



TUGAS AKHIR TF141581

**ANALISA POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA SURYA (PLTS) SEBAGAI PEMANFAATAN
LAHAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP
(PLTU) PAITON**

IZEF AULIA KURNIAWAN
NRP. 2412 100 007

Dosen Pembimbing
Harsono Hadi, Ph.D.
Ir. Sarwono, M.M.

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



FINAL PROJECT TF141581

**SOLAR POWER PLANT
POTENTIAL ANALYSIS AS STEAM
POWER PLANT (PAITON) AREA
UTILIZATION**

IZEF AULIA KURNIAWAN
NRP. 2412 100 007

Supervisor
Harsono Hadi, Ph.D.
Ir. Sarwono, M.M.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2016

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA SURYA (PLTS) SEBAGAI PEMANFAATAN
LAHAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP
(PLTU) PAITON**

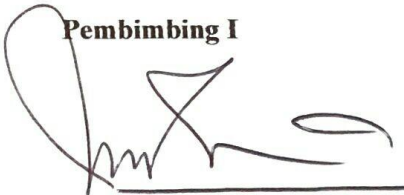
TUGAS AKHIR

Oleh:

**IZEF AULIA KURNIAWAN
NRP. 2412 100 007**

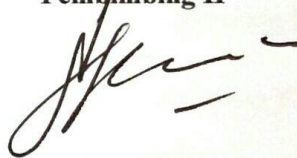
**Surabaya, Juli 2016
Mengetahui/Menyetujui**

Pembimbing I



Harsono Hadi, Ph.D.
NIP. 196001191986011001

Pembimbing II



Ir. Sarwono, M.M.
NIP. 195805301983031002



LEMBAR PENGESAHAN

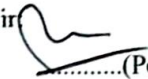

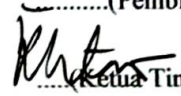


ANALISA POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) SEBAGAI PEMANFAATAN LAHAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) PAITON

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Bidang Studi Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

IZEF AULIA KURNIAWAN
NRP 2412 100 007

- Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir
1. Harsono Hadi, Ph.D. .....(Pembimbing I)
 2. Ir. Sarwono, M.M. .....(Pembimbing II)
 3. Dr. Ridho Hantoro, S.T.,M.T .....(Ketua Tim Penguji)
 4. Ir. Roekmono, M.T. .....(Penguji I)
 5. Arif Abdurahman, S.T., M.T. .....(Penguji II)

SURABAYA,
JULI 2016

ANALISA POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) SEBAGAI PEMANFAATAN LAHAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) PAITON

Nama : Izef Aulia Kurniawan
NRP : 2412 100 007
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Harsono Hadi, Ph.D.
Ir. Sarwono, M.M.

Abstrak

Kebutuhan listrik yang semakin tinggi juga dengan keterbatasan sumber energi fosil membuat gagasan untuk terus berinovasi. Di PLTU Paiton adanya luas lahan yang belum dimanfaatkan memunculkan gagasan untuk adanya pembangunan jangka panjang pembangkit dengan energi tenaga surya. Data dari data satelit menunjukkan luas area yang dapat dimanfaatkan memiliki potensi energi surya rata-rata matahari 453 W/m^2 . Sedangkan yang dapat di tangkap panel akibat radiasi hambur rata-rata sebesar 107 W/m^2 per bulan adalah 346 W/m^2 artinya dalam setahun menghasilkan $4156,8 \text{ W/m}^2$. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi energi surya lokasi di Paiton dengan memperhatikan parameter seperti iklim, lokasi, pergerakan matahari dan jenis bahan. Iklim kecepatan angin mempengaruhi penurunan efisiensi panel sebesar 4,4%-6,4%. Kemudian salah satu parameter dalam pemasangan panel surya mencakup penentuan kemiringan, yaitu sudut antara pemasangan kemiringan pv dengan arah sinar matahari ke-utara kemiringan panel 10^0 dengan azimut 180^0 . Perhitungan potensi energi listrik yang dihasilkan dari keseluruhan parameter yakni polikristal (efisiensi 20,7%) menghasilkan energi listrik $12,7 \text{ kWh/m}^2$, monokristal (efisiensi 27,6%) menghasilkan $17,2 \text{ kWh/m}^2$ sedangkan amorf (efisiensi 20,9%) menghasilkan $12,9 \text{ kWh/m}^2$ semua dalam satu tahun.

Kata Kunci: PLTS, PV, potensi energi surya, radiasi, iklim

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

SOLAR POWER PLANT POTENTIAL ANALYSIS AS STEAM POWER PLANT (PAITON) AREA UTILIZATION

Name : Izeff Aulia Kurniawan
NRP : 2412 100 007
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : Harsono Hadi, Ph.D.
Ir. Sarwono, M.M.

Abstract

The higher electricity demand also with limited fossil energy sources generate ideas to keep innovating. Paiton in their vast unused land up with the idea for their long-term development of energy generation with solar power. Data from the satellite data shows the area that can be utilized has the potential of solar energy on average the sun 453 W/m^2 . While that can be captured as a result of radiation scattering panel average of 107 W/m^2 per month is 346 W/m^2 means that in a year produce 4156.8 W/m^2 . The purpose of this study was to determine the solar energy potential locations in Paiton by observing parameters such as climate, location, movement of the sun and the type of material. Climatic wind speed affect the decline in panel efficiency of 4.4% -6.4%. Then one of the parameters in the installation of solar panels include the determination of the slope, the angle between the slope pv installation with the direction of the sun to the north slope of the panel-azimuth 10o to 180o. The calculation of the potential for electrical energy generated from the overall parameters such as polycrystalline (efficiency 20.7%) generate electrical energy of 12.7 kWh/m^2 , monocrystal (efficiency 27.6%) result in 17.2 kWh/m^2 while the amorphous (efficiency 20.9 %) produces 12.9 kWh/m^2 all in one year.

Keyword: Solar Power Plant ,PV ,potential solar energy ,radiation , climate

“This page is intentionally left blank”

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, puji syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT Sang Azza Wa Jalla atas segala rahmat dan hidayah-Nya, serta limpahan kesehatan dan petunjuk bagi penulis. Shalawat serta salam juga senantiasa penulis curahkan kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir beserta pembuatan laporan yang berjudul:

ANALISA POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) SEBAGAI PEMANFAATAN LAHAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) PAITON

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan bagi seorang mahasiswa dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Dalam kesempatan kali ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini, khususnya kepada :

1. Kedua orang tua (Bapak Agus Irianto dan Ibunda Nur Fauza) yang tiada hentinya memberikan doa dan dukungan baik secara moril maupun materiil sedari penulis kecil hingga menjadi sebesar ini.
2. Bapak Harsono Hadi, Ph.D. dan Bapak Ir. Sarwono, M.M. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan arahan dan pencerahan kepada penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
3. Ibu Ir. Apriani Kusumawardhani M.Sc selaku dosen wali penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Fisika FTI ITS.
4. Bapak Agus Muhamad Hatta S.T., M.Si., Ph.D. selaku ketua Jurusan Teknik Fisika, FTI – ITS.

5. Bapak Dr.Gunawan Nugroho, S.T,M.T. selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian serta Bapak Dr. Ridho Hantoro, S.T,M.T. atas segala saran dan kemudahan dalam mengembangkan kemampuan di laboratorium.
6. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Fisika FTI ITS, khususnya dosen bidang minat Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan atas segala pemberian ilmu yang tulus sehingga penulis dapat menyelesaikan kuliah sampai tugas akhir ini.
7. Mbak Riza dan Mas Eko yang selalu ada setiap saat.
8. Teman - teman asisten Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan atas segala keceriaan dan kebersamaan selama ini.
9. Seluruh keluarga dari penulis yang telah memberikan semangat dan doa.
10. Kawan-kawan F47 para pejuang Wisuda 114 yang saling memberikan motivasi.
11. Teman - teman angkatan 2012, Timeless Fidelity, Solitong, UKM IBC dan The Avengers SC kakak – kakak angkatan 2010, dan 2011 serta adik - adik angkatan 2013, 2014 (khususnya Safira Firdaus) dan 2015 atas segala kebersamaan selama penulis berkuliah.

Penulis sangat menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat dibutuhkan untuk menyempurnakan laporan tugas akhir ini.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	ix
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR NOTASI	xxi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3

BAB II

TEORI PENUNJANG

2.1 Proyeksi Kebutuhan Listrik Indonesia	5
2.2 Potensi Energi Surya di Indonesia	6
2.3 Sistem PLTS	9
2.4 Photovoltaik	13
2.5 Parameter Pemasangan <i>Photovoltaic</i>	15
2.6 Jenis PV.....	21
2.7 Analisa Tapak	26
2.8 Konversi Energi PV	28
2.9 PVSyst.....	29

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	31
3.2 Studi Literatur	33

3.3	Pengambilan Data	33
3.4	Perangkat Lunak PVSyst	36
3.5	Studi Pergerakan Matahari	37
3.6	Analisa Tapak.....	39
3.7	Radiasi.....	39
3.8	Jenis Bahan pada PV.....	39
3.9	Konversi Energi.....	41

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1	Analisis Tapak.....	43
4.2	Analisis Efek Pergerakan Matahari.....	48
4.3	Analisis Radiasi.....	53
4.4	Analisis Jenis Bahan terhadap Keluaran PV	58
4.5	Konversi Energi	59

BAB V

PENUTUP

5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran.....	63

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proyeksi Kebutuhan Listrik Indonesia	5
Gambar 2.2 Intensitas Radiasi Matahari Indonesia	7
Gambar 2.3 Grafik rata-rata radiasi matahari tahunan	8
.....	
Gambar 2.4 Ekstraterrestrial dan referensi fotovoltaiik spektrum surya.....	9
Gambar 2.5 Diagram <i>stand alone system</i>	11
Gambar 2.6 Diagram sistem PLTS <i>grid-connected</i>	12
Gambar 2.7 Rangkaian ekivalensi <i>photovoltaik</i>	14
Gambar 2.8 Sudut Panel pv dalam posisi datar	17
.....	
Gambar 2.9 Grafik Pengaruh intensitas cahaya terhadap tegangan dan voltase pada panel surya.....	18
Gambar 2.10 Ilustrasi bayangan yang terjadi pada suatu panel	19
Gambar 2.11 Orbit bumi mengelilingi matahari	20
Gambar 2.12 Jenis-jenis sel surya	22
Gambar 2.13 Jenis PV polikristal.....	23
Gambar 2.14 Jenis PV monokristal.....	24
Gambar 2.15 PV jenis thin film.....	24
.....	
Gambar 2.16 Permukaan yang terlalu miring tidak normal untuk menerima radiasi	29
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	30
Gambar 3.2 Pengambilan gambar di lokasi Paiton	33
Gambar 3.3 Interface pada Google Earth	34
.....	
Gambar 3.4 Lokasi yang dipilih untuk mengetahui garis lintang dan bujur	35
Gambar 3.5 Contoh data iklim Probolinggo dari satelit.....	36
Gambar 3.6 Interface pada PVSyst	37
Gambar 4.1 Iklim Matahari	43
Gambar 4.2 Grafik Iklim Probolinggo tahun 2015	44
Gambar 4.3 Grafik Suhu tahun 2015.....	45

Gambar 4.4 Estimasi suhu Probolinggo	46
Gambar 4.5 Kecepatan angin dilokasi 2015.....	43
Gambar 4.6 Keseluruhan PLTU Paiton dari Ketinggian.....	48
Gambar 4.7 Lahan yang akan dimanfaatkan	49
Gambar 4.8 Profil lahan yang akan digunakan	50
.....	
Gambar 4.9 Ketinggian matahari dan sudut azimuth pada berbagai tanggal dan waktu selama satu tahun untuk lintang 7°S	51
Gambar 4.10 Frekuensi radiasi pada setahun.....	53
Gambar 4.11 Grafik radiasi rata-rata setiap bulan.....	54
Gambar 4.12 Grafik radiasi yang diterima setelah pengaruh dari <i>diffuse radiation</i>	57
Gambar 4.13 Radiasi rata-rata tiga satelit yang dapat diterima panel	58
Gambar 4.14 Radiasi setelah dipengaruhi efisiensi bahan	59
Gambar 4.15 Daya yang dihasilkan jika didekati persamaan linier	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Presentase shading mengenai permukaan panel surya	18
Tabel 3.1 Perbandingan Efisiensi Sel Surya.....	40
Tabel 3.2 Efisiensi bahan hasil dari beberapa penelitian sebelumnya	40
Tabel 3.3 Perbandingan Polikristal dan Monokristal	40
Tabel 3.4 Contoh Spesifikasi Photovoltaik 200 W 41	
Tabel 4.1 Curah hujan dan suhu keseluruhan Probolinggo	47
Tabel 4.2 Deklinasi matahari Probolinggo	50
Tabel 4.3 Hubungan kemiringan terhadap radiasi yang ditangkap.	52
Tabel 4.4 Hubungan antara sudut kemiringan panel dan arah datangnya sinar matahari.....	52
Tabel 4.5 Radiasi rata-rata setiap bulan dari tiga satelit.....	55
Tabel 4.6 Radiasi hambur tiap bulan dalam satu tahun.....	56
Tabel 4.7 Jenis PV dan efisiensinya.....	58
Tabel 4.8 Daya yang dihasilkan pada tiap 12 jam/hari	59
Tabel 4.9 Energi yang dihasilkan dengan luas lahan tertentu	61

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR NOTASI

I_{ph}	= <i>Photocurrent</i>
I_s	= arus dioda balik saturasi
q	= <i>electron charge</i>
V	= voltase yang melewati dioda
K	= Konstanta Botzmann's ($1,38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$)
T	= Temperatur <i>Junction</i>
N	= ideal faktor dioda
R_s, R	= seri masing-masing resistor
P_{MPP}	= $V_{MP} \times I_{MP}$
P_{MPP}	= Daya keluaran maksimum PV modul (W)
V_{MP}	= Tegangan keluaran maksimum PV modul (V)
I_{MP}	= Arus keluaran maksimum PV modul (A)
$P_{\text{saat } t \text{ naik (oC)}}$	= Daya pada saat temperatur naik $^{\circ}\text{C}$ dari temperatur standarnya
P_{mpp}	= Daya keluaran maksimum PV modul
t	= waktu (s)
P	= Pitch Length
W	= Lebar panel
β	= sudut kemiringan panel
α	= Sudut elevasi matahari
η_{pv}	= efisiensi panel surya
K_i	= $0.0017 \text{ A}^{\circ}\text{C}$ (koefisien arus pendek temperatur pada circuit)
β_r	= radiasi matahari (W/m^2)
G	= tingkat generasi
L_N	= panjang difusi elektron
L_P	= panjang difusi hole
δ	= Deklinasi
FF	= <i>fill factor</i>
γ	= Sudut Permukaan <i>Azimuth</i>
n	= hari dalam bulan

ω = Sudut jam matahari
 T_s = waktu jam
 α_s = sudut ketinggian matahari

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era globalisasi saat ini, kebutuhan akan sumber energi listrik menjadi faktor utama dalam kehidupan. Berbagai rutinitas kegiatan yang dilakukan manusia sehari-hari tidak jauh dengan barang elektronik sehingga membuat listrik menjadi kebutuhan pokok. Dengan semakin banyaknya permintaan akan listrik membuat kontinuitas akan pasokan listrik semakin tinggi, sehingga membuat kinerja pembangkit semakin berat serta minyak bumi sebagai bahan bakar pembangkit semakin menipis. Konsumsi energi listrik Indonesia setiap tahunnya terus meningkat sejalan dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional. Peningkatan kebutuhan listrik diperkirakan dapat tumbuh rata-rata 6,5% per tahun hingga tahun 2020 (Muchlis,2003). Apabila pemerintah kurang berhasil memenuhinya keadaan menjadi masalah besar. Kondisi saat ini energi listrik yang mampu dipasok oleh PLN baru 1500-2000 MW (esdm.go.id). Melihat kondisi yang sekarang, saatnya mulai dikembangkan energi alternatif lain yang ramah lingkungan yang dapat meminimalisir penggunaan energi fosil. Berdasarkan Perpres 5/2006, ditargetkan pada tahun 2025, Indonesia akan mengoptimalkan sumber energi baru dan terbarukan sebesar 17% atau lebih.

