan efisiensi algoritma yang signifikan untuk dapat dijalankan secara real-time pada platform tersebut. Hal ini dikarenakan platform tersebut memiliki keterbatasan dalam ukuran memori dan kemampuan dalam komputasinya. Dengan demikian, dibutuhkan hardware platform seperti GPU dan FPGA untuk dapat disertakan kedalam sistem IoT. Dengan menggunakan GPU dan FPGA, program dapat dijalankan secara paralel, yang menghasilkan kecepatan eksekusi yang lebih cepat dibanding CPU.



**Gambar 9.2:** Board Jetson Nano yang memiliki GPU sebagai Prosesor Tambahan.

GPU adalah jenis prosesor khusus yang dirancang untuk memproses dan menghasilkan grafis pada komputer, perangkat seluler, dan perangkat elektronik lainnya. GPU memiliki kemampuan pemrosesan paralel, yang memungkinkannya melakukan sejumlah besar operasi matematika secara efisien dalam waktu yang singkat. Operasi perkalian matriks dalam Neural

Network dapat dijalankan oleh GPU secara paralel yang membuatnya lebih cepat untuk dieksekusi. Beberapa board untuk sistem IoT yang telah menggunakan GPU sebagai pemroses tambahannya seperti Nvidia Jetson Nano.



**Gambar 9.3:** Board PYNQ-Z1 yang mempunyai pemroses FPGA.

Alternatif lain untuk pemroses yang dapat digunakan selain CPU dan GPU adalah FPGA. FPGA adalah perangkat divais semikonduktor yang dapat diprogram ulang untuk melakukan berbagai tugas sesuai dengan desain yang diprogramkan. FPGA terdiri dari sirkuit logika dan elemen-elemen penyimpanan yang dapat diprogram ulang untuk membentuk fungsi-fungsi logika yang khusus sesuai dengan kebutuhan. Dengan begitu kita dapat memetakan algoritma neural network menjadi sebuah hardware khusus untuk menghasilkan eksekusi yang jauh lebih cepat dibanding CPU, bahkan GPU. Keunggulan utama dari FPGA adalah fleksibilitasnya yang tinggi, yang memungkinkan perangkat keras dapat di program ulang dan disesuaikan sesuai kebutuhandan juga dapat bekerja secara paralel. Ada beberapa contoh board FPGA yang saat ini ada dipasaran seperti Board keluaran dari XILINX yaitu PYNQ-Z1/Z2 (seperti pada gambar 9.3), dan juga board yang diproduksi oleh intel seperti Altera.

# Bab 10

# Teknologi Blockchain dalam IoT

## 10.1 Pendahuluan

*Internet of Things* (IoT) menggabungkan orang (person), tempat (place), dan produk (product) sehingga dapat memberikan nilai tambah bagi produk yang dihasilkan, meningkatkan kualitas layanan, serta efisiensi pada proses bisnis. Sejak pertama kali diperkenalkan pada tahun hingga saat ini, penerapan IoT pada berbagai bidang meningkat secara eksponensial dari tahun ke tahun, seperti *smart homes*, *smart cities*, *smart health*, dan lain sebagainya. Namun tantangan utama yang harus menjadi perhatian dalam pengimplementasian IoT pada skala besar adalah aspek keamanan (Rodríguez, 2022). Hal ini dikarenakan perangkat IoT terhubung satu sama lain dengan pendekatan desentralisasi/terdistribusi. Sehingga penggunaan standar teknik keamanan yang ada saat ini dalam komunikasi antar node IoT menjadi sangat kompleks (Alam, 2019).

Secara garis besar terdapat tiga tantangan utama penerapan IoT dalam skala besar sehingga perlu diintegrasikan dengan teknologi blockchain, yaitu (Rodríguez, 2022):

1. Teknologi dan konektivitas jaringan 5G pada sistem IoT merupakan target yang sangat menggiurkan/potensial bagi para peretas (hackers)
2. Data dari berbagai sumber harus berinteraksi dan berintegrasi pada level yang sama, baik dalam hal privasi, kepemilikan data maupun keamanan data
3. Perangkat IoT berpotensi tidak aman, karena sebuah perangkat yang disusupi dapat digunakan untuk menyerang perangkat lain yang berada dalam jaringan

## 10.2 Konsep Blockchain

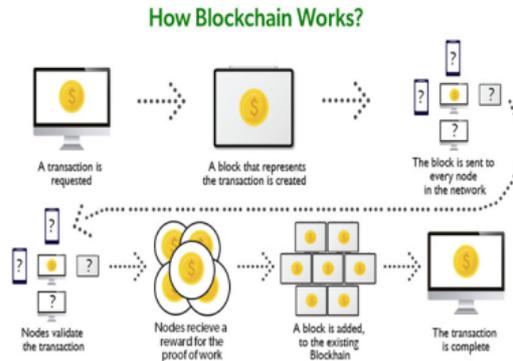
Blockchain adalah database terdistribusi yang digunakan bersama oleh node jaringan komputer. Berbeda dengan cara penyimpanan informasi pada basis data biasa, blockchain menyimpan data yang dihubungkan bersama melalui kriptografi. Pada dasarnya berbagai jenis informasi dapat disimpan pada blockchain, namun penggunaan paling umum adalah sebagai buku besar (Hayes, 2023), yang mulanya diperkenalkan populer pada sistem mata uang kripto. Pada kasus bitcoin, blockchain yang terdesentralisasi memungkinkan tidak ada satu orang (node) ataupun sekelompok orang yang memiliki kendali/mendominasi, sehingga semua pengguna secara kolektif memegang kendali dan berposisi setara. Keunggulan lainnya, transaksi atau data yang telah diinput tidak dapat diubah/bersifat permanen dan dapat dilihat oleh siapa saja yang berada dalam jaringan. Hal ini tentunya akan meningkatkan keamanan dan transparansi (Fadhillah *et al.*, 2022).

Sehingga dapat disimpulkan bahwa tujuan dari blockchain adalah untuk merekam dan mendistribusikan informasi digital antar node yang terhubung dalam jaringan, namun tidak dapat diedit. Catatan transaksi/aktivitas yang terekam tidak dapat diubah, dihapus, atau dihancurkan. Dengan karakteristik tersebut, blockchain dikenal pula sebagai Distributed Ledger Technology (DLT). Perannya yang sangat penting dalam menjaga transaksi yang aman dan terdesentralisasi menjadikan teknologi blockchain sangat populer, dan mulai

meluas penerapannya pada domain lain, termasuk untuk IoT. Integrasi blockchain dan IoT disebut sebagai IoT Chain atau BC-IoT (Alam, 2019) ataupun BIoT (Nwosu, 2023).

Proses kerja blockchain sebagaimana ditampilkan pada Gambar 12.1, dengan rincian penjelasannya diuraikan sebagai berikut:

1. Inisiasi transaksi (Initiating the transaction)  
Transaksi baru dikirim ke *memory pool* dan menunggu untuk diproses
2. Verifikasi transaksi (Verification of transaction)  
Pesan verifikasi akan dikirimkan keseluruh node dalam jaringan. Seluruh node kemudian memverifikasi parameter yang berkaitan dengan transaksi baru tersebut apakah memenuhi syarat untuk dilanjutkan/diproses. Jika memenuhi maka akan berlanjut ke tahap berikutnya.
3. Pembentukan blok baru (Formation of a new block)  
Transaksi yang telah terverifikasi kemudian dilanjutkan dan disimpan dalam sebuah blok.
4. Algoritma Konsensus (Consensus algorithm)  
Penerapan algoritma kriptografi sebagai mekanisme *proof of work* (PoW) untuk verifikasi blok baru pada blockchain. Sistem menetapkan nilai hash target untuk blok baru, dan node harus menghitung nilai hash untuk blok baru tersebut.
5. Penambahan blok baru ke dalam blockchain (Addition of the new block in the blockchain)  
Blok baru yang telah ter-autentikasi kemudian akan ditambahkan dalam blockchain dan transaksi dinyatakan selesai (completed). Blok baru yang ditambahkan kemudian ditautkan dengan blok lainnya dan tercatat secara kronologis.



**Gambar 10.1:** Proses Kerja Blockchain (Ujjawwal, 2018)

Berdasarkan proses kerja blockchain, maka dapat diidentifikasi beberapa fitur yang menjadi ciri khas blockchain (Hasan, 2020), yaitu:

1. Validation/Consensus

Terdapat banyak algoritma konsensus (consensus algorithm) yang biasa digunakan untuk melakukan validasi blok sebelum masuk ke dalam rangkaian chain, di antaranya: Proof of Elapsed Time, Proof of Stack (POS), Proof of Capacity, Proof of Work (POW).

2. Kekal (Immutable)

Sekali sebuah blok ditambahkan ke dalam rangkaian blockchain, maka mustahil untuk bisa melakukan modifikasi/perubahan ataupun menghapus blok tersebut. Hal ini karena blok tersebut terhubung dengan blok sebelumnya dan sesudahnya. Perubahan kecil pada sebuah blok (baik itu modifikasi ataupun penghapusan blok) akan menyebabkan perubahan pada semua blok yang ada di dalam rangkaian, dan hal ini mustahil untuk dilakukan.

3. Replicate/Peer to Peer Network

Blockchain menggunakan jaringan terdistribusi yang biasa disebut sebagai public ledger (buku besar publik). Pada sistem ini setiap node/peserta memiliki salinan identik dari setiap transaksi yang terjadi dalam jaringan blockchain.

#### 4. Transparansi (Transparency)

Setiap transaksi yang terjadi bisa dilihat oleh semua pengguna yang ada di dalam sistem/jaringan, dan bisa mengetahui tentang siapa yang melakukan tindakan apa pada saat itu juga.

#### 5. Aman (Secure)

Sistem blockchain tidak memiliki otoritas pusat yang berarti data disimpan di banyak komputer secara identik. Untuk melakukan peretasan, seorang peretas harus melakukan peretasan pada setiap node di setiap jaringan dalam satu waktu yang bersamaan, hal ini mustahil untuk dilakukan. Jikapun dilakukan akan membutuhkan biaya yang sangat mahal dan belum tentu akan berhasil.

#### 6. Kontrak Pintar (Smart Contracts)

Kontrak pintar ini merupakan suatu kode perjanjian (peace of code) antara dua orang dalam jaringan blockchain yang berisi syarat dan ketentuan khusus. Transaksi hanya akan terjadi ketika syarat dan ketentuan khusus (specific terms and conditions) ini bertemu di antara dua node, tanpa melibatkan adanya intervensi dari pihak ketiga. Hal ini bisa terjadi karena seluruh proses dari kontrak pintar ini dilakukan secara otomatis dalam sistem blockchain.

## 10.3 Framework IoT Chain

IoT merujuk pada jaringan perangkat (network of devices) yang mengumpulkan data dan membagikan hasilnya dengan gateway atau server melalui jaringan internet, yang memungkinkan otomatisasi dan pengelolaan pada banyak sistem dan proses (Simmons, 2023). Blockchain pada IoT berarti penerapan sebuah buku besar digital (digital ledger) yang aman secara kriptografis yang berisi catatan semua transaksi yang terjadi dalam jaringan dengan mengikuti *protocol consensus* untuk mengkonfirmasi blok baru (halaman di buku besar digital) untuk ditambahkan ke blockchain. Secara umum, suatu node dapat berperan sebagai titik masuk (entry point) untuk pengguna yang berbeda-beda pada blockchain, namun untuk mempermudah,

setiap pengguna dianggap bertransaksi pada blockchain melalui node mereka sendiri (Arief and Sundara, 2017).

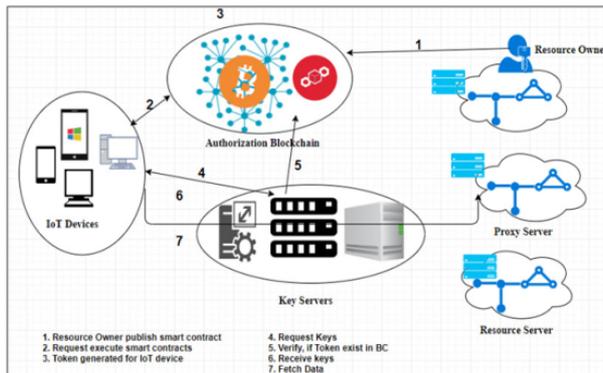
Pengintegrasian IoT dengan teknologi blockchain, menjadikan IoT data lebih aman, terautentikasi, dan terdesentralisasi. Sehingga dapat meningkatkan kepercayaan, transparansi, ketertelusuran, dan kehandalam dalam bingkai proses dan otomatisasi berbasis IoT. Gambar 10.2 menampilkan kerangka kerja (framework) IoT dengan Blockchain (IoT Chain).

Tujuan utama dari pengintegrasian Blockchain pada IoT dapat disimpulkan sebagai berikut (Alam, 2019):

1. **Decentralized framework**  
Menghapus pendekatan terpusat (centralized) dan memfasilitasi sistem terdesentralisasi/terdistribusi. Sehingga mengurangi probabilitas kegagalan dan meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan
2. **Security**  
Transaksi antar node dijamin dengan pendekatan yang baru untuk keamanan komunikasi. Blockchain memungkinkan perangkat IoT untuk berkomunikasi satu sama lain dengan cara yang aman.
3. **Identification**  
Semua perangkat yang terhubung pada IoT diidentifikasi secara unik, demikian pula setiap blok yang masuk pada blockchain. Blockchain menyediakan data yang teridentifikasi secara unik yang tersimpan dalam buku besar public (public ledger)
4. **Reliability**  
IoT node dengan blockchain dapat mengotentifikasi data/informasi yang dikirim dalam jaringan, dan hanya blok yang telah terverifikasi yang dapat masuk pada blockchain. Hal ini tentunya menjamin keandalan data/informasi.
5. **Autonomous (otonom)**  
Semua node IoT bebas untuk berkomunikasi dengan setiap node dalam jaringan tanpa sistem terpusat.

## 6. Scalability

Perangkat IoT berkomunikasi dengan tingkat ketersediaan yang tinggi (high-availability), dalam sebuah jaringan terdistribusi cerdas yang menghubungkan berbagai perangkat secara real-time dan saling bertukar informasi.



**Gambar 10.2:** Framework IoT Chain (Alam, 2019)

## 10.4 Peluang dan Tantangan Penerapan BC-IoT

Integrasi blockchain dan IoT memiliki peluang yang luar biasa dan membuka pintu kerjasama yang luas, sebagaimana dikemukakan oleh (Alam, 2019):

### 1. Membangun kepercayaan antar pihak

BC-IoT akan membangun kepercayaan di antara perangkat/pengguna yang terhubung karena fitur keamanannya yang handal. Hanya perangkat yang terverifikasi yang dapat berkomunikasi dalam jaringan dan setiap blok transaksi harus tervalidasi pula sebelum bisa masuk kedalam blockchain.

### 2. Mengurangi biaya

BC-IoT akan mengurangi biaya karena komunikasi langsung tanpa pihak ketiga. Hal ini menghilangkan kebutuhan akan pihak ketiga

dalam komunikasi antara pengirim dan penerima sehingga mengurangi biaya.

3. Keamanan dan privasi  
BC-IoT memberikan keamanan dan privasi terhadap perangkat yang terhubung dan juga informasi.
4. Layanan sosial  
BC-IoT dapat diterapkan untuk menyediakan layanan publik dan layanan sosial ke semua perangkat yang terhubung. Sehingga perangkat dapat berkomunikasi dan bertukar informasi secara leluasa.
5. Layanan Keuangan  
BC-IoT sangat handal diterapkan untuk layanan transfer dana secara aman tanpa pihak ketiga. Hal ini menunjang transaksi keuangan pribadi yang aman dan mengurangi waktu maupun biaya transfer.
6. Manajemen Risiko  
BC-IoT memainkan peran penting untuk menganalisis dan mengurangi risiko kegagalan sumber daya dan transaksi.

Di sisi lain, Alam (2019) mengidentifikasi tujuh aspek yang masih menjadi tantangan penerapan BIoT sebagaimana diuraikan berikut ini:

1. Skalabilitas (scalability)  
BC dapat menjadi hang dikarenakan beban transaksi yang berat. Sebagai gambaran, penyimpanan (storage) bitcoin pada tahun 2019 lebih dari 197 GB. Sehingga dapat dibayangkan integrasi BIoT akan menimbulkan beban transaksi yang lebih berat.
2. Penyimpanan (Storage)  
Buku besar digital (digital ledger) akan tersimpan di setiap simpul/node IoT. Seiring waktu ukuran penyimpanan akan menjadi isu penting untuk ditangani dan membebani setiap perangkat yang terhubung.
3. Kurangnya keterampilan (Lack of Skills)  
BC merupakan teknologi yang terbilang baru, sehingga masih sedikit orang yang menguasai teknologi tersebut. Sehingga menjadi tantangan untuk melatih tenaga ahli/terampil BC.

4. **Penemuan dan Integrasi (Discovery and Integration)**  
Pada awalnya BC tidak dirancang untuk IoT. Sehingga masih menjadi tugas menantang untuk melakukan berbagai penelitian melakukan integrasi BIoT secara maksimal.
5. **Privasi (Privacy)**  
Buku besar (ledger) didistribusikan secara publik ke setiap node yang terhubung dan dapat dilihat transaksinya oleh seluruh node. Sehingga isu privasi masih menjadi isu penting dalam BIoT.
6. **Interoperabilitas (Interoperability)**  
BC dapat bersifat public ataupun pribadi. Sehingga interoperabilitas antara public dan swasta masih menjadi tantangan dalam menerapkan BIoT.
7. **Aturan dan Regulasi (Rules and Regulation)**  
BIoT akan diterapkan secara global, sehingga akan berhadapan dengan aturan dan regulasi untuk menerapkan pendekatan ini secara global.

## 10.5 Potensi Penerapan BIoT

Pengintegrasian teknologi blockchain dan IoT (BIoT) berpotensi untuk diterapkan dalam berbagai bidang/domain. Berikut ini beberapa contoh potensi pemanfaatan BIoT (Arief and Sundara, 2017):

1. **Teknologi Finansial**  
Layanan finansial dapat dikembangkan dengan BIoT. Salah satu contoh: layanan billing dapat diintegrasikan ke dalam Blockchain dan dihubungkan ke Internet yang memungkinkan berbagai layanan lain yang memerlukan billing untuk memanfaatkannya.
2. **Pertanian**  
Pemanfaatan BIoT juga sangat mungkin dilakukan dalam bidang pertanian. Beberapa kasus penggunaan Blockchain di antaranya: pantauan cuaca, monitoring kualitas tanah, penggunaan energi, dan lain-lain.

### 3. Otentikasi kendaraan

Otentikasi yang kuat untuk kendaraan pengiriman barang akan memungkinkan monitoring secara remote, sehingga dapat mencegah pencurian barang.

### 4. Layanan Kesehatan

BIoT dapat digunakan untuk meningkatkan layanan kesehatan. Blockchain dapat digunakan untuk melakukan data sharing dalam bidang kesehatan yang mudah ditelusuri/dilacak (traceable).

### 5. Supply Chain Management

BIoT dapat dimanfaatkan dalam bidang manajemen supply chain. Supply chain merupakan bidang yang kompleks yang melibatkan puluhan tahap produksi serta sebaran geografis yang sangat luas. Sehingga data historis dari suatu produk biasanya sulit dikenali oleh pengguna yang memerlukan. Kurangnya transparansi dan kepercayaan dalam *supply chain* dapat mengakibatkan berbagai konsekuensi yang tidak diharapkan. Penyertaan informasi *supply chain* ke dalam jaringan *blockchain*, akan meningkatkan transparansi dan kepercayaan.

### 6. Pajak

Otoritas pajak dapat melihat jumlah produksi dengan cara yang dapat dipercaya, bahkan hingga level individual dengan memanfaatkan BIoT. Hal ini akan mengarah pada alokasi pendapatan yang lebih akurat dan efisien serta dapat menghilangkan/mengurangi biaya fungsi “akuntansi produksi” yang mahal.

### 7. Asuransi

Perusahaan asuransi dapat mengurangi rate yang disebabkan oleh pemeliharaan dan pengamanan data. Record yang ada dapat diotentikasi dengan aman dan tidak dapat diubah (immutable) dengan BIoT.

### 8. Industri

Blockchain dapat digunakan untuk memfasilitasi interaksi machine to machine (M2M), seperti industri kimia, energi, maupun industri lain, yang banyak memanfaatkan komunikasi. M2M dapat memanfaatkan BIoT untuk melakukan sharing data melalui jaringan terdistribusi tanpa perlu adanya interaksi manusia langsung.

# Bab 11

## IoT dan 5G

### 11.1 Pendahuluan

Teknologi *Internet of Things* (IoT) dan teknologi seluler Generasi 5 (5G) merupakan Teknologi Informasi dan Komputer (TIK) yang memiliki pengaruh global dalam industri dan jaringan telekomunikasi saat ini. Dengan adanya evolusi industri seluler dengan mulai dikenalnya Generasi 1 (1G) hingga 5G kini menunjukkan bahwa tren teknologi seluler ini selalu mengalami perubahan menuju peningkatan pelayanan dan akses data sesuai kebutuhan masyarakat terkini. Dengan melajunya era industri 4.0 memaksa para inovator memberikan solusi pelayanan yang sesuai. Olehnya itu hadirnya 5G dalam berbagai feature yang disediakan terutama dalam hal kecepatan data-rate yang tinggi, bandwidth atau lebar pita yang lebih besar, dan serta latensi (delay) yang sangat rendah dibandingkan dengan generasi sebelumnya maka makin memudahkan implementasi IoT.

Teknologi IoT membutuhkan kestabilan jaringan sebagaimana tersedia pada 5G. Keandalan 5G dalam akses rate yang 100 lebih besar dari generasi 4 (4G) sebelumnya telah memungkinkan penerapan IoT ini masuk ke segala unit pelayanan yang dibutuhkan yang terhubung ke beberapa perangkat yang berbeda (Al-Falahy, 2017).

## 11.2 Jenis-jenis Penerapan 5G dalam IoT

Berikut ini beberapa contoh implementasi jaringan 5G untuk pelaksanaan IoT. Sistem implementasi ini dibangun dapat menggunakan jaringan 4G, namun jika penerapannya telah berbasis jaringan 5G maka hasil penerapannya menjadi lebih maksimal.

Beberapa penerapan ini di antaranya:

1. Rumah Pintar (Smart Home)

Jaringan 5G dimanfaatkan untuk memudahkan konektivitas rumah pintar pada beberapa utility atau unit-unit di dalam rumah dan terkoneksi dengan IoT, misalnya monitoring lampu rumah, mesin pendingin (AC), monitoring krang air, monitoring gas dapur/kompot serta mekanisme pencegahan terhadap kebakaran. Masing-masing unit ini dapat dikoneksikan melalui perangkat seluler 5G pemilik rumah sehingga dapat dimonitor dari jarak jauh. IoT pada rumah pintar juga dapat mendeteksi on-off sistem kelistrikan jika ada atau tidak adanya penghuni/orang di dalam ruangan tertentu (Uddin, 2019).

2. Kota Pintar (Smart City)

Sama halnya dengan Smart Home, ruang lingkup Smart City lebih luas karena mencakup luas wilayah kota. Sistem Smart City dibangun untuk memberikan fasilitas kota dengan layanan-layanan umum dan efisiensi seperti pada sistem transportasi, pengaturan lalu lintas, kelistrikan jalan raya, pengelolaan sumber daya, e-government, pengelolaan Lingkungan, dan sebagainya. Dengan hadirnya Jaringan 5G yang merata maka tentunya implementasi IoT akan lebih mudah terlaksana (Minoli, 2019).

3. Smart Grid

Jaringan 5G juga dapat mensupport konsep green dan smart grid dalam pelayanan sumber daya kelistrikan dan energi di suatu wilayah. Smart Grid dapat diimplementasikan baik dalam ruang

lingkup wilayah rumah dan kota. Adanya IoT pada sistem monitoring dan pemantauan secara real-time pada penggunaan sumber daya energi maka dapat mendukung konsep green atau penataan lingkungan hijau yang lebih baik. Demikian pula tentunya penggunaan sumber daya energi khususnya listrik dan gas yang lebih dapat dimanfaatkan di mana ketersediaannya semakin menipis (Hui, 2020).

#### 4. IoT bidang Kesehatan

Teknologi 5G dapat dimanfaatkan dengan implementasi IoT dalam bentuk Pemantauan Kesehatan. Hal ini dapat membantu tenaga medis kesehatan dan pasien yang berobat untuk memudahkan pemantauan kondisi penyakit dan pengobatan. Beberapa aktivitas IoT bidang Kesehatan antara lain pemantauan pasien secara remote selama rawat jalan, pendeteksian penyakit kronis, sistem manajemen obat pasien yang dilengkapi dengan sensor mikroskopik sehingga bisa efektif dan langsung tepat sasaran menuju ke titik yang memang perlu diobati dari dalam, serta dalam hal akses rekam medis para pasien (Li, 20219).

#### 5. IoT pada Transportasi dan Logistik

Implementasi IoT pada layanan jasa transportasi dan logistik diprediksi memiliki peluang industry kerja yang gemilang. Hal ini karena segala jenis aktivitas manusia dalam beberapa sector menjadikan layanan transportasi dan logistik sebagai tolak ukur penting terselenggaranya bisnis baik pada skala lokal, nasional maupun internasional. Seperti pada Gambar 11.1 menunjukkan konektivitas IoT pada beberapa jenis sistem transportasi yang saling terhubung.

Layanan transportasi dan logistik membutuhkan kecepatan akses informasi, kecepatan dan ketepatan. Terlebih lagi harapan adanya keselamatan terhadap manusia atau barang yang menjadi angkutan dibidang ini. Terkait jasa bisnis transportasi misalnya maka dibutuhkan ketepatan proses sampainya ke tempat tujuan dengan selamat. Proses ini dimulai dari pemesanan tiket, pengisian bahan

bakar, petunjuk jalan dan jalur transportasi yang cepat dan aman. Demikian pula di sektor logistik, bahwa pergerakan system distribusi barang, retail, jasa pengiriman dibutuhkan implementasi IoT yang akan terhubung antara penyedia jasa dan pelanggan. Hal ini tentunya memudahkan dari segi waktu dan tenaga dalam pengelolaan asset dan pelayanan (Li, 2021).



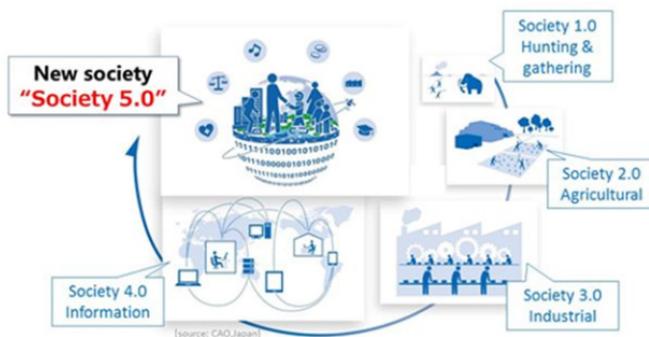
**Gambar 11.1:** IoT pada Transportasi dan Logistik ([www.asiotti.id/iot-bantu-perusahaan-logistik-lacak-kendaraan-dan-hobi-pengemudi/](http://www.asiotti.id/iot-bantu-perusahaan-logistik-lacak-kendaraan-dan-hobi-pengemudi/))

## 11.3 Perkembangan IoT era Industry 4.0 dan Society 5.0

Munculnya IoT adalah gebrakan awal munculnya era industry 4.0. Teknologi 5G ini sering acapkali disebut sebagai puncak kejayaan revolusi Industri 4.0 karena hampir system kerja teknologinya terkoneksi dalam suatu system kecerdasan dan jaringan multi-function. Kehadiran era revolusi Industri 4.0 juga disebut pemicu munculnya era sosial 5.0 karena telah berdampak pada tatanan kehidupan, perilaku social di kalangan masyarakat. Nair (2021) menyebutkan bahawa sebagaimana dalam sejarah diungkapkan bahwa munculnya Revolusi Industri 3.0 maka lahirlah era Society 4.0, demikian pula saat ini telah hadir Society 5.0.

Society 5.0 dapat maknai sebagai dampak psikologi masyarakat yang dipengaruhi oleh peradaban teknologi baru di mana kelompok manusia akan menyeimbangkannya dengan kemajuan ekonomi serta cara penyelesaian masalah sosial. Kelompok manusia merupakan bagian pengguna secara langsung selain makhluk hidup lainnya. Dan sebagai pusat penyelenggara tatanan kehidupan. Manusia perlu menyeimbangkan kemajuan ekonomi ditemani dengan kemajuan teknologi.

Era 4.0 adalah era industri yang didukung oleh teknologi digital, sedangkan Society 5.0 dikenal sebagai era industri yang didukung oleh teknologi canggih seperti IoT dan lainnya. Perbedaan utama antara kedua industri ini terletak pada teknologi yang digunakan, keamanan data dan cybersecurity, serta kebutuhan sumber daya manusia yang berbeda, di mana perbedaan utama tersebut akan memengaruhi dunia usaha dan produksi di masa depan. Gambar 11.2 menunjukkan keterkaitan antara perkembangan era industri dan era social.



**Gambar 11.2:** Perkembangan dan keterkaitan era Industry 4.0 dan Society 5.0 ([agungkristanto.ie.uad.ac.id/2020/02/society-50-sebuah-transformasi.html](http://agungkristanto.ie.uad.ac.id/2020/02/society-50-sebuah-transformasi.html))

Adanya perubahan dampak social dengan kemajuan teknologi tentu yang paling terasa ialah munculnya peran pengganti dari tenaga manusia. Tenaga manusia dahulunya merupakan penggerak utama terlaksananya produktivitas usaha dan industri, yang dikenal dengan man, machine, material, money, and method (5M). Namun menurut Okano (2017) bahwa era berganti hingga sampai ke era industri 4.0 maka peranan faktor produksi tenaga kerja manusia ini semakin berkurang karena telah sebagian diambil alih oleh teknologi mesin.

Namun demikian, IoT dan Industri 4.0 menganut konsep yang bertujuan mempermudah aktivitas manusia juga. Dengan IoT ini, konektivitas Internet antara beberapa perangkat dan aplikasi secara otomatis makin mempermudah pengadaan kebutuhan dan mengurangi waktu kerja fisik yang lama. IoT membantu dalam hal monitoring, sistem kendali, sistem otomasi dan tentu memudahkan adanya pertukaran data yang sangat cepat. Keseluruhan sistem ini oleh sistem Jaringan 5G dapat mudah terintegrasi dengan jaringan siber atau fisik lainnya dengan memanfaatkan komputasi awan (cloud computing) (Kim, 2017).

Pabrikan perangkat elektronik dalam bentuk sirkuit integrasi digital dan sistem mikroprosesor yang canggih memudahkan mekanisme IoT selalu terhubung dengan Internet dan selanjutnya secara otomatis dapat menjalankan perintah sesuai program yang diinginkan pelanggannya. Perangkat ini mudah ditemukan di sekitar kita seperti pendingin ruangan (AC), komputer, printer, lampu, perlengkapan dapur dan electronic device lainnya yang secara otomatis berfungsi sesuai perintah pemanfaatannya. Hal lainnya bahwa sering ditemukannya lokasi kecerdasan buatan atau artificial intelligent (AI) bahwa IoT ini mampu memanfaatkan basis data yang kemudian diolah menghasilkan perintah secara otomatis. Sebagai contoh, lampu penerangan ruangan akan berfungsi On jika telah mendeteksi adanya keberadaan manusia melalui komponen sensor suhu. Contoh lainnya misalnya komputer otomatis menyala On jika operatornya menyentuh dan akan menggunakannya, namun jika operator telah menjauh atau meninggalkan tempat dalam waktu lama maka secara otomatis komputer akan Off. Contoh-contoh sederhana ini sangat dibutuhkan manusia dan juga untuk menjadi penghematan penggunaan energi dan pengendalian yang terencana.

## 11.4 Sistem Jaringan 5G

Jaringan 5G menawarkan kecepatan unggah dan unduh data yang lebih tinggi. Sumber informasi berupa voice, text, gambar dan lainnya menjadi kumpulan data yang terkoneksi secara konsisten. Hal ini berarti segala bentuk sumber informasi membutuhkan muatan bandwidth yang besar. Bandwidth dinyatakan sebagai ruang atau kapasitas channel yang dapat menampung seluruh informasi ini dari suatu user dan bergabung dari user-user lainnya yang dilayani secara bersamaan. Jauh sebelum hadirnya 5G, teknologi

pendahulunya seperti 3G dan 4G telah menghadirkan layanan data. Namun tentunya setiap evolusi perkembangan generasi-generasi komunikasi Nirkabel seluler ini memiliki perkembangan dan peningkatan baik dari kecepatan akses data dan bandwidth yang digunakan (Muttaqin dkk, 2023). Teknologi 5G jauh lebih cepat dan lebih andal daripada jaringan 4G. Pada 5G, handphone atau smathphone telah terintegrasi dengan beberapa perangkat lainnya seperti mobil yang berkemudi otomatis, aplikasi-aplikasi permainan game canggih, ataupun media layar live-streaming yang membutuhkan koneksi akses data berkecepatan tinggi dan rendah latency (delay) (Parvez, 2018).

Kelebihan jaringan 5G antara lain:

1. Koneksi dan coverage lebih luas

Jika dibandingkan dengan teknologi pendahulunya (4G), baik teknologi 4G & 5G sama-sama menawarkan subcarrier spacing berbasis orthogonal frequency division multiplexing (OFDM). OFDM dengan teknik modulasi yang membagi aliran data high-rate menjadi aliran rate yang lebih rendah dengan beberapa sub-carrier sehingga multipath delay spread dapat menurun secara signifikan. Pada teknologi 4G berbasis long term evolution (LTE) yang hanya mempunyai subcarrier spacing mencapai 15 kHz (Ramteke dkk, 2018). Namun teknologi 5G yang mempunyai kapasitas hingga 100 kalinya dan mampu mudah beradaptasi dengan berbagai perangkat. Sehingga dalam konektivitas IoT melalui perangkat-perangkat berbasis smart makin mudah saling terhubung.

2. Zero delay

Teknologi 5G dalam beberapa uji coba ditemukan hampir tidak memiliki delay (zero delay). Jika dibandingkan dengan generasi 4G, ekspektasi zero delay juga sudah dapat ditemukan. Jaringan 5G memiliki waktu delay hanya sekitar 1-5 milidetik yang bahkan kondisi dapat dinyatakan sebagai zero-delay karena dampaknya sangat tidak terasa (Dohler dkk, 2017). Akses live-streaming pada 4G sudah cukup memuaskan pelanggannya, apalagi bagi Jaringan 5G ini. Dengan memanfaatkan zero-delay pada 5G ini maka pengguna saat mengakses streaming video beresolusi tinggi tidak perlu lagi bantuan buffering.

### 3. Green dan hemat energi

Konsep green-technology dapat ditemukan pada teknologi 5G ini. Umumnya kebutuhan energi yang dibutuhkan tidak besar karena Jaringan 5G mengutamakan penguatan coverage layanan indoor atau outdoor dengan access point yang berdaya rendah. Hasil penelitian oleh Shurdi dkk (2021) bahwa teknologi 5G bahkan bisa mengurangi konsumsi energi sebesar 10% dengan cara mengurangi trafik data. Seperti diketahui bahwa kecepatan transmisi data yang super cepat juga dapat menyumbang kontribusi terbesar dalam menciptakan teknologi yang hemat energi.

Kekurangan Teknologi 5G antara lain:

#### 1. Keterbatasan Spektrum Frekuensi radio

Salah satu permasalahan terbesar dari implementasi teknologi 5G ialah kebutuhan spectrum Frekuensi yang dibutuhkan (Zi dkk, 2016). 5G membutuhkan frekuensi kerja dikisaran leboh dari 3.8 GHz sementara area spektrum ini telah lebih dahulu digunakan untuk akses komunikasi satelit (Son & Chong, 2018). Sedangkan beberapa Frekuensi disekitarnya sudah terplot bagi implementasi telekomunikasi lainnya. Adanya solusi share-frequency kini masih dilakukan beberapa ujicoba sehingga tidak berdampak buruk bagi eksistensi jaringan lainnya (Xiao dkk, 2020).

#### 2. Privasi dan keamanan

Isu privasi dan keamanan merupakan krusial bagai lalu lintas data dalam dunia maya dan Internet. 5G dengan kemudahannya dan kecepatan dalam mentransfer data berkualitas tinggi, masih memiliki risiko rentangnya jalur privasi dan keamanan ini (Sicari dkk, 2020). Perlu tidak lanjut pencegahan dan sistem keamanan yang memastikan data pelanggan tetap terlindungi.

#### 3. Pathloss yang besar

Wilayah geografi suatu wilayah berbeda-beda. Ada yang dikelilingi gedung tinggi dan padatnya Bangunan, ada yang berada di pegunungan dengan pepohonan yang lebat, ada pulan terdiri dari

hamparan perairan, dan sebagainya. Teknologi 5G mengimbangi dengan area indoor dan outdoor yaitu kondisi untuk wilayah luar gedung dan di dalam gedung. Teknologi 5G memiliki kelemahan menembus berbagai penghalang besar seperti tembok Gedung, kaca, dinding, beton, pohon dan sebagainya sehingga besarnya pathloss ini menimbulkan gangguan-gangguan dalam transmisi sinyal (Sun dkk, 2016).

