

**KAJIAN TEKNO EKONOMI PERANCANGAN PLTS *ROOFTOP*
DI GEDUNG TEKNIK POLITEKNIK NEGERI JEMBER**

SKRIPSI



oleh

**NAZILA QORIATUN NISA
NIM B42130126**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ENERGI TERBARUKAN
JURUSAN TEKNIK
POLITEKNIK NEGERI JEMBER
2017**

**KAJIAN TEKNO EKONOMI PERANCANGAN PLTS *ROOFTOP*
DI GEDUNG TEKNIK POLITEKNIK NEGERI JEMBER**

SKRIPSI



Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan (S.ST)
di Program Studi D-4 Teknik Energi Terbarukan
Jurusan Teknik

Oleh

**NAZILA QORIATUN NISA
NIM B42130126**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ENERGI TERBARUKAN
JURUSAN TEKNIK
POLITEKNIK NEGERI JEMBER
2017**

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
POLITEKNIK NEGERI JEMBER**

**KAJIAN TEKNO EKONOMI PERANCANGAN PLTS *ROOFTOP* DI
GEDUNG TEKNIK POLITEKNIK NEGERI JEMBER**

Diuji pada Tanggal 15 September 2017

Nazila Qoriatun Nisa
B42130126

Tim Penguji:
Ketua,



Mochammad Nuruddin, ST., M.Si
NIP. 19761111 200112 1 001

Sekretaris,



Ahmad Fahriannur, ST., MT
NIP 8876400016

Anggota,



Meilana Siswanto, ST.M.Sc
NIP. 8827110016

Menyetujui,
Ketua Jurusan Teknik



Dr. Bayu Rudiyanto, ST., M.Si
NIP. 19731221 200212 1 001

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah... Alhamdulillah... Alhamdulillahirabbil' alamin...
Puji syukur ku persembahkan kepadamu Tuhan Yang Maha Agung nan Maha Tinggi, atas takdirmu telah kau jadikan aku manusia yang senantiasa berfikir, berilmu, beriman dan bersabar dalam menjalani kehidupan. Semoga keberhasilan ini menjadi satu langkah awal bagiku untuk meraih cita – cita besarku.

Hanya ucapan TERIMA KASIH KU untukmu...
Ku persembahkan sebuah karya kecil ini untuk Bapak Imam Raunyani dan Ibu Sri Wedari tercinta.

Yang tiada pernah hentinya selama ini memberiku semangat, lantunan doa yang selalu terpanjatkan, dorongan, nasehat dan kasih sayang serta pengorbanan yang tak akan pernah tergantikan hingga aku selalu membuat kuat dan bertahan melangkahhkan kaki
Bapak... Ibu... mungkin tak ada sesuatu yang mampu menggantikan untuk membalas semua pengorbananmu, kalian ikhlas mengorbankan segala perasaan tanpa kenal lelah, dalam lapar berjuang separuh nyawa hingga segalanya. Maafkan anakmu Bapak... Ibu... yang masih sering kali menyusahkan dan membuatmu sedih.

Bapak, ibu, No words that can describe my feeling right now, i love both of you.. Because of you i can feel myself slowly but surely becoming the me i have always dreamed of being.

Serta untuk kakak laki-lakiku Hanif Alfian yang selalu menjadi penyemangat dikala aku terjatuh dan membuatku bangkit mencapai mimpiku, maafkan aku yang masih manja semoga kelak aku dapat menggapai keberhasilan sepertimu juga. Untuk adekku Alfin Afiful Amin dan Riska Khoirun Nisa selalu menjadi penghibur dan penyemangatku, semoga kelak aku bisa menjadi contoh yang baik.

Tak lupa untuk figur yang penuh ketelitian, kesabaran serta pengertian yang luar biasa, dosen pembimbingku bapak Moh Nuruddin dan bapak Ahmad Fahriannur serta dosen penguji bapak Meilana.

Kepada teman-teman seperjuangan TET "13" terimakasih atas bantuannya, teman-teman lainnya Moh Nur Adi Chandra, Suhairoh, Riski Triana Pamungkas.

Akhir kata, semoga skripsi ini menjadi menjadi kebanggaan bagi saya pribadi dan keluargaku tercinta

MOTTO

“Berusalah dan berhentilah berbohong, karena kebohongan kecil akan menimbulkan kebohongan selanjutnya”

“Tak ada sesuatu yang baik bila dilakukan secara terburu-buru “

“Do whatever you like , be consistant , be patience and success will come naturally “

(Nazila)

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah S.W.T yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang dan atas segala limpahan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Skripsi yang berjudul “Kajian Tekno Ekonomi Perancangan PLTS *Rooftop* Di Gedung Teknik Politeknik Negeri Jember”.

Tulisan ini merupakan laporan hasil penelitian yang dilaksanakan mulai Juli sampai dengan September 2017 di Jember sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan (S.ST) di Program Studi Teknik Energi Terbarukan Jurusan Teknik di Politeknik Negeri Jember. Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan banyak terima kasih kepada yang terhormat :

1. Dr. Ir. Nanang Dwi Wahyono, MM selaku Direktur Politeknik Negeri Jember.
2. Dr. Bayu Rudiyanto,ST, M.Si selaku Ketua Jurusan Teknik.
3. Mochammad Nuruddin,ST, M.Si Selaku Ketua Program Studi Teknik Energi Terbarukan dan selaku Dosen Pembimbing Utama .
4. Yuli Hananto,S.TP, M.Si selaku Koordinator Tugas Akhir
5. Ahmad Fahriannur,ST.,MT selaku Dosen Pembimbing Anggota
6. Meilana Siswanto,ST, M.Sc selaku Dosen Penguji.
7. Bapak tercinta Imam Rauyani dan Ibu tercinta Sri Wedari
8. Mas Hanif Alfian , Adek Alfin Afiful Amin dan Riska Khoirun Nisa
9. Teman-temanku mahasiswa D-IV Teknik Energi Terbarukan angkatan 2013 , temanku Moh Nur Adi Chandra serta semua pihak yang telah membantu penulisan skripsi ini.

Akhir kata penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, penulis mengharapkan mendapat masukan dan kritikan yang dapat membangun untuk skripsi ini dan dapat bermanfaat bagi Politeknik Negeri Jember maupun bagi pembaca lainnya.

Jember, 20 September 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERSEMBAHAN	iv
MOTTO	v
PRAKATA	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
SURAT PERNYATAAN	xii
ABSTRACT	xiii
ABSTRAK.....	xiv
RINGKASAN	xv
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya	5
2.2 Komponen PLTS	5
2.2.1 Panel Surya	5
2.2.2 Inverter	8

2.3 Instalasi PLTS	9
2.4 Topologi Sistem.....	9
2.5 Sunny Design	10
2.6 Perhitungan Listrik PLTS.....	11
2.7 Perhitungan Ekonomi PLTS	14
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	18
3.2 Bahan dan Alat	18
3.3 Metode Penelitian	19
3.3.1 Studi Pustaka	19
3.3.2 Persiapan Alat dan Bahan	19
3.3.3 Pengumpulan Data	19
3.3.4 Perhitungan dan Analisa Data	22
3.4 Diagram Alir Penelitian	23
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Lokasi Gedung Teknik.....	24
4.2 Kebutuhan Listrik Gedung Teknik	25
4.3 Potensi Energi Matahari di Gedung Teknik	28
4.4 Perancangan PLTS Diatas Gedung Teknik	32
4.5 Produksi Listrik PLTS	39
4.6 Perhitungan Biaya Energi PLTS	54
4.7 Analisa Kelayakan Ekonomi.....	58
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	62

DAFTAR TABEL

	Halaman
4.1 Konsumsi harian gedung teknik	26
4.2 Iradiasi matahari perbulan wilayah jember	31
4.3 Spesifikasi panel surya polycrystalline	32
4.4 Spesifikasi panel surya monocrystalline	33
4.5 Spesifikasi panel surya thin film.....	33
4.6 Dimensi modul surya	34
4.7 Kapasitas modul terpasang.....	37
4.8 Spesifikasi inverter.....	38
4.9 Produksi listrik oleh modul polycrystalline pada cuaca buruk.....	40
4.10 Produksi listrik oleh modul polycrystalline pada cuaca normal.....	41
4.11 Produksi listrik oleh modul polycrystalline pada cuaca bagus.....	42
4.12 Produksi listrik oleh modul monocrystalline pada cuaca buruk.....	43
4.13 Produksi listrik oleh modul monocrystalline pada cuaca normal.....	44
4.14 Produksi listrik oleh modul monocrystalline pada cuaca bagus.....	45
4.15 Produksi listrik oleh modul thin film pada cuaca buruk	46
4.16 Produksi listrik oleh modul thin film pada cuaca normal	47
4.17 Produksi listrik oleh modul thin film pada cuaca bagus	48
4.18 Produksi listrik oleh modul polycrystalline	49
4.19 Produksi listrik oleh modul monocrystalline.....	50
4.20 Produksi listrik oleh modul thin film	51
4.21 Penurunan daya PLTS.....	53
4.22 Tabel investasi PLTS	54
4.23 Perhitungan O&M masing-masing modul	55
4.24 Biaya penggantian inverter	56
4.25 Perhitungan LCOE.....	57
4.26 Perbandingan energi listrik PLN dengan PLTS	57
4.27 Penjualan listrik ke PLN	58

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Sunny design	11
3.1 Pengumpulan data	20
3.2 Pengumpulan data radiasi	21
3.3 Diagram alir penelitian	23
4.1 Gedung teknik dengan google earth.....	24
4.2 Kurva radiasi matahari kurang bagus.....	30
4.3 Kurva radiasi matahari sedang.....	32
4.4 Kurva radiasi matahari bagus	34
4.5 Layout gedung teknik tampak atas dengan PV	40
4.6 Register pada sunny design	41
4.7 Perancangan system PLTS	42
4.8 Grafik produksi listrik PLTS	56

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Kepmen ESDM.....	62
2. Tarif	63
3. Konsumsi Listrik Gedung Teknik.....	64
4. Skema PLTS	65
5. Hasil Sunny Design	66
6. Dokumentasi Foto.....	67

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Nazila Qoriatun Nisa

NIM : B42130126

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam Laporan Skripsi saya yang berjudul “Kajian Tekno Ekonomi Perancangan PLTS Rooftop Di Gedung Teknik Politeknik Negeri Jember ” merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam daftar pustaka di bagian akhir Laporan Skripsi ini.

Jember, 20 September 2017

Nazila Qoriatun Nisa
NIM. B42130126

Kajian Tekno Ekonomi Perancangan PLTS *Rooftop* Di Gedung Teknik Politeknik Negeri Jember (*Techno economic study of solar power plant (PLTS) rooftop design at engineering department building state polytechnic Of Jember*)

Nazila Qoriatun Nisa
Program Studi Teknik Energi Terbarukan
Jurusan Teknik

ABSTRACT

Solar energy has the potential to generate electrical energy. Utilization roof of technique department building as solar farm for solar power plants can reduce investment costs. This recent design provides an alternative way to convert to be solar power plant (PLTS) to provide weight needs at engineering building. The design use 3 module variations of polycrystalline cs6x 325p, monocrystalline cs6k-280m and thin film SF 170S. The production of electricity generated by polycrystalline module is 153,250 kwh / year, monocrystalline module of 160,070 kwh / year and thin film of 123,260 kwh / year. The design recommended to use monocrystalline module . The analysis of PLTS planning is technically and economically feasible.

Kata Kunci : *solar power, photovoltaic, economic technology*

Kajian Tekno Ekonomi Perancangan PLTS *Rooftop* Di Gedung Teknik Politeknik Negeri Jember (*Techno economic study of solar power plant (PLTS) rooftop design at engineering department building state polytechnic Of Jember*)

Nazila Qoriatun Nisa
Program Studi Teknik Energi Terbarukan
Jurusan Teknik

ABSTRAK

Energi matahari berpotensi menghasilkan energi listrik. Pemanfaatan atap gedung teknik sebagai *solar farm* untuk pembangkit listrik tenaga surya dapat mengurangi biaya investasi. Perancangan ini memberikan alternatif menjadikan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk memenuhi kebutuhan beban gedung teknik. Perancangan menggunakan 3 variasi modul yaitu polycrystalline cs6x 325p , monocrystalline cs6k-280m dan thin film SF 170S. Produksi listrik yang dihasilkan oleh modul polycrystalline sebesar 153.250 kwh/tahun, modul monocrystalline sebesar menghasilkan 160.070 kwh/tahun dan thin film sebesar 123.260 kwh/tahun. Perancangan ini merekomendasikan modul jenis monocrystalline. Hasil analisa menyatakan bahwa PLTS layak secara teknik dan ekonomi.

Kata Kunci : PLTS, modul surya, Tekno Ekonomi

RINGKASAN

Kajian Tekno Ekonomi Perancangan PLTS *Rooftop* Di Gedung Teknik Politeknik Negeri Jember , Nazila Qoriatun Nisa, NIM B42130126, Tahun 2017, 67 hlm, Teknik, Politeknik Negeri Jember, Mochammad Nuruddin, ST.,M.Si. (Pembimbing I) dan Ahmad Fahriannur,ST.MT. (Pembimbing II).

Pengembangan EBT (Energi Baru Terbarukan) terus dilakukan peningkatan di Indonesia, hampir semua teknologi masa kini bergantung pada energi listrik sebagai penggerak. Pengembangan energi terbarukan antara lain pemanfaatan energi cahaya matahari untuk menghasilkan listrik. Solar sel merupakan sumber energi terbarukan yang cukup menjanjikan, namun pengembangannya mengalami banyak kendala karena harga investasi yang tinggi. Khususnya pada pengembangan surya yang juga memiliki investasi besar untuk pembelian lahan, namun nilai investasi lahan bisa dikurangi dengan pemanfaatan lahan yang tidak terpakai. Gedung teknik berada di area kampus Politeknik Negeri jember dan memiliki atap yang terbuka, dengan luas atap 760 m² dan berpeluang sebagai *solar farm*. Perencanaan PLTS ini diharapkan dapat mensuplai listrik ke gedung teknik disiang hari dan menghemat pemakaian listrik karena sejauh ini ketenagaan listrik mengandalkan listrik PLN. Apabila energi listrik pada gedung sudah terpenuhi maka kelebihan listrik tersebut juga bisa dijual ke PLN. Perencanaan PLTS digedung teknik menggunakan 3 jenis modul yang berbeda yaitu polycrystalline, monocrystalline dan thin film sebagai pembanding modul mana yang terbaik.

Perencanaan proyek juga harus dipikirkan secara matang apakah proyek PLTS menguntungkan dan dampak-dampak dari pembangunan PLTS digedung teknik maka diperlukan kajian secara teknik dan ekonomi PLTS. Dalam perencanaan pembangunan PLTS *rooftop* ini penulis menggunakan software simulasi yang bernama sunny design dengan memasukkan jumlah modul , temperature lingkungan, komponen yang digunakan dalam perencanaan sistem PLTS.

Dari analisa didapatkan bahwa setiap modul menghasilkan listrik yang berbeda-beda . Modul surya polycrystalline menghasilkan energi listrik sebesar 153.250 kwh / tahun, modul surya monocrystalline menghasilkan energi listrik sebesar 160.070 kwh/ tahun dan modul surya thin film menghasilkan energi listrik 123.260 kwh/tahun. Modul yang paling baik dalam perencanaan PLTS adalah jenis modul monocrystalline. Dengan adanya energi listrik PLTS, konsumsi energi listrik digedung teknik perhari sebesar 265,57 kwh dapat di *cover* penuh oleh energi listrik yang dihasilkan oleh semua jenis modul surya.

LCOE modul polocrystalline adalah Rp 680,46 , modul monocrystalline adalah Rp 648,68 dan modul thin film adalah Rp722,97 dan berada dibawah tariff dasar listrik PLN sehingga lebih hemat. PBP masing-masing modul adalah 15 tahun untuk polycrystalline , 14 tahun 4 bulan monocrystalline dan 16 tahun 6 bulan untuk modul thin film . Sehingga kesimpulan dari perencanaan PLTS adalah layak secara teknik maupun ekonomi.



**SURAT PERNYATAAN
PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK**

Yang Bertanda Tangan di Bawah ini :

Nama : Nazila Qoriatun Nisa
NIM : B42130126
Program Studi : Teknik Energi Terbarukan
Jurusan : Teknik

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui memberikan kepada UPT. Perpustakaan Politeknik Negeri Jember, Hak Bebas Royalti Non-Eklusif (*Non-Exclusive Royalt Free Right*) atas karya ilmiah berupa Proposal Skripsi yang berjudul:

**“Kajian Tekno Ekonomi Perancangan PLTS *Rooftop* Di Gedung Teknik
Politeknik Negeri Jember”**

Dengan hak bebas royalti Non-Eklusif ini UPT. Perpustakaan Politeknik Negeri Jember berhak menyimpan, mengalih media atau format, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikan karya dan menampilkan atau mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta izin dari Saya selama tetap mencantumkan nama Saya sebagai penulis atau pencipta.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Politeknik Negeri Jember, segala bentuk yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ini.