Indonesia sebenarnya sangat berpotensi untuk menjadikan sel surya sebagai salah satu sumber energi masa depan mengingat posisi Indonesia pada garis khatulistiwa yang memungkinkan sinar matahari dapat optimal diterima di hampir seluruh Indonesia sepanjang tahun. Dalam kondisi puncak atau posisi matahari tegak lurus, sinar matahari yang jatuh di permukaan panel surya di Indonesia seluas satu meter persegi akan mampu mencapai 900 hingga 1000 Watt (Jatmiko,2011). Bahkan, total intensitas penyinaran perharinya diIndonesia mampu mencapai 4500 watt hour per meter persegi yang

membuat Indonesia tergolong kaya sumber energi matahari. (Bachtiar, 2006). Dengan letaknya di daerah katulistiwa, matahari di Indonesia mampu bersinar hingga 2.000 jam pertahunnya. Di sisi lain, topografi dan geografi wilayah Indonesia tidak memungkinkan kebutuhan listrik dipenuhi melalui jaringan (*grid*) konvensional.

Ada dua tipe konfigurasi dari photovoltaik (PV) sistem yang terhubung ke tegangan jala-jala, yaitu satu tahap atau dua tahap. Pada sistem dua tahap, yang pertama yaitu menggunakan *boost converter* untuk dapat memaksimalkan tegangan dari PV array dan mencari daya maksimalnya. Yang kedua yaitu membuat daya yang dihasilkan PV menjadi tegangan bolak-balik dan dapat dihubungkan dengan tegangan jala-jala secara bersamaan sebagai pemenuhan kebutuhan energi yang ramah lingkungan.

1.2 Perumusan masalah

Dari paparan latar belakang di atas, maka permasalahan yang muncul antara lain:

- a. Bagaimana potensi energi matahari di PLTU-Paiton ?
- b. Bagaimana pengaruh iklim, parameter pergerakan matahari terhadap keluaran radiasi ?
- c. Bagaimana efisiensi pengaruh bahan pv terhadap daya keluaran?

1.3 Batasan masalah

Adapun batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini antara lain:

- a. Parameter operasi di lapangan menggunakan data PT. PJB UP-Paiton.
- b. Data radiasi yang digunakan menggunakan data sekunder oleh tiga satelit (Nasa, pvgis, Soda) sedangkan untuk data iklim menggunakan satelit yang berbeda (bmg, wunderground).
- c. Data radiasi harian dan iklim yang diambil adalah data tahun 2015.

- d. Kapasitas sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) disesuaikan luas lahan yang dimiliki oleh PLTU Paiton.
- e. Database lain menggunakan metode perangkat lunak *pvsyst* serta pengambilan gambar lokasi menggunakan *google earth*.
- f. Dalam penelitian ini tidak membahas teknik pemasangan pv.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian kali ini antara lain:

- a. Mengetahui potensi energi matahari di PLTU-Paiton
- b. Menganalisa pengaruh iklim,parameter pergerakan matahari terhadap keluaran radiasi
- c. Menganalisa efisiensi pengaruh bahan pv terhadap daya keluaran

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian dalam tugas akhir ini adalah untuk mengetahui berapa daya yang dihasilkan oleh PV dengan luas lahan yang ada yakni pada PLTU-Paiton.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

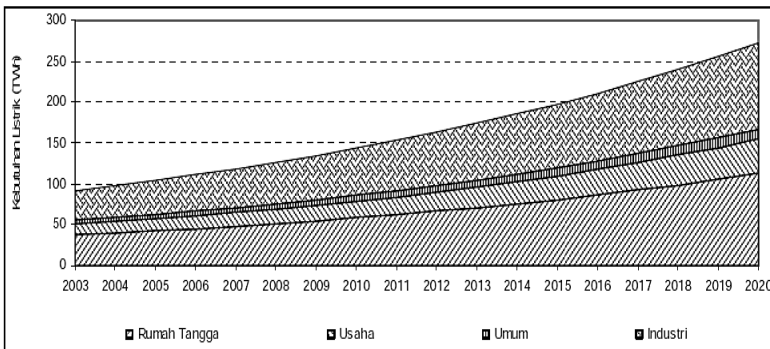
BAB II

TEORI PENUNJANG

2.1 Proyeksi Kebutuhan Listrik Indonesia

Kebutuhan listrik di Indonesia diperhitungkan per sektor pada 22 wilayah pemasaran listrik PLN, yaitu sektor industri, rumah tangga, usaha, umum, dan lainnya. Pulau Sumatera dibagi menjadi delapan wilayah pemasaran listrik PLN yang meliputi Nangroe Aceh Darussalam, Sumatera Utara, Riau, Sumatera Barat, Pengembangan Sistem Kelistrikan dalam Menunjang Pembangunan Nasional Jangka Panjang Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN Tahun 2003 s.d. 2020 Sumatera Selatan+Jambi+Bengkulu, Bangka Belitung, Lampung, Batam. Wilayah pemasaran listrik PLN di Pulau Jawa, Madura, dan Bali dibedakan menjadi lima wilayah, yaitu distribusi Bali, distribusi Jawa Timur, distribusi Jawa Tengah- Jogya, distribusi Jawa Barat-Banten, dan distribusi Jawa Barat-Tangerang. Pulau Kalimantan dibagi menjadi tiga wilayah pemasaran listrik PLN, yaitu Kalimantan Barat, Kalimantan Timur, dan Kalimantan Selatan-Tengah. Adapun wilayah Pulau lain yang terbagi ke dalam 6 wilayah, yaitu Pulau Sulawesi dua wilayah, yaitu Sulawesi Selatan-Tenggara dan Sulawesi Utara-Tengah Gorontalo, Pulau Maluku satu wilayah, Pulau Papua satu wilayah, Nusa Tenggara dua wilayah, yaitu Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur. Besarnya kebutuhan listrik di Indonesia yang ditunjukkan pada Gambar 2.1, merupakan akumulasi dari kebutuhan listrik pada masing-masing sektor pengguna energi di 22 wilayah pemasaran listrik PLN. Berdasarkan hasil proyeksi kebutuhan listrik dari tahun 2003 s.d. 2020 yang dilakukan Dinas Perencanaan Sistem PT PLN (Persero) dan Tim Energi BPPT, terlihat bahwa selama kurun waktu tersebut rata-rata kebutuhan listrik di Indonesia tumbuh sebesar 6,5% per tahun dengan pertumbuhan listrik di sektor komersial yang tertinggi, yaitu sekitar 7,3% per tahun dan disusul sektor rumah tangga dengan pertumbuhan kebutuhan listrik sebesar 6,9% per tahun (Outlook Energi Listrik Indonesia) . Hal tersebut sangat beralasan,

mengingat untuk meningkatkan perekonomian di Indonesia, pemerintah meningkatkan pertumbuhan sektor pariwisata yang selanjutnya akan mempengaruhi pertumbuhan sektor komersial. Untuk sektor rumah tangga laju pertumbuhan kebutuhan listrik yang tinggi dipicu oleh ratio elektrifikasi dari berbagai daerah yang masih relatif rendah, karena sampai tahun 2003 masih ada beberapa wilayah di Indonesia yang belum terlistriki terutama di daerah yang tidak dilewati listrik PLN. Berdasarkan Gambar 2.1 terlihat bahwa kebutuhan listrik nasional didominasi oleh sektor industri, disusul sektor rumah tangga, usaha, dan umum. Pola kebutuhan listrik per sektor tersebut akan berbeda apabila ditinjau menurut wilayah pemasaran listrik PLN, dimana semakin ke Kawasan Indonesia Timur, semakin besar kebutuhan listrik sektor rumah tangga dibanding sektor industri. Hal ini disebabkan karena masih rendahnya rasio elektrifikasi dan terbatasnya jumlah industri (Muchlis,2003).

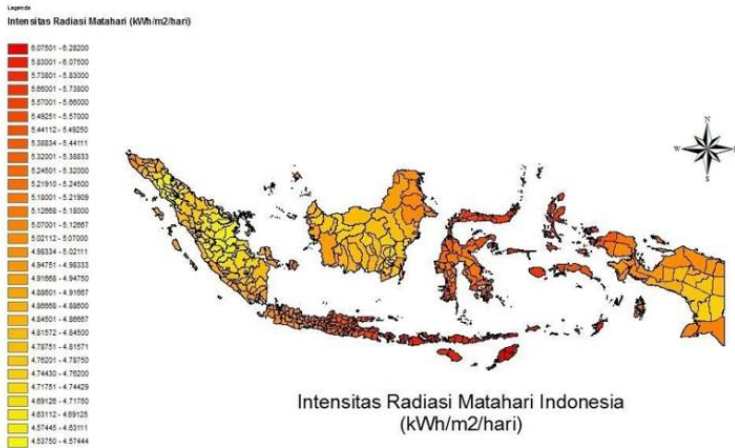


Gambar 2.1 Proyeksi Kebutuhan Listrik per Sektor di Indonesia Tahun 2003 s.d. 2020

2.2 Potensi Energi Surya di Indonesia

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang cukup melimpah. Diantaranya adalah energi matahari yang dapat dikonversikan menjadi energi surya. Telah dinyatakan oleh

kementerian ESDM melalui pemetaan persebaran intensitas matahari Indonesia seperti gambar 2.2



Gambar 2.2 Intensitas Radiasi Matahari Indonesia (esdm.go.id)

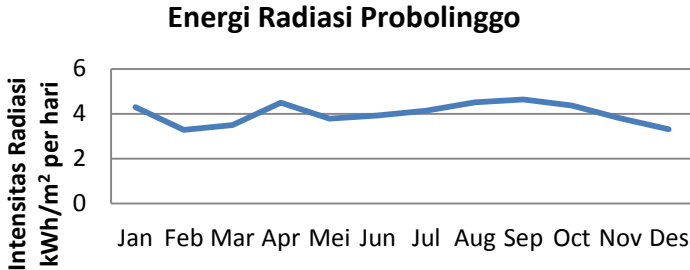
Indonesia memiliki keuntungan secara geografis karena terletak di daerah tropis dan dilewati oleh garis khatulistiwa dimana intensitas radiasinya lebih tinggi dibandingkan daerah lain yaitu sebesar 4,66 – 5,54 kWh/m² per hari hal ini termasuk yang paling baik untuk dimanfaatkan sebagai PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) baik skala kecil, menengah maupun menengah keatas.

Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia menunjukkan bahwa radiasi matahari Indonesia dapat diklarifikasi untuk dua kawasan, yakni :

- Kawasan Barat Indonesia (KBI) = 4,5 kWh/m²/hari, dengan variasi bulanan sekitar 10%
- Kawasan Timur Indonesia (KTI) = 5,1 kWh/m²/hari, dengan variasi bulanan sekitar 9%

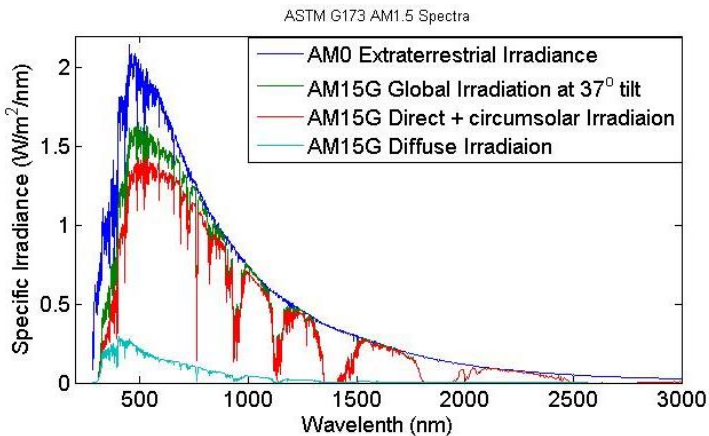
Data tersebut menunjukkan bahwa ketersediaan radiasi matahari di KTI lebih tinggi dan lebih merata sepanjang tahun dibandingkan dengan KBI.

Probolinggo yang merupakan bagian dari kawasan timur Indonesia, memiliki potensi radiasi matahari yang baik dan stabil. Apalagi letaknya yang dekat dengan pesisir pantai laut Jawa. Data rata-rata intensitas radiasi matahari Probolinggo mencapai 3.88 atau 4 kWh/m²/hari (pvgis.com) pada tahun 2015. Namun



Gambar 2.3 Grafik Rata-rata Radiasi Matahari Tahunan

Radiasi matahari terdiri dari beberapa frekuensi, selain terlihat Gambar 2.4 The extraterrestrial spektrum matahari disebut Air Mass Nol (AM0) spektrum dan didefinisikan oleh ASTM E490 *standard*. Spektrum AM0 ditampilkan pada Gambar 2.12. Spektrum sinar matahari mencapai permukaan bumi dipengaruhi oleh atmosfer kondisi dan bervariasi berdasarkan lokasi dan waktu hari. *Photovoltaik* (PV) industri menerima spektrum standar untuk pengujian dan rating PV devices. standar ini (AM1.5) *global irradiation* spektrum didefinisikan dalam ASTM G173-03 *standard*. untuk kondisi atmosfer tertentu pada permukaan yang menghadap ke selatan miring di 37° (yaitu, lintang rata-rata untuk berdekatan Amerika Serikat). Kondisi yang dipilih dianggap rata-rata untuk berdekatan USA selama periode satu tahun (Zobaa Ahmed, dkk).



