

Perancangan adalah kegiatan awal dari suatu rangkaian kegiatan dalam proses pembuatan produk. Dalam merancang, seorang perancang memakai dan memanfaatkan ilmu pengetahuan, ilmu dasar teknik, pengetahuan empiris, hasil-hasil penelitian, informasi dan teknologi.

Perancangan dan pembuatan produk adalah kegiatan manunggal, artinya rancangan hasil perancang tidak berguna bila tidak dibuat. Berdasarkan hal tersebut hasil akhir perancang adalah gambar rancangan produk, dan merupakan titik awal pembuatan produk oleh manufacturing engineer.

Buku ini kumpulan dari hasil penelitian ilmu rekayasa keteknikan dan teknologi informasi terapan dengan harapan melalui buku ini akan membantu mengembangkan teknologi di bidang dan teknik dan teknologi informasi.

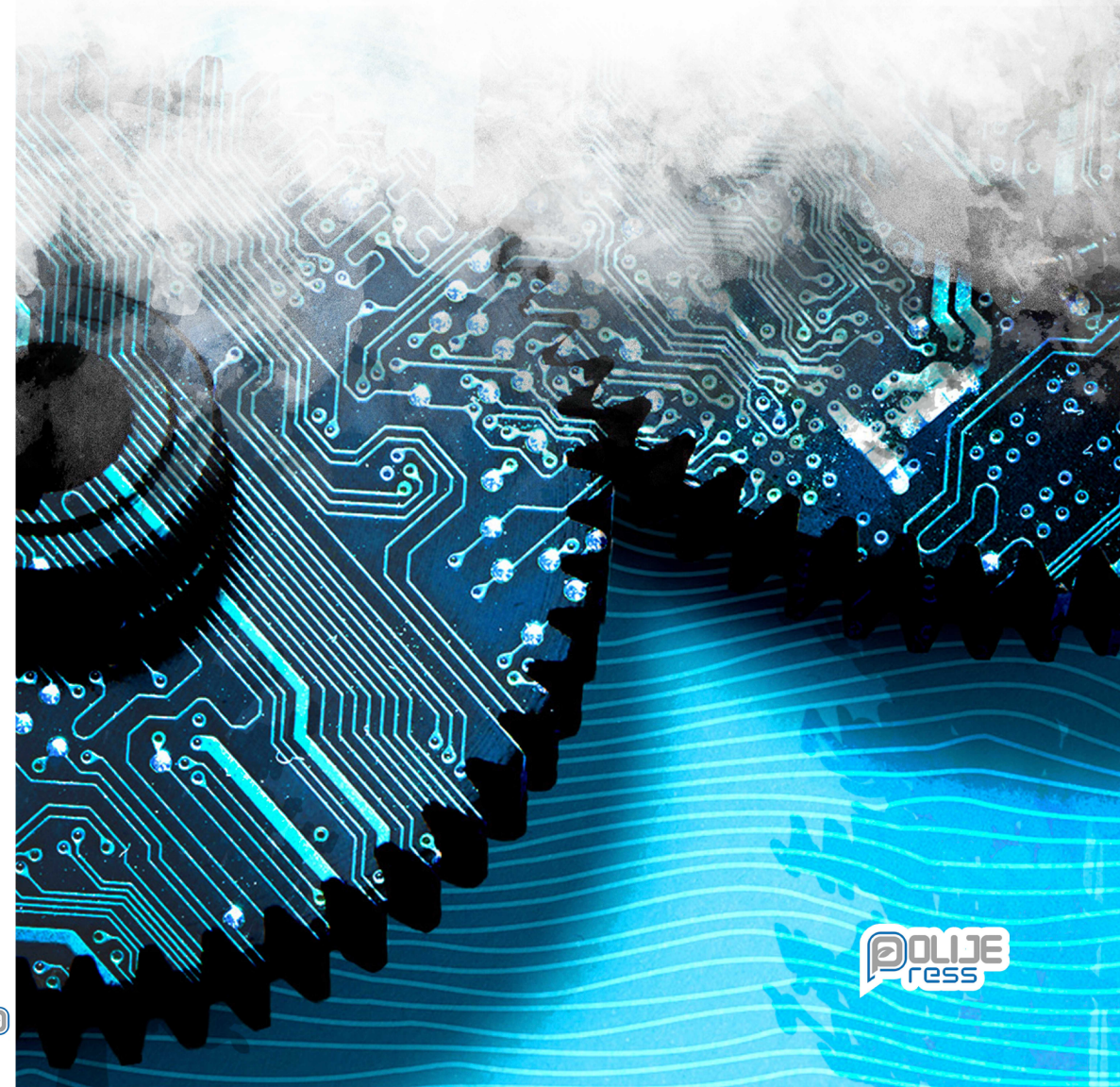
ISBN 978-623-6917-20-6



Penerbit :
Polije Press
Politeknik Negeri Jember
No. anggota IKAPI : 243/anggotaluarbiasa/JTI/2020
No. anggota APPTI : 002.109.1.03.2020

BOOK CHAPTER

Rekayasa Keteknikan Dan Teknologi Informasi Terapan



BOOK CHAPTER

REKAYASA KETEKNIKAN DAN TEKNOLOGI INFORMASI TERAPAN



BOOK CHAPTER

REKAYASA KETEKNIKAN DAN TEKNOLOGI INFORMASI TERAPAN

Hak Cipta

Sanksi Pelanggaran Pasal 113 Undang-undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta.

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus 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 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).
3. 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).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

BOOK CHAPTER REKAYASA KETEKNIKAN DAN TEKNOLOGI INFORMASI TERAPAN

Copyright ©2022 pada Polije Press

Redaksi :

Jalan Mastrip PO. BOX 164 Jember 68101
Telp : 0331 333532, 333533
Fax : 0331 333531
Email : polijepress@polije.ac.id

Penulis : Azamataufiq B.; Rika Yuliana;
Moch.Irwan Nari; Alex T. Zain;
Dedy Eko R.; Bayu Rudiyanto;
Taufiq Rizaldi.
Editor : Hendra Yufit Riskiawa
Desain Cover : Rindha Rentina Darah Pertama
Desain Layout : Rindha Rentina Darah Pertama

ANGGOTA IKAPI & APTTI

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau Seluruh isi buku
ini Tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATALOG DALAM TERBITAN

Poliye Press

Book Chapter: Rekayasa Keteknikan Dan Teknologi

Informasi Terapan

x + 89 hlm; 18,2 x 25,7 cm

ISBN : 978-623-6917-20-6

Cetakan Pertama Juni 2022

PRAKATA

Alhamdulillah, akhirnya Bunga Rampai dengan tema “Rekayasa Keteknikan Dan Teknologi Informasi Terapan” ini dapat diselesaikan oleh Tim Penulis dan diterbitkan oleh Polije Press. Buku ini merupakan karya cetak dari Polije Press yang merupakan satu unit yang baru dibentuk di Politeknik negeri Jember untuk mewadahi hasil karya tulis dari bapak ibu dosen serta mahasiswa.

Ada beberapa alasan yang mendorong didirikannya Polije Press. Pertama, perlu adanya wadah yang bisa menampung aspirasi dari kaum cendekiawan di kampus Politeknik Negeri Jember dalam mengembangkan keilmuan nya serta menularkan kepada generasi penerus melalui tulisan-tulisan atau karya ilmiah.

Alasan kedua adalah kehadiran Bunga Rampai ini diharapkan akan memberikan sumbangan signifikan dalam upaya peningkatan kualitas Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat di Politeknik Negeri Jember. Apalagi, peningkatan kualitas Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat adalah salah satu bagian komitmen penting Politeknik Negeri Jember dalam rangka mewujudkan pendidikan tinggi yang berkualitas bagi masyarakat Indonesia.

Dengan adanya Bunga Rampai ini, diharapkan civitas akademika akan lebih mudah dalam mengikuti perkembangan di dunia penelitian. Tentunya, buku ini telah dikaji secara mendalam oleh Tim Editor Naskah Politeknik Negeri Jember dan disusun sesuai dengan Rencana Induk Riset yang ditetapkan oleh Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Jember. Atas kontribusi tersebut, kami ucapkan terima kasih. Mudah-mudahan kita dapat memberikan yang terbaik bagi kemajuan dunia pendidikan dalam rangka mempersiapkan generasi seratus tahun Indonesia Merdeka (2045).

Jember, Januari 2022

Penerbit

DAFTAR ISI

PRAKATA	vii
DAFTAR ISI.....	viii

Analisis Aerodinamika Pada Perancangan Mobil Listrik Model Kendaraan Tembakau Style M-164 Dengan Metode Computational Fluid Dynamic	1
1. PENGANTAR.....	2
2. METODE DAN BAHAN.....	4
3. HASIL & PEMBAHASAN	5
3.1 Tekanan fluida maksimum	6
3.2 Gaya Hambat (Drag).....	8
3.3 Koefisien <i>Drag</i> (C_D).....	9
4. KESIMPULAN.....	10
5. PERSEMBAHAN	11
6. DAFTAR PUSTAKA.....	11

KAJIAN FAKTOR DUKUNGAN ORGANISASI DALAM RANGKA PENINGKATAN EFEKTIVITAS PELAKSANAAN E-GOVERNMENT DI INDONESIA.....	13
1. PENDAHULUAN.....	13
2. FUNCTIONAL SIMPLIFICATION AND CLOSURE	14
3. TECHNOLOGY DIFFUSION PROCESS.....	16
4. POLICY REFORM AND INNOVATION	18
5. DIGITAL CAPACITY AND PERFORMANCE MEASUREMENT	20
6. IMPLIKASI TERHADAP RANCANGAN <i>E-GOVERNMENT</i> INDONESIA DI MASA DEPAN.....	23
7. KESIMPULAN.....	24
8. DAFTAR PUSTAKA.....	25

PERANCANGAN HELM PINTAR UNTUK PENGENDARA SEPEDA MOTOR BERBASIS SENSOR MPU-6050	27
1. PENDAHULUAN.....	28
2. PEMBAHASAN	28
2.1 Metode.....	28
3. PENUTUP	35
4. DAFTAR PUSTAKA.....	35

Simulasi Sistem Kendali Kecepatan Putar Rotor Berbasis Fuzzy-PI pada Model Turbin Angin Sumbu Horisontal Skala Kecil	37
1. PENDAHULUAN.....	38
2. METODE.....	39
2.1 Pemodelan Turbin Angin.....	39
2.2 Sistem Kendali	40
3. HASIL DAN DISKUSI.....	43

4. KESIMPULAN	45
5. DAFTAR PUSTAKA	46
INVESTIGASI KINERJA MESIN PENDINGIN RUANGAN SISTEM REFRIGERASI MENGGUNAKAN R32 BERDASARKAN SUHU UDARA EVAPORATOR	49
1. PENDAHULUAN	50
2. METODE DAN BAHAN	52
2.1 Bahan dan alat	52
2.2 Metode	52
3. HASIL DAN DISKUSI	56
4. KESIMPULAN	60
5. PERNYATAAN TERIMA KASIH	60
6. DAFTAR PUSTAKA	61
ANALISIS PERBANDINGAN VARIASI FLUIDA PENDINGIN BERUPA MINERAL OIL DAN VIRGIN COCONUT OIL (VCO) TERHADAP PERFORMA IMMERSION COOLING PADA CENTRAL PROCESSING UNIT.....	63
1. PENDAHULUAN	64
2. LANDASAN TEORI	64
2.1 Central Processing Unit (CPU).	64
2.2 Pindah Panas Konveksi.	65
2.3 Immersion Cooling.	65
2.4 Virgin Coconut Oil (VCO).	66
2.5 Mineral Oil.	66
3. METODE PENELITIAN	67
3.1 Rancangan Penelitian.	67
3.2 Alat dan Bahan.	67
3.3 Teknik Pengumpulan Data.	68
3.4 Prosedur Penelitian.	69
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	69
4.1 Temperatur CPU dengan Pendinginan Konvensional	70
4.2 Temperatur CPU dengan <i>Immersion Cooling</i> VCO	70
4.3 Temperatur CPU dengan <i>Immersion Cooling</i> Mineral Oil.....	71
4.4 Temperatur VCO pada Saluran Inlet dan Outlet.....	71
4.5 Evaluasi Temperatur CPU	73
4.6 Evaluasi Temperatur Inlet dan Outlet.....	74
5. KESIMPULAN	75
6. DAFTAR PUSTAKA	75
ALGORITMA FUZZY C-MEANS CLUSTERING PADA COMPUTER BASED TEST	77
1. PENDAHULUAN	78
2. METODE DAN BAHAN	79
2.1 Metode	79
2.2 Alat dan Bahan Kegiatan	80

3. HASIL DAN DISKUSI.....	80
3.1 Analisis Kebutuhan Sistem	80
3.2 Pengumpulan Data.....	80
3.3 Desain Sistem	81
3.4 Evaluasi.....	83
3.5 Implementasi User	83
3.6 Pengujian	87
4. KESIMPULAN.....	88
5. PERSEMBAHAN	88
6. DAFTAR PUSTAKA.....	88

Analisis Aerodinamika Pada Perancangan Mobil Listrik Model Kendaraan Tembakau Style M-164 Dengan Metode Computational Fluid Dynamic

Aspek aerodinamis merupakan salah satu hal terpenting dalam bidang otomotif yang digunakan untuk mencari informasi performa dari suatu desain model aerofoil. Kinerja suatu aerofoil melalui aliran arus berhubungan dengan konsumsi bahan bakar yang berarti semakin tinggi kecepatan udara maka semakin besar pula hambatan yang diterima, sehingga konsumsi bahan bakar akan semakin besar. Dalam hal ini, konsumsi bahan bakar dapat dikurangi dengan membuat desain model aerofoil yang mempertahankan aerodinamis yang hebat untuk meminimalkan gaya drag. Efek aliran sungai di sekitar mobil dibahas dalam makalah ini. Penelitian ini mensimulasikan mobil listrik 3D Tobacco Style M-164 dalam kondisi tunak dengan berbagai kecepatan, yaitu 50 km/jam, 60 km/jam, 70 km/jam, dan 80 km/jam. Simulasi ini menggunakan model mesh Tethahedron dan dijalankan dalam model turbulensi k-omega SST. Pengaruh tersebut dapat diamati dengan data kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif yang digunakan sebagai data terukur adalah Maximum Fluid Pressure, Drag Force, dan Coefficient of Drag (CD). Data kuantitatif ditampilkan untuk memberikan penjelasan visual yang lebih baik tentang efek aliran sungai. Data kualitatif yang ditampilkan dalam makalah ini adalah kontur kecepatan, vektor, dan jalur. Nilai tekanan fluida maksimum dan gaya drag berbanding lurus dengan peningkatan kecepatan aliran. Koefisien drag menurun seiring dengan peningkatan free stream dengan persentase penurunan sebesar 2,48%. Nilai rata-rata koefisien drag (CD) dari penelitian ini adalah 0,318. Data kuantitatif ditampilkan untuk memberikan penjelasan visual yang lebih baik tentang efek aliran sungai. Data

**Azamataufiq
Budiprasojo**

Dosen
Politeknik Negeri Jember
Teknik Mesin Otomotif
azamataufiq@polije.ac.id

kualitatif yang ditampilkan dalam makalah ini adalah kontur kecepatan, vektor, dan jalur. Nilai tekanan fluida maksimum dan gaya drag berbanding lurus dengan peningkatan kecepatan aliran. Koefisien drag menurun seiring dengan peningkatan free stream dengan persentase penurunan sebesar 2,48%. Nilai rata-rata koefisien drag (CD) dari penelitian ini adalah 0,318. Data kuantitatif ditampilkan untuk memberikan penjelasan visual yang lebih baik tentang efek aliran sungai. Data kualitatif yang ditampilkan dalam makalah ini adalah kontur kecepatan, vektor, dan jalur. Nilai tekanan fluida maksimum dan gaya drag berbanding lurus dengan peningkatan kecepatan aliran. Koefisien drag menurun seiring dengan peningkatan free stream dengan persentase penurunan sebesar 2,48%. Nilai rata-rata koefisien drag (CD) dari penelitian ini adalah 0,318.

Kata Kunci : aerodinamika, tekanan fluida maksimum, gaya hambat, koefisien hambatan

1. PENGANTAR

Desain bodi kendaraan dibuat dengan mempertimbangkan berbagai aspek aerodinamis seperti gaya *drag* dan *lift*. Gaya *drag* dan *lift* dianggap sebagai gaya aerodinamis yang timbul dari aliran melalui aerofoil. Gaya-gaya tersebut mempengaruhi tekanan, kecepatan, dan nilai koefisien *drag* dan *lift* pada bodi kendaraan yang dihasilkan. Gaya angkat tersebut dapat mengakibatkan berkurangnya gesekan antara ban kendaraan dengan jalan sehingga akselerasi kendaraan dapat terganggu. Gaya *drag* menyebabkan efek pengurangan kecepatan pada kendaraan. Beberapa faktor yang menyebabkan gaya *drag* dan *lift* antara lain kecepatan aliran, luas penampang, bentuk dan berat kendaraan. Aspek aerodinamis suatu kendaraan merupakan salah satu parameter terpenting dalam perancangan otomotif, karena akan mempengaruhi besarnya konsumsi bahan bakar, stabilitas kendaraan, tekanan dinamis aliran sungai dan luas permukaan kendaraan [1]. Gaya hambat yang terjadi pada kendaraan saat berakselerasi meningkat seiring dengan kecepatan, tahanan perputaran roda dan pengaruh gesekan *driveline*. Konsumsi bahan bakar dan kecepatan kendaraan secara bertahap meningkat sehingga penting untuk mengurangi hambatan aerodinamis pada kendaraan [2].

Pada saat kendaraan berakselerasi pada kecepatan tertentu, kekentalan udara bergerak menuju bodi kendaraan dan mendekati permukaan bodi sehingga

menimbulkan lapisan batas. Partikel udara yang cukup dekat dengan permukaan akan diperlambat oleh gesekan dan kecepatannya akan mendekati nol. Kecepatan pada lapisan batas akan meningkat secara perlahan hingga mencapai kecepatan aliran bebas. Di luar lapisan batas, udara dengan kecepatan aliran bebas dapat dimodelkan sebagai aliran inviscid yang tidak memiliki gesekan, konduktivitas termal atau difusi [3]. Aliran inviscid di sekitar bodi kendaraan menyebabkan tekanan ke dalam lapisan batas. Tekanan dalam aliran terus berlanjut hingga mencapai bagian belakang kendaraan dan aliran mengalami turbulensi. Turbulensi di bagian belakang ini disebut *wake*. Daerah bangun yang terjadi disebabkan oleh interaksi viskos antara fluida dengan permukaan tubuh kendaraan [4]. Pemisahan aliran menyebabkan perbedaan antara bodi kendaraan atas dan bawah. Aliran daerah atas memiliki kecepatan yang rendah karena gesekan antara molekul udara dan daerah di bawahnya memiliki kecepatan tinggi dan tekanan terendah dibandingkan dengan kondisi atmosfer [5].

Pemasangan aksesoris aerodinamis pada bodi kendaraan dapat meningkatkan kinerja aerodinamis. Penggunaan aksesoris aerodinamis dapat menurunkan koefisien *drag* [6]. *Spoiler* merupakan salah satu aksesoris aerodinamis yang paling banyak digunakan yang memiliki kemampuan untuk mengurangi zona tekanan rendah di belakang kendaraan dan mengurangi turbulensi yang mengarah pada pengurangan *drag* [7]. Sayap belakang digunakan untuk mencegah gaya angkat dan aliran turbulen, juga dapat menghasilkan *downforce*. Oleh karena itu, performa menikung meningkat dan slip antara ban dan jalan dapat dikurangi [8]. Di sisi lain, sayap belakang dapat meningkatkan stabilitas dan keamanan kendaraan pada kecepatan tinggi dan kecenderungan untuk mengangkat pada kecepatan tinggi dapat diminimalkan [9]. Aksesoris lain seperti *diffuser* dapat menghasilkan aliran yang lebih cepat di bawah bodi kendaraan yang juga menghasilkan jumlah *downforce* yang lebih tinggi [10]. Dalam beberapa kasus, modifikasi pada bentuk kendaraan saat ini dapat mengarah pada optimasi aerodinamis. Modifikasi sudut kemiringan kaca belakang mampu menurunkan nilai koefisien *drag* [11].

Terowongan angin eksperimental dan simulasi dinamika fluida komputasi (CFD) adalah dua metode utama yang dapat menguji efek aerodinamis kendaraan. Hasil antara pengujian eksperimental terowongan angin dan simulasi CFD memiliki kesalahan relatif rata-rata kurang dari 4%. Oleh karena itu, hasil simulasi CFD dapat diandalkan dan dapat digunakan pada berbagai kondisi yang berbeda untuk analisis detail [12]. Simulasi CFD dapat memberikan hasil yang detail secara kualitatif dan kuantitatif. Hasil yang diperoleh dari simulasi CFD sering dibandingkan dengan hasil simulasi penelitian sejenis lainnya untuk memvalidasi simulasi saat ini telah dilakukan dengan benar atau tidak. CFD dapat mengukur *downforce*, *drag*, dan *lift* pada berbagai kecepatan kendaraan dan menunjukkan hubungan di antara keduanya [13].

Setiap jenis mobil memiliki nilai gaya aerodinamis yang berbeda karena

perbedaan desain, dimensi dan luas penampang. Efek aliran sungai di sekitar mobil listrik Tobacco Style M-164 dibahas dalam makalah ini. Pengaruh tersebut dapat diamati dengan data kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif yang digunakan sebagai data terukur adalah *Maximum Fluid Pressure*, *Drag Force*, dan *Coefficient of Drag* (CD). Data kuantitatif ditampilkan untuk memberikan penjelasan visual yang lebih baik tentang efek aliran sungai. Data kualitatif yang ditampilkan dalam makalah ini adalah kontur kecepatan, vektor, dan jalur.

2. METODE DAN BAHAN

Penelitian ini menyimulasikan mobil listrik 3d Tobacco Style M-164 dalam kondisi tunak, ditunjukkan pada Gambar 1. Domain *meshing* dari simulasi mengacu pada studi eksperimental sebelumnya [14] ditunjukkan pada Gambar 2. Desain mobil 3d disimulasikan dalam berbagai kecepatan, yaitu 50 km/jam, 60 km/jam, 70 km/jam, dan 80 km/jam. Desain mobil telah dibangun dalam perangkat lunak CAD komersial. Dimensi mobil listrik 3d Tobacco Style M-164 dalam tulisan ini mengacu pada peraturan Kompetisi Mobil Listrik Indonesia XI, sebuah acara tahunan yang diadakan untuk memfasilitasi kreativitas mahasiswa dalam penelitian dan pengembangan mobil listrik. Dimensi mobil dan bagian uji ditunjukkan pada Tabel 1.

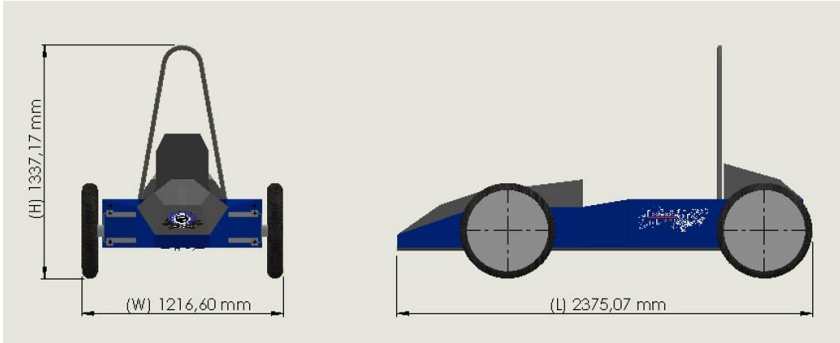
Tabel 1: *Dimension of car and test section.*

AREA	DIMENSI	NILAI
Mobil	<i>Length (L)</i>	2.3 m
	<i>Width (W)</i>	1.15 m
	<i>Height (H)</i>	1.33 m
Seksi Uji	L	23 m
	W	4.6 m
	H	3.45 m

Area batas digambar dalam bentuk lengkap menggunakan CFD *software* dengan dimensi pada Gambar 2. *Meshing* merupakan proses penting dalam studi simulasi numerik ini. Simulasi ini menggunakan model mesh tetrahedron. *Meshing* yang diterapkan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3. Kondisi batas yang digunakan dalam simulasi CFD ini ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2: *Boundary condition.*

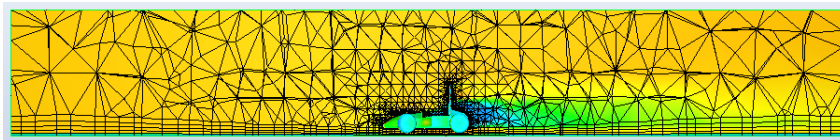
BOUNDARY LAYER	INPUT	NILAI
<i>Fluid</i>	ρ	1.204 kg/m ³
	μ	1.825 x 10 ⁻⁵ kg/m.s
<i>Inlet</i>	<i>Velocity inlet</i>	50, 60, 70, 80 km/h
<i>Outlet</i>	<i>Outflow</i>	
<i>Turbulence model</i>	SST k-omega	



Gambar 1: Geometri mobil listrik Tobacco Style M-164.



Gambar 2: Computational domain



Gambar 3: Computational mesh

3. HASIL & PEMBAHASAN

Hasil simulasi numerik dibandingkan dengan simulasi penelitian serupa sebelumnya [6] untuk memvalidasi hasilnya. Proses validasi simulasi numerik menggunakan udara sebagai inlet dengan kecepatan 80 km/jam. Percobaan sebelumnya menunjukkan hasil $CD = 0,55$ dan gaya hambat = 225,64 N dan penelitian simulasi kali ini $CD = 0,315$ dan gaya hambat = 49,69 N. Perbedaan hasil tersebut disebabkan oleh dimensi kendaraan pada penelitian simulasi ini berukuran lebih kecil dengan bentuk yang relatif sama dengan kendaraan percobaan sebelumnya. Hal inilah yang menyebabkan CD dan gaya hambat dari percobaan sebelumnya memiliki nilai yang lebih tinggi dari penelitian simulasi yang sekarang sesuai dengan persamaan CD seperti yang ditunjukkan pada persamaan 1.

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_F \cdot V^2} \quad (1)$$

with,

- C_D : Coefficient of drag
 F_D : Drag force [Newton]
 ρ : Density [kg/m³]
 A_F : Frontal area [m²]
 V^2 : Velocity [m/s]

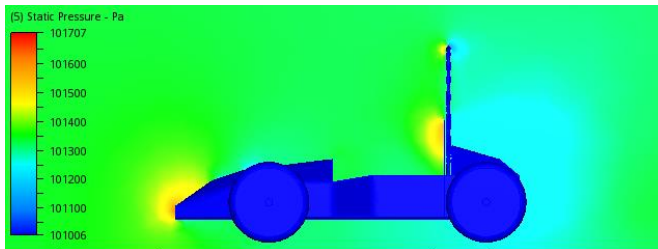
Berdasarkan data kuantitatif yang diperoleh dari hasil pengujian simulasi numerik dengan berbagai kecepatan yaitu 50, 60, 70 dan 80 km/jam ditunjukkan pada Tabel 3. Data yang diperoleh dari hasil simulasi adalah *Maximum Fluid Pressure, Drag Force, dan Coefficient Of Drag (CD)*.

Tabel 3: Data Hasil

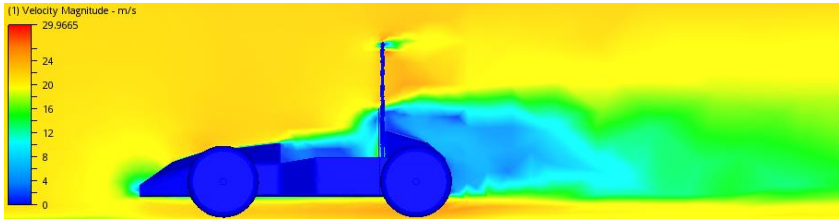
VELOCITY (KM/H)	MAX. FLUID PRESSURE (PASCAL)	DRAG FORCE (NEWTON)	CD
50	101485	19.926	0.323
60	101558	28.216	0.318
70	101643	38.276	0.316
80	101707	49.698	0.315

3.1 Tekanan fluida maksimum

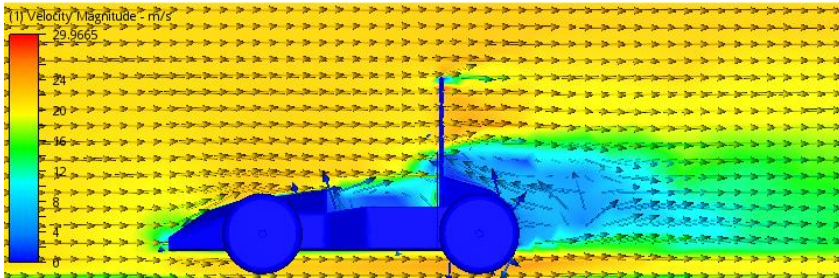
Tekanan fluida maksimum adalah tekanan atmosfer lokal atau tekanan statis yang memiliki nilai tertinggi pada permukaan mobil dan dapat dilihat daerah mana yang paling kritis untuk mendapatkan tekanan statis. Simulasi ini menggunakan aliran inkompresibel. Kontur tekanan statis di dalam mobil ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4: Kontur tekanan di sekitar mobil dalam 80 km/jam

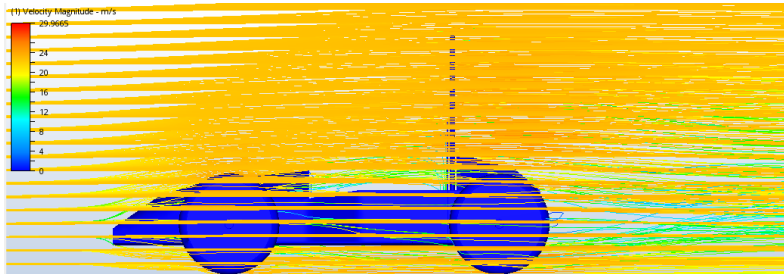


Gambar 5: Kontur kecepatan di sekitar mobil dalam 80 km/jam

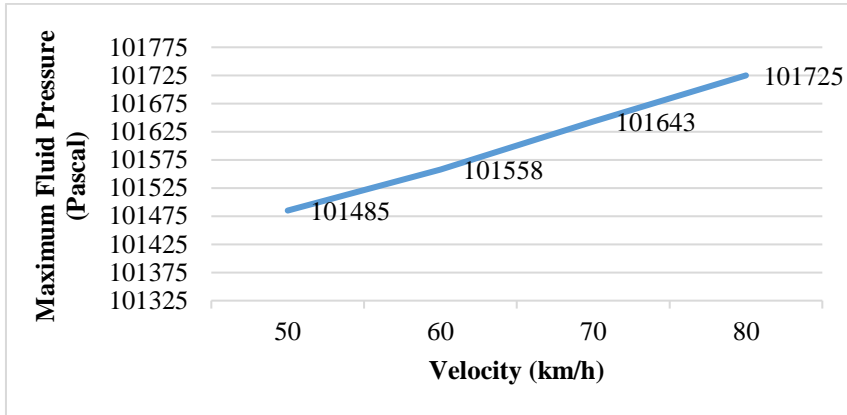


Gambar 6: Vektor kecepatan di sekitar mobil dalam 80 km/jam.