Demikian pernyataan ini Saya buat dengan sebenarnya.

**Dibuat di : Jember
Pada Tanggal: 20 September 2017
Yang Menyatakan**

**Nazila Qoriatun Nisa
NIM. B42130126**

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan pokok akan energi sangat penting bagi kehidupan manusia. Manusia membutuhkan energi untuk industri, rumah tangga, domestik, pertanian dan lain – lain. Kebutuhan energi saat ini sebagian besar dipenuhi oleh energi fosil seperti minyak bumi, batu bara, dll. Kemungkinan kelangkaan dan krisis energi tak terhindarkan lagi. Untuk memenuhi kebutuhan masyarakat di masa yang akan datang salah satu alternatif yang dapat di terapkan yaitu menggunakan sumber energi terbarukan. Pengembangan EBT (Energi Baru Terbarukan) terus dilakukan peningkatan di Indonesia, seperti yang diketahui bahwa hampir semua teknologi masa kini bergantung pada energi listrik sebagai penggerak.

Indonesia merupakan negara yang dilewati oleh garis katulistiwa dan memiliki 2 musim saja yaitu musim kemarau dan hujan, hal ini membuat Indonesia memiliki peluang besar dalam bidang energi terbarukan dibandingkan dengan negara yang memiliki 4 musim. Pengembangan energi terbarukan antara lain pemanfaatan energi cahaya matahari untuk menghasilkan listrik. Solar sel merupakan sumber energi terbarukan yang cukup menjanjikan, namun pengembangan energi cahaya matahari di Indonesia masih sangat kurang dibandingkan dengan negara-negara lain. Peralihan dari energi fosil ke EBT mengalami banyak kendala karena harga investasi yang tinggi. Khususnya pada pengembangan surya yang juga memiliki investasi besar untuk pembelian lahan, namun nilai investasi lahan bisa dikurangi dengan pemanfaatan lahan yang tidak terpakai.

Pemanfaatan lahan kosong yang berada di atas gedung atau biasa disebut dengan *rooftop* merupakan pilihan yang tepat untuk membuat *solar farm*. Atap gedung adalah bagian paling atas dari sebuah bangunan yang permukaannya datar dan tidak tertutupi oleh penghalang sehingga terbuka dan terbebas dari *shading*, sinar matahari juga dapat yang diterima optimal.

Di Indonesia jenis bangunan dan gedung pencakar langit dengan atap datar sudah mulai merata terutama di perkotaan dan memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi pembangkit listrik tenaga surya. Perencanaan PLTS dilakukan pada kawasan industri, hotel, sekolah, universitas, rumah sakit dll. Gedung teknik berada di area kampus Politeknik Negeri Jember dan memiliki atap yang terbuka, dengan luas atap 760 m² dan berpeluang sebagai *solar farm*. Kemampuan PLTS dalam memproduksi energi listrik tidak sama dengan pembangkit konvensional. Jumlah produksi PLTS tidak dapat dipastikan setiap harinya karena bergantung pada kondisi alam dan sekitarnya. Iradiasi matahari sebagai sumber energi utama tidak selalu konstan dan berubah sewaktu – waktu. Sehingga untuk menjaga kestabilan memerlukan jaringan listrik PLN. Topologi sistem PLTS ini disebut dengan sistem *on-grid*. Perencanaan PLTS ini diharapkan dapat mensubstitusi atau mensuplai listrik ke gedung teknik disiang hari dan menghemat pemakaian listrik karena sejauh ini ketenagaan listrik mengandalkan listrik PLN. Apabila energi listrik pada gedung sudah terpenuhi maka kelebihan listrik tersebut juga bisa dijual ke PLN dan masuk pada jaringan tegangan rendah 380 volt. Perencanaan PLTS di gedung teknik menggunakan 3 jenis modul yang berbeda yaitu polycrystalline, monocrystalline dan thin film sebagai pembanding modul mana yang terbaik.

Perencanaan proyek juga harus dipikirkan secara matang apakah proyek PLTS menguntungkan dan dampak-dampak dari pembangunan PLTS di gedung teknik. Maka diperlukan kajian tekno ekonomi PLTS. Dalam perencanaan pembangunan PLTS *rooftop* ini penulis menggunakan software simulasi yang bernama sunny design untuk mempermudah perencanaan pembangunan sistem PLTS.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang maka dapat dirumuskan sebagai berikut :

- a. Bagaimana perancangan sistem PLTS di gedung teknik?
- b. Bagaimana konsumsi energi listrik di gedung teknik dengan adanya energi listrik PLTS ?

- c. Bagaimana pengaruh jenis modul terhadap energi listrik yang dihasilkan sistem PLTS?
- d. Bagaimana kajian teknik dan ekonomi dari perencanaan PLTS *rooftop* di gedung teknik ?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai melalui penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Merancang sistem PLTS on-grid untuk mensuplai listrik ke gedung teknik
- b. Mengetahui pengaruh energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS terhadap konsumsi energi listrik di gedung teknik.
- c. Mengetahui energi listrik yang dihasilkan oleh jenis modul surya yang berbeda
- d. Mengkaji tekno ekonomi PLTS *rooftop* dengan menggunakan jenis modul surya yang berbeda.

1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan rincian identifikasi masalah, maka diperlukan batasan supaya penelitian lebih focus dan terarah. Adapun batasan – batasannya sebagai berikut :

- a. Perancangan ini menggunakan modul dengan tahun keluaran yang sama
- b. Ketersediaan area sebagai solar farm mengacu pada luasan atap pada gedung yang sudah dibangun.
- c. Kebutuhan beban listrik mengacu pada konsumsi energi listrik di gedung teknik
- d. Pemilihan komponen pendukung PLTS menurut dengan simulasi hasil desain PLTS , sehingga tidak mencantumkan perhitungan secara manual, karena menggunakan sunny design.

1.5 Manfaat Penelitian

- a. Manfaat dari penelitian ini yaitu memberikan gambaran dan merekomendasikan pengaplikasian pembangkit listrik tenaga surya sebagai alternatif yang dapat dikembangkan pada gedung atap terbuka.
- b. Penelitian ini dapat dijadikan acuan pengembangan panel surya dan rujukan untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Menurut bahasa kata photovoltaik berasal dari bahasa Yunani *photos* berarti cahaya dan *volta* yang merupakan nama ahli fisika dari Italia yang menemukan tegangan listrik. Photovoltaic merupakan proses mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah pembangkit listrik yang mengkonversikan energi cahaya matahari yang berupa energi foton menjadi energi listrik (Pradipta, 2012). Untuk dapat menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan energi cahaya matahari dibutuhkan komponen-komponen pendukung untuk dapat mengubahnya menjadi energi listrik. Komponen utama PLTS adalah modul surya dan inverter. Komponen Pendukung PLTS terdiri dari mounting , pengkabelan, proteksi ,dll.

2.2 Komponen PLTS

2.2.1 Panel surya

Komponen utama sistem PLTS adalah panel surya yang merupakan unit rakitan dari beberapa sel surya. Panel surya merupakan bagian dari PLTS yang bertugas dalam pembangkitan daya atau yang bertugas mengubah energimatahari menjadi energi listrik (Iftor ,2015). Energi surya yang didapat diubah menjadi arus listrik searah (DC) dengan menggunakan silicon yang tipis. Sel surya tersusun dari dua lapisan semi konduktor ,lapisan atas bermuatan positif dan bagian bawah bermuatan negatif.

Secara umum mekanisme kerja sel surya yaitu mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Ketika cahaya mengenai permukaan sel fotovoltaic maka sebagian cahaya akan dipantulkan dan sebagian lagi akan terserap. Efek dari terpaparnya electron oleh foton yang dibawa oleh sinar matahari membuat electron bergetar dan berputar . Proses lepasnya electron yang mengalir kedalam hole

mengakibatkan terjadinya arus listrik . Patricia (2012) mengatakan bahwa panel surya merupakan susunan dari beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri dan parallel. Perkembangan teknologi panel surya sekarang ini sudah ada beberapa jenis antara lain yang umum digunakan yaitu :

a. Monocrystalline Silicon (Mono-Si)

Solar sel monocrystalline dibuat dari silicon Kristal tunggal yang didapat dari peleburan silicon dalam bentuk bujur. Sekarang monocrystalline dapat dibuat setebal 200 mikron, dengan nilai efisiensi sekitar 16-25% .

b. Polycrystalline Silicon

Jenis Solar sel polycrystalline dibuat dari peleburan silicon dalam tungku keramik, kemudian pendinginan perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silicon yang akan timbul diatas lapisan silicon. Efisiensinya sekitar 14 – 18 %, Ciri fisik yang mudah dikenali yaitu polycrystalline ini bewarna kebiruan, bentuknya bisa kotak atau persegi dengan pola-pola guratan kebiruan. Bila disusun pada solar panel terlihat lebih rapat.

c. Thin Film Silicon

Jenis sel surya ini diproduksi dengan cara menambahkan satu atau beberapa lapisan material sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasar. Sel surya jenis ini sangat tipis karena sel surya ini mempunyai tingkat kerapatan atom yang rendah, karenanya sangat ringan dan fleksibel (mudah dibentuk). Berdasarkan materialnya, dibagi menjadi :

- *Amorphous Silicon (a-Si) Solar Cells*. Sel surya dengan bahan Amorphous Silicon ini, awalnya banyak diterapkan pada kalkulator dan jam tangan. Namun seiring dengan perkembangan teknologi pembuatannya penerapannya menjadi semakin luas.

- *Cadmium Telleuride (CdTe) Solar Cells*. sel surya jenis ini mengandung bahan *cadmium telluride*. Dimana solar sel ini memiliki efisiensi lebih tinggi dari sel surya Amorphous Silicon.
- *Copper Indium Gallium Selenide (CIGS) Solar Cells*. Sel surya jenis ini mengandung bahan *copper indium gallium selenide*. Apabila dibandingkan dengan kedua jenis sel surya thin film di atas, sel surya CIGS memiliki efisiensi paling tinggi yaitu sekitar 10% - 12%. Selain itu jenis ini tidak mengandung bahan berbahaya Cadmium seperti pada sel surya CdTe.

Faktor-faktor yang berpengaruh pada pengoperasian panel surya antara lain sebagai berikut :

a. *Temperature*

Sel surya dapat beroperasi secara optimal jika temperatur sel tetap normal pada 25 °C. Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada modul surya akan mengurangi kinerja pada panel surya dalam menghasilkan tegangan. Setiap kenaikan 1 °C akan mengurangi 0,5% dari total daya yang dihasilkan.

b. Intensitas cahaya matahari

Intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel PV akan berpengaruh pada daya keluaran. Semakin rendah intensitas cahaya maka semakin rendah juga daya yang dihasilkan.

c. Orientasi Panel Modul *photovoltaic*

Orientasi dari rangkaian modul ke arah matahari secara optimal memiliki efek yang sangat besar untuk menghasilkan energi yang maksimum. Sinar matahari bergerak dijalur khatulistiwa. Begitu juga yang letaknya di belahan selatan *latitude*, maka panel sebaiknya diorientasikan ke arah utara. Ketika modul diorientasikan ke arah barat atau ke arah timur sebenarnya akan tetap menghasilkan energi, namun energi yang dihasilkan tidak akan maksimal.

d. Posisi Letak Sel Surya Terhadap Matahari

Untuk mempertahankan tegak lurusnya sinar matahari terhadap panel surya dibutuhkan pengaturan posisi modul, karena *sun altitude* akan berubah setiap jam dalam sehari. Kemiringan panel surya yaitu 10° menghadap ke utara dan jarak antar panel sepanjang 1 m, untuk menghindari shading dari array (Iftor, 2015)

2.2.2 Inverter

Inverter adalah komponen elektronika pendukung panel PV untuk mengubah arus searah (DC) menjadi bolak-balik (AC) yang umumnya dibutuhkan oleh peralatan listrik. Pemilihan inverter yang tepat untuk aplikasi tertentu tergantung pada jenis kebutuhan sistem itu sendiri, apakah sistem terhubung ke jaringan listrik atau sistem berdiri sendiri. Efisiensi inverter pada saat pengoperasian sekitar 90%. (Patricia, 2012). Ada tiga kategori inverter yaitu *grid-tied*, *grid-tied* dengan baterai cadangan dan stand alone. Kedua jenis inverter yang pertama adalah inverter *line-tied*, yang digunakan dalam sistem panel surya *utility-connected*. Jenis ketiga yaitu *stand-alone* atau *inverter off-grid*, diciptakan untuk berdiri sendiri (tidak bergantung). Penggolongan yang lain adalah jenis gelombangnya.

Berdasarkan bentuk gelombang output-nya inverter dapat dibedakan menjadi :

- Sine wave inverter, yaitu inverter yang memiliki tegangan output dengan bentuk gelombang sinus murni. Inverter jenis ini dapat memberikan supply tegangan ke beban (Induktor) atau motor listrik dengan efisiensi daya yang baik.
- Sine wave modified inverter, yaitu inverter dengan tegangan output berbentuk gelombang kotak yang dimodifikasi sehingga menyerupai gelombang sinus. Inverter jenis ini memiliki efisiensi daya yang rendah apabila digunakan untuk mensupply beban induktor atau motor listrik.
- Square wave inverter, yaitu inverter dengan output berbentuk gelombang kotak, inverter jenis ini tidak dapat digunakan untuk mensupply tegangan ke beban induktif atau motor listrik.

2.3 Instalasi PLTS

Terdapat dua metode utama instalasi pada pembangunan PLTS yaitu Rooftop Mounted dan Ground Mounted. Penerapan kedua metode tersebut memiliki pertimbangan-pertimbangan yang perlu diperhatikan antara lain :

a. *Roof-Mounted*

Tipe ini merupakan instalasi PLTS yang berada diatas bangunan / atap dan memiliki beberapa ciri antara lain area terbebas dari penghalang (*shading*) ,atap dapat berfungsi sebagai struktur penopang instalasi panel surya, diperlukan *mounting* yang cukup kuat diperlukan untuk mengatasi permasalahan cuaca ,layak dan *cost-effective* untuk kapasitas pembangkitan yang kecil.

b. *Ground-Mounted*

Instalasi ground mounted memerlukan bidang tanah yang datar dan stabil, memerlukan analisis untuk mengetahui stabilitas tanah dalam jangka waktu panjang, memerlukan tonggak atau balok baja sebagai struktur penopang tambahan, *cost effective* untuk kapasitas pembangkit yang besar.

2.4 Topologi Sistem

Sistem PLTS yang dikenal secara luas terbagi menjadi 2 yaitu sistem yang terhubung dengan jaringan listrik lainnya dalam memenuhi kebutuhan energi listrik disuatu tempat yang disebut *grid* dan system PLTS yang berdiri sendiri dalam memenuhi energi listrik disuatu tempat (*stand alone*). Dimana kedua tipe tersebut memiliki kegunaan masing-masing.

a. *Grid Connection*

Grid connected atau *on-grid* adalah sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan listrik lainnya (misalnya PLN). Dalam hal kemampuan menghasilkan energi listrik, pembangkit listrik tenaga surya berbeda dengan pembangkit konvensional, karena energi listrik yang dihasilkan bergantung pada sinar matahari dan alam. Terkoneksinya PLTS dengan PLN dapat mencegah ketidakstabilan sistem PLTS, misalnya ketika PLTS tidak mampu memenuhi kebutuhan listrik maka disokong oleh sumber listrik yang terkoneksi dengan grid tersebut. Namun jika yang terjadi adalah sebaliknya, maka kelebihan energi listrik dapat dikirimkan atau dijual ke PLN. Di sisi lain PLTS *on-grid* dengan tidak menggunakan baterai memiliki dampak negatif yaitu perubahan daya yang tiba-tiba yang juga dapat berdampak pada *drop* tegangan pada sistem.

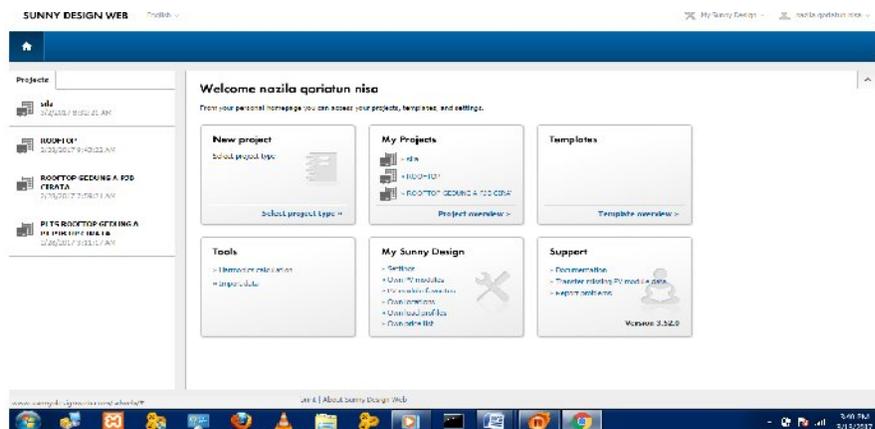
b. *Stand Alone*

Sistem *stand alone* atau berdiri sendiri disebut dengan sistem yang hanya mengandalkan energi matahari sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian modul photovoltaic untuk menghasilkan energi listrik sesuai dengan kebutuhan tanpa terhubung dengan jaringan listrik PLN. Namun, sistem ini boleh jadi bekerja berdampingan dengan pembangkit lain atau bisa disebut dengan *hybrid system*. Tujuan hybrid system sama dengan grid connection yaitu menjaga keseimbangan pembangkit daya. Sistem PLTS ini umumnya digunakan pada daerah/wilayah yang jauh / tidak terjangkau jaringan listrik (PLN).