Gambar 2.4 Extraterrestrial dan referensi fotovoltaik spektrum surya

Pengukuran radiasi matahari distabilkan dan diambil nilai rata-rata dengan nilai 1350 W/m² dengan nilai toleransi $\pm 3.4\%$ yang disebabkan variasi perubahan jarak bumi – matahari pertahunnya. Data ini diperoleh dari pengukuran satelit di luar atmosfer bumi. Energi matahari yang ditransmisikan mempunyai panjang gelombang dengan range 0.25 mikrometer sampai 3 mikrometer (untuk diluar atmosfer bumi / extraterrestrial), sedangkan untuk di atmosfer bumi berkisar antara 0.32 mikrometer sampai 2.53 mikrometer. Hanya 7% energi tersebut berisi ultraviolet, 47% adalah cahaya tampak (cahaya tampak memiliki panjang gelombang 0.4 mikrometer), 46% merupakan cahaya infra merah. (Jumadi,2011).

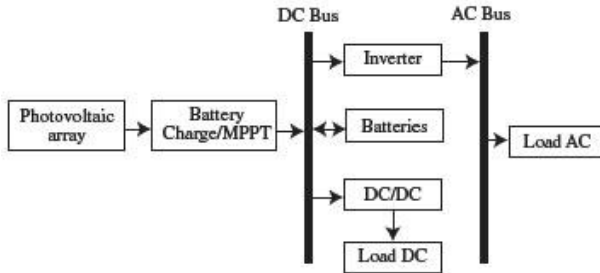
2.3 Sistem PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu teknologi pembangkit yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada PV modul yang terdiri dari sel surya. Sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis dari silicon (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya. Apabila bahan tersebut mendapat energi foton ,akan mengeksitasi

elektron yang bergerak bebas dan akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah. Dengan hubungan seri-paralel, sel surya/sel fotovoltaik dapat digabungkan menjadi pv modul dengan jumlah sekitar 40 sel surya,selanjutnya rangkaian pv modul akan membentuk suatu pv *array*. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (*direct current*) yang dapat diubahnya menjadi listrik AC (*Alternating current*) apabila diperlukan. Berdasarkan lokasi pemasangan sistem PLTS dibagi menjadi dua jenis yaitu, sistem PLTS pola tersebar (*distributed PV plant*) dan sistem PLTS pola terpusat (*centralized PV plant*). Berdasarkan aplikasi dan konfigurasinya, secara garis besar PLTS diklasifikasika menjadi dua yaitu, sistem PLTS yang tidak terhubung jaringan (*off-grid PV plant*), atau yang lebih dikenal dengan sebutan PLTS berdiri sendiri (*stand alone*) dan sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan (*on-grid PV plant*) atau lebih dikenal dengan sebutan PLTS *grid-connected*. Apabila PLTS dalam penggunaanya digabung dengan jenis pembangkit listrik lain disebut sistem *hybrid*.

2.3.1 Off Grid System

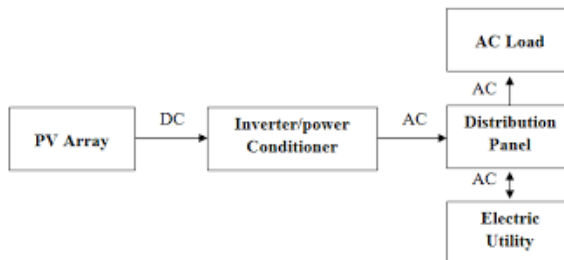
PLTS *off-grid* merupakan sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan. Sistem ini berdiri sendiri, sering disebut dengan *stand-alone system*. Sistem ini biasanya merupakan sistem dengan pola pemasangan tersebar (*distributed*) dan dengan kapasitas pembangkitan skala kecil. Untuk sitem ini biasanya dilengkapi dengan *srorage* tenaga listrik dengan media penyimpanan baterai. Diharapkan baterai mampu menjamin ketersediaan pasokan listrik untuk beban listrik saat kondisi cuaca mendung dan kondisi malam hari. Berdasarkan aplikasinya sistem ini dibagi menjadi dua yaitu PLTS *off-grid domestic* dan PLTS *off-grid non domestic* (Setiawan,2014).



Gambar 2.5 Diagram *stand alone system* (scielo.cl)

2.3.2 On-Grid System

PLTS *on-grid* atau *grid-connected pv plant* merupakan sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan. Berdasarkan pola operasi sistem tenaga listrik ini dibagi menjadi dua yaitu sistem dengan penyimpanan (*storage*) atau disebut *grid-connected pv with a battery back up*, menggunakan baterai sebagai cadangan dan penyimpanan tenaga listrik dan tanpa baterai atau disebut *grid-connected pv without a battery back up*. Baterai pada PLTS on-grid berfungsi sebagai suplai tenaga listrik untuk beban listrik apabila jaringan mengalami kegagalan untuk periode tertentu dan sebagai suplai tenaga listrik ke jaringan listrik negara (PLN) apabila ada kelebihan daya listrik (*exces power*) yang dibangkitkan PLTS. Berdasarkan aplikasinya sistem ini dibagi menjadi dua yaitu, *grid-connected distributed pv* dan *grid-connected centralized pv* (Setiawan,2014).



Gambar 2.6 Diagram sistem PLTS grid-connected (Gatot,2012)

Prinsip kerja PLTS sistem *on-grid* dapat diuraikan berikut ini :

1. Pada siang hari, modul surya yang terpasang akan mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik arus searah (DC). Selanjutnya sebuah komponen yang disebut *grid inverter* merubah listrik arus DC tersebut dari PV menjadi arus bolak-balik (AC) yang kemudian dapat digunakan untuk mensuplai berbagai peralatan rumah tangga. Jadi pada siang hari,kebutuhan energi listrik berbagai peralatan disuplai langsung oleh modul surya. Jika kondisi ini terdapat kelebihan energi dari PV maka kelebihan energi ini dapat dijual ke PLN sesuai kebijakan.
2. Pada malam hari atau jika kondisi cuaca mendukung maka peralatan akan tetap disuplai PLN. Hal ini dimungkinkan karena sistem ini tetap terkoneksi dengan jaringan PLN.

Selain itu sistem PLTS *on-grid* ini dapat menggukan baterai sebagai cadangan atau backup energi. Sistem ini disebut sebagai *grid-connected pv system with batteray backup*. Sistem ini berfungsi sebagai backup energi listrik untuk menjaga kontinuitas operasional peralatan-peralatan elektronik. Jika suatu saat terjadi kegagalan pada suplai listrik PLN (pemadaman listrik) maka peralatan elektronik dapat beroperasi secara normal dalam jangka waktu tertentu tanpa adanya gangguan.

2.3.2.1 Grid-Connected Distributed PV

Grid-connected distributed pv merupakan sistem PLTS on-grid yang menyediakan daya listrik untuk pelanggan yang terhubung dengan jaringan listrik yang spesifik. Contohnya penggunaan PLTS pada kawasan rumah yang terhubung jaringan tegangan rendah (JTR) 230/400 V AC. Dalam hal ini setiap rumah masing memiliki PLTS sebagai salah satu sumber tenaga listrik, selain terhubung dan memperoleh pasokan tenaga listrik dari jaringan listrik negara (PLN). Setiap rumah atau bangunan memiliki sejumlah beban listrik yang dihasilkan oleh PLTS

sangat dekat dengan area beban listrik. Jadi energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS memiliki nilai lebih tinggi daripada listrik yang dihasilkan oleh PLN.

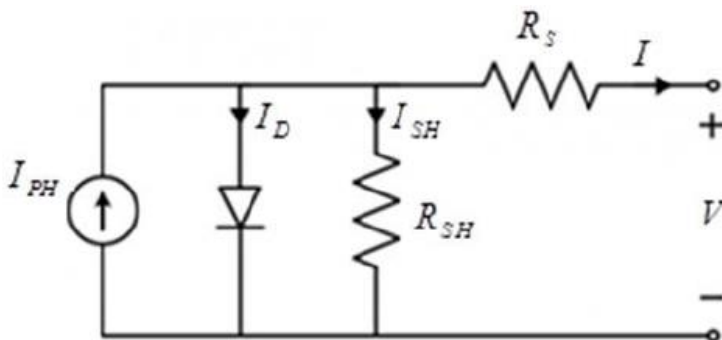
2.3.2.2 Grid-Connected Centralized PV

Grid-connected pv merupakan sistem PLTS *on-grid* yang menyediakan pembangkitan tenaga listrik yang terpusat sebagai suplai pasokan tenaga listrik yang besar ke jaringan listrik PLN. Sistem ini lebih cocok untuk membangkitkan daya listrik yang besar ke jaringan listrik sistem tegangan menengah, maupun tegangan tinggi,terlebih jauh dengan beban listrik. Dikarenakan letaknya yang terpusat , maka rugi-rugi daya pada sisi pembangkitan lebih kecil daripada pola tersebar ,walaupun dalam penyaluran pada jaringan PLN menuju beban tetap terjadi rugi-rugi penyaluran. Selain itu untuk kontrol dan monitoring lebih baik karena dalam satu area.

2.4 Photovoltaik

Photovoltaik merupakan sumber baru terbarukan yang dapat menghasilkan energi listrik tanpa menghasilkan polusi ataupun merusak lingkungan, karena *photovoltaik* langsung mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Cara kerja *photovoltaik* mirip dengan piranti semikonduktor dioda p-n *junction* yang memiliki 2 buah bahan semikonduktor, tipe-p dan tipe-n. Dengan menggunakan *photo-electric effect* dari bahan semikonduktor yang pada umumnya terbuat dari silikon (Si) dan Germanium (Ge), *photovoltaik* dapat langsung mengkonversi sinar matahari menjadi listrik searah (dc). Bila *photovoltaik* itu dikenakan pada sinar matahari, maka timbul yang dinamakan elektron dan *hole*. Elektron-elektron dan *hole-hole* yang timbul di sekitar pn *junction* bergerak berturut-turut ke arah lapisan n dan ke arah lapisan p. Sehingga pada saat elektron-elektron dan hole-hole itu melintasi pn *junction*, timbul beda potensial pada kedua ujung *photovoltaik*. Jika pada kedua ujung *photovoltaic* diberi beban maka timbul arus listrik yang mengalir melalui beban.

Photovoltaic dapat dimodelkan menjadi rangkaian ekivalen seperti Gambar 2.6. Jika *photovoltaik* ideal, maka cukup dimodelkan dengan sumber arus yang parallel dengan dioda. Tetapi, pada kenyataannya tidak ada *photovoltaik* yang ideal di dunia nyata, maka ditambahkan resistansi seri (R_s) dan resistansi parallel (R_p) sebagai representasi *loss* pada *photovoltaic*. R_s merepresentasikan resistansi dari material semikonduktor dan R_p merepresentasikan rugi-rugi yang disebabkan oleh arus bocor yang menembus melalui lintasan resistif paralel ke peralatan. R_s memiliki nilai resistansi yang sangat kecil, sedangkan R_p memiliki nilai resistansi yang sangat tinggi. Karena nilai R_p yang sangat tinggi, maka dapat diabaikan.



Gambar 2.7 Rangkaian Ekivalen *Photovoltaik* (Tarak,2012)

Dengan rangkaian pada Gambar 2.5 maka persamaannya :

$$I = I_{ph} - I_s \left\{ \exp \frac{q(V+R_s I)}{NKT} - 1 \right\} - \frac{(V+R_s I)}{R_{sh}} \quad (2.1)$$

Keterangan :

- I_{ph} : Photocurrent
- I_s : arus dioda balik saturasi
- q : electron charge

- V : voltase yang melewati dioda
 K : Konstanta Boltzmann's ($1,38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$)
 T : Temperatur *Junction*
 N : ideal faktor dioda
 R_s, R : seri masing-masing resistor

Daya yang dikeluarkan *photovoltaik* sangat terpengaruh oleh temperatur. Kenaikan temperatur pada *photovoltaik* dapat menyebabkan penurunan *rating photovoltaik*, atau yang biasa disebut *derating*. *Derating* mengurangi daya output yang seharusnya dikeluarkan *photovoltaik*.

2.5 Parameter Pemasangan *Photovoltaik*

Faktor pengoperasian maksimum solar cell sangat tergantung pada :

- a. Temperatur Ambient.
- b. Radiasi solar matahari.
- c. Kecepatan angin bertiup.
- d. Keadaan atmosfer bumi.
- e. Orientasi panel atau array PV (*photovoltaik*).
- f. Posisi letak sel surya (array) terhadap matahari (*titl angle*) (Sunaryo,2014).

2.5.1 Temperature PV Modul

Sebuah sel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur sel tetap normal (pada 25°C), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperature normal pada panel surya akan melemahkan voltage. Setiap kenaikan temperatur sel surya 1 derajat celsius (dari 25 derajat) akan berkurang sekitar 0.5% pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah dua kali lipat untuk menaikkan temperatur sel per 10°C . (Wulandari,2010).

Kecepatan tiup angin disekitar lokasi PV dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca PV array.

Keadaan atmosfer bumi, berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air, kabut dan polusi menentukan hasil arus listrik dari deretan PV. Untuk menghitung besarnya daya yang berkurang pada saat temperatur di sekitar PV modul mengalami kenaikan $^{\circ}\text{C}$ dari temperatur standarnya, dipergunakan rumus sebagai berikut (Gatot, 2014) :

$$P_{\text{saat } t \text{ naik}} = \frac{5\%}{0_C \times P_{\text{mpp}} \times \text{kenaikan temperatur}} \quad (2.2)$$

Dimana :

$P_{\text{saat } t \text{ naik } (^{\circ}\text{C})}$: Daya pada saat temperatur naik $^{\circ}\text{C}$ dari temperatur standarnya

P_{mpp} : Daya keluaran maksimum PV modul

Daya keluaran PV modul pada saat temperaturnya naik menjadi $t^{\circ}\text{C}$ dari temperatur standarnya diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut :

$$P_{\text{MPP saat naik menjadi } ^{\circ}\text{C}} = P_{\text{MPP}} - P_{\text{saat } t \text{ naik } ^{\circ}\text{C}} \quad (2.3)$$

Dengan : $P_{\text{MPP saat naik menjadi } ^{\circ}\text{C}}$ adalah daya keluaran modul pv pada saat temperatur di sekitar PV modul naik menjadi $t^{\circ}\text{C}$ dari temperatur standarnya.