Arsitektur Jaringan 5G telah dirancang pada frekuensi radio mulai dari sub-carrier 1 GHz hingga frekuensi yang sangat tinggi di atasnya. Hal ini pada 5G disebut pula sebagai teknolog dengan gelombang milimeter (mmWave) (Niu dkk, 2015). Semakin tinggi frekuensinya, panjang gelombang semakin pendek untuk sinyal dapat bergerak sehingga akan semakin banyak kapasitas data yang dapat dikirim.



**Gambar 11.3:** Alokasi Rentang Frekuensi pada 5G (Sukarno, 2020).

Seperti pada Gambar 11.3, rentang frekuensi pada 5G dapat dikategorikan dalam tiga pita frekuensi, yaitu (Sukarno, 2020):

1. High band 5G (mmWave) yakni menghadirkan 5G dalam frekuensi tertinggi. Rentang high band 5G berada dikisaran 24-100 GHz. Permasalahan pada 5G terhadap rentangan menghadapi pathloss tinggi sehingga bagi high band 5G akan tidak mudah bergerak melalui rintangan. 5G menawarkan range high band ini cocok pada area indoor (dalam ruangan/gedung) karena coveragenya untuk jangkauan pendek. Olehnya itu pada mekanisme ini, cakupan

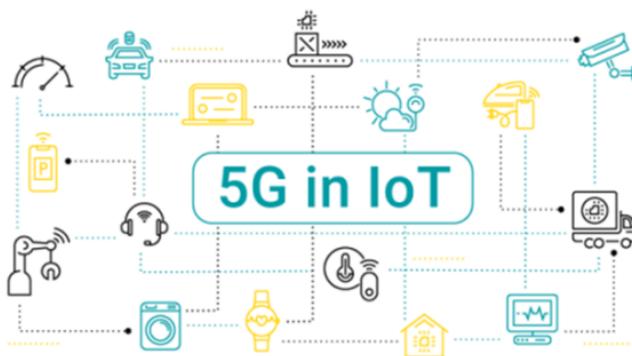
- mmWave akan terbatas dan membutuhkan beberapa infrastruktur seluler yang memadai.
2. Mid band 5G yakni menghadirkan 5G dalam rentang operasi Frekuensi 2-6 GHz. Layanan mid band 5G ini cocok untuk lapisan kapasitas daerah perkotaan (urban) dan pinggiran kota (sub urban). Mid band 5G akan menggunakan pita frekuensi ini dengan rata-rata kecepatan puncak mencapai ratusan Mbps sehingga cocok untuk penggunaan di wilayah yang lalu lintas datanya tidak besar dan atau tidak sedikit.
  3. Low band 5G yakni menghadirkan 5G dalam rentang operasi di bawah 2 GHz dan cocok untuk layanan outdoor (luar ruangan/gedung) dengan cakupan yang luas. Umumnya rentangan low band 5G ini menggunakan spektrum yang telah tersedia pada beberapa jaringan yang sudah digunakan pada 4G LTE. Sebagai pengganti 4G, frekuensi 5G akan menggunakan Frekuensi ini lagi dan tentunya harus menyediakan arsitektur LTE 5G yang berbeda. Jika terjadi migrasi dari teknologi seluler sebelumnya misalnya pada 4G LTE tersebut maka boleh dikata kinerja 5G dengan low band akan mirip dengan 4G LTE. Jika pada wilayah site tertentu 4G LTE pakai terpakai maka memungkinkan dilaksanakan share-frequency (Frekuensi saling berbagi).

Selain pada faktor ketersediaan spektrum yang memadai dan standarisasi aplikasi yang mempertimbangkan antara kapasitas dan coverage (area jangkauan) maka masing-masing operator seluler wajib mempertimbangkan ketersediaan daya pancar 5G dan sistem infrastrukturnya. Hal ini dikarenakan infrastruktur jaringan 5G didesain lebih dari dua kali jumlah daya pemancar 4G dengan muatan kapasitas yang hampir atau lebih sama banyaknya.

## 11.5 Layanan 5G di Indonesia

Sejak awal 2020, Indonesia telah memasuki babak baru teknologi informasi 5G. Ditargetkan pada tahun 2021 bahwa jaringan seluler 5G mulai beroperasi secara komersial diseluruh Indonesia, terutama wilayah urban pada kota-kota besar.

Penggunaan spektrum frekuensi untuk jaringan 5G perdana digunakan pada 2.3GHz, namun tentu sebelum implementasi ini telah banyak dilakukan ujicoba jaringan sepanjang 2017 hingga 2020 tersebut. Persoalan pemerataan jaringan 4G di Indonesia sebenarnya masih menyisakan permasalahan. Target layanan 4G dapat dianggap belum merata ke seluruh wilayah Indonesia. Menurut Admaja (2015) belum rampungnya pemerataan 4G, telah lahir teknologi 5G yang sudah ditargetkan siap melayani seluruh wilayah geografis Indonesia. Dengan demikian, feature yang berada dan pada 5G ini juga menunjukkan awal mula tahapan operasi simultan imigrasinya 4G menuju 5G di tanah air. Namun demikian, kehadiran layanan 5G tidak lantas segera menggesur sistem 4G namun dilakukan secara perlahan dan terencana dengan baik baik user dan masyarakat pengguna secara umum.



**Gambar 11.4:** Gambaran implementasi IoT melalui Jaringan 5G (sumber gambar: [blog.indonetwork.co.id/jaringan-5g-untuk-bisnis/](http://blog.indonetwork.co.id/jaringan-5g-untuk-bisnis/))

Hadimya teknologi 5G akan mendorong realisasinya system digitalisasi demi terwujudnya era industry 4,0 ini. Pemerintah terus mendorong adanya kemajuan sektor digital Indonesia. Gambar 11.4 menunjukkan ilustrasi implementasi IoT melalui jaringan 5G dengan berbagai layanan yang

ditawarkan 5G tentunya lebih banyak dan lebih besar kapasitasnya dari 4G sebelumnya, belum lagi terkait jaminan akses data dengan kecepatan yang tinggi dan zero-delay. Menurut Ariyanti (2021) bahwa pada era industri 4.0 ini banyak pergerakan-pergerakan bisnis dan pegiat atau pelaku usaha & industry yang memanfaatkan 5G sebagai potensi pengembahan usaha baru dengan mengedepankan komunikasi komunikasi machine-to-machine dan mengurangi penggunaan tenaga fisik manusia (human-to-human).

Perancangan jaringan 5G di Indonesia dikelola oleh beberapa operator seluler besar yang sudah mendapat lisensi spektrum. Masing-masing operator ini akan memanfaatkan ketersediaan spektrum yang mereka miliki lisensinya setidaknya di tiga layar lapisan, yaitu high band, mid band, dan low band. Sebagai transformator layanan digital maka teknologi 5G akan bersifat fleksibel sehingga mudah pula diterapkan untuk jenis layanan Mobile Broadband maupun Fixed Broadband atau Fixed Wireless Access (FWA). Strategi pengalokasian pita frekuensi lama pada bekas 2G dan 3G juga akan dimanfaatkan dengan baik. Pita-pita frekuensi di lapisan low band dan mid band, seperti pita 700 MHz, 2,6 GHz, dan 3,5 GHz akan dialihkan ke Mobile Broadband di mana Indonesia merupakan sasaran pasar terbesar terkait pengguna Mobile Broadband (Ariyanti, 2021). Sementara itu, layanan Fixed Broadband sesuai standardisasi dunia akan memanfaatkan pita spektrum pada lapisan high band.

Perjalanan transformasi digital teknologi-teknologi seluler di Indonesia mulai dari 1G hingga 5G diyakini untuk menunjang terselenggaranya akses komunikasi, informasi dan Internet yang cepat untuk pembangunan bangsa ini. Hingga hadirnya 5G diyakini mampu mempercepat transformasi sosial ekonomi maupun budaya secara digital. 5G dengan keunggulannya dalam kecepatan transfer data yang tinggi dan latensi yang rendah meningkatkan jumlah pemakaian Internet dalam kurung beberapa tahun terakhir ini. Sumber data dari Katadata.co.id menunjukkan peningkatan yang sangat signifikan terkait pengguna Internet pada tahun 2023 ini. Tingkat penetrasi Internet di Indonesia tahun 2023 tercatat meningkat dari 77,02% naik menjadi 78,19% pada tahun 2023. Hal ini mencatatkan bahwa terdapat kurang lebih 215,62 juta user (78.2%) dari total populasi 275,77 juta jiwa penduduk Indonesia yang terakses Internet.

Pengalaman user menikmati streaming video dan pengunduhan data dan file yang cepat dan lancar sangat dirasakan manfaatnya Ketika di era 4G jumlah permintaan streaming dan pengunduhan video telah meningkat secara

signifikan dari sisi konsumen. Kondisi itu pada masa pandemi Covid-19 dalam dua tahun yang lalu mencatat pemakaian akses Internet melonjak pesat hingga 300% bahkan lebih. Hasil Survei Global Web Index 2020 semakin mempertegas tuntutan konsumsi konten video dari konsumen. Sebanyak 51% dari Gen Z lebih memilih konten video online untuk konsumsi media mereka, sedangkan 31% memilih online TV. Lebih lanjut lagi, 64% pelanggan memanfaatkan Internet untuk akses e-commerce produk secara online setelah menonton video mengenai produk tersebut. Tidak disangkal bahwa selama pandemic, toko-toko online seperti Shopee, Tokopedia, dan Lazada menjadi pilihan favorit.

Meredanya pandemic Covid-19, memasuki awal tahun 2022 hingga 2023 membuat system perekonomian Indonesia menuju ke fase pemulihan. Terselenggaranya jaringan 5G mendorong perusahaan dan industri manufaktur dan beberapa sektor lainnya menuju ke implementasi IoT. Mulai perlahan produk-produk berbasis IoT ditawarkan sering kebutuhan masyarakat dengan tingkat mobilitas yang tinggi. Bahkan beberapa perusahaan dan vendor IoT pun mulai hadir di Indonesia karena perangkat-perangkat dan sensor akan dibutuhkan dalam jumlah yang besar.

Indonesia juga mendorong implementasi Internet Protocol Address (IP Address) versi 6 sebagai standar pengalaman. Hal ini tentunya karena 5G dan IoT akan mengkoneksikan jutaan bahkan miliaran perangkat dalam waktu yang bersamaan. Sebagaimana diketahui, perubahan situasi konektivitas tidak lagi antara man to man tetapi sudah device to device, olehnya itu salah satu protocol IPv6 didorong untuk dimanfaatkan dengan baik (Admaja, 2015).

Di Indonesia saat ini penggunaan IP Address masih didominasi Internet Protocol version 4 (IPv4) namun hal ini masih memiliki keterbatasan untuk memberikan alamat pada perangkat baru dengan jumlah yang besar. Lanjut menurut Admaja (2015) bahwa untuk mengatasi keterbatasan jumlah alamat IPv4 tersebut maka perlu dikembangkan versi terbaru berupa IPv6 yang kini merupakan versi terakhir dari Internet Protocol dengan keunggulannya dari aspek keamanan (cyber security) dan Quality of Service (QoS). Selayaknya 4G ke 5G, maka migrasi IPv4 ke IPv6 juga diperlukan infrastruktur yang saling mendukung terutama di era 5G saat ini.



# Bab 12

## Implementasi IoT pada Smart Home

### 12.1 Pendahuluan

Kemunculan Internet telah mengubah cara dunia beroperasi diikuti dengan kecepatan perkembangan teknologi yang semakin cepat. Kecepatan pertumbuhan dan perkembangan teknologi di segala bidang dan lintas sektor telah mengubah banyak hal dalam memasuki Era baru global yaitu Era *Internet of Thing* (IoT). Secara umum, *Internet of Thing* mendukung semua orang untuk memiliki pemahaman yang tinggi terhadap dunia disekitar dan perkembangannya secara global menjadi fokus kemajuan perkembangan teknologi saat ini. Teknologi IoT yang dimanfaatkan untuk menjaga keamanan suatu hunian dan berbagai kemudahan serta kenyamanan yang didapatkan (Artiyasa et al., 2020).

Penerapan *Internet of Thing* (IoT) pada *smart home* merupakan realisasi konkret dalam implementasi IoT saat ini. Hal ini memberikan banyak sekali kemudahan yang didapat dalam memfungsikan kecanggihan teknologi IoT pada hunian dengan *system smart home*. IoT merupakan suatu teknologi yang mengintegrasikan berbagai hal dengan terhubung melalui internet dan wifi menggunakan berbagai sensor yang menghasilkan out put tertentu. Sensor

yang sering diaplikasikan serta digunakan di antaranya seperti; RFID, Infrared, GPS, maupun laser sensor dan juga suara.

Pemanfaatan IoT secara umum dapat meningkatkan kualitas hidup manusia menjadi lebih baik. Berpengaruh pada kehidupan manusia yang tanpa sadar tidak dapat terlepas dari keberadaan internet.

## 12.2 Konsep Smart Home System

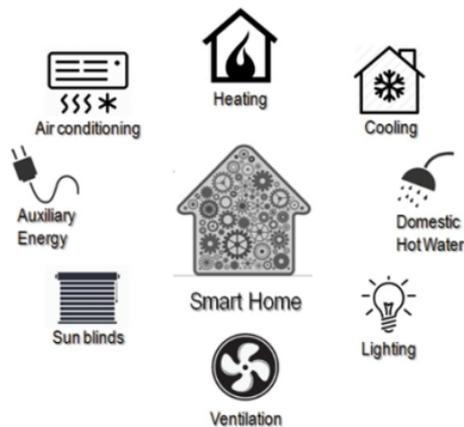
Sebuah rumah bisa dikatakan sebagai smart home apabila mengaplikasikan beberapa IoT device pada huniannya. Pembangunan smart home akan membantu memudahkan kehidupan manusia dengan mengintegrasikan berbagai sensor dalam suatu jaringan sehingga *dapat melakukan berbagai macam hal seperti tracking, recognition, surveillance dan lainnya.*

*Smart home system* merupakan salah satu produk unggulan yang dapat dijadikan keunggulan kompetitif bagi para pengembang perumahan, smart home system merupakan suatu sistem di mana penghunianya dapat mengatur dan mengontrol perangkat-perangkat yang ada di rumah dari jarak jauh yang dapat diintegrasikan melalui *device* yang terkoneksi dengan IoT, seperti smartphone atau gadget.

Fabi, Spigliantini and Corgnati (2017) menyebutkan beberapa definisi Rumah Pintar menyoroti bahwa konsepnya adalah untuk menghubungkan sensor, peralatan, dan perangkat melalui jaringan komunikasi, untuk memantau, mengakses, atau mengontrol lingkungan perumahan dari jarak jauh. Selain itu, poin penting dari sistem smart home adalah menyediakan layanan yang menanggapi kebutuhan pengguna. Namun belakangan ini, istilah "Smart" atau "Intelligent" terkait dengan efisiensi energi pada bangunan. Dengan demikian, sering disebut untuk menyediakan sistem manajemen energi rumah (HEMS) yang mengelola konsumsi energi di dalam rumah. Secara khusus, sistem ini bertujuan untuk memaksimalkan efisiensi listrik di dalam rumah dan secara optimal mengendalikan peralatan rumah untuk mengurangi dan mengoptimalkan penggunaan energi, serta menciptakan dan menyimpan energi dengan mengimplementasikan IoT (Lasera and Wahyudi, 2020).

Sebenarnya teknologi yang paling penting dalam sistem Smart Home adalah jaringan (internet) itu sendiri seperti yang terlihat pada Gambar 12.1 (Saito and Menga, 2015), yang memungkinkan pertukaran informasi real-time dari dan

ke bangunan dan pengguna dengan menghubungkan dan mengoordinasikan semua perangkat teknologi yang terpasang dalam sistem. Sebenarnya, keberadaan koneksi perangkat rumah inilah yang membedakan Smart Home System dari rumah yang hanya dilengkapi dengan fitur teknologi mandiri yang sangat canggih. Meskipun mungkin terbukti dengan sendirinya bahwa bangunan modern dan berlayanan tinggi memerlukan sistem kontrol canggih.

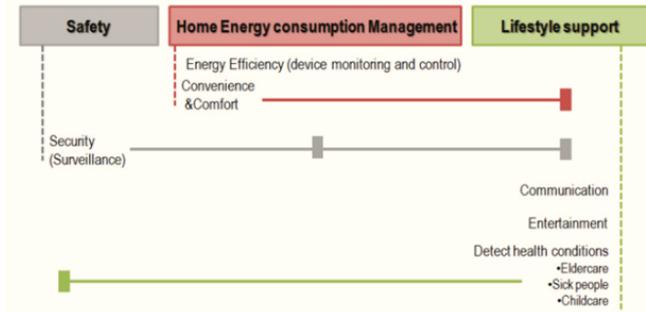


**Gambar 12.1:** Smart Home Network Example (Saito and Menga, 2015)

Implementasi IoT pada hunian dengan konsep smart home mampu meningkatkannya penekanan pada penghematan energi yang berfungsi untuk meningkatkan pentingnya kontrol yang efisien. Meningkatkan efisiensi sistem memerlukan kontrol terpusat dan terpusat dari semua komponen terkait energi untuk memastikan bahwa seluruh sistem dapat bekerja dengan optimal. Selain itu, jaringan komunikasi sangat penting untuk mengumpulkan data dari semua komponen Smart Home dan menguraikannya untuk mengindividualisasikan strategi yang tepat untuk meningkatkan penghematan energi pada hunian rumah tinggal.

Efisiensi juga dipengaruhi oleh kemampuan sistem untuk mengkomunikasikan pengguna dan mengubah kebiasaan mereka, sehingga cara komunikasi digunakan untuk menginformasikan melalui IoT adalah sebagai konsep dasar, tanpa IoT pengaplikasian smart home system ini tidak dapat dioperasikan atau difungsikan, misalkan pemantauan terus menerus terhadap komponen HVAC jelas dianggap membantu dalam mengurangi konsumsi energi secara keseluruhan pada bangunan/rumah.

Layanan utama yang disediakan oleh smart homes di antaranya sebagai berikut dapat dilihat pada Gambar 12.2 (1) Mendeteksi kondisi kesehatan; (2) Menyimpan dan mengambil multimedia (Entertainment); (3) Pengawasan Keamanan; (4) Monitor dan kontrol perangkat (Efisiensi energi).



**Gambar 12.2:** Smart Home Service (a) (Saito and Menga, 2015)

### 12.2.1 Keunggulan Smart Home System

Sistem smart home menawarkan manfaat di banyak bidang termasuk membatasi dampak lingkungan, menghemat biaya energi dan meningkatkan keamanan dan keselamatan bangunan. Sistem tidak hanya mengatur fungsi bangunan, tetapi dengan IoT mampu mengubah data untuk membantu pengguna menentukan cara untuk lebih mengurangi biaya dan meningkatkan efisiensi dan kenyamanan bangunan rumah yang dihuni. Sistem smart home seharusnya tidak hanya memberi tahu pengguna tentang lingkungan disekitar mereka, tetapi juga memberikan tingkat kontrol terhadap lingkup tersebut. Kontrol atau pengawasan pintar memungkinkan penghuni rumah untuk memodulasi penggunaan energi pada bangunan rumah yang menerapkan smart home system tersebut. Pengontrolan energi yang dimaksud dalam bentuk pemanasan, pendinginan, udara terkondisi dan pencahayaan hanya boleh disediakan ketika ada permintaan di sisi pengguna. Pengguna harus mengatur kapan dan berapa banyak energi yang harus dikonsumsi. Setelah menyelesaikan konstruksi atau renovasi, perilaku disesuaikan untuk mencapai fungsi akhir bangunan yang diharapkan, misalnya menyalakan pemanas/termostat saat dingin, membuka jendela untuk ventilasi, menyalakan AC jika terlalu hangat, menyalakan lampu, dan lainnya.

## 12.2.2 Pemanfaatan Teknologi IoT pada Smart Home System

Pemanfaatan IoT pada smart home melibatkan penggunaan perangkat yang terhubung secara nirkabel untuk mengontrol dan mengotomatisasi berbagai aspek kehidupan sehari-hari di dalam rumah.

Berikut beberapa contoh pemanfaatan IoT pada smart home (Herdianto, 2018);

### 1. Sistem Keamanan

Dengan menggunakan sensor gerak, sensor pintu/jendela, dan kamera CCTV yang terhubung ke jaringan, pemilik rumah dapat memantau aktivitas di sekitar rumah secara real time melalui perangkat pintar seperti smartphone atau tablet. Pengguna juga dapat menerima notifikasi jika ada pergerakan yang mencurigakan atau aktivitas yang tidak diinginkan.

### 2. Pengaturan Energi

IoT memungkinkan pengguna untuk mengontrol penggunaan energi di rumah. Seperti pengguna/penghuni rumah dapat mengatur jadwal penyalakan dan pematian lampu (on/off), pengaturan suhu pada perangkat pendingin atau pemanas ruangan dan pengaturan jadwal pengoperasian peralatan rumah tangga seperti mesin cuci atau oven dan sebagainya.

### 3. Pencahayaan Otomatis

Sensor cahaya dan gerak dapat digunakan untuk mengendalikan pencahayaan di rumah. Lampu dapat menyala secara otomatis ketika seseorang memasuki ruangan atau ketika kondisi cahaya rendah terdeteksi. Selain itu, pengguna juga dapat mengontrol pencahayaan melalui perangkat pintar dari jarak jauh, misal seperti smartphone.

### 4. Kehadiran dan Akses

Sistem IoT dapat digunakan untuk mengontrol akses ke rumah, misalnya dengan menggunakan kunci pintar atau pengenalan wajah. Pemilik rumah dapat memberikan akses jarak jauh kepada tamu atau anggota keluarga mereka, bahkan ketika penghuni tidak berada di

rumah, mampu memantau dan mencatat kehadiran dan aktivitas pengguna di rumah.

#### 5. Perawatan Kesehatan

Smart home juga dapat mencakup perangkat IoT untuk pemantauan kesehatan, misalnya; perangkat yang dapat memantau detak jantung, tekanan darah atau tingkat gula darah penghuni rumah. Data ini dapat dikirim secara otomatis kepada dokter atau anggota keluarga yang perlu mengawasi kondisi kesehatan mereka.

#### 6. Sistem Kendali Suara

Dengan menggunakan asisten virtual atau speaker cerdas yang terhubung ke rumah, pengguna dapat mengendalikan perangkat-perangkat rumah secara suara. Mereka dapat mengatur pengaturan lampu, menghidupkan musik, mengatur suhu, atau memerintahkan perangkat lain dengan menggunakan perintah suara.

#### 7. Pengaturan Irigasi

Sensor kelembaban tanah dapat terhubung ke sistem irigasi otomatis di taman rumah. Sistem ini akan mengontrol penggunaan air berdasarkan kebutuhan tanaman. Jika tanah terlalu kering, sistem akan memberikan air secara otomatis. Hal ini membantu menghemat air dan menjaga kondisi tumbuhan tetap optimal.

Bagi pengguna smart home, masalah mendasar adalah persyaratan fungsional, yang harus sepenuhnya dipasang dan diimplementasikan. Penting bagi penghuni untuk dapat menggunakan fungsi-fungsi tersebut tanpa kesulitan. Sangat penting bagi pengguna bahwa smart home dapat dengan mudah dirawat dan dikelola. Selain itu, smart home harus menjamin kehidupan sehari-hari yang aman, dengan beberapa dukungan untuk keselamatan dari bencana alam atau kecelakaan. Pada prinsipnya penerapan IoT pada smart home bertujuan memberikan segala kemudahan dan kenyamanan terhadap penggunanya (Setiyani, Suhada and Yulindawati, 2019).



**Gambar 12.3:** Smart Home Service (b) (Null, 2023)

### 12.2.3 Deficiency Smart Home System

Dalam penerapan serta implementasi kecanggihan perkembangan teknologi berbasis IoT tentu saja masih ada celah kekurangannya, meskipun smart home system mengklaim mampu menghemat biaya listrik namun ternyata masih ada kekurangan dalam penerapannya. Misalnya seperti risiko keamanan dan bug seringkali mengganggu penggunanya, ditambah semakin banyak hacker atau peretas sistem sehingga diperlukan optimalisasi dalam keamanan akses terhadap perangkat atau device yang digunakan. Guna menyiasati hal tersebut, langkah-langkah taktis untuk meminimalisir risiko tersebut dapat diproteksi dengan melindungi peralatan dan perangkat pintar dengan password yang kuat, sehingga tidak mudah untuk diretas. Pengaplikasian password yang kuat untuk akses misalkan menggunakan enkripsi dan pastikan hanya menghubungkan perangkat ke jaringan penghuni rumah, sehingga kemungkinan sistem bocor bisa dihindari. *Deficiency smart home* selain *password*, yaitu biaya pemasangan yang relatif mahal, estimasi biaya pemasangan *smart home system* bisa mencapai puluhan juta untuk sistem nirkabel dan jika pemasangan dengan sistem kabel sedikit lebih murah. Pasokan dan kestabilan arus listrik juga sebagai penentu optimalisasi fungsi sistem smart home ini. Jika kemampuan dan kondisi listrik tidak stabil diharapkan penghuni rumah memiliki *back-up* dan *safety system* agar tidak terjebak di dalam rumah atau merusak sistem keamanan.

Penghuni sebagai end-users harus diperhitungkan ketika merancang dan menerapkan smart home, sebab pengguna menentukan nilai layanan yang akan digunakan, seperti pada layanan instalasi dan/atau pemeliharaan untuk

manajemen energi rumah, meskipun pengguna mungkin tertarik pada konsep smart home dengan tawaran harga layanan yang bersaing. Dengan kemudahan dan kenyamanan yang ditawarkan oleh penerapan IoT pada sistem smart home akan menjadi favorit pengguna sebagai end-users meskipun harga yang ditawarkan sangat tinggi.

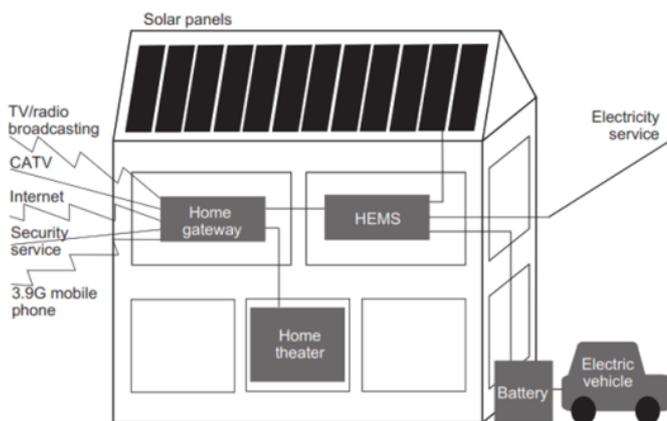
Fabi, Spigliantini dan Corgnati (2017), menyebutkan perhatian utama pada smart home oleh pengguna terkait dengan invasi privasi domestik dan terlalu banyak teknologi yang mengganggu. Di sisi lain, masalah efisiensi energi adalah pendorong utama untuk memilih sistem rumah pintar karena biaya energi tinggi dan orang lebih terpicu untuk membeli sistem yang memungkinkan mereka mengkonsumsi lebih sedikit energi.

Dalam hal ini, tantangan utama untuk pengembangan smart home berbasis IoT di antaranya;

1. **Retrofitting of existing home**  
Orang lebih suka menyesuaikan rumah mereka menjadi lingkungan yang cerdas daripada membeli rumah baru.
2. **Interoperability**  
Adopsi standar universal untuk pengontrol komunikasi.
3. **Reliability**  
Orang-orang percaya pada layanan teknologi. Secara khusus, platform pengelolaan smart home sangat penting karena memiliki standar ditetapkan berdasarkan regulasi, sistem dapat diintegrasikan.
4. **Privacy dan Security**  
Dalam sistem jaringan, user khawatir tentang keamanan dan privasi rumah mereka.
5. **Costs**  
Persepsinya adalah bahwa sistem smart home ini adalah "teknologi masyarakat high levels".
6. **Usability**  
Sistem yang kompleks sering dikaitkan dengan user interface yang sulit. Kegunaan kemudian menjadi aspek penting untuk teknologi yang akan digunakan.

## 12.3 Smart Home sebagai Elemen Teknologi

Dalam pemanfaatan teknologi yang dapat mendukung terwujudnya smart home juga diperlukan perhatian khusus pada pertimbangan ekologis dan keberlanjutan *networks*, *relevant environments*, dan *equipment*. *Smart home* dirancang dan dibangun menggunakan IoT tingkat tinggi dan teknologi *hybrid*. Teknologi yang paling penting adalah jaringan, karena sangat penting untuk memanfaatkan informasi di dalam rumah dan di antara penghuninya. Informasi diproduksi di seluruh rumah, dan pertukaran secara cepat penyampaian informasi tanpa penundaan merupakan komponen terpenting dalam pengoperasian smart home. Sebagai elemen teknologi dalam implementasi smart home penting untuk mempertimbangkan jaringan smart home yang optimal, adalah mungkin untuk memilih metode dan teknologi yang tepat untuk mengurangi biaya dan mengatasi masalah bug dan kendala lainnya. Ada pilihan yang harus dibuat mengenai infrastruktur jaringan, termasuk struktur jaringan saluran listrik. Biasanya, perlu menggunakan suplay tenaga listrik tambahan di rumah, seperti solar panel atau sel surya. Oleh karena itu, saluran listrik dipasang secara luas di seluruh rumah, mencakup semua kamar dan fasilitas yang ada di rumah tersebut Gambar 12.4.



**Gambar 12.4:** Implementasi IoT pada Smart Home Terstruktur (Saito and Menga, 2015)

Disebutkan juga oleh Lasera and Wahyudi (2020) peranan penting penggunaan internet saat ini telah merambah di segala aspek kebutuhan masyarakat. Melalui internet, berbagai informasi dapat diperoleh dan dibagi, serta kemudahan komunikasi dapat dilakukan. Lebih dari hal tersebut, penerapan teknologi saat ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan. Dalam penerapan dan implementasi IoT sebagai perangkat baik fisik maupun virtual yang terhubung, berkomunikasi bersama dan terintegrasi pada jaringan untuk tujuan tertentu. Penggunaan IoT menghadirkan perangkat dapat bereaksi terhadap suatu kejadian secara independen atau tanpa campur tangan manusia secara langsung. Konektivitas internet yang terhubung secara berkelanjutan dimanfaatkan secara luas merupakan konsep IoT. Pemanfaatan teknologi IoT membutuhkan suatu konektivitas internet yang kuat dan fasilitas yang memadai. Penerapan IoT perlu dioptimalkan di segala aspek kehidupan.

## 12.4 Contoh Penerapan IoT pada Metode Smart Home

Salah satu contoh penerapan IoT pada smart home dengan menerapkan metode pengendalian listrik dapat dilakukan dengan beberapa tahapan, di antaranya;

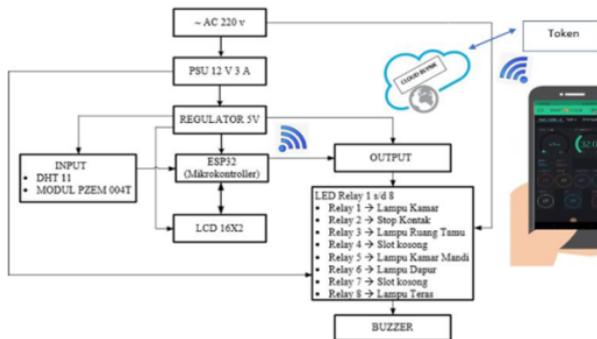
1. Identifikasi dan analisis kebutuhan komponen
2. Perancangsn serta pembuatan perangkat lunak dan perangkat keras
3. Pengujian

Selanjutnya identifikasi dan analisis yang bertujuan untuk menganalisis perangkat dan komponen apa saja yang dibutuhkan dalam menjalankan sistem smart home dengan kontrol daya listrik. Perangkat yang dikembangkan memiliki tiga fungsi, yaitu: (1) pengendalian perangkat elektronika yang memberikan info mati atau hidupnya perangkat (ON/OFF) serta informasi arus dan daya; (2) informasi suhu lingkungan; dan (3) informasi biaya bulanan rekening listrik terkini. Perangkat yang dipantau dan dikendalikan, diidentifikasi terdiri atas: stop kontak, lampu (kamar, ruang tamu, teras, dapur, kamar madi) dan kipas angin. Selanjutnya dilakukan identifikasi kebutuhan untuk merealisasikan fungsi tersebut. Identifikasi kebutuhan secara lebih detail dapat dilihat pada Tabel 12.1.

**Tabel 12.1:** Identifikasi Kebutuhan

Perangkat	Spesifikasi
Modul Mikrokontroler	ESP32
Modul arus	Pzem 004T
Sensor suhu dan kelembaban	DHT11
Modul gerak	Relay
Visual	LCD 16 x 2
Power Supply	Adjustable 5V 3A
MCB 6A	-
Suara	Buzzer
Aplikasi pada <i>smartphone</i>	Blynk
Software developer	Arduino IDE

Identifikasi data pada Tabel 12.1 menginformasikan kebutuhan apa saja yang digunakan untuk mengembangkan prototipe pengendalian daya listrik berbasis IoT pada smart home. Modul wifi yang digunakan dalam sistem ini adalah ESP32, modul tersebut mampu mengkoneksikan antara hardware dan software berbasis wifi maupun bluetooth. Platform yang dioperasikan pada perangkat seluler atau *smartphone* yang bertujuan sebagai kendali modul kendali melalui internet yaitu Blynk. Selanjutnya perancangan perangkat lunak dan keras dengan membuat blok diagram prototipe smart home dapat dilihat seperti pada Gambar 12.5



**Gambar 12.5:** Blok Diagram Prototipe Pengendalian pada Sistem Smart Home

Tahapan selanjutnya adalah pengujian, dengan melakukan pengujian keseluruhan terhadap setiap komponen untuk mengetahui kinerja dari masing-masing elemen, baik pada perangkat lunak maupun keras. Ini merupakan salah satu contoh penerapan smart home berbasis IoT ESP32 yang dikendalikan jarak jauh dengan aplikasi Blynk melalui smart phone IOS maupun Android. System ini difungsikan untuk menyalakan dan mematikan listrik dari jarak jauh, selain itu mampu menampilkan besaran arus dan daya peralatan yang digunakan.

# Bab 13

## Implementasi IoT pada Smart City

### 13.1 Pendahuluan

*Smart City* adalah konsep yang menggunakan teknologi informasi dan komunikasi untuk mengelola dan meningkatkan berbagai aspek kehidupan di kota. Dengan mengintegrasikan infrastruktur fisik, sistem digital, dan data yang terhubung, *Smart City* dapat meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, mengurangi dampak lingkungan, dan meningkatkan kualitas hidup bagi penduduknya.

Bentang alam Indonesia yang merupakan negara dengan kumpulan pulau yang padat penduduk, serta mobilitas yang tinggi. Mutlak membutuhkan teknologi yang dapat menghubungkan satu dengan yang lainnya. Transportasi darat, laut, dan udara menjadi kebutuhan yang tak dapat dilepas dari masyarakat. Demikian halnya dengan kebutuhan tranfer data, dari satu tempat ke tempat yang lain. Dari satu pulau ke pulau yang lain, yang dapat dilakukan dengan sederhana, praktis, mudah namun memberikan hasil sesuai yang diharapkan. Inilah mengapa konsep *Smart City* sangat relevan bagi Indonesia.

Melalui konsep *Smart City*, Indonesia memiliki peluang besar untuk memajukan berbagai daerah menjadi lebih cerdas, efisien, dan berkelanjutan.

Berbagai teknologi yang diterapkan dalam smart city dapat menjadi jembatan penghubung antara kebijakan yang dibentuk oleh pemerintah dengan masyarakat. Menjadi penyedia layanan termasuk untuk sektor swasta hingga akademisi. Konsep smart city yang memanfaatkan sumber energi terbarukan dan sistem manajemen energi pintar, akan memberikan dampak positif bagi lingkungan.

Misalnya, dalam sektor transportasi, Smart City menggunakan teknologi pintar dalam pengelolaan lalu lintas sehingga terbentuk sistem yang lebih efisien. Jaringan transportasi cerdas & terintegrasi dapat memantau bahkan mengatur kondisi lalu lintas secara real-time, hemat waktu, memberikan informasi kepada pusat pengatur lalu lintas, informasi pada pengemudi di mana terjadi kemacetan, paling tidak dapat mengurangi penggunaan energi yang sia-sia akibat kemacetan.

## 13.2 Sejarah Perkembangan Smart City di Indonesia

Perkembangan *Smart City* di Indonesia dapat ditelusuri kembali ke awal abad ke-21. Pada periode ini, masyarakat Indonesia mulai menyadari tentang perlunya menghadapi tantangan perkembangan perkotaan, tata kelola perkotaan, mobilitas penduduk yang tinggi, pertumbuhan penduduk yang cepat, yang berakibat pada peningkatan kebutuhan infrastruktur. Baik infrastruktur jalanan, fasilitas pendukung, kebutuhan akses kesehatan dan semakin tingginya kesadaran masyarakat pada pendidikan membuat kebutuhan fasilitas pendidikan semakin dibutuhkan. Kebutuhan infrastruktur tidak hanya pada sebatas penyediaan fasilitas fisik, namun juga meliputi hal non fisik, misalnya pada pelayanan, sistem kerja tata kelola serta distribusi dan transfer data.