2.5 Sunny Design

Sunny design adalah sebuah software simulasi yang digunakan untuk perencanaan dan perancangan sistem PLTS. Sunny desain merekomendasi rencana pembangunan PLTS dan memberikan informasi tentang komponen PLTS, inverter yang akan digunakan serta menampilkan hasil design dan energi listrik yang dihasilkan dari simulasi.

Sunny design web ini termasuk software pendukung yang bisa di akses secara *free* oleh *user* dengan mendownload software sunny design dan melakukan *register* , user dapat melakukan *log in* . Bisa juga diakses secara online dengan alamat berikut <http://sunnydesignweb.com> . Software ini support oleh beberapa browser seperti Microsoft internet explorer ,Mozilla firefox, google chrome ,opera dll. Dalam sunny design web dapat menginput beberapa data yang diperlukan, seperti wilayah rencana proyek akan dilaksanakan, secara otomatis sunny design web juga akan menampilkan komponen-komponen yang akan digunakan dalam melakukan pengerjaan project, kemudian menginput jumlah komponen, temperature, dan beberapa lain yang dibutuhkan. Tampilan sunny design pada gambar 2.1 :



Gambar 2.1 Sunny Design Web

2.6 Perhitungan energi listrik PLTS

a. Perhitungan luas lahan dan layout PLTS

Pengambilan data tentang luas lahan digunakan sebagai parameter untuk mendapatkan gambaran calon lokasi yang akan dilakukan pemasangan PLTS. Setelah melakukan survey langsung ke lokasi ,melakukan pengukuran lahan dan perhitungan yang akan digunakan untuk membangun PLTS dengan persamaan :

$$N_{pv} = \frac{P_{roof}}{P_{pv}} \times \frac{L_{roof}}{L_{pv}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dalam melakukan perencanaan peletakan modul, maka hendaknya memperhitungkan juga jarak antar array agar peletakan modul surya tidak mengalami shading yang menyebabkan menurunnya performa dan daya yang dihasilkan oleh PLTS. Jarak antar array adalah 1 m (Iftor,2015).

Formula untuk menghitung jarak antar array ditunjukkan pada persamaan 2.2 :

$$D = \frac{W \cdot \sin(180^\circ - \beta - \alpha)}{\sin \alpha} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana D = jarak

$\alpha = 90^\circ - 23,5^\circ - \text{Latitude (garis lintang)}$

W = lebar modul (m)

β = sudut kemiringan

$$\text{Total Luas panel surya} = \text{Luas 1 unit panel (m}^2\text{)} \times \text{Jumlah panel surya} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\text{Luas panel surya} = \text{panjang} \times \text{lebar} \dots\dots\dots(2.4)$$

b. Potensi Energi Matahari

Iradiasi (irradiance) matahari atau intensitas matahari adalah besar daya radiasi elektromagnetik dari sinar matahari persatuan luas (W/m^2). Pada lapisan luar atmosfer, daya yang diterima dari matahari sebesar 1367 W/m^2 . Nilai intensitas tersebut berkaitan erat dengan jarak yang ditempuh oleh cahaya matahari. (Iftor, 2015). Potensi energi surya di Indonesia besar karena letak Indonesia secara geografis dan hanya memiliki 2 musim yaitu musim kemarau dan musim hujan. Indonesia merupakan daerah tropis mempunyai potensi energi matahari yang sangat besar dengan insolasi harian matahari 4,5-4,8 kwh/m²/hari. Perubahan intensitas cahaya matahari mempengaruhi daya keluaran dari system PLTS (Yulinanda, 2015). Nilai radiasi matahari 1000 watt/m^2 . Jika piranti semi konduktor memiliki efisiensi modul 10% maka mampu memberikan listrik sebesar 100 watt. Akan tetapi energi listrik

yang dihasilkan oleh selsurya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang diterima oleh system.

c. Produksi Listrik PLTS

Kapasitas energi listrik yang dihasilkan system PLTS adalah gabungannya dari setiap komponen sistem PLTS. Besar daya yang dapat dibangkitkan PLTS (watt peak) dapat menggunakan rumus 2.4 (Ahmad, 2003) dalam Patricia Hanna (2012) :

$$PV \text{ area} = \frac{E_L}{G_{av} \times \eta_{pv} \times TCF \times \eta_{inv} \times \eta_{out}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dari rumus 2.4, untuk mencari E_L maka dapat dirubah :

$$E_L = PV \text{ area} \times G_{av} \times TCF \times \eta_{pv} \times \eta_{inv} \times \eta_{out} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

E_L = pemakaian energi listrik (Kwh/hari)

G_{av} = Insolasi cahaya matahari harian (Kwh/m²/hari)

η_{pv} = efisiensi panel surya (%)

TCF = temperature correction factor (%)

η_{inv} = efisiensi system panel surya (98%)

η_{out} = efisiensi peralatan lain (kabel) (asumsi 85%)

PV area = area surya panel (m²)

TCF (temperature correction factor) atau factor koreksi temperatur dimana setisp kenaikan suhu 1° maka akan mengurangi daya yang dihasilkan oleh panel surya. Rumus mencari besar daya panel surya pada saat kenaikan temperature :

$$P_{\text{saat naik } ^\circ\text{c}} = 0,5\% / ^\circ\text{c} \times P_{\text{mpp}} \times \text{kenaikan temperatur}(^\circ\text{c}) \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

$P_{\text{saat naik } ^\circ\text{c}}$ = daya keluaran panel saat temperature naik °c dari angka 25°c

P_{mpp} = daya keluaran maksimum panel PV

Maka TCF dapat dihitung dengan rumus :

$$TCF = P_{\text{mpp saat naik } ^\circ\text{c}} / P_{\text{mpp}}$$

2.7 Perhitungan Ekonomi PLTS

a. Biaya Sistem PLTS

Perancangan PLTS selain mempertimbangkan teknik pemasangan yang benar, juga harus memperhatikan nilai keekonomiannya. Perhitungan ekonomis digunakan untuk menentukan apakah PLTS yang akan dibangun menguntungkan atau tidak (Nafis, 2015). Perhitungan ekonomis untuk menentukan kelayakan ekonomis dari system PLTS dengan membandingkan konsumsi energi listrik karena adanya system PLTS dan tanpa adanya sistem PLTS atau biaya yang dibayarkan ke PLN. Kemudian membandingkan kedua nilai biaya tersebut untuk mengambil keputusan.

1. Investasi awal

Biaya investasi awal merupakan biaya untuk pembelian komponen system PLTS seperti modul surya, inverter, *roof mounting*, instalasi dan jasa, dll.

2. Biaya perawatan dan pengoperasian selama siklus hidup

Biaya perawatan (M) adalah biaya yang dikeluarkan untuk merawat dan mengoperasikan system PLTS. Menurut Kalmitch, dkk 2007 dalam Patricia (2012) biaya pemeliharaan setiap tahunnya PLTS umumnya diperhitungkan sebesar 1-2%, dari biaya investasi.

3. Biaya penggantian Komponen

Biaya penggantian komponen merupakan biaya yang harus diperhitungkan dalam perencanaan. Penggantian komponen utama system PLTS seperti inverter mengacu pada garansi yang diberikan oleh produsen. Penggantian komponen juga memperhitungkan diskonto factor pada tahun dilakukannya penggantian inverter tersebut.

b. Biaya Energi PLTS

Biaya energi cost (cost of energy) dapat diartikan sebagai perbandingan total biaya yang diperlukan untuk menghasilkan energi listrik. LCOE atau levelized cost of energy adalah biaya per Kwh dari daya yang dihasilkan oleh system pembangkit selama umur sistem.

Perhitungan rumus LCOE (Iftor, 2015) :

$$LCOE = \frac{TPB}{E_{plts\text{total}}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Nilai TPB didapatkan dari formula :

$$TPB = C + O\&M + R \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

- C = biaya investasi (cost)
- O&M = biaya pengoperasian dan pemeliharaan
- R = biaya penggantian komponen.

c. Penjualan Listrik

Biaya penjualan dan pembelian listrik berlaku untuk system PLTS yang terkoneksi ke jaringan PLN. Karena sistem PLTS terintegrasi ke jaringan PLN maka ketika panel surya menghasilkan energi listrik dan kebutuhan listrik pada gedung sudah terpenuhi ,energi listrik tersebut akan masuk ke jaringan PLN. Begitu juga sebaliknya ,ketika energi listrik yang dihasilkan panel tidak mencukupi maka listrik yang dibutuhkan akan diambil dari jaringan PLN.

Patricia (2012) mengatakan kebijakan feed in tariff di Indonesia sudah mulai dilakukan dalam skala terbatas sejak 2002, yaitu melalui Kepmen ESDM No.1122K/30/MEM/2002. Dengan adanya Feed in tarif ini mewajibkan perusahaan jaringan listrik Negara (PLN) membeli listrik yang dihasilkan dari sumber EBT seperti tenaga surya, angin, air, panas bumi, biomassa dan lainnya.

Peraturan Menteri ESDM No 12 tahun 2017 tentang pembelian listrik dari sumber EBT yaitu PLTS photovoltaic yaitu mengenai tarif listrik yang akan dibayarkan 85% jika BPP setempat > BPP nasional dan BPP system setempat < BPP nasional maka tarif dibayarkan 100%. BPP nasional saat ini yaitu 7,5 cent/Kwh. Untuk wilayah jawa timur harga beli listrik yaitu 5,8 cent/Kwh . Tarif tersebut lebih kecil daripada BPP Nasional sehingga tariff listrik akan dibayarkan 100%. Berdasarkan tarif terbaru tahun 2017 tersebut, maka didapatkan nilai Rp.812/ kwh, dan biaya energi listrik dari PLN adalah Rp 1040/Kwh. 1 USD = Rp 14.000,00

d. Analisa Kelayakan Ekonomi

Ketika seseorang ingin melakukan investasi pada suatu proyek, maka orang tersebut harus memperhatikan kondisi saat ini dan berharap proyek akan berjalan dan mendapatkan keuntungan dari proyek tersebut dari masa mendatang.

1. NPV (Net present value)

NPV (Net present value) adalah sebuah nilai yang menunjukkan nilai yang akan dihasilkan dari sebuah investasi. NPV diukur dengan menjumlahkan semua alur kas sepanjang waktu dari periode nol hingga periode akhir. Nilai alur kas yang dihitung untuk mendapatkan NPV adalah penjumlahan nilai uang dari periode nol atau yang dikenal dengan present value dengan nilai alur kas bersih (Pemasukan dikurangi keluaran) yang dihitung menggunakan present worth factor sebagai patokan dalam mencari nilai yang seimbang dari nilai yang ada di masa sekarang.

Present worth factor yang dapat digunakan dalam perhitungan nilai investasi proyek dapat menggunakan suku bunga (tingkat suku bunga bank). Adapun rumus menghitung present worth factor :

$$DF = \frac{1}{(1+r)^n} \dots \dots \dots (2.10)$$

Metode NPV ini paling banyak digunakan karena perhitungan lebih sederhana. Rumus NPV ditunjukkan pada rumus 2.10 :

$$NPV = \sum_{t=1}^n I_o + \frac{Ct}{(1+i)} \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan :

Ct = alur kas bersih yang diterima dalam periode t

Io = investasi awal proyek

I = suku bunga

Keterangan pengambilan keputusan adalah sebagai berikut :

- Jika NPV yang didapat adalah positif maka proyek tersebut layak dilaksanakan karena mengindikasikan mendapatkan keuntungan,
- Jika NPV bernilai negatif maka proyek tersebut tidak layak dilaksanakan karena identifikasi proyek investasi tersebut belum mencapai kondisi yang mampu memberikan keuntungan.
- Jika NPV bernilai 0 maka berarti dalam sepanjang periode perhitungan investasi yang dilakukan memberikan hasil sebanding dengan investasi.

2. Pay Back Periode

Periode pengembalian (*Payback periode*) merupakan jangka waktu yang diperlukan untuk mengembalikan modal suatu investasi, yang dihitung dari arus kas bersih. Arus kas bersih adalah selisih antara pendapatan dan pengeluaran per tahun. Periode pengembalian biasanya dinyatakan dalam jangka waktu pertahun (Suharto, 2002). Dalam hal ini selisih antara pendapatan dan pengeluaran per tahun adalah tetap. Nilai periode pengembalian (*Payback periode*) dapat diperoleh dari rumus 2.12 :

$$\text{Payback Periode} = \frac{\text{Investasi}}{\text{Annual Benefit}} \times \text{Periode waktu} \dots\dots\dots(2.12)$$

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian dilaksanakan di Gedung Politeknik Negeri Jember, Kabupaten jember, Jawa Timur. Penelitian dilaksanakan selama \pm 2 bulan pada bulan Juli - Agustus. Penulis melakukan penelitian untuk memperoleh data guna penulisan tugas akhir.

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan selama proses penelitian adalah sebagai berikut :

1. Solari meter
2. Meteran
3. Power analyzer
4. Stopwatch
5. Kalkulator
6. Termometer
7. Buku catatan dan alat tulis

Software yang digunakan antara lain:

1. Sunny design
2. Power Log
3. Microsoft office excel

3.3 Metode Penelitian

Metode dan tahapan pengambilan data adalah sebagai berikut :

3.3.1 Studi Pustaka

Tahap yang pertama dilakukan adalah menuangkan ide-ide yang diperoleh dari sumber-sumber atau melakukan studi pustaka dilakukan untuk memperoleh data-data sekunder serta menghimpun informasi yang relevan dari jurnal, internet, buku dan penelitian terdahulu.

3.3.2 Persiapan Alat dan Bahan

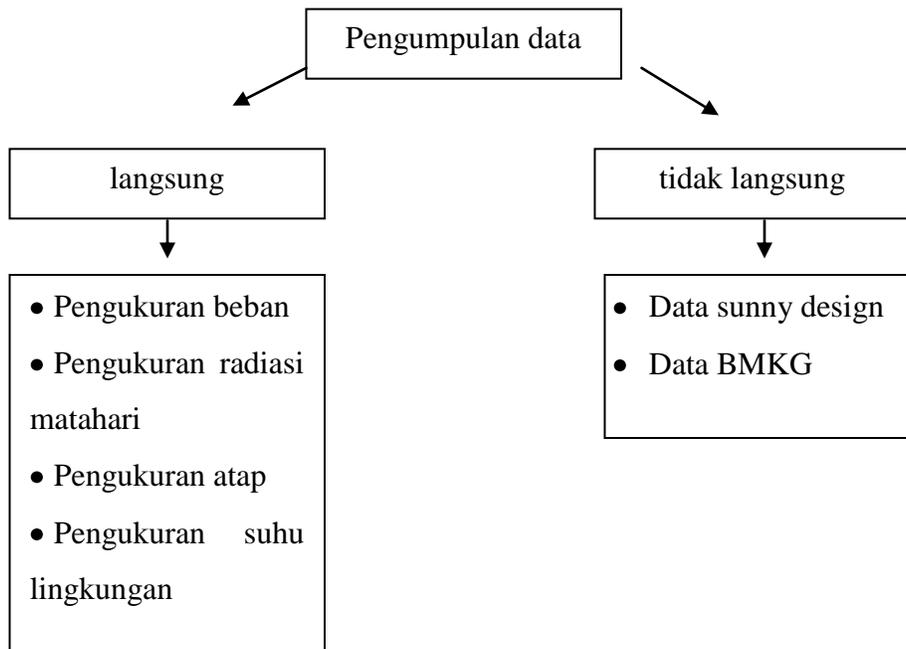
Pada persiapan alat dan bahan yaitu mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan penelitian seperti solar power meter, roll meter, power analyzer, stopwatch, kalkulator , thermometer, buku dan alat tulis.

Menginstal software yang digunakan pada laptop sebagai pendukung pengolahan data antara lain sunny design, power log dan microsoft office excel.

3.3.3 Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang dilakukan yaitu dengan melakukan data secara langsung dan tidak langsung. Pengambilan data secara langsung atau aktual yaitu dengan melakukan pengukuran lahan di atap gedung teknik, pengukuran radiasi matahari , pengukuran suhu lingkungan. Sedangkan pengumpulan data tidak langsung yaitu pengambilan data iradiasi dari BMKG untuk wilayah Jember .