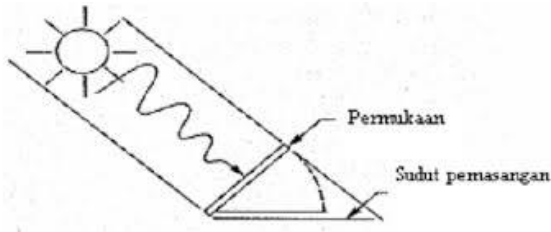
Faktor koreksi temperatur (*Temperature correction factor*) diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut :

$$TCF = \frac{P_{\text{mpp saat naik temperatur}}}{P_{\text{mpp}}} \quad (2.4)$$

2.5.2 Orientasi Panel atau Array

Orientasi dari rangkaian PV (array) ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel/deretan PV dapat menghasilkan energi maksimum. Selain arah orientasi, sudut orientasi (tilt angle) dari panel/deretan PV juga sangat

mempengaruhi hasil energi maksimum. Sebagai *guidline* : untuk lokasi yang terletak di belahan utara *latitude* (seperti Indonesia) maka panel atau deretan PV sebaiknya diorientasikan ke utara, orientasi ke timur-barat juga dapat menghasilkan sejumlah energi dari panel-panel PV tetapi tidak akan mendapatkan energi matahari optimum. (Sunaryo,2014)

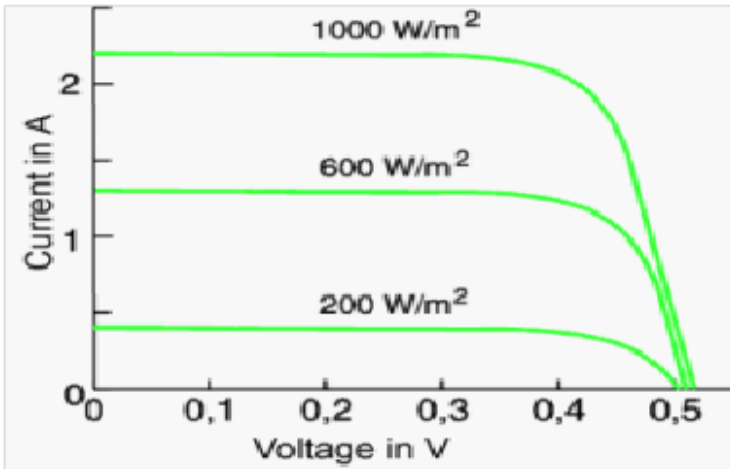


Gambar 2.8 Sudut panel PV dalam posisi datar.
(Sunaryo,2014)

Gambar 2.8 tilt angle (sudut orientasi matahari) mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel surya secara tegak lurus akan mendapatkan energi maksimum $\pm 1000\text{W/m}^2$ atau 1 kW/m^2 .

2.5.2 Efek Perubahan Intensitas Cahaya Matahari

Apabila jumlah energi cahaya matahari yang diterima sel surya berkurang atau intensitas cahayanya melemah maka besr tegangan dan arus listrik yang dihasilkan juga akan menurun. Penurunan tegangan relatif lebih kecil dibandingkan penurunan arus listriknya.



Gambar 2.9 Grafik pengaruh intensitas cahaya terhadap tegangan dan voltase pada panel surya (Sunaryo, 2014)

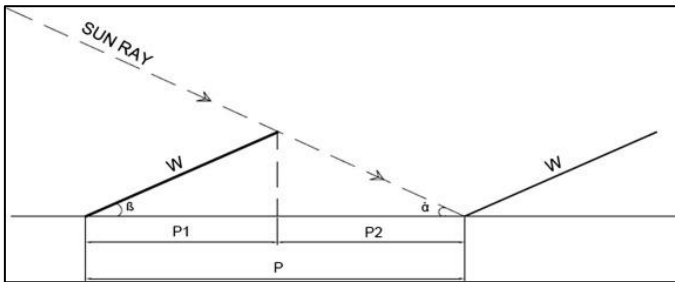
2.5.3 Bayangan (*Shading*)

Shading adalah dimana salah satu atau lebih sel silikon solar panel tertutup dari pancaran sinar matahari. *Shading* akan mengurangi pengeluaran daya dari solar sel. Beberapa jenis modul solar sel sangat terpengaruh oleh *shading* dibandingkan yang lain. Tabel dibawah ini menunjukkan efek yang dihasilkan oleh panel yang terkena *shading* pada energi lossnya.

Tabel 2.1 Presentase *shading* mengenai permukaan panel surya

Presentase dari bayangan pada satu sel	Presentase dari loss modul panel surya
0%	0%
25%	55%
75%	66%
100%	75%

Sumber : www.panelsurya.com



Gambar 2.10 , Ilustrasi bayangan yang terjadi pada suatu panel (Ravi,2016)

Untuk mengoptimalkan keluaran PV yang terkena shading dapat dilakukan dengan persamaan :

$$P = W \cos(\beta) + W \frac{\sin(\beta)}{\tan(\alpha)} \quad (2.5)$$

Dimana :

- P : Pitch Length
- W : Lebar panel
- B : sudut kemiringan panel
- α : Sudut elevasi matahari

2.5.4 Pengaruh Pergerakan Matahari

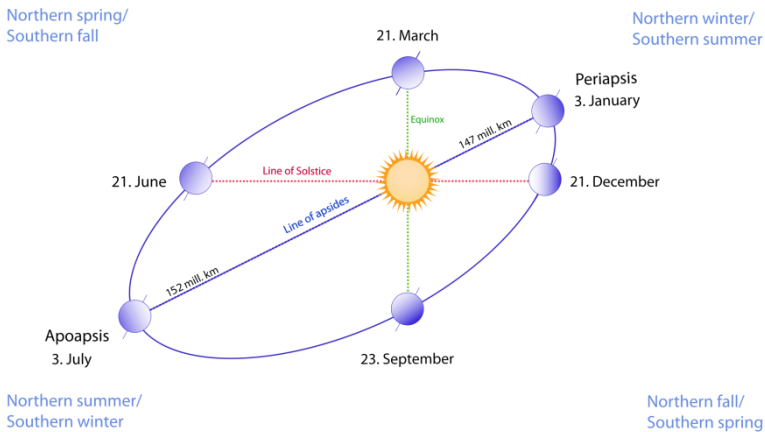
Kemiringan sumbu bumi dan gerakannya di sekitar matahari menyebabkan variasi:

1. Intensitas dan durasi sinar matahari yang diterima di tempat yang berbeda di bumi, yang menghasilkan musim.
2. Gerakan jelas matahari melintasi langit.

Rotasi Gerak bumi berputar pada porosnya disebut gerak rotasi bumi. Arah berotasi dengan arah dari barat ke timur. Periode rotasi bumi adalah 23 jam 56 menit 4 detik. Akibat rotasi bumi:

1. Gerak harian benda langit dari timur ke barat (terbit di timur, terbenam di barat; terjadinya pergantian siang malam).

2. Terjadi pempatan bumi di arah kutubnya (momentum sudut lebih besar pada daerah equator)
3. Efek Coriolis pada arah angin.
4. Perubahan arah ayunan bandul.
5. Perubahan arah arus laut sepanjang equator bumi.



Gambar 2.11 Orbit bumi mengelilingi matahari

Revolusi Bumi Gerak bumi mengelilingi matahari disebut gerak revolusi bumi. Bidang orbit bumi mengelilingi matahari disebut bidang ekliptika, letaknya miring $23,5^{\circ}$ terhadap bidang equator langit (perpan- Jangan bidang equator bumi). Periode revolusi bumi = 365,25 hari. Gerak revolusi bumi disebut juga gerak tahunan bumi atau gerak annual. Akibat gerak revolusi bumi: - Gerak semu tahunan matahari di daerah zodiak. Gerak harian matahari terlambat 4 menit dari bintang setiap harinya, atau bergeser ke arah timur sebesar satu derajat busur di latar belakang bintang-bintang di daerah zodiak. - Terjadinya paralaks bintang. - Terjadinya pergantian musim di permukaan bumi akibat kemiringan sumbu bumi sebesar $66,5^{\circ}$ terhadap bidang

peredarannya (bidang ekliptika). Empat peristiwa astronomi terkait adalah ekuinoks vernal dan musim gugur, dan musim panas dan musim dingin solstices. Selama equinox Maret (March 21) dan equinox September (September 21), matahari tepat di atas khatulistiwa dan panjang siang dan malam adalah sama (12 jam). Selama solstice Juni, matahari langsung di atas *Tropic of Cancer* (23.45°N latitude), dan dengan demikian di khatulistiwa, matahari muncul pada posisi paling utara (23.45°). Pada bulan Juni, itu adalah musim panas di Utara Belahan hari lebih panjang dari malam; dan itu adalah musim dingin di *Southern* Belahan hari lebih pendek dari malam. Selama solstice Desember matahari langsung di atas *Tropic of Capricorn* (23.45°S lintang), dan karenanya, di khatulistiwa, matahari muncul di posisi paling selatan (-23.45°).

Orbit bumi adalah elips, maka jarak antara bumi dan matahari bervariasi sepanjang tahun, yang mengarah ke nilai-nilai radiasi matahari jelas sepanjang tahun didekati dengan persamaan :

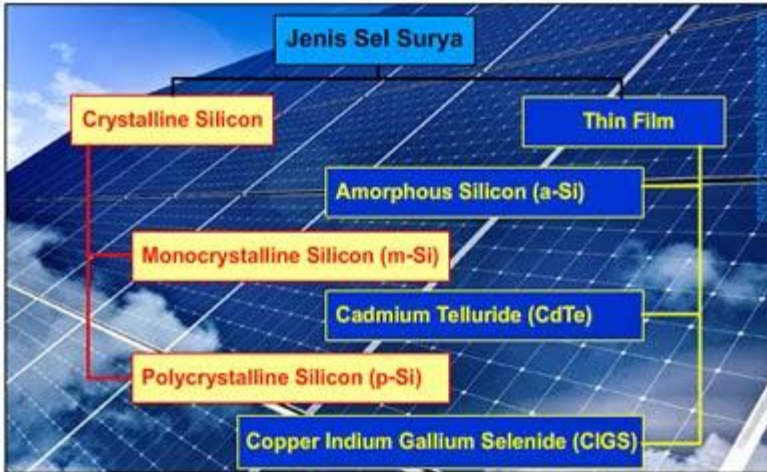
$$I_o = I_{SC} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{N}{365} \times 360^{\circ} \right) \right] \quad (2.6)$$

Dimana N adalah jumlah hari dalam satu tahun sedangkan I_{sc} bernilai konstan.

2.6 Jenis PV

Untuk menentukan bagus tidaknya sebuah sel surya digunakan istilah *Efficiency*. Menentukan nilai efisiensi ini menggunakan rumus yang ada dengan berbagai persyaratan dan dihitung dalam persen (%). Namun dapat definisikan saja secara sederhana yaitu, perbandingan energi listrik yang dihasilkan dari suatu sel surya terhadap energi sinar matahari yang mengenai permukaan sel surya tersebut. Berdasarkan jenis bahanya PV

dibagi menjadi tiga jenis yakni polikristal, monokristal dan amorphous (amorf).



Gambar 2.12 Jenis-jenis Sel Surya

2.6.1 Polikristal (Poly-crystalline)

Merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Type ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan type monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih murah.



Gambar 2.13 PV jenis polikristal (ecoenergy)

2.6.2. Monokristal (Mono-crystalline)

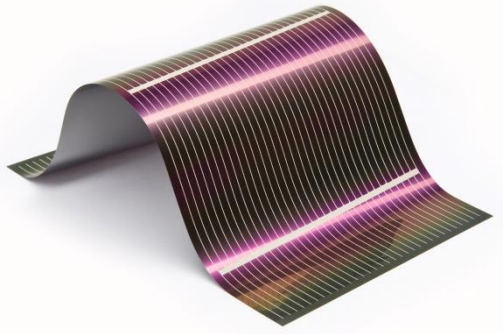
Merupakan panel yang paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak dapat bekerja optimal ditempat dengan cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.



Gambar 2.14 PV jenis monokristal

2.6.3 Thin Film Solar Cell (TFSC)

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 karenanya sangat ringan dan fleksibel. Jenis ini dikenal juga dengan nama TFPV (Thin Film Photovoltaic).



Gambar 2.15 PV jenis thin film

2.6.3.1 Amorfo (Amorphous)

Silikon Amorfo (a-Si) telah digunakan sebagai bahan sel photovoltaic untuk kalkulator selama beberapa waktu. Meskipun mempunyai kinerja yang lebih rendah dibandingkan sel surya tradisional c-Si, hal ini tidak penting dalam kalkulator, yang menggunakan daya sangat rendah. Teknologi terbaru saat ini dengan perbaikan dalam teknik konstruksi telah membuat a-Si lebih menarik sebagian besar wilayah pemanfaatan sel surya. Disini efisiensi yang lebih tinggi dapat dicapai dengan menyusun beberapa sel tipis-film di atas satu sama lain, masing-masing sesuai untuk bekerja dengan baik pada frekuensi cahaya tertentu. Pendekatan ini tidak berlaku untuk c-sel Si, dengan teknik konstruksi yang tebal dan karenanya sangat buram, menghalangi cahaya mencapai lapisan lain dalam susunan. Pembuatan dari solar sel bertipe a-Si dalam produksi skala besar tidak efisien, tetapi biaya. a-Si sel menggunakan sekitar 1% dari silikon yang dibutuhkan untuk sel c- Si, dan biaya silikon adalah faktor terbesar dalam biaya pembuatan sel. Namun, biaya lebih tinggi karena pembuatan konstruksi multi-layer, sampai saat ini, membuat a-Si tidak menarik kecuali dalam peran mana ketipisan atau fleksibilitas adalah keuntungan.