Dari Gambar 4 terlihat bahwa ujung depan bodi, ban depan, lengan depan, bagian atas jok pengemudi dan *rollbar* memiliki tekanan statis paling kritis dan ditandai dengan warna merah. Hal ini menunjukkan bahwa bagian merah memiliki tekanan statis yang lebih tinggi dari bagian lain disertai dengan penurunan kecepatan aliran udara lokal. Dapat juga dilihat bahwa beberapa bagian mobil memiliki tekanan statis di bawah tekanan total atau tekanan atmosfer dan ditandai dengan warna biru. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya aliran udara lokal dan menyebabkan vakum, pemisahan aliran dan bangun terutama di bagian belakang mobil. *Wake* ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Pemisahan aliran menyebabkan perbedaan antara badan kendaraan atas dan bawah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Aliran daerah atas memiliki kecepatan rendah karena gesekan antara molekul udara.



Gambar 7: Jalur di sekitar mobil dengan kecepatan 80 km/jam

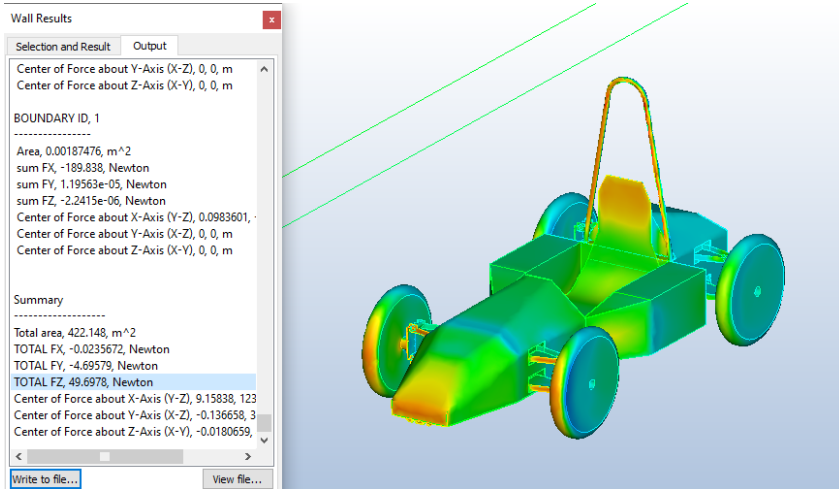


Gambare 8: Grafik tekanan dan kecepatan fluida maksimum.

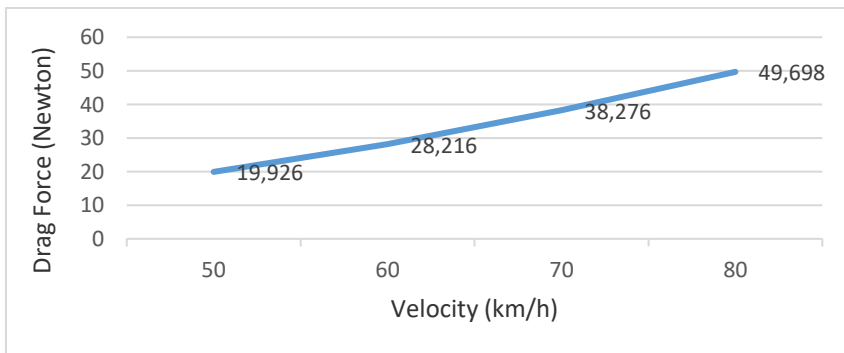
Gambar 8 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan tekanan fluida maksimum seiring dengan peningkatan kecepatan aliran. Tekanan fluida maksimum terendah adalah 101482 Pascal pada 50 km/jam dan tekanan fluida maksimum tertinggi adalah 101736 Pascal pada 80 km/jam. Kenaikan tekanan fluida maksimum yang disebabkan oleh peningkatan kecepatan aliran udara lokal. Dengan luas frontal yang tetap, menyebabkan perubahan kecepatan aliran udara lokal yang berbeda pada setiap kecepatan aliran.

3.2 Gaya Hambat (Drag)

Performa suatu mobil melalui efek aerodinamis berhubungan dengan konsumsi bahan bakar yang artinya semakin tinggi gaya *drag* maka semakin besar pula hambatan yang diterima, sehingga konsumsi bahan bakar akan semakin besar. Dalam hal ini, konsumsi bahan bakar dapat dikurangi dengan menciptakan desain kendaraan yang mempertahankan aerodinamis yang baik untuk meminimalkan gaya *drag*. Dari hasil pengujian yang diperoleh, gaya hambat ditunjukkan pada arah Z. Gaya hambat ini merupakan gaya hambat total bentuk arah Z yang digunakan untuk perhitungan CD sesuai dengan persamaan 1. Besaran gaya hambat diketahui dengan mengklik menu perhitungan dinding pada software CFD yang digunakan dalam penelitian ini. Semua permukaan mobil dihitung untuk mendapatkan gaya hambat total yang merupakan rata-rata gaya hambat mobil. Hasil perhitungan dinding ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9: Perhitungan gaya *drag* di permukaan mobil dalam 80 km/jam.



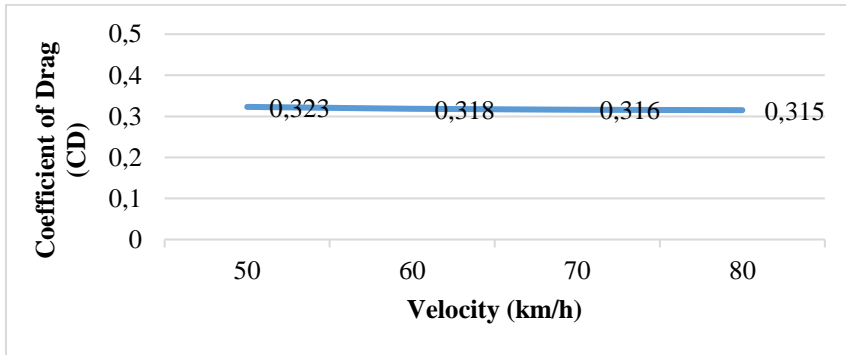
Gambar 10: Grafik gaya hambat dan kecepatan.

Gambar 10 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan gaya hambat seiring dengan peningkatan kecepatan aliran. Hal ini terjadi karena gaya hambat berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan sehingga gaya hambat akan bertambah. Akibatnya, terjadi perubahan kecepatan aliran udara lokal pada setiap kecepatan aliran. Gaya hambat terendah adalah 19,926 Newton pada 50 km/jam dan gaya hambat tertinggi adalah 49,698 Newton pada 80 km/jam.

3.3 Koefisien *Drag* (C_D)

Koefisien *drag* merupakan salah satu aspek terpenting dalam aerodinamis karena berkaitan dengan *drag force* yang artinya dapat mempengaruhi konsumsi bahan bakar kendaraan. C_D kendaraan yang lebih kecil, berarti konsumsi bahan

bakar yang lebih rendah dan performa mobil yang lebih baik. Setiap kendaraan diharapkan memiliki CD yang lebih rendah karena dipengaruhi oleh nilai gaya hambat yang diterima kendaraan tersebut [15]. Hal ini disebabkan hambatan aliran yang diterima kendaraan pada kecepatan aliran tertentu akan semakin kecil jika gaya *drag* yang dihasilkan semakin kecil sehingga akan mempengaruhi koefisien *drag*.



Gambar 11: Grafik koefisien hambatan dan kecepatan.

Gambar 11 menunjukkan bahwa CD menurun dengan meningkatnya kecepatan aliran. Hal ini terjadi karena input yang digunakan untuk menghitung CD seperti frontal area dan *flow density* tetap sama sedangkan *drag force* meningkat secara proporsional dengan kecepatan *flowstream*. Koefisien drag berbanding terbalik dengan *drag force* dengan meningkatnya kecepatan aliran. CD terendah 0,315 pada 80 km/jam dan CD tertinggi 0,323 pada 50 km/jam. Koefisien drag menurun seiring dengan peningkatan kecepatan aliran dengan persentase penurunan sebesar 2,48%. Nilai rata-rata CD dari penelitian ini adalah 0,318.

Jika diasumsikan kendaraan yang ideal memiliki CD yang lebih rendah dari penelitian simulasi ini, maka mobil listrik Tobacco Style M-164 masih perlu perbaikan lebih lanjut untuk mendapatkan CD yang lebih kecil dan untuk mencapai efisiensi yang lebih tinggi. Dengan adanya informasi yang berkaitan dengan koefisien *drag* dapat dijadikan sebagai bahan acuan dalam aspek desain desain model kendaraan. Dengan CD yang lebih rendah, kendaraan dapat memiliki hambatan aliran yang lebih sedikit dan mengemudi dengan lebih mudah yang dapat mengarah pada peningkatan efisiensi konsumsi bahan bakar.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi mengenai pengaruh variasi kecepatan aliran yang telah dilakukan secara numerik, dapat disimpulkan bahwa pemisahan aliran menyebabkan perbedaan tekanan dan kecepatan pada bagian atas dan bawah badan kendaraan. Daerah bawah memiliki tekanan dan kecepatan yang lebih rendah dibandingkan dengan kondisi atmosfer sedangkan daerah atas memiliki

tekanan dan kecepatan yang lebih tinggi. Kondisi ini terjadi karena area di bawahnya vakum dan memiliki hambatan yang lebih kecil daripada area atas, sehingga menimbulkan efek suction sehingga udara dapat mengalir dengan kecepatan tinggi. Pekerjaan ini juga menginformasikan bahwa gaya hambat berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan. Semakin besar gaya hambat yang terjadi, semakin besar hambatan yang diterima kendaraan dan menyebabkan konsumsi bahan bakar semakin banyak. Koefisien drag dalam penelitian ini adalah sekitar 0,318.

5. PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat dan izin-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian simulasi ini. Terima kasih juga kepada tim mobil listrik Tobacco Style M-164 atas kesediaannya menjadikan mobil listrik Tobacco Style M-164 sebagai objek penelitian.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] SUTANTRA, I. N., & SAMPURNO, B., *Teknologi Otomotif*, 2 ed., Surabaya, Guna Widya, 2010.
- [2] KATZ, J., *Automotive Aerodynamics*, 1 ed., West Sussex, John Wiley & Sons, Ltd, 2016.
- [3] ANDERSON, J. D., *Fundamentals of Aerodynamics*, 5 ed., New York, McGraw-Hill, 2011.
- [4] MUNSON, B. R., OKIISHI, T. H., HUEBSCH, W. W., ROTHMAYER, A. P., *Fundamentals of Fluid Mechanic*, 7 ed., USA, John Wiley & Sons, Ltd, 2013.
- [5] SYAMSURI, LILLAHULHAQ, Z., YUSRON, M., “Simulation of Fluid Flow Through Sedan Car YRS 4 Doors With Speed Variation Using CFD”, *Rekayasa Mesin*, v. 11, n. 3, pp. 395-400, 2020.
- [6] DHARMAWAN, M. A., UBAIDILLAH, NUGRAHA, A. A., *et al.*, “Aerodynamic analysis of formula student car”, In: *AIP Conference Proceedings: The 3rd International Conference on Industrial, Mechanical, Electrical, and Chemical Engineering*, v. 1931, pp. 030048-1 – 030048-8, Feb. 2018.
- [7] NATH, D. S., PUJARI, P. C., JAIN, A., *et al.*, “Drag Reduction by Application of Aerodynamic Devices in a Race Car”, *Advances in Aerodynamics*, v. 3, n. 4, pp. 1-20, Jan. 2021.
- [8] DHARMAWAN, M. A., TIAHJANA, D. D. P., KRISTIAWAN, B., *et al.*, “Design and aerodynamics analysis of rear wing formula student car using 3 dimension CFD (computational fluid dynamics)“, In: *AIP Conference Proceedings: The 5th International Conference on Industrial, Mechanical,*

- Electrical, and Chemical Engineering*, v. 2217, pp. 030166-1 – 030166-7, Apr. 2020.
- [9] DEY, S., & SAHA, R., “CFD study on aerodynamic effects of NACA 2412 airfoil as rear wing on a sports car”, In: *International Conference on Mechanical, Industrial, and Energy Engineering*, 125, Khulna, Bangladesh, 23-24 December 2018.
- [10] OXYZOGLOU, I., *Design & development of an aerodynamic package for a FSAE race car*, M.Sc. Degree, University of Thessaly, Volos, Greece, 2017.
- [11] YUSUF, A., *Analisa aerodinamika dan optimasi body mobil smart ev generasi tiga dengan menggunakan pemodelan cfd tiga dimensi*, In: Final Project – 0586/TA/S1/01/2015, Universitas Sebelas Maret, Solo, 2017.
- [12] WANG, J., LI, H., LIU, Y., *et al.*, “Aerodynamic research of a racing car based on wind tunnel test and computational fluid dynamics”, In: *MATEC Web of Conferences: The 4th International Conference on Mechatronics and Mechanical Engineering*, v. 153, pp. 04011-1 – 04011-5, Feb. 2018.
- [13] KAJIWARA, S., “Passive Variable Rear-wing Aerodynamics of an Open-wheel Racing Car”, *Automotive and Engine Techniology*, v. 2, pp. 107-117, Aug. 2017.
- [14] MADHARIA, P., TIWARI, M. M., RAVI, K., “Computational Simulation of Ahmed Body with Varying Nose radius, Ground height, & Rear Slant angle”, *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, v. 3, n. 5, pp. 925-932, May 2015.
- [15] HASUGIAN, T. D., *Simulasi aerodinamika pada mobil listrik nogogeni dengan menggunakan software ansys fluent*, In: Final Project – TM 145502, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2018.

KAJIAN FAKTOR DUKUNGAN ORGANISASI DALAM RANGKA PENINGKATAN EFEKTIVITAS PELAKSANAAN E-GOVERNMENT DI INDONESIA

Salah satu faktor utama dalam rangka peningkatan implementasi e-government dalam konteks pemerintahan di Indonesia sebagai negara berkembang adalah dukungan organisasi. Ada beberapa bentuk dukungan organisasi yang dibutuhkan oleh sistem e-government di Indonesia, terdiri dari functional simplification and closure; technology diffusion process; policy reform and innovation matter; IT Capacity and performance measurement. Semua unsur-unsur tersebut berkaitan satu sama lain sehingga disarankan untuk meminimalisir ketidakseimbangan peran dari masing-masing bentuk dukungan agar tercapai peningkatan implementasi e-government yang selaras dengan berbagai kepentingan dalam organisasi.

Rika Yuliana

Dosen

Program Studi
Teknologi Informasi

Fakultas Sains dan
Teknologi

UIN Ar-Raniry Banda
Aceh

Email:rika.yuliana@ar-raniry.ac.id

Kata kunci: Dukungan organisasi, efektivitas Implementasi e-government, Indonesia, Kajian faktor, Peningkatan.

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan bertambahnya berbagai manfaat yang dirasakan oleh masyarakat dari penggunaan system pemerintahan nasional Indonesia berbasis digital atau biasa dikenal dengan sebutan *e-government*, maka pengembangan sistem *e-government* tersebut mulai tersebar di berbagai level dan lintas sector bahkan daerah. Hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan layanan pemerintahan berbasis satu pintu yang efektif dan efisien dalam pengelolaannya. Untuk mendukung terwujudnya hal tersebut, dibutuhkan kerjasama yang secara sinergi dan berkesinambungan agar dapat mengikuti dinamika kebutuhan *stakeholder* dan

berbagai permasalahan lainnya baik teknis maupun non teknis agar kinerjanya semakin meningkat.

Peningkatan kinerja pemerintahan berbasis digital ini tidak terlepas dari peranan *good governance*. *Good governance* sering diterjemahkan sebagai tata pemerintahan yang baik atau disebut juga dengan istilah *civil society*. *Good governance* bisa juga didefinisikan sebagai suatu penyelenggaraan manajemen pembangunan, pemberdayaan, dan pelayanan yang sejalan dengan demokrasi (pemerintahan dari, oleh, dan untuk rakyat). Setidaknya sebagian besar masyarakat membayangkan bahwa dengan memiliki praktik *good governance* yang lebih baik, maka kualitas pelayanan publik menjadi semakin baik. [1]

Good governance memiliki sejumlah ciri sebagai berikut: (1) Akuntabel, artinya pembuatan dan pelaksanaan kebijakan harus disertai pertanggungjawabannya; (2) Transparan, artinya harus tersedia informasi yang memadai kepada masyarakat terhadap proses pembuatan dan pelaksanaan kebijakan; (3) Responsif, artinya dalam proses pembuatan dan pelaksanaan kebijakan harus mampu melayani semua *stakeholder*; (4) Setara dan inklusif, artinya seluruh anggota masyarakat tanpa terkecuali harus memperoleh kesempatan dalam proses pembuatan dan pelaksanaan sebuah kebijakan; (5) Efektif dan efisien, artinya kebijakan dibuat dan dilaksanakan dengan menggunakan sumberdaya-sumberdaya yang tersedia dengan cara yang terbaik; (6) Mengikuti aturan hukum, artinya dalam proses pembuatan dan pelaksanaan kebijakan membutuhkan kerangka hukum yang adil dan ditegakan; (7) Partisipatif, artinya pembuatan dan pelaksanaan kebijakan harus membuka ruang bagi keterlibatan banyak aktor; (8) Berorientasi pada konsensus (kesepakatan), artinya pembuatan dan pelaksanaan kebijakan harus merupakan hasil kesepakatan bersama diantara para aktor yang terlibat. [2]

Dalam rangka meningkatkan angka partisipatif dalam sistem *e-government* di Indonesia, maka diperlukan beberapa aspek terkait dalam bentuk dukungan organisasi yang akan dijelaskan lebih lanjut berikut ini. Bentuk dukungan organisasi ini merupakan komponen besar ketiga selain dari kajian *IT Governance* [3] dan kajian kesiapan lingkungan [4] untuk meningkatkan implementasi *e-government* di Indonesia. Keempat hal dukungan organisasi tersebut terdiri dari *functional simplification and closure; technology diffusion process; policy reform and innovation matter; IT Capacity and performance measurement*. Semua hal ini harus ditingkatkan secara berkelanjutan dan terintegrasi antar berbagai pihak terkait di dalamnya.

2. FUNCTIONAL SIMPLIFICATION AND CLOSURE

Sementara literatur *e-government* sebagian besar memperlakukan artefak TIK sebagai katalis linier transformasi organisasi dan struktur sektor publik, TIK bukanlah alat sederhana yang secara langsung memungkinkan untuk meningkatkan produktivitas organisasi. TIK mencakup properti yang memungkinkan untuk membongkai hubungan kausal dari praktik organisasi, peristiwa, dan proses yang mereka mediasi. TIK tidak hanya menawarkan dukungan netral untuk melaksanakan kegiatan organisasi yang ada dengan lebih

baik, melainkan menawarkan cara baru untuk menyusun dan menggabungkan urutan tindakan logis yang telah ditentukan sebelumnya yang memetakan prosedur dan praktik organisasi yang ingin mereka mediasi. Akibatnya, TIK membangun satu set baru dari urutan terstruktur dan saling ketergantungan yang mengatur cara prosedur dan proses organisasi dijalankan. Oleh karena itu, TIK membawa sifat regulatif yang menyusun tatanan sosial dan organisasi, menyediakan sarana interaksi sosial yang stabil dan terstandarisasi yang dibentuk menjadi fungsionalitas teknis sistem. Urutan dan alur kerja dideskripsikan ke dalam fungsi teknologi, menjadikan pengurangan kompleksitas dalam hubungan kausal atau instrumental yang distandarisasi dan distabilkan dalam skrip salah satu karakteristik penting dari teknologi informasi. Desain suatu sistem mencakup kausalitas relasional seperti yang dijelaskan dalam skrip teknologi dan pada saat yang sama mengecualikan kausalitas lain yang mungkin dengan tidak memasukkan ketergantungan relasional ke dalam skrip yang sama. Hal ini adalah karakteristik mendasar dari TIK yang dihasilkan dari efek gabungan dari *functional simplification and closure*. [5]

Konsep *functional simplification and closure* adalah perangkat analitis yang kuat yang memberikan pemahaman tentang apa esensi dari teknologi informasi, ketika dikontekstualisasikan dalam sistem sosial dimana teknologi tersebut digunakan. *Functional simplification and closure* adalah proses di mana otomatisasi operasi atau fungsi dibentuk dalam substrat material teknologi. Karena teknologi harus dirancang untuk melakukan fungsi tertentu, konsep *functional simplification and closure* dapat membantu menjelaskan logika performatif apa yang tertanam dalam suatu teknologi, dan bagaimana operasi standarisasi dan otomatisasi tugas dimodelkan untuk memungkinkan teknologi melakukan fungsi-fungsinya. TIK telah dirancang untuk mengaburkan rantai kausal yang menghubungkan peristiwa organisasi tertentu dan operasionalisasi tugas dengan menanamkan *functional simplification and closure* dalam artefak untuk menjelaskan karakter penting teknologi. [5]

Penyederhanaan fungsional (*functional simplification*) mewujudkan logika operasional yang mendasari bagaimana teknologi mendefinisikan domain masalah yang diterapkannya dan langkah-langkah yang perlu diambil untuk memecahkan domain masalah itu. Penyederhanaan fungsional adalah proses di mana teknologi informasi memecah tugas atau masalah menjadi serangkaian operasi yang perlu dilakukan secara berurutan untuk menyelesaikannya. Mendefinisikan penyederhanaan fungsional suatu teknologi menyiratkan penjelasan tentang segmen operasi bahwa teknologi informasi terkait dengan menanamkan, melakukan dan standarisasi. Ketika teknologi informasi menstandarisasi urutan operasi, artinya TI mencoba untuk menguraikan dan mengaburkan operasi dari domain lokal yang berantakan dan dari dunia sosial yang akan diterapkannya. TI mencoba untuk mengurangi kompleksitas dunia dengan menangkap rantai kausal penting yang diperlukan untuk menghasilkan output ke dalam fungsinya. [5]

Penutupan fungsional (*functional closure*) adalah pelengkap yang diperlukan untuk penyederhanaan fungsional. Proses konstruksi teknologi tentu

memerlukan isolasi dan black-boxing dari operasi berurutan, memastikan pelaksanaannya dilindungi dari gangguan eksternal. Sebuah teknologi informasi bekerja sehingga operasi standar dapat dieksekusi secara otomatis. Otomatisasi operasi yang dijalankan oleh teknologi informasi menyiratkan bahwa operasi mempertahankan karakter otonom. Sementara teknologi informasi berinteraksi dengan pengguna, komputasi terus dijalankan sebagai hasil dari interaksi pengguna yang berlangsung dalam isolasi sampai suatu keluaran dihasilkan. Teknologi informasi seringkali responsif terhadap interaksi dengan pengguna tetapi hanya pada langkah-langkah tertentu dari alur tugas (yaitu input data, konfirmasi perintah, dll.), sedangkan operasi yang terjadi antara satu langkah interaksi dan langkah lainnya adalah kotak hitam dan independen dari pengguna. [5]

Proses konstruksi teknologi melalui *functional simplification and closure* memiliki konsekuensi yang luas terhadap pengaturan organisasi. Setelah prosedur dan protokol organisasional telah didelegasikan ke otomatisasi teknologi, abstraksi yang dihasilkan oleh penyederhanaan fungsional menyiratkan bahwa prosedur dan protokol, pada tingkat tertentu, terisolasi dari pengaturan organisasi tempat mereka berasal. Selain itu, substrat teknologi untuk pelaksanaan prosedur dan protokol terbuka untuk diatur melalui resep, spesifikasi profil keterampilan dan persyaratan serta pembentukan peran sehingga mampu menstabilkan dan membentuk sebuah interaksi sosial. [5]

Esensi dari teknologi informasi perlu dijelaskan berdasarkan kombinasi dari *functional simplification and closure* dan bukan oleh salah satu dari keduanya saja, karena masing-masing konsep menyangkut aspek yang berbeda dan terbatas pada operasionalisasi fungsional dari teknologi informasi. Hanya secara bersama-sama dari kedua konsep tersebut maka dapat didefinisikan sebuah operasi dalam teknologi informasi. [5]

3. TECHNOLOGY DIFFUSION PROCESS

Pemerintahan elektronik (*e-government*) telah ditetapkan sebagai mekanisme yang efektif untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi pemerintah dan merupakan faktor kunci dari layanan yang berpusat pada warga. Namun, implementasi *e-government* dikelilingi oleh isu-isu teknologi, pemerintahan dan sosial, yang harus dipertimbangkan dan diperlakukan dengan hati-hati untuk memfasilitasi perubahan ini. Oleh karena itu, beberapa faktor perlu diidentifikasi untuk menentukan apakah warga akan mengadopsi layanan *e-government* dan dengan demikian membantu pemerintah dalam mengakses apa yang diperlukan untuk meningkatkan adopsi/difusi. Layanan *e-government* tidak dapat meningkatkan penyampaian layanan publik jika tidak digunakan oleh publik. Mengidentifikasi faktor-faktor tersebut akan meningkatkan kemungkinan peningkatan tingkat adopsi/difusi layanan ini dengan memperdalam pengetahuan tentang faktor-faktor yang memfasilitasi, atau menghambat proses adopsi/difusi. [6]

Difusi *e-government* menjadi isu yang semakin penting dalam bidang *e-government*, terutama hal-hal yang berkaitan dengan dinamika, mekanisme dan

proses difusi. Pertama, dinamika difusi *e-government* merupakan penggerak fundamental dalam difusi *e-government*. Untuk memahami dinamika difusi *e-government* secara lebih lengkap, diperlukan kerangka dinamika yang komprehensif. Kerangka kerja semacam itu akan terdiri dari "kekuatan dorong" dan "kekuatan tarik". Adopsi layanan *e-government* oleh masyarakat dapat meningkatkan tingkat difusi *e-government* dan terus mendorong inovasi *e-government*. Kedua, mekanisme yang berbeda mampu memotivasi keputusan instansi pemerintah untuk mengadopsi sistem dan aplikasi *e-government*. Ada mekanisme khusus yang menyebabkan sistem dan aplikasi *e-government* tersebar dari satu instansi pemerintah ke instansi pemerintah lainnya, yaitu mekanisme imitasi dan pembelajaran. Ketiga, Proses difusi merupakan isu penting dalam difusi *e-government*. Difusi ide-ide baru dapat terjadi baik secara terencana (atau proses difusi formal) atau proses spontan (atau proses difusi informal), terfokus pada tingkat nasional dan yang sejenisnya, yang dapat berasal dari lembaga intra-pemerintah atau lembaga pihak ketiga. [7]

Namun, meskipun beberapa negara berkembang telah menerapkan reformasi dan program yang masuk akal yang seharusnya mendapat manfaat dari potensi besar TIK, tantangan faktor ekonomi seperti kemiskinan dan pendapatan rendah ditambah dengan hambatan sosial seperti akses yang lebih rendah ke pendidikan, terus berkontribusi pada kesenjangan *e-government* di tingkat global dan bahkan regional. [8]

Sebuah riset menunjukkan bahwa infrastruktur TIK, keahlian TIK dan lingkungan peraturan jauh lebih penting di pemerintah daerah daripada di pemerintah pusat. Di pemerintah daerah, konteks teknologi adalah perhatian utama untuk asimilasi *e-government*. Pemerintah daerah dengan infrastruktur TIK yang tidak memadai adalah masalah yang signifikan. Keahlian TIK yang tidak memadai di pemerintah daerah menunjukkan kurangnya sumber daya manusia yang mumpuni. Pemerintah pusat cenderung memiliki keunggulan dibandingkan pemerintah daerah karena infrastruktur TIK dan keahlian TIK lebih tersedia. Lingkungan peraturan memiliki dampak yang signifikan terhadap asimilasi *e-government* di pemerintah daerah daripada di pemerintah pusat. Pemberlakuan undang-undang pemerintah daerah telah menggeser kewenangan dari pemerintah pusat ke provinsi, kabupaten dan kota yang memerlukan reformasi substansial dalam lingkungan peraturan pemerintah daerah. Temuan ini menegaskan bahwa perhatian diperlukan ketika menganalisis dan menetapkan kebijakan yang berbeda tentang asimilasi *e-government* di pemerintah pusat dan daerah. [9]

Pada dasarnya, difusi diartikan sebagai proses dimana suatu inovasi dikomunikasikan melalui saluran tertentu dari waktu ke waktu ke antara anggota sistem sosial. Perhatian utama dari difusi inovasi terletak pada bagaimana inovasi diadopsi serta alasan di balik inovasi diadopsi pada tingkat yang berbeda. Ada empat elemen utama dari difusi yaitu inovasi, waktu, komunikasi, dan sistem sosial. Keputusan individu apakah akan menggunakan teknologi didasarkan pada persepsi teknologi seperti kompatibilitas, keuntungan relatif, citra dan kompleksitas. Studi menunjukkan beberapa hal sebagai berikut terkait persepsi teknologi:

1. Tingkat kompatibilitas yang dirasakan lebih tinggi akan berhubungan positif dengan tingkat niat yang lebih tinggi untuk menggunakan layanan *e-government*;
2. Tingkat keuntungan relatif yang dirasakan lebih tinggi akan berhubungan positif dengan tingkat niat yang lebih tinggi untuk menggunakan layanan *e-government*;
3. Tingkat persepsi citra yang lebih tinggi akan berhubungan positif dengan tingkat niat yang lebih tinggi untuk menggunakan layanan *e-government*;
4. Tingkat kompleksitas yang dirasakan lebih tinggi akan berhubungan negatif dengan tingkat niat yang lebih tinggi untuk menggunakan layanan *e-government*.