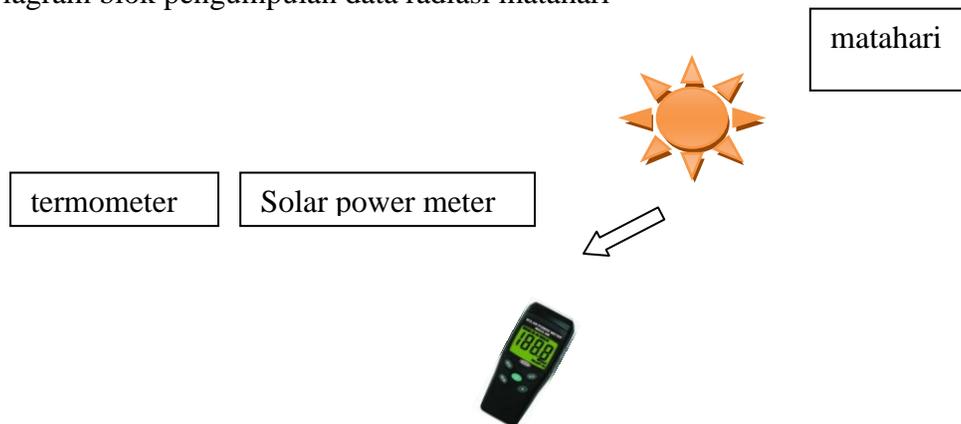
Pengumpulan data akan ditunjukkan oleh gambar diagram blok sebagai berikut :



Gambar 3.1 pengumpulan data

a. Pengumpulan data secara langsung yaitu dengan melakukan pengukuran beban dengan alat power analyzer pada panel control gedung teknik. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui konsumsi energi listrik setiap harinya . Setelah mengetahui kebutuhan beban harian, melakukan pengukuran luas atap yang berada diatas gedung teknik dengan menggunakan roll meter atau meteran. Tujuannya yaitu untuk memperoleh data luas lahan selain dengan menggunakan google earth yang lebih actual dan akurat. Pengukuran radiasi matahari menggunakan alat solar power meter.

Diagram blok pengumpulan data radiasi matahari



Gambar 3.2 pengumpulan data radiasi matahari

Peletakan solar power menghadap kearah utara dengan kemiringan sudut 10° , pengambilan data radiasi matahari setiap 30 menit menggunakan stopwatch dimulai pukul 07.00 WIB – 17.00 WIB dan diikuti pengambilan suhu lingkungan setiap 30 menit dimulai pukul 07.00 – 17.00 WIB. Data yang telah didapatkan sebagai input pada software sunny design.

b. Pengumpulan data secara tidak langsung yaitu mengambil data BMKG tentang nilai radiasi matahari perbulan dalam setahun. Wilayah Jember berada pada garis lintang 8° LS , sehingga pengambilan data ini dilaksanakan di kantor BMKG dimana wilayah Banyuwangi juga berada di garis 8° LS sehingga mewakili data iradiasi matahari untuk wilayah Jember.

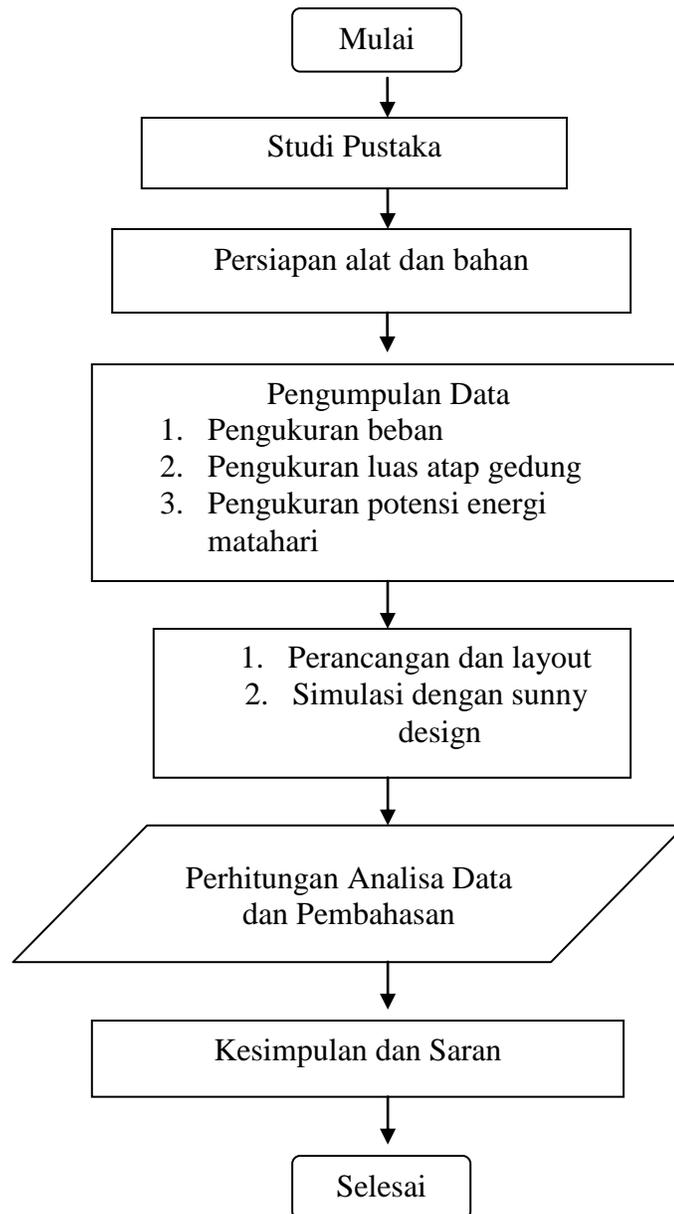
3.3.4 Perhitungan Dan Analisis Data

Berdasarkan data yang diperoleh , maka perlu dilakukan perhitungan biaya antara lain sebagai berikut :

1. Perhitungan energi listrik yang dibangkitkan oleh masing-masing modul
2. Perhitungan penghematan dengan adanya PLTS
3. Perhitungan listrik yang dijual ke PLN
4. Perhitungan ekonomi dan kelayakan ekonomi system PLTS

3.4 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir akan ditunjukkan alur dibawah ini :

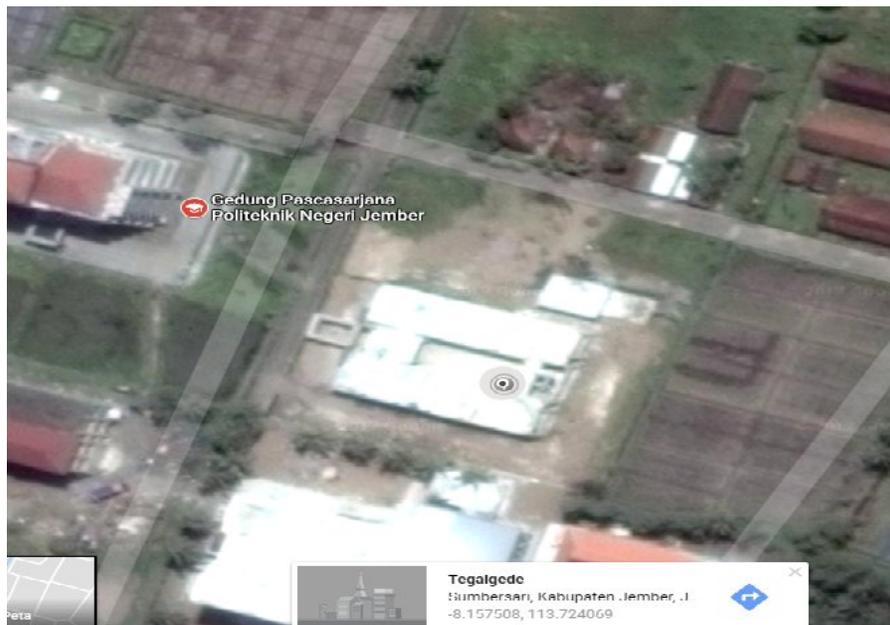


Gambar 3.3 Diagram alir penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Lokasi Gedung Teknik

Gedung teknik merupakan gedung baru yang berada dikawasan kampus Politeknik Negeri Jember, kelurahan Tegalgede , kecamatan Summersari, Jember Jawa Timur dan berada pada latitude $-8,1^{\circ}$ dan longitude $113,7^{\circ}$ (google earth, 2017). Gedung ini memiliki luasan atap 1256 m^2 . Luas lahan yang terpakai adalah $60,5 \%$ dari luas lahan tersebut, dikarena terdapat komponen lain penunjang fasilitas gedung seperti tandon air, atap transparan dll. Luas lahan yang tersedia tersebut dimanfaatkan untuk *solar farm* perencanaan pembangunan PLTS rooftop. Untuk mempermudah memperoleh data tentang luasan dilakukan pengukuran langsung pada gedung tersebut. .



Gambar 4.1 gedung teknik dengan google earth

4.2 Kebutuhan Listrik di gedung Teknik

Gedung teknik merupakan gedung perkuliahan dimana aktifitas banyak terjadi pada siang hari atau hari kerja dan beban yang ada digedung seperti pada perkantoran pada umumnya seperti AC, proyektor, TV, computer, lampu, dll. Untuk mengetahui beban digedung teknik dilakukan pengukuran menggunakan alat power analyzer. Penelitian dibatasi waktu penelitian yang dilakukan pada bulan Agustus. Berdasarkan data yang didapatkan dengan hasil data yang telah didownload dengan menggunakan software power log maka didapatkan pemakaian energi listrik di gedung teknik dalam sehari rata-rata yaitu sebesar 265,57 kWh/ hari, dalam seminggu sebesar 1858,99 kWh dan sebulan 7.435,96 kWh. Rincian konsumsi energi listrik digedung teknik akan ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Konsumsi Listrik di Gedung Teknik

No	Jam / Tanggal	9-8-17	10-8-17	11-8-17	12-8-17	13-8-17	14-8-17	15-8-17	16-8-17
1	00.00-01.00		168.08	453.34	727.27	905.09	1080.21	1415.56	1724.65
2	01.00-02.00		174.13	460.38	733.39	911.63	1085.63	1421.74	1734.42
3	02.00-03.00		179.87	467.22	739	917.55	1090.59	1428.09	1744.39
4	03.00-04.00		185.36	473.97	745.41	923.71	1095.89	1434.55	1754.29
5	04.00-05.00		191.07	480.38	751.1	929.73	1101.21	1440.82	1764.09
6	05.00-06.00		196.77	486.78	757.06	935.35	1106.66	1446.83	1773.06
7	06.00-07.00		201.85	492.49	762.37	940.96	1111.27	1452.66	1782.76
8	07.00-08.00		206.67	497.9	767.5	946.35	1115.82	1458.33	1791.64
9	08.00-09.00		212.58	503.98	772.52	953.39	1125.86	1467.55	1799.61
10	09.00-10.00		227.8	516.74	779.26	961.61	1153.48	1484.4	1821.59
11	10.00-11.00		254.02	531.57	786.38	969.94	1180.83	1505.31	1849.61
12	11.00-12.00	11.38	280.86	552.2	794.74	978.7	1206.89	1527.34	1858.99
13	12.00-13.00	29.13	305.99	571.85	803.66	987.33	1233.2	1552.11	
14	13.00-14.00	46.74	330.44	590.54	812.52	996.96	1261.73	1575.3	

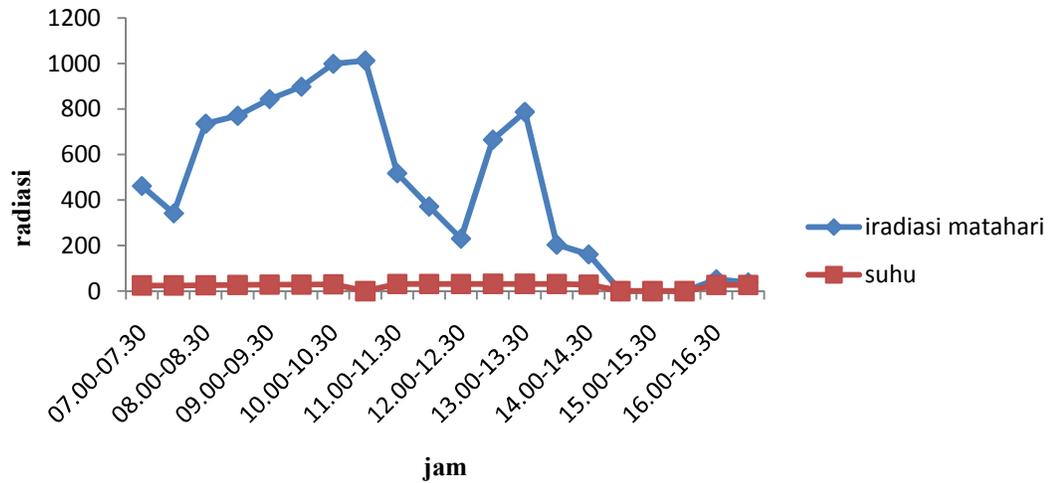
No	Jam / Tanggal	9-8-17	10-8-17	11-8-17	12-8-17	13-8-17	14-8-17	15-8-17
Konsumsi Listrik (kWh)								
15	14.00-15.00	64.85	349.61	611.89	820.86	1006.53	1291.55	1598.68
16	15.00-16.00	84.15	369.69	633.74	830.12	1015.64	1321.94	1619.79
17	16.00-17.00	101.58	388.06	655.67	839.09	1024.67	1346.58	1638.54
18	17.00-18.00	113.94	400.89	673.41	848	1033.35	1358.55	1651.59
19	18.00-19.00	123.32	408.46	684.38	856.77	1040.36	1368.52	1662.18
20	19.00-20.00	131.43	417.5	692.62	865.79	1047.05	1377.24	1672.47
21	20.00-21.00	139.95	425.15	701.14	874.47	1054.11	1385.66	1683.61
22	21.00-22.00	148.4	432.15	708.65	882.76	1061.23	1394.7	1694.37
23	22.00-23.00	155.85	439.41	715.13	889.9	1068.3	1402.94	1704.3
24	23.00-00.00	162.09	446.87	721.23	898.26	1074.32	1409.08	1714.52

Berdasarkan tabel 4.1 diketahui bahwa konsumsi energi listrik setiap hari terjadi perbedaan setiap jamnya . Dari beberapa data yang ditunjukkan tersebut, konsumsi energi listrik digedung teknik paling tinggi terjadi pada hari Senin, 14 Agustus 2017 dimana puncak beban terjadi pada jam 14.00-15.00 dan konsumsi energi listrik pada malam hari tidak mengalami peningkatan yang signifikan seperti yang terjadi pada siang hari ketika ada kegiatan perkantoran dan aktifitas mahasiswa. Dengan nilai tersebut gedung teknik termasuk gedung yang hemat energi, karena sebagian besar pencahayaan disiang hari dengan jendela kaca sehingga dapat mengurangi konsumsi listrik / lampu untuk pencahayaan. Nilai beban ini bisa berubah-ubah sesuai pemakaian gedung, semakin banyak kegiatan yang dilakukan digedung, maka konsumsi energi listrikpun semakin tinggi.

4.3 Potensi Energi Matahari

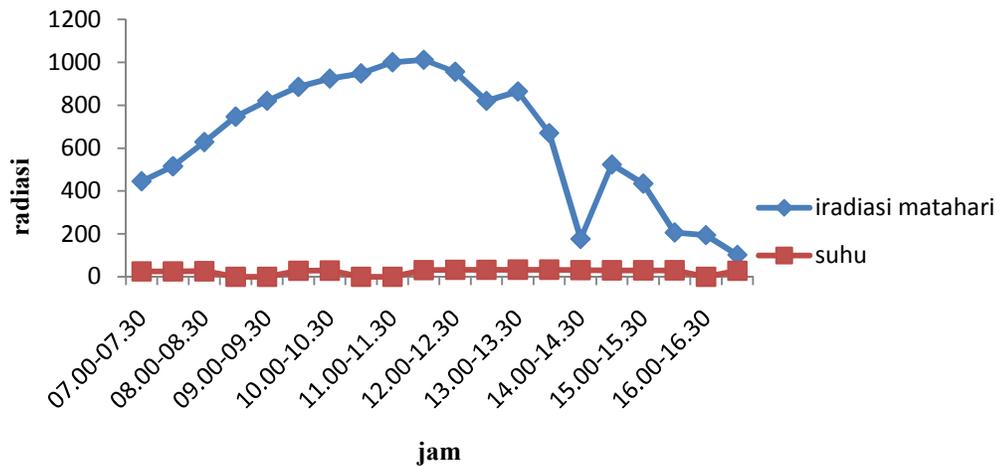
Untuk mendapatkan data primer maka dilakukan pengukuran dengan menggunakan solar power meter diatas gedung yang dilakukan mulai jam 07.00 – 17.00 dan pengambilan data setiap 30 menit dengan menggunakan power solar meter. Energi PLTS yang dihasilkan sangat bergantung pada sinar matahari dan cuaca. Sinar matahari yang diterimapun berbeda-beda setiap waktu dan fluktuatif. Karena perbedaan tersebut maka nilai iradiasi dan suhu juga bervariasi mulai dari cuaca yang kurang bagus, cuaca normal dan cuaca bagus.