2.6.3.1 Jenis Lain Thin Film

Berdasarkan materialnya, sel surya thin film ini digolongkan menjadi tiga selain amorf ada juga jenis (CdTe) dan (CIGS)

a. Cadmium Telluride (CdTe) Solar Cells.

Sel surya jenis ini mengandung bahan Cadmium Telluride yang memiliki efisiensi lebih tinggi dari sel surya Amorphous Silicon, yaitu sekitar: 9% - 11%.

- b. Copper Indium Gallium Selenide (CIGS) Solar Cells. Dibandingkan kedua jenis sel surya thin film di atas, CIGS sel surya memiliki efisiensi paling tinggi yaitu sekitar 10% - 12%. Selain itu jenis ini tidak mengandung bahan berbahaya Cadmium seperti pada sel surya CdTe.

2.7 Analisa Tapak

Analisis tapak merupakan analisis yang digunakan dalam suatu perancangan kota non fisik, perencanaan suatu pembangunan dan digunakan juga untuk merumuskan program ruang berdasarkan karakteristik aktifitas pengguna dan aktivitas ruang (Bulsoko, 2006). Analisis tapak dalam perancangan suatu kawasan terdiri dari:

1. Analisis Tautan Wilayah

Analisis tautan wilayah digunakan untuk mengetahui keterkaitan atau hubungan kawasan yang satu dengan lainnya pada site sehingga dapat mengetahui keberadaan site tersebut.

2. Analisis Topografi

Analisis topografi digunakan untuk mengetahui besar dari kelerengan ataupun ketinggian dari suatu kawasan sehingga dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan fungsi kawasan dengan peletakan daerah yang akan dibangun.

3. Analisis Lingkungan

Analisis lingkungan digunakan untuk mengetahui perkembangan kondisi fisik yang berupa abiotik dan biotik yang ada di dalam site.

4. Analisis Aksesibilitas

Analisis aksesibilitas digunakan untuk mengetahui akses keluar masuk dalam kawasan site maupun menghubungkan site yang satu dengan site lainnya. Dalam analisis aksesibilitas terdapat golongan aksesibilitas tinggi, sedang, dan rendah.

5. Analisis Kebisingan

Analisis kebisingan digunakan untuk mengetahui seberapa besar intensitas suara yang sesuai dengan batas yang ditentukan dan disesuaikan dengan fungsi kawasan untuk tingkat kebisingannya. Dalam analisis kebisingan juga terdapat 3 (tiga) klasifikasi kebisingan, yaitu kebisingan tinggi, sedang, dan rendah.

6. Analisis Vegetasi

Analisis vegetasi digunakan untuk mengetahui kesesuaian jenis tanaman yang tepat dan dapat dikembangkan pada kawasan yang ada dalam site sebagai pendukung seperti penunjuk arah dan pengurang polusi.

7. Analisis *View*

Analisis ini digunakan untuk mengetahui cara dalam mengamati suatu site dari sisi pengamat (*view to site*) untuk memberi pandangan untuk luar site (*view from site*). Dapat juga diambil dari data gambar langsung dan satelit.

8. Analisis Iklim dan Lintasan Matahari

Analisis ini digunakan untuk mengetahui letak dari suatu bangunan yang dapat disesuaikan dengan lintasan matahari dan arah angin.

9. Analisis Drainase

Analisis drainase ini digunakan untuk mengetahui sistem aliran air yang ada dalam kawasan pada suatu site.

Namun yang dibahas dalam penelitian hanya dibatasi untuk pembahasan mengenai analisa lingkungan, *view*, iklim dan lintasan matahari.

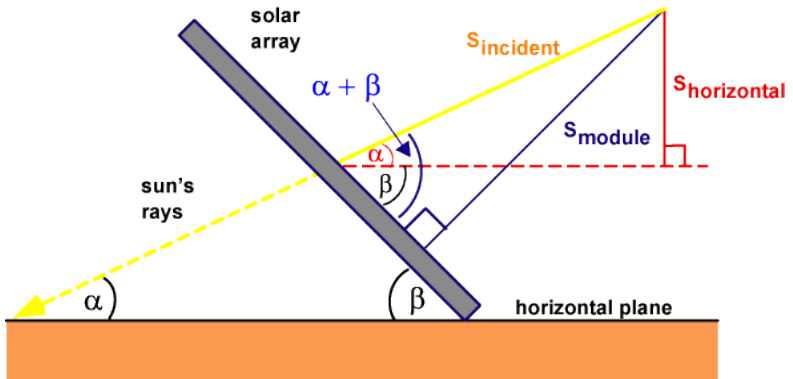
2.8 Konversi Energi PV

Output listrik dari modul PV tergantung pada listrik, panas, spektral surya, dan sifat optik dari modul (atau array) serta sudut dan jumlah radiasi tertentu. Jumlah radiasi masukan memiliki linear (langsung) berpengaruh pada arus keluaran dari modul PV. Pengaruh variasi dalam spektrum matahari di modul output relatif kecil untuk nilai massa udara antara 1 dan 2 untuk kristal modul PV. Metode empiris yang tersedia untuk memperkirakan efek dari perubahan spektrum matahari pada arus modul PV.

Untuk permukaan yang tidak lazim pada insiden sinar matahari, kepadatan radiasi. berkurang, karena geometri, dengan faktor sama dengan cosinus dari sudut insiden seperti ditunjukkan pada Gambar 2.17 .Selain kerugian cosinus ini radiasi masukan, kolektor besar sudut menyebabkan kerugian optik akibat pemantulan dari permukaan modul PV. Ini kerugian optik menghasilkan radiasi insiden lebih rendah dari sel PV bawah kaca, dari persamaan :

$$I_D = I_{DN} \cos \theta \quad (2.7)$$

Untuk modul silikon PV kristal, efek kerugian optik signifikan bagi timbulnya sudut lebih besar dari 55°



Gambar 2.16 Permukaan yang terlalu miring, tidak normal untuk menerima radiasi.

2.9 PVSyst

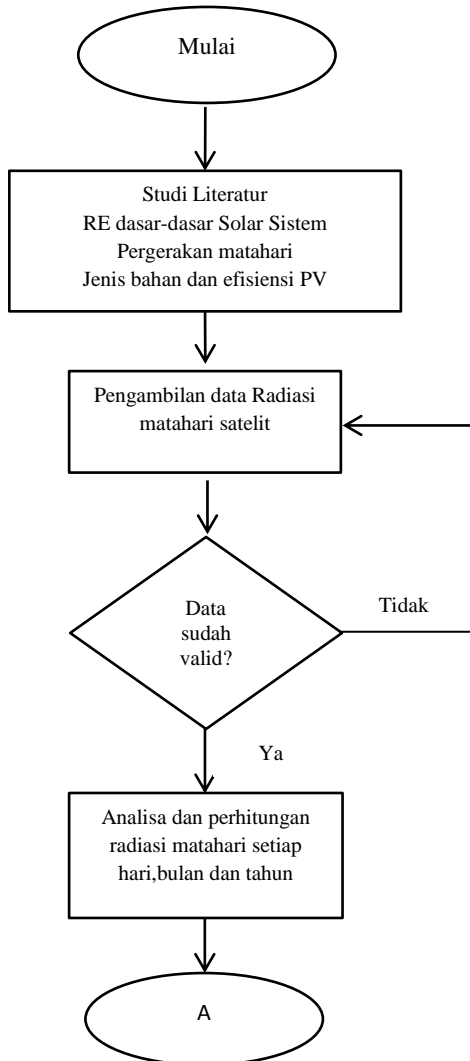
PVSyst merupakan paket software yang digunakan untuk proses pembelajaran, pengukuran (*sizing*), dan analisis data dari sistem PLTS secara lengkap. PVSyst dikembangkan oleh Universitas Genewa, yang terbagi ke dalam sistem terinterkoneksi jaringan (*grid-connected*), sistem berdiri sendiri (*stand-alone*), sistem pompa (*pumping*), dan jaringan arus searah untuk transportasi publik (*DC-grid*). PVSyst juga dilengkapi database dari sumber data meteorologi yang luas dan beragam, serta data komponen PLTS. Beberapa contoh sumber data meteorologi yang dapat digunakan pada PVSyst yaitu bersumber dari MeteoNorm V 6.1 (interpolasi 1960-1990 atau 1981-2000), NASA-SSE (1983-2005), PVGIS (untuk Eropa dan Afrika), Satel-Light (untuk Eropa), TMY2/3 dan SolarAnywhere (untuk USA), EPW (untuk Kanada), RetScreen, Helioclim, dan SolarGIS (berbayar).

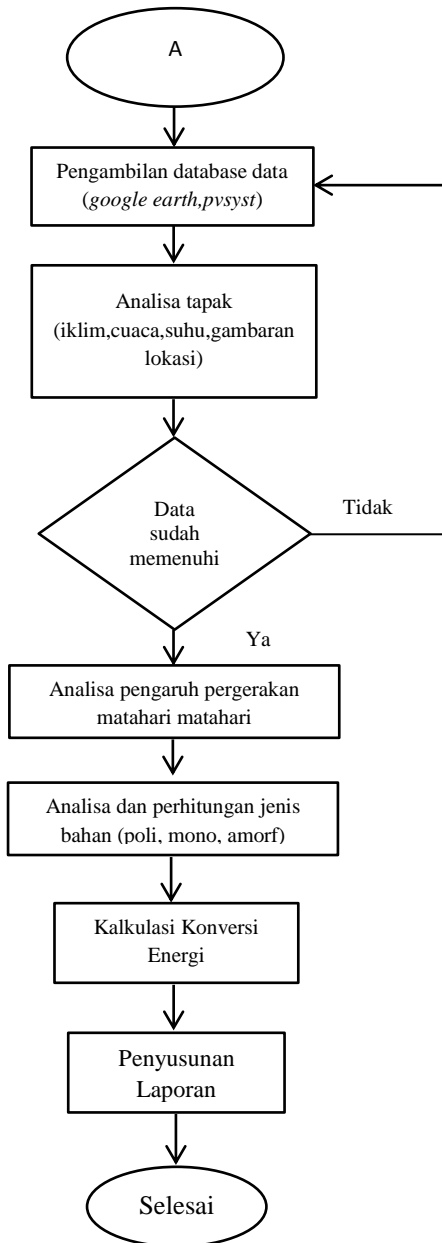
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut diagram alir penelitian terkait tugas akhir ini.





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Studi Literatur

Literatur yang menjadi acuan atau referensi dalam penulisan tugas akhir ini adalah literatur terkait *renewble energy* dengan didukung oleh referensi yang kuat mengenai tenaga surya, studi pergerakan matahari dan bagaimana cara menganalisisnya, kemudian pengaruh efisiensi jenis bahan terutama ketiga bahan yang kita kenal yakni amorf, monokristal dan polikristal terhadap radiasi yang diserap, perancangan PLTS yang didukung oleh persamaan matematis yang digunakan hingga ke pembangkitan listrik. Selain literatur terkait perancangan PLTS, juga mencari data satelit yang dapat menampilkan data iklim, suhu serta yang paling penting adalah radiasi Probolinggo yang berpusat pada lokasi di PJB UP Paiton di koordinat yang sudah ditentukan. Pengambilan data satelit tersebut menggunakan tiga data satelit agar data yang digunakan dapat divalidasi. Kemudian studi mengenai penggunaan perangkat lunak *pvsys* untuk mendapatkan data lain terkait penelitian ini.

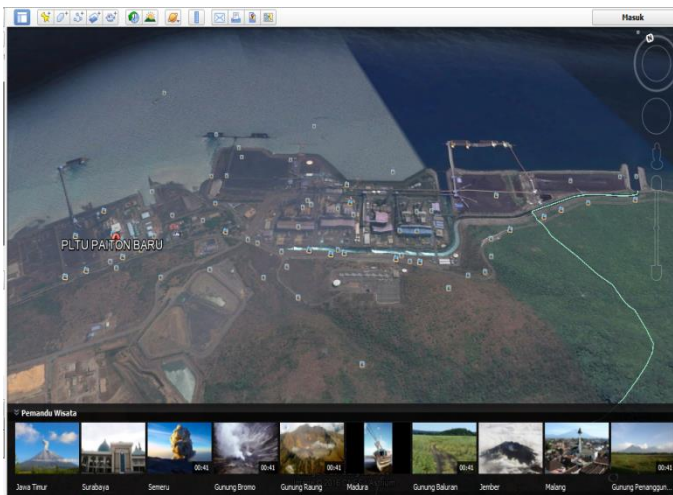
3.3 Pengambilan Data

Sebelumnya telah dilakukan survei di PT. PJB-UP Paiton pada bulan Mei 2016. Survei dilakukan dengan melihat kondisi lapangan secara langsung serta wawancara dengan dosen terkait serta pihak PT. PJB UP-Paiton. Daya yang diinginkan oleh pihak dari PJB UP-Paiton sendiri adalah 1 Mega Watt dengan luas lahan yang tersedia. Dapat dikatakan Paiton memiliki lahan yang cukup luas untuk banyak dimanfaatkan sebagai PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya). Selain melakukan survei langsung ke lokasi juga dilakukan pengambilan gambar di lokasi Paiton secara langsung maupun menggunakan data satelit melalui *Google Earth*.



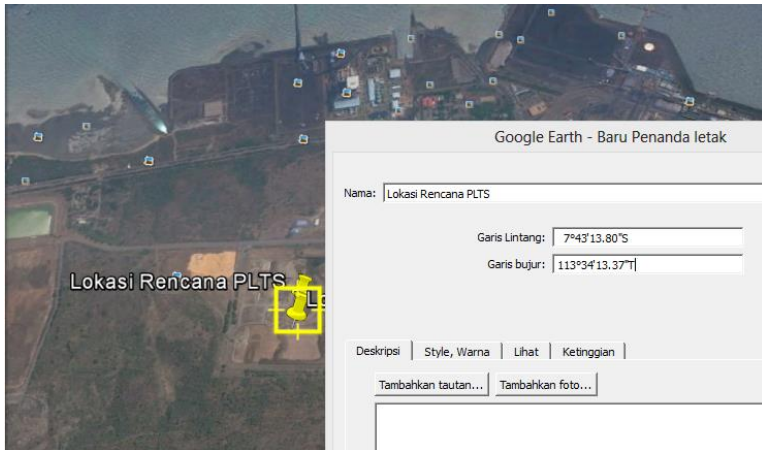
Gambar 3.2 Pengambilan gambar dilokasi Paiton

Gambar 3.2 menunjukkan kondisi lapangan serta profil lahan milik PLTU yang akan dimanfaatkan awalnya direncanakan untuk pembangunan sistem PLTS. Namun karena profil lahan tidak memungkinkan serta kurang lapang karena berbatasan dengan kanal buangan air serta lahan hijau maka dipindah menuju ke pembuangan abu bekas pembakaran. Lahan tersebut merupakan lahan kosong yang saat ini dimanfaatkan untuk buangan hasil pembakaran.