Kota Bandung, menjadi salah satu contoh awal pengembangan *smart city* di Indonesia. Pada kisaran tahun 2014, Bandung memulai program Kota Cerdas yang bertujuan mengintegrasikan teknologi informasi dan komunikasi dalam pengelolaan perkotaan. Program yang diluncurkan ini mencakup pengembangan sistem transportasi cerdas, pelayanan publik berbasis digital, serta penggunaan energi yang efisien. Dalam pengembangan ini juga

disinggung tentang penggunaan energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan.

Pengembangan *smart city* oleh Kota Bandung dirasa memberikan dampak positif. Sehingga wajar jika kemudian semakin banyak kota di Indonesia yang ikut mengadopsi konsep *smart city*. Di antaranya adalah Jakarta, Surabaya, dan Yogyakarta, telah berhasil mengimplementasikan proyek-proyek *Smart City* yang meliputi aspek transportasi, keamanan, kesehatan, serta mencakup pengelolaan lingkungan. Keberhasilan kota-kota tersebut dalam mengimplementasikan *smart city*, tidak terlepas dari dukungan kebijakan yang memfasilitasi transformasi ini. Salah satu kebijakan yang terpenting adalah berinvestasi untuk membentuk infrastruktur teknologi dan edukasi pada masyarakat.

Kota Bandung telah menjadi salah satu pionir dalam pengembangan *Smart City* di Indonesia. Melalui program Kota Cerdas, Bandung mengintegrasikan teknologi informasi dan komunikasi dalam berbagai aspek perkotaan, termasuk transportasi, tata kelola pemerintahan, layanan publik, dan partisipasi masyarakat.

Terdapat 6 dimensi dalam implementasi *smart city* di Kota Bandung, yaitu *Smart Environment*, *Smart Economy*, *Smart Branding*, *Smart Governance*, *Smart Society*, dan *Smart Living*. Beberapa satu langkah yang telah dilakukan oleh Pemerintah Kota Bandung adalah internet gratis sampai tingkat Rukun Warga (RW), penggunaan tanda tangan digital bagi seluruh Organisasi Perangkat Daerah (OPD), penggunaan aplikasi dalam memberikan layanan kependudukan, perizinan, dan perpajakan (Bandung, 2022).

## 13.3 Implementasi IoT Bidang Tata Pemerintahan

Kota Bandung telah memberikan contoh implementasi *smart city* pada bidang pemerintahan. Salah satunya adalah dengan penggunaan tanda tangan digital. Di mana tanda tangan tidak lagi harus menggunakan pena dan bertemu langsung dengan orang bersangkutan. Sehingga tata kelola pemerintahan maupun organisasi dapat lebih efisien, mudah dan hemat biaya serta hemat waktu.

Keberadaan tanda tangan digital bukan hal baru. Sudah banyak platform yang menyediakan segala kebutuhan untuk hal tersebut. Setiap platformpun memiliki masing-masing fitur dan kelebihan. Namun, berbagai kecanggihan tersebut tidak ada artinya jika tidak didukung oleh kebijakan dari pemerintah. Dan Kota Bandung, telah berhasil membentuk hubungan baik antara teknologi dengan kebijakan, maka hasilnya telah dapat dirasakan oleh masyarakat.

Tanda tangan digital adalah satu dari sekian banyak potensi yang dimiliki teknologi untuk membentuk kehidupan masyarakat, dalam hal ini adalah gabungan berbagai teknologi dalam membentuk smart city. Berbagai bentuk implementasi smart city pada bidang tata kelola pemerintahan maupun organisasi.

Meliputi beberapa aspek seperti berikut:

1. E-Government (Pemerintahan Elektronik):

*Smart City* memungkinkan dilaksanakannya pemerintahan elektronik. Di mana proses administrasi menjadi lebih efisien dan transparan. Ini termasuk pendaftaran penduduk, pembayaran pajak, pengurusan perizinan, pengaduan masyarakat, dan berbagai kebutuhan lainnya. Pemerintah dapat membentuk sebuah portal agar warga dapat mengakses informasi pemerintah, layanan publik, dan melakukan interaksi dengan pemerintah secara online.

Contoh pengembangan *E-Government* telah dilakukan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) dengan mengembangkan TEWS. Sistem ini digunakan untuk memberikan peringatan dini dan mengirim informasi ke pusat apabila ada potensi terjadinya Tsunami. Saat pusat menerima informasi tanda bahaya, maka akan diputuskan sirene mana yang akan dibunyikan dan daerah mana yang memerlukan penanganan dengan segera. Pejabat yang berwenang atau aparat desa, akan mendapatkan informasi secara langsung melalui sms sehingga dapat diteruskan pada masyarakat setempat (Simangunsong, 2010).

2. Open Data:

Transparansi anggaran akhir-akhir ini menjadi isu yang santer dibicarakan. Baik di media sosial maupun diangkat oleh media massa. Masyarakat sudah semakin sadar akan anggaran pendapatan

dan belanja, serta kemana arah pembangunan serta konsumsi anggaran. Pemerintah dapat memanfaatkan konsep *Smart City* untuk menyediakan akses terbuka terhadap data publik. Data tentang anggaran, proyek infrastruktur, pembelanjaan anggaran, gaji dan tunjangan aparatur, serta berbagai aspek lainnya dapat diakses oleh masyarakat melalui portal atau aplikasi yang disediakan. Dengan demikian, diharapkan masyarakat dapat memantau dan mengawasi kegiatan pemerintah, serta berpartisipasi dalam proses pengambilan keputusan. Masyarakat tidak perlu mengulik dari sumber-sumber lain akan kebutuhan data yang tidak dapat dipertanggung jawabkan keabsahannya.

Contoh implementasi open data dalam *smart city* telah dilakukan oleh Kota Bandung dengan menyediakan platform website [data.bandung.go.id](http://data.bandung.go.id). Dalam portal tersebut disediakan berbagai data yang dapat diakses dengan mudah, bebas dan gratis oleh masyarakat. Data yang ditampilkan sangat beragam, mulai dari jumlah koperasi, rasio jenis kelamin penduduk, jumlah pendonor darah di Kota Bandung, jumlah peserta didik seluruh jenjang sekolah, hingga jumlah pangkalan ojek yang telah dikelompokkan per kecamatan (Bandung, 2023).

### 3. Penggunaan Teknologi Sensor:

Pemanfaatan teknologi sensor yang terintegrasi dalam smart city dapat digunakan untuk memonitor dan mengelola infrastruktur kota secara efektif. Sensor dapat digunakan untuk memantau kualitas udara, lalu lintas, penggunaan energi, kebisingan, dan parameter lingkungan lainnya. Berbagai data yang dikumpulkan dapat digunakan oleh pemerintah sebagai salah satu bahan dalam proses pengambilan keputusan dan tindakan.

Jakarta adalah salah satu wilayah yang memanfaatkan alat berbasis sensor untuk pemantauan kualitas udara. Sehingga dapat diketahui tingkat pencemaran yang terjadi. Belakangan alat tersebut telah dilengkapi dengan sensor pendeteksi suhu udara. Dalam satu alat,

tidak hanya berfungsi memonitor kualitas udara, namun juga suhu hingga curah hujan.

Meskipun teknologi sensor ini asumsinya adalah alat dengan fisik. Namun data yang berhasil dikumpulkan, pada kemudian hari dapat dilakukan analisis. Sehingga dapat menjadi pendukung dalam membuat keputusan oleh pemerintah dalam menata kota, maupun meningkatkan kualitas hidup masyarakat.

## 13.4 Implementasi IoT Bidang Pelayanan Masyarakat

Tidak hanya pada bidang pemerintahan, peranan smart city harus memiliki jangkauan pada bidang pelayanan masyarakat. Karena bagaimanapun, masyarakat adalah muara dari berbagai kebijakan pemerintah. Dan masyarakat sebagai pengguna atas smart city yang di terapkan.

Berikut adalah beberapa pengelompokan smart city dalam bidang kemasyarakatan:

### 1. Sistem Transportasi Terintegrasi:

Sistem transportasi yang rapi dan terintegrasi adalah impian masyarakat secara luas. Di mana masyarakat memandang kendaraan pribadi bukan lagi sebagai kebutuhan, asalkan transportasi umum benar-benar dapat diandalkan. Baik dari segi ketepatan waktu, keamanan, kenyamanan serta ketersediaan. Salah satu alasan masyarakat gemar membeli kendaraan pribadi, adalah adanya rasa tidak puas dan tidak dapat diandalakannya moda transportasi umum. Dengan teknologi smart city, diharapkan dapat memperbaiki keadaan tersebut.

Smart city dapat memiliki sistem transportasi yang terintegrasi dengan teknologi canggih. Misalnya, pengguna dapat menggunakan aplikasi ponsel untuk melacak jadwal bus atau kereta, membeli tiket

secara online, dan mendapatkan informasi real-time tentang lalu lintas untuk memilih rute tercepat.

Saat ini, segala fitur tersebut masih terbatas pada moda transportasi ojek online yang dikelola oleh perusahaan swasta. Akan tetapi, bukan tidak mungkin apabila seluruh moda transportasi memiliki berbagai fitur tersebut. Sehingga masyarakat semakin mudah dalam mengakses dan mendapatkan pelayanan dari berbagai moda transportasi.

Pemerintah Indonesia telah membuka akses untuk terbentuknya transportasi pintar dan terintegrasi. bekerjasama dengan Pemerintah Jepang dan Japan *International Cooperation Agency* (JICA) melaksanakan Program Jabodetabek Urban Transportation Policy Integration Phase 3 (JUTPI-3). Program tersebut merupakan penyusunan dari kedua belak pihak mengenai pembentukan, perjanjian hingga kajian dalam transportasi teintegrasi, utamanya pada wilayah Jabodetabek, program kerja tersebut kemudian dikenal sebagai *Transit Oriented Development* (TOD).

TOD merupakan konsep pembangunan yang merumuskan struktur perkotaan berbasis simpul transportasi. Dengan adanya penerapan TOD, harapannya masyarakat dari berbagai pemukiman memiliki akses yang mudah ke transportasi umum. Sehingga mobilitas dari rumah ke tempat kerja, ke sekolah dan berbagai tujuan lainnya dapat diakomodasi oleh transportasi publik. Antar satu jalur dengan jalur transportasi publik lainnya, kemudian dihubungkan dengan metode simpul sehingga terbentuk konektivitas antar moda transportasi yang merata dan mudah diakses dari segala wilayah sekaligus meningkatkan kesadaran masyarakat untuk menggunakan transportasi publik (Kemenkon, 2022).

## 2. Sistem Manajemen Limbah yang Efisien:

Sampah dan limbah menjadi masalah yang melilit hampir di tiap kota besar di Indonesia. Sampah yang setiap hari diproduksi oleh masyarakat kota, perlu dikelola dengan baik & efisien. Sehingga sampah tak lagi hanya terbuang, atau dipindahkan ke tempat

pembuangan, namun perlu adanya kesadaran bahwa sampah dapat menjadi berguna, misalnya sebagai salah satu sumber energi terbarukan.

Teknologi smart city dapat berperan untuk mengoptimalkan sistem manajemen limbah. Contohnya, kotak sampah cerdas dilengkapi dengan sensor yang memberi tahu petugas saat kotak sampah sudah penuh, sehingga petugas hanya mengumpulkan sampah saat diperlukan. Ini dapat mengurangi biaya serta dapat memberikan efisiensi kerja oleh petugas.

Menurut data World Bank, produksi limbah di wilayah Asia dan Pasifik adalah tertinggi di dunia, dengan mencakupi 23% dari seluruh limbah di dunia (Permana, 2021). Sehingga, pengelolaan sampah dan limbah menjadi salah satu prioritas yang sama dengan sektor lainnya. IoT menjadi salah satu solusi dalam pengelolaan limbah. Baik dengan metode maupun alat bantu secara fisik. IoT dalam rangkaian smart city dapat memberikan informasi mengenai sampah yang paling banyak diproduksi oleh masyarakat di wilayah tertentu. Dengan adanya data tersebut, dapat dilakukan analisis tentang jenis sampah maupun limbah yang paling banyak. Sehingga pemerintah dapat mengeluarkan aturan baik tentang pengolahan sampah, daur ulang maupun pembatasan. Berbasis pada data yang sudah ada dan real-time.

### 3. Sistem Pemantauan Kesehatan:

Kesadaran masyarakat akan kesehatan dan kebersihan semakin meningkat. Pusat-pusat kesehatan masyarakat semakin ramai dikunjungi, dan pemerintah semakin serius mengurus hal ini. Misalnya dengan revitalisasi puskesmas, hingga asuransi BPJS yang diberikan pada seluruh masyarakat Indonesia.

Smart city sebagai sebuah teknologi dapat membantu dalam upaya memantau kesehatan masyarakat secara real-time. Contohnya, penggunaan sensor kesehatan atau perangkat tanpa kabel yang dapat melacak data kesehatan individu dan memberikan peringatan dini tentang penyakit atau ancaman kesehatan tertentu. Dengan demikian,

data kesehatan masyarakat dapat dipantau dari jarak jauh sekalipun. Tenaga kesehatan dapat melakukan monitoring di ruang kendali, serta dapat melakukan tindakan apabila ditemukan indikator tertentu. Misalnya, telah tiba waktunya seorang ibu melahirkan bayi, maka para tenaga medis dapat mempersiapkan segala keperluan, yang telah terintegrasi dengan kalender, penjadwalan kerja serta rekam medis pasien.



**Gambar 13.1:** Salah Satu Contoh Jam Tangan Yang Sekaligus Berfungsi Sebagai Alat Deteksi Kesehatan (Eraspace, 2022).

## 13.5 Implementasi IoT Bidang Keamanan

Implementasi *Internet of Things* (IoT) dalam bidang keamanan masyarakat setidaknya berada dalam dua sudut pandang, yaitu dari sudut pandang pemakai. Satu adalah pemakaian IoT yang telah diatur oleh aturan pemerintah, sehingga pemerintah berperan sebagai pemakai sekaligus penyedia, yang nantinya akan digunakan untuk kepentingan masyarakat luas. Dua yaitu pemakai orang pribadi, diluar pemerintah. Biasanya digunakan untuk mengamankan aset pribadi dengan jangkauan lebih sempit bukan untuk masyarakat luas.

Penerapan Iot pada smart city dibidang keamanan masyarakat, telah memberikan kontribusi yang positif dan signifikan dalam membentuk lingkungan yang lebih aman, aktivitas yang terminotor dengan baik serta penyimpanan data yang lebih mudah dan murah.

Berikut ini beberapa contoh implementasi IoT dalam bidang keamanan masyarakat:

1. Pemantauan Keamanan Rumah:

Setiap rumah yang ideal adalah yang sehat dengan sirkulasi udara yang baik, sinar matahari yang cukup serta didukung dengan keamanan yang memadai. Metode tradisional untuk menjaga keamanan rumah dan lingkungan ada dengan gotong royong masyarakat melalui siskamling, atau dengan jasa sekuritu. Pada beberapa daerah di Indonesia, bahkan tetangga sekitar punya tanggung jawab saling menjaga satu sama lain, dengan mekanisme adat maupun aturan turun temurun yang telah disepakati.

IoT hadir sebagai salah satu teknologi pendukung smart city, menawarkan mekanisme keamanan rumah dan lingkungan dengan memanfaatkan alat dan teknologi terkini. Misalnya, pintu dan jendela dilengkapi dengan sensor yang dapat mendeteksi pemilik, sehingga hanya pemilik yang dapat membukanya. Serta dibekali dengan kemampuan mengirim notifikasi langsung di ponsel pemilik apabila terjadi hal-hal diluar kewajaran. Kamera CCTV pintar yang telah terhubung ke jaringan internet. Memungkinkan pemilik rumah untuk memantau keadaan rumah secara real-time melalui aplikasi di ponsel mereka dan dapat diakses dari manapun, lokasi yang jauh sekalipun.

2. Face Recognition:

Adalah teknologi yang memanfaatkan kamera yang terhubung ke jaringan dan mampu mengenali wajah seseorang. Wajah yang tertangkap oleh kamera kemudian diolah datanya hingga menemukan identitas orang tersebut. Bahkan, hingga mengetahui no hp, alamat tinggal hingga kegiatan kesehariannya, termasuk hobi.

Teknologi pengenalan wajah yang terhubung dengan jaringan IoT memungkinkan identifikasi dan verifikasi orang secara akurat.

Contohnya, di area publik seperti bandara, stasiun kereta, atau pusat perbelanjaan, kamera pengenalan wajah dapat mendeteksi orang yang dicari atau mengidentifikasi individu yang dicurigai. Hal ini dapat membantu meningkatkan keamanan dan mengurangi risiko kejahatan.

Cina adalah salah satu negara yang telah mengembangkan face recognition dengan serius. Pemerintah Cina memasang banyak kamera terutama di kota-kota besar. Alasannya adalah untuk memantau aktivitas masyarakat dan menghindari segala tindakan kriminal serta isu keamanan lainnya. Dalam satu hari, setidaknya didapatkan rekaman sebanyak 6,8 juta wajah. Kamera-kamera CCTV dipasang di berbagai tempat, seperti sekeliling hotel, taman, tempat wisata dan masjid (Ng, 2020).

### 3. Peringatan Dini Bencana Alam:

Indonesia dengan geografis pegunungan, dikenal sebagai daerah rawan bencana. Banjir, tanah longsor, hingga tsunami memiliki potensi terjadi di wilayah Indonesia. Sehingga adalah kebutuhan yang mendesak tentang adanya teknologi yang mampu mendeteksi bahkan memprediksi tentang datangnya bencana. Dengan demikian, diharapkan masyarakat, pemerintah, tenaga medis serta SAR, dapat dengan lebih mudah melakukan mitigasi serta manajemen pasca bencana.

IoT dalam rangkaian smart city mampu menggabungkan teknologi sensor dengan perangkat lunak komputer. Sensor IoT dapat ditempatkan di berbagai lokasi untuk mendeteksi perubahan lingkungan yang terkait dengan bencana alam seperti gempa bumi, banjir, atau kebakaran hutan. Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor ini dapat dikirimkan secara real-time kepada otoritas terkait, memungkinkan respons yang cepat dan mitigasi yang efektif.



# Bab 14

## Implementasi IoT pada Industri Manufaktur

### 14.1 Pendahuluan

Dalam era industri 4.0, *Internet of Things* (IoT) telah menjadi salah satu teknologi yang mendominasi transformasi industri, termasuk industri manufaktur. IoT menghubungkan berbagai perangkat dan sistem secara nirkabel, memungkinkan pertukaran data dan pengendalian yang efisien dalam lingkungan manufaktur. Implementasi IoT pada industri manufaktur telah membawa perubahan signifikan dalam efisiensi operasional, pengawasan produksi, dan pengelolaan rantai pasok (Khan & Yuce, 2019).

Tujuan dari bab ini adalah untuk memberikan pemahaman yang komprehensif tentang implementasi IoT pada industri manufaktur. Bab ini akan menjelaskan konsep dasar IoT, komponen-komponen yang terlibat, dan manfaat serta tantangan yang terkait dengan penerapan IoT dalam konteks industri manufaktur. Selain itu, bab ini akan menggambarkan studi kasus konkret untuk memberikan pemahaman praktis tentang bagaimana IoT diterapkan dalam industri manufaktur.

Bab ini akan terbagi menjadi enam bagian utama. Bagian pertama akan memberikan latar belakang tentang pentingnya implementasi IoT dalam

industri manufaktur. Bagian kedua akan menjelaskan konsep dasar IoT, termasuk arsitektur dan komponen-komponennya. Bagian ketiga akan membahas penerapan IoT dalam industri manufaktur, mencakup pengumpulan data sensor, pemrosesan data, pengendalian proses produksi, manajemen rantai pasok, dan keamanan sistem. Bagian keempat akan menampilkan beberapa studi kasus yang konkret tentang implementasi IoT dalam industri manufaktur. Bagian kelima akan membahas tantangan dan peluang masa depan yang terkait dengan implementasi IoT dalam industri manufaktur. Bagian terakhir akan memberikan kesimpulan yang merekapitulasi temuan dan memberikan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.

## 14.2 Konsep Dasar IoT

*Internet of Things* (IoT) didefinisikan sebagai jaringan yang terdiri dari objek fisik yang terhubung melalui jaringan internet, memiliki kemampuan untuk saling berkomunikasi dan berbagi data tanpa interaksi manusia ke manusia atau manusia ke komputer (Lakhwan et al., 2020).

Arsitektur IoT terdiri dari tiga lapisan utama: perangkat keras (hardware), perangkat lunak (software), dan jaringan. Lapisan perangkat keras melibatkan sensor, aktuator, dan perangkat penghubung yang memungkinkan pengumpulan dan pemrosesan data (Liu et al., 2022). Lapisan perangkat lunak mencakup sistem operasi, *middleware*, dan aplikasi yang memungkinkan analisis dan pengambilan keputusan. Sedangkan lapisan jaringan melibatkan infrastruktur komunikasi yang menghubungkan objek-objek fisik ke jaringan internet

Komponen utama dalam implementasi IoT meliputi sensor, aktuator, perangkat penyimpanan, perangkat penghubung, dan platform perangkat keras dan perangkat lunak (Vermesan & Friess, 2022). Sensor berfungsi untuk mengumpulkan data fisik dari lingkungan sekitar, sedangkan aktuator digunakan untuk mengendalikan perangkat atau melakukan tindakan berdasarkan data yang diterima. Perangkat penyimpanan menyimpan data yang dikumpulkan, sedangkan perangkat penghubung menghubungkan objek-objek fisik ke jaringan. Platform perangkat keras dan perangkat lunak digunakan untuk mengelola data dan menerapkan logika bisnis.

Beberapa teknologi yang digunakan dalam implementasi IoT termasuk teknologi sensor, teknologi jaringan nirkabel, teknologi identifikasi otomatis, dan teknologi *cloud computing*. Teknologi sensor memungkinkan pengumpulan data fisik, sementara teknologi jaringan nirkabel menghubungkan objek-objek fisik ke jaringan. Teknologi identifikasi otomatis, seperti RFID (Radio-Frequency Identification) dan NFC (Near Field Communication), digunakan untuk mengidentifikasi dan melacak objek-objek fisik. Sedangkan teknologi *cloud computing* menyediakan infrastruktur dan layanan untuk penyimpanan dan pemrosesan data dalam skala yang besar (Madakam & Uchiya, 2019).

Implementasi IoT pada industri manufaktur memberikan manfaat signifikan, termasuk peningkatan efisiensi operasional, pengawasan dan pengendalian produksi yang lebih baik, perbaikan kualitas produk, pemeliharaan prediktif, dan pengurangan biaya produksi (Karumban et al., 2023). Namun, implementasi IoT juga dihadapkan pada tantangan, seperti keamanan data, interoperabilitas perangkat, skala implementasi yang besar, dan integrasi dengan sistem yang sudah ada.

## 14.3 Penerapan IoT pada Industri Manufaktur

### 14.3.1 Transformasi Industri Manufaktur melalui IoT

Implementasi *Internet of Things* (IoT) telah membawa transformasi yang signifikan pada industri manufaktur (Nayyar & Kumar, 2020). IoT memungkinkan konektivitas yang luas antara perangkat dan sistem, memfasilitasi pengumpulan data yang akurat dan waktu nyata, serta memberikan kemampuan untuk mengoptimalkan proses produksi secara efisien.

### 14.3.2 Pengumpulan Data Sensor dan Monitoring Otomatis

Penerapan IoT pada industri manufaktur memungkinkan pengumpulan data sensor secara otomatis dari berbagai peralatan dan mesin yang terhubung. Data

sensor ini dapat mencakup informasi tentang kondisi operasional, suhu, kelembaban, kecepatan, dan kualitas produk (Khan et al., 2020). Monitoring otomatis dengan menggunakan IoT memungkinkan pemantauan yang terus-menerus dan *real-time* terhadap parameter-produk yang kritis.

### 14.3.3 Pemrosesan Data dan Analisis Big Data

Dalam penerapan IoT pada industri manufaktur, pemrosesan data menjadi salah satu aspek penting. Data yang dikumpulkan dari berbagai sensor perlu diproses secara efisien untuk menghasilkan informasi yang berarti. Teknologi IoT memungkinkan pemrosesan data yang cepat dan efektif, termasuk teknik-teknik analisis Big Data yang memungkinkan identifikasi pola, prediksi kegagalan, dan pengambilan keputusan yang lebih baik (Liu et al., 2022).

### 14.3.4 Pengendalian dan Pengoptimalan Proses Produksi

Melalui implementasi IoT, industri manufaktur dapat melakukan pengendalian dan pengoptimalan proses produksi secara lebih efektif. Data sensor yang dikumpulkan secara real-time dapat digunakan untuk memantau parameter-produk, mendiagnosis masalah, dan mengidentifikasi potensi kegagalan atau ketidaksesuaian (Karumban et al., 2023). Dengan informasi ini, pengendalian proses dapat dilakukan secara otomatis, pengaturan dapat disesuaikan, dan intervensi dapat dilakukan untuk memastikan efisiensi dan kualitas produksi yang optimal.

### 14.3.5 Manajemen Rantai Pasok Berbasis IoT

Penerapan IoT pada industri manufaktur memungkinkan integrasi yang lebih baik dalam manajemen rantai pasok (supply chain management/SCM). Dengan menggunakan IoT, informasi yang diperoleh dari berbagai titik dalam rantai pasok, mulai dari pemasok, produksi, hingga distribusi, dapat diakses secara real-time. Hal ini memungkinkan perencanaan produksi yang lebih akurat, pemantauan inventaris yang efisien, serta pengoptimalan transportasi dan logistic (Soori et al., 2023).

### 14.3.6 Keamanan dan Privasi dalam Sistem IoT Industri Manufaktur

Keamanan dan privasi adalah dua aspek kritis dalam implementasi IoT pada industri manufaktur (Cheruvu et al., 2020). Dengan peningkatan konektivitas

dan pertukaran data yang luas, perlu adanya langkah-langkah keamanan yang kuat untuk melindungi sistem dan data dari ancaman keamanan seperti serangan siber dan peretasan. Selain itu, perlindungan privasi data pelanggan dan informasi rahasia perusahaan juga menjadi perhatian penting dalam konteks IoT.

## 14.4 Studi Kasus Implementasi IoT pada Industri Manufaktur

### 14.4.1 Studi Kasus 1: IoT untuk Monitoring dan Pemeliharaan Mesin

Dalam studi kasus ini, IoT diterapkan pada sebuah perusahaan manufaktur untuk melakukan monitoring dan pemeliharaan mesin secara efektif. Data sensor dari mesin-mesin dipantau secara real-time melalui jaringan IoT, memungkinkan deteksi dini potensi kerusakan atau kegagalan (Nayyar & Kumar, 2020). Dengan adanya informasi ini, tindakan perawatan yang tepat waktu dapat diambil, termasuk perawatan preventif, perbaikan, atau penggantian komponen yang rusak.

### 14.4.2 Studi Kasus 2: IoT untuk Pengendalian Kualitas Produk

Penerapan IoT pada industri manufaktur juga dapat meningkatkan pengendalian kualitas produk. Di perusahaan ini, sensor-sensor yang terhubung ke jaringan IoT digunakan untuk memonitor dan mengumpulkan data kualitas produk secara real-time. Data ini dapat dianalisis dan digunakan untuk mengidentifikasi penyimpangan dari standar kualitas, memungkinkan deteksi dini cacat atau masalah produksi. Dengan demikian, tindakan perbaikan dan pengendalian kualitas dapat dilakukan lebih cepat, meningkatkan kualitas produk secara keseluruhan (Khan et al., 2020).

### 14.4.3 Studi Kasus 3: IoT untuk Pengelolaan Stok dan Inventaris

Pada korporasi ini, IoT digunakan untuk pengelolaan stok dan inventaris secara efisien. Melalui penggunaan sensor IoT, data inventaris dapat terus dipantau secara real-time, termasuk informasi mengenai tingkat persediaan, pemakaian bahan baku, dan pembaruan otomatis untuk pesanan atau pengisian ulang. Hal ini memungkinkan perusahaan untuk mengoptimalkan pengelolaan stok dan inventaris, mencegah kekurangan atau kelebihan persediaan, dan meningkatkan efisiensi operasional (Madakam & Uchiya, 2019).

### 14.4.4 Studi Kasus 4: IoT untuk Peningkatan Efisiensi Energi

Penerapan IoT pada industri manufaktur juga dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi energi. Di perusahaan ini, sensor dan perangkat IoT digunakan untuk memantau dan mengontrol penggunaan energi di berbagai fasilitas dan mesin. Data yang dikumpulkan tentang konsumsi energi dapat dianalisis untuk mengidentifikasi area-area yang dapat dioptimalkan dan tindakan penghematan energi yang dapat diimplementasikan (Soori et al., 2023). Dengan demikian, penggunaan energi dapat dikelola dengan lebih efisien, mengurangi biaya operasional dan dampak lingkungan.

### 14.4.5 Analisis dan Evaluasi Implementasi IoT pada Studi Kasus

Dalam analisis dan evaluasi implementasi IoT pada studi kasus di industri manufaktur, terdapat beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan (Peng et al., 2020). Pertama, efektivitas pengumpulan dan penggunaan data sensor dalam mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Apakah data yang dikumpulkan cukup relevan dan akurat untuk mendukung pengambilan keputusan yang tepat? Kedua, efisiensi dan keandalan sistem IoT dalam menyampaikan dan memproses data secara real-time. Ketiga, integrasi dan interoperabilitas antara perangkat dan sistem yang terlibat dalam implementasi IoT. Keempat, dampak implementasi IoT terhadap efisiensi operasional, produktivitas, dan kualitas produk. Kelima, keamanan dan privasi data yang dihasilkan dan dikirim melalui jaringan IoT.

Dalam melakukan evaluasi implementasi IoT pada studi kasus, perlu dilakukan pemantauan dan pengukuran kinerja berdasarkan indikator yang relevan. Hal ini akan memungkinkan untuk mengidentifikasi keberhasilan atau kegagalan implementasi IoT dalam mencapai tujuan yang telah ditetapkan (Khan et al., 2020). Selain itu, evaluasi juga dapat melibatkan umpan balik dari pengguna dan pemangku kepentingan terkait, untuk memahami persepsi mereka terhadap manfaat dan kekurangan dari sistem IoT yang diterapkan.

## 14.5 Tantangan dan Peluang Masa Depan

### 14.5.1 Tantangan Implementasi IoT pada Industri Manufaktur

Implementasi IoT pada industri manufaktur tidaklah tanpa tantangan. Beberapa tantangan yang perlu dihadapi dalam mengimplementasikan IoT pada industri manufaktur adalah sebagai berikut:

1. **Keamanan dan Privasi**  
Dengan peningkatan konektivitas dan pertukaran data yang luas, keamanan dan privasi menjadi perhatian utama. Perlindungan terhadap serangan siber dan kebocoran data sangat penting untuk menjaga integritas dan kerahasiaan informasi di dalam sistem IoT (Cheruvu et al., 2020).
2. **Interoperabilitas dan Standarisasi**  
Implementasi IoT pada industri manufaktur melibatkan berbagai perangkat, sistem, dan platform yang berbeda. Tantangan yang muncul adalah interoperabilitas antara perangkat yang berbeda, serta kebutuhan akan standarisasi untuk memastikan integrasi yang mulus dan komunikasi yang efektif antara komponen IoT (Liu et al., 2022).
3. **Pengelolaan dan Analisis Data**  
Jumlah data yang dihasilkan oleh sensor dan perangkat IoT dapat sangat besar (Soori et al., 2023). Tantangan yang timbul adalah

bagaimana mengelola, menyimpan, dan menganalisis data tersebut dengan efisien dan efektif untuk menghasilkan wawasan yang berarti.

#### 4. Biaya dan Infrastruktur

Implementasi IoT membutuhkan investasi yang signifikan dalam infrastruktur, termasuk perangkat keras, perangkat lunak, dan jaringan yang mendukung (Khan et al., 2020). Tantangan dalam hal ini adalah mempertimbangkan dan mengelola biaya implementasi serta memastikan ketersediaan infrastruktur yang diperlukan.

#### 5. Keterampilan dan Pengetahuan

Implementasi IoT pada industri manufaktur membutuhkan keterampilan dan pengetahuan yang khusus. Tantangan yang dihadapi adalah bagaimana mengembangkan dan mempertahankan sumber daya manusia yang memiliki pemahaman dan keahlian yang diperlukan untuk mengelola dan memanfaatkan teknologi IoT dengan baik (Vahidipour & Seif, 2018).

Dalam menghadapi tantangan-tantangan ini, perusahaan perlu melakukan perencanaan yang matang, mengadopsi praktik terbaik, dan berkomitmen untuk terus beradaptasi dengan perkembangan teknologi dan perubahan lingkungan bisnis.

## 14.5.2 Peluang dan Potensi Masa Depan

Implementasi IoT pada industri manufaktur juga memberikan peluang dan potensi yang signifikan. Beberapa peluang tersebut meliputi:

#### 1. Optimisasi dan Efisiensi Operasional

Dengan IoT, perusahaan manufaktur dapat mengoptimalkan operasi mereka melalui pengumpulan data yang akurat dan real-time, pemantauan proses secara langsung, dan analisis data yang mendalam (Nayyar & Kumar, 2020). Hal ini memungkinkan identifikasi area-area yang memerlukan perbaikan, pengurangan limbah, dan peningkatan efisiensi operasional secara keseluruhan.

#### 2. Inovasi Produk dan Layanan

IoT memungkinkan pengembangan produk dan layanan baru yang didukung oleh konektivitas dan interaksi dengan pelanggan.

Penggunaan sensor dan analisis data yang lebih baik dapat membantu menciptakan produk yang lebih cerdas, personalisasi, dan memiliki kemampuan prediktif, serta memberikan layanan yang lebih baik kepada pelanggan (Liu et al., 2022).

### 3. Peningkatan Kualitas Produk

Melalui pengumpulan data sensor dan analisis Big Data, implementasi IoT dapat meningkatkan pengendalian kualitas produk dengan mendeteksi cacat secara real-time, meminimalkan variasi produk, dan memastikan kualitas yang konsisten (Khan et al., 2020).

### 4. Rantai Pasok yang Terhubung

IoT memungkinkan integrasi yang lebih baik dalam rantai pasok dengan memfasilitasi pertukaran informasi secara real-time antara pemasok, produsen, dan distributor. Ini dapat meningkatkan visibilitas, responsivitas, dan pengelolaan persediaan, serta memungkinkan kolaborasi yang lebih efektif di seluruh rantai pasok (Soori et al., 2023).

### 5. Peningkatan Keamanan dan Keselamatan

Implementasi IoT dapat memberikan manfaat dalam meningkatkan keamanan dan keselamatan di lingkungan kerja manufaktur (Cheruvu et al., 2020). Sensor dan teknologi IoT dapat digunakan untuk mendeteksi kondisi berbahaya, memantau faktor-faktor risiko, dan memberikan peringatan dini kepada pekerja.

## 14.5.3 Upaya Pengembangan dan Peningkatan Kinerja IoT pada Industri Manufaktur

Untuk meningkatkan kinerja implementasi IoT pada industri manufaktur, beberapa upaya yang dapat dilakukan antara lain:

### 1. Pengembangan Infrastruktur dan Standarisasi

Perkembangan infrastruktur yang kuat, termasuk jaringan yang handal dan perangkat keras yang canggih, serta pengembangan standar yang seragam, akan mempercepat adopsi dan interoperabilitas sistem IoT (Paiola & Gebauer, 2020).

## 2. Keamanan dan Privasi yang Meningkatkan

Upaya yang lebih besar dalam mengembangkan keamanan dan privasi dalam sistem IoT, termasuk enkripsi data, autentikasi yang kuat, dan pemantauan keamanan secara terus-menerus, akan menjadi kunci dalam memastikan keberhasilan implementasi IoT pada industri manufaktur (Cheruvu et al., 2020).

## 3. Peningkatan Kemampuan Analisis Data

Pengembangan kemampuan analisis data yang lebih canggih dan pemodelan prediktif akan memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik berdasarkan informasi yang dihasilkan oleh sistem IoT (Peng et al., 2020). Ini akan membantu perusahaan dalam mengoptimalkan proses produksi, mengidentifikasi tren pasar, dan mengantisipasi perubahan permintaan.

## 4. Pengembangan Keterampilan dan Pengetahuan

Penting bagi perusahaan untuk mengembangkan keterampilan dan pengetahuan yang diperlukan dalam mengelola dan memanfaatkan teknologi IoT. Pelatihan dan pendidikan yang sesuai akan membantu mengisi kesenjangan keterampilan yang ada dan memastikan adopsi yang sukses (Khan et al., 2020).

## 5. Kolaborasi dan Kemitraan

Kolaborasi antara perusahaan manufaktur, penyedia teknologi, dan lembaga penelitian dapat mendorong inovasi dan pengembangan solusi IoT yang lebih baik (Soori et al., 2023). Kemitraan yang kuat akan mempercepat pengembangan teknologi, pertukaran pengetahuan, dan pemecahan masalah bersama.