Hal ini memiliki arti bahwa jika individu mempersepsikan suatu inovasi tidak konsisten dengan praktiknya saat ini, maka individu tersebut akan cenderung lebih tidak yakin tentang manfaat yang diharapkan dari inovasi tersebut. Disamping itu, prestise sosial yang dihadirkan inovasi kepada pengadopsinya mungkin merupakan satu-satunya manfaat yang diterima pengadopsi. Hal ini dapat meningkatkan status sosial mereka dan memungkinkan mereka untuk menjadi panutan bagi warga lanjut usia lainnya yang belum mengadopsi layanan *e-government* ini. [6]

4. POLICY REFORM AND INNOVATION

Sistem *e-government* merupakan salah satu kebijakan fundamental yang dapat mengubah kualitas pelayanan publik dari konvensional menjadi modern. Kebijakan *e-government* harus menjadi salah satu bagian terpenting dari keseluruhan agenda reformasi birokrasi. Ini bisa menjadi salah satu cara untuk mengubah paradigma administrasi publik dari konvensional menjadi lebih maju. Setiap kebijakan mengenai program reformasi birokrasi mengatur secara khusus masalah *e-government*. Implementasinya berkaitan dengan reformasi kebijakan administrasi publik. Dengan implementasi reformasi kebijakan ini, diharapkan terjadi peningkatan kualitas dan efektivitas pelayanan publik. Peningkatan kualitas pelayanan publik tidak hanya dengan menerapkan sistem *e-government*, tetapi juga dengan menerapkan konsep *e-public services* agar penyelenggaraan menjadi lebih baik. Perubahan yang diharapkan membutuhkan upaya simultan dan sinergis di berbagai bidang, seperti dukungan melalui pendanaan yang memadai dan kemauan politik yang konsisten dari pemerintah pusat dan daerah di Indonesia. Selain itu, para pejabat publik belum menyadari bahwa peningkatan tersebut juga bergantung pada faktor penting lainnya seperti dukungan finansial, pemeliharaan teknologi, budaya kerja manajemen *e-government*, serta masalah teknis lainnya. [10]

Melalui kebijakan *e-government*, pemerintah pusat telah menghimbau kepada seluruh lembaga publik untuk membangun sistem *e-government* dalam pengelolaannya. Pemerintah telah memberikan standar untuk menguji tingkat keberhasilan dan kegagalan implementasi. Kebijakan tersebut dilaksanakan dengan beberapa cara, yaitu: (i) dengan membuat beberapa peraturan dan

pedoman operasional bagi lembaga pusat dan daerah. Penolakan kebijakan dapat membawa beberapa hukuman, seperti: pengurangan anggaran pendukung dari pemerintah pusat, publikasi laporan layanan publik kategori merah, dan penghapusan insentif keuangan bagi pejabat publik; (ii) *pilot project* yang diinisiasi oleh pemerintah pusat untuk melihat kesiapan program *e-government* di tingkat daerah. Ini bertujuan untuk mempromosikan praktik terbaik dan mendorong lembaga publik untuk melakukan hal yang sama; dan (iii) dengan mempromosikan desain yang sukses dari lembaga publik untuk menjadi contoh dan standar nasional. [10]

Mengembangkan sistem *e-government* dipengaruhi oleh internal dan lingkungan eksternal. Tidak hanya bergantung pada sumber daya yang tersedia, tetapi juga terkait dengan kemauan politik pemerintah untuk mengembangkannya. Hal ini juga menunjukkan bahwa lingkungan eksternal secara keseluruhan (ekonomi, demokrasi, pendidikan, penggunaan internet, dan tekanan teman sebaya) memang mempengaruhi perkembangan *e-government*, dengan penggunaan internet, demokrasi, dan pendidikan menunjukkan pengaruh yang paling signifikan. Ekonomi juga dapat secara tidak langsung mempengaruhi *e-government* dengan mempengaruhi faktor-faktor lain. [11]

Hal-hal teknis juga berkontribusi pada kualitas fasilitas *e-government* ketika digunakan. Sebuah penelitian menyatakan bahwa persepsi tentang kemudahan penggunaan, kompatibilitas, dan kepercayaan merupakan indikator signifikan dari niat warga dalam menggunakan layanan *e-government*. Niat warga akan meningkat jika warga menganggap layanan itu mudah digunakan, intuitif, dan mudah dinavigasi. Warga akan lebih bersedia menggunakan layanan online jika layanan tersebut sesuai dengan cara mereka berinteraksi dengan orang lain. Kompatibilitas adalah faktor motivasi paling signifikan yang meningkatkan niat warga. Namun, ini berarti bahwa sistem *e-government* tidak hanya harus maju dan canggih, tetapi yang paling penting, itu harus berorientasi pelanggan. [10]

Hal terpenting yang harus dilakukan adalah pemerintah pusat dan daerah harus menyadari pergeseran paradigma dari penerapan *e-government* secara umum ke layanan *e-public*. Pemerintah tidak hanya harus transparan dan akuntabel, tetapi juga harus memberikan manfaat dan pelayanan yang maksimal kepada masyarakat secara lebih efektif. Hal pertama yang harus dilakukan adalah mengubah paradigma dan budaya kerja birokrasi di Indonesia. [10]

Pada awal prosesnya, penerapan sistem *e-government* hanya merupakan pilihan atau alternatif untuk meningkatkan kapasitas institusi pemerintah pusat dan daerah. Maka setiap lembaga publik hanya dituntut untuk memperbaiki dan meningkatkan kualitas pelayanan publiknya dengan berbagai cara. Namun demikian, sistem *e-government* sekarang telah menjadi standar wajib yang harus dipenuhi oleh pemerintah pusat dan daerah. Setiap lembaga publik menganggap sistem *e-government* sebagai salah satu bentuk inovasi pelayanan publik. Padahal sudah cukup lama diterapkan dan dikembangkan di banyak negara berkembang. [12]

Sebuah studi menjawab pertanyaan tentang bagaimana inovasi TI mempengaruhi organisasi publik secara konkret dengan cara mengeksplorasi sikap yang muncul dari pegawai pemerintah publik terhadap bentuk kerja baru melalui alat elektronik. Aspek organisasi dan sosial ekonomi serta fungsionalitas alat teknologi konkret baru akan mempengaruhi proses inovasi termasuk transformasi kerja. Analisis mengungkapkan bahwa inovasi berbasis teknologi yang mengabaikan kebiasaan dan transformasi kerja menyebabkan penolakan karyawan terhadap perubahan. Seperti yang disarankan oleh analisis penelitian tersebut, pertimbangan teoretis dalam model pembelajaran adaptif termasuk peristiwa tertentu, prosedur, sistem teknis, dan rutinitas sehari-hari yang tertanam dalam konteks kerja di setiap fase inovasi sangat penting untuk mendapatkan pandangan "gambaran besar" dari inovasi dalam organisasi publik. Studi tersebut mengekstrak empat pelajaran khusus utama dari kasus empiris sebagaimana dijelaskan sebagai berikut:

1. Karyawan harus berpartisipasi dalam fase inisiasi inovasi, tidak hanya sebagai 'penerima' informasi, tetapi dengan berperan aktif dalam desain inovasi. Ini berarti membangun dialog untuk mengkomunikasikan dan membuat kebutuhan organisasi dan pengguna alat elektronik baru.
2. Selama fase implementasi, desain teknologi harus mempertimbangkan pembelajaran sosial spesifik dari alat tersebut dalam praktik kerja karyawan. Ini termasuk koneksi fleksibel dengan alat yang ada dan dengan departemen yang berbeda.
3. Adaptasi organisasi dalam bentuk pelatihan harus dikembangkan berdasarkan kebutuhan kerja karyawan. Isi pelatihan harus dipertimbangkan dari perspektif jangka panjang dan bukan hanya sebagai ukuran tepat waktu. Inovasi sosial seperti bantuan timbal balik yang tersedia terus-menerus antara karyawan dapat meningkatkan dukungan dan motivasi untuk penggunaan alat ini.
4. Masalah fungsionalitas yang muncul dengan alat dalam praktik kerja sehari-hari harus didiskusikan secara teratur antara aktor desain teknologi, karyawan, pemimpin tim, dan manajer untuk terus meningkatkan dukungan terhadap inovasi. Keterlibatan pribadi dari aktor yang berbeda dapat meningkatkan dukungan untuk inovasi sebagai pengganti dari tindakan standarisasi yang sering diabaikan atau penyampaian informasi belaka. [13]

5. DIGITAL CAPACITY AND PERFORMANCE MEASUREMENT

Berdasarkan sebuah kajian mengenai hal-hal yang mempengaruhi implementasi *e-government*, ada 5 faktor yang dapat meningkatkan *e-government capacity building*. Kelima faktor tersebut terdiri dari kebijakan yang mendukung, struktur organisasi, sumber daya keuangan, rencana strategis, partisipasi warga negara, dan sistem pemantauan dan evaluasi. Istilah kebijakan publik mengacu pada tindakan dan maksud dari kebijakan publik yang berakar pada undang-undang serta kewenangan dan kekuatan paksaan yang dikaitkan dengan undang-undang. [14]

Kebijakan mengambil berbagai bentuk yang mencakup tetapi tidak terbatas pada, undang-undang, pernyataan publik, peraturan resmi, dan pola perilaku (pemberian isyarat) yang diterima secara luas dari pejabat pemerintah yang terlihat oleh publik. [14]

Struktur organisasi adalah pola formal tentang bagaimana orang dan pekerjaan diklasifikasikan. Dalam konteks peningkatan kapasitas pemerintahan elektronik, hasil penelitian menggarisbawahi pentingnya struktur organisasi dan sumber daya manusia yang memadai dan dukungan dengan kompetensi yang relevan dalam pelaksanaan program *e-government*. Kompetensi sumber daya manusia yang relevan diperlukan dan dikembangkan untuk mendukung kelancaran pelaksanaan program *e-government* di berbagai bidang seperti pendidikan, puskesmas, rumah sakit, pelayanan perizinan, pelayanan pemberdayaan bagi masyarakat yang kurang mampu dan kurang mampu, serta dalam menjalankan/melaksanakan tugas-tugas khusus yang menjadi tanggung jawab pemerintah termasuk menyediakan jaringan dan aplikasi layanan, server pusat data, dan pengelolaan data elektronik; dan jasa penunjang proses administrasi seperti perencanaan, pemantauan, penganggaran dan pelaporan, serta pengelolaan sumber daya manusia. Selain itu, *e-government* yang efektif harus didukung oleh sistem informasi yang menggunakan teknologi informasi yang tepat dan relevan. [14]

Sehubungan dengan program *e-government*, pemerintah membutuhkan sumber daya keuangan untuk mengembangkan, menyebarkan, dan memeliharanya. Sistem penyampaian publik yang berkualitas membutuhkan sumber daya keuangan yang memadai baik secara langsung maupun sebaliknya untuk mendukung pengembangan dan keberlanjutan program, memastikan ketersediaan sumber daya manusia yang diupah dengan keterampilan yang relevan. [14]

Perencanaan strategis dikenal sebagai proses di mana organisasi mendefinisikan strategi atau arahnya, dan membuat keputusan tentang alokasi sumber daya sesuai dengan strategi. Untuk itu, rencana strategis sering dikaitkan dengan visi dan misi, serta pedoman dasar untuk mewujudkannya. Hal ini antara lain tercermin dari deskripsi tantangan yang terdefinisi dengan baik; penggambaran pemangku kepentingan; penglihatan; misi; artikulasi nilai-nilai yang mendasarinya; pelaksanaan analisis SWOT; adanya kerangka strategis; mendefinisikan isu-isu strategis; tujuan strategis; menyoroti program prioritas; faktor kunci keberhasilan; Indikator keberhasilan program; penghargaan dan hukuman; strategi implementasi; dan proses partisipatif. [14]

Partisipasi mengacu pada keterlibatan langsung dan/atau tidak langsung orang-orang dalam pengambilan keputusan yang berkaitan dengan program yang mereka minati. Partisipasi dapat juga diartikan sebagai keterlibatan mental dan emosional seseorang dalam situasi kelompok yang mendorong kontribusi aktif untuk tujuan kelompok dalam berbagai tanggung jawab. Pengembangan dan penyebaran program *e-government* mampu meningkatkan partisipasi publik dalam

penyelenggaraan layanan publik oleh pemerintah, yang berkontribusi pada layanan yang lebih baik karena masukan yang diperoleh pejabat pemerintah dari pengguna layanan publik. Oleh karena itu, *e-government* meningkatkan respons pejabat pemerintah terhadap kebutuhan pengguna layanan publik, meningkatkan efektivitas kebijakan publik, yang pada gilirannya diterjemahkan ke dalam kualitas layanan yang lebih baik. [14]

Evaluasi adalah upaya menggunakan langkah-langkah yang kredibel yang didasarkan pada data yang dikumpulkan secara ketat dan objektif, untuk membuat penilaian yang valid dan dapat diandalkan berdasarkan tindakan (kualitatif atau kuantitatif) dengan membandingkan hasil program aktual terhadap hasil yang diantisipasi. Keberadaan pemantauan dan evaluasi partisipatif yang komprehensif dan efektif terhadap pelaksanaan dan hasil kegiatan layanan pemerintah elektronik dan layanan publik sangat penting untuk memastikan bahwa program mencapai tujuan dan sarasannya, karena menciptakan peluang untuk meningkatkan implementasi dan penargetan program. Dukungan terhadap gagasan tersebut dapat dilakukan dengan cara mencatat hasil pemantauan dan evaluasi sehingga menghasilkan ringkasan informasi yang relevan dari kegiatan masa lalu dan yang sedang berlangsung dalam sebuah organisasi, yang dapat digunakan sebagai dasar untuk daya guna, reorientasi, dan perencanaan masa depan program. Selain itu, tanpa perencanaan, pemantauan, dan evaluasi yang efektif, tidak mungkin menilai apakah kinerja sesuai dengan harapan, apakah klaim kemajuan dan keberhasilan program oleh pelaksana program nyata di lapangan, memberikan jalan bagi perbaikan program di masa depan. [14]

Sebuah studi menunjukkan bahwa kapasitas pemerintah dan kinerja *e-government* merupakan penentu signifikan dari manfaat yang dirasakan dari layanan *e-government*. Hal ini juga menunjukkan bahwa kapasitas pemerintah berpengaruh positif terhadap kinerja *e-government*. Selain itu, manfaat yang dirasakan dari layanan *e-government* ditemukan menjadi prediktor signifikan dari niat untuk merekomendasikan adopsi layanan *e-government*. Temuan ini memiliki implikasi teoretis dan praktis untuk penerapan *e-government* sebagai sarana yang lebih baik untuk memberikan layanan publik yang berkualitas kepada warga negara dan masyarakat umum. [15]

Terkait dengan *performance measurement*, ada beberapa variabel yang menjadi parameter kinerja dari implementasi *e-governance* yang dapat dilihat dari perspektif rencana, pelaksana dan penerima manfaat dari proyek-proyek yang dipilih. Variabel kinerja makro yang dikonseptualisasikan dengan variabel mikro penyusunnya dijelaskan sebagai berikut. Variabel makro ini dikonseptualisasikan untuk menangkap realisasi manfaat yang diharapkan dari sebuah proyek. Di setiap proyek yang dipilih, manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari variabel mikro adalah dalam hal efisiensi, transparansi, interaktivitas, dan dukungan keputusan.

- Efisiensi
Proses pemerintah yang didukung TI diharapkan dapat menyederhanakan prosedur, mengeksekusi lebih cepat, meminimalkan penggunaan kertas

dan menghemat biaya saat berkomunikasi dengan pemerintah. Peningkatan efisiensi ditangkap melalui variabel ini.

- **Transparansi**
Variabel tersebut meliputi aspek transparansi pelayanan. Layanan *e-governance* diharapkan dapat membawa transparansi dalam operasi yang dikendalikan oleh pemerintah. Layanan pemerintah harus dapat dipercaya, menyeluruh, tidak memihak, dan dapat diakses tanpa kesulitan bagi pengguna akhir.
- **Interaktivitas**
Sebuah layanan *e-governance* yang menysasar warga diharapkan dapat memfasilitasi interaksi di berbagai tingkatan, yaitu di dalam unit-unit yang membentuk suatu departemen pemerintah, dengan departemen lain yang terkait dengan layanan dan dengan penerima layanan. Variabel dikonseptualisasikan untuk menangkap interaksi tersebut.
- **Pendukung keputusan**
Digitalisasi layanan dan transaksi online berkontribusi pada pengambilan keputusan, pemantauan, dan kontrol yang lebih baik di tingkat pejabat maupun penerima manfaat, yang ditangkap melalui variabel ini. Misalnya, seorang petani yang memiliki akses online ke informasi harga/kedatangan komoditas dan fasilitas penyimpanan dapat memantau harga yang berlaku, menyimpan produknya, atau memilih pasar untuk menjual produknya ketika kondisinya menguntungkan.

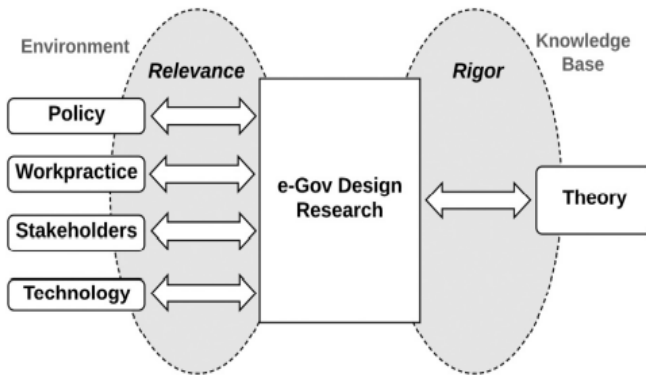
Variabel mikro ini mencerminkan dukungan keputusan yang lebih baik dalam hal perencanaan dan pengambilan keputusan yang lebih baik. Disamping itu, analisis tingkat mikro mengungkapkan bahwa:

- Dalam hal efisiensi dan transparansi, *e-governance* telah memberikan kontribusi lebih di tingkat perencana diikuti oleh pelaksana dan penerima manfaat dalam urutan itu.
- Dalam hal interaktivitas, *e-governance* telah memberikan kontribusi lebih pada tingkat perencana jika dibandingkan dengan pelaksana dan penerima manfaat. Manfaat terkait interaktivitas dirasakan sama di tingkat pelaksana dan penerima manfaat.
- Dalam hal pendukung keputusan, para perencana dan pelaksana mendapatkan lebih banyak manfaat dari *e-governance* dibandingkan dengan penerima manfaat. [16]

6. IMPLIKASI TERHADAP RANCANGAN E-GOVERNMENT INDONESIA DI MASA DEPAN

Penelitian yang dilakukan oleh [17] mengeksplorasi artefak IS yang dirancang untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi administrasi dan layanan publik. Desain *e-government* dalam literatur IS memanifestasikan kebijakan yang mendarah daging dan artefak yang diinformasikan oleh teori. Desain *e-government* telah diadopsi dan disarankan oleh "teori kernel." Sementara itu, karena *e-government* semakin berfungsi sebagai alat fundamental untuk

administrasi dan layanan publik, implementasinya sangat dipengaruhi oleh kebijakan, peraturan, dan undang-undang, yang karenanya berdampak pada desain *e-government*. Inisiatif *e-government* yang ditinjau dalam literatur bertujuan untuk meningkatkan kinerja pemerintah, meningkatkan manajemen informasi pemerintah, meningkatkan efektivitas kolaborasi, memperluas partisipasi publik, dan oleh karena itu, meningkatkan pengalaman pemangku kepentingan. Selain itu, artefak yang melibatkan pemangku kepentingan dan menggabungkan pendapat mereka dapat membantu memfasilitasi pengambilan keputusan. Hal ini dapat diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1: Komponen Desain E-government

7. KESIMPULAN

Berbagai komponen yang tergabung dalam kategori dukungan organisasi sangat diperlukan untuk meningkatkan implementasi *e-government* di Indonesia. Berbagai komponen tersebut saling terkait satu sama lain dan memerlukan perhatian yang serius dari pemerintah, baik nasional maupun lokal. Berbagai komponen tersebut terdiri dari:

1. *Functional simplification and closure*. Karena teknologi harus dirancang untuk melakukan fungsi tertentu, konsep *functional simplification and closure* dapat membantu menjelaskan logika performatif apa yang tertanam dalam suatu teknologi, dan bagaimana operasi standarisasi dan otomatisasi tugas dimodelkan untuk memungkinkan teknologi melakukan fungsi-fungsinya.
2. *Technology diffusion process*. Beberapa faktor perlu diidentifikasi untuk menentukan apakah warga akan mengadopsi layanan *e-government* dan dengan demikian membantu pemerintah dalam mengakses apa yang diperlukan untuk meningkatkan adopsi/difusi.
3. *Policy reform and innovation*. Dengan implementasi reformasi kebijakan

ini, diharapkan terjadi peningkatan kualitas dan efektivitas pelayanan publik. Peningkatan kualitas pelayanan publik tidak hanya dengan menerapkan sistem *e-government*, tetapi juga dengan menerapkan konsep *e-public services* agar penyelenggaraan menjadi lebih baik.

4. *Digital capacity and performance measurement*. Kapasitas pemerintah dan kinerja *e-government* merupakan penentu signifikan dari manfaat yang dirasakan dari layanan *e-government*. Hal ini juga menunjukkan bahwa kapasitas pemerintah berpengaruh positif terhadap kinerja *e-government*.

Semua komponen tersebut berimplikasi pada rancangan *e-government* Indonesia yang lebih baik di masa depan dalam menghadapi berbagai tantangan.

8. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Dwiyanto, *Mewujudkan Good Governance Melalui Pelayanan Publik*, Yogyakarta: Gajahmada Universiti Press, 2005.
- [2] T. Kurniawan, “Hambatan dan Tantangan dalam Mewujudkan Good Governance melalui Penerapan E-Government di Indonesia,” em *Prosiding Konferensi Nasional Sistem Informasi* , Bandung, 2006.
- [3] R. Yuliana, “Prinsip Dasar Tata Kelola TIK di Pemerintahan Tingkat Nasional Indonesia,” em *Semangat Publikasi Dalam Membangun Peradaban Negeri*, Jawa Timur, Penerbit Wade, 2017, pp. 186-194.
- [4] R. Yuliana, “Kajian Faktor Kesiapan Lingkungan Dalam Rangka Peningkatan Implementasi E-Government Indonesia Yang Lebih Baik,” em *Bunga Rampai Forum Peneliti Muda Indonesia 2017*, Bandung, ITB Press, 2017, pp. 143-153.
- [5] A. Cordella e N. Tempini, “E-government and organizational change: reappraising the role of ICT and bureaucracy in public service delivery,” *Government Information Quarterly*, pp. 279-286, 2015.
- [6] N. T. V. Khanh, “The critical factors affecting E-Government adoption: A Conceptual Framework in Vietnam,” *CoRR*, p. abs/1401.4876, 2014.
- [7] H. Zhang, X. Xu e J. Xiao, “Diffusion of e-government: A literature review and directions for future directions,” *Government Information Quarterly*, pp. 1-6, 2014.
- [8] M. N. Ngafeeson e M. I. Merhi, “E-Government Diffusion: Evidence from

- the Last Decade,” *International Journal of Electronic Government Research*, 9(2), pp. 1-18, 2013.
- [9] B. Pudjianto, H. Zo, A. P. Ciganek e J. J. Rho, “Determinants of E-Government Assimilation in Indonesia: An Empirical Investigation Using a TOE Framework,” *Asia Pacific Journal of Information Systems*, pp. 49-80, 2011.
- [10] D. M. Arintonang, “The Impact of E-Government System on Public Service Quality in Indonesia,” *European Scientific Journal*, pp. 99-111, 2017.
- [11] Y. Zheng e A. Manoharan, Does External Environment Affect E-Government? A Cross-Country Analysis, Boca Raton, Florida: CRC Press, 2015.
- [12] P. R. Aryan, “Fostering Government Transparency and Public Participation through Linked Open Government Data (Case Study: Indonesian Public Information Service).,” em *International Conference on Data and Software Engineering (ICODSE)*, Bandung, Indonesia, 2014.
- [13] E. R. Ben e T. Schuppan, “E-Government Innovations and Work Transformations: Implications of the Introduction of Electronic Tools in Public Government Organizations,” *International Journal of Electronic Government Research*, pp. 1-17, 2014.
- [14] M. Shobaruddin, “Critical Factor Influencing Electronic Government Capacity Building in Sragen Municipality Government Public Service Delivery,” *Jurnal Kebijakan dan Administrasi Publik*, pp. 98-116, 2018.
- [15] I. K. Mensah, “Impact of Government Capacity and E-Government Performance on the Adoption of E-Government Services,” *International Journal of Public Administration*, pp. 1-9, 2019.
- [16] P. K. Suri e S. , Strategic Planning and Implementation of E-Governance Flexible Systems Management,, Singapore: Springer, 2017.
- [17] L. Carter, V. Yoon e D. Liu, “Analyzing e-government design science artifacts: A systematic literature review,” *International Journal of Information Management*, p. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2021.102430 , 2021.

PERANCANGAN HELM PINTAR UNTUK PENGENDARA SEPEDA MOTOR BERBASIS SENSOR MPU-6050

Dengan peningkatan jumlah sepeda motor sebagai alat transportasi di negara berkembang seperti Indonesia maka juga mengakibatkan kenaikan angka kecelakaannya. Jatuh dari sepeda motor adalah salah satu penyebab kecelakaan yang dapat menimbulkan sakit pada tubuh bahkan kematian. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti pengendara sepeda motor yang tidak menggunakan helm secara benar dan juga terlambatnya pemberian pertolongan kepada penderita kecelakaan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pada penelitian ini dirancang sebuah alat pendeteksi jatuh pengendara sepeda motor berbasis mikrokontroler ATMEGA 328. Pada bagian sensor menggunakan MPU-6050 dimana sensor accelerometer dan gyroscope sudah jadi satu chip. Sedangkan pada bagian keluarannya berupa SMS kepada nomor darurat dari pengendara. modul yang digunakan untuk mengirimkan notifikasi tersebut adalah GSM800L. Posisi alat diletakkan pada atas helm pengendara. Pengujian alat dilakukan oleh satu orang dengan dua posisi jatuh, yaitu jatuh ke depan dan ke belakang. Berdasarkan hasil pengujian alat sebanyak 20 kali, tingkat akurasi alat adalah 87,5%.

Kata kunci: *Jatuh, Helm Pintar, MPU 6050, Mikrokontroler ATMEGA 328.*

Mochamad Irwan Nari

Tenaga Pengajar (Dosen)
Politeknik Negeri Jember
Jurusan Teknik
m.irwan.nari@polije.ac.id

Guruh Priambodo

Mahasiswa
Politeknik Negeri Jember
Jurusan Teknik

Siti Diah Ayu Febriani

Tenaga Pengajar (Dosen)
Politeknik Negeri Jember
Jurusan Teknik

Alex Taufiqurrohman Zain

Tenaga Pengajar (Dosen)
Politeknik Negeri Jember
Jurusan Teknik

1. PENDAHULUAN

Sepeda motor adalah moda transportasi yang banyak dipakai di Indonesia. Hal ini dikarenakan lebih cepat mencapai tujuan dan harganya relatif terjangkau. Berdasarkan data pada tahun 2019, jumlah sepeda motor tercatat sebanyak 112.771.136 kendaraan. Data ini meningkat sebesar 12.570.891 kendaraan dari tahun 2017 [1].

Dengan meningkatkan jumlah sepeda motor ternyata berbanding lurus dengan tingkat kecelakaannya. Hal ini mengakibatkan kerugian berupa material dan penderitaan korban kecelakaan tersebut. Beberapa penyebab kecelakaan diantaranya mengantuk dan bermain *handphone*. Selain itu dikarenakan kebut-kebutan antara pengendara dan kurangnya perlengkapan pada sepeda motor yang digunakan. Keterlambatan penanganan dapat disebabkan oleh kurangnya informasi dan posisi kecelakaanya [2].