Gambar 3.3 Interface pada *Google Earth*

Gambar 3.3 adalah gambar pembangkit Paiton yang berlokasi di Probolinggo. Dari aplikasi *google earth* membantu memudahkan penggambaran lokasi dari atas ketinggian tertentu. Ketinggian disini menentukan detail gambar yang dapat tangkap semakin kecil ketinggian maka lokasi yang ditangkap akan menunjukkan gambar yang lebih detail. Kemudian dari *google earth* dapat menentukan atau mengetahui lokasi yang ditunjuk berada pada derajat LU (Lintang Utara)-LS (Lintang Selatan) dan BT (Bujur Timur) sebagai acuan pencarian data radiasi satelit.



Gambar 3.4 Lokasi yang dipilih untuk mengetahui garis lintang dan bujur

Setelah menunjukkan Paiton secara keseluruhan maka dapat kita cari lokasi yang menjadi rencana untuk perancangan PLTS masih dalam lingkup Paiton. Kemudian untuk memudahkan pencarian serta mengetahui letak astronomisnya. Dilihat dari Gambar 3.4 pada persegi kuning adalah pusat lokasi yang ditentukan kemudian telah muncul berapa derajat dari garis lintang dan bujur. Letak dari Paiton sendiri berbatasan langsung dengan laut artinya kondisi tersebut memungkinkan untuk mendapatkan penyinaran matahari yang sesuai atau optimum. Serta karena posisinya yang dekat dengan pesisir maka kondisi cuaca rawan terjadi perubahan semisal cerah kemudian berawan lalu tiba-tiba mendung. Seperti yang terjadi pada saat peninjauan di lokasi pada hari tersebut. Namun panas dari pancaran matahari di jam 11.00-13.00 dirasa cukup terik.

Data teknis secara umum yang diperoleh adalah sebagai berikut.

Radiasi matahari (W/m^2) : 100-700 W/m^2
 Luas Lahan : buangan sisa hasil pembakaran

Radiasi matahari diukur melalui informasi berdasarkan letak geografis PLTU Patiton yakni :

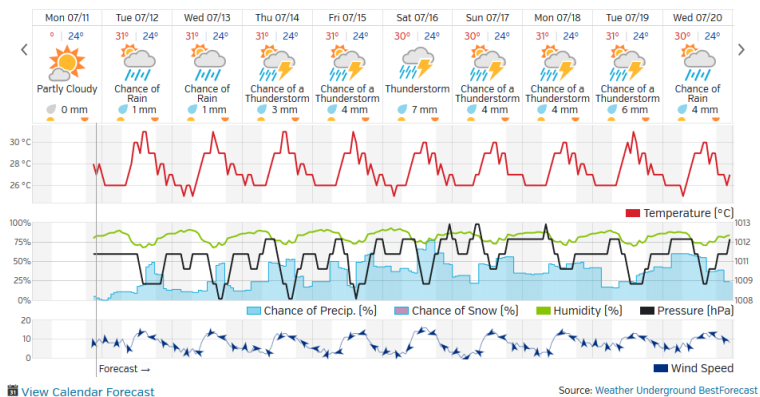
Garis Lintang (*latitude*) : 7°34'29" South

Garis Bujur (*longitude*) : 113°43'39"East

(<http://pvgis.com>)

Sementara luas lahan tersebut didapat melalui pengamatan di lokasi, *sampling* dari *google earth* serta wawancara pihak PLTU. Dikarenakan belum adanya instalasi sistem ini, maka lahan yang akan dimanfaatkan sebagai PLTS yang terdapat di PLTU harus mengalami perataan agar penempatan komponen sistem PLTS dapat dilakukan dengan baik.

Dari letak astronomisnya dapat dilanjutkan untuk pencarian data-data yang lain. Data iklim, radiasi, suhu dapat dicari dari berbagai sumber.

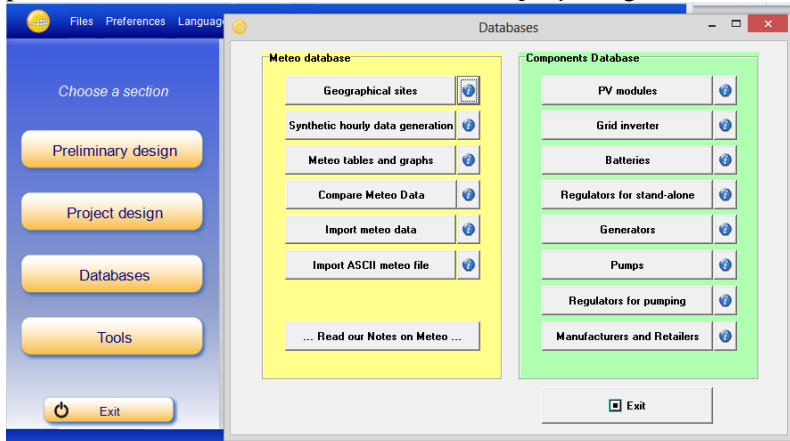


Gambar 3.5 Contoh data iklim Probolinggo tahun 2016 dari satelit (wunderground)

3.4 Perangkat Lunak Pvsyst

Untuk membantu mencari data penunjang lain maka diperlukan bantuan perangkat lunak yakni pvsyst. Pvsyst sendiri memiliki kemampuan lengkap dalam menghitung nilai apapun

yang diperlukan untuk perencanaan PLTS. Namun dalam penelitian ini tidak semua data hasil olahan *pvsyst* digunakan.



Gambar 3.6 Interface pada *pvsyst*

Dalam penggunaan perangkat lunak ini diutamakan untuk pencarian database yang diperlukan. Gambar 3.6 merupakan tampilan menu utama *pvsyst* kemudian masuk kedalam subsistem untuk mencari database. Dalam menunya dapat menampilkan pencarian radiasi, cuaca, pergerakan matahari yang bersalah dari metronom dan NASA.

3.5 Studi Pergerakan Matahari

Posisi relatif matahari terhadap modul surya (photovoltaic) di bumi bisa dijelaskan dalam beberapa sudut. Sudut-sudut itu adalah :

1. Latitude (garis lintang)

Adalah sudut lokasi di sebelah utara atau selatan dari equator (khatulistiwa), utara positif ; $-900 \leq \varphi \leq 900$. Hal ini pengujian modul surya dilakukan ditempat kampus undip semarang dengan letak geografisnya berada pada $7^{\circ}\text{LS} - 110^{\circ}\text{BT}$.

2. Deklinasi (δ)

Adalah sudut posisi matahari terhadap bidang khatulistiwa, utara positif $-23,450 < \delta < 23,450$. Deklinasi dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$\delta = 23,450 \sin (260 (284 \times n)/365), \quad (3.1)$$

dimana n = hari dalam bulan

3. Kemiringan (β)

Adalah sudut antara permukaan bidang yang ditanyakan dengan permukaan horisontal. Slope (kemiringan) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$\beta = \text{Tan}^{-1} (\text{Tan } \theta_z \times \cos \gamma_s) \quad (3.2)$$

4. Sudut permukaan azimuth (γ)

Adalah proyeksi kebidang horizontal normal terhadap permukaan dari lokasi bujur, dengan nol menghadap selatan, timur negatif, barat positif ; $-1800 \leq \gamma \leq 1800$.

5. Sudut jam matahari (ω)

Adalah sudut penyimpangan matahari di sebelah timur atau barat garis bujur lokal karena rotasi pada porosnya sebesar 150 per jam ; sebelum jam 12.00 negatif, setelah jam 12.00 positif.

$$\omega = (ts - 12) \times 360/24, \quad ts = \text{waktu jam} \quad (3.3)$$

6. Sudut datang (θ)

Adalah sudut antara permukaan radiasi langsung normal vertikal terhadap radiasi langsung vertikal kolektor. Sudut datang dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$\theta = \cos^{-1} (1 - \cos^2 \delta \times \sin^2 \omega)^{1/2} \quad (3.4)$$

7. Sudut zenith (θ_z)

Adalah sudut antara garis vertikal bidang normal dan garis datang sinar matahari. Sudut zenith dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$\theta_z = \cos^{-1} (\cos \varphi \times \cos \delta \times \cos \omega + \sin \varphi \times \sin \delta) \quad (3.5)$$

8. Sudut ketinggian matahari (α_s)

Adalah Sudut antara garis horisontal dengan garis matahari datang pada modul surya (photovoltaic).

9. Sudut azimuth matahari (γ_s)

Adalah sudut penyimpangan dari selatan dengan proyeksi radiasi langsung pada bidang horisontal. Penyimpangan ke sebelah timur adalah negatif dan ke sebelah barat adalah positif. Sudut zenith dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$\gamma_s = \sin^{-1} (\sin \theta_z \cos \delta / \sin \theta_z) \quad (3.6)$$

3.6 Analisis Tapak

Analisis tapak merupakan analisis yang digunakan dalam suatu perancangan kota non fisik dan digunakan juga untuk merumuskan program ruang berdasarkan karakteristik aktifitas pengguna dan aktivitas ruang. Dalam penelitian ini yang dibahas pada analisa tapak adalah analisis iklim (suhu, curah hujan), lintasan matahari, lokasi (*view*).

3.7 Radiasi

Radiasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder bersumber dari tiga satelit. Yakni *pvGIS*, Nasa dan juga SODA. Data radiasi yang diambil adalah data tahun 2015 karena memang yang terbaru sedangkan tahun 2016 masih berjalan dalam penelitian ini. Data radiasi yang diambil data harian artinya akan ada 365 hari dalam setahun dan 365 data radiasi (W/m^2) pada masing-masing satelit.

3.8 Jenis Bahan pada PV

Untuk menganalisa keluaran menentukan jenis bahan dari modul PV dari ketiga pilihan yakni monokristal, polikristal dan armophous maka memperhatikan efisiensi, kelebihan dan kelemahan serta diadasi oleh penelitian sebelumnya.

Tabel 3.1 Perbandingan Efisiensi Sel Surya (panelsurya.com)

Bahan	Hasil Laboratorium	Hasil Produksi
Monokristal	24%	14% - 17%
Polikristal	18%	13% - 15%
Armophous	13%	5% - 7%

Tabel 3.2 Efisiensi bahan hasil dari beberapa penelitian sebelumnya.

Bahan	Lokasi	Efisiensi
Monokristal	Kota Malang	15% (Rif'an,2012)
	Polandia	14.8% (Dobrzański,2013)
Polikristal	Pakistan	12% (Baksh,2015)
	Polandia	13.0% (Dobrzański,2013)
	Eksperimen	13.4% (Affifudin,2012)
Armophous	Pakistan	3.9% (Baksh,2015)
	Eksperimen	3.0% (Affifudin,2012)

Dengan memperhatikan Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 bahwa jenis PV yang baik adalah monokristal dan polikristal dengan efisiensi diatas 10%.

Tabel 3.3 Perbandingan Polikristal dan Monokristal (fmser.net)

	Polikristal	Monokristal
Price	Lower Price	Higher price
Efficiency	Average 18%	Average 19%
Performance at high temperature	Good	Reduced efficiency
Appearance	Non Uniform	All black
Best Suitable for	Most cases	Limited space

Kemudian dengan memperhatikan Tabel 3.3 maka jenis modul yang akan di gunakan dalam perancangan sistem PLTS ini adalah jenis polikrital. Meskipun jenis Monokrital lebih memiliki efisien tinggi namun tidak maksimal saat kondisi cuaca mendung,berbeda dengan polikrital yang tetap menghasilkan listrik saat cuaca mendung (Rifa'i,2012). Disini saat cocok dengan kondisi wilayah Indonesia terutama pada daerah Probolinggo yang memiliki siklus cuaca cerah-mendung-berawan. Serta faktor ketersediaan lahan yang dimiliki oleh Paiton.

3.9 Konversi Energi

Contoh spesifikasi PV 200 W sebagai berikut :

Tabel 3.4 Contoh Spesifikasi Photovoltaic 200 W

Maximum Power	200 W
Output Tolerance	$\pm 3 \%$
Rated Voltage (V_{mpp})	26.9 V
Rated Current (M_{pp})	7.4 A
Open Circuit Voltage [V_{oc}]	32.2 V
Short Circuit Current [I_{sc}]	8.3 A
Maximum System Voltage	1000 V

PV ini seperti pada jenis PV pada umumnya yakni insolation $1000W/m^2$, *cell* T $25^{\circ}C$ artinya PV akan bekerja dengan optimal ketika iradiasi mencapai $1000W/m^2$ dan suhu mencapai $25^{\circ}C$ seperti pada PV yang lain. Nilai-nilai pada Tvel 3.4 digunakan dalam perhitungan daya keluaran. Perhitungan daya pada modul surya daya maksimal pada modul dapat diselesaikan dengan persamaan :

Daya Input (W) pada radiasi tertentu :

$$P_{IN} = \text{Radiasi} \times A \quad (3.3)$$

Dengan :

A : luas silikon PV

Keluaran (P_{out}) :

$$P_{MAX} = V_{OC} \times I_{SC} \times FF \quad (3.7)$$

V_{OC} atau *Open circuit voltage* adalah kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus. (Suriadi,2010). Dengan melakukan perhitungan pada persamaan :

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_s} + 1 \right) \quad (3.8)$$

Sedangkan untuk FF yakni *fill factor* merupakan parameter yang menentukan daya maksimum dari panel sel surya (Suriadi,2010). Besarnya FF dapat dihitung dengan persamaan :

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (3.9)$$

Kemudian menghitung efisiensi dari PV :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100\% \quad (3.10)$$

Sedangkan untuk mengkonversi dari W/m^2 ke kwh/m^2

$$kwh = \frac{W}{m^2} \times \frac{\text{jam operasi}}{1000} \quad (3.11)$$

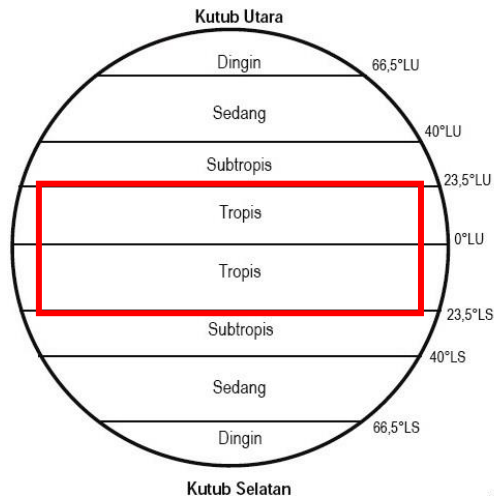
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Tapak

Analisis ini membahas mengenai grafik *climate* (iklim matahari, cuaca, suhu) dan gambaran lokasi.