Dengan upaya-upaya ini, diharapkan implementasi IoT pada industri manufaktur dapat terus berkembang dan memberikan manfaat yang lebih besar dalam hal efisiensi, produktivitas, kualitas, dan inovasi.

# Bab 15

## Implementasi IoT pada Pertanian

### 15.1 Definisi IoT sebagai Pendukung Teknologi Pertanian Modern

Pertanian modern adalah sebuah hasil dari perubahan revolusi industri 4.0 yang secara signifikan merubah praktek pertanian tradisional ke metode pertanian modern (Hasiri et al., 2020). Berbagai teknologi dan inovasi yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian seperti penggunaan mesin pertanian traktor dan *combine harvester* yang di automatisasi dan dikontrol melalui teknologi komputer, hingga pemanfaatan teknologi informasi dalam bentuk sistem manajemen pertanian digital, hidroponik, aeroponik serta pertanian modern lainnya mencakup banyak aspek dalam perkembangan teknologinya, termasuk penggunaan AI (Artificial Intelligence), IoT (Internet of Things), Drone, Robot, pertanian presisi, dan otomatisasi semakin umum. Teknologi bioteknologi juga memainkan peran yang lebih besar, dengan penelitian dan pengembangan varietas tanaman genetik yang lebih produktif dan tahan hama atau penyakit (Hakim et al., 2022).

Salah satu ciri khas dari pertanian modern adalah penggunaan teknologi otomatisasi dalam setiap aspek proses pertanian. Misalnya, penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) pada pertanian yang dapat digunakan untuk membantu dalam proses pemantauan lahan, suhu, kelembapan tanah, penanaman, panen dan pengolahan pasca panen (Hakim et al., 2021). Teknologi IoT juga digunakan untuk meningkatkan kualitas tanaman melalui teknik seperti *monitoring* dan analisis data secara presisi dan realtime terhadap penggunaan pestisida dan pupuk sintetis pada tanaman dan pengaruhnya pada kondisi kesuburan tanah pada lahan pertanian (Hasiri et al., 2020). Selain itu perkembangan teknologi IoT berbasis *Artificial Intelligence* (AI) juga terus berkembang sehingga dapat membantu menciptakan varietas tanaman yang lebih kuat dan unggul serta tahan terhadap penyakit dengan pemantauan secara khusus menggunakan teknologi pertanian modern.

Pertanian modern juga menekankan pada keberlanjutan dalam pemanfaatannya. Misalnya, praktek seperti rotasi tanaman, pengendalian hama, penggunaan pupuk organik, dan pengelolaan sumber daya alam secara efisien semuanya bertujuan untuk menjaga keseimbangan antara produktivitas dan kelestarian lingkungan. Teknologi seperti sensor tanah dapat membantu petani mengelola penggunaan air dan nutrisi tanaman mereka dengan lebih efisien, mengurangi limbah dan dampak negatif terhadap lingkungan (Rusli, 2021).

Di sisi lain, pertanian modern juga membutuhkan investasi yang signifikan. Perangkat keras dan perangkat lunak, serta pelatihan untuk menggunakan teknologi ini, terkadang dapat menjadi mahal. Namun, manfaat jangka panjang dari implementasi teknologi IoT ini dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas hasil pertanian yang pada akhirnya akan meningkatkan penghasilan bagi petani. Selain itu, ada juga tantangan dalam memastikan bahwa petani di semua tingkatan, termasuk petani kecil dan menengah, dapat mengakses dan mampu menguasai serta memanfaatkan teknologi ini (Febrianti et al., 2021). Secara keseluruhan, pertanian modern adalah pola perubahan dari metode pertanian tradisional ke metode modern dengan menggabungkan praktek terbaik dari pertanian tradisional terhadap inovasi dan teknologi modern untuk mencapai hasil pertanian yang lebih baik. Meskipun ada tantangan yang perlu diatasi, potensi untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan dalam pertanian membuat evolusi ini menjadi sangat penting dalam menghadapi tantangan masa depan seperti perubahan iklim dan pertumbuhan populasi dunia (Habtewold, T. M. 2021).

### 15.1.1 Pentingnya Teknologi IoT pada Pertanian.

Pada Era revolusi Industri 4.0 saat ini, teknologi pertanian modern seperti pemanfaatan IoT menjadi sangat penting dalam merubah paradigma pertanian tradisional (Febrianti et al., 2021).

Beberapa hal yang menjadikan IoT menjadi sangat penting dan bermanfaat yaitu:

1. Peningkatan produktivitas hasil pertanian

*Internet of Things* (IoT) memiliki peran penting dalam meningkatkan produktivitas di bidang pertanian. Dengan menggunakan sensor dan perangkat IoT, petani dapat memantau kondisi tanaman dan lingkungan pertanian secara real-time. Informasi ini dapat digunakan dalam membuat suatu keputusan untuk waktu penanaman, pemupukan, dan pengairan, sehingga dapat meningkatkan hasil panen (Hasiri et al., 2020).

2. Pengelolaan Sumber Daya yang baik

IoT memungkinkan pengelolaan sumber daya yang lebih efisien. Misalnya, dengan menggunakan sensor kelembapan, petani dapat mengetahui kapan dan berapa banyak air yang dibutuhkan oleh tanaman. Hal ini tidak hanya menghemat air, tetapi juga mencegah overwatering yang dapat merusak tanaman (Fernando & Sathibabu, 2022).

3. Pendeteksian Hama dan Penyakit

Dengan IoT, petani dapat mendeteksi adanya hama atau penyakit pada tanaman lebih awal. Sensor dan kamera dapat digunakan untuk memantau tanaman dan mendeteksi tanda-tanda awal infestasi hama atau penyakit. Dengan demikian, petani dapat mengambil tindakan segera untuk mencegah penyebaran lebih lanjut (Budiharto, 2019).

4. Pemantauan Kondisi Cuaca

IoT juga memungkinkan petani untuk memantau kondisi cuaca secara real-time. Informasi ini sangat penting untuk menentukan waktu yang tepat untuk penanaman dan panen, serta untuk merencanakan penggunaan pestisida dan pupuk (Hasiri et al., 2020).

#### 5. Otomatisasi Proses

IoT memungkinkan otomatisasi berbagai proses pertanian. Misalnya, sistem irigasi otomatis dapat diatur untuk menyiram tanaman berdasarkan data dari sensor kelembapan. Demikian pula, traktor dan mesin panen otomatis dapat diatur untuk beroperasi berdasarkan data dari sensor dan GPS (Prasetya & Satriyatama, 2019).

#### 6. Pengambilan Keputusan yang Lebih Baik

Melalui data yang dikumpulkan oleh perangkat IoT, petani dapat mengambil keputusan yang lebih baik. Misalnya, mereka dapat menentukan jenis tanaman apa yang paling cocok untuk ditanam berdasarkan kondisi tanah dan cuaca, atau kapan waktu yang tepat untuk memanen (Hakim et al., 2021).

#### 7. Pengurangan Biaya Operasional

Dengan otomatisasi dan efisiensi yang dibawa oleh IoT, biaya operasional pertanian dapat dikurangi. Misalnya, penggunaan air, pupuk, dan pestisida dapat dioptimalkan, sehingga mengurangi biaya (Febrianti et al., 2021).

#### 8. Pelacakan dan Tracing

IoT memungkinkan pelacakan dan tracing produk pertanian dari ladang ke konsumen. Hal ini meningkatkan transparansi dan dapat membantu dalam memastikan kualitas dan keamanan produk (Budiharto, 2019).

#### 9. Prediksi Hasil Panen

Dengan data historis dan real-time yang dikumpulkan oleh perangkat IoT, petani dapat meramalkan hasil panen mereka. Hal ini sangat penting untuk perencanaan dan manajemen pasokan (Dias et al., 2022).

#### 10. Kontribusi terhadap Pertanian Berkelanjutan

Terakhir, namun tidak kalah pentingnya, IoT berkontribusi terhadap pertanian berkelanjutan. Dengan penggunaan sumber daya yang cukup efisien dalam mengurangi penggunaan pestisida dan pupuk kimia, IoT membantu dalam menciptakan sistem pertanian yang dapat lebih ramah terhadap lingkungan dan berkelanjutan. Selain itu,

dengan memantau kondisi tanah dan cuaca, IoT juga dapat membantu dalam mitigasi perubahan iklim dan adaptasi di sektor pertanian (Habtewold, 2021).

### 15.1.2 Konsep IoT sebagai Pendukung Teknologi Pertanian Modern

Konsep *Internet of Things* (IoT) pada pertanian merujuk pada penggunaan berbagai perangkat dan sensor yang terhubung ke internet untuk mengumpulkan, mengirim, dan menerima data yang relevan dengan operasi pertanian. Data ini kemudian dapat diproses dan dianalisis untuk memberikan wawasan yang berharga dan membantu dalam pengambilan keputusan. Misalnya, sensor dapat digunakan untuk memantau kondisi tanah, seperti kelembapan dan nutrisi, serta kondisi lingkungan, seperti suhu dan curah hujan (Hasiri et al., 2020). Data ini kemudian dapat digunakan untuk menentukan kapan dan berapa banyak air atau pupuk yang dibutuhkan oleh tanaman, sehingga meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Selain itu, perangkat IoT juga dapat digunakan untuk otomatisasi berbagai proses pertanian, seperti irigasi dan pemberian pupuk, yang dapat mengurangi beban kerja petani dan meminimalkan kesalahan manusia. Konsep IoT juga mencakup penggunaan teknologi canggih lainnya, seperti AI dan *Machine Learning*, untuk menganalisis data yang dikumpulkan dan membuat prediksi atau rekomendasi, seperti prediksi cuaca atau hasil panen (Madhav & Sandeep, 2019).

Dalam Implementasi *Internet of Things* (IoT) pada bidang pertanian, pengembang pada umumnya sering menggunakan perangkat yang terjangkau seperti modul ESP8266 dan Raspberry Pi. Modul-modul ini merupakan mikrokontroler dalam bentuk system-on-a-chip (SoC) yang memiliki fitur seperti Wi-Fi 2.4 GHz, 16 GPIO (General Purpose Input/Output), IC (Inter-Integrated Circuit), konversi analog ke digital 10-bit ADC, SPI (Serial Peripheral Interface), UART, dan PWM (Pulse-Width Modulation). Karena fitur-fitur ini, modul tersebut sangat populer dalam pengembangan IoT. Selain itu, perkembangan teknologi juga membutuhkan computer vision dan robot vision dalam smart farming. Untuk memudahkan pengembangan aplikasi IoT dengan menggunakan ESP8266, disarankan untuk memilih modul yang telah dibentuk dalam sebuah development board. Development board ini biasanya sudah dilengkapi dengan USB to TTL serial UART yang memudahkan pengguna untuk memasukkan program yang telah ditulis dari desktop atau

laptop ke dalam chip ESP8266 melalui kabel USB. Beberapa development board yang populer untuk pengembangan aplikasi dengan ESP8266 antara lain NodeMCU dan Wemos (Budiharto, 2019).

Dalam imlementasi secara keseluruhan, konsep IoT pada pertanian bertujuan untuk membuat pertanian menjadi lebih efisien, produktif, dan berkelanjutan. Berikut konsep IoT pada sektor pertanian:

1. Pemanfaatan Sensor dan Aktuator

Sensor digunakan untuk mengumpulkan data dari lingkungan, seperti suhu, kelembapan, intensitas cahaya, dan kualitas tanah (Jagadesh et al., 2018). Aktuator, seperti sistem irigasi, dapat diaktifkan berdasarkan data yang dikumpulkan oleh sensor (Yusro & Diamah, 2019).

2. Adanya Konektivitas

Perangkat IoT harus terhubung ke jaringan internet untuk mengirim dan menerima data. Konektivitas ini bisa melalui Wi-Fi, 4G, 5G, atau teknologi nirkabel lainnya (Zhang & Li, 2021).

3. Adanya Pengolahan Data dan Analisis

Data yang dikumpulkan oleh sensor harus diproses dan dianalisis untuk menghasilkan informasi yang berguna. Hal ini biasanya dilakukan oleh perangkat lunak atau platform IoT (Dias et al., 2022).

4. Otomatisasi Teknologi Pertanian

IoT memungkinkan otomatisasi berbagai proses pertanian, seperti irigasi, pemberian pupuk, dan deteksi hama. Ini dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi beban kerja petani (Ulum, 2018).

5. Pemantauan Secara Real-Time

IoT memungkinkan pemantauan kondisi tanaman dan lingkungan pertanian secara *real-time*. Ini dapat membantu petani mengambil tindakan cepat untuk mengatasi masalah yang mungkin muncul (Hasiri et al., 2020).

6. Prediksi dan Peramalan

Dengan menggunakan teknologi *Machine Learning* dan *Artificial Intelligence*, IoT dapat digunakan untuk membuat prediksi dan

peramalan, seperti prediksi cuaca atau hasil panen otomatis (Madhav & Sandeep, 2019).

#### 7. Keamanan dan Privasi

Dalam sistem IoT, keamanan dan privasi data adalah sangat penting. Oleh karena itu, perangkat dan platform IoT harus dilengkapi dengan fitur keamanan yang kuat untuk melindungi data dari akses yang tidak sah terhadap pengolahan data pertanian (Masyhur et al., 2022).

#### 8. Interoperabilitas

Dalam sistem IoT, berbagai perangkat dan sistem harus dapat berinteraksi dan bekerja sama dengan baik. Oleh karena itu, standar dan protokol yang memungkinkan interoperabilitas adalah penting untuk saling terkoneksi satu dengan lainnya (Khatami et al., 2019).

#### 9. Pengambilan Keputusan Berbasis Data

Dengan data yang dikumpulkan oleh perangkat IoT, petani dapat membuat keputusan yang lebih baik dan lebih tepat waktu, seperti menentukan kapan waktu yang tepat untuk menyiram atau memanen tanaman secara otomatis (Madhav & Sandeep, 2019).

#### 10. Pendukung Pertanian Presisi

IoT adalah komponen kunci dari pertanian presisi, yang bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan meningkatkan hasil panen. Dengan IoT, petani dapat mengelola lahan mereka dengan lebih presisi, berdasarkan data yang dikumpulkan oleh sensor dan perangkat lainnya (Abu et al., 2022).

#### 11. Pelacakan dan Tracing

IoT memungkinkan pelacakan dan penelusuran produk pertanian dari ladang hingga ke konsumen. Hal ini meningkatkan transparansi dan dapat membantu dalam memastikan kualitas dan keamanan produk (Abu et al., 2022).

#### 12. Manajemen dan Efisiensi Sumber Daya Energi

IoT dapat membantu dalam mengelola dan mengoptimalkan penggunaan energi pada sumber daya pertanian. Misalnya, sensor dapat digunakan untuk memantau penggunaan energi oleh mesin dan peralatan pertanian, dan data ini dapat digunakan untuk



### 15.1.3 Cakupan Sistem Otomatisasi Pertanian

Sistem otomatisasi pertanian mencakup pengendalian lingkungan, irigasi otomatis, pengelolaan pupuk, otomatisasi peralatan pertanian, dan monitoring penanaman hingga pengolahan pasca panen.

Berikut adalah penjelasan lebih lanjut tentang setiap komponen tersebut:

#### 1. Pengendalian lingkungan

Pengendalian lingkungan dalam sistem otomatisasi pertanian melibatkan pengaturan dan pemantauan kondisi lingkungan lahan pertanian. Ini melibatkan penggunaan sensor seperti sensor suhu, kelembapan, pencahayaan, dan CO<sub>2</sub> yang terhubung ke sistem otomatis (Hasiri et al., 2020). Data dari sensor tersebut dianalisis dan digunakan untuk mengambil keputusan otomatis, seperti mengatur suhu ruangan dengan menghidupkan atau mematikan peralatan pendingin atau pemanas. Tujuan dari pengendalian lingkungan ini adalah menciptakan kondisi optimal bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman, sehingga menghasilkan hasil yang lebih baik.

#### 2. Irigasi otomatis

Irigasi otomatis melibatkan penggunaan sensor kelembapan tanah dan sistem otomatis untuk mengatur pengairan tanaman. Sensor kelembapan tanah mengukur kelembapan tanah di sekitar akar tanaman dan mengirimkan informasi tersebut ke sistem otomatis. Sistem otomatis kemudian menghitung kebutuhan air berdasarkan data sensor dan mengaktifkan sistem irigasi untuk memberikan air sesuai kebutuhan. Hal ini membantu menghindari kelebihan atau kekurangan air yang dapat berdampak negatif pada pertumbuhan tanaman. Irigasi otomatis juga dapat diintegrasikan dengan prakiraan cuaca untuk mempertimbangkan faktor-faktor seperti curah hujan yang diharapkan (Hasiri et al., 2020).

#### 3. Pengelolaan pupuk

Pengelolaan pupuk otomatis melibatkan penggunaan sensor nutrisi tanah dan sistem otomatis untuk memberikan pupuk dengan tepat. Sensor nutrisi tanah mengukur tingkat nutrisi seperti nitrogen, fosfor,

dan kalium di dalam tanah (Veda et al., 2022). Data dari sensor tersebut dikirim ke sistem otomatis yang menganalisis dan menginterpretasikan informasi tersebut. Berdasarkan analisis tersebut, sistem otomatis memberikan dosis pupuk yang tepat pada waktu yang tepat. Pengelolaan pupuk otomatis membantu mengoptimalkan nutrisi yang diberikan kepada tanaman, mencegah pemborosan pupuk, dan mengurangi dampak negatif pada lingkungan (Rahman et al., 2021).

#### 4. Otomatisasi peralatan pertanian

Otomatisasi peralatan pertanian melibatkan penggunaan teknologi otomatis untuk mengendalikan peralatan pertanian seperti traktor, mesin penggiling, atau peralatan panen lainnya. Dengan sistem otomatis, peralatan dapat dikendalikan secara presisi dan efisien. Contohnya, traktor dengan sistem GPS dapat diprogram untuk mengikuti pola kerja yang ditentukan sebelumnya, sehingga mengurangi kesalahan dan meningkatkan akurasi penanaman atau penyemprotan. Peralatan otomatis juga dapat dilengkapi dengan sensor dan sistem pemantauan untuk mengoptimalkan kinerja dan efisiensi. Misalnya, sensor suhu pada mesin pengering dapat memantau suhu udara dan secara otomatis mengatur pengeringan sesuai dengan kebutuhan tanaman yang akan diproses (Budiharto, 2019).

#### 5. Monitoring penanaman hingga pengolahan pasca panen

Sistem otomatisasi pertanian juga mencakup monitoring yang komprehensif dari tahap penanaman hingga pengolahan pasca panen. Dalam hal penanaman, sensor dan sistem pemantauan digunakan untuk memonitor kelembapan tanah, suhu, kebutuhan nutrisi, dan pertumbuhan tanaman secara keseluruhan. Informasi ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan pemupukan, pengairan, dan pengendalian hama secara otomatis. Selanjutnya, pada tahap panen dan pengolahan pasca panen, teknologi otomatisasi dapat membantu dalam pengaturan dan pengawasan alur produksi, seperti sortasi,

pembersihan, dan pengepakan produk pertanian dengan akurasi dan efisiensi yang tinggi (Hakim et al., 2021).

#### 15.1.4 Keuntungan Penggunaan Teknologi IoT dan Otomatisasi Dalam Meningkatkan Produktivitas Dan Kualitas Hasil Pertanian

Penggunaan teknologi IoT dan otomatisasi dalam sektor pertanian memiliki banyak keuntungan dalam meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil pertanian (Febrianti et al., 2021).

Berikut adalah beberapa keuntungan dari penggunaan teknologi IoT dan otomatisasi dalam pertanian:

1. Efisiensi dalam penggunaan sumber daya

Teknologi otomatisasi dapat membantu petani mengoptimalkan penggunaan sumber daya seperti air, energi, dan pupuk. Dengan adanya sistem otomatis untuk irigasi dan pengelolaan pupuk, penggunaan air dan pupuk dapat disesuaikan dengan kebutuhan aktual tanaman (Setiadi & Muhaemin, 2018). Hal ini mengurangi pemborosan sumber daya dan biaya yang terkait, sementara masih memastikan tanaman mendapatkan nutrisi dan air yang diperlukan untuk pertumbuhan yang optimal. Selain itu, teknologi otomatisasi juga dapat mengurangi konsumsi energi dengan mengoptimalkan penggunaan peralatan seperti sistem penerangan atau peralatan pengontrol suhu (Sambuaga et al., 2023).

2. Peningkatan produktivitas

Dengan sistem otomatisasi, pengawasan dan pengendalian yang akurat dapat dilakukan dalam skala yang lebih besar dan secara terus-menerus. Misalnya, kendali lingkungan otomatis memastikan kondisi yang optimal bagi pertumbuhan tanaman, seperti suhu, kelembapan, dan pencahayaan yang tepat. Ini dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman, mengurangi risiko penyakit dan hama, serta mempercepat siklus tanam (Budiharto, 2019). Dalam hal irigasi otomatis, tanaman dapat menerima air dengan jumlah yang tepat pada waktu yang tepat,

memastikan bahwa mereka tidak mengalami kekeringan atau kelebihan air. Semua ini membantu meningkatkan produktivitas pertanian secara keseluruhan (Hasiri et al., 2020).

3. Kualitas hasil pertanian yang lebih baik

Teknologi otomatisasi memungkinkan pengawasan yang lebih baik terhadap kondisi pertumbuhan tanaman. Dengan pemantauan dan pengaturan yang akurat, faktor-faktor seperti suhu, kelembapan, dan nutrisi tanah dapat dikendalikan dengan lebih baik. Hal ini dapat menghasilkan tanaman yang lebih sehat, lebih tahan terhadap penyakit dan hama, serta memiliki kualitas yang lebih baik. Misalnya, dalam pengelolaan pupuk otomatis, dosis pupuk yang tepat dapat diberikan sesuai dengan kebutuhan tanaman, menghindari kekurangan atau kelebihan yang dapat memengaruhi kualitas hasil panen (Rusli, 2021).

4. Pengurangan risiko dan kerugian

Teknologi otomatisasi dapat membantu mengurangi risiko dan kerugian dalam pertanian. Misalnya, dengan pengawasan lingkungan otomatis dan sistem peringatan dini, petani dapat mendeteksi secara cepat perubahan yang tidak normal atau kejadian seperti suhu yang ekstrem, serangan hama, atau kelembapan yang tidak sesuai (Jagadesh et al., 2018). Dengan demikian, tindakan pencegahan atau intervensi dapat diambil lebih cepat untuk mengurangi kerugian yang mungkin terjadi. Selain itu, penggunaan sensor dan sistem otomatis juga dapat membantu dalam pemantauan kondisi tanaman jarak jauh, memungkinkan petani untuk mengatasi masalah atau memperbaiki pengaturan dengan cepat bahkan jika mereka tidak berada di lokasi pertanian.

5. Monitoring dan pemantauan yang lebih baik

Teknologi otomatisasi memungkinkan petani untuk memantau dan memperoleh data yang akurat tentang kondisi pertanian secara real-time. Sensor dan perangkat otomatis mengumpulkan informasi tentang suhu, kelembapan, kebutuhan air, dan tingkat nutrisi tanah. Data ini dapat dianalisis untuk memahami tren pertumbuhan

tanaman, mengidentifikasi masalah dengan cepat, dan mengambil tindakan yang diperlukan. Dengan pemantauan yang lebih baik, petani dapat mengambil keputusan yang lebih tepat waktu dan efektif, meningkatkan efisiensi operasional dan mengoptimalkan hasil pertanian (Nasution et al., 2019).

#### 6. Skalabilitas dan fleksibilitas

Teknologi otomatisasi memungkinkan skala pertanian yang lebih besar dan fleksibilitas operasional yang lebih tinggi. Sistem otomatis dapat diintegrasikan dengan perangkat lunak manajemen pertanian yang canggih, memungkinkan pemantauan dan pengendalian dari pusat kendali tunggal. Ini memudahkan petani untuk mengelola dan mengontrol berbagai aspek pertanian, bahkan dalam pertanian skala besar. Selain itu, teknologi otomatisasi juga dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik pertanian, baik itu jenis tanaman, iklim, atau lingkungan lokal, memberikan fleksibilitas dalam penggunaan teknologi yang paling sesuai dengan situasi yang ada.

Secara keseluruhan, penggunaan teknologi otomatisasi dalam pertanian memiliki potensi besar untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil pertanian. Dengan pengawasan yang akurat, penggunaan sumber daya yang efisien, dan pengendalian yang tepat, petani dapat mencapai hasil yang lebih baik, mengurangi risiko kerugian, dan memaksimalkan potensi pertanian mereka.

### 15.1.5 Tantangan dan Kendala Dalam Penerapan Teknologi IoT dan Otomatisasi Di Sektor Pertanian

Penerapan teknologi otomatisasi dalam sektor pertanian juga dihadapkan pada tantangan dan kendala tertentu. Berikut adalah beberapa tantangan yang mungkin dihadapi dalam penerapan teknologi otomatisasi di sektor pertanian:

#### 1. Biaya

Salah satu tantangan utama adalah biaya implementasi teknologi otomatisasi. Pengadaan perangkat keras, sensor, perangkat lunak, dan infrastruktur yang diperlukan untuk sistem otomatisasi pertanian dapat menjadi mahal. Bagi petani dengan sumber daya terbatas, biaya

ini mungkin menjadi hambatan untuk mengadopsi teknologi tersebut. Selain itu, biaya pemeliharaan dan perawatan perangkat serta pelatihan petani dalam penggunaan sistem otomatisasi juga harus dipertimbangkan. Upaya yang dilakukan untuk mengurangi biaya implementasi teknologi IoT dan otomatisasi dapat menjadi kunci dalam meningkatkan adopsi di sektor pertanian.

2. Akses terhadap teknologi dan infrastruktur

Infrastruktur digital, seperti akses internet yang cepat dan stabil, mungkin tidak tersedia di semua daerah pertanian. Kurangnya akses ke teknologi dan infrastruktur yang diperlukan dapat menjadi kendala dalam memperkenalkan sistem otomatisasi. Untuk mengatasi hal ini, pemerintah dan pemangku kepentingan lainnya perlu berinvestasi dalam pengembangan infrastruktur digital di daerah pedesaan agar petani dapat mengakses teknologi otomatisasi dengan mudah.

3. Pengetahuan dan keterampilan

Penerapan teknologi otomatisasi membutuhkan pengetahuan dan keterampilan yang tepat. Petani perlu belajar tentang pengoperasian perangkat keras, pemrograman, penggunaan sensor, dan analisis data. Kurangnya pengetahuan dan keterampilan dalam bidang ini dapat menjadi tantangan dalam mengadopsi dan mengimplementasikan teknologi otomatisasi. Pelatihan dan pendidikan yang relevan perlu disediakan kepada petani untuk membantu mereka memahami dan menguasai teknologi otomatisasi.

4. Kompleksitas sistem dan integrasi

Teknologi otomatisasi sering melibatkan sistem yang kompleks dan memerlukan integrasi antara perangkat keras, perangkat lunak, dan sensor. Menyatukan semua komponen ini dalam satu sistem yang berfungsi dengan baik dapat menjadi tantangan. Kesulitan mungkin timbul dalam mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak dari berbagai produsen yang berbeda, serta memastikan komunikasi yang efektif antara mereka. Selain itu, pemeliharaan dan pemecahan masalah teknis juga bisa menjadi tantangan dalam menjaga sistem otomatisasi tetap berjalan dengan baik.

#### 5. Perubahan budaya dan sikap terhadap inovasi

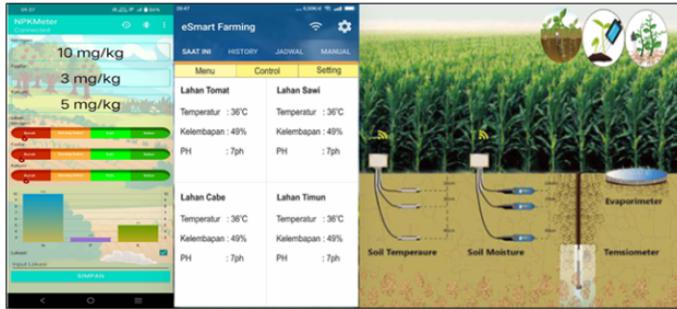
Penerapan teknologi otomatisasi juga dapat menghadapi tantangan dalam mengubah budaya dan sikap terhadap inovasi di sektor pertanian. Beberapa petani mungkin enggan meninggalkan praktik tradisional dan mengadopsi teknologi baru. Dibutuhkan kesadaran, edukasi, dan dukungan dari pihak terkait untuk mengatasi resistensi terhadap perubahan

Tantangan dalam penerapan sistem otomatisasi pertanian meliputi biaya investasi awal, akses terhadap teknologi dan infrastruktur, kurangnya pengetahuan dan keterampilan dalam penggunaan teknologi, kompleksitas sistem dan integrasi, serta perubahan budaya dan sikap terhadap inovasi di kalangan petani itu sendiri. Namun, dengan pendekatan yang tepat, pelatihan yang memadai, dan dukungan yang memadai, sistem otomatisasi pertanian dapat mengatasi tantangan ini dan membawa manfaat signifikan dalam meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan kualitas hasil pertanian.

## 15.2 Model Implementasi IoT pada Pertanian

### 15.2.1 Implementasi IoT Pemantauan Kondisi Tanah Lahan Pertanian

Implementasi *Internet of Things* (IoT) dalam pemantauan kondisi tanah lahan pertanian merupakan metode yang digunakan untuk memantau kondisi tanah secara real-time dan akurat. Implementasi ini melibatkan penggunaan berbagai sensor dan perangkat yang terhubung ke internet untuk mengumpulkan dan menganalisis data tentang kondisi tanah (Hasiri et al., 2020). Sensor-sensor yang dapat digunakan untuk pemantauan tanah lahan pertanian digunakan untuk mengukur berbagai parameter tanah seperti sensor soil moisture, sensor pH tanah, sensor suhu, dan sensor kandungan mineral dan nutrisi Natrium, Kalium dan Fosfor (NPK) yang terkandung dalam tanah. Sensor-sensor ini ditempatkan di berbagai titik di lahan pertanian untuk mendapatkan gambaran yang akurat tentang kondisi tanah.

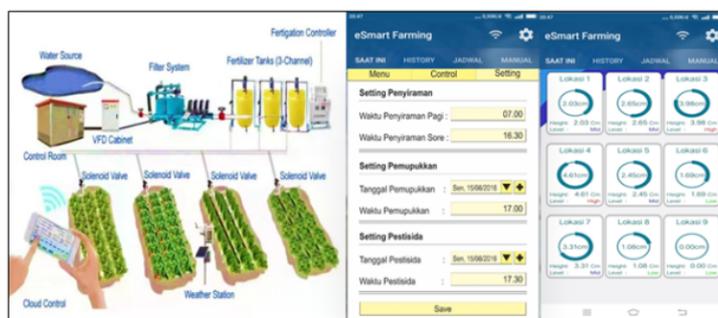


**Gambar 15.2:** Model implementasi IoT menggunakan Sensor Soil Moisture, sensor pH, sensor NPK, dan Sensor Suhu.

Gambar 15.2, Merupakan model implementasi IoT menggunakan sensor kelembapan tanah (soil moisture), sensor suhu, sensor pH, sensor NPK. Pada implementasi tersebut sensor-sensor ditempatkan di dalam tanah lahan pertanian dengan mengumpulkan data sesuai dengan jenis data yang dibutuhkan seperti sensor kelembapan akan mengumpulkan data kelembapan tanah, sensor suhu akan mengumpulkan data suhu tanah, dan sensor pH akan mengumpulkan data pH tanah, dan sensor NPK akan mengumpulkan data nutrisi dari tanah yaitu Nitrogen, Fosfor dan Kalium (Veda et al., 2022). Data tersebut selanjutnya akan dikirimkan ke server dan diteruskan ke smartphone aplikasi pengguna (petani) melalui jaringan internet yang saling terhubung. Data ini dapat dilakukan secara real-time atau pada interval waktu tertentu. Dengan demikian, petani dapat memantau kondisi tanah secara berkelanjutan dan membuat penyesuaian yang diperlukan seiring berjalannya waktu. Data tersebut selanjutnya dianalisis menggunakan algoritma dan teknologi machine learning untuk menentukan kondisi tanah dan memprediksi perubahan yang mungkin terjadi. Berdasarkan analisis data tersebut, petani atau sistem otomatis dapat mengambil tindakan yang diperlukan (Madhav & Sandeep, 2019). Misalnya, jika data menunjukkan bahwa tanah kekurangan air, sistem irigasi otomatis dapat diaktifkan. Atau jika tanah kekurangan nutrisi dan mineral yang dibutuhkan oleh tanaman, petani dapat diberi tahu untuk menambahkan pupuk yang sesuai. Dengan demikian, implementasi IoT dalam pemantauan kondisi tanah lahan pertanian dapat membantu meningkatkan produktivitas dan efisiensi pertanian (Hasiri et al., 2020).

## 15.2.2 Implementasi IoT untuk Manajemen Irigasi, Pemupukan dan Pemberian Pestisida

Implementasi Internet of Things (IoT) dalam manajemen irigasi lahan pertanian bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air pada lahan pertanian dengan melakukan pengaturan waktu secara otomatis berdasarkan waktu yang ditetapkan atau dapat juga dengan sistem otomatis melalui pembacaan sensor pada kelembapan tanah, sensor cuaca atau berdasarkan layanan cuaca online (Gambar 15.3). Pada sistem pemupukan tanaman juga dapat dilakukan dengan manajemen waktu pemupukan disesuaikan dengan jenis dan kondisi tanaman agar produktivitas pertumbuhan tanaman dapat optimal. Sedangkan penerapan pemberian pestisida dapat dilakukan dengan pembacaan sensor hama atau dapat disesuaikan dengan kondisi lahan pertanian yakni melakukan pengaturan terjadwal untuk pemberian pestisida. Dengan teknologi IoT, sistem irigasi dan pemupukan serta pemberian pestisida dapat diotomatisasi dan disesuaikan berdasarkan kondisi tanaman dan lahan pertanian. Ini berarti bahwa air, pupuk dan pestisida hanya digunakan saat dibutuhkan dan dalam jumlah yang tepat, sehingga mengurangi pemborosan dan memastikan bahwa tanaman mendapatkan air, pupuk dan pestisida yang mereka butuhkan untuk tumbuh dan berkembang (Hasiri et al., 2020).



**Gambar 15.3:** Model Implementasi IoT pada Manajemen Irigasi, Pemupukan Dan Pemberian Pestisida Pada Lahan Pertanian

Selain itu, pemanfaatan teknologi IoT juga dapat melakukan pengumpulan dan analisis data untuk membuat penyesuaian dan perbaikan secara teknis lebih lanjut. Misalnya, jika data menunjukkan bahwa bagian tertentu dari lahan pertanian sering lebih kering daripada bagian lain, petani dapat menyesuaikan penempatan atau pengaturan sprinkler untuk memastikan penyebaran air yang

lebih merata demikian pula dengan pengaturan pemupukan dan pemberian pestisida. Dengan demikian, implementasi IoT dalam manajemen irigasi, pemupukan dan pemberian pestisida pada lahan pertanian tidak hanya menghemat air, pupuk, pestisida dan energi, tetapi juga membantu petani mengoptimalkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman mereka menjadi lebih optimal (Hasiri et al., 2020).

### 15.2.3 Implementasi IoT untuk Pemantauan Iklim dan Kualitas Udara Area Lahan Pertanian

Implementasi Internet of Things (IoT) untuk pemantauan iklim dan kualitas udara di area lahan pertanian bertujuan agar petani dapat memantau secara real-time kondisi iklim seperti kecepatan angin, suhu udara, kelembapan udara, dan intensitas cahaya matahari pada lahan pertanian. Dalam penerapan IoT pada pemantauan iklim dan kualitas udara dapat menggunakan beberapa jenis sensor seperti sensor suhu, sensor kelembapan udara, sensor hama, sensor intensitas cahaya matahari, sensor kecepatan dan arah angin, sensor kualitas udara, sensor hujan dan lain sebagainya (Ulum, 2018). Data yang terkumpul dari sensor tersebut dapat digunakan untuk mengoptimalkan kegiatan pertanian, seperti mengatur irigasi dan pencahayaan, sehingga tanaman dapat tumbuh dengan kondisi yang optimal. Selain itu, dengan memantau kualitas udara, petani juga dapat mengidentifikasi dan mengatasi faktor-faktor yang dapat memengaruhi kesehatan tanaman, seperti polusi udara, hama atau keberadaan pestisida berlebih di area lahan pertanian (Budiharto, 2019).



**Gambar 15.4:** Model Implementasi IoT untuk Iklim dan kualitas udara

IoT juga memungkinkan adanya sistem peringatan dini terhadap perubahan iklim atau cuaca ekstrem yang dapat membahayakan tanaman. Misalnya, jika suhu meningkat secara tiba-tiba, sensor IoT dapat mengirimkan notifikasi

kepada petani untuk mengambil tindakan cepat, seperti memberikan perlindungan tambahan pada tanaman. Selain itu, dapat juga dilakukan dengan memantau kualitas udara secara kontinu, petani dapat mendeteksi adanya polusi atau bahan berbahaya lainnya yang dapat merusak tanaman dan mengambil langkah-langkah pencegahan yang diperlukan (Budiharto, 2019).