Untuk mengantisipasi kecelakaan agar dapat ditangani secara cepat, telah dilakukan beberapa penelitian terkait deteksi jatuh pengendara sepeda motor. Pada riset [3], telah dibuat helm pintar dengan fitur *bluetooth* yang berjarak 30 m. Selain itu, dalam mendeteksi jatuh pengendara juga digunakan sensor flex yang dipasang pada bagian dalam helm tersebut. Hasil pengujian akurasi adalah rata-rata 94,07%. Pada peneliti [4] membuat alat pendeteksi kecelakaan menggunakan sensor *gyroscope* berbasis arduino. Kemiringan yang deteksi adalah 10^0 - 50^0 untuk sebelah kiri dan 130^0 - 170^0 untuk sebelah kanan. Alat yang dibuat juga dapat mengirimkan SMS ke keluarga dengan modul GSM SIM900A. Tingkat keakuratan alat yang dibuat adalah 80%.

Berdasarkan uraian diatas, maka penelitian ini mendeteksi jatuh pengendara sepeda motor dengan menyematkan alat diatas helmnya. Sistem yang dibuat menggunakan sensor MPU 6050 dan Arduino Uno. Sedangkan untuk deteksi posisi jatuh digunakan modul GSM SIM800L.

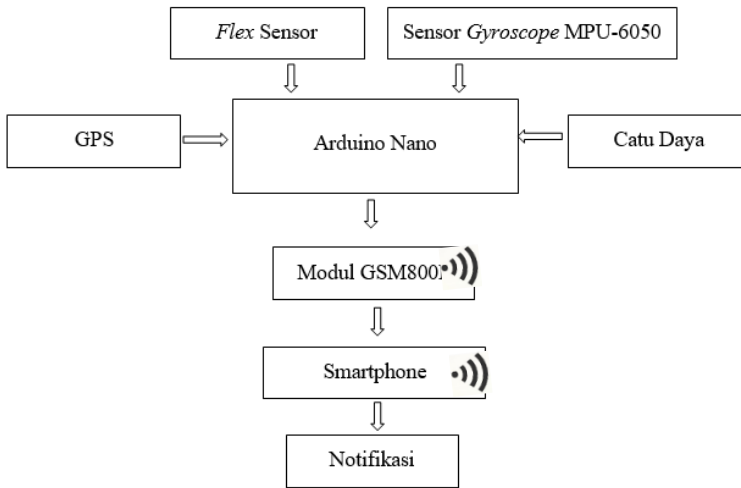
2. PEMBAHASAN

2.1 Metode.

1) Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Pada gambar 1 ditunjukkan diagram blok dari sistem secara keseluruhan.

Masukan sistem adalah dari sensor *flex* dan sensor *gyroscope* MPU-6050. Ketika sensor *gyroscope* membaca kemiringan melebihi 60° maka sensor ini akan memberikan sinyal ke arduino nano. Selain itu, arduino mendapatkan sinyal informasi juga dari sensor flex ketika tertekuk akibat benturan. Mikrokontroler 328 dalam hal ini arduino nano memproses kedua data tersebut untuk memberikan informasi jatuh pengendara. Setelah itu, informasi tersebut dikirim ke *handphone* keluarga berupa notifikasi dengan menggunakan modul GSM800L.

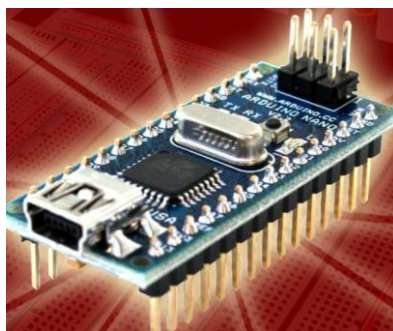


Gambar 1: Diagram Blok Sistem Helm Pintar

Berikut ini adalah komponen-komponen diagram blok dari sistem helm pintar:

- Mikrokontroller

Mikrokontroller adalah sebuah chip yang memproses data (I/O, timer, memory, ALU) sehingga dapat digunakan sebagai pengendali/komputer sederhana. Mikrokontroller ini hanya melakukan satu fungsi yang spesifik saja. Mikrokontroller 328 yang tersemat di arduino nano adalah jenis mikrokontroller yang mempunyai 14 pin *Input/Output*, 8 pin analog, tegangan masukan sebesar 6-20 V, mini-USB, dan *clock* sebesar 16 MHz. Pada gambar 2 ditunjukkan arduino nano [5].

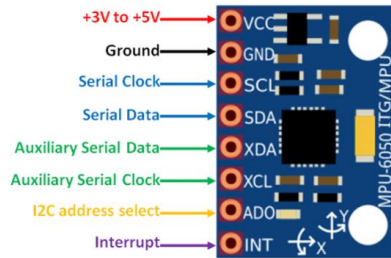


Gambar 2: Arduino nano dengan Mikrokontroller ATmega 328 [6]

- Sensor MPU-6050

Sensor ini terdiri dari accelerometer dan gyroscope. Sensor ini memiliki luaran ADC 16 bit. Dan arus saat operasi sebesar 500 μ A. Sensor accelerometer digunakan untuk mengetahui nilai dari sumbu x, y, dan z. skala pengukuran

sensor bervariasi ($\pm 2g$, $\pm 4g$). Sedangkan sensor gyroscope adalah sensor yang mendeteksi letak putaran/kemiringan dari sensornya. Acuan pada sensor gyroscope adalah *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Pada gambar 3 ditunjukkan fisik sensor MPU-6050.



Gambar 3: Sensor MPU-6050 [7]

- Sensor Flex

Sensor flex adalah sensor dengan keluaran berupa resistansi. Tegangan keluarannya adalah 5 Volt DC. Nilai resistansi akan berubah ketika posisi sensor tertekan oleh benda/objek lain. Pada gambar 4 ditunjukkan fisik sensor flex.



Gambar 4: Sensor Flex [8]

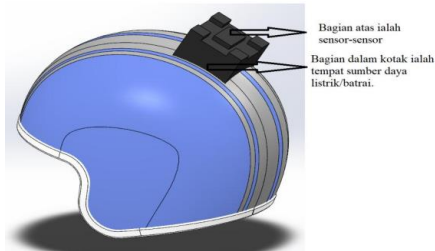
- Modul GSM SIM800L

Modul ini dengan Tegangan operasi sensor antara 3,4 – 4,4 Volt. Modul ini menerima microSIM yang dapat digunakan untuk mengirim dan menerima pesan SMS, menerima panggilan dengan eksternal speaker, dan kirim data menggunakan jaringan GPRS. Pada gambar 5 ditunjukkan fisik modul GSM tersebut.



Gambar 5: Modul GSM SIM800L [9]

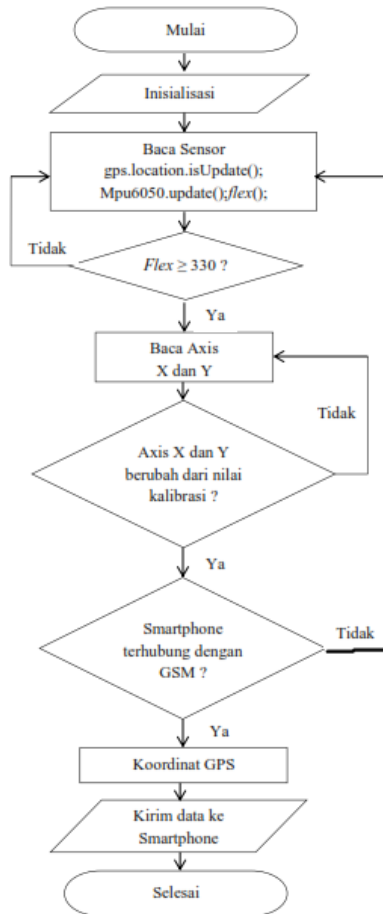
Pada gambar 6 ditunjukkan rancangan alat yang dibuat. Posisi alat diletakkan diatas tengah helm SNI.



Gambar 6: Rancangan Alat

2) Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Pada gambar 7 ditunjukkan *flowchart* perangkat lunak yang digunakan.



Gambar 7: Flowchart software sistem helm pintar

3) Rumus Jatuh

Untuk menentukan jatuh digunakan rumus berikut. Jika pitch (Y) dan roll (X) > 80 maka dikatakan jatuh. Selanjutnya notifikasi SMS dikirim ke +6282334427057.

4) Pengujian Jatuh

Pengujian jatuh dilakukan dengan 2 posisi, yaitu jatuh ke depan dan ke belakang. Pada gambar 8 ditunjukkan posisi pengujian jatuh ke depan dimana posisi tubuh seperti tertelungkup. Sedangkan gambar 9 ditunjukkan posisi jatuh kebelakang yang seperti terlentang.



Gambar 8: Pengujian jatuh ke depan



Gambar 9: Pengujian jatuh ke belakang

5) Akurasi

Akurasi adalah kedekatan nilai yang terbaca dari alat ukur dengan nilai sebenarnya. Semakin dekat maka akurasinya semakin baik [3].

$$akurasi = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN} \times 100.$$

Dimana:

TP (*True Positive*): aktivitas jatuh & terdeteksi jatuh

FP (*False Positive*): aktivitas tidak jatuh dan terdeteksi jatuh

FN (*False Positive*): aktivitas jatuh dan tidak terdeteksi jatuh

TN (*True Positive*): aktivitas tidak jatuh dan tidak terdeteksi jatuh

2.2 Hasil dan Analisa.

Pada gambar 10 ditunjukkan hasil rancangan alat.



(a)

(b)

Gambar 10: Hasil prototipe alat. (a) *Hardware* terkoneksi. (b) Posisi alat diatas helm

Pada tabel 1 ditunjukkan hasil pengujian deteksi jatuh ke depan. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh data, yaitu TP sebanyak 6 dan FN sebanyak 4. Pada percobaan ke 1, 7, 9, dan 10 terjadi FN dikarenakan proses jatuh kepala yang lambat sehingga sistem tidka membaca kondisi jatuh tersebut.

Tabel 1. Hasil pengujian deteksi jatuh ke depan

No.	Aktual	Sistem	Keterangan
1	Jatuh	Tidak Jatuh	FN
2	Jatuh	Jatuh	TP
3	Jatuh	Jatuh	TP
4	Jatuh	Jatuh	TP

No.	Aktual	Sistem	Keterangan
5	Jatuh	Jatuh	TP
6	Jatuh	Jatuh	TP
7	Jatuh	Tidak Jatuh	FN
8	Jatuh	Jatuh	TP
9	Jatuh	Tidak Jatuh	FN
10	Jatuh	Tidak Jatuh	FN

Pada tabel 2 ditunjukkan hasil pengujian deteksi jatuh ke belakang. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh data, yaitu TP sebanyak 8 dan FN sebanyak 2. Pada percobaan ke 1 dan 7 terjadi FN dikarenakan proses jatuhnya kepala yang lebih lambat sehingga sistem tidak membaca kondisi jatuh/kecelakaan tersebut. Oleh karena itu, sistem tidak mengirimkan pesan SMS ke keluarga.

Tabel 2. Hasil pengujian deteksi jatuh ke belakang

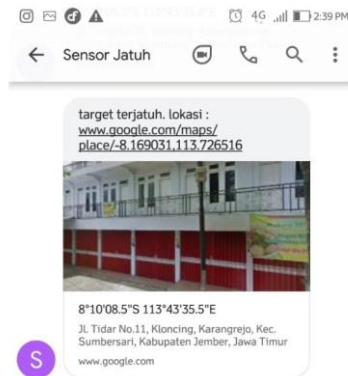
No.	Aktual	Sistem	Keterangan
1	Jatuh	Tidak Jatuh	FN
2	Jatuh	Jatuh	TP
3	Jatuh	Jatuh	TP
4	Jatuh	Jatuh	TP
5	Jatuh	Jatuh	TP
6	Jatuh	Jatuh	TP
7	Jatuh	Jatuh	TP
8	Jatuh	Tidak Jatuh	FN
9	Jatuh	Jatuh	TP
10	Jatuh	Jatuh	TP

Dari total 20 pengujian diperoleh nilai *true positive* (TP) sebanyak 14, 0 *false positive* (FP), 0 *false negative* (FN), *false negative* (FN) sebanyak 6 maka dapat dilakukan perhitungan akurasinya.

$$akurasi = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \times 100$$

$$akurasi = \frac{10 + 0}{14 + 0 + 6 + 0} \times 100 = 87,5\%$$

Pada gambar 11 ditunjukkan hasil pengiriman SMS ke no. handphone penerima. Diman informasi yang diberikan adalah jatuh dan posisi GPS-nya.



Gambar 11: Hasil notifikasi SMS

3. PENUTUP

Pada bagian ini harus ditampilkan seluruh data yang diperoleh dengan informasi yang cukup bagaimana data tersebut diperoleh. Analisa statistik boleh disampaikan jika dianggap perlu, atau cukup ditampilkan dalam grafik disertai standar deviasi serta *error bars* dan penjelasan arti signifikansi secara statistik dari standar deviasi maupun *error bars* dalam grafik tersebut.

Pada tulisan telah dibuat sebuah sistem helm pintar menggunakan sensor MPU-6050. Sistem yang dibuat dapat mengirim informasi jatuh pengendara dan lokasi GPS saat terjadinya jatuh/kecelakaan. Dari total 20 kali pengujian diperoleh tingkat akurasi alat sebesar 87,5%. Untuk pengembangan selanjutnya dapat ditambahkan *emergency button* yang dapat terhubung dengan puskesmas terdekat.

4. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Data Badan Pusat Statistik. Tersedia: <https://www.bps.go.id/indicator/17/57/1/jumlah-kendaraan-bermotor.html> . (Diakses 1 November 2021)
- [2] Alifah, Titania Nur, Harianto, dan Ira Puspasari. “Rancang Bangun Alat Deteksi Kecelakaan Sepeda Motor Berbasis Exponential Smoothing”. *Journal of Technology and Infromatic*. 2020
- [3] Nugroho, M. A., Sumaryo, S., Elektro, F. T., Telkom, U., Indonesia, D., dan Energy, B. L. “Desain dan Implementasi Helm Pintar dengan Fitur Bluetooth”. pp. 2609–2616. 2019
- [4] Suprayogi, Aries, Hurriyatul Fitriyah dan Tibyani. “Sistem Pendeteksi Kecelakaan pada Sepeda Motor Berdasarkan Kemiringan Menggunakan Sensor Gyroscope Berbasis Arduino”. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*. 2019
- [5] Nari, Mochamad Irwan, Sena S Suprpto dan Ilman H Kusumah. “A Simple Design of Wearable Device for Fall Detection with Accelemerometer and

Gyroscope”. *International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*. 2016

- [6] Arduino nano. Module. Tersedia: <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>. (Diakses 5 November 2021)
- [7] MPU-6050. Module. Tersedia: <https://components101.com/sensors/mpu6050-module>. (Diakses 7 November 2021)
- [8] Flex sensor. Module. Tersedia: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Flex/flex22.pdf> . (Diakses 10 November 2021)
- [9] GSM SIM800L. Module. Tersedia: <https://www.e-gizmo.net/oc/kits%20documents/SIM800L%20module/SIM800L%20module.pdf> . (Diakses 10 November 2021)

Simulasi Sistem Kendali Kecepatan Putar Rotor Berbasis Fuzzy-PI pada Model Turbin Angin Sumbu Horizontal Skala Kecil

Alex Taufiqurrohman Zain

Tenaga Pengajar (Dosen)
Politeknik Negeri Jember
Jurusan Teknik
Alextaufiqurrohman@polije.ac.id

Ali Musyafa'

Tenaga Pengajar (Dosen)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Departemen Teknik Fisika
musyafa@ep.its.ac.id

Brian Raafi'u

Tenaga Pengajar (Dosen)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Departemen Teknik Instrumentasi
brianvani1@gmail.com

Muhammad Khamim Asy'ari

Mahasiswa S3
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Departemen Teknik Fisika
muhammad.khamim11@mhs.ep.its.ac.id

Konsumsi energi menggunakan sumber energi terbarukan tenaga angin telah berkembang. Turbin angin sumbu horizontal (HAWT) adalah jenis turbin angin yang dapat digunakan di daerah dengan kecepatan angin rendah atau tinggi. Turbin angin sumbu horizontal dengan tiga sudu sering digunakan karena memiliki putaran rotor yang tinggi. Sistem kendali merupakan faktor penting dalam meningkatkan konversi energi angin menjadi energi listrik. Salah satu sistem kendali yang diperlukan adalah sistem kendali kecepatan putaran rotor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara sinyal tanggapan dari sistem kendali PI terhadap Ssistem kendali Fuzzy-PI. Dengan menggunakan metode direct-synthesis, parameter PI dapat dihasilkan meliputi $K_p = -0,02$ dan $K_i = -0,005803$. Sistem lingkaran terbuka pada pemodelan turbin angin menghasilkan kecepatan putaran rotor sebesar 166,4 RPM pada kecepatan angin 2 m/s dan sudut pitch 0° . Penelitian ini menyimpulkan bahwa sistem kendali Fuzzy-PI memiliki performa yang lebih baik dari pada sistem kendali PI. Hal ini ditunjukkan dengan waktu tunda, waktu naik, waktu puncak, dan waktu tunak, lebih cepat dibandingkan sistem kendali PI (0,33s berbanding 1,071s; 0,66s berbanding 2,889s; 1,375s berbanding 6,176s; dan 2,593s berbanding 15,051s). Sedangkan nilai maximum overshoot sistem kendali Fuzzy-PI 6,724% berbanding 24,704% dari sistem kendali PI.

Kata kunci: Metode direct-synthesis; Sistem kendali Fuzzy-PI; Turbin angin sumbu horizontal;

1. PENDAHULUAN

Hampir semua sektor kehidupan baik industri, rumah tangga, transportasi, dan jasa tidak bisa dipisahkan dari energi listrik. Saat ini sumber energi listrik tidak hanya berasal dari pengolahan batu bara yang tidak dapat diperbarui. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terkini memungkinkan sumber energi listrik berasal dari angin, matahari, panas bumi, dan lain sebagainya yang bersifat baru dan terbarukan [1]. Turbin angin merupakan alat yang digunakan untuk mengkonversi energi kinetik angin menjadi energi listrik [2,3]. Secara sederhana, turbin angin menggunakan sudu untuk mengekstraksi energi kinetik angin. Selanjutnya rotor yang sebelumnya sudah terhubung dengan generator akan berputar untuk menghasilkan energi listrik. Sehingga, energi listrik yang dihasilkan sangat bergantung pada fluktuasi energi kinetik angin serta hasil ekstraksinya [4]. Turbin angin skala kecil sangat sesuai jika digunakan untuk mengatasi krisis energi listrik di daerah terpencil atau daerah kepulauan kecil [5]. Turbin angin sumbu horizontal modern untuk skala kecil terdiri dari dua atau tiga buah sudu dengan diameter antara 1 m – 3 m [6].

Persamaan model aerodinamik memungkinkan untuk menghitung daya mekanik yang dihasilkan. Ada dua parameter yang diperlukan untuk menentukan efisiensi turbin angin. Parameter pertama adalah koefisien daya (C_p) yang merupakan perbandingan antara daya *output* turbin (P_m) dengan daya *input* turbin (P_{wt}). Secara matematis C_p dapat dituliskan sesuai persamaan berikut.

$$C_p = c_1 \left(\frac{c_2}{\lambda_i} - c_3 \beta - c_4 \right) e^{\frac{-c_5}{\lambda_i}} + c_6 \lambda \quad (1)$$

Dimana:

- C_p = Koefisien daya
- β = Sudut baling-baling
- C_1 s.d C_6 = Koefisien turbin

Koefisien C_1 hingga C_6 merepresentasikan diameter rotor, konstanta bahan turbin, besar sumbu rotor, rasio gardan kecepatan rendah, rasio gardan kecepatan tinggi dan tingkat kelenturan bahan, secara berurutan. Koefisien ini berbeda-beda besarnya untuk jenis turbin yang berlainan [7,8].

Parameter selanjutnya adalah rasio kecepatan ujung (*Tip Speed Ratio*). Rasio ini merupakan perbandingan antara kecepatan putar poros turbin terhadap kecepatan angin. Secara matematis, nilai λ dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut [7, 9, 10]:

$$\lambda = \frac{\omega r}{V_m} \quad (2)$$

Dimana:

- λ = *Tip speed ratio*
- ωr = Kecepatan poros rotor (rad/s)
- V_m = Kecepatan angin (m/s)

Strategi pengendali memainkan peran utama pada sistem konversi energi angin. Sistem kendali didasarkan pada *input* dari sinyal sensor yang berasal dari getaran, arus listrik, gelombang akustik, torsi, suhu dan putaran rotor [11]. Sistem pengendali turbin angin akan mengoptimalkan ekstraksi energi angin yang digunakan untuk menggerakkan rotor, serta konversi menjadi energi listrik yang dihasilkan.

Sistem kendali proporsional-integral (PI) konvensional memiliki karakteristik sebagai pengendali *fixed-gain feedback*. Oleh karena itu pengendali PI tidak dapat mengkompensasi variasi parameter pada proses dan tidak dapat menyesuaikan perubahan lingkungan. Sistem yang dikendalikan oleh pengendali PI kurang responsif terhadap perubahan yang relatif cepat dan *real*, sehingga sistem membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai *set point* [12,13]. Oleh karena itu, pengendali dengan algoritma Fuzzy digunakan untuk mengatasi kendala tersebut. Algoritma Fuzzy mampu meningkatkan kinerja *tracking* dibandingkan dengan metode klasik baik untuk *linier load* maupun *nonlinier load*. Selain itu, logika fuzzy sangat sesuai untuk pengendali nonlinier [14, 15]. Karena turbin angin yang digunakan memiliki karakteristik *input* yang nonlinier, maka sistem kendali Fuzzy-PI bisa diterapkan. Sistem kendali ini pada dasarnya menggunakan sistem kendali PI konvensional namun untuk *tuning* parameter K_p dan K_i masing-masing menggunakan Logika Fuzzy [15-19]. Penelitian ini terbagi menjadi beberapa bagian, Bagian 1 terkait dengan Pendahuluan, Bagian 2 menjelaskan metode yang digunakan meliputi pemodelan turbin angin serta rancangan sistem kendali yang digunakan, temuan penelitian dibahas dalam Bagian 3, dan akhirnya, makalah ini ditutup dengan kesimpulan yang disajikan dalam Bagian 4.

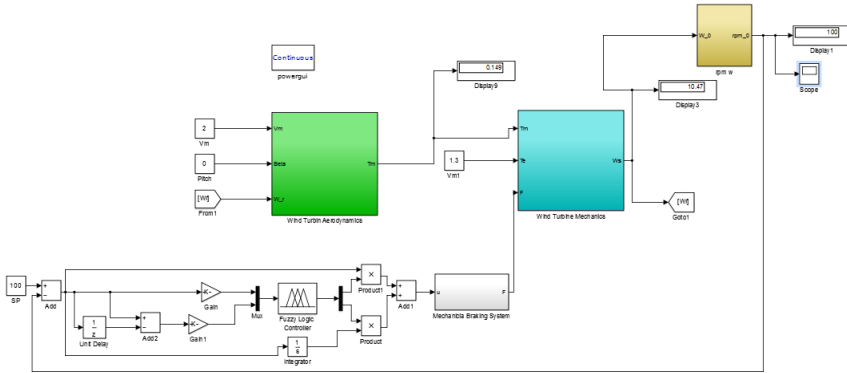
2. METODE

2.1 Pemodelan Turbin Angin

Penelitian ini menggunakan turbin angin sumbu horizontal dengan tiga sudu. Pemodelan turbin angin didasarkan pada sistem aerodinamik dan mekanik. Dalam simulasi ini, kecepatan angin yang digunakan adalah 2 m/s dan sudut pitch 0^0 . Ada dua bagian dari pemodelan ini yaitu bagian aerodinamik dan bagian mekanik. Adapun pemodelan turbin angin yang digunakan seperti yang tersaji di Gambar 1. Sedangkan parameter-parameter aerodinamik dan mekanik turbin angin adalah:

Tabel 1: Parameter Aerodinamik Turbin Angin

Parameter	Nilai
β	0
C_1	0.6450
C_2	116
C_3	0.4
C_4	5
C_5	21
C_6	0.00912

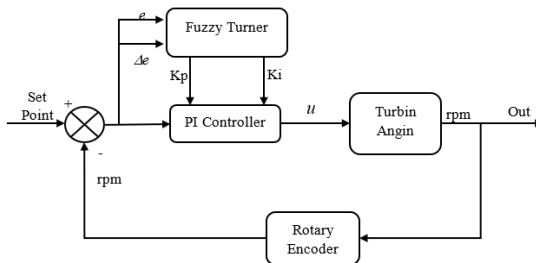


Gambar 1: Pemodelan sistem turbin angin

2.2 Sistem Kendali

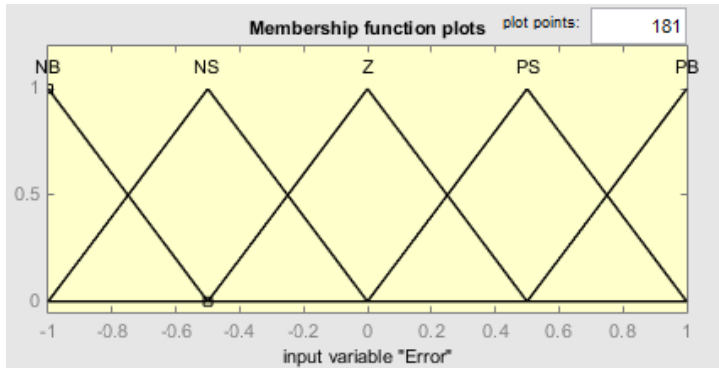
Penelitian ini menggunakan dua sistem kendali yang selanjutnya akan dibandingkan hasil tanggapan sistem lingkarannya. Adapun sistem kendali yang digunakan adalah sistem kendali Proportional Integral (PI) konvensional serta sistem kendali Proportional Integral dengan metode tuning berbasis Logika Fuzzy, yang selanjutnya disebut sebagai sistem kendali Fuzzy-PI. Sistem kendali PI dan Fuzzy-PI merupakan sistem kendali lingkaran tertutup. Nilai masukan dari sistem kendali adalah kecepatan putaran rotor (RPM). Kinerja sistem kendali Logika Fuzzy dapat ditingkatkan dengan memberikan dua variabel masukan. Adapun nilai *input* dari sistem kendali Logika Fuzzy adalah *error* dan *delta error* [17,18].

Penelitian ini menggunakan metode *direct-synthesis* untuk mendapatkan parameter kontroler PI. *Direct-synthesis* merupakan salah satu metode *tuning* PI yang membandingkan antara model *plant* yang diinginkan dengan model *plant* yang sebenarnya untuk mendapatkan parameter K_p dan K_i [12]. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa parameter K_p dan K_i yang diperoleh dari metode *direct-synthesis* adalah $K_p = -0,02$ dan $K_i = -0,005803$. Untuk Sistem kendali konvensional, parameter K_p dan K_i tersebut langsung digunakan pada sistem kendali. Namun untuk sistem kendali Fuzzy-PI, parameter-parameter tersebut perlu dimasukkan ke dalam fungsi keanggotaan Logika Fuzzy [15]. Prinsip kerja sistem kendali Fuzzy-PI ditunjukkan oleh diagram blok seperti pada Gambar 1.



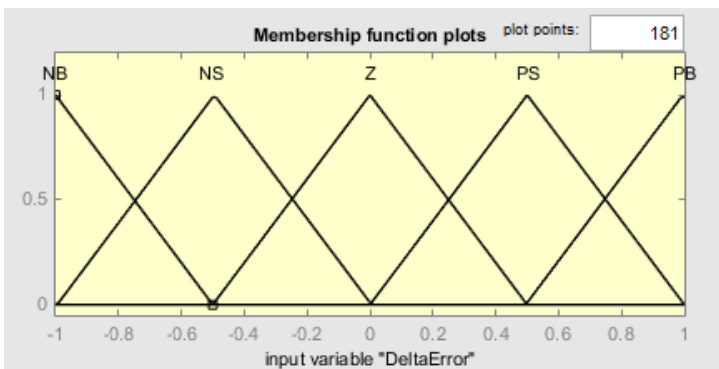
Gambar 2: Diagram blok sistem kendali Fuzzy-PI

Sistem kendali menggunakan Logika Fuzzy untuk menentukan nilai K_p dan K_i sebagai *tuning* PI. Logika Fuzzy menggunakan tipe Mamdani. Penggunaan metode ini diawali dengan proses *clustering* nilai-nilai *input* dan *output*. Ada dua variabel *input* dari Logika Fuzzy yaitu nilai *error* dan nilai *delta error*.



Gambar 3: Fungsi keanggotaan variabel *error*

Variabel *error* adalah perbedaan antara kecepatan putaran sebenarnya dari rotor terhadap *set point* (referensi). Sedangkan input yang kedua adalah *delta error* yang merupakan selisih antara *error* aktual saat ini dengan *error* aktual sebelumnya [15, 17]. Keanggotaan *error* dan *delta error* masing-masing berjumlah 5 anggota.