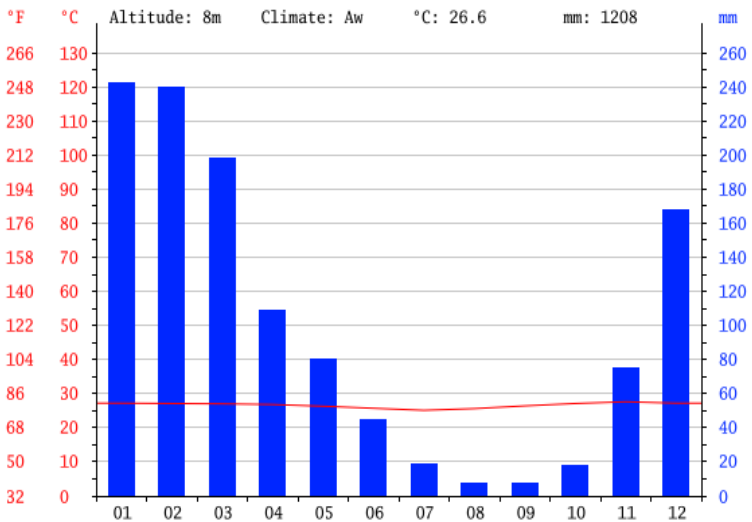
4.1.1 Iklim

Lokasi tapak berada di Kota Probolinggo dengan letak astronomis $7^{\circ}43'11.42''$ LS sampai dengan $113^{\circ}34'13.24''$ BT. Dengan demikian untuk pada meneliti lebih jauh mengenai iklim (adaptasi terdapat matahari) lokasi tapak akan menggunakan diagram matahari dengan batas garis lintang 7° - 8° LS. Iklim matahari didasari pembagian letak lintang akibat dari penyinaran matahari yang diterima di bumi. Garis lintang di bumi dibagi menjadi dua bagian, yaitu $0^{\circ} - 90^{\circ}$ LU dan $0^{\circ} - 90^{\circ}$ LS. Daerah 0° lintang adalah daerah panas. Daerah makin mendekati 90° lintang suhu semakin dingin.



Gambar 4.1 Iklim Matahari
(sumber : Meteologi dan Klimatologi)

Indonesia sendiri terletak pada garis merah yakni pada tepat di garis khatulistiwa dengan demikian maka wilayah Indonesia termasuk iklim tropik (iklim panas) memiliki penyinaran matahari yang cukup. Tiap-tiap daerah di Indonesia memiliki iklim tropis, subtropis, sedang, dan dingin keadaan . Kota Probolinggo sendiri beriklim tropis dengan perubahan dua musim yakni kemarau dan penghujan. Musim panas lebih banyak hujan daripada musim dingin di Probolinggo. Iklim di sini diklasifikasikan sebagai Aw berdasarkan sistem Köppen-Geiger. Suhu di sini rata-rata 26.6 °C. Presipitasi di sini rata-rata 1208 mm. Presipitasi sendiri adalah curah hujan atau turunnya air dari atmosfer ke permukaan bumi dan laut dalam bentuk yang berbeda, yaitu curah hujan di daerah tropis dan curah hujan serta salju dan di daerah beriklim sedang (wikipedia.co.id).

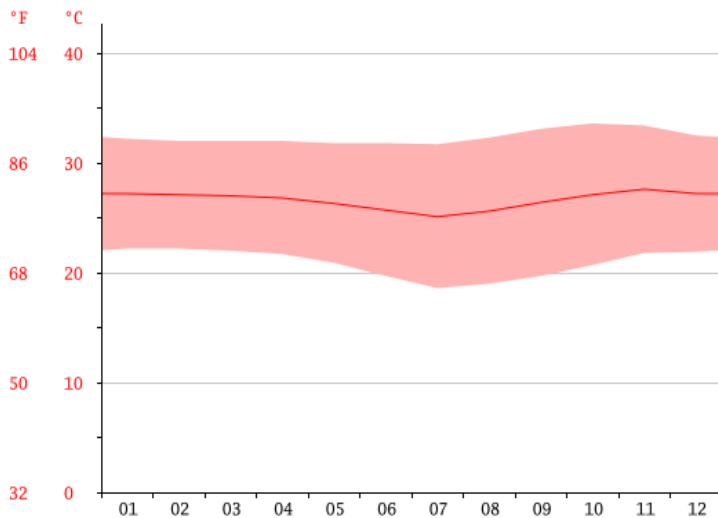


Gambar 4.2 Grafik Iklim Probolinggo tahun 2015
(id.climate-data)

Menurut Gambar 4.2 pada grafik menunjukkan bahwa bulan terkering adalah Agustus-September tahun 2015 artinya pada bulan tersebut penyinaran matahari berlangsung cukup lama, terik dan paling maksimal. Di bulan tersebut (Agustus-September) terdapat 7 mm presipitasi di Agustus-September 2015. Presipitasi paling besar terlihat pada Januari, dengan rata-rata 242 mm. Artinya pada bulan tersebut curah hujan sangat tinggi dan penyinaran matahari kurang maksimal.

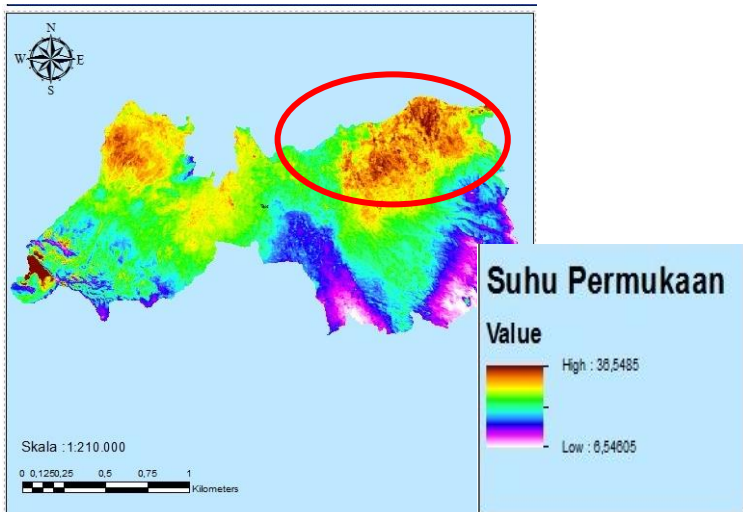
4.1.2 Suhu

Pada suatu penelitian suhu permukaan wilayah Probolinggo memiliki variasi yang berbeda-beda di tiap jenis lahannya. Dari hasil pengolahan citra landsat menggunakan Er Mapper, suhu permukaan lahan Kabupaten Probolinggo bervariasi antara 6° - 35° C. Untuk wilayah badan air, kisaran suhunya adalah $6,9^{\circ}$ – $35,7^{\circ}$ C. Sedangkan untuk daerah vegetasi memiliki kisaran suhu sekitar $7,4$ – 29° C. Sedangkan wilayah lahan terbuka maupun terbangun memiliki suhu berkisar $9,9$ – $30,3^{\circ}$ C (Handareniwulan, 2015).



Gambar 4.3 Grafik Suhu tahun 2015 (id.climate-data)

Sedangkan menurut pada grafik data Gambar 4.3 rata-rata suhu di Probolinggo yakni dengan rata-rata 27.6°C seperti yang ditunjukkan pada garis merah, Juli hingga Nopember tahun 2015 terjadi kenaikan grafik suhu. Sedangkan suhu terendah dalam setahun terlihat di Juli 2015, saat suhu ini berkisar 25.1°C . Sedangkan pada wilayah di Paiton sendiri dikategorikan lahan terbuka maupun terbangun. Pada data yang diperoleh bahwa suhu minimum wilayah Probolinggo adalah 18.6 pada bulan Agustus 2015. Dan tertinggi dapat mencapai suhu 33.6°C terjadi pada bulan Oktober. Dalam suhu sekian dapat dikatakan bahwa penyinaran matahari cukup baik.



Gambar 4.4 Estimasi suhu Probolinggo
(Handareniwulan,2015)

Pada Gambar 4.4 menunjukkan profil penyebaran suhu Probolinggo dimana lokasi Paiton ditunjukkan oleh lingkaran merah yang artinya suhu dilokasi tersebut paling tinggi adalah 36°C suhu paling tinggi diantara wilayah yang lain yang ada di wilayah Probolinggo. Dengan estimasi suhu

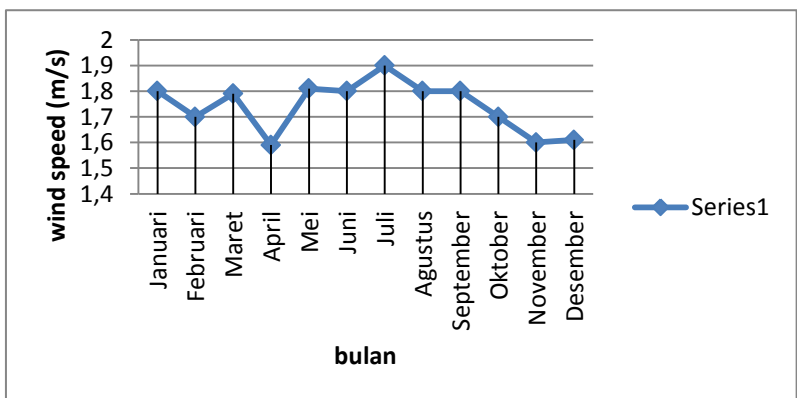
yang cukup tinggi artinya Paiton sudah memiliki satu modal dalam merencanakan pembangunan PLTS baik untuk skala kecil, menengah maupun menengah keatas.

Tabel 4.1 Curah hujan dan suhu keseluruhan Probolinggo.

Bln	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm	242	240	198	109	80	45	19	7	7	18	75	168
°C	27.2	27.1	27.0	26.8	26.3	25.7	25.1	25.6	26.4	27.1	27.6	27.2
°C min	22.2	22.2	22	21.7	20.9	19.7	18.6	19.0	19.7	20.7	21.8	21.9
°C max	32.2	32.0	32.0	32	31.8	31.8	31.7	32.3	33.1	33.6	33.4	32.5

4.1.3 Kecepatan Angin

Kecepatan angin dilokasi yang ditangkap oleh perangkat lunak *pvsyst* adalah yang terlihat pada Gambar 4.5 dimana kecepatan tiup angin tertinggi berada pada bulan Juli 2015 mendekati 2 m/s sedangkan paling kecil pada bulan April 2015 dibawah 1,6 m/s



Gambar 4.5 Kecepatan angin dilokasi tahun 2015

Menurut Mintonogo, kecepatan tiup angin di sekitar lokasi PV *array* dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca PV *array* namun tidak dijelaskan berapa persen pengaruhnya. Kemudian pada penelitian lain juga mengenai pengaruh kecepatan angin terhadap suhu permukaan PV bahwa kecepatan angin 1m/s berpengaruh menurunkan suhu permukaan kaca-kaca PV sebesar 11°C sedangkan untuk kecepatan angin 2 m/s menurunkan suhu permukaan sebesar 16°C yang akan berpengaruh mengurangi efisiensi sebesar 0.4% tiap suhunya dari data *sheet module* PV tersebut. (Goverde,2015). Artinya bulan Juli efisiensi PV berkurang sebesar 6.4% sedangkan untuk bulan yang lain berkurang 4.4%.

4.1.4 View

Lokasi yang digunakan yakni lahan kosong PJB UP Paiton yang saat ini masih dimanfaatkan untuk pembuangan abu bekas pembakaran.



Gambar 4.6 Keseluruhan PLTU Paiton dari ketinggian

Gambar 4.6 diambil dari ketinggian 10.4 km melalui *google earth*. Dari gambar tersebut diketahui bahwa PLTU Paiton memiliki banyak lahan kosong yang belum dibangun.

Sehingga hanya dimanfaatkan untuk penghijauan, pembuangan abu atau sisa pembakaran. Pada bagian utara dibangun sebuah buangan air hujan dengan lebar 20 meter x 15 meter kemudian keutara adalah jalan raya lintas kota yakni yang menghubungkan Jawa Timur bagian utara menuju ke Pelabuhan Ketapang. Semakin bergeser keutara berbatasan langsung dengan Laut Jawa. Dibagian timur terdapat lahan vegetasi yang ditumbuhi oleh pohon-pohon serta beberapa lahan yang telah dibangun pipa-pipa , konveyer serta pos sekuriti. Sebelah barat dan selatan juga sama dengan bagian timur yang ditumbuhi pohon-pohon namun jarak dari pohon-pohon tersebut masih cukup jauh dengan lahan kosong tersebut.



Gambar 4.7 Lahan yang akan dimanfaatkan

Gambar 4.7 menunjukkan gambar yang lebih dekat mengenai lahan yang akan dimanfaatkan sebagai PLTS. Sebagai informasi bahwa lahan tersebut dapat dibidang saat luas dengan profil lahan yang lapang tanpa adanya bangunan tinggi serta vegetasi (pohon, semak-semak). Jarak dari kantor pusat dengan lokasi yang akan dimanfaatkan adalah 1-2 km. Sedangkan lokasi tersebut berada di lahan yang lebih tinggi

dari pembangkit yang beroperasi. Dari lokasi tersebut dapat melihat Laut Jawa, pelabuhan batubara, dan juga pembangkit Paiton itu sendiri. Dapat dikatakan tidak ada yang menghalangi sinar matahari yang masuk karena adanya bangunan atau phon yang tinggi. Saat ini hanya dimanfaatkan sebagai hasil buangan pembakaran dan air buangan hujan.



Gambar 4.8 Profil lahan yang akan digunakan

4.2 Analisis Efek Pergerakan Matahari

Posisi relatif matahari terhadap modul surya (photovoltaik) di bumi bisa dijelaskan dalam beberapa sudut. Sudut-sudut itu adalah :

1. Latitude (garis lintang)

Hal ini pengujian modul surya dilakukan ditempat PJB-UP Paiton Probolinggo dengan letak geografisnya berada pada $7^{\circ}\text{LS} - 113^{\circ}\text{BT}$.