Kategori cuaca kurang bagus yaitu terjadinya hujan , cuaca normal yaitu iradiasi matahari konstan akan tetapi sesekali terjadi mendung sehingga nilai radiasi menurun , cuaca bagus yaitu pada saat nilai iradiasi stabil dan mencapai maksimal dan tidak terjadi hujan.



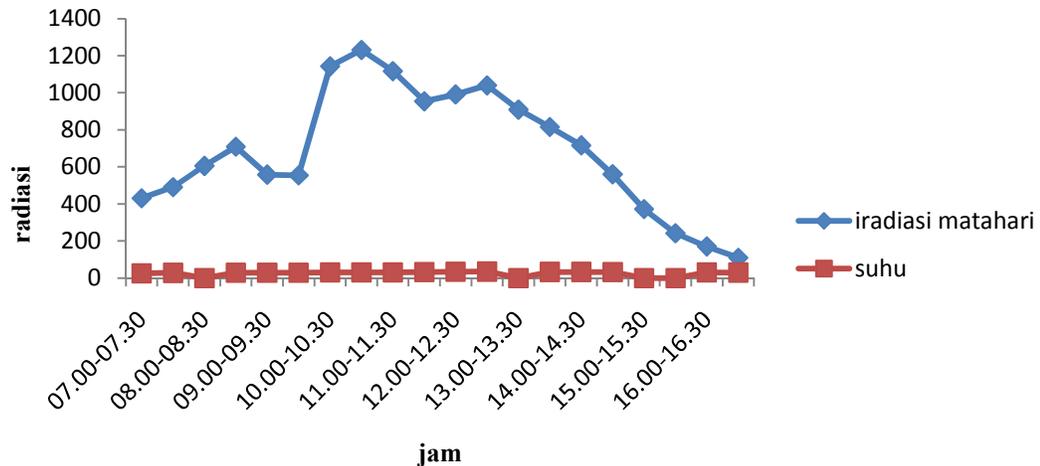
Gambar 4.2 kurva iradiasi pada saat kurang bagus

Dari kurva pada gambar 4.2 , maka diketahui bahwa puncak iradiasi matahari terjadi pada pukul 10.30-11.00 dengan nilai 1012 w/m^2 . Suhu terendah adalah 25°C dan suhu tertinggi adalah 32°C . Pada pukul 14.30 terjadi hujan dan berlangsung selama 1,5 jam, setelah hujan terjadi penurunan suhu lingkungan dan iradiasi matahari yang signifikan.



Gambar 4.3 kurva iradiasi matahari pada saat normal

Pada kurva 4.3 menunjukkan bahwa cuaca berfluktuatif ,dimana pada jam 14.00-14.30 terjadi penurunan iradiasi matahari dan awan berubah menjadi medung sehingga nilai iradiasi matahari yang didapatkan menjadi rendah.



Gambar 4.4 kurva iradiasi matahari pada saat bagus

Dari kurva yang ditunjukkan pada gambar 4.4 maka diketahui bahwa sinar matahari diatas gedung teknik berada pada puncaknya pada pukul 10.30-11.00 sebesar 1231 kwh/m² .suhu terendah sebesar 25°C dan suhu tertinggi sebesar 35° C . Sinar matahari yang diatas gedung teknik memiliki nilai iradiasi matahari yang tinggi, hal ini disebabkan oleh ketinggian lokasi gedung teknik yang berpengaruh terhadap nilai iradiasi matahari yang diterima , selain tidak ada shading dari lingkungan sekitarnya, sinar matahari dapat diterima dengan maksimal secara langsung tanpa ada penghalang. Akan tetapi dengan tingginya iradiasi matahari maka suhu lingkungan mencapai titik tertinggi yaitu 35°C.

Data primer atau dilakukan secara langsung menjadikan pertimbangan karena akan memakan banyak waktu , sehingga diperlukan data sekunder dari stasiun meteorologi atau BMKG . Wilayah jember berada pada garis lintang -8°LS sehingga data radiasi matahari perbulan dalam setahun didapatkan di kantor stasiun

meteorologi kelas III Banyuwangi, Wilayah Banyuwangi mewakili wilayah Jember yang sama-sama berada pada garis lintang -8° LS.

Data radiasi matahari di daerah Jember didapatkan melalui NASA dengan bantuan software simulasi Sunny design yang akan menghubungkan ke satelit NASA melalui internet dengan cara menginput lokasi perencanaan system PLTS dan posisi letak garis lintang lokasi perencanaan . Kemudian saat jaringan koneksi ke internet maka software ini akan menghubungkan ke NASA untuk mendapatkan nilai radiasi selama 1 tahun .

Tabel 4.2 Radiasi matahari perbulan di Jember

No	Bulan	Daily radiation (kwh/m ² /day)
1	Januari	4,17
2	Februari	4,29
3	Maret	5,0
4	April	5,4
5	Mei	5,9
6	Juni	5,5
7	Juli	5,6
8	Agustus	5,8
9	September	5,6
10	Oktober	5,9
11	November	4,8
12	Desember	4,8
Rata-rata		5,2

4.4 Perancangan PLTS diatas gedung Teknik

Setelah melakukan pengukuran beban yang digunakan oleh gedung teknik , maka langkah pertama yang dipelukan adalah menentukan modul surya yang akan digunakan. Pemilihan modul surya berpengaruh pada besarnya energi yang dihasilkan. Perancangan ini memilih modul surya polycrystalline tipe cs6x-325p , monocrystalline cs6k-280m dan thin film SF 170s. Sistem PLTS yang dirancang yaitu untuk mensuply kebutuhan listrik di gedung teknik pada siang hari , karena system yang digunakan yaitu on-grid atau grid connection sehingga tidak memerlukan baterai sebagai media penyimpanan. Ada beberapa pertimbangan memilih system on-grid , selain tidak menggunakan baterai karena *cost* untuk pembelian baterai yang tinggi, gedung teknik merupakan kawasan perkotaan dan terjangkau oleh listrik PLN.

Panel surya dikembangkan di Indonesia umumnya ada 3 macam yaitu polycrystalline , monocrystalline dan thin film dan penulis menggunakan 3 jenis panel surya tersebut untuk perencanaan PLTS rooftop.

Spesifikasi masing-masing modul surya yang akan digunakan pada perencanaan PLTS adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3 Spesifikasi panel surya polycrystalline cs6x-325p

No	Subyek	Keterangan
1	Max Power (Pmax)	325 W
2	Effisiensi Modul	16,65%
3	Tegangan Pmax (Vmp)	37.0 V
4	Arus pada Pmax (Imax)	8.78 A
5	Tegangan open circuit (Voc)	45.5 V
6	Arus short circuit (Isc)	9.34 A
7	Max system Voltage	1000 V
8	Ukuran (mm)	1968 × 992 × 5,8

Tabel 4.4 Spesifikasi Modul surya monocrystalline cs6k-280M

No	Subyek	Keterangan
1	Max Power (Pmax)	280 W
2	Effisiensi Modul	17,71 %
3	Tegangan Pmax (Vmp)	31,5 V
4	Arus pada Pmax (Imax)	8.89 A
5	Tegangan open circuit (Voc)	45.5 V
6	Arus short circuit (Isc)	9.34 A
7	Max system Voltage	1000 V
8	Ukuran (mm)	1650 × 992 × 40

Tabel 4.5 Spesifikasi Modul surya thin film SF 170-S

No	Subyek	Keterangan
1	Max Power (Pmax)	170 W
2	Effisiensi Modul	13,38 %
3	Tegangan Pmax (Vmp)	87,5 V
4	Arus pada Pmax (Imax)	1,95 A
5	Tegangan open circuit (Voc)	112 V
6	Arus short circuit (Isc)	2.20 A
7	Max system Voltage	1000 V
8	Ukuran (mm)	1257 × 977 × 35

Dari spesifikasi panel surya diatas maka didapatkan data dimensi modul sebagai berikut :

Tabel 4.6 Tabel dimensi modul surya

No	Jenis dan Tipe Modul	Dimensi (mm)
1	Policrystalline cs6x-325p	1968 × 992 × 58
2	Monocrystalline cs6k-280m	1650 × 992 × 40
3	Thin film SF 170S	1257 × 977 × 35

Orientasi pemasangan panel surya kearah datangnya sinar matahari diperhatikan dengan baik, hal ini bertujuan untuk mendapatkan hasil yang maksimum. Untuk daerah Jember yang berada pada -8,1 LS maka pemasangan panel surya menghadap kearah utara dan sudut kemiringan yaitu 10°. Kemiringan sudut ini mengacu pada Dok.PT PJB UP Cirata *dalam* Renac (2016), dimana dengan sudut 10° dapat menghindarkan dari shading. Berikut menghitung jumlah modul .

. Modul surya disusun dengan mempertimbangkan kemudahan akses ketika melakukan maintance baik membersihkan modul maupun mengatasi faktor lain yang mengganggu modul surya, perhitungan jarak antar array sangat di butuhkan, karena supaya tidak terjadi shading atau bayangan yang bisa menutupi PV modul yang dapat menyebabkan turunnya performa dari modul dan dapat mengakibatkan modul cepat rusak .

Perhitungan jarak pada masing-masing modul surya .

a. Jarak modul policrystalline

$$D = \frac{W}{\cos(\beta - \alpha)}$$

Dimana D = jarak

$$\alpha = 90^\circ - 23,5^\circ - \text{Latitude (garis lintang)}$$

W = lebar modul (m)

β = sudut kemiringan

Diketahui lebar 0.992 m, sudut kemiringan 10° , latitude Jember- $8,1^\circ$ LS.

Maka jarak antar array :

$$D = \frac{W}{\cos(\beta - \alpha)}$$

$$D = \frac{0,992}{\cos(10^\circ - (-8,1^\circ))}$$

$$D = \frac{0,992}{\cos(18,1^\circ)}$$

$$D = 1,02 \text{ m}$$

b. Jarak modul monocrystalline

Maka jarak antar array :

$$D = \frac{W}{\cos(\beta - \alpha)}$$

$$D = \frac{0,992}{\cos(10^\circ - (-8,1^\circ))}$$

$$D = \frac{0,992}{\cos(18,1^\circ)}$$

$$D = 1,02 \text{ m}$$

c. Jarak modul thin film

Maka jarak antar array :

$$D = \frac{1}{\sin(\beta - \alpha)}$$

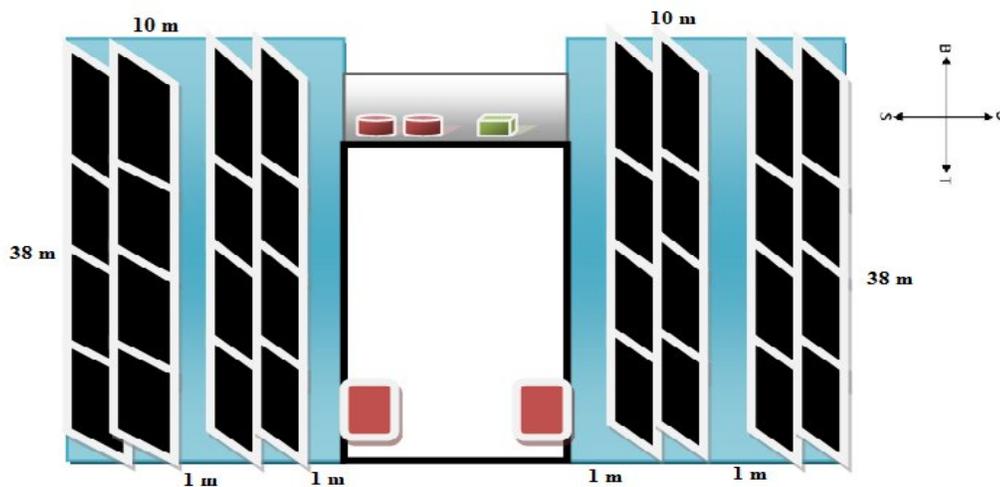
$$D = \frac{1}{\sin(30^\circ - 0^\circ)}$$

$$D = \frac{1}{\sin(30^\circ)}$$

$$D = 1,00 \text{ m}$$

Dari perhitungan jarak diatas, maka didapatkan hasil masing-masing jarak antar array pada masing-masing modul 1 m.

Skema ilustrasi susunan panel surya akan ditunjukkan pada gambar 4.5 :



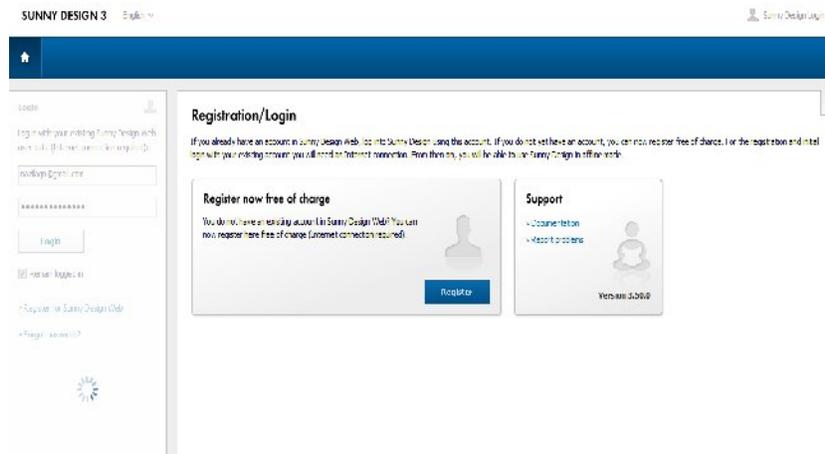
Gambar 4.5 layout gedung teknik tampak atas dengan PV

Maka jumlah modul yang terpasang berdasarkan hasil perhitungan :

Tabel 4.7 Kapasitas modul terpasang di atap gedung

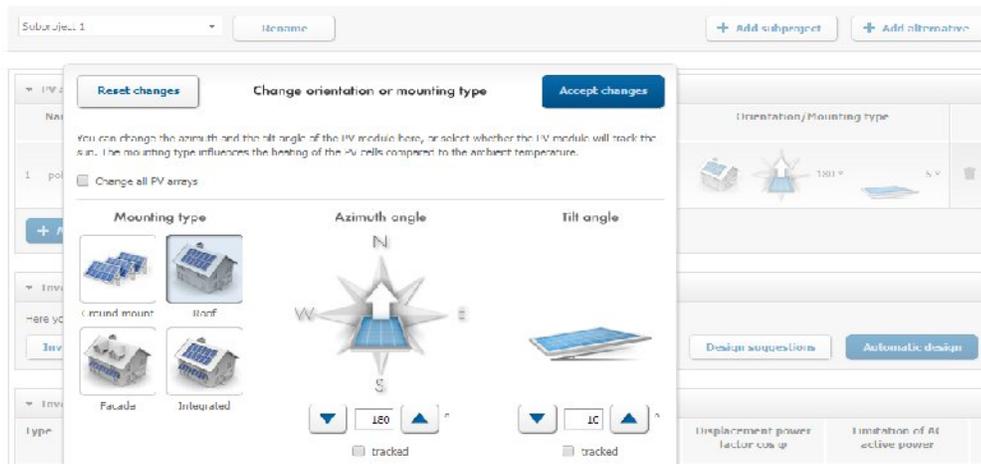
No	Jenis dan Tipe Modul	Jumlah
1	Policrystalline cs6x-325p	304
2	Monocrystalline cs6k-280m	368
3	Thin film SF 170S	480

Langkah selanjutnya yaitu melakukan perancangan menggunakan software simulasi yang bernama sunny design. Data – data yang dibutuhkan antara lain nilai temperature lingkungan minimum dan maksimum, jumlah modul,dll .



Gambar 4.6 Register pada sunny design

Tampilan sunny design akan ditampilkan pada gambar 4.6. Langkah pertama yang dilakukan setelah menginstal software ini yaitu melakukan registrasi dan log in. Kemudian mengambil project PV, apakah proyek yang direncanakan terinstalasi di *ground* atau *roof*. Data-data yang telah didapatkan dijadikan input pada software ini.



Gambar 4.7 Perancangan sistem PLTS

Dengan menginput beberapa data yang telah didapatkan seperti spesifikasi dan jumlah modul, pemilihan perangkat penunjang ini secara otomatis akan memilih komponen yang akan digunakan, menginput temperature lingkungan, energi listrik yang dihasilkan dan profitability dari proyek tersebut. Berikut spesifikasi inverter yang digunakan :

Tabel 4.8 Spesifikasi inverter STP-25000TL-30

No	Subyek	Keterangan
1	Max DC power	25550 W
2	Max. input voltage	1000 V
3	Min input voltage	150 V
4	Max input current	33 A
5	Max AC power	25000 W
6	Max output current	36,2 A
7	efficiency	98,3 %
8	Dimension	665 / 690 / 265 mm

4.5 Produksi Listrik

Produksi energi listrik dari masing-masing modul digedung teknik perhari dengan jenis cuaca yang berbeda-beda. Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus dimana pada saat penelitian kondisi cuaca yang berbeda-beda dan berfluktuatif. Temperatur lingkungan juga selalu berubah-ubah dan tidak dapat diprediksi setiap waktunya. Hal itu memang wajar terjadi, dengan cuaca yang berfluktuatif tersebut antara lain kondisi kurang bagus atau buruk, normal dan bagus. Dengan kondisi tersebut, maka output yang dihasilkanpun juga berbeda. Data yang telah didapatkan dan berdasarkan data actual dari lapangan oleh masing-masing modul surya berbeda.