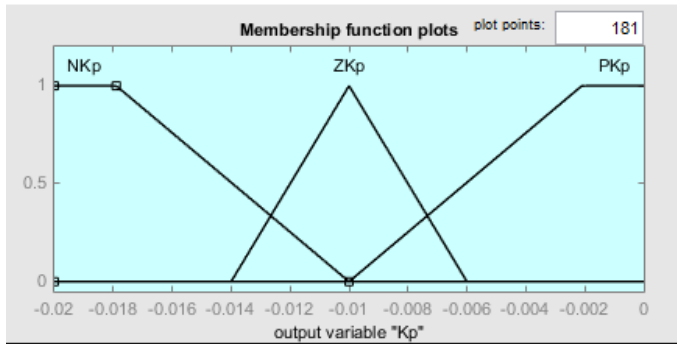


Gambar 4: Fungsi keanggotaan variabel *delta error*

Variabel *error* dan *delta error* memiliki fungsi keanggotaan yang sama, yaitu:

- Negative Big = [-1.5 -1.5 -1 -0.5]
- Negative Small = [-1 -0.5 0]
- Zero Error = [-0.5 0 0.5]
- Positive Small = [0 0.5 1]
- Positive Big = [0.5 1 1 1.5]

Parameter K_p dan K_i selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk menyusun fungsi keanggotaan keluaran logika Fuzzy. Berikut merupakan fungsi keanggotaan dari parameter K_p :



Gambar 5: Fungsi keanggotaan parameter K_p

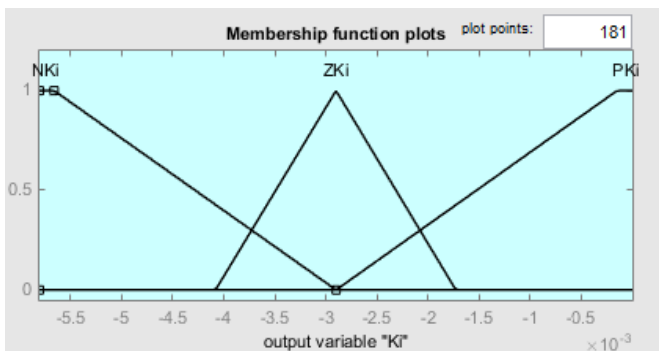
Dengan sebaran rentang nilai:

$$NK_p = [-0.02 \ -0.02 \ -0.0179 \ -0.01]$$

$$ZK_p = [-0.014 \ -0.01 \ -0.006]$$

$$PK_p = [-0.01 \ -0.0021 \ 0 \ 0]$$

Selain menerapkan sistem kendali proporsional, sistem kendali integral juga digunakan dalam penelitian ini. Sistem kendali integral digunakan untuk mengatasi kesalahan keadaan tunak dalam penelitian ini. Beberapa studi juga menunjukkan bahwa sistem kendali integral memungkinkan pengontrol PI untuk menghilangkan *offset*, yaitu kelemahan utama sistem kendali proporsional [12,13]. Berikut adalah fungsi keanggotaan dari parameter K_i :



Gambar 6: Fungsi keanggotaan parameter K_i

Dengan sebaran rentang nilai:

$$NK_i = [-0.005803 \ -0.005803 \ -0.00566 \ -0.0029]$$

$$ZK_i = [-0.00408 \ -0.0029 \ -0.001728]$$

$$PK_i = [-0.0029 \ -0.00015 \ 0 \ 0]$$

Hal penting lainnya yang perlu diperhatikan dari sistem kendali logika Fuzzy adalah penentuan *rule base*. *Rule base* akan menentukan tindakan sistem kendali yang diinginkan berdasarkan input yang diberikan [18]. *Rule base* sistem kendali logika Fuzzy dalam penelitian ini adalah:

Tabel 2: *Rule base* untuk parameter Kp

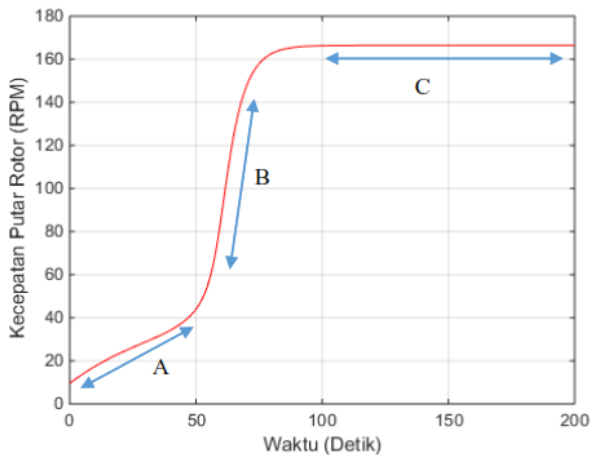
error	Δ error				
	NB	NS	ZE	PS	PS
NB	PK _p	PK _p	PK _p	ZK _p	NK _p
NS	PK _p	PK _p	ZK _p	NK _p	NK _p
ZE	NK _p	NK _p	NK _p	NK _p	NK _p
PS	NK _p	NK _p	ZK _p	PK _p	PK _p
PB	NK _p	ZK _p	PK _p	PK _p	PK _p

Tabel 3: *Rule base* untuk parameter Ki

error	Δ error				
	NB	NS	ZE	PS	PS
NB	PK _i	PK _i	PK _i	ZK _i	NK _i
NS	PK _i	PK _i	ZK _i	NK _i	NK _i
ZE	NK _i	NK _i	NK _i	NK _i	NK _i
PS	NK _i	NK _i	ZK _i	PK _i	PK _i
PB	NK _i	ZK _i	PK _i	PK _i	PK _i

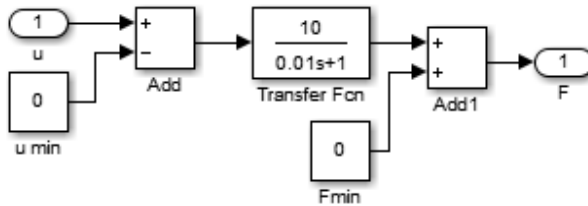
3. HASIL DAN DISKUSI

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan putaran rotor adalah 166,4 RPM pada sistem lingkaran terbuka. Sistem lingkaran terbuka menunjukkan bahwa sistem dioperasikan tanpa sistem kendali apapun. Penelitian ini menambahkan sistem pengereman mekanik yang dirancang dan diimplementasikan untuk mengendalikan kecepatan putar dari turbin angin.



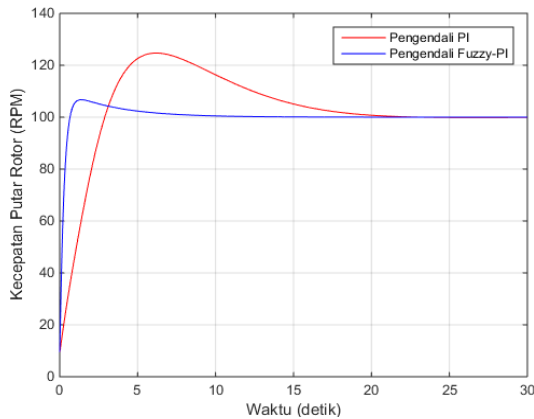
Gambar 7: Tanggapan sistem lingkaran terbuka

Terdapat tiga bagian dari Gambar 7 yaitu bagian A (keadaan transien 1), bagian B (keadaan transien 2) dan bagian C (keadaan *steady*). Adanya dua keadaan transien merupakan pengaruh dari ekstraksi energi angin yang tidak dapat terjadi secara konstan. Ekstraksi energi angin akan mulai memutar rotor secara perlahan (bagian A). Rotor akan berputar semakin cepat setelah mencapai waktu tertentu yang dipengaruhi oleh karakteristik turbin angin (bagian B). Energi mekanik berupa putaran rotor pada akhirnya akan berputar secara konstan pada waktu tertentu. Hal tersebut dapat dilihat pada bagian C. Sedangkan model sistem pengeraman yang digunakan, adalah sebagai berikut:



Gambar 8: Pemodelan sistem pengeraman mekanik turbin angin

Gambar 7 menunjukkan bahwa sistem turbin angin dioperasikan tanpa adanya gesekan dari sistem pengereman mekanis yang diinginkan. Sistem pengereman mekanis merupakan salah satu sistem yang mampu menstabilkan keluaran turbin angin, sistem tersebut akan mencegah keluaran yang berlebihan dengan mengendalikan kecepatan putar rotor pada kecepatan angin yang tinggi.



Gambar 9: Tanggapan sistem lingkaran tertutup pengendali PI dan Fuzzy-PI

Sistem pengereman mekanis yang dirancang menggunakan prinsip gaya gesek. Ketika kecepatan putaran rotor berlebih maka aktuatur akan semakin lama menekan rotor turbin angin. Sistem kendali secara otomatis akan selalu mengoreksi kecepatan angin agar kondisi tetap sesuai dengan *set point*.

Pada penelitian ini, tanggapan sistem lingkaran tertutup menunjukkan bahwa sistem kendali Fuzzy-PI memiliki kinerja yang lebih baik daripada ksistem kendali PI konvensional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kendali logika Fuzzy dapat menangani sistem nonlinier seperti pada kasus putaran rotor turbin angin [14, 15].

Penggunaan sistem pengendali PI dan Fuzzy-PI pada simulasi *plant* turbin angin menghasilkan grafik performa seperti pada Gambar 9. Karakteristik kinerja meliputi: waktu tunda, waktu naik, waktu puncak, dan waktu turun, dari sistem pengendali Fuzzy-PI memiliki nilai yang lebih cepat dibandingkan dengan sistem pengendali PI. Nilai *maximum overshoot* (%) dari sistem pengendali Fuzzy-PI juga lebih kecil dibandingkan dengan sistem pengendali PI. Hasil penelitian tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Riskitasari, *et al.* [17].

Tabel 4: Karakteristik kinerja sistem pengendali PI dan Fuzzy-PI pada Simulasi

Parameter	Pengendali PI	Pengendali Fuzzy-PI	Satuan
Waktu tunda	1,071	0,33	Second
Waktu naik	2,889	0,66	Second
Waktu puncak	6,176	1,375	Second
Waktu tunak	15,051	2,593	Second
Maximum Overshoot	24.704	6,724	%

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menyajikan perbandingan simulasi sistem kendali PI dan Fuzzy-PI untuk pengendali kecepatan putar rotor pada turbin angin sumbu horizontal skala kecil. Sistem lingkaran terbuka menunjukkan bahwa kecepatan putaran rotor yang dihasilkan adalah 166,4 RPM sedangkan kecepatan angin adalah 2 m/s dan sudut *pitch* adalah 0⁰. Sistem kendali yang digunakan adalah sistem pengereman mekanis dengan prinsip gesekan. Sistem pengereman akan mengurangi kecepatan putaran rotor agar sesuai dengan *set point* (100 RPM). Parameter *Kp* dan *Ki* didapatkan dari metode *direct-synthesis* yakni $Kp = -0,02$ dan $Ki = -0,005803$. Selanjutnya, untuk sistem kendali PI, parameter tersebut dapat langsung digunakan, sedangkan untuk sistem kendali Fuzzy-PI perlu dibuat fungsi keanggotaannya terlebih dahulu.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua sistem kendali mampu menahan kecepatan putar rotor turbin angin sesuai dengan *set point* yaitu 100 RPM. Namun demikian didasarkan pada karakteristik kinerja, sistem kendali Fuzzy-PI memiliki waktu tunda, waktu naik, waktu puncak dan waktu tunak yang lebih cepat dibandingkan dengan sistem kendali PI. Yakni: 0,33s berbanding 1,071s; 0,66s berbanding 2,889s; 1,375s berbanding 6,176s; dan 2,593s berbanding 15,051s. Sedangkan *maximum overshoot* yang dihasilkan adalah 6,724 % untuk sistem kendali Fuzzy-PI dan 24,704% untuk sistem kendali PI. Berdasarkan hal tersebut, penerapan sisten kendali Logika fuzzy dapat menangani sistem turbin angin yang bersifat nonlinier termasuk sistem kendali putaran rotor dan mengatur parameter PI untuk mendapatkan kinerja yang lebih baik.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] SUHARIYANTO. 2020. *Neraca Energi Indonesia 2015-2019*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- [2] TRAN, M.Q., LI, Y.C., LAN, C.Y., LIU, M.K., “Wind Farm Fault Detection by Monitoring Wind Speed in the Wake Region”, *Energies*, v. 13, 6559, December 2020, <https://doi.org/10.3390/en13246559>
- [3] ALIT, B.I., SUTANTO, R., MARA, I M., MIRMANTO., “Effect of Concentrator, Blade Diameter and Blade Number on the Savonius Wind Turbine Performance”, *Asian Journal of Applied Sciences*, v. 5, n. 2, pp 343-351, Apr 2017.
- [4] ASY'ARI, M.K., INDIRAWATI, K., NORIYATI, R.D., MUSYAFA', A. “Evaluation of Wind Turbine Installation and Development at Sidrap Wind Farm, South Sulawesi, Indonesia”, *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering*, v. 20, n. 5, pp. 66-73, Oct. 2020.
- [5] NORIYATI, R.D., MUSYAFA', A., RAHMADIANSAH A., UTAMA, A.S., ASY'ARI, M.K., ABDILLAH M., “Design and Implemented Buck-Boost Converter Based Fuzzy Logic Control on Wind Power Plant”, *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering*, v. 20, n. 1, pp. 115-122, Feb. 2020.
- [6] ASY'ARI, M.K., MUSYAFA', A., INDIRAWATI, K., “Design of Wind Turbine Output Voltage Control Systems in Multi-Input Buck Converter Using Fuzzy Logic Control for Battery Charging”, In: *Proceedings of the International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture and Industrial Automation*, pp. 249-252, Oct. 2019.
- [7] MARTINEZ-MARQUEZ, C.I., TWIZERE-BAKUNDA J.D., LUNDBACK-MOMPO, D., ORTS-GRAU S., GIMENO-SALES, F.J., SEGUI-CHILET, S., “Small Wind Turbine Emulator Based on Lambda-Cp Curves Obtained under Real Operating Conditions”, *Energies*, v. 12, 2456, Jun 2019, <https://doi.org/10.3390/en12132456>
- [8] TIAHJANA, D.D.D.P., PURBANINGRUM, P., HADI, S., WICAKSONO, Y.A., ADIPUTRA, D., “The Study of the Influence of the Diameter Ratio and Blade Number to the Performance of the Cross Flow Wind Turbine by Using 2D Computational Fluid Dynamics Modeling”, In: *Proceedings of the The 3rd International Conference on Industrial, Mechanical, Electrical, and Chemical Engineering AIP Conf. Proc.*, pp 1-5, Feb 2018.
- [9] SURESH, A., RAJAKUMAR, S. “Design of small horizontal axis wind turbine for low wind speed rural applications”, *Materials Today: Proceedings*, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.008>
- [10] SAWANT, M., THAKARE, S., RAO, P., FEIJOO-LORENZO, A.E., BOKDE, N.D., “A Review on State-of-the-Art Reviews in Wind-Turbine-

- and Wind-Farm-Related Topics”, *Energies*, v. 14, 2041, Apr 2021, <https://doi.org/10.3390/en14082041>
- [11] N. Wang, “Advanced Wind Turbine Control”, In: *Advanced Wind Turbine Technology* 1 ed., chapter 10, Switzerland: Springer International Publishing.
- [12] HUSNAINI, I., KRISMADINATA., “Komparasi Pengendali PI dan PID untuk Tegangan Keluaran Konverter Buck”, *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, v. 6, n. 3, Sep 2017, <https://doi.org/10.20449/jnte.v6i3.387>
- [13] FERDIANSYAH, I., IRIANTO., SUNARNOR, E., “Penerapan Kontrol PI Pada Alat Pengaduk dan Pengukus Adonan Puduk untuk Meningkatkan Hasil Produksi Industri Rumah Tangga di Gresik”, *Jurnal Teknologi Terpadu*, v. 2, pp: 134-143, Oct 2020.
- [14] NASRON., SUROSO., PUTRI, A.R., “Sistem Kendali Temperatur, Kelembaban Tanah, Dan Cahaya Otomatis Menggunakan Raspberry Pi Pada *Smart Greenhouse*”, *Jurnal Electrics, Electronics, Communications, Controls, Informatics, Systems*, v. 13, n 3, pp. 114-119, Dec 2019.
- [15] RACHMADI, M.A., MUSLIM, M.A., YUDININGTYAS, E., “Sistem Kontrol Kecepatan Sepeda Listrik Menggunakan Metode Self-Tuning Parameter PI dengan Metode Logika Fuzzy”, *Jurnal Electrics, Electronics, Communications, Controls, Informatics, Systems*, v. 10, n 1, pp. 26-32 Jun 2016.
- [16] WAURAN, A.S., “Pemodelan Penggunaan Energi Turbin Angin Untuk Daerah Manado”, *Jurnal MIPA*, v. 8, n. 3, pp. 188-191, Oct 2019.
- [17] RISKITASARI, S., SETIAWAN, B., PUTRI, R.I., NURWICAKSAN, W.A., “Kontrol Fuzzy PI untuk Pengaturan Kecepatan Angin oleh *Wind Generator* 1.42 Hp pada *Wind Tunnel*”, *Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, v. 8, n. 2, pp. 288-200, May 2020. <http://dx.doi.org/10.26760/elkomika.v8i2.288>
- [18] WACHID, A.R., WAHJONO, E., NUGRAHA, S.D., “Desain dan Simulasi Dual Input Single Output Buck Converter dengan Kontrol Fuzzy”, *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, v. 10, n. 1, pp. 63-70 Feb 2021.
- [19] JAYA, V., SUJONO., “Perancangan Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Turbin Angin PMS Kapasitas 300 Watt dengan Algoritma Fuzzy”, *Jurnal Maestro*, v. 1, n. 2, pp. 323-329, Oct 2018.

INVESTIGASI KINERJA MESIN PENDINGIN RUANGAN SISTEM REFRIGERASI MENGGUNAKAN R32 BERDASARKAN SUHU UDARA EVAPORATOR

Refrigerant jenis CFC dan HCFC seperti R22 berpotensi besar terhadap kerusakan lapisan ozon dan meningkatkan pemanasan global . Sejak awal 2015 produksi mesin pendingin ruangan untuk Indonesia beralih menggunakan refrigerant yang lebih ramah lingkungan seperti R32. Kinerja mesin pendingin pada aplikasi di lapang sulit diketahui tanpa adanya investigasi secara langsung, sehingga perlu adanya penelitian investigasi kinerja mesin pendingin ruangan dengan R32. Pengujian dilakukan pada mesin pendingin tipe CU-PN24RKP dengan refrigerant R32. Parameter yang diukur adalah suhu udara sebelum masuk evaporator, suhu udara keluaran evaporator, suhu udara lingkungan, suhu udara keluaran kondensor. Pengukuran kecepatan aliran udara evaporator dan pengukuran daya listrik mesin pendingin juga dilakukan. Kecepatan aliran udara evaporator saat investigasi diatur pada kecepatan maksimalnya. Hasil pengujian mesin pendingin menunjukkan kinerja evaporator dapat menurunkan suhu udara dengan kisaran 9,95 - 10,65°C. Kapasitas pendinginannya berkisar 5,70 – 6,65 kW dan masih kurang dari standar pabrikan yaitu 7,10 kW. Hal itu kemungkinan disebabkan oleh pipa saluran refrigerant yang panjang. Nilai EER mesin pendingin berkisar 2,14 – 3,08 yang sebagiannya masih sesuai dengan standar pabrikan yaitu 2,74. Suhu udara lingkungan mempengaruhi suhu udara keluaran kondensor dan kapasitas pendinginan. Meningkatnya suhu lingkungan dan suhu udara keluaran kondensor menyebabkan penurunan kapasitas pendinginan dan nilai EER mesin pendingin. Suhu udara keluaran kondensor yang terlalu tinggi akan menyebabkan kompresor mesin pendingin mengalami gangguan. Sirkulasi udara yang

Dedy Eko Rahmanto

Dosen
Politeknik Negeri Jember
Jurusan Teknik
Email:
dedy_eko@polije.ac.id

Rizqa Daniyati

Dosen
Politeknik Negeri Jember
Jurusan Teknik

lancar dan penempatan kondensor yang tepat diperlukan agar kinerja mesin pendingin selalu baik.

Kata kunci: *investigasi, mesin pendingin, R32, suhu udara*

1. PENDAHULUAN

Mesin pendingin ruangan sudah menjadi kebutuhan utama pada saat ini. Mesin pendingin bekerja dengan menggunakan *refrigerant* [1]. Akan tetapi *Refrigerant* jenis *chlorofluorocarbon* (CFC) dan *hydrochlorofluorocarbon* (HCFC) seperti R22 memiliki potensi yang sangat besar terhadap terjadinya pemanasan global dan penipisan lapisan ozon yang sering disebut sebagai bahan perusak ozon (BPO). Kedua *refrigerant* tersebut mulai digantikan dengan *refrigerant* ramah lingkungan. Sebagai alternatif yang direkomendasikan adalah dengan menggunakan hidrokarbon (HC) yang memiliki beberapa karakteristik positif yaitu potensi penipisan lapisan ozon sama dengan nol, efek pemanasan global yang rendah, non-toksitas dan sesuai digunakan dalam sistem pendingin. Kerugian utama menggunakan hidrokarbon sebagai *refrigerant* adalah karena mudah terbakar [2,3]

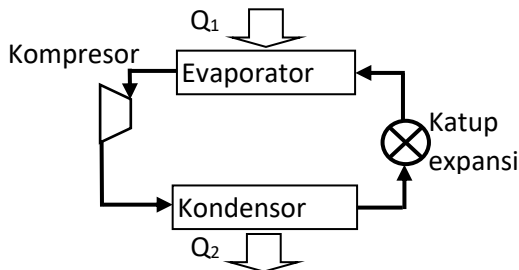
Berdasarkan Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia nomor 41/M-IND/PER/5/2014 telah ditetapkan larangan masuknya *refrigerant* R22 yang sebelumnya mendominasi penggunaan *refrigerant* pada mesin pendingin ruangan. Peraturan tersebut dikeluarkan berdasarkan ketentuan Konvensi Wina dan Protokol Montreal bahwa Negara berkembang wajib melaksanakan penghapusan penggunaan BPO secara bertahap sampai batas waktu tertentu. Sejak 1 Januari 2015 mesin pendingin ruangan yang menggunakan *refrigerant* R22 sudah tidak boleh diproduksi lagi untuk Negara Indonesia dan mesin pendingin berbasis R22 yang sudah terlanjur diproduksi yang ada di Indonesia dan sudah tersedia di agen penjualan masih boleh dipasarkan dan boleh digunakan hingga sekitar tahun 2030 [4].

Sejak 2015 mesin pendingin ruangan yang baru sudah tidak menggunakan *refrigerant* BPO lagi. Salah satu *refrigerant* yang banyak digunakan adalah R32. Kinerja *refrigerant* R32 dikabarkan lebih baik dari R22 [5]. Akan tetapi data kinerja mesin pendingin ruangan seperti kapasitas pendinginan dan nilai EER dengan *refrigerant* R32 di Indonesia pada aplikasinya di lapang masih sedikit. Penelitian investigasi tentang performansi atau kinerja mesin pendingin yang menggunakan R32 perlu dilakukan.

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi kinerja mesin pendingin ruangan 2,5 PK menggunakan *refrigerant* R32. Kinerja yang diuji meliputi penurunan suhu udara evaporator, kapasitas pendinginan dan EER dari mesin pendingin. Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah diperolehnya data

kinerja mesin pendingin ruangan menggunakan R32. Selain itu dapat diberikan rekomendasi penggunaan mesin pendingin berdasarkan data hasil uji kinerja mesin pendingin yang diteliti.

Mesin pendingin ruangan bekerja dengan sistem terkendali menggunakan fluida kerja (*refrigerant*) yang akan menyerap panas dari dalam ruangan dan mengeluarkannya ke luar ruangan. *Refrigerant* mengalir dari tangki penampung masuk ke dalam evaporator melalui pipa kapiler ataupun katup ekspansi. *Refrigerant* cair dipaksa menguap di dalam evaporator yang diturunkan tekanannya menggunakan kompresor. Uap *refrigerant* yang terserap oleh kompresor kemudian dimampatkan dan masuk ke dalam kondensor untuk diembunkan atau didinginkan oleh udara lingkungan yang ada di luar ruangan. *Refrigerant* yang kembali menjadi cair ditampung kembali dalam tangki penampung untuk kemudian diuapkan kembali ke dalam evaporator. Siklus tersebut berjalan berulang-ulang sehingga dapat mendinginkan ruangan [1, 6, 7]. Siklus dalam sistem kerja mesin pendingin ruangan adalah seperti pada **Gambar 1**.



Gambar 1: Mekanisme kerja mesin pendingin

Jumlah panas yang dapat diserap dari udara ruangan yang didinginkan oleh *refrigerant* melalui evaporator, maupun jumlah panas yang dapat dilepas oleh *refrigerant* ke lingkungan di luar ruangan melalui kondensor sangat tergantung pada efektifitas kerja evaporator serta kondensor yang merupakan unit-unit penukar panas. Konstruksi pipa-pipa penukar panas diberi sirip-sirip untuk meningkatkan perpindahan panas. Selain itu sirip-sirip ini juga berfungsi untuk menambah kekuatan konstruksi dari kondensor karena *refrigerant* meninggalkan kompresor dalam bentuk uap yang bertekanan tinggi dan bersuhu tinggi.

Rasio efisiensi energi (EER) akan meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan aliran udara pendingin pada kondensor. Konsumsi listrik mesin pendingin (AC) dipengaruhi oleh laju aliran udara kipas kondensor dan suhu lingkungan. Semakin lambat aliran udara kipas kondensor penggunaan energi listrik semakin besar. Semakin tinggi suhu lingkungan, semakin tinggi juga konsumsi energi listriknya. Semakin tinggi suhu lingkungan akan menurunkan EER mesin pendingin [7, 8, 9].

Refrigeran R32 memiliki panas laten yang lebih tinggi daripada R410A dan R22. Refrigerant R32 juga memiliki tekanan kerja yang lebih tinggi daripada R410A dan R22. R32 juga memiliki kapasitas pendinginan dan nilai EER yang lebih tinggi daripada R410A dan R22 pada pengujian AC Window [10].

2. METODE DAN BAHAN

Investigasi kinerja mesin pendingin ruangan dilaksanakan di ruang Dosen Lt. 3 Gedung Teknik Politeknik Negeri Jember. Mesin pendingin yang diinvestigasi adalah satu buah berupa AC split dengan daya 2,5 pk tipe CU-PN24RKP. Bahan dan metode yang digunakan akan disajikan pada sub bab ini.

2.1 Bahan dan alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah refrigerant R32, kain kasa, benang, air dan udara. Refrigerant R32 adalah refrigerant yang digunakan oleh mesin pendingin ruangan yang diinvestigasi. Kain kasa dan benang digunakan sebagai sumbu untuk termometer bola basah. Air digunakan untuk membasahi sumbu pada termometer bola basah. Udara adalah udara ruangan dan udara lingkungan sekitar kondensor dari mesin pendingin.

Alat yang digunakan dalam investigasi adalah: dataloger Autonics tipe KRN100-08002-01-0S, sensor suhu RTD PT100, manifold tester Refco, Anemometer tipe GM 816 dan wattmeter tipe DEM 1499. Datalogger digunakan untuk merekam suhu hasil pembacaan. Sensor suhu digunakan untuk mendeteksi suhu. Manifold tester digunakan untuk mengukur tekanan refrigerant. Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara yang keluar dari evaporator mesin pendingin. Wattmeter digunakan untuk mengukur kebutuhan daya listrik dari mesin pendingin.

2.2 Metode

Penelitian ini adalah penelitian observasi. Kinerja mesin pendingin yang terpasang dalam ruangan diukur parameternya untuk memperoleh data sebagai berikut ini.

- a. Data suhu keluaran evaporator berupa suhu bola basah dan suhu bola kering.
- b. Data suhu udara sebelum masuk evaporator berupa suhu bola basah dan bola kering.
- c. Data suhu udara lingkungan sebelum masuk ke kondensor.
- d. Data suhu udara lingkungan setelah keluar dari kondensor.
- e. Data kecepatan aliran udara keluar dari evaporator.
- f. Data penggunaan daya listrik.
- g. Data tekanan refrigerant di pipa hisap kompresor.

Sensor suhu yang digunakan tipe RTD sebanyak 6 buah dengan panjang kabel masing-masing sekitar 5 meter. Data suhu yang diperlukan adalah data suhu bola basah dan data suhu bola kering. Sensor suhu RTD yang tersedia dijadikan sensor suhu bola basah sebanyak 2 buah dan sensor suhu bola kering sebanyak 4

buah. Sensor RTD dipasang di dataloger 8 chanel KRN100 dengan durasi perekaman 1 detik. Dataloger yang digunakan adalah seperti pada Gambar 2.



Gambar 2: Dataloger 8 chanel KRN100

Sensor suhu bola basah dan bola kering dipasang untuk mengukur suhu udara sebelum memasuki evaporator dan setelah melewati evaporator. Pemasangan sensor suhu udara sebelum memasuki evaporator adalah seperti pada **Gambar 3**. Pemasangan sensor suhu udara setelah keluar evaporator adalah seperti pada **Gambar 4**.



Gambar 3: Pemasangan sensor suhu udara sebelum memasuki evaporator



Gambar 4: Pemasangan sensor suhu udara yang keluar dari evaporator

Kecepatan aliran udara keluaran evaporator diukur menggunakan anemometer pada 5 titik pengukuran yang berbeda. Seting kecepatan kipas evaporator yang digunakan dalam penelitian ini adalah kecepatan yang tertinggi dari empat mode pilihan kecepatan kipas evaporator. Kecepatan kipas tertinggi merupakan kecepatan yang paling sering digunakan.