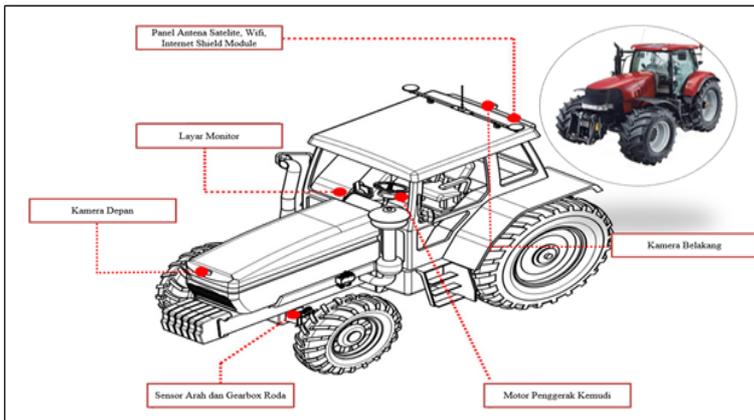
Melalui implementasi IoT untuk pemantauan iklim dan kualitas udara di area lahan pertanian (Gambar 15.4), petani juga dapat mengumpulkan data historis kondisi iklim dan suhu untuk analisis lebih lanjut. Data ini dapat digunakan untuk memprediksi pola iklim yang berdampak pada pertumbuhan tanaman dan mengoptimalkan strategi pertanian. Selain itu, data historis juga dapat membantu dalam pengembangan sistem pengaturan otomatis berbasis IoT yang dapat mengendalikan suhu, kelembapan, dan kualitas udara secara otomatis sesuai dengan kebutuhan tanaman. Dengan memanfaatkan teknologi IoT, pengolahan dan manajemen pertanian dapat menjadi lebih efisien, berkelanjutan, dan dapat menghasilkan hasil yang lebih baik dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan meningkatkan kualitas udara (Budiharto, 2019).

#### 15.2.4 Implementasi IoT pada Perangkat Pertanian

Otomatisasi IoT telah membawa revolusi dalam industri pertanian dengan memperkenalkan teknologi canggih pada perangkat seperti traktor dan mesin panen. Pertanian adalah sektor yang membutuhkan kerja keras dan efisiensi tinggi untuk menghasilkan hasil panen yang optimal. Dengan otomatisasi IoT, perangkat pertanian seperti traktor dan mesin panen dilengkapi dengan sensor dan perangkat lunak yang terhubung secara nirkabel. Hal ini memungkinkan para petani untuk mengendalikan dan memantau peralatan mereka secara jarak jauh, meningkatkan produktivitas dan efisiensi (Budiharto, 2019).

Pada traktor, otomatisasi IoT memungkinkan penggunaan teknologi GPS, Wifi, *Internet Shield Module* untuk mengontrol dan mengarahkan pergerakan traktor dengan akurasi tinggi melalui koneksi jarak jauh. Petani dapat memprogram rute yang diinginkan dan traktor akan mengikuti jalur tersebut secara otomatis (Prasetya & Satriyatama, 2019). Selain itu, sensor-sensor pada traktor dapat mengumpulkan data penting seperti kelembapan tanah, suhu udara, dan kepadatan tanaman. Data ini dapat dikirim secara langsung ke perangkat pengelolaan pertanian, memungkinkan petani untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya seperti irigasi dan pupuk.

Sementara itu, mesin panen yang didukung oleh otomatisasi IoT juga memberikan keuntungan besar bagi petani. Mesin panen yang terhubung dapat memantau kondisi tanaman secara real-time dan secara otomatis mengatur kecepatan dan tekanan pemotongan yang optimal. Selain itu, mesin panen dapat memproses dan mengirim data mengenai hasil panen ke platform analitik. Informasi ini memungkinkan petani untuk memahami produktivitas lahan mereka, mengidentifikasi area yang perlu ditingkatkan, dan membuat keputusan yang lebih cerdas dalam perencanaan pertanian dimasa depan (Fernando & Sathibabu, 2022).



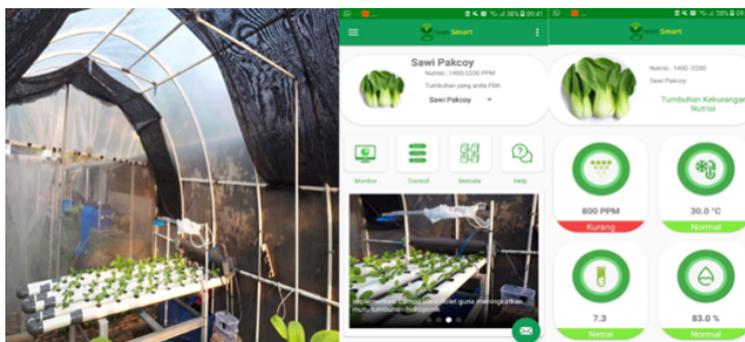
**Gambar 15.5:** Model implementasi IoT pada mesin traktor

Secara keseluruhan, otomatisasi IoT pada perangkat pertanian seperti traktor dan mesin panen telah membantu meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan ketepatan dalam sektor pertanian. Dengan menggunakan teknologi terkini seperti sensor, perangkat lunak terkoneksi, dan analitik data, para petani dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya, meningkatkan hasil panen, dan mengurangi kerugian. Ini memberikan peluang baru dalam pertanian modern yang cerdas dan berkelanjutan, serta berpotensi meningkatkan ketahanan pangan dimasa depan (Budiharto, 2019).

### 15.2.5 Implementasi IoT pada Manajemen Greenhouse

Greenhouse adalah sebuah struktur bangunan yang biasanya terbuat dari kaca atau plastik transparan, yang digunakan untuk menumbuhkan dan melindungi tanaman dari kondisi cuaca eksternal. Dalam bahasa Indonesia, istilah ini juga

dikenal sebagai rumah kaca. Greenhouse dirancang sedemikian rupa untuk memanfaatkan efek rumah kaca, di mana sinar matahari yang masuk melalui material transparan dipanaskan di dalam struktur, dan hawa panas tertahan sehingga menciptakan lingkungan yang lebih hangat di dalamnya dibandingkan di luar (Ekojono, Arief, et al., 2019).



**Gambar 15.6:** Implementasi IoT pada Greenhouse

Dengan implementasi IoT pada greenhouse, petani dapat mengontrol kondisi lingkungan tempat tanaman tumbuh, seperti suhu, kelembapan, dan pencahayaan. Ini memungkinkan tanaman tumbuh dalam kondisi yang optimal dan seringkali memperpanjang musim tanam, sehingga dapat menumbuhkan tanaman yang mungkin tidak cocok dengan iklim lokal. Selain itu, greenhouse juga melindungi tanaman dari hama, angin kencang, dan hujan berlebih, yang semuanya dapat merusak tanaman (Ekojono, Arief, et al., 2019).

*Greenhouse* sangat bervariasi dalam ukuran dan kompleksitas. Ada yang sederhana dan kecil yang digunakan oleh penggemar kebun rumahan, dan ada juga yang sangat besar yang digunakan oleh petani komersial untuk produksi massal. Dengan perkembangan teknologi pertanian baru yakni hidroponik dalam greenhouse, kini greenhouse dilengkapi dengan sistem otomatisasi canggih seperti kontrol suhu, sistem irigasi, dan lampu tumbuh, yang seringkali diintegrasikan dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas (Adriantantri & Dedy Irawan, 2019).

Dalam konteks greenhouse, hidroponik memungkinkan kontrol yang lebih baik atas nutrisi yang diterima oleh tanaman. Dengan mengontrol komposisi nutrisi dalam air, petani dapat memastikan bahwa tanaman menerima nutrisi yang tepat dalam jumlah yang tepat, sehingga memaksimalkan pertumbuhan

dan produktivitas tanaman. Selain itu, karena tanah tidak digunakan, risiko penyakit tanah dan hama yang biasanya ditemukan dalam tanah dapat diminimalkan (Adriantantri & Dedy Irawan, 2019).

Penerapan hidroponik juga membantu memaksimalkan penggunaan ruang dalam greenhouse. Dengan metode ini, tanaman dapat ditanam lebih rapat, karena mereka tidak memerlukan ruang untuk penyebaran akar di dalam tanah. Ini berarti bahwa lebih banyak tanaman dapat ditanam dalam jumlah ruang yang sama, meningkatkan produktivitas per meter persegi (Nasution et al., 2019). Selain itu, sistem hidroponik dapat ditumpuk secara vertikal, memungkinkan untuk pertanian bertingkat atau multi-lantai dalam greenhouse. Akhirnya, hidroponik juga lebih hemat air dibandingkan metode tanam konvensional, karena air yang tidak diserap oleh tanaman dapat dikumpulkan kembali dan digunakan kembali (Hasiri et al., 2021).

# Bab 16

## Implementasi IoT pada Sistem Monitoring Kelistrikan

### 16.1. Pendahuluan

Saluran dan menara transmisi memiliki peran penting dalam menjamin keandalan dan stabilitas sistem tenaga. Saat ini, patroli fisik oleh staf merupakan metode perlindungan utama untuk menara transmisi yang secara praktis tidak efektif dan dapat menyebabkan hasil yang tidak diinginkan karena faktor lingkungan, iklim, dan manusia. Hal ini telah memotivasi perusahaan listrik regional untuk mencari strategi pertahanan yang sistematis dan cerdas terhadap ancaman keamanan yang timbul dari serangan maupun gangguan sisten secara mendadak terhadap menara saluran transmisi tegangan tinggi. Keandalan dan stabilitas penyaluran energi listrik ke konsumen menjadi sangat penting agar konsumen dapat memperoleh suplai energi listrik secara kontinu. Untuk memastikan bahwa sistem penyaluran energi listrik bekerja berdasarkan konstrain, maka dibutuhkan suatu perlindungan sistem untuk monitoring kinerja dari perangkat proteksi.

Implementasi *Internet of Things* (IoT) pada system tenaga listrik telah berkembang dengan pesat seiring dengan kebutuhan dan kemudahan mengakses informasi yang berhubungan dengan monitoring pengoperasian,

pendistribusian dan pemanfaatan energi listrik secara riil-time. Sistem monitoring terhadap perangkat proteksi (security system) pada komponen system tenaga listrik penting dilakukan agar semua perangkat proteksi yang bekerja dalam system dipastikan dapat bekerja dengan baik sesuai fungsinya masing-masing seperti monitoring gangguan, monitoring pembangkitan, monitoring kualitas daya dan tegangan serta monitoring penggunaan energi listrik oleh konsumen. Untuk memperoleh informasi tentang kondisi system tersebut maka dibutuhkan perangkat yang dapat digunakan sebagai media untuk mengakses informasi yang diperlukan secara luas oleh siapa saja yang membutuhkan.

*Internet of Things* (IoT) merupakan sebuah konsep untuk memperluas tujuan dan manfaat dari konektivitas internet yang selalu terhubung dengan sistem. Di antaranya kemampuan berbagi data, pengendalian jarak jauh serta pemanfaatan sensor-sensor yang terhubung dengan perangkat keras (hardware) yang dirancang dengan berbagai perangkat lunak (software) berdasarkan kebutuhan pengguna yang dikendalikan oleh mikrokontroler seperti penggunaan *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) dan *Smart Grid* pada system kontrol daya listrik (Setiawan, Tambi and Hay, 2018). Implementasi IoT pada pemantauan pemakaian energi listrik rumah tangga dengan menggunakan Raspberry pi dengan pemrograman Node-RED (Austina Putri, 2020), dan oleh (Mulyadi, Intan Sari Areni, Elyas Palantei, Andani Achmad 2021).

Setiap harinya manusia selalu berinteraksi dengan teknologi yang menggunakan konsep *Internet of Things* (IoT). Keseluruhan aktivitas seseorang saling terhubung satu sama lain melalui jaringan internet untuk memudahkan proses transfer data. Sistem IoT ini banyak diterapkan pada bidang kehidupan manusia, khususnya bidang energi. Bidang energi di sini berarti seluruh sumber daya yang digunakan untuk menjadi tenaga pembangkit suatu mesin atau perangkat, misalnya, udara, listrik, air, dan lain sebagainya. Keseluruhan perangkat tersebut memakai konsep IoT agar pengguna lebih efisien dalam pemanfaatannya.

IoT diterapkan dalam bidang energi untuk bentuk pengawasan dan pengendalian terhadap penggunaan suatu energi. Selain manfaat yang diperoleh dari teknologi IoT di bidang energi juga menghadapi tantangan baik dari dalam sistem itu sendiri maupun dari lingkungan sekitar.

## 16.2. Sistem Monitoring Kelistrikan

Untuk keperluan pengawasan dan pengendalian terhadap pendistribusian dan penggunaan suatu energi listrik, maka diperlukan suatu teknologi yang digunakan untuk mengatur proses distribusi serta pengaturan pemakaian energi listrik. Dalam pekerjaan yang dimaksud oleh (Tarahi, Hossein, Hossein Haghghat, 2023), maka sebagai sistem perlindungan telah dirancang dengan menerapkan sistem perlindungan online pintar (SOPS), berdasarkan konsep *Internet of Things* (IoT), untuk mengurangi risiko keamanan dari invasi terhadap menara kisi saluran transmisi. Informasi status menara bersama dengan data lingkungan diperoleh secara lokal dan diproses oleh berbagai sensor dan mikrokontroler yang dipasang di menara dan ditransmisikan ke pusat kendali melalui jaringan seluler menggunakan protokol komunikasi HTTP. Program perangkat lunak berbasis web dikembangkan untuk pemantauan dan control perangkat secara riil-time/perangkat keras lokal yang ditempatkan di menara transmisi yang terletak bermil-mil jauhnya dari pusat kendali. Berbagai algoritme pemrosesan data diterapkan untuk pembuatan dan visualisasi sinyal peringatan yang meningkatkan kinerja SOPS untuk mendeteksi ancaman keamanan yang sebenarnya. Sistem dan desain yang diusulkan berhasil diimplementasikan di *Regional Power Utility* (Iran) Hormozgan. Hasil eksperimen membuktikan bahwa strategi yang diusulkan valid, efektif, dan akurat. Strategi ini juga menghasilkan peluang, fitur, dan aplikasi yang dapat dipelajari dan dikembangkan sebagai pekerjaan di masa depan.

Kemudian sistem monitoring kinerja isolator tegangan tinggi yang terpasang di luar ruangan dibawah pengaruh iklim tropis juga telah dilakukan penelitian oleh (TAMBI et al., 2020) untuk meminimalkan gangguan pada sistem tenaga listrik akibat arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator. Tujuan dari penelitian ini adalah mengamati arus bocor (leakage current) sebagai indikator dalam menentukan tingkat kerusakan pada isolator yang mengalami penuaan (aging) sehingga dapat dijadikan informasi awal oleh operator pemeliharaan jaringan untuk melakukan tindakan di lapangan.

Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode real-time dengan tools simulator berbasis dSPACE dengan menggunakan program C++ dan Visual Basic yang didesain berdasarkan kondisi riil di lapangan. Pengujian terhadap hasil yang diperoleh melalui simulator akan diverifikasi berdasarkan model sistem yang telah dirancang di laboratorium Tegangan Tinggi Teknik

Elektro UNHAS. Model sistem yang telah dibuat dengan waktu nyata akan dimonitor dari hasil desain perangkat keras sistem monitoring dengan menggunakan Rapsberry Pi atau Mikrokontroler PIC 16F877 untuk pemrosesan sinyal A/D, kemudian disimpan pada modul mikroprosesor berupa data logger dan dapat langsung ditransfer ke komputer/laptop melalui port paralel yang dikendalikan oleh perangkat lunak, graphical user interface (GUI). Berikut adalah beberapa contoh penerapan IoT pada bidang energi listrik.

### 16.2.1 Smart Grid

Sistem tenaga listrik sedang diubah dari sistem jaringan yang lebih tua ke smart grid di seluruh dunia. Tujuan dari transisi ini adalah untuk mengatasi masalah tenaga listrik saat ini, yang meliputi pengurangan emisi karbon, menemukan sumber alternatif bahan bakar fosil yang membusuk, memberantas kerugian yang terjadi pada sistem yang tersedia saat ini, dan memperkenalkan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) terbaru jaringan listrik. Perkembangan teknologi smart grid meningkat secara dramatis seiring dengan dan sebagai reaksi terhadap pertumbuhan berkelanjutan dari teknologi energi terbarukan (terutama tenaga angin dan matahari), semakin populernya kendaraan listrik, dan permintaan listrik yang terus meningkat. Ini mencakup berbagai topik tentang jaringan pintar, termasuk penetrasi energi terbarukan (matahari/angin) ke jaringan, penyimpanan energi, teknik kontrol, manajemen energi, dan pemodelan perangkat/teknik pintar.

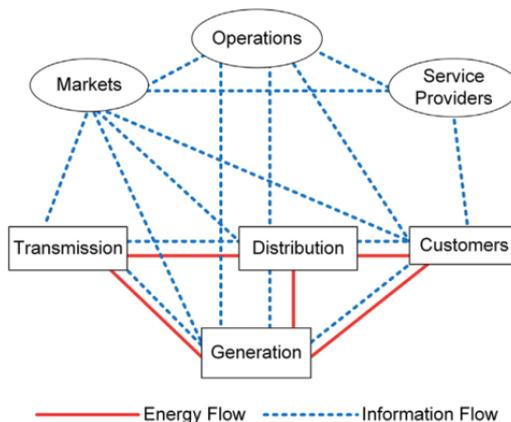
Seluruh proses distribusi jaringan hingga pengaturan pemakaian listrik tersebut diatur oleh teknologi smart grid. Teknologi ini merupakan gabungan antara teknologi komunikasi dan informasi yang dihubungkan dengan software untuk memiliki kendali atas sistem tenaga listrik. Dalam penerapannya, smart grid menggunakan teknologi sensor dan metering. Sensor berfungsi untuk memantau penggunaan listrik. Misalnya, sebuah lampu memiliki sensor otomatis yang mendeteksi lingkungan sekitarnya melalui sensor gerak. Ketika seseorang lewat di depannya, lampu akan otomatis menyala dan tersambung dengan listrik dan begitu pula sebaliknya. Sementara itu, metering digunakan untuk mengukur penggunaan energi secara real-time. Pemantauan ini ditujukan agar penggunaan listrik oleh pengguna bisa lebih bijak dan efektif serta mengidentifikasi pola penggunaan yang di luar batas. Smart grid ini sangat cocok digunakan dalam sebuah perusahaan untuk bisa menghemat

energi dan tentunya pengeluaran operasional. Dengan begitu, lonjakan biaya listrik yang berlebihan bisa diatasi dan dialihkan untuk pengeluaran lain.

## 16.2.2 Kerangka Kerja yang Mengintegrasikan Kekuatan Internet of Things Dengan Sistem Fisik Cyber

Dengan mengintegrasikan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) yang canggih dengan fasilitas infrastruktur perkotaan yang ada, diperkirakan bahwa kota-kota di masa depan akan berkembang menjadi sistem siber-fisik yang besar dan akhirnya menjadi dunia kembaran fisik-digital. Menurut definisi yang dibuat oleh *American Electric Power Research Institute* pada tahun 2011, smart grid adalah jaringan listrik yang memungkinkan aliran listrik dan informasi dua arah (EPRI, 2013). Tidak seperti jaringan listrik tradisional yang hanya mengalirkan listrik satu arah, smart grid memungkinkan aliran listrik dua arah antara jaringan listrik dan pelanggan listrik. Lebih penting lagi, mengintegrasikan TIK ke dalam jaringan listrik menghasilkan arus informasi dua arah yang baru dan memungkinkan jaringan memiliki kemampuan memperbaiki sistemnya sendiri dan pelanggan listrik menjadi peserta aktif.

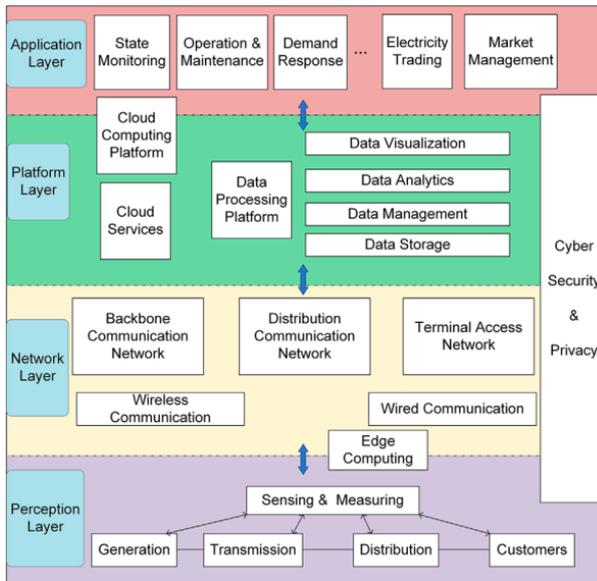
Gambar 16.1 menunjukkan model konseptual smart grid, yang diusulkan oleh *National Institute of Standards and Technology* (Nist, 2014). Ini terdiri dari tujuh domain dan aliran energi/informasi.



**Gambar 16.1:** Model Konsep sebuah Smart Grid

Sebagai infrastruktur energi kota pintar, jaringan pintar memperbaiki sistem jaringan listrik tradisional dengan teknologi informasi dan komunikasi yang

canggih. Secara khusus, aliran informasi yang baru diperkenalkan bersama dengan aliran energi yang melekat menjadikannya lebih efisien untuk pembangkitan, transmisi, distribusi, dan konsumsi listrik yang penyebarannya sepenuhnya oleh *Internet of Things* di jaringan listrik (alias power Internet of Things atau PIoT).

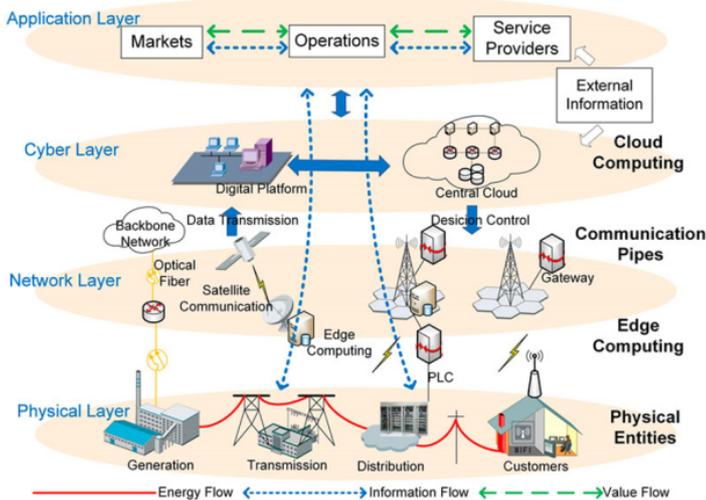


**Gambar 16.2:** Susunan Daya IoT

Untuk pengembangan jaringan listrik yang cerdas, selain membangun infrastruktur fisik ketenagalistrikan yang sehat, juga perlu mewujudkan digitalisasi, informatisasi, otomasi, dan interaksi jaringan listrik. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 16.2, PIoT terdiri dari lapisan persepsi, lapisan jaringan, lapisan platform, dan lapisan aplikasi, yang masing-masing berfokus pada pengumpulan data, transmisi, manajemen, dan penciptaan nilai. Pada lapisan persepsi, semua hal saling berhubungan, dan keadaan jaringan listrik sepenuhnya divisualisasikan; pada lapisan jaringan, jaringan backbone, jaringan distribusi, dan jaringan akses terminal memastikan kemampuan komunikasi di mana-mana dan sepanjang waktu; pada lapisan platform, manajemen digital membuat jaringan listrik dapat diketahui dan dikontrol; dan pada lapisan aplikasi, jaringan listrik menyediakan semua jenis layanan untuk menciptakan peluang yang lebih besar bagi semua lapisan masyarakat. Keamanan dan privasi dunia maya adalah masalah penting di seluruh lapisan

dalam PloT berbasis data. Untuk mencapai potensi penuh IoT dalam smart grid, kita harus sepenuhnya mempertimbangkan karakteristik lapisan, dan memilih fasilitas, perangkat, dan teknologi komunikasi yang sesuai untuk berbagai aplikasi. Kami membahas berbagai lapisan dan keamanan dunia maya dan masalah privasi berikut ini.

Untuk lebih mengeksplorasi energi berharga dan teknologi 5G terbaru, maka berbagai pekerjaan penelitian telah dilakukan untuk menambahkan aliran nilai di jaringan cerdas, terutama termasuk nilai yang diciptakan oleh layanan inovatif dan mekanisme pasar serta nilai tambah dari aliran informasi. Menurut (Liu et al., 2021), secara khusus bahwa dengan mengintegrasikan PloT dengan sistem siber-fisik, artikel ini menggambarkan kerangka kerja konseptual dari sistem kekuatan siber-fisik, *Cyber-Physical Power System* (CPPS). CPPS melakukan persepsi holistik dan koneksi di mana-mana dari sumber energi terdistribusi dan fasilitas listrik serta membangun jaringan listrik yang lebih cerdas dengan interaksi informasi global, pengambilan keputusan yang cerdas, dan kontrol cerdas secara riil-time. Ada empat lapisan atau bagian dari CPPS seperti terlihat pada gambar 16.3, yaitu lapisan fisik, lapisan jaringan, lapisan cyber, dan lapisan aplikasi. Interaksi keempat lapisan bergantung pada aliran informasi yang melewatinya. Secara spesifik, fungsi utama dari setiap layer adalah sebagai berikut:



**Gambar 16.3:** Skema Susunan Lapisan Dan Teknologi Yang Mendukung CPPS

1. Lapisan fisik (yaitu, lapisan fasilitas) adalah lapisan fundamental dari arsitektur, termasuk berbagai fasilitas fisik dan pelaksana di grid. Itu disebarkan dengan cara terdistribusi, dan instruksi pengambilan keputusan dijalankan di lapisan ini untuk mencapai fungsionalitas sistem yang diperlukan. Juga, energi mengalir dalam mode dua arah dalam lapisan ini antara pembangkit listrik, transmisi, distribusi, dan pelanggan.
2. Lapisan jaringan (yaitu, lapisan jaringan komunikasi) adalah kunci dari arsitektur, yang menjembatani antara lapisan fisik yang lebih rendah dan lapisan cyber yang lebih tinggi. Ini menjelaskan fungsi keseluruhan dari jaringan informasi, yaitu bagaimana fasilitas listrik membuat interaksi antara komponen heterogen dan menjalankan instruksi kontrol dari lapisan atas.
3. Lapisan siber (yaitu, lapisan pengambilan keputusan) adalah inti dari arsitektur, yang terdiri dari mekanisme pemrosesan pusat berbasis komputasi awan dan kecerdasan komputasi terdistribusi untuk mengoptimalkan strategi komputasi dan kontrol. Lapisan pengambilan keputusan ini bertindak sebagai otak eksekutif dari keseluruhan sistem dan menyediakan antarmuka manusia-komputer dengan lapisan atas untuk mengkoordinasikan semua lapisan bawah dengan merancang dan mengirimkan perintah yang sesuai.
4. Lapisan aplikasi (yaitu lapisan aplikasi, manajemen, dan kontrol) mencakup penyedia layanan, pasar, dan operasi di antara mereka, yang merupakan pembuat keputusan tingkat tertinggi. Pembuat keputusan mempertimbangkan semua masalah dari perspektif ekonomi, masyarakat, dan lingkungan, dengan mempertimbangkan regulasi pasar, penetapan harga, dan langkah-langkah insentif untuk melakukan pembangkitan dan konsumsi daya di dunia fisik. Fitur utama dari lapisan ini adalah optimal operasi dilakukan berdasarkan informasi dua arah, dan arus nilai antara pasar dan penyedia layanan.

Untuk menerapkan CPPS, ada empat *Information and Communication Technologies* (ICTs) yang mungkin dapat diterapkan, di antaranya adalah komputasi awan, saluran komunikasi, edge komputasi, dan entitas fisik. CPPS

perlu menganalisis, memproses, dan membuat keputusan tentang data besar, yang menimbulkan tantangan baru bagi kemampuan komputasi dan pemrosesan informasi. Komputasi awan dapat memenuhi kebutuhan bisnis akan data masif untuk jaringan, penyimpanan, dan komputasi, serta menyediakan layanan aplikasi yang memadai. Pipa komunikasi mengacu pada saluran transmisi data antara lapisan fisik dan lapisan cyber, menghubungkan pengguna terminal, perangkat tepi, dan sumber daya komputasi awan, yang mewakili jaringan informasi di mana-mana di smart grid. Komputasi tepi adalah untuk menyebarkan agen cerdas terdistribusi di tepi jaringan, yang menyediakan layanan jaringan, komputasi, penyimpanan, dan aplikasi di dekat sumber data. Sedangkan Entitas fisik mengacu pada berbagai listrik dan elektronik peralatan yang terlibat dalam jaringan listrik.

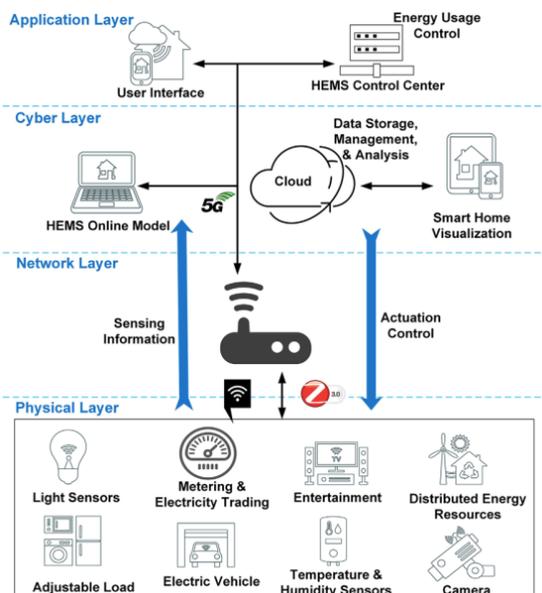
### 16.2.3 Smart Home

Dalam sistem manajemen energi rumah tradisional, *Home Energy Management System* (HEMS), pengumpulan dan analisis informasi konsumsi energi yang tidak memadai, yang menyebabkan biaya energi tinggi di mana efisiensi manajemen dan perencanaan energi sangat rendah. Dengan beralih ke HEMs yang cerdas melalui infrastruktur jaringan canggih dan analisis data besar berbasis pembelajaran mesin dan strategi control yang mengintegrasikan PIoT dan CPPS, HEMS dilengkapi dengan kemampuan kesadaran situasi yang jauh lebih kuat dan kemampuan kontrol otomatis, HEMS yang cerdas dapat meningkatkan efisiensi dan menyediakan layanan manajemen energi rumah yang inovatif, seperti pengumpulan data konsumsi berbutir halus, manajemen untuk kendaraan listrik, kontrol beban yang tepat, dan penyesuaian manajemen energi. Selain itu, HEMS yang cerdas mempromosikan visibilitas, fleksibilitas, dan kontrol yang komprehensif atas aset dan energi rumah, dan akhirnya meningkatkan kenyamanan dan kebahagiaan penghuni.

Teknologi berbasis IoT ini digunakan untuk memantau pemakaian energi pada tingkat rumah tangga atau individu. Dengan kata lain, smart home lebih banyak digunakan di rumah, toko, atau gedung perkantoran.

Tujuan dari penerapan smart home ini adalah untuk mengidentifikasi, mengatur, dan memberikan solusi dalam penghematan energi. Terlebih penggunaan energi di perumahan yang juga paling banyak digunakan. Untuk itu, teknologi ini sangat tepat digunakan oleh perusahaan developer perumahan yang tawarkan fasilitas smart home bagi pemilik rumah. Fasilitas ini bisa jadi nilai tambah tersendiri bagi perusahaan ataupun calon pembeli karena dapat

turut andil dalam penghematan energi. Pemilik rumah bisa mengatur batas waktu pemakaian AC (air conditioner) pada jam tertentu. Jadi, ketika tiba waktu yang sudah diatur, AC akan mati secara otomatis. Tentu teknologi smart home ini bisa membantu pengurangan pemakaian sumber energi yang tidak efisien dan sia-sia.



**Gambar 16.4:** Skema Sistem Manajemen Rumah Yang Cerdas

## 16.2.4 Smart Meter

Penggunaan sumber energi pada perusahaan juga perlu dipantau dengan menggunakan smart meter. Dengan teknologi ini, perusahaan bisa melakukan monitoring terkait penggunaan sumber energi pada kantor atau toko. Smart meter juga cocok untuk digunakan pada apartemen atau gedung lainnya untuk mengefisienkan penggunaan listrik dan air. Dengan begitu, bagi para pemilik perusahaan ataupun individu, keduanya bisa mengetahui besaran kapasitas listrik dan air yang digunakan setiap harinya. Teknologi smart meter ini berfungsi untuk mencatat informasi penggunaan energi listrik, besaran tegangan, dan arus listrik. Tujuannya adalah untuk memberikan informasi dan memantau perilaku konsumsi apakah bijak atau boros.

## 16.2.5 Manfaat Penerapan IoT dalam Bidang Energi

Beberapa contoh teknologi IoT dalam bidang energi di atas tentunya memberikan beberapa manfaat baik bagi pengguna maupun lingkungan sekitar.

Berikut adalah manfaat yang bisa dirasakan:

1. Efisiensi penggunaan energi

Teknologi IoT juga memiliki manajemen operasi yang dilaksanakan oleh sistem dan teknisi. Dalam penerapannya, manajemen operasi berfokus pada pengawasan dan pemeliharaan sumber energi agar tetap digunakan secara efektif. Namun, seringkali muncul implikasi di mana terjadi kerusakan sistem dan human error yang memungkinkan adanya kesalahan dalam pengaturan.

2. Monitor kegiatan dan kualitas energi

Seperti yang sudah dijelaskan di atas, teknologi IoT berperan besar dalam pendistribusian sumber energi agar lebih efektif. Dengan sistem yang sudah terintegrasi dengan internet, seseorang bisa memonitor secara langsung daerah mana yang terlalu banyak mengonsumsi energi sehingga bisa langsung dievaluasi dan dicari solusinya. Jadi, kualitas energi pun bisa tetap terjaga dan merata penggunaannya. Monitor kualitas energi juga bisa digunakan dalam IoT di smart city untuk meningkatkan kualitas hidup warga.

3. Pengambilan keputusan

Walaupun listrik, angin, dan sinar matahari merupakan energi terbarukan, tetap diperlukan regulasi dan kebijakan dalam pemanfaatannya. Dengan adanya sistem IoT, pemerintah bersama instansi terkait dapat bekerja sama untuk mengambil keputusan dalam situasi darurat.

Misalnya, alat deteksi udara di suatu daerah menunjukkan bahwa kualitas udara di tempat tersebut dikategorikan berbahaya. Dari informasi tersebut, pemerintah bisa segera mengambil keputusan dan kebijakan mengenai langkah selanjutnya agar masyarakat terhindar dari risiko penyakit pernapasan.

## 16.2.6 Tantangan dalam Implementasi IoT di Bidang Energi

Selain kebermanfaatannya, teknologi IoT di bidang energi juga menghadapi tantangan baik dari dalam sistem itu sendiri maupun dari lingkungan sekitar.

Simak beberapa implikasi dari penerapan IoT ini:

1. Manajemen operasi sistem IoT

Teknologi IoT juga memiliki manajemen operasi yang dilaksanakan oleh sistem dan teknisi. Dalam penerapannya, manajemen operasi berfokus pada pengawasan dan pemeliharaan sumber energi agar tetap digunakan secara efektif. Namun, seringkali muncul implikasi di mana terjadi kerusakan sistem dan human error yang memungkinkan adanya kesalahan dalam pengaturan.

2. Koneksi internet yang kurang memadai

Pada dasarnya IoT menghubungkan segala aktivitas manusia melalui jaringan internet. Akan tetapi, tidak semua daerah memiliki koneksi yang memadai disebabkan oleh faktor lingkungan, faktor ekonomi, regulasi, dan sebagainya. Untuk itu, implementasi IoT menjadi kurang efektif karena perlu mempertimbangkan bandwidth yang digunakan, biaya server, dan lain-lain. Koneksi yang kurang memadai tentu akan mengurangi efektivitas suatu mesin atau aplikasi.

3. Sistem keamanan

Koneksi antar-perangkat melalui internet dapat menjadi sasaran empuk bagi seorang hacker untuk melakukan serangan siber. Dengan kata lain, risiko keamanan bisa terancam walau perangkat sudah dipersenjatai dengan sistem keamanan andal. Untuk itu, diperlukan beberapa upaya preventif seperti backup data, pengelolaan cloud storage, dan lain sebagainya. Demikianlah informasi mengenai berbagai contoh penerapan IoT dalam bidang energi beserta manfaat dan tantangan yang dihadapi. Untuk mendukung perkembangan sistem energi, sebagai pemilik perusahaan, Anda bisa menggunakan layanan ICT bagi industri energi dari Link Net. Layanan ini tawarkan optimasi pemantauan penggunaan energi jarak jauh dengan lebih efektif.