Konsumsi energi listrik perhari digedung teknik yaitu sebesar 265,57 kWh/hari. Dengan energi listrik yang dihasilkan oleh masing-masing PV yang berbeda, maka penghematan yang dilakukan digedung teknik juga berbeda dan energi listrik PLTS juga bergantung pada kondisi cuaca.

Pada saat kondisi cuaca kurang bagus (buruk) jenis modul polycrystalline dapat menghasilkan energi listrik sebesar 730 kwh/hari, modul monocrystalline menghasilkan energi listrik sebesar 739.5 kwh/hari dan thin film sebesar 722 kwh/hari. Dengan hasil pengukuran beban gedung teknik perhari sebesar 265.57 kwh, maka sudah jelas energi listrik dapat dicover penuh oleh listrik PLTS dan kelebihan listrik bisa di on grid kan ke PLN. Pada saat kondisi sedang jenis modul monocrystalline dapat menghasilkan energi listrik sebesar 961 kwh/hari, modul monocrystalline menghasilkan energi listrik sebesar 1045 kwh/hari dan thin film sebesar 1020 kwh/hari. Dengan hasil pengukuran beban gedung teknik perhari sebesar 265.57 kwh, maka sudah jelas energi listrik dapat dicover penuh oleh listrik PLTS dan kelebihan listrik bisa di ongrid kan ke PLN. Pada saat kondisi bagus jenis modul thin dapat menghasilkan energi listrik sebesar 1092 kwh/hari, modul monocrystalline menghasilkan energi listrik sebesar 1105 kwh/hari dan thin film sebesar 1079 kwh/hari. Dengan hasil pengukuran beban gedung teknik perhari sebesar 265.57 kwh, maka sudah jelas energi listrik dapat dicover penuh oleh listrik PLTS dan kelebihan listrik bisa di ongrid kan ke PLN.

Tabel 4.10 Produksi Listrik modul surya polycrystalline pada saat cuaca normal

No	Waktu (WIB)	Iradiasi (w/m ²)	T ₀ (°C)	T ₁ (°C)	$\Delta T = T_1 - T_0$ (°C)	$(T_1 - T_0)$ $\times 5\%$	TCF (%)	Total eff Out (%)	Pv area (m ²)	EL
1	07.00-07.30	445	25	25	0	0	100	13.869945	592.8	36.56213
2	07.30-08.00	515	25	25	0	0	100	13.869945	592.8	42.31347
3	08.00-08.30	628	25	26	1	0.5	99.5	13.869945	592.8	51.3398
4	08.30-09.00	746	25	26.5	1.5	1	99.25	13.869945	592.8	60.83321
5	09.00-09.30	820	25	27.5	2.5	2	98.75	13.869945	592.8	66.53074
6	09.30-10.00	885	25	28	3	2	98	13.869945	592.8	71.62274
7	10.00-10.30	924	25	29	4	2.5	97.75	13.869945	592.8	74.39941
8	10.30-11.00	948	25	29.5	4.5	2.75	97.25	13.869945	592.8	76.13713
9	11.00-11.30	1000	25	30.5	5.5	3	97	13.869945	592.8	7.990262
10	11.30-12.00	1011	25	31	6	3	96.5	13.869945	592.8	80.57389
11	12.00-12.30	956	25	32	7	3	96.5	13.869945	592.8	75.79781
12	12.30-13.00	820	25	32	7	3.5	96.5	13.869945	592.8	65.01485
13	13.00-13.30	864	25	33	8	3.5	96	13.869945	592.8	68.14852
14	13.30-14.00	670	25	33	8	3	96	13.869945	592.8	52.84665
15	14.00-14.30	176	25	31	6	3	97	13.869945	592.8	14.02671
16	14.30-15.00	523	25	30	5	0	97.5	13.869945	592.8	41.8965
17	15.00-15.30	434	25	30	5	0	97.5	13.869945	592.8	34.76688
18	15.30-16.00	206	25	30	5	0	97.5	13.869945	592.8	16.50225
19	16.00-16.30	194	25	28.5	3.5	1	98.25	13.869945	592.8	15.6605
20	16.30-17.00	102	25	28	3	1	98.5	13.869945	592.8	8.254824
Total										961.2183

Tabel 4.11 Produksi Listrik modul surya polycrystalline pada saat cuaca bagus (tidak terjadi hujan)

No	Waktu (WIB)	Iradiasi (w/m ²)	T ₀ (°C)	T ₁ (°C)	$\Delta T = T_1 - T_0$ (°C)	$(T_1 - T_0) \times 5\%$	TCF (%)	Total eff Out (%)	Pv area (m ²)	EL
1	07.00-07.30	430	25	25	0	0	100	13.869945	592.8	35.32969
2	07.30-08.00	490	25	25.5	0.5	0.25	99.75	13.869945	592.8	40.15877
3	08.00-08.30	605	25	26	1	0.5	99.5	13.869945	592.8	49.45952
4	08.30-09.00	709	25	28.4	3.4	1.7	98.3	13.869945	592.8	57.26262
5	09.00-09.30	558	25	29	4	2	98	13.869945	592.8	44.92951
6	09.30-10.00	554	25	29.5	4.5	2.25	97.75	13.869945	592.8	44.49364
7	10.00-10.30	1143	25	31.5	6.5	3.25	96.75	13.869945	592.8	90.85914
8	10.30-11.00	1231	25	31	6	3	97	13.869945	592.8	98.10727
9	11.00-11.30	1117	25	32	7	3.5	96.5	13.869945	592.8	88.56292
10	11.30-12.00	954	25	31	6	3	97	13.869945	592.8	76.03115
11	12.00-12.30	991	25	33.8	8.8	4.4	95.6	13.869945	592.8	77.84003
12	12.30-13.00	1040	25	35	10	5	95	13.869945	592.8	81.17614
13	13.00-13.30	909	25	32	7	3.5	96.5	13.869945	592.8	72.07134
14	13.30-14.00	815	25	33	8	4	96	13.869945	592.8	64.28361
15	14.00-14.30	716	25	33	8	4	96	13.869945	592.8	56.47493
16	14.30-15.00	560	25	32	7	3.5	96.5	13.869945	592.8	44.40039
17	15.00-15.30	372	25	31.5	6.5	3.25	96.75	13.869945	592.8	29.57095
18	15.30-16.00	241	25	30.5	5.5	2.75	97.25	13.869945	592.8	19.25653
19	16.00-16.30	170	25	30	5	2.5	97.5	13.869945	592.8	13.61836
20	16.30-17.00	109	25	29.5	4.5	2.25	97.75	13.869945	592.8	8.754164
Total										1092.641

Tabel 4.12 Produksi Listrik modul surya monocrystalline pada saat cuaca buruk

No	Waktu (WIB)	Iradiasi (w/m ²)	T ₀ (°C)	T ₁ (°C)	$\Delta T = T_1 - T_0$ (°C)	$(T_1 - T_0) \times 5\%$	TCF (%)	Total eff Out (%)	Pv area (m ²)	EL
1	07.00-07.30	462	25	25	0	0	100	13.869945	599.8	38.40711
2	07.30-08.00	342	25	25	0	0	100	13.869945	599.8	28.43124
3	08.00-08.30	735	25	26	1	0.5	99.5	13.869945	599.8	60.79671
4	08.30-09.00	770	25	27	2	1	99	13.869945	599.8	63.37174
5	09.00-09.30	843	25	29	4	2	98	13.869945	599.8	68.6789
6	09.30-10.00	898	25	29	4	2	98	13.869945	599.8	73.15973
7	10.00-10.30	998	25	30	5	2.5	97.5	13.869945	599.8	80.89187
8	10.30-11.00	1012	25	30.5	5.5	2.75	97.25	13.869945	599.8	81.8163
9	11.00-11.30	518	25	31	6	3	97	13.869945	599.8	41.77065
10	11.30-12.00	372	25	31	6	3	97	13.869945	599.8	29.99745
11	12.00-12.30	231	25	31	6	3	97	13.869945	599.8	18.62745
12	12.30-13.00	665	25	32	7	3.5	96.5	13.869945	599.8	53.34806
13	13.00-13.30	787	25	32	7	3.5	96.5	13.869945	599.8	63.13523
14	13.30-14.00	204	25	31	6	3	97	13.869945	599.8	16.45022
15	14.00-14.30	162	25	29	4	3	98	13.869945	599.8	13.19808
16	14.30-15.00	0	0	0	0	0	0	13.869945	599.8	0
17	15.00-15.30	0	0	0	0	0	0	13.869945	599.8	0
18	15.30-16.00	0	0	0	0	0	0	13.869945	599.8	0
19	16.00-16.30	52	25	27	2	1	99	13.869945	599.8	4.27965
20	16.30-17.00	39	25	27	2	1	99	13.869945	599.8	3.209737
Total										739.5701

Tabel 4.13 Produksi Listrik modul surya monocrystalline pada saat cuaca normal

No	Waktu (WIB)	Iradiasi (w/m ²)	T ₀ (°C)	T ₁ (°C)	$\Delta T = T_1 - T_0$ (°C)	$(T_1 - T_0) \times 5\%$	TCF (%)	Total eff Out (%)	Pv area (m ²)	EL
1	07.00-07.30	445	25	25	0	0	100	13.869945	599.8	36.99386
2	07.30-08.00	515	25	25	0	0	100	13.869945	599.8	42.81312
3	08.00-08.30	628	25	26	1	0.5	99.5	13.869945	599.8	51.94604
4	08.30-09.00	746	25	26.5	1.5	1	99.25	13.869945	599.8	61.55156
5	09.00-09.30	820	25	27.5	2.5	2	98.75	13.869945	599.8	67.31636
6	09.30-10.00	885	25	28	3	2	98	13.869945	599.8	72.46849
7	10.00-10.30	924	25	29	4	2.5	97.75	13.869945	599.8	75.27794
8	10.30-11.00	948	25	29.5	4.5	2.75	97.25	13.869945	599.8	77.03619
9	11.00-11.30	1000	25	30.5	5.5	3	97	13.869945	599.8	80.84614
10	11.30-12.00	1011	25	31	6	3	96.5	13.869945	599.8	81.52533
11	12.00-12.30	956	25	32	7	3	96.5	13.869945	599.8	76.69285
12	12.30-13.00	820	25	32	7	3.5	96.5	13.869945	599.8	65.78257
13	13.00-13.30	864	25	33	8	3.5	96	13.869945	599.8	68.95324
14	13.30-14.00	670	25	33	8	3	96	13.869945	599.8	53.47068
15	14.00-14.30	176	25	31	6	3	97	13.869945	599.8	14.19234
16	14.30-15.00	523	25	30	5	0	97.5	13.869945	599.8	42.39123
17	15.00-15.30	434	25	30	5	0	97.5	13.869945	599.8	35.17742
18	15.30-16.00	206	25	30	5	0	97.5	13.869945	599.8	16.69712
19	16.00-16.30	194	25	28.5	3.5	1	98.25	13.869945	599.8	15.84543
20	16.30-17.00	102	25	28	3	1	98.5	13.869945	599.8	8.3523
Total										1045.33

Tabel 4.14 Produksi Listrik modul surya monocrystalline pada saat cuaca bagus (tidak terjadi hujan)

No	Waktu (WIB)	Iradiasi (w/m ²)	T ₀ (°C)	T ₁ (°C)	$\Delta T = T_1 - T_0$ (°C)	$(T_1 - T_0) \times 5\%$	TCF (%)	Total eff Out (%)	Pv area (m ²)	EL (kWh)
1	07.00-07.30	430	25	25	0	0	100	13.869945	599.8	35.74688
2	07.30-08.00	490	25	25.5	0.5	0.25	99.75	13.869945	599.8	40.63298
3	08.00-08.30	605	25	26	1	0.5	99.5	13.869945	599.8	50.04355
4	08.30-09.00	709	25	28.4	3.4	1.7	98.3	13.869945	599.8	57.93879
5	09.00-09.30	558	25	29	4	2	98	13.869945	599.8	45.46006
6	09.30-10.00	554	25	29.5	4.5	2.25	97.75	13.869945	599.8	45.01904
7	10.00-10.30	1143	25	31.5	6.5	3.25	96.75	13.869945	599.8	91.93204
8	10.30-11.00	1231	25	31	6	3	97	13.869945	599.8	99.26576
9	11.00-11.30	1117	25	32	7	3.5	96.5	13.869945	599.8	89.6087
10	11.30-12.00	954	25	31	6	3	97	13.869945	599.8	76.92895
11	12.00-12.30	991	25	33.8	8.8	4.4	95.6	13.869945	599.8	78.75919
12	12.30-13.00	1040	25	35	10	5	95	13.869945	599.8	82.13469
13	13.00-13.30	909	25	32	7	3.5	96.5	13.869945	599.8	72.92239
14	13.30-14.00	815	25	33	8	4	96	13.869945	599.8	65.0427
15	14.00-14.30	716	25	33	8	4	96	13.869945	599.8	57.1418
16	14.30-15.00	560	25	32	7	3.5	96.5	13.869945	599.8	44.92468
17	15.00-15.30	372	25	31.5	6.5	3.25	96.75	13.869945	599.8	29.92014
18	15.30-16.00	241	25	30.5	5.5	2.75	97.25	13.869945	599.8	19.48392
19	16.00-16.30	170	25	30	5	2.5	97.5	13.869945	599.8	13.77918
20	16.30-17.00	109	25	29.5	4.5	2.25	97.75	13.869945	599.8	8.857537
Total										1105.543

Tabel 4.15 Produksi Listrik modul surya thin film pada saat cuaca buruk

No	Waktu (WIB)	Iradiasi (w/m ²)	T ₀ (°C)	T ₁ (°C)	$\Delta T = T_1 - T_0$ (°C)	$(T_1 - T_0) \times 5\%$	TCF (%)	Total eff Out (%)	Pv area (m ²)	EL
1	07.00-07.30	462	25	25	0	0	100	13.869945	585.6	37.49784
2	07.30-08.00	342	25	25	0	0	100	13.869945	585.6	27.75814
3	08.00-08.30	735	25	26	1	0.5	99.5	13.869945	585.6	59.35738
4	08.30-09.00	770	25	27	2	1	99	13.869945	585.6	61.87144
5	09.00-09.30	843	25	29	4	2	98	13.869945	585.6	67.05296
6	09.30-10.00	898	25	29	4	2	98	13.869945	585.6	71.42771
7	10.00-10.30	998	25	30	5	2.5	97.5	13.869945	585.6	78.97679
8	10.30-11.00	1012	25	30.5	5.5	2.75	97.25	13.869945	585.6	79.87933
9	11.00-11.30	518	25	31	6	3	97	13.869945	585.6	40.78174
10	11.30-12.00	372	25	31	6	3	97	13.869945	585.6	29.28728
11	12.00-12.30	231	25	31	6	3	97	13.869945	585.6	18.18645
12	12.30-13.00	665	25	32	7	3.5	96.5	13.869945	585.6	52.08507
13	13.00-13.30	787	25	32	7	3.5	96.5	13.869945	585.6	61.64053
14	13.30-14.00	204	25	31	6	3	97	13.869945	585.6	16.06076
15	14.00-14.30	162	25	29	4	3	98	13.869945	585.6	12.88562
16	14.30-15.00	0	0	0	0	0	0	13.869945	585.6	0
17	15.00-15.30	0	0	0	0	0	0	13.869945	585.6	0
18	15.30-16.00	0	0	0	0	0	0	13.869945	585.6	0
19	16.00-16.30	52	25	27	2	1	99	13.869945	585.6	4.178331
20	16.30-17.00	39	25	27	2	1	99	13.869945	585.6	3.133748
Total										722.0611

Tabel 4.16 Produksi Listrik modul surya thin film pada saat cuaca normal

No	Waktu (WIB)	Iradiasi (w/m ²)	T ₀ (°C)	T ₁ (°C)	$\Delta T = T_1 - T_0$ (°C)	$(T_1 - T_0) \times 5\%$	TCF (%)	Total eff Out (%)	Pv area (m ²)	EL
1	07.00-07.30	445	25	25	0	0	100	13.869945	585.6	36.11805
2	07.30-08.00	515	25	25	0	0	100	13.869945	585.6	41.79954
3	08.00-08.30	628	25	26	1	0.5	99.5	13.869945	585.6	50.71624
4	08.30-09.00	746	25	26.5	1.5	1	99.25	13.869945	585.6	60.09435
5	09.00-09.30	820	25	27.5	2.5	2	98.75	13.869945	585.6	65.72268
6	09.30-10.00	885	25	28	3	2	98	13.869945	585.6	70.75283
7	10.00-10.30	924	25	29	4	2.5	97.75	13.869945	585.6	73.49577
8	10.30-11.00	948	25	29.5	4.5	2.75	97.25	13.869945	585.6	75.21239
9	11.00-11.30	1000	25	30.5	5.5	3	97	13.869945	585.6	78.93215
10	11.30-12.00	1011	25	31	6	3	96.5	13.869945	585.6	79.59526
11	12.00-12.30	956	25	32	7	3	96.5	13.869945	585.6	74.87718
12	12.30-13.00	820	25	32	7	3.5	96.5	13.869945	585.6	64.2252
13	13.00-13.30	864	25	33	8	3.5	96	13.869945	585.6	67.3208
14	13.30-14.00	670	25	33	8	3	96	13.869945	585.6	52.20479
15	14.00-14.30	176	25	31	6	3	97	13.869945	585.6	13.85635
16	14.30-15.00	523	25	30	5	0	97.5	13.869945	585.6	41.38763
17	15.00-15.30	434	25	30	5	0	97.5	13.869945	585.6	34.34461
18	15.30-16.00	206	25	30	5	0	97.5	13.869945	585.6	16.30182
19	16.00-16.30	194	25	28.5	3.5	1	98.25	13.869945	585.6	15.47029
20	16.30-17.00	102	25	28	3	1	98.5	13.869945	585.6	8.154563
Total										1020.582