Daya listrik yang digunakan mesin pendingin diukur menggunakan wattmeter dengan durasi sampling setiap 2 menit. Daya listrik tersebut digunakan untuk perhitungan nilai EER mesin pendinginan. Tekanan uap jenuh dan tekanan uap air aktual dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$e^{\circ}(T) = 0.6108 \exp \frac{17.27T}{T + 237.3} \quad (1)$$

$$P_v = e^{\circ}(T_{wet}) - \gamma_{psy} (T - T_{wet}) \quad (2)$$

$e^{\circ}(T)$ adalah tekanan uap jenuh pada suhu udara normal (kPa), P_v adalah tekanan uap aktual (kPa), $e^{\circ}(T_{wet})$ adalah tekanan uap jenuh pada suhu bola basah (kPa), T_{wet} adalah suhu thermometer bola basah ($^{\circ}\text{C}$), T adalah suhu udara normal (suhu thermometer bola kering) ($^{\circ}\text{C}$) dan γ_{psy} adalah konstanta psikrometri yang nilainya 0.06738 pada tekanan 1 atm [11, 12].

$$RH = 100 \times [P_v / e^{\circ}(T)] \quad (3)$$

RH adalah kelembaban relative udara (%). Kelembaban spesifik udara dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\omega = 0.622 \times \frac{P_v}{P_a} \quad (4)$$

ω adalah kelembaban udara mutlak (kg/kg udara kering), P_a adalah tekanan udara murni tanpa uap air (kPa) dan P_v adalah tekanan uap air pada suhu udara tersebut (kPa).

$$P_a = P - P_v \quad (5)$$

P adalah tekanan atmosfer (kPa). Entalpi udara sebelum memasuki evaporator dan sesudah melalui evaporator dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$h = T + \omega(2501 + 1,82T) \quad (6)$$

Entalpi (h) dinyatakan dalam kJ/kg udara kering dan T adalah suhu udara dalam satuan °C. Volume spesifik udara yang keluar dari evaporator dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$V_s = (0,082T + 22,4) \times (1/29 + \omega/18) \quad (7)$$

V_s adalah volume spesifik udara (m³/kg udara kering). Laju aliran udara keluaran evaporator dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$D_c = v \times A \quad (8)$$

D_c adalah laju aliran udara (m³/detik), v adalah kecepatan aliran udara (m/detik) dan A adalah luas penampang saluran udara keluaran evaporator (m²). Laju aliran energi panas yang diserap oleh evaporator dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q = \frac{D_c}{V_s} \times (h_A - h_B) \quad (9)$$

Q adalah laju aliran energi panas (kJ/menit), h_A adalah nilai entalpi udara sebelum melewati evaporator (kJ/kg), h_B adalah entalpi udara setelah melalui evaporator (kJ/kg).

Koefisien performansi mesin pendingin (EER) evaporator dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$EER = \frac{Q_e}{W_c} \quad (10)$$

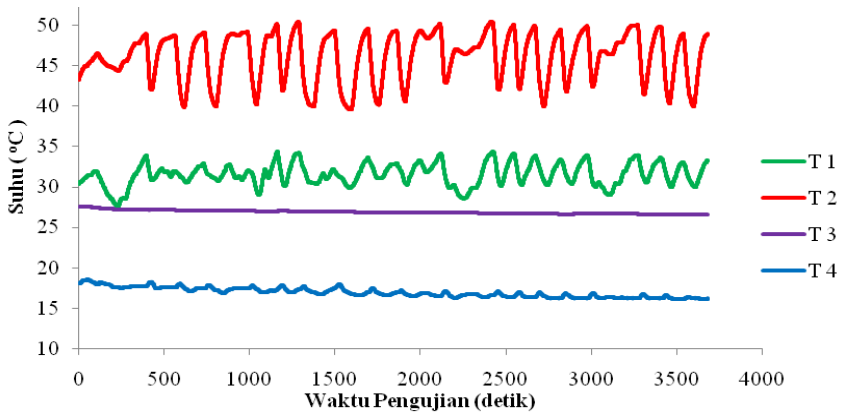
Q_e adalah energi panas yang diserap evaporator (kJ) dan W_c adalah energi yang diperlukan untuk kerja mesin pendingin (kJ).

Suhu hasil pengamatan digunakan sebagai dasar untuk menghitung nilai entalpi udara dan volume spesifik udara. Persamaan 1 hingga persamaan 9 merupakan tahapan untuk menghitung kapasitas pendinginan evaporator mesin pendingin. Persamaan 10 digunakan untuk menghitung nilai EER mesin

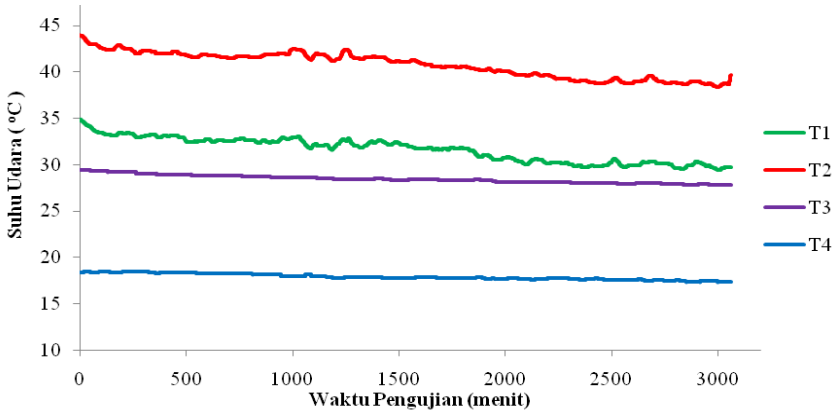
pendingin. Aplikasi *Microsoft Excel* digunakan untuk melakukan perhitungan dan pembuatan grafik dalam penelitian ini [7, 13,14,15].

3. HASIL DAN DISKUSI

Pengujian kinerja mesin pendingin menunjukkan suhu udara lingkungan dan suhu udara keluaran kondensor hasil pengamatan selalu berubah-ubah. Perubahan suhu yang terjadi disajikan dalam bentuk grafik seperti pada **Gambar 5**, **Gambar 6** dan **Gambar 7**.



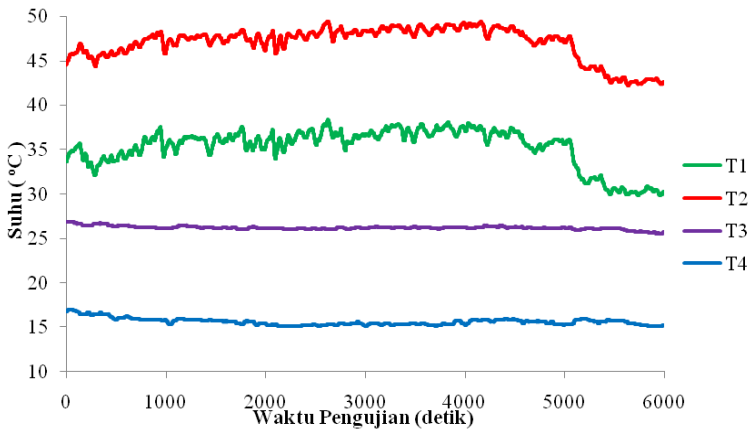
Gambar 5: Grafik hubungan waktu pengujian dengan suhu udara lingkungan (T1) keluaran kondensor (T2) ruangan (T3) keluaran evaporator (T4) pada pengujian hari pertama.



Gambar 6: Grafik hubungan waktu pengujian dengan suhu udara lingkungan (T1) keluaran kondensor (T2) ruangan (T3) keluaran evaporator (T4) pada pengujian hari kedua.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5 sampai Gambar 7 terlihat bahwa suhu udara keluaran kondensor sangat dipengaruhi oleh suhu lingkungan. Suhu udara

keluaran kondensor akan meningkat apabila suhu udara lingkungan meningkat. Kenaikan suhu udara keluaran kondensor dikarenakan suhu udara lingkungan menyerap panas yang dilepaskan *refrigerant* R32 melalui kondensor. *Refrigerant* dipaksa untuk mengembun di dalam kondensor sehingga melepaskan panas ke udara lingkungan melalui penukar panas Suhu udara keluaran evaporator juga dipengaruhi oleh suhu lingkungan. Semakin tinggi suhu udara lingkungan, suhu udara keluaran evaporator juga ikut meningkat. Akan tetapi peningkatan suhu keluaran evaporator terlihat tidak terlalu banyak, sedangkan suhu udara sebelum memasuki evaporator terlihat tidak banyak dipengaruhi oleh suhu lingkungan karena ruangan memiliki dinding pemisah dengan udara lingkungan [7, 16,17]

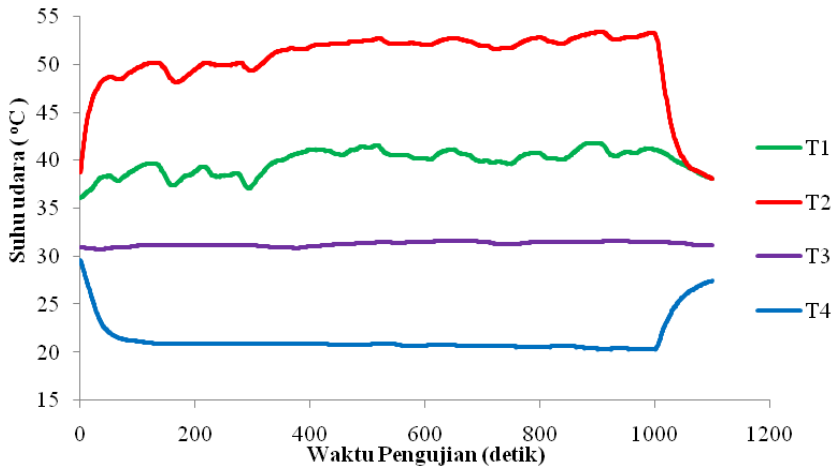


Gambar 7: Grafik hubungan waktu pengujian dengan suhu udara lingkungan (T1) keluaran kondensor (T2) ruangan (T3) keluaran evaporator (T4) pada pengujian hari ketiga.

Pengujian kinerja mesin pendingin pada hari ke 3 sempat mengalami gangguan. Gangguan terjadi setelah pengujian berjalan sekitar 1000 detik. Mesin pendingin mengalami gangguan karena suhu udara lingkungan dan suhu udara keluaran kondensor yang terlalu tinggi. Suhu yang terlalu tinggi menyebabkan kompresor mesin pendingin mengalami panas dan beban yang berlebihan. Meningkatnya suhu udara lingkungan kondensor kemungkinan disebabkan karena sirkulasi udara yang kurang lancar dan penempatan kondensor yang kurang tepat atau terlalu berdekatan dengan kondensor yang lain seperti pada **Gambar 8**. Grafik suhu udara pada pengujian hari ke 3 pada saat mengalami gangguan adalah seperti pada **Gambar 9**. Berdasarkan grafik tersebut terlihat setelah pengujian sekitar 1000 detik suhu keluaran kondensor tiba-tiba turun dan suhu keluaran evaporator tiba-tiba naik karena kompresor mati sehingga *refrigerant* tidak dapat bersirkulasi untuk memindahkan panas dari evaporator ke kondensor [18].



Gambar 8: Penempatan kondensor AC Gedung Teknik.



Gambar 9: Grafik hubungan waktu pengujian dengan suhu udara lingkungan (T1) keluaran kondensor (T2) ruangan (T3) keluaran evaporator (T4) pada pengujian hari ketiga saat mengalami gangguan

Data suhu hasil pengamatan serta perhitungan kapasitas pendinginan dan nilai EER yang dihasilkan jumlahnya mencapai ribuan data karena tercatat per detik. Data-data tersebut tidak mungkin ditampilkan semuanya dalam tabel hasil pengamatan. Data suhu udara rata-rata, kapasitas pendinginan dan EER mesin pendingin selama pengujian ditampilkan pada **Tabel 1**.

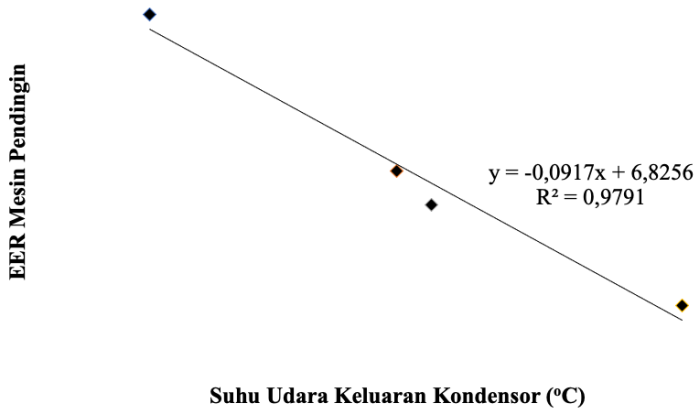
Tabel 4: Data Rata-Rata Hasil Pengamatan dan Perhitungan

Data / Hari ke-	1	2	3	4
Suhu lingkungan (°C)	31,55 ± 1,37	31,53 ± 1,25	40,15±1,08	35,07±2,51
Suhu keluaran kondensor (°C)	46,12 ± 2,96	41,34 ± 2,26	51,64±1,28	46,80±2,21
Suhu ruangan (°C)	26,88 ± 0,22	28,37 ± 0,45	31,37± 0,20	26,22± 0,20
Suhu keluaran Evaporator (°C)	16,93 ± 0,58	17,85 ± 0,33	20,71 ±0,19	15,63±0,40
Penurunan suhu udara kondensor (°C)	14,57 ± 2,43	9,81 ± 2,06	11,50±0,51	11,73±0,50
Kenaikan suhu udara evaporator (°C)	9,95 ± 0,39	10,52 ± 0,15	10,65±0,36	10,59±0,27
Kapasitas pendinginan (kW)	5,89 ± 0,18	6,65 ± 0,12	5,70±0,07	5,89±0,26
EER	2,58 ± 0,15	3,08 ± 0,13	2,14± 0,08	2,47±0,08

Berdasarkan **Tabel 1** dapat diketahui bahwa evaporator mesin pendingin yang diuji dapat menurunkan suhu udara rata-rata sebesar 9,95 °C hingga 10,65°C. Penurunan suhu ini karena panas yang ada pada udara ruangan diserap oleh *refrigerant* melalui evaporator. *Refrigerant* R32 dipaksa untuk menguap di dalam evaporator sehingga menyerap panas udara ruangan melalui penukar panas.

Kapasitas pendinginan mesin pendingin hasil pengujian rata-rata berkisar 5,7 kW hingga 6,65 kW. Nilai kapasitas pendinginan yang dihasilkan masih di bawah nilai standar pabrikan dari mesin pendingin yaitu 7,10 kW. Kapasitas pendinginan ini dipengaruhi oleh suhu udara lingkungan dan suhu udara keluaran kondensor. Semakin tinggi suhu udara lingkungan dan suhu udara keluaran kondensor akan semakin menurunkan kapasitas pendinginan karena proses pelepasan panas ke udara lingkungan di kondensor semakin sulit. Selain itu penurunan kapasitas pendinginan kemungkinan disebabkan oleh pipa penghantar *refrigerant* dari evaporator ke kondensor yang cukup panjang. Nilai EER hasil pengujian rata-rata berkisar 2,14 hingga 3,08. Nilai EER ini bermakna bahwa kapasitas pendinginan yang dihasilkan bernilai 2,14 hingga 3,08 kali dari energi listrik yang digunakan mesin pendingin. Suhu keluaran kondensor yang semakin tinggi akan menurunkan EER mesin pendingin. Nilai EER rata-rata pengamatan ke 1, 3 dan 4 kurang dari nilai EER standar pabrikan mesin pendingin yang tertera pada spesifikasi mesin yaitu 2,65, hal itu disebabkan oleh suhu udara keluaran kondensor yang tinggi, sedangkan nilai EER rata-rata pengamatan hari ke 2 sesuai standard pabrikan mesin pendingin [19, 20].

Grafik hubungan antara suhu udara keluaran kondensor rata-rata dengan EER mesin pendingin ditunjukkan pada **Gambar 9**. Semakin tinggi suhu udara keluaran kondensor maka semakin rendah nilai EER mesin pendingin. Penurunan EER tersebut karena semakin tinggi suhu udara keluaran kondensor akan menyebabkan kerja kompresor semakin berat sehingga membutuhkan energi listrik yang lebih besar [21].



Gambar 1: Grafik hubungan suhu udara keluaran kondensor rata-rata dengan nilai COP pendinginan.

Persamaan regresi yang diperoleh dari grafik pada Gambar 8 dapat digunakan untuk memprediksi nilai EER. Berdasarkan suhu udara keluaran kondensor akan memberikan hasil seperti pada **Tabel 2**.

Tabel 5: Prediksi Nilai COP Mesin Pendingin Berdasar Suhu Udara Keluaran Kondensor

Suhu (°C)	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
EER	3,07	2,97	2,88	2,79	2,70	2,61	2,52	2,42	2,33	2,24

Berdasarkan **Tabel 2** kinerja mesin pendingin akan tetap baik selama suhu udara keluaran kondensor tidak lebih dari 45°C. Nilai EER akan di bawah nilai standar pabrikan mesin pendingin apabila suhu udara keluaran kondensor lebih dari 45°C.

4. KESIMPULAN

Evaporator mesin pendingin mampu menurunkan suhu rata-rata sebesar 9,95°C hingga 10,65°C. Kapasitas pendinginan yang dihasilkan adalah 5,70 kW hingga 6,65 kW. Nilai EER yang dihasilkan adalah 2,14 hingga 3,08. Suhu udara keluaran kondensor yang terlalu tinggi akan menyebabkan kompresor mesin pendingin mengalami gangguan.

5. PERNYATAAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada P3M Politeknik Negeri Jember yang telah membiayai penelitian ini melalui Program Penelitian Dosen Pemula Sumber Dana BOPTN 2016.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] WHITMAN, B., JOHNSON, B., TOMCZYK, J., SILBERSTEIN, E., *Refrigeration and air conditioning technology*, 8 ed., Boston, Cengage Learning, 2017
- [2] SIHALOHO, P. T. E., TAMBUNAN, A. H., Perkembangan Teknik Refrigerasi dan Pemanfaatan Hidrokarbon sebagai Refrigeran Untuk Mesin Pembeku, *Jurnal Keturnikan Pertanian*, v. 19, N. 2, pp. 83-90, Aug. 2005
- [3] HANAFIE, A., FADHLI, F., HASRULLAH, A., HIDAYAT, M. R., Perbandingan refrigerant Hfc dan Hidrokarbon dalam proses percepatan pendinginan dan penghematan energi pada refrigeranator. *ILTEK: Jurnal Teknologi*, v. 12, N. 2, pp: 1806-1809, Oct. 2017
- [4] REPUBLIK INDONESIA, *Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia nomor 41/M-IND/PER/5/2014 Tentang: Larangan Penggunaan HCFC di Bidang Perindustrian*, Jakarta, Biro Hukum dan Organisasi, Jun. 2014
- [5] PRATAMA, F. A., MITRAKUSUMA, W. H., FALAHUDDIN, M. A., AYU, W. S., Kajian kinerja sistem refrigerasi menggunakan refrigeran R32, R22 & R1270 menggunakan REFPROP, In: *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, v. 12, pp. 472-477, Aug. 2021
- [6] RAHMANTO, D. E., FEBRIANI, S. D. A., Pendinginan refrigerasi untuk air pendingin kondensor sebagai upaya penghematan penggunaan air. In: *Prosiding seminar hasil penelitian 2017*, Politeknik Negeri Jember, pp. 273-276, Feb. 2018
- [7] RAHMANTO, DE., *Rancang bangun alat pengering dengan memanfaatkan panas kondensor AC ruangan (kasus pengeringan chips kentang)*, Tesis Magister, Institut Pertanian Bogor, 2011
- [8] EFFENDI, M., Pengaruh kecepatan udara pendingin kondensor terhadap koefisien prestasi air conditioning, *J Teknik Gelagar*; v. 16, n. 1, pp. 51-58, Oct. 2005
- [9] NETHAJI, N., & MOHIDEEN, S. T., Energy conservation studies on a split airconditioner using loop heat pipes, *Energy and Buildings*, v. 155, pp. 215-224, Sep. 2017
- [10] HADYA, B., PRASAD, A. M. K., Akella, S., Performance Assessment of HFC Group Refrigerants in Window Air Conditioning System, *International Journal of Mechanical Engineering and Applications*, v. 3, n. 5, pp. 81 – 85, Aug. 2015
- [11] ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M., Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome. v. 300, n. 9, 1998

- [12] HUANG, J., A simple accurate formula for calculating saturation vapor pressure of water and ice. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v. 57, n. 6, pp. 1265-1272, Jun. 2018
- [13] SHERWIN, K., Introduction to thermodynamics, Berlin, Springer Science & Business Media, 2012
- [14] FARREL, M., RACE, G.L., *Practical Psychrometry*, Norwich, CIBSE Publication, 2012
- [15] SINGH, RP., HELDMAN, DR., Introduction to food engineering, 5 ed., Amsterdam, Academic Press, 2014
- [16] HUNDY G.F., *Refrigeration, air conditioning and heat pumps*, 5 ed, Oxford, Butterworth-Heinemann, 2016
- [17] [STANDARD, A. H. R. I., Performance rating of unitary air-conditioning & air-source heat pump equipment, *AHRI Standard*, 210/240, 2017
- [18] SUN, J., IM, P., BAE, Y., MUNK, J., KURUGANTI, T., FRICKE, B., Fault detection of low global warming potential refrigerant supermarket refrigeration system: Experimental investigation. *Case Studies in Thermal Engineering*, v. 26, 101200, Jun. 2021
- [19] KIM, D., LEE, D., LEE, M., CHUNG, H. J., KIM, Y., Energy performance evaluation of two-phase injection heat pump employing low-GWP refrigerant R32 under various outdoor conditions, *Energy*, v. 214, 119098, Jan. 2021
- [20] HARMAN, H., MUKHLIS, A., HAMARUNG, H., Analisis eksperimen penggunaan refrijeran R22, R32, dan campuran R502-R407C untuk mengetahui kinerja AC split, *Dinamika: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, v. 9, n. 1, pp. 1-5, Nov. 2017
- [21] NI, J., BAI, X., A review of air conditioning energy performance in data centers, *Renewable and sustainable energy reviews*, v. 67, pp. 625-640, Des. 2017

ANALISIS PERBANDINGAN VARIASI FLUIDA PENDINGIN BERUPA *MINERAL OIL* DAN *VIRGIN COCONUT OIL (VCO)* TERHADAP PERFORMA *IMMERSION COOLING* PADA *CENTRAL PROCESSING UNIT*

Metode pendinginan konvensional dirasa belum cukup mampu mengimbangi panas yang dihasilkan CPU saat digunakan dalam jangka waktu yang lama. Oleh karena itu digunakan sistem pendinginan immersion cooling. Komputer dengan pendinginan konvensional didesain menjadi pendinginan immersion cooling. Komponen komputer berupa motherboard direndam dalam akuarium yang berisi cairan dielektrik. Cairan dielektrik yang digunakan yaitu mineral oil dan virgin coconut oil (VCO). Untuk mengetahui fluida pendingin yang terbaik dalam metode pendinginan immersion cooling, dilakukan pengukuran temperatur CPU serta temperatur saluran inlet dan outlet selama 24 jam. Hasil pengujian diperoleh pendinginan dengan immersion cooling lebih baik dibandingkan pendinginan konvensional. Temperatur CPU menggunakan pendinginan konvensional sebesar 71 °C sedangkan menggunakan immersion cooling 42 °C. Performa immersion cooling dengan fluida pendingin VCO lebih baik dibandingkan immersion cooling dengan fluida pendingin mineral oil. Hal ini dibuktikan dengan temperatur maksimal CPU yang dihasilkan ketika menggunakan cairan pendingin VCO hanya 42 °C. Temperatur ini lebih rendah dibandingkan dengan Mineral Oil yang sebesar 56 °C. Temperatur maksimal saluran inlet dan outlet cairan pendingin

Bayu Rudiyanto

Tenaga Pengajar (Dosen)
Politeknik Negeri Jember
Jurusan Teknik

Nur Lintang Rahmatika

Tenaga Pengajar (Dosen)
Politeknik Negeri Jember
Jurusan Teknik

Risse Rahmanita Entikasari

Tenaga Pengajar (Dosen)
Politeknik Negeri Jember
Jurusan Teknik

Azamataufiq Budiprasojo

Tenaga Pengajar (Dosen)
Politeknik Negeri Jember
Jurusan Teknik

Tosawat Seetawan

Lecturer Faculty of Science
and Technology, Sakhon
Nakhon Rajabhat University

VCO sebesar 37,5 °C dan 36,8 °C sedangkan Mineral Oil sebesar 33,2 °C dan 32,6 °C.

Kata kunci : *Immersion cooling, cairan dielektrik, mineral oil, virgin coconut oil, performa immersion cooling*

1. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan zaman tidak dapat dipungkiri bahwa semakin pesat pula perkembangan teknologi informasi dan telekomunikasi digital didunia. Peningkatan yang signifikan pada perkembangan teknologi dapat dilihat dari semakin pengguna perangkat komputer, dengan begitu maka semakin meningkat pula panas yang dihasilkan oleh perangkat tersebut. Peralatan ini mengkonsumsi daya listrik sekitar 60% dan sistem pendinginnya mencapai 40% dari total energi [5].

Proses pendinginan pada perangkat komputer salah satunya yaitu dengan metode *open loop liquid cooling system (immersion cooling)* atau pendinginan celup. *Immersion cooling* merupakan proses pendinginan perangkat komputer menggunakan cairan pendingin yang tidak menghantarkan listrik atau cairan dielektrik dimana dalam penerapannya komponen elektronik direndam langsung dalam cairan pendingin. Komponen elektronik yang digunakan adalah komponen perangkat komputer berupa *motherboard* sedangkan cairan dielektrik yang digunakan dalam penelitian antara lain *Virgin Coconut Oil (VCO)* dan mineral oil. VCO merupakan cairan dielektrik berupa minyak kelapa murni yang tidak menghantarkan listrik. Mineral oil diketahui memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi, ramah lingkungan serta tidak mengandung bahan berbahaya bagi komponen perangkat komputer maupun bagi manusia.

Panas yang dihasilkan oleh proses *immersion cooling* dapat ditransfer langsung ke udara sekitar tanpa perantara. Biaya yang diperlukan dan emisi yang dihasilkan diketahui lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan sistem pendinginan konvensional [9].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa efek variasi mineral oil dan VCO terhadap performa pendinginan celup (*immersion cooling*) untuk menurunkan temperatur CPU. Penggunaan data center pada penelitian ini berbasis *Central Processing Unit (CPU)*.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Central Processing Unit (CPU).

Fungsi utama CPU yaitu menjalankan program yang disimpan dalam memori utama dengan cara mengambil, kemudian menguji instruksi dan mengeksekusinya satu persatu sesuai perintah [4]. Pengolahan intruksi pada CPU terdiri dari operasi pembacaan instruksi (*fetch*) dan Instruksi pengontrolan fungsi

kerja atau *Execute* [7]. Pada CPU bagian yang cenderung menghasilkan panas saat komputer dioperasikan adalah *motherboard* [7].

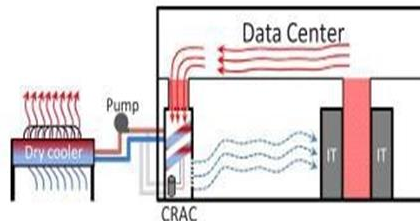


Gambar 2.1: Motherboard

Temperatur kerja pada *motherboard* harus dalam keadaan normal agar tidak terjadi *crash* pada komponen dan memperlambat performa dari komputer akibat *overheat* [6]. Pada pengujian *immersion cooling* ini *motherboard* akan direndam pada cairan VCO dan *mineral oil* agar dapat mengurangi panas secara signifikan.

2.2 Pindah Panas Konveksi.

Perpindahan panas yang terjadi akibat adanya perbedaan temperatur yang menyebabkan gerakan acak antarmolekul dan *bulk motion of fluid*. Semakin cepat pergerakan fluida, maka akan semakin besar pula laju perpindahan panas konveksi yang terjadi [10].

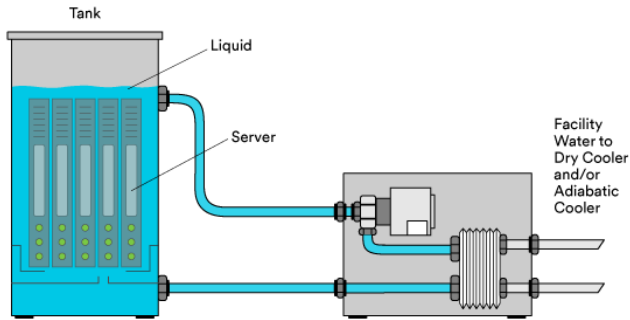


Gambar 2.2: Pindah panas konveksi pada immersion cooling

Pada Proses *immersion cooling* perpindahan panas konveksi terjadi pada saat komputer beroperasi sehingga *motherboard* akan mengalami peningkatan suhu. Panas yang dihasilkan oleh *motherboard* dibawa oleh fluida melalui pompa menuju radiator. Di dalam radiator fluida mengalami penurunan suhu sehingga fluida dapat digunakan kembali sebagai media pendingin. proses perpindahan panas yang terjadi adalah secara konveksi paksa karena proses tersebut menggunakan pompa untuk meng sirkulasi cairan.

2.3 Immersion Cooling.

Dalam pendinginan *immersion cooling* yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe *single phase immersion cooling*.



Gambar 2.3: Single Phase Immersion Cooling

Single phase immersion cooling dalam pendinginan alat elektronik sebenarnya telah digunakan sejak lama. Sistem ini digunakan dalam pendinginan *transformator* yang mana menggunakan *mineral oil* atau minyak nabati untuk mendinginkan *transformator* [8]. Metode ini kemudian diadaptasi untuk sistem pendinginan pada komputer [3]. Pada tipe *single phase*, server dipasang secara vertikal di dalam bejana yang berisi cairan pendingin. *heat exchanger* pada tipe *single phase* berupa radiator sehingga memiliki beberapa keunggulan yaitu mencegah terjadinya tekanan berlebih yang berakibat ledakkan. Keunggulan lainnya adalah metode ini lebih sederhana sehingga pengoperasiannya lebih mudah dan biaya perawatan yang lebih sedikit [1].