# Bab 17

## Implementasi IoT pada Lingkungan Hidup

### 17.1 Pelestarian Lingkungan Hidup

Pelestarian lingkungan merupakan peristilahan yang diambil dari kata serapan environment (bahasa Inggris), milieu (bahasa Belanda). Yang memiliki intisari arti sebagai pengetahuan yang mengelola efisiensi SDA dengan kolaborasi SDM (Sumber Daya Manusia) di dalamnya. Oleh karena itulah pelestarian lingkungan dianggap sebagai upaya manusia yang dilakukan untuk menjaga alam merupakan bagian daripada iktiar untuk mewariskan kepada generasi mendatang. Serangkaian upaya perilaku ini bisa dijalankan dal

am wujud arti konservasi tertentu. Pelestarian lingkungan adalah proses pengelolaan Sumber Daya Alam (SDA) dengan mempertimbangkan kondisi alam agar sesuai dan terjaga bagi generasi mendatang. Langkah ini dilakukan dalam upaya perwujudan untuk menjaga kerusakan lingkungan dan permasalahan lingkungan hidup.

Adapun definisi ahli pelestarian lingkungan menurut para ahli, antara lain;

1. Otto Soemarwoto

Pengertian lingkungan hidup adalah kesesuaian tindakan manusia atas benda dan kondisi alam yang ditempati manusia, untuk menyeimbangkan peristiwa-peristiwa keruguan dan menghindari ancaman ketidakseimbangan yang ada di alam.

2. Sri Hayati

Definisi lingkungan hidup adalah serangkaian kolaborasi antara ruang dengan segenap benda atas keadaan makhluk di dalamnya. Sebagai salah satu bentuk rasa syukur atas nikmat yang berikan oleh Tuhan YME. Sehingga setiap orang senantiasa memiliki kewajiban yang sama.

Kesejahteraan manusia tidak dapat dipisahkan dari kesehatan lingkungan. Menurut Organisasi Kesehatan Dunia, 24% kematian di seluruh dunia dapat dikaitkan dengan faktor lingkungan yang dapat dihindari. Orang membutuhkan udara bersih untuk bernafas, air bersih untuk diminum, dan lingkungan hidup yang aman bebas dari zat beracun dan bahaya. Saat kita mulai melihat konsekuensi jangka panjang dari pertumbuhan industri eksponensial dan konsumsi energi, kita harus bertindak untuk membalikkan efek ini dan mencegah kerusakan lebih lanjut, memastikan bahwa generasi mendatang memiliki tempat tinggal yang aman. Untuk bisnis, itu berarti berkomitmen pada praktik ramah lingkungan untuk berkontribusi pada pengembangan komunitas yang berkembang dan mengamankan potensi pertumbuhan di masa depan.

Mengingat jumlah energi, makanan, dan sumber daya buatan manusia yang kita gunakan setiap hari, kelestarian lingkungan sangatlah penting. Pertumbuhan populasi yang cepat telah meningkatkan pertanian dan manufaktur, yang mengakibatkan peningkatan emisi gas rumah kaca, penggunaan energi yang tidak berkelanjutan, dan penggundulan hutan. Dengan kata lain, kita membutuhkan lebih banyak energi dan materi daripada sebelumnya. Terlepas dari itu, planet kita hanya dapat menyediakan begitu banyak sumber daya sebelum habis. Akibatnya, bisnis harus melangkah dan melakukan bagian mereka. Mereka memiliki lebih banyak kekuatan daripada kelompok individu lainnya, dan mereka dapat membantu mengamankan masa depan yang layak huni dengan berinvestasi dalam praktik yang berkelanjutan

dan bertanggung jawab seperti pengurangan limbah, penggunaan energi bersih komersial, dan distribusi upah yang adil.

## 17.2 Internet of Things (IoT)

Menurut Y. Efendi (2018) *Internet of Things* ataupun kerap disebut dengan IoT merupakan suatu gagasan di mana seluruh barang yang ada di dunia bisa berkomunikasi antara satu dan yang lain selaku bagian dari perpaduan satu kesatuan sistem yang memakai jaringan internet selaku penghubung. Konsep IoT itu sendiri sebenarnya lumayan sederhana dengan metode kerja ber-acuan ke pada 3 elemen pokok dalam arsitektur IoT, ialah: Benda fisik yang diberikan modul IoT, alat penghubung ke Internet semacam Modem serta Router Wireless yang ada di rumah, serta Cloud pusat data sebagai tempat untuk menempatkan aplikasi dan data base. IoT bekerja dengan cara memanfaatkan suatu argumentasi pemrograman, setiap perintah argument akan menghasilkan suatu interaksi yang terjadi antara mesin dengan mesin dan terhubung otomatis tidak ada

campur tangan seseorang dan tidak dibatasi jarak. Yang menjadi penghubung antara interaksi kedua mesin adalah internet, sementara tugas manusia hanya sebagai pengatur dan mengawasi alat tersebut bekerja secara langsung

## 17.3 IoT untuk Kelestarian Lingkungan

Teknologi yang mengganggu terus-menerus mengubah dasar-dasar keberadaan manusia. Dunia mengamati dan menyambut baik perubahan ini dengan tangan terbuka, mulai dari penemuan roda hingga mobil listrik dan masih banyak lagi. Demikian pula, *Internet of Things* (IoT) telah menjadi penyebab sekaligus katalis untuk banyak kemajuan. Pertumbuhan teknologi banyak terkait dengan perawatan lingkungan. Inovasi seperti IoT memiliki banyak potensi untuk membuat masyarakat melindungi lingkungan. Dari kasus penggunaan IoT perawatan lingkungan mendapatkan keuntungan di berbagai sektor, dapat dilihat dari cara bagaimana IoT membantu mempertahankan lingkungan, aplikasinya, dan kasus penggunaan dalam mempertahankan lingkungan. Vrinda Mathur (2022) mengatakan *Internet of*

*Things* (IoT) memperluas kemungkinan untuk masa depan bisnis, lingkungan, dan kehidupan. Salah satu dari banyak konsekuensi *Internet of Things* adalah pemahaman yang lebih baik tentang kebutuhan dan konsumsi energi. Perancang bangunan dan penyewa dapat mempelajari bagaimana orang berinteraksi dengan ruang fisik mereka dengan menggunakan arsitektur pintar. Pengelola gedung dapat menggunakan teknologi IoT untuk melihat di mana orang berkumpul di dalam gedung atau saat gedung tersebut mengonsumsi energi paling banyak. Dengan pengetahuan ini, bisnis yang mengoperasikan dan memanfaatkan gedung pintar dapat membuat keputusan yang lebih ramah lingkungan yang tidak hanya bermanfaat bagi lingkungan tetapi juga orang-orang yang bekerja dan tinggal di gedung tersebut setiap hari.

IoT hadir untuk membantu melindungi lingkungan bahkan ketika teknologi terus berkembang dengan cara ini:

1. Efisiensi Energi

Sistem dan perangkat IoT membantu perusahaan dan pemerintah bertanggung jawab atas penggunaan energi. Ini bisa melalui pelaporan otomatis tentang penggunaan energi, pengumpulan data besar, dan analisis konsumsi daya. Selain mengurangi banyak pemborosan energi, IoT membantu perusahaan menciptakan energi terbarukan dengan cepat.

2. Lebih Sedikit Jejak Karbon

Kenaikan kadar karbon di atmosfer menyebabkan banyak pemanasan global. Akan ada lebih sedikit tingkat karbon di udara menggunakan sensor IoT dan teknologi analisis data seperti CarbFix. Data yang dikumpulkan perangkat membantu dalam membuat keputusan yang tepat dalam mengurangi kadar karbon.

3. Pengawetan Air

Menghemat dan mengawetkan air adalah salah satu cara utama IoT membantu dunia. Melalui IoT dan Artificial Intelligence (AI), ada pengumpulan sampah yang tepat di badan air. Selain itu, mudah untuk mencatat atau memprediksi aktivitas ilegal yang mengurangi kualitas air.

#### 4. Pengecekan limbah elektronik

Perusahaan menghabiskan banyak sumber daya untuk mengelola limbah elektronik. Namun melalui teknologi IoT, perusahaan dapat memiliki perangkat ramah lingkungan untuk memantau status kesehatan perangkat keras. Itu karena sistem pemantauan cerdas yang mengurangi tingkat limbah elektronik.

#### 5. Pertanian Produktif

Pertanian adalah salah satu faktor tulang punggung banyak negara. Kegiatan pertanian yang cerdas dan berbasis data mempromosikan kesehatan tanaman dan hewan serta status tanah dan mengurangi emisi gas rumah kaca.20.3.1 Penggunaan IoT Terhadap Pertanian

## 17.4 Beragam Bidang Penerapan IoT, Jadikan Lingkungan Lebih Baik

Beragam bidang penerapan IoT sudah berkembang di dunia kita. Dari perbankan, jasa, bahkan hingga lingkungan. Banyaknya sektor yang dapat di kembangkan dari segi IoT sehingga perlu lebih cerdas dalam melihat peluang tersebut. IoT Expo memberikan alternatif bagi manusia dalam menggunakan sistem ini.

Internet of things atau IoT ini dapat membantu kehidupan sehari-hari manusia, berbagai bidang kehidupan telah menggunakan IOT di dalamnya, berikut adalah bidang penerapan IoT dalam berbagai sector.

#### 1. Pertanian

Pertanian adalah salah satu seperti apa dan bagaimana industri ini digabungkan dengan dunia digital dalam hal ini internet. Pengaplikasian IoT pada bidang pertanian adalah pada pengumpulan data suhu, data tentang curah hujan, kelembaban, hama, kecepatan angin, maupun muatan tanah. Data-data tersebut digunakan untuk pengoptimalisasian teknik pertanian, selain itu juga dapat digunakan

dalam mengambil sebuah keputusan, berdasarkan informasi yang telah terkumpul.

## 2. Energi

Internet memudahkan pengguna smartphone memperoleh informasi dari negatif dan positif tergantung dalam penggunaannya. Penghematan energi perlu juga dibiasakan. Dengan menggunakan IoT energi dapat dihemat dengan drastis. Contohnya penghematan pada penggunaan listrik contoh dengan IoT manusia dapat mengontrol penggunaan lampu ruangan atau IoT juga bisa mengaktifkan fungsi layaknya penjadwalan seperti mematikan bahkan menyalakan sebuah mesin, seperti oven. Selain itu juga bisa mengatur pencahayaan yang semula cepat menjadi terang atau sebaliknya dan itu hanya menggunakan internet yang terkoneksi pada smartphone.

## 3. Lingkungan

Masyarakat pada umumnya selalu ingin udara yang terbebas polusi. Contoh penerapan IoT pada bidang lingkungan adalah dengan pemantauan kualitas udara, atau air bahkan bisa untuk memantau berbagai satwa yang tinggal di alam bebas. IoT ini digunakan untuk memperingatkan masyarakat atau alarm bila tingkat polusi naik dll. Sehingga masyarakat lebih waspada dan dapat mengurangi korban jiwa. Itulah penerapan IoT pada bidang pertanian, energy serta lingkungan, dengan adanya IoT maka semua hal bisa terasa lebih praktis serta lebih cepat, IoT sendiri kini lebih serius untuk dikembangkan, karena kesadaran bahwa dunia membutuhkan sebuah teknologi yang cepat dan efisien seperti IoT ini. Namun tidak semua orang paham dan mengerti bagaimana pengaplikasian IoT pada sebuah bidang, dan oleh karenanya salah satu upaya agar orang semakin paham dan mengerti tentang IoT, maka banyak perusahaan bekerja sama untuk memperkenalkan IoT sekaligus memperkenalkan produk mereka dengan menggunakan IoT yang dapat membawa berbagai kemudahan untuk pengguna salah satunya dengan kegiatan

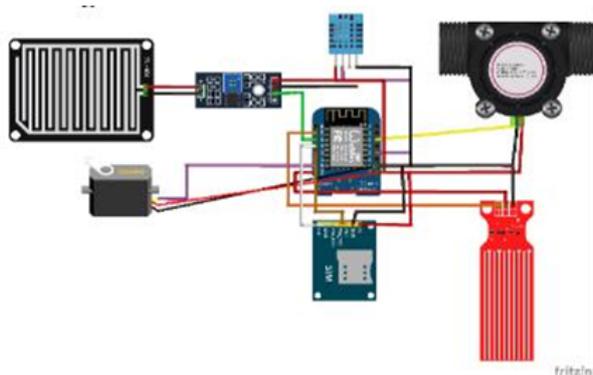
expo internet of things yang kerap di selenggarakan di kota-kota besar Indonesia.

### 17.4.1 Penggunaan IoT terhadap Pertanian

Pertanian mempunyai peranan berarti dalam kelangsungan hidup manusia. Pertanian merupakan salah satu metode guna memenuhi kebutuhan pangan (A. Rouf and W. Agustiono,2021). Di Indonesia, banyak masyarakatnya yang menggantungkan hidupnya di sector pertanian. Tetapi masih banyak yang menggunakan cara manual untuk melakukan pengolahan pada lahan pertanian. Sehingga hasil yang didapatkan kurang maksimal dan juga kurang efisien dalam pengerjaannya. Kemajuan teknologi di era saat ini membuat bermacam-macam hal wajib mengutamakan efisiensi serta kemudahan dalam melaksanakan pekerjaan yang sering dilakukan tiap hari, hal itu menjadikan banyak manusia menghasilkan bermacam jenis teknologi yang otomatis dan dapat membantu memudahkan pekerjaan serta tidak perlu banyak menyita waktu (M.Y. Ridwan, L. Nurpulaela, and I. A. Bangsa,2022). Salah satu sektor atau bidang yang dapat memanfaatkan perkembangan teknologi adalah pertanian. Di bidang pertanian, teknologi informasi serta komunikasi dapat memberikan kemudahan pada kegiatan pengelolaan lahan pertanian. Penerapan teknologi di bidang pertanian adalah salah satu aspek penting dalam proses pengembangan pada sector pangan di zaman sekarang ini (A. Roihan, M. Hasanudin, E. Sunandar, and S. R. Pratama,2020). Teknologi yang digunakan adalah IoT. Teknologi IoT pada awal mulanya digagas untuk memperbaiki proses bisnis dalam industri manufaktur, sekarang ini telah jadi bagian dari bermacam bidang perekonomian, termasuk dalam sektor utama seperti pertanian (B.Hartanto,2020). Dengan menggunakan teknologi ini dapat menghubungkan berbagai alat dengan koneksi internet untuk melakukan suatu kegiatan. Kenapa teknologi ini yang dipilih untuk pengembangan dalam bidang pertanian, karena Teknologi IoT cocok sekali untuk digunakan di bidang pertanian karena fungsinya yang memungkinkan untuk mengatasi semua masalah yang dihadapi petani secara elektronik. Sensor IoT memiliki kemampuan untuk memantau penyakit pada tanaman dan aktivitas hama serta kesuburan tanah. Selain itu, ada teknologi nirkabel yang digunakan saat ini untuk dapat memantau cuaca dan juga iklim. Kemudian, peralatan berteknologi IoT dapat menjadwalkan otomatisasi pemupukan, penyemprotan pestisida, dan penyiraman (N. Nasution and M. A. Hasan,2020).

## 17.4.2 Penerapan IoT Pada Irigasi

Menurut D. Setiadi and M. N. Abdul Muhaemin (2018), IoT apat diterapkan dengan membangun sebuah system yaitu Smart Irigasi. System ini dibangun untuk dapat memonitoring dan mengotrol aktivitas di saluran irigasi, seperti memonitoring debit air, tingkat suhu udara, tingkat ketinggian air, mendeteksi hujan dan system buka tutup otomatis pada pintu bendungan, diharapkan nantinya pasokan air yang berasal dari saluran irigasi menjadi lebih optimal dan memudahkan pekerjaan manusia, dikarenakan dengan system ini aktivitas dapat di monitoring dari jauh dengan menggunakan komputer maupun smartphone.



**Gambar 17.1:** Rangkaian dari perangkat “smart irigasi”

Menurut D. Setiadi and M. N. Abdul Muhaemin (2018) Rangkaian dari perangkat smart irigasi dapat berfungsi sebagai berikut:

1. Mengirim data suhu  
Data suhu berhasil ditransmisikan melalui internet lalu ditampilkan di website smart irigasi.
2. Mendeteksi cuaca  
Data dari sensor hujan dapat dibaca oleh mikrokontroller dan ditampilkan di website smart irigasi
3. Membaca debit air  
Air mengalir yang melintasi water flow dibaca menjadi pulsa digital, lalu nilai dari pulsa digital tersebut dikonversikan menjadi satuan liter dan ditampilkan di website smart irigasi.

#### 4. Deteksi ketinggian air

Ketinggian air akan dibaca oleh sebuah sensor yaitu water level, data yang di dapatkan kemudian diproses oleh mikrokontroller untuk acuan buka dan tutup otomatis dan ditampilkan di website smart irigasi

### 17.4.3 Mendeteksi Kesuburan Tanah Di Lahan Perkebunan

Menurut L. E. P. Daniel, A. Mahmudin, and K. Auliasari (2020) salah satu pemanfaatan dari IoT adalah untuk mendeteksi kesuburan tanah di lahan perkebunan. Di sector pertanian tanah adalah faktor yang sangat memiliki peran penting untuk menentukan usaha di sector pertanian, karena kesuburan tanah akan menjadi faktor keberhasilan dalam usaha pertanian, supaya tidak terjadi kesalahan seperti tanaman yang salah tanam karena tidak cocok dengan kesuburan tanah di daerah tersebut. Pada system monitoring alat untuk mendeteksi kesuburan tanah menggunakan mikrokontroler yaitu Arduino UnoR3 yang dijadikan pusat control serta melakukan pengelolaan data. Data dari sensor pH yaitu data kandungan pH dan data kelembapan pada tanah yang berasal dari penyensoran oleh Soil Moisture akan dikirim dan diolah oleh alat yaitu Aduino Uno. Selanjutnya diteruskan dari modul ESP8266 informasi atau data disimpan pada database dan dapat dilihat melalui website oleh user. Nanti

sensor buzzer berbunyi Ketika memberitahukan kalau kedua sensor telah berfungsi dengan baik. Data yang ditampilkan kepada petani akan muncul secara real time.

## 17.5 Penerapan Teknologi Internet of Things untuk Energi

Era modern seperti sekarang ini, semua sudah serba digital. Berawal dari revolusi industri 4.0 yang mengarah ke era digitalisasi. Industri 4.0 sendiri bertujuan untuk bekerja dengan tingkat otomatis yang lebih tinggi sehingga mendapatkan tingkat produktivitas dan efisiensi yang lebih tinggi juga serta menghubungkan fisik melalui dunia virtual (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). Hal tersebut karena sudah majunya perkembangan teknologi yang ada.

Kemajuan teknologi ini menjadikan segala jenis aspek dalam kehidupan sudah diubah ke dalam bentuk digital. Misalnya dalam perekonomian, industri, pendidikan, pemerintahan, hingga di dalam kehidupan sehari-hari. Segala hal fisik sudah diubah dan dapat saling terhubung dengan perangkat lain untuk saling bertukar data atau informasi.

Alcácer (2019) juga menyebutkan bahwa industri 4.0 dapat diasumsikan sebagai produksi dari *Cyber-Physical System* (CPS) berdasarkan data yang beragam dan integrasi antar ilmu pengetahuan yang dioperasikan, terintegrasi, disesuaikan, dioptimalkan, berbasis layanan yang berkorelasi dengan algoritma, Big Data dan teknologi tinggi seperti *Internet of Things* (IoT) dan *Internet of Service* (IoS), *Industrial Automation*, *Cybersecurity* (CS), *Cloud Computing* (CC) atau *Intelligent Robotics*. *Cyber-Physical Systems* atau bisa disingkat dengan CPS merupakan suatu integrasi atau interaksi antara suatu perhitungan atau komputasi dengan proses fisik dari sistem (Seshia & Lee, 2017). *Internet of Things* atau dikenal dengan istilah IoT merupakan salah satu dari penerapan CPS yang dalam proses komunikasi antara komputer yang melakukan komputasi dengan proses fisik sistem melalui jaringan Internet. Tidak ada definisi tunggal mengenai IoT itu sendiri, tetapi menurut Rose, dkk (2015) IoT umumnya digunakan untuk merujuk pada suatu koneksi jaringan yang luas dan kemampuan komputasi pada suatu objek, sensor, maupun komputer yang memungkinkan mengirim dan menerima data dengan intervensi manusia yang minimal.

Dengan teknologi IoT, data mudah didapatkan dari perangkat sehari-hari dan mudah untuk dimonitor di mana saja dan kapan pun. IoT merupakan salah satu teknologi yang saat ini sedang berkembang dan dikaitkan dengan sistem pintar, seperti smart home, smart office, hingga cakupan yang lebih luas lagi seperti smart city. Saat era Big Data seperti sekarang ini semua informasi dapat dikumpulkan dan mudah untuk diakses. Menurut S. Joe Qin (2014) big data dapat dikatakan menjadi fokus utama dari tahap berikutnya dari transformasi teknologi informasi di industri. Big data sendiri mengacu pada ukuran dan variasi set data yang beragam. Data yang sangat besar dapat dikumpulkan dari peralatan dan proses dari sensor, jaringan sensor nirkabel, perangkat seluler dan nirkabel, log suatu perangkat lunak, kamera, hingga mikrofon. Yaqoob, dkk (2016) mengatakan bahwa IoT merupakan salah satu penghasil data dengan jumlah yang sangat besar selain media sosial. Data yang sangat besar tersebut merujuk pada istilah big data. Dengan IoT yang dapat mengubah perangkat sehari-hari, seperti alarm, perangkat komputasi seluler, tirai jendela,

sensor jendela, perlengkapan pencahayaan, lemari es, mesin cuci dan sebagainya (Hashem, et al., 2016) sehingga dapat saling terhubung melalui suatu jaringan serta data yang dihasilkan dapat dengan mudah dikumpulkan dengan perangkat komputasi. Sehingga di saat kondisi seperti pandemi di mana mengharuskan mengikuti protokol dan melakukan jarak dalam berkomunikasi, cukup sulit untuk melakukan monitoring atau maintenance terhadap ruangan atau perangkat sehari-hari. Dengan diterapkannya IoT, diharapkan dapat dengan mudah dilakukan dari mana saja dan kapan pun karena perangkat yang telah terhubung

dengan jaringan Internet. Data yang dihasilkan dari penerapan IoT tersebut dapat dimanfaatkan untuk keperluan analisis dan penentuan kebijakan terhadap maintenance ke depannya.

## 17.6 Penerapan IoT Di Kehidupan Sehari-hari

### 17.6.1 Unsur-Unsur Pembentuk IoT

Ada beberapa unsur pembentuk IoT yang mendasar termasuk kecerdasan buatan, konektivitas, sensor, keterlibatan aktif serta pemakaian perangkat berukuran kecil.

Berikut akan dijelaskan masing-masing unsur pembentuk tersebut dengan singkat:

1. Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligence/AI)

IoT membuat hampir semua mesin yang ada menjadi "Smart". Ini berarti IoT bisa meningkatkan segala aspek kehidupan manusia dengan pengembangan teknologi yang didasarkan pada AI. Jadi, pengembangan teknologi yang ada dilakukan dengan pengumpulan data, algoritma kecerdasan buatan, dan jaringan yang tersedia.

2. Konektivitas

Dalam IoT, ada kemungkinan untuk membuat/membuka jaringan baru, dan jaringan khusus IoT. Jadi, jaringan ini tak lagi terikat hanya dengan penyedia utamanya saja. Jaringan nya tidak harus berskala

besar dan mahal, bisa tersedia pada skala yang jauh lebih kecil dan lebih murah. IoT bisa menciptakan jaringan kecil tersebut di antara perangkat sistem.

3. Sensor

Sensor ini merupakan pembeda yang membuat IoT unik dibanding mesin canggih lainnya. Sensor ini mampu mendefinisikan instrumen, yang mengubah IoT dari jaringan standar dan cenderung pasif dalam perangkat, hingga menjadi suatu sistem aktif yang sanggup diintegrasikan ke dunia nyata sehari-hari kita.

4. Keterlibatan Aktif (Active Engagement)

Engagement yang sering diterapkan teknologi umumnya yang termasuk pasif. IoT ini mengenalkan paradigma yang baru bagi konten aktif, produk, maupun keterlibatan layanan.

5. Perangkat Berukuran Kecil

Perangkat, seperti yang diperkirakan para pakar teknologi, memang menjadi semakin kecil, makin murah, dan lebih kuat dari masa ke masa. IoT memanfaatkan perangkat-perangkat kecil yang dibuat khusus ini agar menghasilkan ketepatan, skalabilitas, dan fleksibilitas yang baik.

## 17.6.2 Cara Kerja Internet of Things (IoT)

Konsep IoT ini sebetulnya cukup sederhana dengan cara kerja mengacu pada 3 elemen utama pada arsitektur IoT, seperti:

1. Barang Fisik yang dilengkapi modul IoT
2. Perangkat Koneksi ke Internet seperti Modem dan Router Wireless Speedy seperti di rumah anda
3. Cloud Data Center tempat untuk menyimpan aplikasi beserta data base

Seluruh penggunaan barang yang terhubung ke internet akan menyimpan data, data tersebut terkumpul sebagai 'big data' yang kemudian dapat di olah untuk di analisa baik oleh pemerintah, perusahaan, maupun negara asing untuk kemudian di manfaatkan bagi kepentingan masing-masing.

### 17.6.3 Manfaat IOT (Internet of Things)

Ada tiga manfaat utama dari *Internet of Things*, yaitu:

1. Konektivitas

Jika dulu harus mengoperasikan perangkat secara manual, maka dengan adanya IoT Anda bisa mengoperasikan banyak hal dari satu perangkat saja seperti dengan smartphone yang telah terhubung ke internet. Contoh konektivitas ini misalnya Smart Home, dengan salah satu penerapan teknologi IoT ini kita dapat menyalakan lampu, memantau rumah, menghidupkan AC, atau sekadar mengunci pintu rumah dari mana saja asalkan tersambung dengan internet.

2. Efisiensi

Dengan meningkatnya konektivitas maka jumlah waktu yang dibutuhkan untuk mengerjakan suatu pekerjaan juga akan semakin sedikit. Contohnya seperti asisten suara Amazon's Alexa atau Apple's Homepod yang bisa memberi jawaban dari pertanyaan Anda tanpa perlu mengangkat telepon atau menghidupkan komputer terlebih dahulu.

3. Kemudahan

Ada banyak sekali perangkat IoT yang sudah dimiliki banyak orang untuk memudahkan pekerjaan mereka.

### 17.6.4 IoT dalam Smart City

Smart city adalah konsep pengelolaan dan tata kota secara efisien. Indonesia, salah satu negara dengan jumlah penduduk terbesar, tentu banyak memiliki masalah pengelolaan kota yang perlu diatasi secara efisien. Smart city berjalan layaknya rangkaian bisnis. Artinya di dalam kota cerdas tersebut terjadi kompetisi untuk memperoleh rekognisi penghuni, mendapatkan investor, turis, bahkan dana tambahan dari pemerintah pusat. Sebuah kota yang ingin terus mengikuti perkembangan zaman, maka kota tersebut harus mampu menjadi pintar, mampu mempelajari kondisi, dan yang terpenting semakin terhubung satu sama lain. IoT membantu mewujudkan smart city ini dalam skala besar. Mewujudkan konsep Smart City harus didukung dengan pemanfaatan teknologi yang tepat.

Berikut adalah salah satu contohnya:

1. Smart Traffic Light

Pemanfaatan teknologi juga diterapkan di jalan raya. Traffic light memiliki remote untuk bisa diubah menjadi mode suara. Sangat membantu orang buta untuk menyebrangi jalan. Ketika ada pemadam kebakaran atau kondisi darurat, sistem bisa mengetahui dan mematikan traffic light demi kelancaran perjalanan. Sistem akan kembali normal ketika kondisi darurat sudah lewat.

2. CCTV Online

Kamera pemantau yang terhubung dengan jaringan internet telah tersebar di seluruh wilayah DKI Jakarta. Kamera pemantau tersebut terhubung dengan portal Jakarta Smart City dan bisa diakses oleh setiap orang melalui website. Fasilitas CCTV online diharapkan dapat digunakan untuk memantau kondisi Ibukota secara real time dan meningkatkan keamanan warga.

3. Pelacak Lokasi Bus Transjakarta

Armada Transjakarta terkoneksi dengan GPS sehingga pergerakan bus dapat terpantau. Selain untuk memantau kondisi armada di lapangan, tracking bus Transjakarta juga berguna untuk mencatat jarak tempuh dan datanya digunakan sebagai informasi pembayaran tagihan operator. Warga bisa memantau pergerakan bus Transjakarta melalui portal Jakarta Smart City. Selain itu, TransJakarta juga bekerja sama dengan Google Maps dengan menghadirkan fitur transit yang menghadirkan informasi real time tentang lokasi bus Transjakarta. Dengan fitur ini, setiap orang bisa memantau pergerakan armada dan bisa melihat waktu tempuhnya.

# Bab 18

## Masa Depan Internet of Things

### 18.1 Internet of Things

*Internet of Things* (IoT) adalah sebuah konsep atau skenario di mana suatu objek yang memiliki kemampuan untuk mentransfer data melalui jaringan tanpa memerlukan interaksi manusia ke manusia atau manusia ke komputer. IoT telah berkembang dari konvergensi teknologi nirkabel, *Micro Electromechanical Systems* (MEMS), dan internet "A Things" pada Internet of Things dapat didefinisikan sebagai subjek misalkan orang dengan monitor implant jantung, hewan peternakan dengan transponder biochip, sebuah mobil yang telah dilengkapi built-in sensor untuk memperingatkan pengemudi ketika tekanan ban rendah (Nega, Susanti dan Hamzah, 2019).

*Internet of Things* (IoT) merupakan sebuah konsep yang bertujuan untuk memperluas suatu manfaat dari keberadaan konektivitas internet yang tersambung secara terus menerus. Hal ini memungkinkan kita untuk menghubungkan mesin, peralatan, ataupun benda yang lain dengan sebuah sensor jaringan untuk memperoleh data-data dan melakukan kerjanya secara mandiri sehingga nantinya memungkinkan mesin untuk bertindak berdasarkan informasi-informasi yang diperoleh secara mandiri tersebut. *Internet of Things* (IoT) menunjukkan bahwa semua benda dapat saling berkomunikasi menggunakan jaringan internet sebagai penghubung karena semuanya merupakan suatu kesatuan. *Internet of Things* (IoT) menggunakan algoritma

pemrograman yang menghasilkan instruksi interaksi antar mesin sehingga mereka dapat saling terhubung tanpa campur tangan manusia dan internetlah yang menjadi alasan mengapa mereka dapat terhubung walau jarak jauh sekalipun (Putr, 2022).

Di masa depan, IoT diperkirakan akan menjadi bagian penting dari kehidupan kita. Perangkat rumah tangga, transportasi, dan peralatan bisnis akan terhubung ke internet, membuat kita dapat mengendalikan dan memantau mereka dari jarak jauh. IoT juga akan membantu memecahkan masalah lingkungan dan kesehatan dengan memantau kualitas udara, air, dan tanah, serta memantau kondisi kesehatan individu (Institute, 2023).

## 18.2 Contoh Internet of Things Dimasa Depan

Perangkat elektronik yang dilengkapi IoT terhubung satu sama lain melalui internet dan dirancang untuk dapat bertukar data. Berikut beberapa contoh penerapan IoT yang bisa ditemukan dalam kehidupan sehari-hari yang akan membantu untuk lebih memahami cara kerja IoT.

### 18.2.1 Smart Home

Sebagai hasil dari integrasi teknologi IoT dengan rumah pintar (smart home), maka terciptalah apa yang disebut dengan IoT Smart Home. Teknologi ini adalah rumah dengan sistem kontrol suara dari teknologi terintegrasi yang bekerja bersama untuk memberikan Anda pengalaman berumah tangga yang lebih efisien. Dengan kemajuan yang terus-menerus dari teknologi rumah pintar dan keterjangkauan mereka yang juga meningkat menandakan bahwa IoT akan terus membentuk kehidupan kita di tahun-tahun mendatang (Bardi, 2023).

Smart home merupakan salah satu contoh *Internet of Things* yang menghubungkan perangkat elektronik, seperti lampu, kipas angin, AC, dan perangkat lainnya melalui internet. Interkoneksi ini memungkinkan untuk mengoperasikan perangkat tersebut dari jarak jauh. Dengan adanya teknologi IoT, kita bisa mematikan lampu rumah saat sedang berada di luar (Algorit, 2022).

Kita juga bisa membuka kunci pintu rumah dari jarak jauh ketika ada kerabat yang sedang mengunjungi rumah Anda. Bukankah hidup menjadi lebih praktis jika Anda bisa mengontrol rumah hanya dengan sekali klik? Contoh Internet of Things dalam smart home ini bisa menghemat waktu, tenaga, dan uang Anda.



**Gambar 18.1:** Smart Home (Bardi, 2023)

## 18.2.2 Smart City

Smart city adalah contoh penerapan IoT lainnya yang diprediksi dapat mengatur transportasi secara otomatis, manajemen energi cerdas, distribusi air praktis, sistem keamanan yang dinamis, dan pemantauan lingkungan yang sistematis. IoT akan memecahkan masalah utama yang dihadapi oleh orang-orang perkotaan, seperti polusi, kemacetan, kekurangan pasokan energi, dan lainnya.

Menurut Solution Architect Ericsson Indonesia, Hilman Halim, untuk operasional perangkat IoT hanya memerlukan tiga elemen utama, yakni:

1. Perangkat fisik,
2. Jaringan internet, dan
3. Aplikasi.

Jika tiga elemen ini sudah terpenuhi, maka sejumlah perangkat bisa dikustomisasi sesuai kebutuhan pengguna. Implementasi IoT dalam mewujudkan smart city bisa beraneka ragam, dibatasi hanya oleh imajinasi dan kemampuan dari para pengembangnya.

Hilman menyebutkan lima contoh penerapan IoT yang lazim ditemui dalam konsep smart city akhir-akhir ini (Setiaji, 2018):

1. Smart lighting

Tak hanya bisa diterapkan pada lampu penerangan jalan, namun juga untuk lampu lalu lintas. “Dengan smart lighting, bisa dipantau mana lampu yang sedang rusak. Bisa juga dimatikan atau dinyalakan dari jarak jauh,” jelas Hilman saat ditemui di acara Selular Congress 2018.

2. Smart parking

Solusi ini bisa digunakan warga untuk mempermudah mencari tempat parkir. Pengguna bisa memesan lebih dulu tempat parkir sebelum tiba di lokasi. Di Indonesia, ada beberapa startup yang menyediakan solusi seperti ini seperti Smark Parking dan Parkiran.

3. Waste management

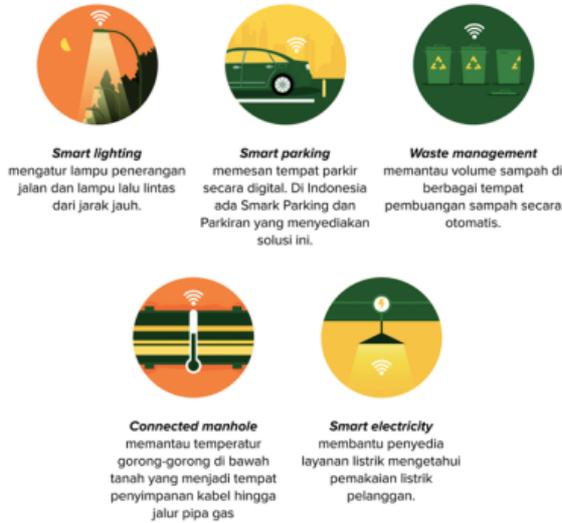
Volume sampah di suatu tempat penampungan bisa dipantau dari jarak jauh. Petugas kebersihan tak perlu mendatangi satu per satu tempat sampah untuk memeriksanya.

4. Connected manhole

Solusi ini berguna untuk memantau temperatur gorong-gorong yang berada di bawah tanah. Karena gorong-gorong tersebut tak hanya berfungsi sebagai saluran air, namun juga untuk menyimpan kabel hingga tempat jalur pipa gas.

5. Smart electricity

Penyedia layanan listrik bisa mengetahui langsung data pemakaian listrik pengguna tanpa harus mengirim petugas untuk memeriksa di tempat



**Gambar 18.2:** Penerapan IoT Smart City (Setiaji, 2018)

### 18.2.3 Perangkat Elektronik (Wearables)

Perusahaan seperti Google dan Samsung telah banyak berinvestasi dalam membangun perangkat wearables. Wearables merupakan perangkat yang memiliki sensor dan terhubung dengan perangkat lunak untuk mengumpulkan data dan informasi tentang pengguna. Perangkat wearables ini biasanya diciptakan dalam bentuk peralatan atau aksesoris yang Anda sering pakai, seperti jam tangan, kacamata, gelang, kamera, dan lain sebagainya.