Tabel 4.17 Produksi Listrik modul surya thin film pada saat cuaca bagus (tidak terjadi hujan)

No	Waktu (WIB)	Iradiasi (w/m ²)	T ₀ (°C)	T ₁ (°C)	$\Delta T = T_1 - T_0$ (°C)	$(T_1 - T_0) \times 5\%$	TCF (%)	Total eff Out (%)	Pv area (m ²)	EL
1	07.00-07.30	430	25	25	0	0	100	13.869945	585.6	34.90059
2	07.30-08.00	490	25	25.5	0.5	0.25	99.75	13.869945	585.6	39.67101
3	08.00-08.30	605	25	26	1	0.5	99.5	13.869945	585.6	48.8588
4	08.30-09.00	709	25	28.4	3.4	1.7	98.3	13.869945	585.6	56.56712
5	09.00-09.30	558	25	29	4	2	98	13.869945	585.6	44.38381
6	09.30-10.00	554	25	29.5	4.5	2.25	97.75	13.869945	585.6	43.95323
7	10.00-10.30	1143	25	31.5	6.5	3.25	96.75	13.869945	585.6	89.75559
8	10.30-11.00	1231	25	31	6	3	97	13.869945	585.6	96.91569
9	11.00-11.30	1117	25	32	7	3.5	96.5	13.869945	585.6	87.48725
10	11.30-12.00	954	25	31	6	3	97	13.869945	585.6	75.10769
11	12.00-12.30	991	25	33.8	8.8	4.4	95.6	13.869945	585.6	76.8946
12	12.30-13.00	1040	25	35	10	5	95	13.869945	585.6	80.19019
13	13.00-13.30	909	25	32	7	3.5	96.5	13.869945	585.6	71.19598
14	13.30-14.00	815	25	33	8	4	96	13.869945	585.6	63.50284
15	14.00-14.30	716	25	33	8	4	96	13.869945	585.6	55.789
16	14.30-15.00	560	25	32	7	3.5	96.5	13.869945	585.6	43.86111
17	15.00-15.30	372	25	31.5	6.5	3.25	96.75	13.869945	585.6	29.21179
18	15.30-16.00	241	25	30.5	5.5	2.75	97.25	13.869945	585.6	19.02265
19	16.00-16.30	170	25	30	5	2.5	97.5	13.869945	585.6	13.45296
20	16.30-17.00	109	25	29.5	4.5	2.25	97.75	13.869945	585.6	8.647838
Total										1079.37

Software sunny web design merupakan software yang handal untuk memprediksi hasil energi listrik yang dihasilkan oleh system PLTS perbulan dalam satu tahun kedepan sejak pengaplikasian proyek PLTS. Dengan menginput data – data yang telah didapatkan pada saat penelitian dilapangan, seperti pengukuran lahan, pengukuran iradiasi matahari, temperature lingkungan minimum dan maksimum, Maka software ini akan menampilkan data-data yang dibutuhkan untuk perancangan system PLTS seperti komponen yang digunakan, estimasi produksi energi listrik selama setahun dari system PLTS yang akan dibangun dan estimasi biaya yang akan dikeluarkan dalam pembangunan PLTS.

Data energi listrik PLTS oleh masing-masing modul surya :

a. Modul Policrystalline

Tabel 4.18 produksi listrik polycrystalline

bulan	Produksi listrik(kwh)
1	10091
2	10386
3	12119
4	13103
5	14420
6	13454
7	13954
8	14180
9	13674
10	14419
11	11693
12	11706
Total	153.250

Pada tabel 4.18 , hasil produksi listrik PLTS oleh modul surya polycrystalline adalah 150.250 kwh / tahun . Maka rata-rata energi listrik yang dihasilkan selama 1 hari adalah 411,6 kwh.

b. Modul Monocrystalline

4.19 Tabel produksi listrik monocrystalline

bulan	Produksi listrik(kwh)
1	10557
2	10848
3	12653
4	13678
5	15065
6	14061
7	14585
8	14816
9	14267
10	15034
11	12230
12	12279
Total	160.070

- Pada tabel 4.19 , hasil produksi listrik PLTS oleh modul surya monocrystalline adalah 160.070 kwh / tahun . Maka rata-rata energi listrik yang dihasilkan selama 1 hari adalah 438,5 kwh.

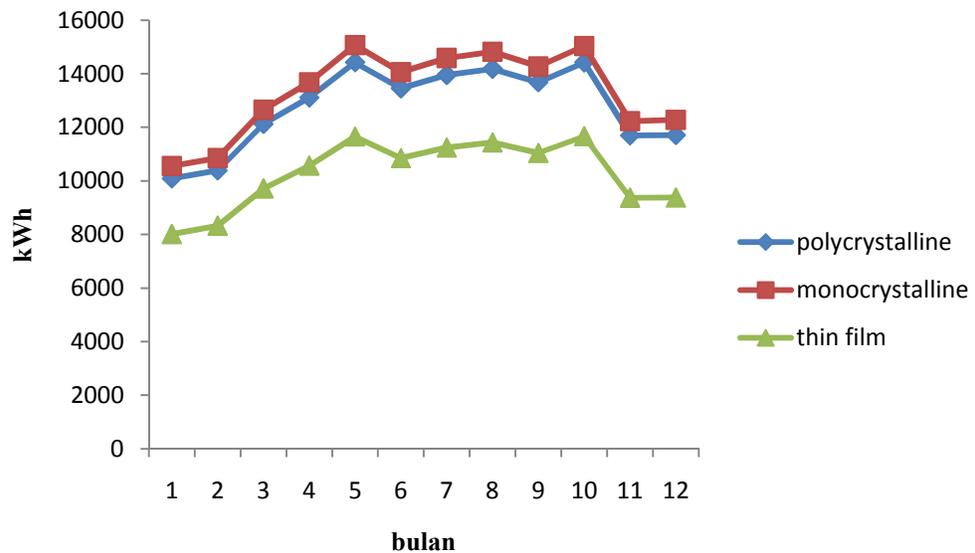
c. Modul Thin Film

4.20 Tabel produksi listrik thin film

bulan	Produksi listrik(kwh)
1	8016
2	8327
3	9717
4	10572
5	11652
6	10846
7	11243
8	11434
9	11041
10	11665
11	9371
12	9377
Total	123.260

Pada tabel 4.20 , hasil produksi listrik PLTS oleh modul surya thin film adalah 123.260 kwh / tahun dan merupakan modul yang memproduksi energi listrik paling rendah. Maka rata-rata energi listrik yang dihasilkan selama 1 hari adalah 411,6 kwh.

Umur sistem PLTS berbeda-beda sesuai dengan jenis modul yang digunakan dalam perancangan. Tapi untuk perancangan ini menggunakan modul yang memiliki umur system yang sama yaitu 25 tahun sesuai dengan garansi modul dari produsen, tahun keluaran yang sama dan produksi energi listrik berbeda yang dihasilkan oleh masing- masing modul .



Gambar 4.8 Grafik produksi listrik PLTS

Dari gambar grafik diatas, dapat diketahui bahwa produksi listrik oleh system PLTS dengan menggunakan modul monocrystalline memiliki nilai yang tertinggi dibandingkan dengan modul lainnya dan bersaing dengan modul polycrystalline . Modul yang terendah memproduksi listrik yaitu thin film , Karena efisiensi dari modul paling rendah dibandingkan dengan modul lainnya.

Penurunan daya juga akan diperhitungkan dalam pembahasan ini karena dengan jangka waktu yang lama maka energi listrik dari system PLTS mengalami penurunan sebesar 0.068%/tahun ,penurunan daya selama umur hidup system diasumsikan ideal selama 25 tahun. Penurunan daya system PLTS ditunjukkan tabel 4.21 :

Tabel 4.21 Penurunan daya PLTS

Tahun ke	Polycrystalline (kWh)	Monocrystalline (kWh)	Thin Film (kWh)
0	153.250	160.070	123.260
1	152207.9	159027.9	122217.9
2	151165.8	157985.8	121175.8
3	150123.7	156943.7	120133.7
4	149081.6	155901.6	119091.6
5	148039.5	154859.5	118049.5
6	146997.4	153817.4	117007.4
7	145955.3	152775.3	115965.3
8	144913.2	159027.9	114923.2
9	143871.1	157985.8	113881.1
10	142829	156943.7	112839
11	141786.9	155901.6	111796.9
12	140744.8	154859.5	110754.8
13	139702.7	153817.4	109712.7
14	138660.6	152775.3	108670.6
15	137618.5	151733.2	107628.5
16	136576.4	150691.1	106586.4
17	135534.3	149649	105544.3
18	134492.2	148606.9	104502.2
19	133450.1	147564.8	103460.1
20	132408	146522.7	102418
21	131365.9	145480.6	101375.9
22	130323.8	144438.5	100333.8
23	129281.7	143396.4	99291.7
24	128239.6	142354.3	98249.6
25	127197.5	141312.2	97207.5
Total	3.645.817,5	3.954.442,1	2.866.077,5

4.6 Perhitungan Biaya Energi PLTS

Tidak hanya perhitungan teknik, perhitungan biaya sangat dibutuhkan dalam melakukan perancangan sistem PLTS. Biaya tersebut meliputi biaya pengadaan, pembelian komponen, jasa instalasi sampai pengoperasian sistem PLTS.

a. Investasi awal

Investasi awal yang dikeluarkan yaitu pembelian komponen seperti modul surya, inverter, balance of system seperti mounting, proteksi, pemasangan dan pengiriman, engineer, dll. Untuk pembelian, penulis menggunakan referensi harga dari beberapa situs terpercaya seperti “www.alibaba.com”, greenenergy, PT. Azet sebagai kontraktor pengerjaan proyek, dll. Berikut data Investasi awal perencanaan PLTS rooftop gedung teknik.

Tabel 4.22 Tabel Investasi PLTS

Jenis Biaya	Polycrystalline	Monocrystalline	Thin Film
1. PV			
• Jumlah	304	368	480
• harga (Rp)	1.191.999.808	1.227.327.840	960.000.000
2. Inverter			
• Jumlah	4	4	3
• Kapasitas(V)	25000	25000	25000
• harga (Rp)	408.800.000	408.800.000	306.000.000
3. Struktur dan jasa	91.200.000	110.400.000	96.000.000
4. Balance Of System (mounting, kabel, dll)	76.000.000	92.000.000	84.000.000
5. Engineering	30.400.000	36.800.000	38.400.000
Total	1.798.160.000	1.875.328.000	1.485.120.000

b. Biaya pemeliharaan dan operasional system

Biaya pemeliharaan dan pengoperasian masing-masing jenis modul berbeda karena biaya investasi berbeda. Penggunaan biaya O&M 1% dari investasi maka menghasilkan biaya yang dikeluarkan pertahun berbeda.

Untuk jenis modul polycrystalline biaya yang dikeluarkan sebesar Rp 17.981.600 , monocrystalline sebesar Rp 18.753.280, dan modul surya thin film Rp 14.851.200. Semua sistem PLTS dengan menggunakan modul tersebut memiliki umur 25 tahun. Sementara untuk mengetahui biaya perawatan selama 25 tahun mendatang maka harus diketahui terlebih dahulu diskonto factor dan suku bunga 11 % . Dengan diketahui nilai DF ,maka biaya operasional dapat dihitung selama masa hidup siklus system PLTS yaitu dengan mengalikan biaya perawatan pertahun dengan DF.

Tabel 4. 23 Perhitungan biaya O&M dari masing-masing modul

tahun	Polycrystalline	Monocrystalline	Thin Film
2017	17981600	18753280	14851200
2018	16183440	16877952	13366080
2019	14565096	15190156.8	12029472
2020	13126568	13689894.4	10841376
2021	11688040	12189632	9653280
2022	10609144	11064435.2	8762208
2023	9530248	9939238.4	7871136
2024	8631168	9001574.4	7128576
2025	7732088	8063910.4	6386016
2026	7012824	7313779.2	5791968
2027	6293560	6563648	5197920
2028	5574296	5813516.8	4603872
2029	5034848	5250918.4	4158336
2030	4495400	4688320	3712800

2031	4135768	4313254.4	3415776
2032	3596320	3750656	2970240
2033	3236688	3375590.4	2673216
2034	2877056	3000524.8	2376192
2035	2697240	2812992	2227680
2036	2337608	2437926.4	1930656
2037	2157792	2250393.6	1782144
2038	1977976	2062860.8	1633632
2039	1798160	1875328	1485120
2040	1618344	1687795.2	1336608
2041	1438528	1500262.4	1188096
2042	1258712	1312729.6	1039584
Total	167.588.512	174.780.569,6	138.413.184

c. Biaya penggantian komponen

Selain biaya komponen , sistem juga memerlukan biaya tambahan yaitu penggantian inverter. Produsen inverter dengan SMA STP 25000TL memberikan garansi resmi 5 tahun sejak tahun pengoperasiannya. Biaya penggantian (Rpw) pada tahun ke 5, tahun ke 10, tahun ke 15 dan tahun ke 20 maka akan dipengaruhi oleh factor diskonto . Berikut tabel biaya penggantian komponen system PLTS :

Tabel 4.24 Biaya penggantian inverter pada sistem

Tahun ke	Policrystalline (Rp)	Monocrystalline (Rp)	Thin Film (Rp)
5	241.192.000	241.192.000	180.540.000
10	143.080.000	143.080.000	107.100. 000
15	81.760.000	81.760.000	61.200.000
20	49.056.000	49.056.000	36.720.000
Total	515.088.000	515.088.000	448.560.000

d. Perhitungan LCOE

Perhitungan LCOE yaitu menganggap bahwa biaya system PLTS harus diperoleh kembali dengan penggunaan seluruh energi yang diproduksi oleh system itu selama jangka waktunya.

Tabel 4.25 perhitungan LCOE :

Modul	LCOE (Rp/Kwh)
Policrystalline	680,46
Monocrystalline	648,68
Thin film SF	722,97

e. Perbandingan Biaya Listrik

Politeknik Negeri Jember sebagai instususi pendidikan negeri mengikuti TDL PLN golongan S3 yang memiliki batas daya diatas 200 kVa . Sehingga dikenakan tariff Rp 1.036,00/kWh (TDL 2017). Apabila ditinjau dari segi pelaksana , simulasi ini menyarankan pembangunan PLTS dapat mengurangi pembelian listrik dari PLN dengan LCOE yang dihasilkan .

Tabel 4.26 Perbandingan energi listrik dari PLN dengan PLTS

Modul	Energi PLTS	TDL Rp 1036	LCOE PLTS (Rp)	Penghematan (Rp)
Poli	153.250	158.767.000	104.280.495	54.486.505
Mono	160.070	165.832.520	103.834.207,6	61.998.312,4
Thin	123.260	127.697.360	89.113.282,2	38.584.077,8

1. Ditinjau dari segi penghematan digedung , dengan membandingkan listrik dari system PLTS dan PLN maka penghematan yang dilakukan masing-masing modul adalah Rp 54.486.505/tahun , Rp 61.998.312,4/tahun dan Rp 38.584.077,8 /tahun. Modul surya monocrystalline memiliki nilai ekonomis paling tinggi diantara modul surya yang lain , sedangkan untuk modul surya thin film memiliki nilai paling rendah.

2. Ditinjau dengan pola menjual energi listrik PLTS ke PLN atau energi listrik yang berasal dari PLTS digunakan untuk mensupply kebutuhan listrik digedung teknik , maka diberlakukan feed in tariff . Untuk wilayah Jatim feed in tariff PLTS yaitu sebesar 5,8 cent USD/Kwh atau Rp 812,00. Berikut tabel penjualan energi listrik PLTS ke PLN. Hasil penelitian pada bulan Agustus dimana konsumsi energi listrik digedung teknik adalah 265,57 kwh perhari, dengan rata-rata energi listrik yang dihasilkan oleh system PLTS dengan jenis modul surya polycrystalline adalah 419,86 kwh, modul monocrystalline 438,54 kwh, dan modul surya thin film 337,69 kwh maka dapat disimpulkan bahwa konsumsi energi listrik harian digedung teknik dapat discover penuh oleh listrik PLTS semua jenis modul.