2.4 Virgin Coconut Oil (VCO).

Pada pengujian ini fluida pendingin yang digunakan adalah *virgin coconut oil* atau VCO. Minyak VCO sendiri telah digunakan sebagai bahan isolasi cair pada elektroda bola-bola sebagai pengganti minyak mineral. Nilai tegangan tembus yang dapat dicapai VCO sebesar 32 kv sehingga dapat dikatakan layak sebagai minyak isolasi cair, karena telah memenuhi standar IEC 60296 untuk spesifikasi minyak isolasi baru. Dilihat dari tegangan tembusnya minyak VCO dapat digunakan sebagai variasi cairan pendingin *immersion cooling* pada komputer [1]. Penurunan Temperatur maksimal yang dapat dicapai menggunakan VCO sebesar 51 °C [1].

2.5 Mineral Oil.

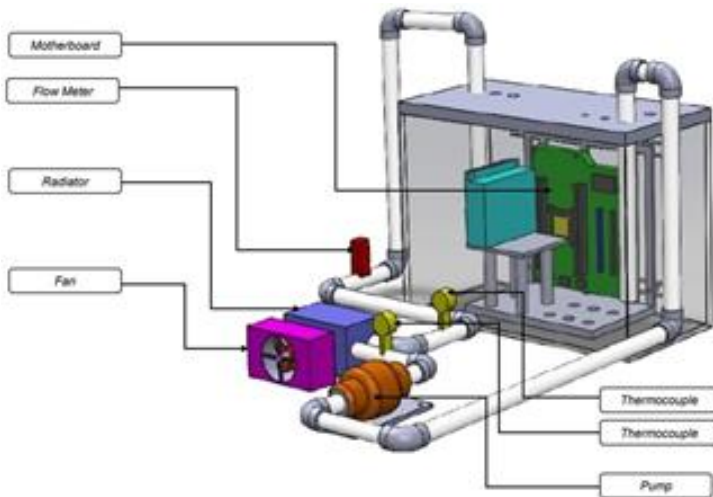
Mineral oil digunakan sebagai fluida pendingin karena sifat nonkonduktor listrik dan pendinginan yang baik [2]. *Mineral oil* juga digunakan sebagai cairan pendingin server, karena mereka memberikan kapasitas perpindahan panas yang jauh lebih tinggi daripada udara dengan volume yang sama. *Mineral oil* diproduksi dari campuran hidrokarbon parafin dan *naphthenic* yang sangat murni yang berasal dari *crude oil*/ minyak mentah. *Mineral oil* juga digunakan dalam cairan pendingin pada transformator/ trafo. [2].

3. METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian.

Pada bagian ini harus ditampilkan seluruh data yang diperoleh dengan informasi yang cukup bagaimana data tersebut diperoleh. Analisa statistik boleh disampaikan jika dianggap perlu, atau cukup ditampilkan dalam grafik disertai standar deviasi serta *error bars* dan penjelasan arti signifikansi secara statistik dari standar deviasi maupun *error bars* dalam grafik tersebut.

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yang dilakukan dalam beberapa tahapan penelitian. Tahapan pertama merupakan tahap perancangan desain sistem pendingin *immersion cooling* pada sebuah *central processing unit (CPU)*, dengan desain gambar berikut.



Gambar 3.1: Desain alat immersion cooling

Sistem kerja pada alat tersebut adalah dengan meletakkan *motherboard* ke dalam bejana kaca dengan volume 11.250 cm³ berisi cairan pendingin. Radiator dengan kipas berfungsi sebagai alat pendingin cairan pendingin yang membawa panas dari komponen *motherboard*. *Flowmeter* digunakan sebagai pengatur laju aliran sedangkan *thermometer digital* digunakan untuk mengukur temperatur cairan pendingin sebelum dan setelah melewati radiator. Setelah melewati radiator pendingin akan dialirkan kembali menuju bejana kaca. Proses tersebut berlangsung secara sirkulasi dengan bantuan pompa *submersible*. Cairan pendingin yang digunakan berupa VCO dan *mineral oil*.

3.2 Alat dan Bahan.

Alat: Bejana Kaca dengan ukuran p: 30, l: 25, t: 15 cm, *Flow meter*, *Thermometer digital*, selang dengan diameter 1,5 inch, radiator, kipas radiator, *software HW Monitor* dan pompa *submersible*.

Bahan:

- *Virgin Coconut Oil* dengan spesifikasi

Jenis	
Kinematic Viscosity	49,5 mm ² /s
Flash Point	232°C
Pour Point	15,5°C
Kinematic Viscosity Temperature	40°C

Sumber: Carpathian Journal of Food Science and Technology

- *Mineral Oil* dengan spesifikasi

Type	Nilai
<i>Specific gravity</i>	0.8555
<i>Density</i>	0.8493 g/cm ³
<i>Kinematic viscosity</i>	<16.02 mm ² /s ASTM D445 40
<i>Kinematic viscosity temperature</i>	40°C

sumber: Vallejo, 2017

- *Central Processing Unit (CPU)* dengan spesifikasi

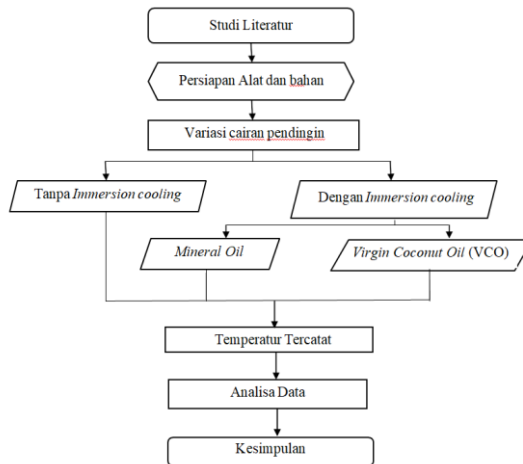
Operating System	Microsoft windows 7 ultimate Copyright © 2009
System Manufacture	PCCHIPS
System Type	64-bit operating system
BIOS	Default System Bios
Processor	Intel (R), Core (TM), Dual CPU E28300, @2.83GHz 2.83 GHz
Memory	2,00 GB RAM
Direct Version	DirectX 9.0c (4.09.0000.0904)

3.3 Teknik Pengumpulan Data.

Dalam pengujian sistem *immersion cooling* ini variasi yang digunakan adalah jenis cairan pendingin berupa *mineral oil* dan VCO dengan laju aliran sebesar 6 lpm dan kecepatan kipas radiator sebesar 200, 400 dan 600 rpm pada masing masing cairan pendingin. Hal ini bertujuan untuk mengetahui laju penurunan temperatur komputer pada setiap variasi.

Pada pengujian sistem komputer akan dioperasikan selama 24 jam dengan menjalankan berbagai software dengan asumsi pemakaian sehari-hari agar CPU bekerja dalam kondisi maksimal. Data temperatur CPU kemudian akan dicatat oleh *software HW monitor* yang dilakukan setiap 3 jam sekali. Data yang didapat kemudian akan diolah menggunakan *microsoft excel* dan kemudian disajikan dalam bentuk grafik.

3.4 Prosedur Penelitian.



Gambar 3.2: Diagram Alir Penelitian

Tahapan awal yaitu meliputi studi literatur dan pemilihan fluida pendingin yang bertujuan untuk menentukan metode penyesuaian alat dan bahan serta variasi yang menunjang dilakukannya eksperimen. Kemudian dilanjutkan dengan *assembly* dan uji coba pada alat *immersion cooling*.

Tahapan kedua yaitu proses penggunaan metode pendinginan *immersion cooling* pada perangkat komputer. Data pertama dicatat saat perangkat masih menggunakan metode pendinginan konvensional sebagai pembandingan kemudian dilanjutkan dengan pencatatan data yang dilakukan saat perangkat telah dirakit sedemikian rupa dengan metode pendinginan *immersion cooling* pada cairan pendingin yang divariasikan dengan laju aliran dan kecepatan putaran kipas, setiap penurunan temperatur CPU tercatat pada *software HW monitor*.

Tahapan ketiga yaitu analisa data. Data yang diperoleh akan diolah dengan *microsoft excel* dan disajikan dalam bentuk grafik sehingga dapat diamati dan dilakukan pembahasan berdasarkan setiap grafik. Tahapan yang terakhir adalah menarik kesimpulan dari data yang telah diperoleh dan dibahas.

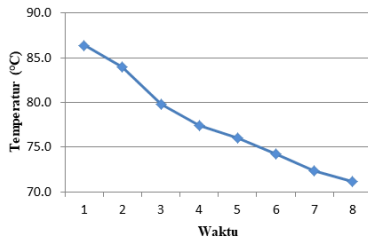
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kesimpulan harus padat dan menyajikan hal-hal penting yang ditemukan selama pelaksanaan penelitian. Kesimpulan yang baik menunjukkan perkembangan science dan/atau teknologi dan/atau teoritis yang telah dicapai dari kegiatan penelitian.

Data dalam penelitian ini diperoleh dari hasil pengujian meliputi temperatur CPU, temperatur cairan pendingin pada saluran outlet, temperatur cairan pendingin pada saluran inlet.

4.1 Temperatur CPU dengan Pendinginan Konvensional

Pengambilan data temperatur CPU menggunakan pendinginan konvensional digunakan untuk membandingkan metode ini dengan metode *immersion cooling*, apakah hasilnya lebih bagus menggunakan pendinginan konvensional atau sebaliknya.

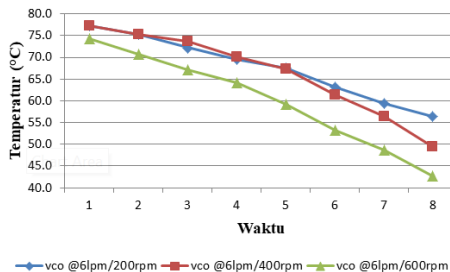


Gambar 4.1: Grafik temperatur CPU pendingin konvensional

Temperatur maksimal CPU yang dicapai sebesar 71°C. Temperatur CPU pada awal pengukuran sebesar 86°C, kemudian grafik mengalami penurunan seiring bertambahnya lama waktu operasi dengan temperatur pada ruangan cenderung normal yaitu 31°C pada siang hari dan 28°C pada malam hari.

4.2 Temperatur CPU dengan Immersion Cooling VCO

Pengambilan data temperatur CPU dilakukan dengan laju aliran cairan pendingin sebesar 6 lpm dan variasi kecepatan kipas radiator sebesar 200 rpm, 400 rpm, dan 600 rpm masing – masing selama 24 jam. Temperatur CPU yang dihasilkan ketika menggunakan pendinginan *immersion cooling* dengan cairan pendingin *Virgin Coconut Oil* (VCO) dapat dilihat dalam grafik pada gambar 4.2.

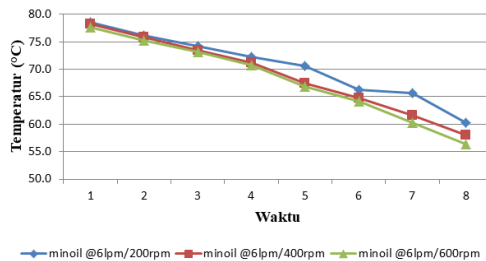


Gambar 4.2: Temperatur CPU dengan Immersion Cooling menggunakan Cairan Pendingin VCO

Temperatur maksimal CPU yang terendah dicapai dengan laju aliran cairan pendingin sebesar 6 lpm dan kecepatan kipas radiator sebesar 600 rpm dengan temperatur maksimal sebesar 42°C. Temperatur CPU pada awal pengukuran sebesar 74°C, kemudian grafik mengalami penurunan seiring bertambahnya lama waktu operasi.

4.3 Temperatur CPU dengan Immersion Cooling Mineral Oil

Pengambilan data temperatur CPU dilakukan dengan laju aliran cairan pendingin sebesar 6 lpm dan variasi kecepatan kipas radiator sebesar 200 rpm, 400 rpm, dan 600 rpm masing – masing selama 24 jam. Temperatur CPU yang dihasilkan ketika menggunakan pendinginan celup (*immersion cooling*) dengan cairan pendingin Mineral Oil dapat dilihat dalam grafik pada gambar 4.3.

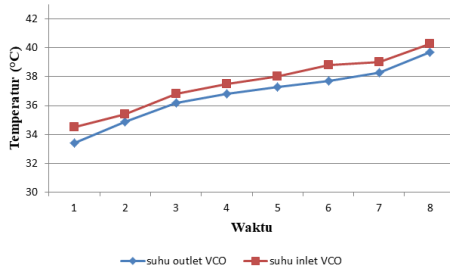


Gambar 4.3: Temperatur CPU dengan *Immersion Cooling* menggunakan Cairan Pendingin *Mineral Oil*

Temperatur maksimal CPU yang terendah dicapai dengan laju aliran cairan pendingin sebesar 6 lpm dan kecepatan kipas radiator sebesar 600 rpm dengan temperatur maksimal sebesar 56°C. Temperatur CPU pada awal pengukuran sebesar 77°C, kemudian grafik mengalami penurunan seiring bertambahnya lama waktu operasi.

4.4 Temperatur VCO pada Saluran Inlet dan Outlet

Temperatur saluran inlet merupakan temperatur cairan ketika cairan pendingin dipompa dari bejana kaca menuju radiator. Temperatur cairan ini panas sebab menyerap panas kerja dari CPU. Temperatur saluran outlet merupakan temperatur pada cairan pendingin ketika sudah melewati radiator. Cairan ini sudah mengalami pendinginan, sehingga temperatur pada saluran ini lebih rendah dibandingkan dengan saluran inlet maupun temperatur cairan di bejana kaca.

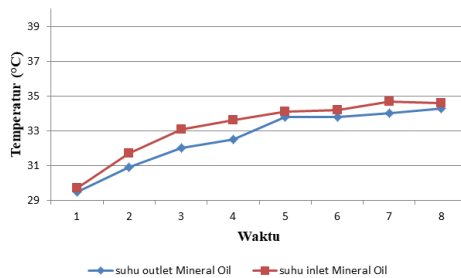


Gambar 4.4: Temperatur Saluran *Inlet* dan *Outlet Immersion Cooling* menggunakan VCO

Temperatur awal kedua saluran masing – masing 33°C pada saluran outlet dan 34°C pada saluran inlet. Kemudian seiring dengan bertambahnya waktu operasi kenaikan temperatur cairan dari kedua saluran mengalami perbedaan. Saluran inlet mengalami kenaikan temperatur maksimal 40°C, sedangkan outlet 39°C.

4.4 Temperatur *Mineral Oil* pada Saluran Inlet dan Outlet

Temperatur saluran inlet merupakan temperatur cairan ketika cairan pendingin dipompa dari bejana kaca menuju radiator. Temperatur cairan ini panas sebab menyerap panas kerja dari CPU. Temperatur saluran outlet merupakan temperatur pada cairan pendingin ketika sudah melewati radiator. Cairan ini sudah mengalami pendinginan, sehingga temperatur pada saluran ini lebih rendah dibandingkan dengan saluran inlet maupun temperatur cairan di bejana kaca.

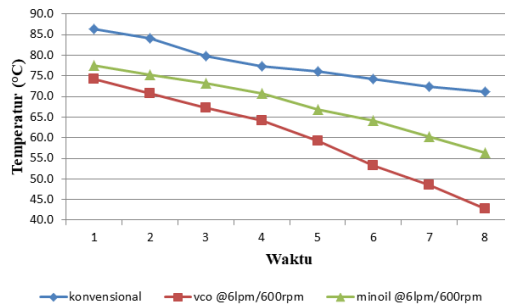


Gambar 4.5: Temperatur Saluran *Inlet* dan *Outlet Immersion Cooling* menggunakan *Mineral Oil*

Temperatur awal kedua saluran masing – masing 29°C pada saluran outlet maupun pada saluran inlet. Kemudian seiring dengan bertambahnya waktu operasi kenaikan temperatur cairan dari kedua saluran mengalami perbedaan. Kenaikan temperatur maksimal sebesar 34°C pada saluran inlet maupun outlet.

4.5 Evaluasi Temperatur CPU

Pengujian pendinginan CPU dilakukan dengan 3 macam perlakuan yang berbeda. Yang pertama pendinginan komputer dengan metode konvensional. Pendinginan ini dilakukan untuk membandingkan dengan *immersion cooling*. Kemudian, perlakuan kedua yang dilakukan yaitu pendinginan CPU dengan metode *immersion cooling*, dimana cairan pendingin yang digunakan yaitu *mineral oil*. Perlakuan yang ketiga *immersion cooling* dengan cairan pendingin *virgin coconut oil* (VCO). Cairan pendingin yang berbeda tipe ini berpengaruh terhadap penurunan temperatur CPU. Pengambilan data dilakukan selama 24 jam untuk setiap cairan pendingin. Kemudian temperatur yang tercatat selama pengukuran disimpan dan diolah untuk mempermudah penyajian data. Berdasarkan pada gambar 4.1, 4.2 dan 4.3 yang telah diperoleh, data dikomparasikan untuk mempermudah menganalisa. Grafik hubungan antara cairan pendingin *immersion cooling* terhadap temperatur CPU sebagai berikut:



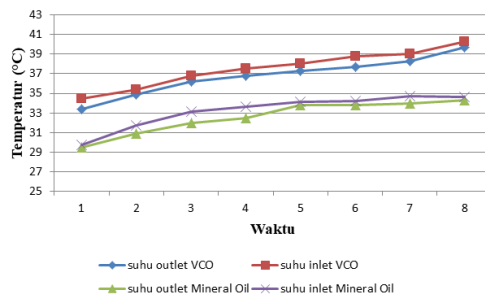
Gambar 4.6: Perbandingan Temperatur CPU menggunakan Pendinginan Konvensional dan Immersion Cooling

Temperatur awal pengujian pendinginan celup (*immersion cooling*) sebesar 74°C dengan cairan pendingin VCO dan 77°C dengan cairan pendingin mineral oil, sedangkan pendinginan konvensional sebesar 86°C. Lamanya waktu operasi pada CPU berbanding lurus dengan temperatur yang dihasilkan. Dapat dilihat pada gambar 4.6 bahwa grafik mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya waktu operasi. Temperatur minimum yang dihasilkan CPU ketika menggunakan pendinginan konvensional 71°C. Data temperatur ini lebih besar dibandingkan dengan pendinginan *immersion cooling*. Dimana, pendinginan ketika menggunakan sistem *immersion cooling* dengan cairan pendingin mineral oil 56°C dan VCO 42°C. Sehingga dari kedua metode pendinginan komputer konvensional dan *immersion cooling* dapat diambil kesimpulan, *immersion cooling* lebih bagus dibandingkan dengan pendinginan konvensional.

Sedangkan dari kedua jenis cairan pendingin pada metode pendinginan *immersion cooling* menunjukkan bahwa *immersion cooling* dengan cairan pendingin *virgin coconut oil* (VCO) mampu menurunkan temperatur CPU lebih optimal dibandingkan *immersion cooling* dengan cairan pendingin *mineral oil*.

4.6 Evaluasi Temperatur Inlet dan Outlet

Pengukuran temperatur saluran inlet dan outlet bertujuan mengetahui temperatur didalam bejana kaca / akuarium dengan temperatur cairan yang masuk untuk mendinginkan CPU. Cairan dielektrik *immersion cooling* mengalami pendinginan di dalam radiator. Kalor panas dari cairan dielektrik ditransfer ke udara lingkungan. Fluida memiliki kerapatan molekul yang lebih besar dibandingkan dengan udara, sehingga memiliki kapasitas penyerapan panas yang lebih besar. Oleh karena itu pendinginan dengan metode *immersion cooling* lebih bagus dibandingkan dengan pendinginan konvensional. Grafik hasil pengukuran temperatur saluran inlet, outlet cairan pendingin mineral oil dan VCO disajikan pada gambar 4.7



Gambar 4.7: Perbandingan Temperatur Inlet Outlet

Pada grafik menunjukkan temperatur rata – rata saluran inlet VCO lebih besar dibandingkan *mineral oil*. Selisih rata – rata temperatur saluran inlet kedua cairan sebesar 40,3°C, untuk mineral oil 33,2°C dan VCO 37,5°C. Pada pengambilan data diwaktu malam hingga dini hari suhu cairan pendingin di saluran inlet maupun outlet dipengaruhi oleh suhu lingkungan dimana pada waktu itu suhu lingkungan cenderung lebih rendah dibandingkan pada waktu siang hari. Hal yang menyebabkan kenaikan temperatur mineral oil lebih stabil dibandingkan dengan VCO adalah titik leleh VCO hanya 20 - 28°C (Certificate of Analysis VCO). Oleh karena itu, temperatur saluran inlet dan outlet VCO masih terpengaruh dengan dampak dari temperatur lingkungan. Pada grafik temperatur saluran outlet cairan pendingin VCO juga lebih besar dibandingkan dengan mineral oil. Rata – rata temperatur outlet VCO 36,8°C sedangkan mineral oil 33,6°C. Seiring dengan

bertambahnya waktu operasi CPU maka kenaikan temperatur saluran inlet dan outlet meningkat. Setelah mencapai titik maksimal temperatur CPU, saluran inlet dan outlet mengalami kestabilan.

5. KESIMPULAN

Pendinginan celup (*immersion cooling*) lebih bagus menurunkan temperatur CPU, dibandingkan dengan pendinginan konvensional. Hal ini dibuktikan dengan temperatur maksimal CPU menggunakan pendinginan konvensional 71°C, sedangkan menggunakan metode *immersion cooling* bisa mencapai 42°C.

Cairan pendingin virgin coconut oil (VCO) lebih berpengaruh dalam menurunkan temperatur CPU. Hal ini dibuktikan temperatur maksimal yang dihasilkan CPU ketika menggunakan cairan pendingin VCO sebesar 42°C. Temperatur ini lebih rendah dibandingkan dengan cairan pendingin mineral oil yang sebesar 56°C.

Temperatur saluran inlet dan outlet cairan *mineral oil* lebih rendah dibandingkan dengan VCO. Hal ini disebabkan oleh pengaruh suhu lingkungan pada waktu tertentu sehingga berpengaruh pada suhu saluran inlet maupun outlet. Temperatur inlet mineral oil 33,2°C, sedangkan VCO 37,5°C. Temperatur outlet *mineral oil* 32,6°C, sedangkan VCO 36,8°C.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Green Revolution Cooling. (2018). *Data Center Cold Wars Part 2*. The Immersion Cooling Authority
- [2] Kolcunová, I., Kurimský, J., Cimbala, R., Petráš, J., Dolník, B., Džmura, J., & Balogh, J. (2017). Contribution to Static Electrification of Mineral Oils and Natural Esters. *Journal of Electrostatics*, 88, 60–64. <https://doi.org/10.1016/J.ELSTAT.2017.01.024>
- [3] Kuncoro, I. W., M. K., Biddinika, N. Pambudi, dan I. Widiastuti. 2019. Immersion cooling as the next technology for data center cooling. *Journal of Physics: Conference Series*. Ser. 1402 044057..
- [4] Purwanto, I, E. Hegarini, R. Amalia, dan A. Kusumawati. (2013). *Central Proccsing Unit*. Fakultas Teknologi Industri. Univeritas Gunadarma.
- [5] Rong, H., Zhang, H., Xiao, S., Li, C., & Hu, C. (2016). Optimizing Energy Consumption for Data Centers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 674–691. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.12.283>
- [6] Septiadi, W.N, I.N. Budiarsa, I.A. Tnunay, I.D. Wulandari, dan W.A.W. Ula. (2018). *Sistem Pendingin Central Processing Unit (CPU) Berbasis Cascade*

- Straight Heat Pipe. Halaman 275-281. Universitas Udayana. BKSTM Indonesia.
- [7] Sudarmaji. 2017. Work Analysis Of Power Supply In Optimizing Electricity On Personal Computer. Jurnal Teknik Mesin. Volume 6 Nomor 2. Halaman 169-173.
- [8] Testi, D. (2018). Heat Transfer Enhancement by an Impinging Ionic Jet in a Viscous Transformer Coolant. International Communications in Heat and Mass Transfer, 91, 256-261.
<https://doi.org/10.1016/J.ICHEATMASSTRANSFER.2018.01.001>.
- [9] Tuma, P. E. (2010). The Merits Of Open Bath Immersion Cooling Of Datacom Equipment. Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium, (March 2010), 123–131.
<https://doi.org/10.1109/STHERM.2010.5444305>
- [10] Wijati, L., B. U. K., Widodo. Studi Eksperimen Perpindahan Panas Konveksi Paksa Pada Berkas Pin Fin Berpenampang Circular dengan Susunan Aligned. Jurnal Teknik ITS. Volume 8, Nomor 1. Halaman 13-19.
- [11] Yusuf, A. W. 2018. Analisis Performa Pendinginan Celup (Immersion Cooling) Terhadap Data Center Dengan Variasi Cairan Pendingin. Skripsi pada program studi Pendidikan Teknik Mesin. Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan. UNS.

ALGORITMA FUZZY C-MEANS CLUSTERING PADA COMPUTER BASED TEST

Taufiq Rizaldi

Tenaga Pengajar (Dosen)
Politeknik Negeri Jember
Jurusan Teknologi
Informasi
taufiq_r@polije.ac.id

Hermawan Arief Putranto

Tenaga Pengajar (Dosen)
Politeknik Negeri Jember
Jurusan Teknologi
Informasi
hermawan_arief@polije.ac.id

Dia Bitari Mei Yuana

Tenaga Pengajar (Dosen)
Politeknik Negeri Jember
Jurusan Teknologi
Informasi
dia.bitari@polije.ac.id

Syarifah Aini

Mahasiswa
Prodi Manajemen
Informatika
Jurusan Teknologi
Informasi
Politeknik Negeri Jember

Penilaian adalah kegiatan yang berkesinambungan untuk mengumpulkan informasi tentang proses hasil belajar. Selain proses penilaian, proses lain yang harus dilakukan adalah proses distribusi soal ujian. Misalnya guru yang melakukan pembagian soal baik tugas maupun ujian harian secara merata dan tidak memperhatikan kemampuan siswa. Distribusi soal pada sistem pembelajaran merupakan salah satu masalah yang pelik, guru harus melakukan sortir terhadap jenis soal yang akan diberikan kepada siswa, baik pada sistem konvensional maupun pada Computer Based Test hal ini masih harus dilakukan secara manual. Pada sistem Paper Based Test (PBT) ini masih ada beberapa kendala yang dihadapi seperti penyiapan bahan ujian, penggandaan dan distribusi soal, perlu langkah scanning LJK (Lembar Jawaban Komputer) dimana membutuhkan banyak biaya, tenaga dan waktu. Jadi ujian dengan PBT masih kurang efektif dan efisien. Berdasarkan penjabaran diatas maka diangkatlah judul “Aplikasi Computer Based Test Berbasis Web di SMKN 3 Jember Menggunakan Algoritma Fuzzy C-Means Clustering”. Algoritma Fuzzy C-Means Clustering ini akan diimplementasikan kedalam aplikasi CBT pada proses distribusi soal ujian untuk pengelompokan siswa Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) dalam penentuan kemampuan belajar siswa. Dalam tugas akhir ini akan diterapkan peran teknologi informasi kepada siswa dan guru dalam proses ujian. Dalam pengujian iterasi menunjukkan distribusi soal pada ujian kepada siswa bisa merata sesuai kemampuan siswa.

Kata kunci (Times New Roman 10 pt, Bold):
Computer Based Test, Clustering, C-Means, Fuzzy.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan teknologi informasi dalam pendidikan menjadi bagian dari peran pengembangan sumber daya manusia. *Information and Communication Technologies (ICT)* merupakan suatu proses yang dapat diterapkan dalam teknik pembelajaran yang melibatkan teknologi informasi dengan merubah gaya teknik pembelajaran yang mampu meningkatkan mutu pendidikan [1]. Bentuk penerapan dalam ICT adalah pengukuran tingkat kemampuan hasil belajar berdasarkan nilai formatif dan sumatif [2]. Hal tersebut diperlukan untuk menemukan kesukaran belajar dan peningkatan kompetensi siswa serta mampu mengukur kecakapan siswa semasa belajar. Selain itu juga dapat mengamati pencapaian siswa usai pembelajaran pada saat ujian akhir semester maupun ujian kenaikan yang disebut sebagai evaluasi pembelajaran [3].

Sala satu bahan evaluasi pembelajaran adalah dengan melakukan distribusi soal dengan tingkat kesukaran yang sama antar siswa tanpa memandang tingkat kemampuan yang dimiliki. Hal tersebut menjadi kegiatan penting dan wajib dilaksanakan oleh guru. Pelaksanaan tersebut tak jarang mengakibatkan sebagian siswa kesulitan dalam menyelesaikan soal. Oleh karena itu hasil pengerjaan soal dari masing-masing siswa perlu dipilah. Namun hal itu mengakibatkan guru kesulitan. Saat ini guru di SMKN 3 Jember selalu rutin melakukan seleksi tipe soal ujian baik dalam sistem pengujian konvensional maupun dalam *Computer Based Test (CBT)*. Penyeleksian tersebut masih dilakukan dengan cara manual. Keperluan penyediaan bahan ujian, perangkapan dan pembagian soal merupakan hambatan sistem *Paper Based Test (PBT)* yakni wajib melaksanakan scanning. Lembar Jawaban Komputer (LJK) yang memerlukan dana, waktu serta tenaga yang tidak sedikit. Sehingga PBT termasuk sistem ujian yang kurang efektif dan efisien. Dengan Teknologi Informasi yang kian beranjak menuju masa yang lebih modern dan kilat, ujian *Information and Communication Tecnology (ICT)* sangat memungkinkan untuk dilaksanakan.