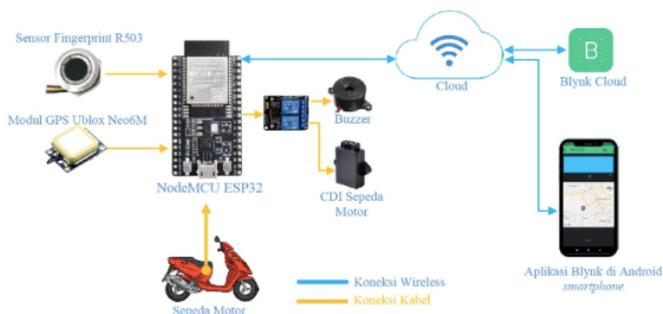
**Gambar 18.3:** Perangkat wearables (Sapto, 2023)

Data yang dikoneksikan ke perangkat ini kemudian diproses untuk memperoleh informasi penting tentang Anda agar mereka dapat menyesuaikan kerjanya dan memberikan rekomendasi fitur yang sesuai dengan kebutuhan dan minat Anda. Salah satu contoh produk dari perangkat ini adalah smart watch dari Apple.

### 18.2.4 Sistem Keamanan Biometrik

Banyak agen keamanan yang menggunakan sistem biometrik untuk menandai kehadiran seseorang, mengizinkan akses hanya pada orang yang berwenang, dan layanan keamanan lainnya yang sejenis. Contoh Internet of Things yang digunakan dalam sistem keamanan ini mencakup keamanan tingkat lanjut, komunikasi data, dan pembatasan intervensi manusia (Muttaqin *et al.*, 2020).

Teknologi biometrik memanfaatkan sidik jari, suara, mata, dan pengenalan wajah. Penggunaan IoT dalam sistem keamanan biometrik memiliki hasil yang lebih baik karena datanya saling terkait satu sama lain. Data yang dipindai akan disimpan untuk penggunaan di masa mendatang dan informasi yang berguna akan diambil sesuai kebutuhan.



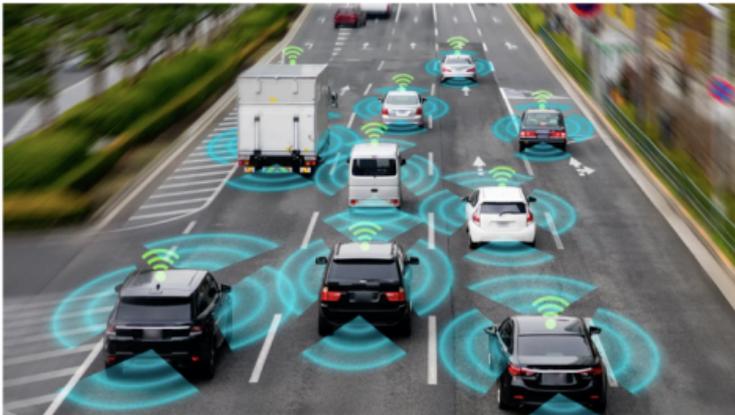
**Gambar 18.4:** Model Sistem Keamanan Sepeda Motor Berbasis IOT (Aji *et al.*, 2022)

### 18.2.5 Mobil pintar

IoT dapat digunakan untuk menghubungkan beberapa mobil sehingga bisa saling bertukar informasi, seperti informasi mengenai lokasi dan kecepatan. Berdasarkan fitur yang disediakan, teknik komunikasi teknologi dalam mobil pintar pada umumnya dibagi menjadi dua, yaitu *Vehicle-to-Infrastructure* (V2I) dan *Vehicle-to-Vehicle* (V2V).

V2I memungkinkan mobil pintar untuk melakukan pemeriksaan diagnostik dan memberikan laporan analisis terperinci mengenai mobil Anda. Anda juga bisa mengetahui rute terpendek dan menemukan tempat parkir yang kosong dengan V2I. Di samping itu, V2V memanfaatkan transfer data dan bandwidth berkecepatan tinggi untuk melakukan tugas-tugas berat, seperti menghindari tabrakan, memotong lalu lintas yang tidak perlu, dan lainnya.

Contoh penerapan IoT dalam mobil pintar menunjukkan bahwa IoT tidak hanya bisa berfokus pada optimalisasi fungsi internal kendaraan saja, tapi juga memberikan pengalaman yang menyenangkan di dalam mobil. Mobil pintar mampu mengoptimalkan pengoperasian, perawatan, dan kenyamanan Anda dengan menggunakan sensor onboard dan konektivitas internet.



**Gambar 18.5:** Ilustrasi Mobil Pintar (Rayana, 2020)

## 20.3 Perangkat IoT pada Masa Mendatang

Perangkat IoT diprediksi akan semakin mendominasi pasar di masa mendatang. IoT adalah singkatan dari Internet of Things, yang secara sederhana menggambarkan perangkat-perangkat yang terhubung satu sama lainnya melalui jaringan internet. Teknologi IoT ditanam pada beragam gawai dan alat elektronik seperti smartband, smartwatch, AC, kulkas, kompor gas, pemanas air, dan sebagainya. Pengguna bisa mengendalikan perangkat-

perangkat IoT tersebut melalui smartphone dari jarak jauh. Perangkat-perangkat tersebut saat ini sudah tersedia di pasaran dan sudah bisa dinikmati manfaatnya.

Agar perangkat IoT bisa saling berkomunikasi dengan lancar, dibutuhkan pula koneksi internet yang mumpuni. Koneksi internet cepat yang mampu mentransmisikan konektivitas dengan konsisten dibutuhkan untuk seluruh perangkat IoT tersebut. Kemudian, kira-kira perangkat IoT yang muncul di masa depan akan menjadi seperti apa?

Berikut adalah 4 perangkat IoT pada masa mendatang (Aqi, 2021):

1. Sensor untuk Peralatan Olahraga

Di dunia olahraga terutama tenis, berkembang teori untuk mengembangkan sebuah raket tenis yang modern dengan dilengkapi teknologi IoT. Sensor IoT dalam raket tenis ini nantinya akan mengirimkan data mengenai pertandingan tenis yang sedang berlangsung secara real-time ke smartphone user.

Sensor IoT dalam raket tenis ini akan mengirimkan informasi berupa kecepatan bola, kekuatan ayunan raket, jenis putaran manuver yang digunakan, dan fitur-fitur lain untuk setiap tembakan selama yang dilontarkan oleh petenis.

2. Optimasi Lampu Lalu Lintas (Lalin)

Perkembangan teknologi saat ini memungkinkan mesin-mesin untuk saling berkomunikasi satu sama lain, tak terkecuali dengan penggunaan IoT pada lampu lalu lintas. Sensor-sensor pada IoT dapat dipasang pada lampu lalu lintas untuk meminimalkan masalah lalu lintas. Sensor IoT juga bisa dipasang di mobil pintar agar mobil bisa berkomunikasi dengan mobil lainnya untuk menghindari kecelakaan terjadi. Masih ada banyak peluang untuk pengembangan teknologi IoT pada lalu lintas.

3. Peluang untuk Pengembangan Platform yang Lebih Baik

Seiring dengan berjalannya waktu, pengembangan IoT akan semakin banyak dan kualitasnya semakin baik. Ketika itu terjadi, kita akan bisa menemukan lebih banyak perangkat IoT dalam kehidupan

sehari-hari untuk menangani tugas-tugas yang sulit dikerjakan manusia maupun untuk tugas-tugas yang terkesan remeh temeh.

#### 4. Terraforming Ekosistem

Kedepannya, ekosistem yang mengatur dan memantau seluruh perangkat yang kita gunakan akan berkembang pesat dengan penggunaan teknologi IoT. Perkembangan ekosistem perangkat ini terutama akan memengaruhi bidang kesehatan, konseptualisasi rumah pintar, dan perencanaan smart city.



# Daftar Pustaka

- A. Roihan, M. Hasanudin, E. Sunandar, and S. R. Pratama, "Perancangan Purwarupa Bird Repellent Device Sebagai Optimasi Panen Padi Di Bidang Pertanian Berbasis Internet of Things," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 11, no. 1, pp. 129–134, 2020, doi: 10.24176/simet.v11i1.3752.
- A. Rouf and W. Agustiono, "Literature Review : Pemanfaatan Sistem Informasi Cerdas Pertanian Berbasis Internet of Things ( IoT )," *J. Teknol. dan Inform.*, vol. 9, no. 1, pp. 45–54, 2021.
- A. V. Dastjerdi and R. Buyya (2016), Fog computing: Helping the Internet of Things realize its potential. *Computer, IEEE Computer*, 49(8):112-116. doi: 10.1109/MC.2016.245
- Abu, N. S., Bukhari, W. M., Ong, C. H., Kassim, A. M., Izzuddin, T. A., Sukhaimie, M. N., Norasikin, M. A., & Rasid, A. F. A. (2022). Internet Of Things Applications In Precision Agriculture: A Review. *Journal Of Robotics And Control (Jrc)*, 3(3), 338–347. <https://doi.org/10.18196/Jrc.V3i3.14159>
- Adiono T, Putra A, Sutisna N, Syafalni I, Mulyawan R. (2021) Low Latency YOLOv3-Tiny Accelerator for Low-Cost FPGA Using General Matrix Multiplication Principle. *IEEE Access.*;9:141890–913
- Admaja, A. F. S. (2015) "Kajian Awal 5G Indonesia [5G Indonesia Early Preview]," *Buletin Pos dan Telekomunikasi*, vol. 13(2), hal. 97-114.
- Adriantantri, E., & Dedy Irawan, J. (2019). Implementasi Iot Pada Remote Monitoring Dan Controlling Green House. *Jurnal Mnemonic*, 1(1), 56–60. <https://doi.org/10.36040/Mnemonic.V1i1.22>

- Agussalim, Rahajoe, A. D., Wibowo, N. C., Kartika, D. S. Y., & Kusumantara, P. M. (2022). Toward Multiple Smart Home Scenario with Fog Computing Enabled. In 2022 IEEE 8th Information Technology International Seminar (ITIS) (pp. 268-273). IEEE. doi: 10.1109/ITIS57155.2022.10010079
- Ahmad, W. et al. (2022) 'Cyber security in IoT-based cloud computing: A comprehensive survey', *Electronics (Switzerland)*, 11(1), pp. 1–34. Available at: <https://doi.org/10.3390/electronics11010016>.
- Aji, A. F. et al. (2022) "Sistem Keamanan Biometrik Sidik Jari dan GPS Tracking Pada Sepeda Motor Berbasis Teknologi IoT," *Jurnal Teknik Informatika dan Elektro*, 4(2), hal. 73–81.
- Al-Falahy, N., dan Alani, O. Y. (2017) "Technologies for 5G networks: Challenges and opportunities," *It Professional*, 19(1), hal. 12-20.
- Al-Qaseemi, S.A. et al. (2017) 'IoT architecture challenges and issues: Lack of standardization', *FTC 2016 - Proceedings of Future Technologies Conference*, (December), pp. 731–738. Available at: <https://doi.org/10.1109/FTC.2016.7821686>.
- Alam, M., Shakil, K.A. & Khan, S. (2020) Internet of things (IoT): Concepts and applications, *Internet of Things (IoT): Concepts and Applications*. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-37468-6>.
- Alam, T. (2019) Blockchain and its Role in the Internet of Things (IoT). Available at: <https://doi.org/10.31219/osf.io/cmza5>.
- Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 899-919.
- Alfandi, O., Khanji, S., Ahmad, L., & Khattak, A. (2021). A survey on boosting IoT security and privacy through blockchain: Exploration, requirements, and open issues. *Cluster Computing*, 24(1), 37–55.
- Algorit (2022) 5 Contoh Internet of Things dalam Kehidupan Sehari-hari-Algoritma. Tersedia pada: <https://algorit.ma/blog/contoh-internet-of-things-2022/> (Diakses: 24 Juni 2023).
- Alom MZ, Taha TM, Yakopic C, Westberg S, Sidike P, Nasrin MS, et al (2018). The History Began from AlexNet: A Comprehensive Survey on

- Deep Learning Approaches.; Available from: <http://arxiv.org/abs/1803.01164>
- Alshohoumi, F., Sarrab, M., AlHamadani, A., & Al-Abri, D. (2019). Systematic review of existing IoT architectures security and privacy issues and concerns. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10(7), 232–251.
- Aqi (2021) 4 Perangkat IoT pada Masa Mendatang | AsiaQuest Indonesia. Tersedia pada: <https://aqi.co.id/news/4-perangkat-iot-pada-masa-mendatang> (Diakses: 24 Juni 2023).
- Arief, L. and Sundara, T. (2017) ‘Studi atas Pemanfaatan Blockchain bagi Internet of Things (IoT)’, *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, 1, p. 70. Available at: <https://doi.org/10.29207/resti.v1i1.26>.
- Ariyanti, S., Slamet, A. S., & Munandar, J. M. (2021) “Study of mobile operator readiness measurement in indonesia for 5G technology deployment,”: *Buletin Pos dan Telekomunikasi*, hal. 105-118.
- Artiyasa, M. et al. (2020) ‘Aplikasi Smart HOme Node IoT Untuk BLYNK’, *Jurnal Rekayasa Teknologi Nusa Putra*, 7(1), pp. 1–7.
- Ashari, I. F. (2022). Sistem Monitoring dan Kontrol Budidaya Ikan Nila Berbasis IoT dengan Bioflok (Studi kasus: Kelompok Budidaya Ikan Sadewa Mandiri, Pringsewu). *Suluh Bendang*, 22(2), 417–427. <https://doi.org/10.24036/sb.02680>
- Ashari, I. F., & Ayuningtyas, A. (2022). PACKAGE RECEIVER BOX BASED ON IOT USING FUZZY MAMDANI AND MOBILE APPLICATION. *Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Komputer*, 8(1), 56–64. <https://doi.org/10.33480/jitk.v8i1.2982.In>
- Ashari, I. F., Satria, M. D., & Idris, M. (2022). Parking System Optimization Based on IoT using Face and Vehicle Plat Recognition via Amazon Web Service and ESP-32 CAM. *Computer Engineering and Applications Journal*, 11(2), 137–153. <https://doi.org/10.18495/comengapp.v11i2.409>
- Atlam, H. F., & Wills, G. B. (2020). IoT security, privacy, safety and ethics. In *Internet of Things*.
- Austina Putri, H.R. (2020) ‘Implementasi Iot Pada Pemantauan Energi Listrik Rumah Tangga Dengan Menggunakan Mikrokontroler Pt. Syntek

- Otomasi ...', pp. 2–3. Available at: <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/188835>.
- B. Hartanto, “INOVASI INTERNET OF THINGS PADA SEKTOR PERTANIAN: PENDEKATAN ANALISIS SCIENTOMETRICS,” vol. 29, no. 2, pp. 111– 122, 2020.
- Bandung, H. K., (2022). H-7 Menuju Bandung Conecticity Bandung Smart City Menuju Bandung World Class City. [Online] Available at: <https://www.bandung.go.id/news/read/7365/h-7-menuju-bandung-conecticity-bandung-smart-city-menuju-bandung-world>[Accessed 22 June 2023].
- Bandung, K., (2023). <http://data.bandung.go.id/>. [Online] Available at: <http://data.bandung.go.id/>[Accessed 22 June 2023].
- Bardi (2023) Apa itu IoT Smart Home? - BARDI Smart Home Indonesia. Tersedia pada: <https://bardi.co.id/iot-smart-home/> (Diakses: 24 Juni 2023).
- Budiharto, W. (2019). Inovasi Digital Di Industri Smart Farming: Konsep Dan Implementasi. Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal 2019, Palembang: Unsri Press, 31–37.
- Byun, J. et al. (2016) ‘Smart City Implementation Models Based on IoT Technology’, 129, pp. 209–212. Available at: <https://doi.org/10.14257/astl.2016.129.41>.
- Chai J, Zeng H, Li A, Ngai EWT. (2021) Deep learning in computer vision: A critical review of emerging techniques and application scenarios. *Mach Learn with Appl [Internet]*.;6(March):100134. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2021.100134>
- Chanal, P. M., & Kakkasageri, M. S. (2020). Security and privacy in IOT: a survey. *Wireless Personal Communications*, 115, 1667-1693.
- Chantzis, F., Stais, I., Calderon, P., Deirmentzoglou, E., & Woods, B. (2021). *Practical IoT Hacking: The Definitive Guide to Attacking the Internet of Things*. No Starch Press.
- Cheruvu, S., Kumar, A., Smith, N., & Wheeler, D. M. (2020). *Demystifying Internet of Things Security: Successful IoT Device/Edge and Platform Security Deployment*. Springer Nature.

- D. Setiadi and M. N. Abdul Muhaemin, "PENERAPAN INTERNET OF THINGS (IoT) PADA SISTEM MONITORING IRIGASI (SMART IRIGASI)," *Infotronik J. Teknol. Inf. dan Elektron.*, vol. 3, no. 2, p. 95, 2018, doi: 10.32897/infotronik.2018.3.2.108.
- Dias, J., Save, M., Chaudhari, S., & Churi, Y. (2022). Smart Farming, Crop Protection And Fertilizer Prediction Using Iot. *Ssm Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4111766>
- Dohler, M., Mahmoodi, T., Lema, M. A., Condoluci, M., Sardis, F., Antonakoglou, K., dan Aghvami, H. (2017) "Internet of skills, where robotics meets AI, 5G and the Tactile Internet," pada *proc European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*, hal. 1-5.
- Efendi, Y. 2018. Internet Of Things (IoT) Sistem Pengendalian Lampu Menggunakan Raspberry Pi Berbasis Mobile. *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer* 4(2). 334-345.
- Ekojono, Arief, S. N., & Cordova, M. D. (2019). Implementasi Iot Pada Smartgreenhouse Berbasis Raspberry Pi Menggunakan Aplikasi Android. *Prosiding Seminar Informatika Aplikatif 2019, Malang. Jurnal Informatika Polinema*. <http://jurnalt.polinema.ac.id/index.php/siap/article/view/257>
- Elektronika, D. (2023a) 'Definisi Dan Fungsi Sensor Efek Hall', *Sensor/Transducer*. Available at: <https://elektronika-dasar.web.id/definisi-dan-fungsi-sensor-efek-hall/>.
- Elektronika, D. (2023b) 'Jenis Sensor Cahaya', *Sensor/Transducer*. Available at: <http://elektronika-dasar.web.id/jenis-sensor-cahaya/>.
- Elektronika, D. (2023c) 'Sensor Tekanan MPX4100', *Sensor Tekanan*. Available at: <http://elektronika-dasar.web.id/sensor-tekanan/>.
- Emami-Naeini, P., Agarwal, Y., Faith Cranor, L., & Hibshi, H. (2020). Ask the experts: What should be on an IoT privacy and security label? In *Proceedings - IEEE Symposium on Security and Privacy*
- EPRI (2013) 'Estimating the Costs and Benefits of LifeSet', in *Estimating the Costs and Benefits of LifeSet*. doi:10.7249/rb10105.
- Eraspace, (2022). Sejumlah Kelebihan Huawei Watch D untuk Aktivitas Kesehatan. [Online] Available at: <https://eraspace.com/artikel/post/5->

- kelebihan-huawei-watch-d-untuk-dukung-aktivitas-kesehatan[Accessed 22 June 2023].
- F. Bonomi, R. Milito, J. Zhu, and S. Addepalli. (2012). Fog computing and its role in the internet of things, Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile Cloud computing (MCC '12), pp. 13-16. doi:10.1145/2342509.2342513
- Fabi, V., Spigliantini, G. and Corgnati, S.P. (2017) 'Insights on Smart Home Concept and Occupants' Interaction with Building Controls', Energy Procedia, 111, pp. 759–769. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.238>.
- Fadhillah, Y. et al. (2022) Teknologi Blockchain dan Implementasinya. Yayasan Kita Menulis.
- Fairuzabadi, M. et al. (2023) Keamanan Sistem Informasi dan Kriptografi. Yayasan Kita Menulis.
- Febrianti, V. P., Permata, T. A., Humairoh, M., Putri, O. M., Amelia, L., Fatimah, S., & Khastini, R. O. (2021). Analisis Pengaruh Perkembangan Teknologi Pertanian Di Era Revolusi Industri 4.0 Terhadap Hasil Produksi Padi. *Jurnal Pengolahan Pangan*, 6(2), 54–60. <https://doi.org/10.31970/Pangan.V6i2.50>
- Fernando, J. G., & Sathibabu, A. (2022). Exploring The Potential Of Iot For Smart Agriculture. 1(4).
- García-Martín E, Rodrigues CF, Riley G, Grahn H. (2019) Estimation of energy consumption in machine learning. *J Parallel Distrib Comput [Internet]*;134:75–88. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2019.07.007>
- Gazis, V. et al. (2015) 'Short Paper : IoT : Challenges , Projects , Architectures', pp. 145–147.
- Ghosh, A.M. & Grolinger, K. (2021) 'Edge-Cloud Computing for Internet of Things Data Analytics: Embedding Intelligence in the Edge with Deep Learning', *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(3), pp. 2191–2200. Available at: <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3008711>.
- Gianey, H. K., Hiran, K. K., Lakhwani, K., & Wireko, J. K. (2020). Internet of Things (IoT): Principles, Paradigms and Applications of IoT. BPB Publications.

- Giap, Y. C. et al. (2020) *Cloud Computing: Teori dan Implementasi*. Yayasan Kita Menulis.
- Grady, C. L., & Craik, F. I. (2000). Changes in memory processing with age. *Current opinion in neurobiology*, 10(2), 224-231. doi: 10.1016/s0959-4388(00)00073-8
- Gubbi, J. et al. (2013) 'Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions', *Future Generation Computer Systems*, 29(7), pp. 1645–1660. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>.
- Gupta, B.B. and Quamara, M. (2020) 'An overview of Internet of Things (IoT): Architectural aspects, challenges, and protocols', *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 32(21), pp. 1–24. Available at: <https://doi.org/10.1002/cpe.4946>.
- Habtewold, T. M. (2021). Impact Of Climate-Smart Agricultural Technology On Multidimensional Poverty In Rural Ethiopia. *Journal Of Integrative Agriculture*, 20(4), 1021–1041. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(21\)63637-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(21)63637-7)
- Hakim, R. R. A., Islam, I. N., Pangestu, A., Jaenul, A., Nugraha, D., Arief, Y. Z., & Ariyanto, E. (2021). Desain Sistem Kontrol Pemetaan Lahan Produksi Dari Tanam Hingga Panen Dan Pengolahan Pasca Panen Berbasis Internet Of Things. *Prosiding Seminar Nasional Riset Teknologi Terapan*.
- Hakim, R. R. A., Pangestu, A., Hidayah, H. A., Faizah, S., & Nugraha, D. (2022). Pemanfaatan Teknologi Iot Untuk Pertanian Berkelanjutan. *Seminar Nasional Inovasi Teknologi Pertanian Berkelanjutan, Fakultas Pertanian Dan Peternakan, Unika Santu Paulus Ruteng*.
- Hasan, N. (2020) 'Blockchain Technology and its Application in Libraries', *Library Herald*, 58, pp. 118–125. Available at: <https://doi.org/10.5958/0976-2469.2020.00036.6>.
- Hashem, I. A., Chang, V., Anuar, N. B., Adewole, K., Yaqoob, I., Gani, A., . . . Chiroma, H. (2016). The role of big data in smart city. *International Journal of Information Management*, 36(5), 748-758.
- Hasiri, E. M., Asniati, A., Suryawan, M. A., & Rasmuin, R. (2020). The Implementation Of Smart Farming Application Based On The Microcontroller And Automatic Sprinkler Irrigation System Of

- Agricultural Land. *Advances In Science, Technology And Engineering Systems Journal*, 5(2), 174–179. <https://doi.org/10.25046/Aj050222>
- Hasiri, E. M., Suryawan, M. A., & Guntur, L. O. M. S. (2021). Penerapan Sistem Kontrol Air Dan Suhu Pada Greenhouse Hidroponik. *Jurnal Informatika*, 10(1), 1. <https://doi.org/10.55340/Jiu.V10i1.363>
- Hayes, A. (2023) *Blockchain Facts: What Is It, How It Works, and How It Can Be Used*, Investopedia. Available at: <https://www.investopedia.com/terms/b/blockchain.asp> (Accessed: 23 June 2023).
- Herdianto, H. (2018) 'Perancangan Smart Home dengan Konsep Internet of Things (IoT) Berbasis Smartphone', *Jurnal Ilmiah CORE IT*, pp. 120–130.
- Hidayat M. W, Syahputra AM, Fadlan AM, Susanto L, and Putri AS, "Analisis Upaya Meningkatkan Keamanan Komputer Terhadap Ancaman di Lingkup Mahasiswa", *indonesian. technology. and. education. j.*, vol. 1, no. 1, pp. 29–36, Feb. 2023.
- Hui, H., Ding, Y., Shi, Q., Li, F., Song, Y., dan Yan, J. (2020) "5G network-based Internet of Things for demand response in smart grid: A survey on application potential," *Applied Energy*, vol 257, 113972.
- Institute, G. (2023) *IoT: Transformasi dan Prospek Masa Depan | Global Institute of Technology and Business | Institut Teknologi dan Bisnis Bina Sarana Global*IoT: Transformasi dan Prospek Masa Depan. Tersedia pada: <https://global.ac.id/iot-transformasi-dan-prospek-masa-depan/> (Diakses: 22 Juni 2023).
- Jagadesh, M., Rajamanickam, S., Saran, S. P., Sai, S. S., & Suresh, M. (2018). *Wireless Sensor Network Based Agricultural Monitoring System*. 6(1).
- Jahantigh, M.N. et al. (2020) 'Integration of Internet of Things and cloud computing: A systematic survey', *IET Communications*, 14(2), pp. 165–176. Available at: <https://doi.org/10.1049/iet-com.2019.0537>.
- Jamaludin, J. et al. (2020) *Tren Teknologi Masa Depan*. Medan: Yayasan Kita Menulis.
- Juliansyah, Y. (2022) 'Pengertian dan Jenis Sensor Kapasitif', *Ruang Teknisi*. Available at: <https://www.ruangteknisi.com/jenis-cara-kerja-sensor-kapasitif/>.

- Kanagachidambaresan, G. R., Anand, R., Balasubramanian, E., & Mahima, V. (Eds.). (2020). *Internet of Things for Industry 4.0: Design, Challenges and Solutions*. Springer.
- Karumban, S., Sanyal, S., Laddunuri, M. M., Sivalinga, V. D., Shanmugam, V., Bose, V., & Murugan, S. P. (2023). *Industrial Automation and Its Impact on Manufacturing Industries*. In *Revolutionizing Industrial Automation Through the Convergence of Artificial Intelligence and the Internet of Things*. IGI Global.
- Kaur, K. (2018) 'A Survey on Internet of Things – Architecture, Applications, and Future Trends', in 2018 First International Conference on Secure Cyber Computing and Communication (ICSCCC). IEEE, pp. 581–583. Available at: <https://doi.org/10.1109/ICSCCC.2018.8703341>.
- Kemenkon, (2022). *Integrasi Berbagai Moda Transportasi melalui Transit Oriented Development untuk Peningkatan Kemudahan Akses Transportasi Umum bagi Masyarakat*. [Online] Available at: <https://ekon.go.id/publikasi/detail/3646/integrasi-berbagai-moda-transportasi-melalui-transit-oriented-development-untuk-peningkatan-kemudahan-akses-transportasi-umum-bagi-masyarakat>[Accessed 22 June 2023].
- Khan, J. Y. (2019) 'Introduction to IoT Systems', *Internet of Things (IoT)*, (January), pp. 1–24. doi: 10.1201/9780429399084-1.
- Khan, J. Y., & Yuce, M. R. (Eds.). (2019). *Internet of Things (IoT): Systems and Applications*. CRC Press.
- Khatami, U. A., Pramukantoro, E. S., & Bakhtiar, F. A. (2019). *Pengujian Interoperabilitas Pada Iot Middleware Dalam Mengatasi Permasalahan Interoperabilitas*. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, Vol. 3(Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya), 7567–7574. [Http://J-Ptiik.Ub.Ac.Id](http://J-Ptiik.Ub.Ac.Id)
- Kim, J. H. (2017) "A review of cyber-physical system research relevant to the emerging IT trends: industry 4.0, IoT, big data, and cloud computing," *Journal of industrial integration and management*, vol. 2(03), 1750011.
- Kurniasih, W., Rakhman, A. and Salamah, I. (2020) 'Sistem Keamanan Pintu dan Jendela Rumah Berbasih IoT', *Jurasik (Jurnal Riset Sistem Informasi*

- dan Teknik Informatika), 5(2), p. 266. Available at: <https://doi.org/10.30645/jurasik.v5i2.212>.
- L. E. P. Daniel, A. Mahmudin, and K. Auliasari, “PENERAPAN IoT (Internet of Thing) TERHADAP SISTEM PENDETEKSI KESUBURAN TANAH PADA LAHAN PERKEBUNAN,” *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.,* vol. 4, no. 2, pp. 207–213, 2020, doi: 10.36040/jati.v4i2.2678.
- Lakhwani, K., Gianey, H. K., Wireko, J. K., & Hiran, K. K. (2020). *Internet of Things (IoT): Principles, Paradigms and Applications of IoT*. Bpb Publications.
- Lasera, A.B. and Wahyudi, I.H. (2020) ‘Pengembangan Prototipe Sistem Pengontrolan Daya Listrik Berbasis IoT ESP32 pada Smart Home System’, *ELINVO (Electronic, Informatics and Vocational Education,* 5(2), pp. 112–120.
- Li, D. (2019) “5G and intelligence medicine—how the next generation of wireless technology will reconstruct healthcare?,” *Precision clinical medicine,* 2(4), hal. 205-208.
- Li, G. (2021) “Development of cold chain logistics transportation system based on 5G network and Internet of things system,” *Microprocessors and Microsystems,* vol. 80, 103565.
- Lin, J. et al. (2017) ‘A Survey on Internet of Things: Architecture, Enabling Technologies, Security and Privacy, and Applications’, *IEEE Internet of Things Journal,* 4(5), pp. 1125–1142. Available at: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2683200>.
- Liu, C., Su, Z., Xu, X., & Lu, Y. (2022). *Service-oriented Industrial Internet of Things Gateway for Cloud Manufacturing. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing,* 73.
- Liu, Y. et al. (2021) ‘Smarter Grid in the 5G Era: A Framework Integrating Power Internet of Things With a Cyber Physical System’, *Frontiers in Communications and Networks,* 2(June), pp. 1–14. doi:10.3389/frcmn.2021.689590.
- Lombardi, M., Pascale, F. and Santaniello, D. (2021) ‘Internet of Things: A General Overview between Architectures, Protocols and Applications’, *Information,* 12(2), p. 87. Available at: <https://doi.org/10.3390/info12020087>.

- M. Y. Ridwan, L. Nurpulaela, and I. A. Bangsa, "Pengaplikasian Sistem IOT Pada Alat Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis Arduino Nano," *JEUnisla*, vol. 7, no. 1, p. 26, 2022, doi: 10.30736/je-unisla.v7i1.766.
- Madakam, S., & Uchiya, T. (2019). Industrial Internet of Things (IIoT): Principles, Processes and Protocols. In *The Internet of Things in the Industrial Sector: Security and Device Connectivity, Smart Environments, and Industry 4.0* (pp. 35-53). CRC Press.
- Madakam, S., Ramaswamy, R. and Tripathi, S. (2015) 'Internet of Things (IoT): A Literature Review', *Journal of Computer and Communications*, 03(05), pp. 164–173. doi: 10.4236/jcc.2015.35021.
- Madenginer (2023) 'Sensor Cahaya: Pengertian, Fungsi, Jenis Dan Contoh Penggunaannya', *Sensor Cahaya*. Available at: <https://madenginer.com/sensor-cahaya/>.
- Madhav, K. L., & Sandeep, N. (2019). Machine Learning Approach For Agriculture Iot Using Svm&Ann. *International Journal Of Engineering Research*, 7(11).
- Masyhur, Z., Ibrahim, F., & Hermawan, D. (2022). Internet Of Things (Iot): Security, Threats And Countermeasures. 2(2).
- Maulana, K.Yudha. (2022) 'Mengenal Sensor Suhu dan Kelembapan DHT11', *Pengetahuan*. Available at: <https://www.anakteknik.co.id/krysnayudhamaulana/articles/mengenal-sensor-suhu-dan-kelembapan-dht11>.
- Mekonnen, Y. et al. (2019) 'IoT Sensor Network Approach for Smart Farming: An Application in Food, Energy and Water System', *GHTC 2018 - IEEE Global Humanitarian Technology Conference, Proceedings. IEEE*, pp. 1–5. doi: 10.1109/GHTC.2018.8601701.
- Minoli, D., dan Occhiogrosso, B. (2019) "Practical aspects for the integration of 5G networks and IoT applications in smart cities environments.," *Wireless Communications and Mobile Computing*.
- Mulyadi, Intan Sari Areni, Elyas Palantei, Andani Achmad, A.H.M. (2021) 'An IoT Based Power Consumption and Losses Monitoring Technique for a Mini Scale Electrical Network', *Electrical Network MULIADI1,2, XX(X)*, pp. 1–8.

- Musie, L. (2016) 'The use of financial literacy concepts by entrepreneurs in the small and medium enterprise sector in Mpumalanga Province, South Africa', (November), pp. 1–95.
- Muttaqin Muttaqin, Abdul Karim, Oktoverano Hendrik Lengkong, H Umar St Amina, Asmah Akhriana, Ilham Faisal, Septian Simatupang, Markani Pato, Muhammad Fairuzabadi, Stenly Ibrahim Adam, Ahyuna Ahyuna, Andreas Nugroho Sihananto, Jimmy Herawan Moedjahedy, Sirmayanti Sirmayanti, Janner Simarmata (2023) "Jaringan Komputer dan Internet," Yayasan Kita Menulis.
- Muttaqin, M. et al. (2020) *Biometrika: Teknologi Identifikasi*. Medan: Yayasan Kita Menulis.
- Muttaqin, M. et al. (2023) *Cloud Computing: Konsep dan Implementasi*. Yayasan Kita Menulis.
- Muttaqin, M. et al. (2023) *Internet of Things (IoT): Teori dan Implementasi*. Yayasan Kita Menulis.
- N. Nasution and M. A. Hasan, (2019) "IoT Dalam Agrobisnis Studi Kasus : Tanaman Selada Dalam Green House," vol. 4, no. 2, pp. 86–93, 2020. [6]
- V. Ayudyana and Asrizal, "Rancang Bangun Sistem Pengontrolan pH Larutan Untuk Mahasiswa Fisika , FMIPA Universitas Negeri Padang Staf Pengajar Jurusan Fisika , FMIPA Universitas Negeri Padang," *Pillar of Physics*, vol. 12, pp. 53–60,.
- Nair, M. M., Tyagi, A. K., dan Sreenath, N. (2021) "The future with industry 4.0 at the core of society 5.0: Open issues, future opportunities and challenges," pada *proc international conference on computer communication and informatics (ICCCI)*, hal. 1-7.
- Nasution, N., Rizal, M., Setiawan, D., & Hasan, M. A. (2019). *Iot Dalam Agrobisnis Studi Kasus: Tanaman Selada Dalam Green House*. *It Journal Research And Development*, 4(2). [https://doi.org/10.25299/Itjrd.2020.Vol4\(2\).3357](https://doi.org/10.25299/Itjrd.2020.Vol4(2).3357)
- Nayyar, A., & Kumar, A. (Eds.). (2020). *A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development*. Springer.
- Nazeer M, Qayyum M, Ahad A. (2022) *Real Time Object Detection And Recognition In Machine Learning Using Jetson Nano.*;11(10):118–24.