Tabel 4.27 Penjualan Listrik Ke PLN

Modul	Energi PLTS(kwh)	Penjualan ke PLN (Rp)
Poli	56.315	45.727.780
Mono	63.134	51.264.808
Thin	26.323	21.374.276

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa system PLTS dengan menggunakan modul monocrystalline memiliki nilai yang paling tinggi dibandingkan dengan modul lainnya dengan keuntungan penjualan listrik sebesar Rp 51.264.808,00 , diikuti dengan modul polycrystalline sebesar Rp 45.727.780,00 dan thin film Rp 21.374.276,00

4.7 Analisa Kelayakan Ekonomi

Analisa perhitungan kelayakan ekonomi dari pembangunan PLTS dilakukan untuk mengetahui dampak ekonomi yang akan ditimbulkan apakah proyek tersebut menguntungkan atau merugikan. Untuk mengetahui alur kas bersih setiap tahunnya maka dihitung hasil produksi listrik selama setahun dikurangi dengan pengeluaran pertahun. Setiap alur kas dibuat proyeksi perhitungan pendapatan dan pengeluaran yang terjadi selama umur proyek (25 tahun) dengan penggunaan discount rate 11% .

1. NPV

Setelah mengetahui alur kas bersih setiap tahunnya oleh masing-masing modul surya, alur kas dibuat dengan proyeksi perhitungan pendapatan dan biaya yang terjadi selama 25 tahun (sesuai dengan perkiraan umur komponen PLTS) dan penggunaan discount rate 11%. Maka didapatkan NPV sebagai berikut :

- a. NPV berdasarkan desain menggunakan pv polycrystalline didapatkan nilai sebesar : Rp 831.598.351,7
- b. NPV berdasarkan desain menggunakan pv monocrystalline didapatkan nilai sebesar : Rp 908.766.351,7
- c. NPV berdasarkan desain menggunakan pv monocrystalline didapatkan nilai sebesar : Rp 518.558.351,7

2. PBP

Nilai periode pengembalian (*Payback periode*) yang didapatkan dari perhitungan : $\text{Payback Periode} = \frac{\text{Investasi}}{\text{Pendapatan}} \times \text{Periode waktu}$.

- a. PBP pada PLTS menggunakan modul surya polycrystalline adalah 15 tahun
- b. PBP pada PLTS menggunakan modul surya monocrystalline adalah 14 tahun 4 bulan
- c. PBP pada PLTS menggunakan modul surya thin film adalah 16 tahun 6 bulan.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa data yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kapasitas modul surya yang dapat ditampung adalah 304 buah untuk jenis polycrystalline , 368 buah untuk jenis monocrystalline dan 480 buah untuk jenis thin film.
2. Kajian teknik dari perencanaan PLTS maka modul yang paling baik dan rekomendasi dalam perencanaan PLTS adalah jenis modul monocrystalline. Modul surya polycrystalline menghasilkan energi listrik sebesar 153.250 kwh / tahun, modul surya monocrystalline menghasilkan energi listrik sebesar 160.070 kwh/ tahun dan modul surya thin film menghasilkan energi listrik 123.260 kwh/tahun.
3. Dengan adanya energi listrik PLTS, konsumsi enegi listrik digedung teknik perhari dapat dipenuhi oleh energi listrik yang dihasilkan oleh listrik PLTS
4. NPV dari modul polycrystalline sebesar Rp 831.598.351,7, modul monocrystalline Rp 908.766.351,7 dan thin film Rp 518.558.351,7 dan perencanaan PLTS dinyatakan layak secara ekonomi. PBP modul polycrystalline adalah 15 tahun, 14 tahun 4 bulan monocrystalline dan 16 tahun 6 bulan untuk modul thin film dan layak secara ekonomi.

5.2 Saran

Saran kedepan baik dari pengembangan PLTS maupun penelitian antara lain :

- a. Adanya pembanding system stand alone dan menggunakan untuk media penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS
- b. Pengukuran data beban listrik yang digunakan lebih akurat
- c. Pembelian komponen sebaiknya berasal dari dalam negeri untuk mengurangi biaya investasi

DAFTAR PUSTAKA

- Nafis S. 2015. Analisis Keekonomian Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Sistem Ketenagalistrikan Nias. Ketenaga Listrikan dan Energi Terbarukan.
- Patricia Hanna. 2012. *Analisis Keekonomian Kompleks Perumahan Berbasis Energi Sel Surya*. Tugas Akhir. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.
- Rizky I.R. 2015. Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid Sebagai Substitusi Energi Listrik Intake Pump Unit Instalasi Sistem Penyedia Air Minum Kampus Universitas Gadjah Mada. Skripsi . Universitas Gadjah Mada.
- Rocky. 2015. Rancang Bangun Penyedia Energi Listrik Tenaga Hindrida (PLTS-PLTB-PLN) Untuk Membantu Pasokan Listrik Rumah Tinggal . Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Sapta Buana. 2015. Penyusunan Studi Perencanaan Pembangunan PLTS Rooftop di Bandara Internasional Sultan Hasanuddin Makassar.
- S.G.Ramadhan. 2016. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti. Teknik Mesin. Teknologi Industri. Universitas Trisakti.
- Schonarhauser. 2016. Renewable Academi (RENAC) . Senior Advisor Renewable Energies . PT.PJB UP Cirata.
- Subekti Yulinanda. 2015. Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Kepmen ESDM tahun 2017

KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
DIREKTORAT JENDERAL ENERGI BARU, TERBARUKAN DAN KONSERVASI ENERGI

**PERATURAN MENTERI ESDM NOMOR 12 TAHUN 2017
PEMANFAATAN SUMBER ENERGI TERBARUKAN UNTUK PENYEDIAAN TENAGA LISTRIK
(PLTS FOTOVOLTAIK, PLTB, PLTA, PLTBm, PLTBg, PLTSa, dan PLTP)**



Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi
Coffee Morning di Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, KESDM
Jakarta, 10 Februari 2017

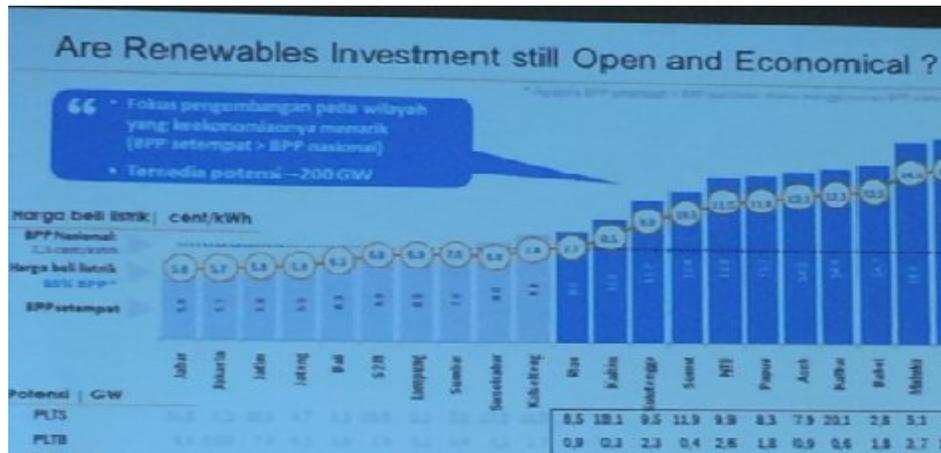
3 HARGA PEMBELIAN

No.	Jenis Energi Terbarukan	Pelaksanaan Pembelian	Tarif	
			BPP sistem setempat > BPP nasional	BPP sistem setempat ≤ BPP nasional
1.	PLTS Fotovoltaik	Pelelangan berdasarkan kuota kapasitas yang ditawarkan	Maximum 85% x BPP sistem setempat	100% x BPP setempat
2.	PLTB	Pelelangan berdasarkan kuota kapasitas yang ditawarkan	Maximum 85% x BPP sistem setempat	100% x BPP setempat
3.	PLTA	Harga Patokan	Maximum 85% x BPP sistem setempat	100% x BPP setempat
		Pemilihan Langsung	Harga ditentukan pada proses pemilihan langsung	
4.	PLTP	a. Tenaga Air ≤ 10 MW: Capacity Factor paling sedikit 65%	Maximum 100% BPP sistem setempat	Kesepakatan para pihak
		b. Tenaga Air > 10 MW: Capacity Factor tergantung kebutuhan sistem		
5.	PLTBm	Harga Patokan (Kapasitas ≤ 10 MW)	Maximum 85% x BPP sistem setempat	100% x BPP setempat
		Pemilihan Langsung (Kapasitas > 10 MW)	Harga ditentukan pada proses pemilihan langsung	
6.	PLTBg	Harga Patokan (Kapasitas ≤ 10 MW)	Maximum 85% x BPP sistem setempat	100% x BPP setempat
		Pemilihan Langsung (Kapasitas > 10 MW)	Harga ditentukan pada proses pemilihan langsung	
7.	PLTSa	Harga Patokan	Maximum 100% BPP sistem setempat	Kesepakatan para pihak

BPP Pembangkitan sistem setempat dan rata-rata BPP Pembangkitan nasional merupakan BPP Pembangkitan nasional pada tahun sebelumnya yang telah ditetapkan oleh Menteri berdasarkan usulan PT PLN (Persero).

Gambar 1. BPP energi terbarukan

Lampiran 2. Tarif



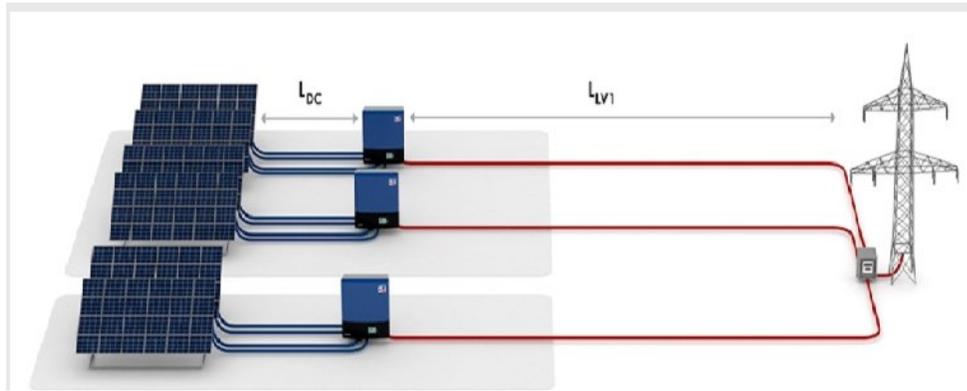
Gambar 2. Feed In Tariff PLTS

BULAN APRIL - JUNI 2017

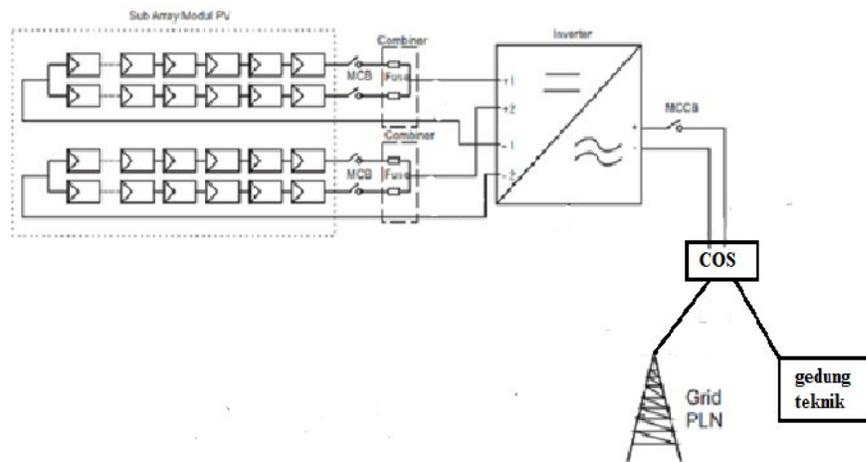
NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	R-1/TR	1.300 VA	*)	1.467,28	1.467,28
2.	R-1/TR	2.200 VA	*)	1.467,28	1.467,28
3.	R-2/TR	3.500 VA s.d. 5.500 VA	*)	1.467,28	1.467,28
4.	R-3/TR	6.600 VA ke atas	*)	1.467,28	1.467,28
5.	B-2/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
6.	B-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
7.	I-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
8.	I-4/TT	30.000 kVA ke atas	***)	Blok WBP dan Blok LWBP = 996,74 kVArh = 996,74 ****)	-
9.	P-1/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
10.	P-2/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-

Gambar 3. TDL 2017

Lampiran 4. Skema PLTS



Gambar 6. Skema PLTS On grid



Gambar 7. Skema PLTS

Lampiran 5. Hasil Sunny Design

Any Company
Any Street 21
54321 Any Town

Tel: +62 123 456 0
Fax: +62 123 456 100
E-Mail: info@any-company.de
Internet: www.any-company.de

Project name: gedungteknik_polycrystalline
Project number: ---

Location: Indonesia / Bangswangi
Grid voltage: 230V (230V / 240V)

System overview

304 x Canadian Solar Inc. CS6X-325P-FG Diamond (02/2016) (polycrystalline)
Azimuth angle: 180 °, Tilt angle: 10 °, Mounting type: Roof, Peak power: 103.04 kWp

3 x STP 25000TL-30 1 x STP 25000TL-30

PV design data

Total number of PV modules:	304	Annual energy yield:	124.04 kWh/a
Peak power:	103.04 kWp	Energy usability factor:	100 %
Number of PV inverters:	4	Performance ratio:	81.4 %
Nominal AC power of the PV inverter:	100.00 kW	Spec. energy yield:	351 kWh/kWp
AC active power:	100.00 kW	Line losses (in % of PV energy):	---
Active power ratio:	97.1 %	Unbalanced load:	0.00 VA

Signature

Important: The yield values displayed are estimates. They are determined mathematically. SMA Solar Technology AG accepts no responsibility for the real yield value which can deviate from the yield values displayed here, reasons for deviations are various external conditions, such as setting of the PV modules or fluctuations in the efficiency of the PV modules.

Gambar 8. Modul polycrystalline

Any Company
Any Street 21
54321 Any Town

Tel: +62 123 456 0
Fax: +62 123 456 100
E-Mail: info@any-company.de
Internet: www.any-company.de

Project name: gedungteknik_monocrystalline
Project number: ---

Location: Indonesia / Bangswangi
Grid voltage: 230V (230V / 240V)

System overview

368 x Canadian Solar Inc. CS6K-280M (05/2016) (monocrystalline)
Azimuth angle: 180 °, Tilt angle: 10 °, Mounting type: Roof, Peak power: 103.04 kWp

2 x STP 25000TL-30 2 x STP 25000TL-30

PV design data

Total number of PV modules:	368	Annual energy yield:	165.07 kWh/a
Peak power:	103.04 kWp	Energy usability factor:	99.9 %
Number of PV inverters:	4	Performance ratio:	82.5 %
Nominal AC power of the PV inverter:	100.00 kW	Spec. energy yield:	155.4 kWh/kWp
AC active power:	100.00 kW	Line losses (in % of PV energy):	---
Active power ratio:	97.1 %	Unbalanced load:	0.00 VA

Signature

Important: The yield values displayed are estimates. They are determined mathematically. SMA Solar Technology AG accepts no responsibility for the real yield value which can deviate from the yield values displayed here, reasons for deviations are various external conditions, such as setting of the PV modules or fluctuations in the efficiency of the PV modules.

Gambar 9. Modul monocrystalline

Any Company
Any Street 21
54321 Any Town

Tel: +62 123 456 0
Fax: +62 123 456 100
E-Mail: info@any-company.de
Internet: www.any-company.de

Project name: gedungteknik_thinfilm
Project number: ---

Location: Indonesia / Bangswangi
Grid voltage: 230V (230V / 240V)

System overview

480 x Solar Frontier SE170-S (06/2013) (thin film)
Azimuth angle: 180 °, Tilt angle: 10 °, Mounting type: Roof, Peak power: 81.00 kWp

3 x STP 25000TL-30

PV design data

Total number of PV modules:	480	Annual energy yield:	124.04 kWh/a
Peak power:	81.00 kWp	Energy usability factor:	100 %
Number of PV inverters:	4	Performance ratio:	82.1 %
Nominal AC power of the PV inverter:	75.00 kW	Spec. energy yield:	151.4 kWh/kWp
AC active power:	75.00 kW	Line losses (in % of PV energy):	---
Active power ratio:	91.4 %	Unbalanced load:	0.00 VA

Signature

Important: The yield values displayed are estimates. They are determined mathematically. SMA Solar Technology AG accepts no responsibility for the real yield value which can deviate from the yield values displayed here, reasons for deviations are various external conditions, such as setting of the PV modules or fluctuations in the efficiency of the PV modules.

Gambar 10. Modul Thin film

Lampiran 6. Dokumentasi Foto

Gambar 11. Atap gedung Teknik



Gambar 12. Meteran



Gambar 13. Solar Power Meter



Gambar 14. Pengukuran nilai tegangan