Siswa pada umumnya memiliki tingkat keaktifan yang tidak dapat dilihat secara pasti (samar) [4]. Terdapat beberapa aspek yang perlu dinilai diantaranya adalah hasil pre tes dari sikap, nilai rerata, dan durasi pengerjaan. Indikator penilaian yang bersifat tidak pasti tersebut dapat dipecahkan menggunakan metode fuzzy. Penelitian ini menggunakan teknik pengelompokkan dari hasil distribusi soal guna mengetahui tingkat kemampuan siswa dengan melakukan teknik *clustering*. *Fuzzy clustering* dapat efektif digunakan dalam optimalisasi ruang vektor yang didasarkan pada normal euclidean untuk jarak antar vektor. Aturan – aturan yang terdapat pada *fuzzy* dapat dimodelkan menggunakan algoritma yang ada pada *fuzzy clustering* yaitu *fuzzy C-Means Clustering* [5]. Dengan begitu metode tersebut dapat membantu guru dalam mendistribusikan soal yang sesuai dengan kemampuan siswa secara merata.

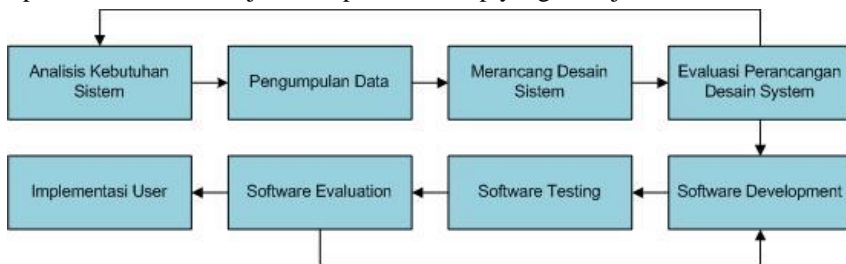
2. METODE DAN BAHAN

2.1 Metode

Terdapat tahapan yang dilakukan pada penelitian ini diantaranya adalah analisa kebutuhan sistem sebagai penentuan parameter, pengumpulan dataset berdasarkan parameter yang telah ditentukan, proses *clustering* menggunakan *Fuzzy C-Means Clustering*, dan develop aplikasi CBT berbasis WEB.

Analisa kebutuhan sistem didapatkan dari hasil survei dan wawancara kepada salah satu guru di SMKN 03 Jember. Didapatkan informasi kondisi kegiatan belajar mengajar yang dilaksanakan pada saat ujian harian dan penilaian kepada siswa yang terdiri dari aspek rata-rata nilai, keaktifan/sikap, serta durasi pengerjaan. Penilaian tersebut masih dilaksanakan secara manual dan pendistribusian kualitas soal dilakukan secara merata sedangkan siswa memiliki kemampuan yang tidak sama. Sehingga peneliti mengusulkan sebuah sistem ICT yang mampu mengotomatisasi penilaian serta mendistribusikan soal ujian sesuai dengan kemampuan siswa dengan mengisi *pre-test* terlebih dahulu sebelum mengerjakan soal ujian.

Pengumpulan dataset disesuaikan dengan aspek-aspek penilaian seperti rata-rata nilai, keaktifan/sikap, dan durasi pengerjaan digunakan sebagai parameter yang akan di proses menggunakan metode *Fuzzy C-Means Clustering*. Metode pengumpulan dataset diantaranya menggunakan studi literatur dengan melakukan proses wawancara dan membaca referensi untuk menunjang sistem yang optimal. Selain itu peneliti juga melakukan observasi untuk mengetahui dan mendapatkan beberapa data yang dibutuhkan seperti data nilai dan soal-soal ujian. Metode wawancara juga dilakukan sebagai modal untuk merancang desain system berdasarkan alur yang tepat. Selanjutnya dilakukan perancangan desain sistem seperti pembuatan *activity diagram* dan *Mockup* (desain aplikasi) yang selanjutnya dilakukan pengerjaan database. Setelah merancang desain sistem dilakukan evaluasi perancangan prototype. Hasil dari evaluasi prototyping yang dibangun mengacu pada rancangan awal dilanjutkan dengan langkah berikutnya yaitu *software development*, *software testing*, *software evaluation*, dan baru dilakukan implementasi ke user dijelaskan pada roadmap yang ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1 : Roadmap

2.2 Alat dan Bahan Kegiatan

Berdasarkan hasil survei di SMKN 3 Jember didapatkan data-data soal ujian dan data nilai siswa yang digunakan sebagai bahan penelitian.

3. HASIL DAN DISKUSI

Berdasarkan *roadmap* penelitian yang telah dijelaskan mulai dari analisis kebutuhan, pengumpulan data, merancang desain sistem, evaluasi perancangan desain sistem, *software development*, *software testing*, *software evaluation*, dan sampai pada implementasi user maka dihasil dalam pembuatan “Aplikasi *Computer Based Test* Berbasis Web di SMKN 3 Jember Menggunakan Algoritma *Fuzzy C-Means Clustering*”.

3.1 Analisis Kebutuhan Sistem

Langkah awal dalam pembuatan Aplikasi *Computer Based Test* Berbasis Web di SMKN 3 Jember Menggunakan Algoritma *Fuzzy C-Means Clustering* adalah dengan melakukan analisis kebutuhan sistem. Terdapat analisis kebutuhan fungsional untuk mendapatkan informasi proses-proses dalam kegiatan belajar mengajar terutama dalam pelaksanaan ujian, baik ujian harian maupun ujian akhir. Beberapa pengguna yang menggunakan aplikasi ini diantaranya adalah admin, guru, dan siswa yang memiliki kebutuhan fungsional yang telah ditentukan.

Kebutuhan fungsional pada pengguna admin adalah dapat melihat informasi mengenai profil akun dan mengubah data profil akun serta mampu mencari, menamahi, menampilkan mengubah serta menghapus data admin, guru, jurusan, kelas, mata pelajaran, dan data siswa. Pengguna guru dapat mencari, menambah, menampilkan, mengubah, dan menghapus data paket soal *pe tes*, data soal *pre-test*, data paket soal ujian, data soal ujian dan data nilai. Sedangkan Pengguna siswa dapat melihat informasi *pre-test*, mengerjakan soal *pre-test* disertai timer, melihat informasi hasil *pre-test*, mendapatkan paket kode soal ujian secara otomatis, melihat informasi ujian, mengerjakan ujian disertai *timer*, dan melihat informasi hasil ujian.

Selain analisis kebutuhan fungsional terdapat analisis kebutuhan non fungsional yang mencakup komputer/laptop, sistem operas, browser, RAM minimal 4GB, Harddisk minimal 10 GB, mouse, dan keyboard.

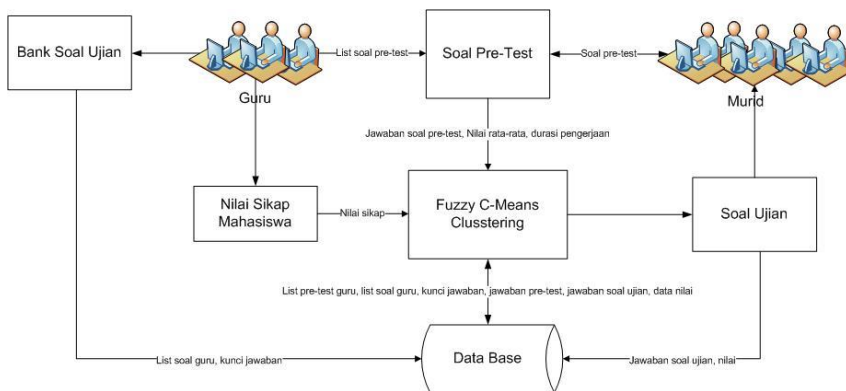
3.2 Pengumpulan Data

Dari hasil survey dan wawancara yang dilakukan kepada salah satu guru di SMKN 3 Jember, didapatkan data mengenai kondisi kegiatan belajar mengajar yang dilaksanakan dari hasil ujian harian kepada siswa. Berdasarkan hasil analisis kebutuhan terhadap sistem pada pembuatan Aplikasi *Computer Based Test* Berbasis Web di SMKN 03 Jember Menggunakan Algoritma *K-Means Clustering*, maka didapatkan informasi yang diperoleh dari kegiatan wawancara adalah mengenai kondisi kegiatan belajar mengajar yaitu dilaksanakannya ujian harian kepada siswa, penilaian kepada siswa terdapat nilai rata KD dimana nilai ini

merupakan rata-rata nilai ujian harian, nilai keaktifan/sikap dengan range tertentu dan ujian di SMKN 03 Jember yang masih dilaksanakan dengan cara manual menggunakan kertas dan pensil. Proses koreksi pada jawaban ujian masih manual dan ada juga yang menggunakan scanning LJK. Keadaan fasilitas di SMKN 3 Jember yaitu adanya beberapa laboratorium dengan komputer dan ruangan yang cukup memadai. Selain itu, juga didapatkan data siswa berupa Microsoft Excel dan data soal ujian berupa file pdf. Sehingga dibutuhkan data dukung dalam melengkapi pembuatan aplikasi seperti data admin, data siswa, data guru, dan data soal *pre-test*.

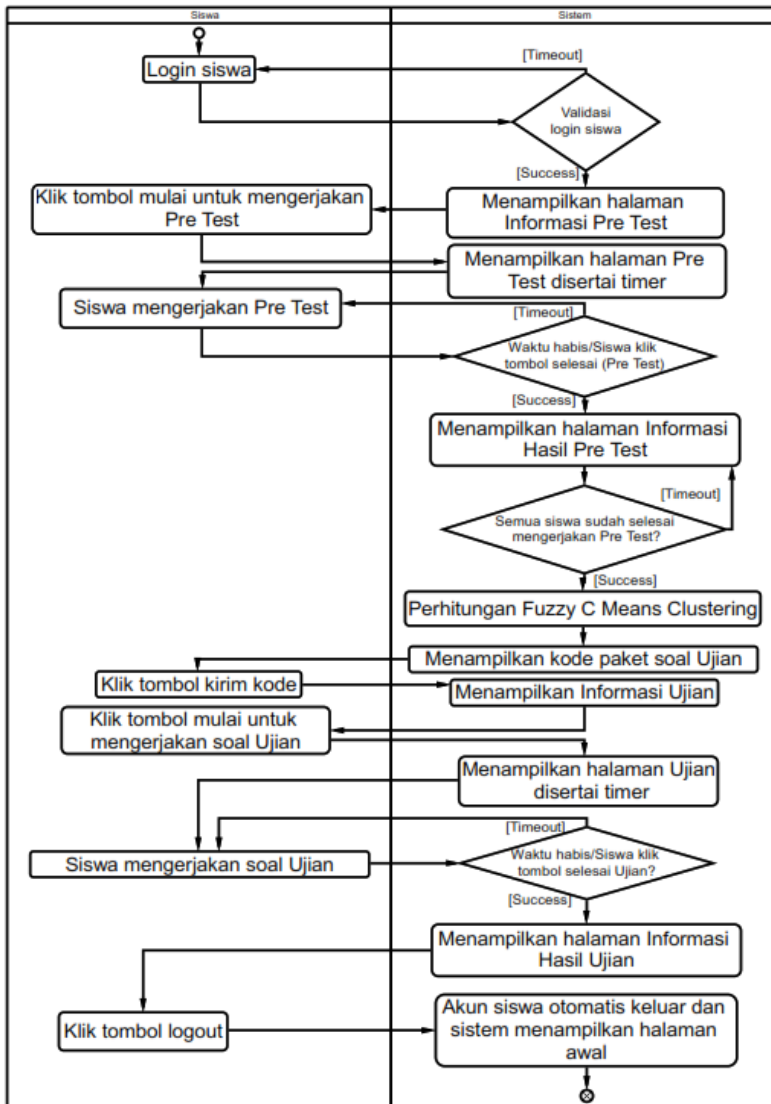
3.3 Desain Sistem

Setelah dilakukan analisis kebutuhan sistem dan pengumpulan data, dibuat desain sistem yang menceritakan konsep dari Aplikasi *Computer Based Test* Berbasis Web di SMKN 03 Jember Menggunakan Algoritma *K-Means Clustering*. Guru membuat bank soal ujian yang tersimpan dalam database yang terdiri dari soal *pre-test* dan soal soal ujian. Kemudian murid yang ingin mengerjakan soal ujian harus mengerjakan soal *pre-test* terlebih dahulu sehingga muncul nilai yang kemudian di proses dalam *Fuzzy C-Means Clustering* untuk menentukan soal ujian yang tepat untuk dapat dikerjakan oleh murid. Penentuan pada soal *pre-test* adalah pada nilai rata-rata dan durasi pengerjaan serta nilai sikap mahasiswa yang diinputkan oleh guru. *Fuzzy C-Means Clustering* akan memberikan soal ujian berdasarkan ketiga parameter tersebut agar siswa mengerjakan sesuai dengan kemampuannya. Penjelasan tersebut di ilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2 : Desain Sistem

Selain itu peneliti merancang *Activity Diagram* dari pelaksanaan *Computer Based Test* yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Activity Diagram Pelaksanaan Computer Based Test

Gambar 3 menjelaskan alur sistem pelaksanaan *Computer Based Test*. Siswa melakukan proses login ke web CBT menggunakan akun siswa masing-masing yaitu menggunakan *Username* dan *Password* serta Kode Paket Pre-test. Sistem akan memproses validasi login siswa. Jika benar maka sistem akan menampilkan halaman informasi pre-test beserta dengan identitas siswa.

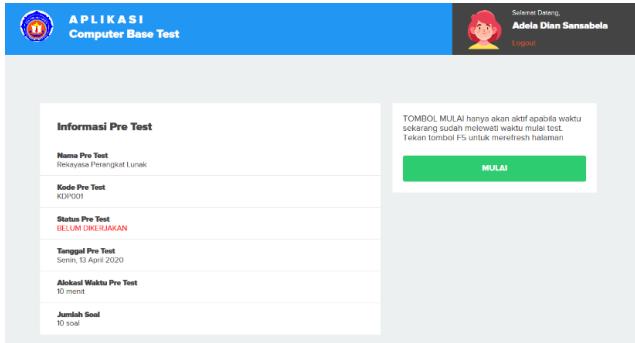
Sebaliknya jika salah, maka akan kembali pada halaman login siswa. Kemudian siswa mengklik tombol mulai untuk mengerjakan soal-soal pre-test. Sistem akan menampilkan halaman pre-test yaitu berupa soal-soal ujian berjumlah 10 butir soal disertai dengan hitungan waktu (timer) 10 menit. Selama siswa mengerjakan soal pre-test, jika waktu belum habis/siswa tidak mengklik tombol selesai, maka siswa masih dapat mengerjakan soal-soal pada halaman pre-test. Sebaliknya jika waktu telah habis atau siswa mengklik tombol selesai pre-test, maka sistem akan menutup halaman pre-test dan menampilkan halaman informasi hasil pre-test. Sistem akan mulai melakukan pengecekan data apakah semua siswa dalam satu kelas tersebut sudah selesai mengerjakan pre-test. Jika sudah maka sistem akan memproses mulai melakukan proses perhitungan *Fuzzy C-Means Clustering*. Sebaliknya jika belum, maka kode paket soal ujian tidak akan muncul dan perhitungan *Fuzzy C-Means Clustering* tidak akan diproses. Setelah sistem selesai melakukan perhitungan *Fuzzy C-Means Clustering*, sistem akan menampilkan kode paket soal ujian kepada setiap siswa sesuai dengan hasil dari perhitungan *Fuzzy C-Means Clustering*. Siswa mengklik tombol kirim kode kemudian sistem akan menampilkan halaman informasi ujian. Siswa mengklik tombol mulai untuk mengerjakan ujian. Sistem akan menampilkan halaman ujianurut disertai dengan hitungan waktu (timer) dan siswa bisa mulai mengerjakan soal ujian. Jika waktu belum habis/siswa tidak mengklik tombol selesai, maka siswa masih dapat mengerjakan soal-soal ujian pada halaman ujian. Sebaliknya jika waktu telah habis atau siswa mengklik tombol selesai, maka sistem akan menampilkan halaman informasi hasil ujian. Siswa mengklik tombol logout dan akun siswa otomatis keluar kemudian sistem akan menampilkan halaman awal.

3.4 Evaluasi

Guru mulai mengevaluasi prototype. Hasil dari evaluasi prototyping yang sudah dibangun mengacu pada rancangan awal dilanjutkan dengan langkah berikutnya.

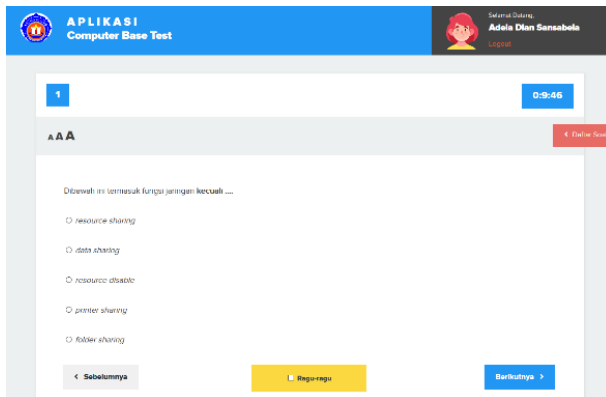
3.5 Implementasi User

Aplikasi *Computer Based Test* Berbasis Web di SMKN 3 Jember Menggunakan Algoritma *Fuzzy C-Means Clustering* dibuat dalam bentuk website dengan tampilan logim untuk admin dan guru. Selain itu juga terdapat tampilan dashboard, profil masing – masing pengguna, dan data – data lainnya seperti data admin, guru, jurusan, kelas, mata pelajaran, data siswa, data paket soal *pre-test*, data soal *pre-test*, data paket soal ujian, data soal ujian, dan data nilai. Gambar 1 menunjukkan data tampilan informasi *pre-test* sebelum mengerjakan soal ujian.



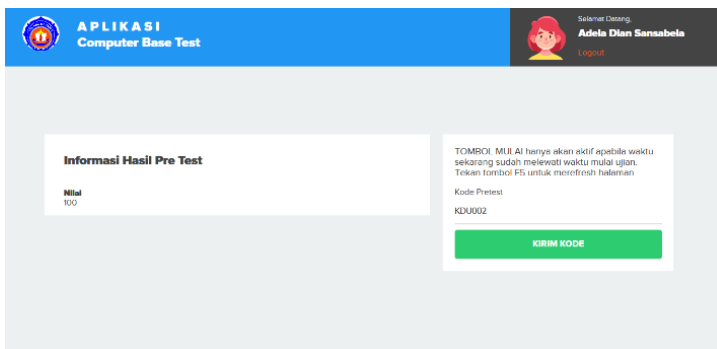
Gambar 4. Tampilan Informasi *Pre-Test*

Terdapat pula tampilan soal pre-test yang ditunjukkan pada Gambar 5

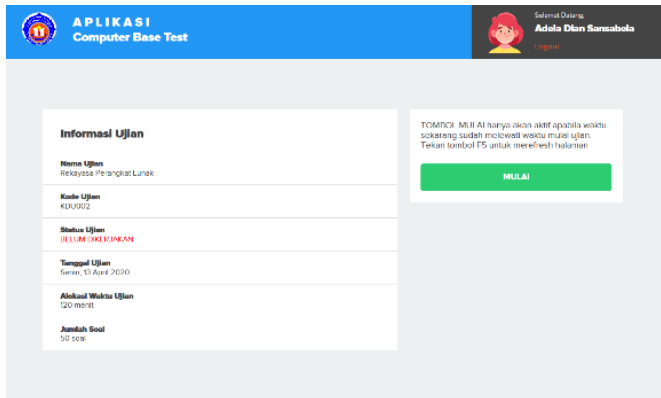


Gambar 5. Tampilan soal *pre-test*

Gambar tampilan hasil pre-test ditunjukkan pada Gambar 6 dan tampilan informasi ujian akan muncul setelah selesai melakukan *pre-test* yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Tampilan Hasil *pre-test*



Gambar 7. Tampilan Informasi Ujian

Perhitungan Algoritma *Fuzzy C-Means Clustering* ini digunakan ketika semua siswa dalam satu kelas sudah menyelesaikan *Pre-test* masing-masing yaitu untuk distribusi soal ujian atau menentukan kode paket soal ujian pada setiap siswa sesuai kemampuan siswa berdasarkan beberapa parameter didalamnya. Algoritma *Fuzzy C-Means Clustering* disusun dengan langkah sebagai berikut:

a. *Input data cluster*

Dalam perhitungan *Fuzzy C-Mean Clustering* terdapat empat data dari *database* yaitu 50% (0.5) data nilai rata kd, 25% (0.25) data nilai keaktifan, 15% (0.15) data nilai *pre-test* dan 10% (0.1) data durasi *pre-test* yang digunakan sebagai presentase parameter *fuzzy* yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Presentase Parameter *Fuzzy*

No.	Parameter	Presentase	Keterangan
1.	Rata KD	50%	0.5
2.	Keaktifan/Sikap	25%	0.25
3.	<i>Pre-test</i>	15%	0.15
4.	Durasi	10%	0.1
Total		100%	1

Parameter yang dimanfaatkan dalam perhitungan fuzzy c-means clustering ini yaitu berupa 50% data nilai rata kd, 25% data nilai keaktifan/sikap, 15% data nilai *pre-test* dan 10% data durasi *pre-test* siswa. Nilai rata kd merupakan rata-rata nilai harian setiap siswa pada setiap mata pelajarannya. Nilai keaktifan/sikap merupakan nilai keaktifan siswa dalam mengikuti kegiatan belajar mengajar dan sikap siswa dalam kesehariannya di kelas.

Nilai pre-test dan durasi pre-test didapatkan setelah pre-test selesai dilaksanakan oleh siswa.

Selain itu terdapat pula acuan dalam skoring poin durasi *pre-test* yang dijadikan sebagai parameter perhitungan *fuzzy* dan acuan skoring poin durasi *pre-test* dihasilkan dari pelaksanaan wawancara di SMKN 3 Jember yang ditunjukkan pada table 2.

Tabel 2. Skoring Poin Durasi *Pre-test*

No.	Bobot Soal	Aturan	Poin
1	Mudah	<=30 detik	5
		>30 detik	2
2	Sedang	<=30 detik	8
		<=60 detik	6
		>60 detik	4
3	Sulit	<=30 detik	10
		<=60 detik	8
		<=90 detik	6
		<=120 detik	4
		>120 detik	1

Pada aplikasi ini juga terdapat pengecekan status *pre-test* siswa yaitu ketika status siswa dalam satu kelas sama dengan jumlah siswa dalam satu kelas, maka akan mengeksekusi fungsi hitung *fuzzy*. Fungsi inilah untuk mulai menghitung perhitungan *fuzzy c-means clustering*. Perhitungan *fuzzy c-means clustering* dimulai dari perulangan jumlah *cluster* dengan beberapa parameter untuk menghitung pusat *cluster* dan didapatkanlah hasil pusat *cluster*. Kemudian dicek hasil iterasi hingga syarat terpenuhi dan pengecekan akan berhenti. Jika syarat tidak terpenuhi maka iterasi akan dilakukan kembali dengan memanggil fungsi hitung *fuzzy*.

b. Menentukan Batasan

Setelah input data yang akan dicluster, langkah selanjutnya adalah menentukan batasan dimana nilai awal dalam perhitungan *fuzzy c-means clustering* pada jumlah cluster (c) adalah 3, pangkat (w) adalah 2, maksimum iterasi (MaxIter) adalah 100, *error* terkecil yang diharapkan (ϵ) adalah 10^{-5} , fungsi obyektif awal P_0 adalah 0, dan iterasi awal adalah 1.

c. Membuat bilangan *random*

Pada tahap ini, dilakukan pengerjaan bilangan secara random sebagai elemen-elemen matriks partisi awal U yang ditunjukkan pada persamaan (1) dan persamaan (2).

$$Q_i = \sum_{k=1}^c \mu_{ik} \tag{1}$$

$$\mu_{ik} = \frac{\mu_{ik}}{Q_i} \tag{2}$$

d. Menghitung pusat *cluster*

Pada tahap ini dilakukan perhitungan pusat *cluster* yang ditunjukkan pada persamaan (3).

$$V_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^n ((\mu_{ik})^w) * X_{ij}}{\sum_{i=1}^n (\mu_{ik})^w} \quad (3)$$

e. Menghitung Fungsi Objektif

$$P_t = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c \left(\left[\sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right] (\mu_{ik})^w \right) \quad (4)$$

f. Menghitung Perubahan Matriks Partisi U

$$\mu_{ik} = \frac{\left[\sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{-1}}{\sum_{k=1}^c \left[\sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{-1}} \quad (5)$$

g. Mengecek Kondisi Berhenti

- Jika: ($| P_t - P_{t-1} | < \square\square$) atau ($t > \text{MakIter}$) maka berhenti.
- Jika tidak: $t = t + 1$, ulangi langkah ke-d (menghitung Pusat *Cluster*).

h. Membuat Klastering Paket Soal Ujian

Dalam membuat *clustering* paket soal ujian terdapat acuan distribusi paket soal berdasarkan hasil dari perhitungan *fuzzy c-means clustering* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Klastering Paket Soal Ujian

No.	Range	Klaster
1.	<0.35	Mudah
2.	>=0.35 - <=0.7	Sedang
3.	>0.7	Sulit

Tabel 3 merupakan acuan untuk klastering paket soal ujian dimana jika hasilnya kurang dari 0.35 maka termasuk klaster paket soal ujian mudah, jika hasilnya lebih dari sama dengan 0.35 dan tidak lebih dari sama dengan 0.7 maka termasuk klaster paket soal ujian sedang dan jika hasilnya lebih dari 0.7 maka termasuk klaster paket soal ujian sulit.

3.6 Pengujian

Pada tahap ini, dilakukan proses pengujian terhadap sistem/aplikasi kepada seorang developer yaitu pada hari Senin, 10 Agustus 2020 dengan hasil sesuai. Pada tahap ini, juga dilakukan proses pengujian terhadap sistem/aplikasi yaitu

pada hari Senin, 03 Agustus 2020 yang dilaksanakan di Lab. Rekayasa Perangkat Lunak SMKN 03 Jember dengan hasil yang sesuai.

4. KESIMPULAN

Pada perancangan dan pembuatan Aplikasi *Computer Based Test* Berbasis Web di SMKN 3 Jember Menggunakan Algoritma *Fuzzy C-Means Clustering* meliputi beberapa tahap diantaranya adalah analisis kebutuhan sistem, pengumpulan data, desain sistem, evaluasi, implementasi aplikasi dengan *fuzzy c-means clustering*, dan pengujian. Dalam mengimplementasikan Algoritma *Fuzzy C-Means Clustering* pada Aplikasi

Computer Based Test Berbasis Web di SMKN 3 Jember terdapat beberapa tahapan yaitu menginput data, menentukan batasan, menghitung pusat kluster, fungsi objektif, perubahan matriks partisi U, mengecek kondisi berhenti dan membuat klusterisasi paket soal ujian.

Aplikasi *Computer Based Test* Berbasis Web di SMKN 3 Jember Menggunakan Algoritma *Fuzzy C-Means Clustering* dapat menghemat waktu dalam pengisian jawaban ujian, membantu meningkatkan efektifitas kerja guru di SMKN 3 Jember dan membantu pengelolaan distribusi soal ujian secara efektif.

5. PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat dan izin-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian simulasi ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S, R., & Shalahuddin, M. (2015). *Rekayasa Perangkat Lunak Terstruktur dan Berorientasi Objek*. Informatika Bandung.
- [2] Gunawan, J. (2018). *SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN PENGANGKATAN STAF PENGAJARPESANTREN TERPADU DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA WEIGHTED PRODUCT*(Studi Kasus : Pondok Pesantren Al-Basyariyah).
- [3] Hakim, L. (2014). *Rahasia Inti Master PHP dan MySQLi (improved)*. Yogyakarta: CV. LOKOMEDIA.
- [4] Ika, W. B. (2014). *Evaluasi Pembelajaran Berbasis E-Learning Menggunakan Metode Fuzzy Logic*.
- [5] Julisman, A. (2014). *Aplikasi Travel dengan AngularJS & Codeigniter*. Yogyakarta: CV. LOKOMEDIA.
- [6] Jullev A, E. S., & SN, A. (2015). *Penerapan FCM untuk Penentuan Kemampuan Siswa Berbasis Sistem Agent Cerdas (Studi Kasus SMK Negeri*

Plosoklaten Kediri).

- [7] Kusumadewi, S., & Purnomo, H. (2010). *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [8] MASLUKHAH, T. N. (2018). RANCANG BANGUN APLIKASI COMPUTER BASED TEST BERBASIS WEB PADA SMPN 4 SURABAYA.
- [9] Naba, D. E. (2009). *Belajar Cepat Fuzzy Logic Menggunakan MATLAB*. Malang: C.V ANDI OFFSET.
- [10] Pratama, A. N. (2010). *CodeIgniter: Cara Mudah Membangun Aplikasi PHP*. Jakarta: mediakita.
- [11] Raharjo, B., Heryanto, I., & RK, E. (2012). *Modul Pemrograman WEB (HTML, PHP, & MySQL)*. Bandung: Modula.
- [12] Supardi, I. Y., & Hermawan, A. (2018). *Semua Bisa Menjadi Programmer CodeIgniter Basic*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- [13] Sutarman, S. (2003). *Membangun Aplikasi Web dengan PHP dan MySQL*. Yogyakarta: GRAHA ILMU.