- Nega, M., Susanti, E. dan Hamzah, A. (2019) "Internet Of Things (Iot) Kontrol Lampu Rumah Menggunakan Nodemcu Dan Esp-12e Berbasis Telegram Chatbot," *Jurnal SCRIPT*, 7(1), hal. 88–99.
- Ng, A., (2020). How China uses facial recognition to control human behavior. [Online] Available at: <https://www.cnet.com/news/politics/in-china-facial-recognition-public-shaming-and-control-go-hand-in-hand/>[Accessed 22 June 2023].
- Nist (2014) 'PRELIMINARY DISCUSSION DRAFT NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards , NIST Special Publication 1108R3 NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards ', Nist Special Publication, 0, p. 244. Available at: <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1108r4>.
- Niu, Y., Li, Y., Jin, D., Su, L., dan Vasilakos, A. V. (2015) "A survey of millimeter wave communications (mmWave) for 5G: opportunities and challenges," *Wireless networks*, vol. 21, hal. 2657-2676.
- Null, C. (2023) Best smart home systems for a connected domicile, TechHive.
- Nwosu, O. (2023) 'The Key to Security: Combining IOT and Blockchain Technology', *Analytics Vidhya*, 20 February. Available at: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2023/02/the-key-to-security-combining-iot-and-blockchain-technology/> (Accessed: 23 June 2023).
- Ogonji, M. M., Okeyo, G., & Wafula, J. M. (2020). A survey on privacy and security of Internet of Things. *Computer Science Review*, 38, 100312.
- Okano, M. T. (2017). "IoT and industry 4.0: the industrial new revolution," pada *Proc International Conference on Management and Information Systems*, vol. 25, hal. 26.
- Othman NA, Salur MU, Karakose M, Aydin I. (2018 ) An Embedded Real-Time Object Detection and Measurement of its Size. *Int Conf Artif Intell Data Process IDAP 2018*. 2019;1–4.
- Otto Soemarwoto, *Atur Diri Sendiri, Paradigma Baru Pengelolaan Lingkungan Hidup*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, 2001.
- Ouakasse, F., & Rakrak, S. (2019). An improved adaptive CoAP congestion control algorithm. *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, 15(3), 96–109. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v15i03.9122>

- Paiola, M., & Gebauer, H. (2020). Internet of Things Technologies, Digital Servitization and Business Model Innovation in BtoB Manufacturing Firms. *Industrial Marketing Management*, 89, pp. 245-264.
- Pal, K. (2020). Information Sharing for Manufacturing Supply Chain Management Based on Blockchain Technology. In *Cross-Industry Use of Blockchain Technology and Opportunities for the Future* (pp. 1-17). IGI Global.
- Pal, S., García, D. V., & Le, D. N. (2020). *IoT: Security and privacy paradigm*. CRC Press.
- Parvez, I., Rahmati, A., Guvenc, I., Sarwat, A. I., dan Dai, H. (2018) "A survey on low latency towards 5G: RAN, core network and caching solutions," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20(4), hal. 3098-3130.
- Pawar, S., Panigrahi, N., Jyothi, A. P., Lokhande, M., Godse, D., & Jadhav, D. B. (2023). Evaluation of Delay Parameter of MQTT Protocol. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 71(3), 227–235. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V71I3P223>
- Peng, S. L., Pal, S., & Huang, L. (Eds.). (2020). *Principles of Internet of Things (IoT) Ecosystem: Insight Paradigm*. Springer International Publishing.
- Pérez, L.J. & Salvachúa, J. (2021) 'Simulation of scalability in cloud-based iot reactive systems leveraged on a wsn simulator and cloud computing technologies', *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(4), pp. 1–38. Available at: <https://doi.org/10.3390/app11041804>.
- Permana, A., (2021). *Pengelolaan Limbah Harus Mendapatkan Prioritas dari Berbagai Pihak*. [Online] Available at: <https://www.itb.ac.id/berita/pengelolaan-limbah-harus-mendapatkan-prioritas-dari-berbagai-pihak/58244>[Accessed 22 June 2023].
- Prasetya, D. A., & Satriyatama, K. A. (2019). Rancang Bangun Prototype Traktor Dengan Kendali Jarak Jauh Menggunakan Smart Phone. *Simposium Nasional Rapi Xviii*, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Prastyo, E.A. (2020) 'Cara Mengakses dan Pemrograman MQ-2 Gas Sensor (Methane, Butane, LPG, Smoke) Menggunakan Arduino Uno', *Arduiono Indonesia*. Available at:

- <https://www.arduinoindonesia.id/2020/11/cara-mengakses-dan-pemrograman-mq-2-gas.html>.
- Prastyo, E.A. (2022a) 'Pengertian dan Cara Kerja Sensor Ultrasonik HC-SR04', *Arduino Indonesia*. Available at: <https://www.arduinoindonesia.id/2022/10/pengertian-dan-cara-kerja-sensor-ultrasonik-HC-SR04.html>.
- Prastyo, E.A. (2022b) 'Pengertian dan Penjelasan tentang Sensor Suara', *Arduino Indonesia*. Available at: [https://www.arduinoindonesia.id/2022/09/pengertian-dan-penjelasan-tentang\\_20.html](https://www.arduinoindonesia.id/2022/09/pengertian-dan-penjelasan-tentang_20.html).
- Putr, Y. (2022) Kilas Pandang IoT sebagai Industri Masa Depan - #DigitalBisa. Tersedia pada: <https://digitalbisa.id/artikel/kilas-pandang-iot-sebagai-industri-masa-depan-9PATR> (Diakses: 22 Juni 2023).
- Qin, S. J. (2014). Process Data Analytics In The Era Of Big Data. *AICHe Journal*, 60(9), 3092-3100.
- Rahman, M. F., Budiman, F., & Fuadi, A. Z. (2021). Sistem Monitoring Keadaan Tanah Berbasis Iot (Iot Based Soil State Monitoring System). *E-Proceeding Of Engineering*. Telkom University, Vol.8(Bandung), 1039.
- Ramteke, S. B., Deshmukh, A. Y., dan Dekate, K. N. (2018) "A review on design and analysis of 5G mobile communication MIMO system with OFDM," pada *proc Second International IEEE Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, hal. pp. 542-546.
- Ranjan, R. (2014). Streaming big data processing in datacenter clouds. *IEEE cloud computing*, 1(1), 78-83. doi: 10.1109/MCC.2014.22
- Ray, P.P. (2018) 'A survey on Internet of Things architectures', *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 30(3), pp. 291–319. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2016.10.003>.
- Rayana, U. (2020) Capai 12 Miliar di Akhir 2020, Koneksi IoT Lampau Perangkat Non-IoT - Selular.ID. Tersedia pada: <https://selular.id/2020/11/capai-12-miliar-di-akhir-2020-koneksi-iot-lampau-perangkat-non-iot/> (Diakses: 24 Juni 2023).

- Redmon J, Divvala S, Girshick R, Farhadi A. (2016 ) You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. arXiv150602640 [cs] [Internet]. Jan 29; Available from: <http://arxiv.org/abs/1506.02640>
- Rifkian, B. E., Suharso, P., & Sukidin, S. (2017). Modernisasi Pertanian (Studi Kasus Tentang Peluang Kerja Dan Pendapatan Petani Dalam Sistem Pertanian Di Desa Dukuhdempok Kecamatan Wuluhan Kabupaten Jember). *Jurnal Pendidikan Ekonomi: Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan, Ilmu Ekonomi Dan Ilmu Sosial*, 11(1), 39–48. <https://doi.org/10.19184/Jpe.V11i1.4995>
- Rifqie DM, Suriyanto DF, Abdal NM, Hidayat M W, Ramli H. (2022) Post Training Quantization in Lenet-5 Algorithm for Efficient Inference. *J Embed Syst Secur Intell Syst.*;3(1):60.
- Rodríguez, E.M. (2022) How is Blockchain Improving Internet of Things?, Plain Concepts. Available at: <https://www.plainconcepts.com/blockchain-iot/> (Accessed: 23 June 2023).
- Rosa, A.A., Simon, B.A. and Lieanto, K.S. (2020) ‘Sistem Pendeteksi Pencemar Udara Portabel Menggunakan Sensor MQ-7 dan MQ-135’, *ULTIMA Computing: Jurnal Sistem Komputer*, 12(1), pp. 23–28. Available at: <https://doi.org/10.31937/sk.v12i1.1611>.
- Rose, K., Eldridge, S., & Chapin, L. (2015). *The Internet of Things: An Overview*. Geneva: Internet Society. Retrieved from <https://www.internetsociety.org/wpcontent/uploads/2017/08/ISOC-IoT-Overview-20151221-en.pdf>.
- Rusli, S. J. (2021). Implementasi Konsep Smart Farming Berbasis Iot Dan Manfaatnya. Universitas Mercu Buana. *Jurnal Ilmu Teknik Dan Komputer*, 5(1), 233–237. <https://doi.org/10.22441/Jitkom>
- Saito, N. and Menga, D. (2015) ‘The concept of an ecological smart home network’, in Nobuo Saito and David Menga (ed.) *Ecological Design of Smart Home Networks : Technologies, Social Impact and Sustainability*. Sawston, Cambridge: Woodhead Publishing, pp. 3–16.
- Sambuaga, A. I., Kumaat, R. M., & Waney, N. F. L. (2023). Persepsi Petani Terhadap Teknologi Revolusi Industri 4.0 Pada Usahatani Padi Sawah Di Desa Tompasobaru Dua Kecamatan Tompasobaru Kabupaten Minahasa

- Selatan. Agri-Sosioekonomi, 19(1).  
<https://doi.org/10.35791/Agrosoek.V19i1.45694>
- Samizadeh Nikoui, T. et al. (2020) 'Internet of Things architecture challenges: A systematic review', *International Journal of Communication Systems*, 34(4). Available at: <https://doi.org/10.1002/dac.4678>.
- Sapto, S. (2023) Aplikasi IoT Untuk Monitoring di Smart Hospital. Tersedia pada: <https://crocodic.com/aplikasi-iot-untuk-monitoring-pasien-di-rumah-sakit/> (Diakses: 24 Juni 2023).
- Saxena, A., Tyagi, M. and Singh, P. (2018) 'Digital Outing System Using RFID and Raspberry Pi with MQTT Protocol', *Proceedings - 2018 3rd International Conference On Internet of Things: Smart Innovation and Usages, IoT-SIU 2018*. IEEE, pp. 1–4. doi: 10.1109/IoT-SIU.2018.8519923.
- Sensorindo (2020) 'Sensor Getaran – Mengenal Jenis Sensor Getaran', *Mengenal Jenis Blog Getaran*. Available at: <http://sensorindo.com/sensor-getaran-mengenal-jenis-sensor-getaran/>.
- Seshia, S. A., & Lee, E. A. (2017). *Introduction to Embedded Systems, A Cyber-Physical Systems Approach* (Second Edition ed.). MIT Press.
- Setiadi, D., & Muhaemin, M. N. A. (2018). Penerapan Internet Of Things (Iot) Pada Sistem Monitoring Irigasi (Smart Irigasi). 3(2).
- Setiaji, D. (2018) Apa Itu Smart City dan Tantangan Penerapannya di Indonesia. Tersedia pada: <https://id.techinasia.com/apa-itu-smart-city-dan-penerapan-di-indonesia> (Diakses: 24 Juni 2023).
- Setiawan, B., Tambi, T. and Hay, S. (2018) 'Unjuk Kerja Sistem Distribusi Tenaga Listrik Untuk Peningkatan Penyaluran Energi Listrik Berdasarkan Penerapan SCADA (Studi Kasus pada PT. PLN (Persero) Wilayah Sulselrabar Area Kendari)', *Jurnal Fokus Elektroda: Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika dan Kendali*, 3(4), pp. 1–6. doi:10.33772/jfe.v3i4.6580.
- Setiyani, L., Suhada, K. and Yulindawati, Y. (2019) 'Perancangan dan Implementasi IoT (Internet of Things) pada Smarthome Menggunakan Raspberry PI Bersasis Android', *SIMETRIS*, 10(2), pp. 459–466.

- Sharma, C. and Gondhi, N. K. (2018) 'Communication Protocol Stack for Constrained IoT Systems', Proceedings - 2018 3rd International Conference On Internet of Things: Smart Innovation and Usages, IoT-SIU 2018. IEEE, pp. 1–6. doi: 10.1109/IoT-SIU.2018.8519904.
- Sharma, V., You, I., Andersson, K., Palmieri, F., Rehmani, M. H., & Lim, J. (2020). Security, privacy and trust for smart mobile-Internet of Things (M-IoT): A survey. *IEEE Access*, 8, 167123–167163.
- Shurdi, O., Ruci, L., Biberaj, A., dan Mesi, G. (2021) "5G energy efficiency overview," *European Scientific Journal*, vol. 17(3), hal. 315-27.
- Sicari, S., Rizzardi, A., dan Coen-Portini, A. (2020) "5G In the internet of things era: An overview on security and privacy challenges," *Computer Networks*, vol. 179, 107345.
- Simangunsong, J., (2010). Pengembangan e-government di Indonesia, Jakarta: Universitas Indonesia.
- Simarmata, J. et al. (2022) *Dasar-Dasar Teknologi Internet of Things (IoT)*. Yayasan Kita Menulis.
- Simmons, A. (2023) 'Internet of Things (IoT) and Blockchain Technology', *Dgtl Infra*, 1 February. Available at: <https://dgtlinfra.com/internet-of-things-iot-blockchain/> (Accessed: 23 June 2023).
- Son, H. K., dan Chong, Y. J. (2018) "Coexistence of 5G system with Fixed satellite service Earth station in the 3.8 GHz Band," pada *proc international conference on information and communication technology convergence (ICTC)*, hal. pp. 1070-1073.
- Soori, M., Arezoo, B., & Dastres, R. (2023). *Internet of Things for Smart Factories in Industry 4.0: A Review*. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*.
- Sri Haryati, *Pengelolaan Lingkungan Hidup Berbasis Masyarakat*, Bandung, Universitas Pendidikan Indonesia, 2012.
- Sukarno, A., Hikmaturokhman, A., dan Rachmawaty, D. (2020) "Comparison of 5g nr planning in mid-band and high-band in jababeka industrial estate," pada *proc IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (Comnetsat)*, hal. 12-17.

- Sun, S., Rappaport, T. S., Thomas, T. A., Ghosh, A., Nguyen, H. C., Kovacs, I. dan Partyka, A. (2016) "Investigation of prediction accuracy, sensitivity, and parameter stability of large-scale propagation path loss models for 5G wireless communications" IEEE transactions on vehicular technology, vol. 65(5), hal. 2843-2860.
- Suppatvech, C., Godsell, J., & Day, S. (2019). The Roles of Internet of Things Technology in Enabling Servitized Business Models: A Systematic Literature Review. *Industrial Marketing Management*, 82, pp. 70-86.
- Ta, V. D., Liu, C. M., & Nkabinde, G. W. (2016). Big data stream computing in healthcare real-time analytics. In 2016 IEEE international conference on cloud computing and big data analysis (ICCCBDA) (pp. 37-42). IEEE. doi: 10.1109/ICCCBDA.2016.7529531
- TAMBI, T. et al. (2020) 'Real-time monitoring of high voltage insulators in the tropical climate', *Przeład Elektrotechniczny*, 96(10), pp. 129-135. doi:10.15199/48.2020.10.24.
- Tarahi, Hossein, Hossein Haghghat, N.G. (2023) 'Smart Online Protection System for Power Transmission Towers: An IoT-Aided Design and Implementation', 10(9,01 May 2023), pp. 7480-7489. doi:https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3194904.
- Tawalbeh, L., Muheidat, F., Tawalbeh, M., & Quwaider, M. (2020). IoT privacy and security: Challenges and solutions. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(12), 4102.
- Thilakarathne, N.N. et al. (2023) 'Towards making the fields talks: A real-time cloud enabled IoT crop management platform for smart agriculture', *Frontiers in Plant Science*, 13(January). Available at: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1030168>.
- Tian, H., Ge, X., Wang, J., Li, C., & Pan, H. (2020). Research on distributed blockchainbased privacy-preserving and data security framework in IoT. *IET Communications*, 14(13), 2038- 2047.
- Uddin, H., Gibson, M., Safdar, G. A., Kalsoom, T., Ramzan, N., Ur-Rehman, M., dan Imran, M. A. (2019) "IoT for 5G/B5G applications in smart homes, smart cities, wearables and connected cars," pada Proc IEEE 24th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD), hal. 1-5.

- Ujjawal, A. (2018) 'How Does the Blockchain Work?', GeeksforGeeks, 14 August. Available at: <https://www.geeksforgeeks.org/how-does-the-blockchain-work/> (Accessed: 23 June 2023).
- Ulum, M. B. (2018). Desain Internet Of Things (Iot) Untuk Optimasi Produksi Pada Agroindustri Karet. *Sebatik*, 22(2), 69–73. <https://doi.org/10.46984/Sebatik.V22i2.310>
- Utomo, A.W.B., Bhawiyuga, A. & Amron (2019) 'Pengembangan Sistem Penyimpanan Data Sensor Menggunakan Platform Hyperledger', *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 3(5), pp. 5154–5164.
- Veda, J., Rivai, M., & Suwito, S. (2022). Sistem Kontrol Dan Monitoring Pemupukan Npk Tanaman Dengan Mikrokontroler Esp32. *Jurnal Teknik Its*, 11(3), A184–A189. <https://doi.org/10.12962/J23373539.V11i3.93954>
- Verma, A. et al. (2019) 'Sensing, Controlling, and IoT Infrastructure in Smart Building: A Review', *IEEE Sensors Journal*, 19(20), pp. 9036–9046. Available at: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2922409>.
- Vermesan, O., & Friess, P. (Eds.). (2022). *Digitising the Industry Internet of Things: Connecting the Physical, Digital and Virtual Worlds*. CRC Press.
- Vrinda Mathur, IoT Untuk Kelestarian Lingkungan, <https://mycarrier.telkom.co.id/id/article/iot-untuk-kelestarian-lingkungan>. Diakses pada tanggal 5 Juni 2023.
- Wang C-Y, Bochkovskiy A, Liao H-YM. (2022) YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors.;1–15. Available from: <http://arxiv.org/abs/2207.02696>
- Wijayanto, Y., Purnamasari, I., Ristiana, S., & Saputra, T. W. (2022). [Perkembangan Penggunaan Big Data Pada Bidang Pertanian Di Indonesia]: Review. 6(1).
- Xiao, F., Lin, X., & Su, Y. (2020) "Dual-band structure-shared antenna with large frequency ratio for 5G communication applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 19(12), hal. 2339-2343.
- Yao, X., Farha, F., Li, R., Psychoula, I., Chen, L., & Ning, H. (2020). Security and privacy issues of physical objects in the IoT: Challenges and opportunities. *Digital Communications and Networks*, 7(3), 373–384.

- Yaqoob, I., Hashem, I. A., Gani, A., Mokhtar, S., Ahmed, E., Anuar, N. B., & Vasilakos, A. V. (2016). Big data: From beginning to future. *International Journal of Information Management*, 36(6), 1231-1247. 264
- Yusro, M., & Diamah, A. (2019). *Sensor & Transduser ( Teori Dan Aplikasi )* (1st Ed., Vol. 1). Fakultas Teknik. Universitas Negeri Jakarta.
- Zhang, R., & Li, X. (2021). Edge Computing Driven Data Sensing Strategy In The Entire Crop Lifecycle For Smart Agriculture. *Sensors*, 21(22), 7502. <https://doi.org/10.3390/S21227502>
- Zhao Z-Q, Zheng P, Xu S, Wu X. (2019 ) Object Detection with Deep Learning: A Review. arXiv180705511 [cs] [Internet]. Mar 2; Available from: <http://arxiv.org/abs/1807.05511>
- Zhou, W., Jia, Y., Peng, A., Zhang, Y., & Liu, P. (2019). The effect of IoT new features on security and privacy: New threats, existing solutions, and challenges yet to be solved. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(2), 1606–1616.
- Zi, R., Ge, X., Thompson, J., Wang, C. X., Wang, H., dan Han, T. (2016) “Energy efficiency optimization of 5G radio frequency chain systems.” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 34(4), hal. 758-771.
- Zyane, A., Bahiri, M.N. & Ghammaz, A. (2019) ‘A based cloud computing solution using DiffServ architecture for scalability issue in IoT networks with multiple SLA requirements’, *ACM International Conference Proceeding Series*, Part F148154. Available at: <https://doi.org/10.1145/3320326.3320338>.



# Biodata Penulis



Selatan.

**Muhammad Rizal** dilahirkan di kota Palu, Sulawesi Tengah, pada bulan Agustus 1992. Setelah menyelesaikan studi Magister Teknik Elektro di Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin pada tahun 2019, dia bekerja sebagai seorang dosen di Universitas Dipa Makassar. Selain menjadi dosen, Rizal juga aktif sebagai penulis buku dan jurnal dengan fokus pada topik informatika. Dia juga mengembangkan keahliannya dalam bidang Internet of Things dan berhasil menerapkan beberapa karyanya, seperti implementasi cuci tangan otomatis di beberapa rumah sakit di Kota Makassar, Sulawesi



**Debby Erce Sondakh, S.Kom, M.T., Ph.D.** Menyelesaikan pendidikan Magister Teknik Informatika di Institut Teknologi Bandung, dan pendidikan doktoral Measurement and Evaluation di Universiti Kebangsaan Malaysia. Saat mengajar sebagai dosen di program studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer Universitas Klabat, Airmadidi Minahasa Utara



**Ilham Firman Ashari** akrab disapa ilham. Penulis saat ini tercatat sebagai dosen aktif di Program Studi Teknik Informatika Institut Teknologi Sumatera (ITERA). Sebagai seorang dosen, penulis aktif untuk melakukan penelitian di bidang Keamanan Informasi, IoT, dan Kecerdasan Buatan. Penulis bergabung menjadi dosen di ITERA tahun 2019. Saat ini penulis sebagai ketua kelompok keilmuan bidang keamanan siber dan komputasi pervasif.



**Mohamad Arif Suryawan, S.Kom., M.T., MTA.** lahir di Bau-Bau, pada tanggal 24 Februari 1978. Menyelesaikan pendidikan SD hingga SMA di kota kelahiran, hingga pada tahun 1997 melanjutkan pendidikan S-1 di Universitas Dr. Soetomo (Unitomo) Surabaya, program studi Teknik Informatika dan lulus pada tahun 2002. Tahun 2008 menjadi dosen tetap di Program Studi Teknik Informatika Universitas Dayanu Ikhsanuddin Baubau. Kemudian tahun 2012, melanjutkan pendidikan S-2 pada prodi Teknik Elektro konsentrasi Teknik Informatika di Universitas Hasanuddin Makassar dan lulus pada tahun 2015. Saat ini Penulis aktif mengajar mata kuliah GIS, Kecerdasan Buatan dan Struktur Data. Selain itu Penulis juga menjadi mengelola Jurnal informatika <https://ejournal.unidayan.ac.id/index.php/JIU> sebagai Pimpinan Redaksi. Buku "Internet of Things: Konsep dan Implementasi" merupakan buku ke empat yang terbit bulan Juli 2023, setelah buku "Multimedia" terbit Juli 2023, "Implementasi AI dalam Kehidupan", terbit Juli 2023, kemudian buku "Internet of Things (IoT): Teori dan Implementasi" terbit Februari 2023 dan "Pengantar e-Commerce" yang diterbitkan pada tahun 2022. (email : arwan97@unidayan.ac.id)



**A. Aviv Mahmudi**, lahir di Rembang, Jawa Tengah, pada tanggal 16 Agustus 1977, anak pertama dari pasangan Mustofa (alm) dan Faizah. Penulis adalah Dosen Tetap pada Universitas YPPI Rembang (perubahan bentuk dari STIE YPPI Rembang). Selain itu juga pernah menjabat sebagai Ketua Badan Penjaminan Mutu periode 2013 s.d 2017, Plt/Pembantu Ketua I periode 2020 s.d 2022 pada Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi YPPI Rembang, serta menjabat Wakil Rektor I pada Universitas YPPI

Rembang periode 2022-2026. Pendidikan formalnya dimulai dari SD Nawawiyah Tasikagung Rembang, SMP Negeri 1 Rembang, dan SMA Negeri 3 Rembang, dan melanjutkan studi strata satu pada program studi Sistem Informasi, STMIK AKI Pati lulus tahun 2009, serta melanjutkan studi pada Magister Sistem Informasi Universitas Diponegoro Semarang lulus tahun 2014.

Sambil menekuni profesi sebagai dosen, suami dari Layyinatul Wardah yang telah dikaruniai 2 orang putra bernama Hazel Althaf Zuhlilmi dan Zafran Kafie El Azzam, banyak melakukan berbagai kegiatan antara lain melaksanakan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat yang bermuara kepemilikan Ciptaan-HaKI, melakukan kajian akademis, pembicara/narasumber, fasilitator pelatihan di bidang pengembangan Usaha Kecil Menengah berbasis Teknologi Informasi. Selain aktif menulis artikel di berbagai jurnal ilmiah/prosiding nasional dan internasional, juga aktif sebagai editor, reviewer maupun mitra bestari pada berbagai jurnal penelitian maupun jurnal pengabdian kepada masyarakat. Bberapa Judul Buku yang telah terbit hasil dari kontribusi penulis diantaranya Google Workspace for Education Platform Pendidikan Digital: Konsep dan Praktik, Keamanan Siber: Tantangan di Era Revolusi Industri 4.0, Balanced Scorecard – AHP - Omax (Implementasi Penilaian Kinerja Perguruan Tinggi), Kewirausahaan -Merancang Bisnis di era Digital.

Penulis juga aktif pada dunia pergerakan dan organisasi. Pada dunia pergerakan, penulis aktif pada IKA-Pergerakan Mahasiswa Islam Indonesia (PMII). Sementara pengalaman organisasi penulis dapatkan menjadi anggota APTIKOM, Sekretaris Lembaga Perekonomian Nahdlatul Ulama Kabupaten Rembang, Anggota Dewan Dakwah Majelis Ulama Indonesia Kabupaten Rembang, Majelis Wakil Cabang NU, Kecamatan Rembang, Pengurus Karang Taruna Kabupaten Rembang, dan pengurus Gabungan Suporter Rembang (Ganster).



**Wahyu Hidayat. M** lahir di Kabupaten Pangkep, pada tanggal 15 Mei 1992. Putra dari pasangan Abd. Malik. MR dan Hj. Chuderiah sebagai anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dan terdaftar sebagai siswa di SD Inpres Borongloe Kab. Gowa, kemudian di tahun 2003 melanjutkan pendidikan di tingkat SMP Negeri 1 Sungguminasa. Setelah tamat, kemudian di tahun 2006 melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 8 Gowa dan tamat pada tahun 2009. Setelah kelulusannya pada tahun 2009 penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perkuliahan dan terdaftar

sebagai salah satu mahasiswa di salah satu Perguruan Tinggi Negeri pada Program Studi Pendidikan Teknik Informatika dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar (UNM) serta menyelesaikan studi pada tahun 2014 dan mendapatkan gelar Strata satu (S-1). Kemudian pada tahun 2018 penulis kembali melanjutkan studi pada Program Pascasarjana Universitas Negeri Makassar (UNM) Jurusan Pendidikan Teknologi Kejuruan, Konsentrasi Pendidikan Teknik Informatika dan Komputer. Saat ini penulis bekerja sebagai Dosen di Universitas Negeri Makassar pada Jurusan Pendidikan Teknik Informatika dan Komputer.

Email: [wahyu.hidayat@unm.ac.id](mailto:wahyu.hidayat@unm.ac.id)



**Rolly Junius Lontaan** lahir di Jakarta, pada 26 Juni 1981. Ia tercatat sebagai lulusan Universitas Bina Nusantara. Pria yang kerap disapa Rolly ini adalah anak dari pasangan J. U. Lontaan (ayah) dan Chatotje R. Legi (ibu). Rolly sudah memiliki pengalaman dibidang pendidikan baik di daerah kota maupun di daerah pedalaman. Beliau sekarang aktif sebagai tenaga dosen di Universitas Klabat – Sulawesi Utara.

Email: [rolly.lontaan@unklab.ac.id](mailto:rolly.lontaan@unklab.ac.id)

**Agussalim.** Saat ini tercatat sebagai lulusan S3 Kyushu Institut of Technology Jepang. Sebelumnya mengikuti Pendidikan Program S1 di Univeristas Negeri Makassar, dan S2 Di Universitas Hasanuddin. Ia adalah dosen tetap Program Studi Magister Teknologi Informasi, UPN Veteran Jawa Timur. Topik riset yang digeluti saat ini adalah Networking, Routing Protocol. Delay Tolerant Network (DTN), dan Multi-Hop Wireless Network. Mengampu mata kuliah Desain dan Manajemen Jaringan, Pemrograman Web, dan Interaksi Manusia Komputer.



**Dary Mochamad Rifqie** lahir 2 Juni 1994 di Kota Ujung Pandang, Sulawesi Selatan. Menamatkan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Elektro di Universitas Hasanuddin, dan pendidikan S2 pada Jurusan Teknik Mikroelektronika di Institut Teknologi Bandung. Saat ini penulis bekerja sebagai Dosen di Universitas Negeri Makassar pada Jurusan Pendidikan Teknik Elektronika.

E-mail: [dary.mochamad.rifqie@unm.ac.id](mailto:dary.mochamad.rifqie@unm.ac.id)



**Hazriani** lahir di Desa Tamaona, Kec. Tombolo Pao, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi-Selatan pada tanggal 5 Mei 1978. Menyelesaikan Pendidikan S1 Sistem Komputer di STMIK Handayani pada tahun 2001, S2 Teknik Informatika di Universitas Hasanuddin pada tahun 2007, dan S3 bidang Advanced Information Technology di Kyushu University pada tahun 2018. Sejak tahun 2005 hingga saat ini, berstatus sebagai dosen tetap LLDIKTI WIL.

IX dipekerjakan pada Universitas Handayani Makassar (Berubah bentuk dari STMIK Handayani Makassar pada tahun 2022). Penulis aktif melakukan riset dalam bidang context-awareness, sistem rekomendasi, pembelajaran mesin, kecerdasan buatan, dan jaringan komputer. Informasi tentang penulis selengkapnya dapat diakses melalui [www.hazrianizainuddin.id](http://www.hazrianizainuddin.id).



Data, Maching Learning dan Artificial Intelligent.

**Sirmayanti** lahir di Makassar, 30 Maret 2979 dan tercatat sebagai lulusan Master of Engineering (MEng) & Doctor of Philosophy (PhD) di bidang Electrical and Electronic Engineering di Victoria Univeristy of Melbourne tahun 2008 dan 2015. Saat ini Sirmayanti aktif sebagai dosen, peneliti dan penulis di Politeknik Negeri Ujung Pandang (PNUP). Sirmayanti juga merupakan Head of Centre for Applied Telecommunications Technology Research Group (CATTAR) yang focus pada penelitian terkait Teknologi Wireless Communication Technology, sistem nirkabel 45-5G, Radio Frequency, IoT, Big



Samudra (UNSAM). Berperan aktif sebagai pengurus Ikatan Peneliti Lingkungan Binaan Indonesia (IPLBI).

**Nova Purnama Lisa, ST., M.Sc, S**, lahir di Langsa tanggal 22 Nov 1980. Menyelesaikan Program Pascasarjana Program Studi Arsitektur Universitas Gadjah Mada (UGM). Menempuh studi Strata-1 pada Jurusan Arsitektur Universitas Syiah Kuala (USK), Sejak tahun 2008-2019 aktif sebagai dosen pada Prodi Arsitektur Universitas Malikussaleh (UNIMAL). Saat ini menjadi dosen Fakultas Teknik pada Program Studi Teknik Sipil di Universitas



kepemimpinan. Serta sebagai pengajar di Fakultas Vokasi Universitas Brawijaya Malang. Untuk mata kuliah berbasis teknologi dan informasi.

**Budi Fajar Supriyanto**, telah menyelesaikan studi Sarjana di STMIK ASIA Malang dengan konsentrasi Teknik Informatika. Serta melanjutkan studi Magister di Universitas Brawijaya Malang dengan program studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer dengan fokus riset pada bidang Geoinformatika.

Aktif di berbagai organisasi kemahasiswaan dan kemasyarakatan serta berbagai pengalaman

Beberapa penelitian yang telah berhasil dipublikasi adalah tentang geoinformatika, pemetaan lahan, pemetaan titik gunung, perbandingan data ketinggian dari berbagai media online dan soft file serta peranan ilmu komputer dalam bidang sosial kemasyarakatan. E-mail: [fajar.deroom@gmail.com](mailto:fajar.deroom@gmail.com).



**Ahmad Syamil** meraih gelar Insinyur Teknik Mesin dari ITB dan MBA dari University of Houston, Houston, Texas, USA. Kemudian dia mendapatkan beasiswa dari USA untuk menyabet gelar PhD dari University of Toledo, Toledo, Ohio, USA. Disertasi PhD nya adalah finalis lomba disertasi terbaik yang diselenggarakan oleh Academy of International Business (AIB) di Asutralia dengan peserta dari seluruh dunia.

Dia pernah hidup di USA selama 25 tahun. Di Binus, Ahmad Syamil pernah menjadi dekan di 2 program yang berbeda. Ia aktif publikasi di jurnal-jurnal internasional dan presentasi di konferensi-konferensi tenama. Selain itu juga, dia menjadi trainer di perusahaan-perusahaan terkemuka di Indonesia.

Ahmad Syamil sudah diinterview dan dipublikasikan oleh banyak media termasuk Voice of America (VOA), Radio Republik Indonesia (RRI), majalah Tempo, koran Tribun (dimiliki oleh Kompas Gramedia), Pikiran Rakyat (Bandung), majalah SWA, majalah Warta Ekonomi, dll.

Email: [asyamil@binus.edu](mailto:asyamil@binus.edu) ; [asyamil@gmail.com](mailto:asyamil@gmail.com)

LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/asyamil/>



**Ery Muchyar Hasiri, S.Kom.,M.T.** Lahir di Baubau, pada tanggal 13 September 1982. Penulis merupakan alumni dari SMA Negeri 2 Baubau, dan menyelesaikan Pendidikan Program Sarjana (S-1) pada Jurusan Teknik Informatika, STMIK Dipanegara Makassar Tahun 2008. Dan kemudian pada Tahun 2012, penulis melanjutkan Studi S2 di Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar dan lulus tahun 2014.

Sertifikasi keahlian dan profesi juga telah penulis peroleh seperti Mikrotik Certified Network Associate (MTCNA), Oracle Certified Associate (OCA) dan Microsoft Technology Associate (MTA). Saat ini penulis sebagai Dosen Tetap Universitas Dayanu Ikhsanuddin pada Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Informatika. Penulis selalu aktif dalam penelitian dan publikasi jurnal ilmiah dan pernah mendapatkan Hibah Penelitian Terapan serta Hibah Program Kemitraan Masyarakat dari Ristek Dikti Tahun 2018 terkait implementasi IoT pada sektor pertanian dan peternakan.

Penulis juga terlibat aktif sebagai anggota tetap Ikatan Ahli Informatika Indonesia (IAII), Anggota Forum Dosen Indonesia (FDI) dan sekaligus pengurus APTIKOM Sulawesi Tenggara sejak tahun 2016.

E-mail: [erymuchyar82@gmail.com](mailto:erymuchyar82@gmail.com)



**Hujemiati**, lahir di Nunukan pada 21 September 1985 dan sekarang menetap di kabupaten Bone Sulawesi Selatan. Menyelesaikan pendidikan dasar di SD Inpres 3/77 Pattiro pada tahun 1999, melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 2 Mare dan lulus pada tahun 2001, dan melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Mare dan lulus pada tahun 2004. Pada tahun 2008 menyelesaikan studi stasa satu dan lanjut studi strata dua pada tahun 2012 dan selesai pada tahun 2014 di Universitas Negeri Makassar (UNM). Ia adalah

dosen tetap Program Studi Agroteknologi, Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian Yapi Bone.

Mengampu mata kuliah Ekologi Pertanian, Metode Penelitian, Ilmu Usaha Tani, dan Mikrobiologi. Selama berkarier sebagai dosen ia juga pernah menduduki jabatan sebagai ketua program studi selama 2 periode, sebagai kepala laboratorium selama 1 periode, dan sekarang sedang menduduki jabatan sebagai kepala lembaga penjaminan mutu internal (SPMI).

E-mail: [hujemiati@gmail.com](mailto:hujemiati@gmail.com)



**Dr. Janner Simarmata, S.T., M.Kom.** (C.SP., C.BMC., C.DMP., C.PI., C.PKIR., C.SF., C.PDM., C.SEM., C.COM., C.SI., C.SY., C.STMI INT'L, CBPA., C.WI.)

Sarjana Teknik Informatika dari STMIK Bandung, Magister Ilmu Komputer dari Universitas Gadjah Mada (UGM) dan Doktor Pendidikan Teknologi Kejuruan (PTK) diperoleh dari Universitas Pendidikan Indonesia (UPI) Bandung bidang kajian Blended Learning. Menulis buku sejak tahun 2005. Dosen di Pendidikan Teknologi Informatika dan Komputer (PTIK) Fakultas Teknik Universitas Negeri Medan.



# Konsep & Implementasi Internet Of Things

Internet of Things telah menjadi fenomena yang mempengaruhi hampir setiap aspek kehidupan kita. Dalam buku ini, Anda akan mempelajari dasar-dasar IoT, termasuk arsitektur yang mendasarinya dan protokol komunikasi yang digunakan untuk memungkinkan perangkat-perangkat terhubung saling berkomunikasi. Anda juga akan menjelajahi sensor dan aktuator yang menjadi komponen penting dalam ekosistem IoT, serta platform yang memfasilitasi pengembangan dan integrasi perangkat IoT.

Secara Lengkap buku ini membahas:

Bab 1 Pengenalan Internet of Things (IoT)

Bab 2 Arsitektur Internet of Things

Bab 3 Protokol Komunikasi dalam IoT

Bab 4 Sensor dan Aktuator pada IoT

Bab 5 Platform Internet of Things (IoT)

Bab 6 Keamanan dan Privasi dalam IoT

Bab 7 Integrasi IoT dengan Cloud Computing

Bab 8 Penanganan Big Data pada Internet of Things

Bab 9 Pemanfaatan Machine Learning dalam IoT

Bab 10 Teknologi Blockchain dalam IoT

Bab 11 IoT dan 5G

Bab 12 Implementasi IoT pada Smart Home

Bab 13 Implementasi IoT pada Smart City

Bab 14 Implementasi IoT pada Industri Manufaktur

Bab 15 Implementasi IoT pada Pertanian

Bab 16 Implementasi IoT pada Sistem Monitoring Kelistrikan

Bab 17 Implementasi IoT pada Lingkungan Hidup

Bab 18 Masa Depan Internet of Things



YAYASAN KITA MENULIS

[press@kitamenulis.id](mailto:press@kitamenulis.id)

[www.kitamenulis.id](http://www.kitamenulis.id)

ISBN 978-623-342-883-5