2. Deklinasi (δ)

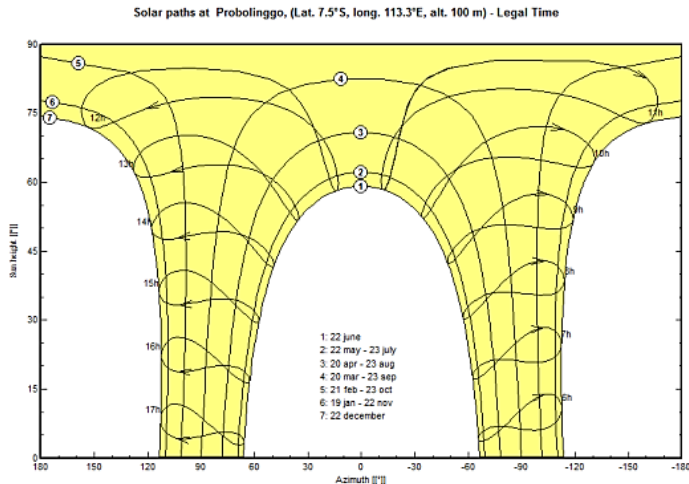
Deklinasi pada lokasi Paiton adalah :

Tabel 4.2 Deklinasi matahari Probolinggo

δ	28 hari	30 hari	31 hari
	-3.4	-11.56	15.5

Menurut perhitungan yang ada pada Tabel 4.2, arah datangnya sinar matahari pada bidang khatulistiwa. Pada bulan Februari sinar datang matahari berada pada -3.4° ke arah selatan khatulistiwa. Sedangkan untuk bulan-bulan yang memiliki hari 30 arah datangnya sinar matahari 11.56° dari selatan khatulistiwa dan untuk bulan yang harinya 31 arah datangnya sinar matahari bergeser ke utara dengan sudut 15.5° .

Kemudian pengaruh sudut datangnya matahari dengan kemiringan panel, telah dilakukan penelitian sebelumnya berlokasi dengan letak astronomis yang sama yakni pada garis lintang 7 dengan garis bujur 110.



Gambar 4.9 Ketinggian matahari dan sudut azimuth pada berbagai tanggal dan waktu selama tahun untuk 7° S lintang

Gambar 4.9 adalah hubungan antara ketinggian matahari dengan sudut azimuth yang dibentuk pada posisi yang sudah ditentukan titik pusat rencana lokasi PLTS. Dalam hal ini dibagi kedalam tujuh pembagian waktu. Gambar tersebut dapat menentukan bayangan yang dapat

dibentuk akibat arah datangnya sinar matahari dengan ketinggian tertentu. Namun karena lokasi yang digunakan cukup lapang tanpa bangunan tinggi maka arah sinarnya matahari hanya berpengaruh pada lokasi pemasangan atau jarak antara *string*.

Tabel 4.3 Hubungan kemiringan terhadap radiasi yang ditangkap (Pangestuningtyas,2013)

Sudut (°) T	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°
0	892	1070	1125	1151	959	690	180
20	969	1062	1097	1106	930	541	164
30	1001	1032	1049	1022	830	459	148,8
40	1030	983	999	930	728	327,6	123
50	1042	875	934	852	627	195	104,5
60	1045	664	860	751	508	129,5	86,4
70	1041	968	785	638	365	121,1	71,8
80	983	898	664	514	247	118,5	66,7
90	586	315	140	358	150	96,4	46,6

3

jika ditinjau untuk kemiringan pada posisi variasi datangnya sinar matahari maka untuk sudut yang paling maksimal dalam menangkap radiasi tersebut adalah pada 10° (rata-rata) nilai *loses* paling sedikit diantara variasi sudut 9°-15°. Jika dibandingkan dengan letak astronomisnya maka tidak jauh berbeda untuk perencanaan PLTS yang berlokasi di PLTU Paiton. Kemudian untuk menghitung jarak antar modul PV didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

Tabel 4.4 Hubungan antara sudut kemiringan panel dan arah datangnya sinar matahari.

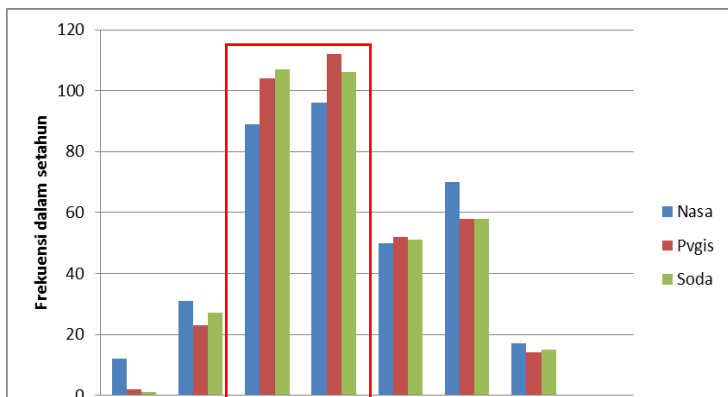
Sudut Elevasi Matahari (α°)	Pitch Length (cm)
10	196
20	146
30	128
40	125
50	113
60	108
70	104

4.3 Analisis Radiasi

Radiasi yang ada di lokasi berdasarkan data tiga satelit yakni NASA, PVGIS dan SODA yang dipusatkan pada titik yang digunakan pada perencanaan PLTS di PJB UP Paiton Probolinggo. Secara geografis terletak pada :

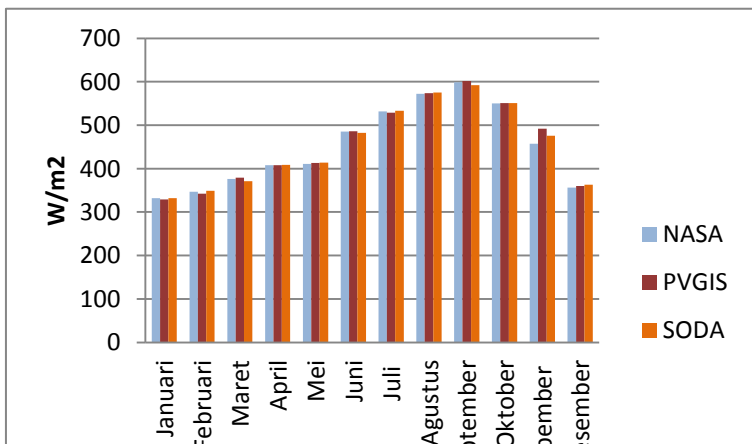
Garis Lintang (latitude) : $7^{\circ}43'11.42''$ South

Garis Bujur (longitude) : $113^{\circ}34'13.24''$ East



Gambar 4.10 Frekuensi radiasi pada setahun

Pada Gambar 4.10 plotting radiasi menggunakan *office excel*. Dimana radiasi yang paling sering keluar dalam kurun waktu tahun tahun selama tahun 2015 adalah pada range $300 \text{ W/m}^2 < 400 \text{ W/m}^2 < 500 \text{ W/m}^2$. Artinya radiasi 300 W/m^2 keatas mendekati 400 W/m^2 serta radiasi 400 W/m^2 adalah niali yang paling banyak muncul. Dalam dua satelit menunjukkan *range* kedua radiasi tersebut berada pada intensitas lebih dari 100 kali muncul dalam setahun. Sedangkan untuk *range* radiasi yang paling jarang muncul adalah radiasi $100 < 200 \text{ W/m}^2$ yang intensitasnya kurang dari 20 kali kemunculan dalam setahun. Sedangkan *range* radiasi tertinggi yang ditangkap adalah $700 \text{ W/m}^2 > 800 \text{ W/m}^2$. Namun selama tahun tahun *range* radiasi tersebut juga kurang dari 20 kali kemunculan. Dari rata-rata setiap harinya pada tahun 2015 radiasi yang ada pada lokasi sekian yakni PJB-UP Paiton tidak ada yang mencapai dari 800 W/m^2 . Untuk lebih memudahkan dalam pembacaan maka data digrafikkan dalam rata-rata setiap bulan.



Gambar 4.11 Grafik radiasi rata-rata setiap bulan

Pada Gambar 4.11 dalam plotting grafik ketiga satelit menunjukkan data yang kurang lebih tidak jauh berbeda. Pada bulan Januari ketiga satelit menunjukkan rata-rata radiasi yang diterima berkisar diantara $300\text{-}350\text{ W/m}^2$. Pada bulan Februari tidak jauh berbeda dengan Januari, radiasi berkisar $300\text{-}350\text{ W/m}^2$. Namun pada bulan Februari cenderung lebih tinggi intensitasnya. Bulan Maret radiasi meningkat mendekati 400 W/m^2 . Sementara bulan April-Mei tahun 2015 berada dirata-rata 400 W/m^2 . Dari bulan Mei ke Juni tahun 2015 terjadi peningkatan rata-rata radiasi yang diterima. Juni mendekati 500 W/m^2 . Juni hingga September terjadi peningkatan radiasi perlahan-lahan. Hingga pada bulan September merupakan radiasi tertinggi rata-rata yang diterima yakni berkisar $550\text{-}600\text{ W/m}^2$. Kemudian bergeser ke Oktober hingga Desember tahun 2015 terjadi penurunan rata-rata radiasi. Hal ini dapat disebabkan karena iklim yang terjadi. Dimana bulan Oktober adalah musim penghujan pada daerah tropis termasuk di wilayah Probolinggo. Untuk lebih jelas dalam pembacaan grafik pada Gambar 4.8, maka data akan dimuat kedalam tabel seperti yang tampak pada Tabel 4.5. Pada tabel ini digunakan untuk membaca nilai radiasi yang lebih jelas nilai dari ketiga satelit yang diperoleh. Karena data yang dihasilkan oleh ketiga satelit tidak jauh berbeda maka ketiganya dirata-rata menjadi satu. Kemudian dalam tabel terlihat bahwa bulan Januari memiliki rata-rata radiasi terkecil yakni 331 W/m^2 sedangkan tertinggi pada

bulan September $597,6 \text{ W/m}^2$. Radiasi ini belum terpengaruh oleh *diffuse radiation*.

Tabel 4.5 Radiasi rata-rata setiap bulan dari tiga satelit

Bulan	NASA (W/m^2)	PVGIS (W/m^2)	SODA (W/m^2)	Rata-rata (W/m^2)
Januari	332	329	332	331
Februari	347	342	349	346
Maret	376	379	371	375,3333
April	408	408	409	408,3333
Mei	411	413	414	412,6667
Juni	485	486	482	484,3333
Juli	532	529	533	531,3333
Agustus	572	574	575	573,6667
September	599	602	592	597,6667
Oktober	550	551	551	550,6667
Nopember	457	492	476	475
Desember	356	360	363	359,6667

Radiasi hambur (*Diffuse Radiation*) radiasi ini merupakan radiasi matahari yang datang ke permukaan bumi setelah terjadi perubahan arah. Hal ini disebabkan

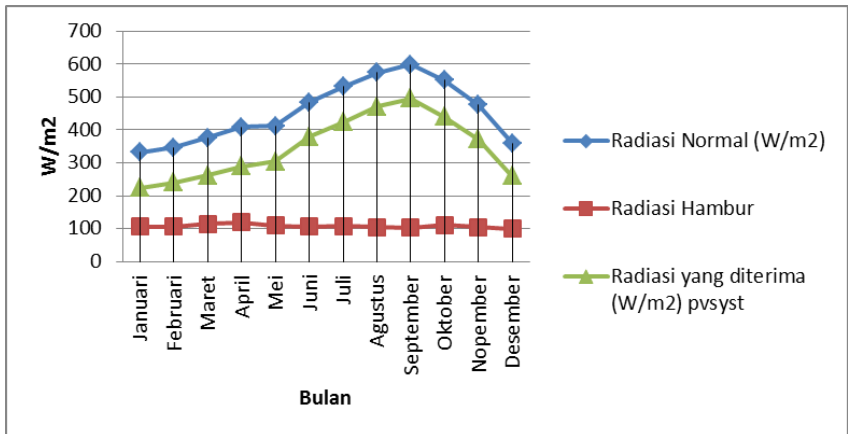
oleh refleksi dan hamburan oleh atmosfer. Radiasi difuse akan selalu ada pada saat langit terang tak berawan, karena partikel air dan zat endapan di langit akan menghamburkan radiasi matahari. Pada saat awan tebal semua radiasi mencapai bumi adalah radiasi *diffuse*.

Tabel 4.6 Radiasi hambur tiap bulan dalam satu tahun
(selama tahun 2015)

Bulan	Difuse radiasi (W/m ²)
Januari	106,7
Februari	105,7
Maret	114,1
April	118,6
Mei	109,4
Juni	105,6
Juli	108,1
Agustus	103,6
September	102,1
Oktober	111,6

Nopember	103,6
Desember	99,3

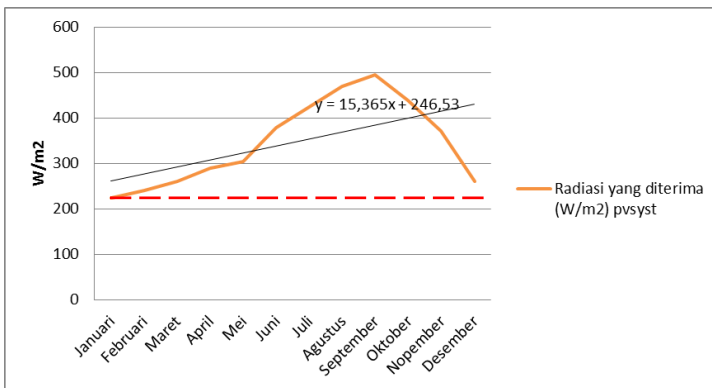
Jadi yang pertama radiasi atau yang biasa disebut *direct radiation* (radiasi normal) tidak 100% nilai tersebut yang dapat ditangkap oleh modul surya. Namun harus melewati berbagai macam hambatan yang menyebabkan nilai radiasi tersebut berkurang. Pada lokasi tersebut *diffuse radiation* jika rata-rata dalam setahun adalah 107 W/m^2 . Akibatnya setiap bulan rata-rata radiasi berkurang sekitar 30%. Nilai tersebut masih belum dikurangi dengan spesifikasi bahan yang digunakan pada modul PV. Maka radiasi yang dapat ditangkap oleh panel berkurang sangat besar dari radiasi normalnya (*direct radiation*).



Gambar 4.12 Grafik Radiasi yang diterima setelah pengaruh dari *diffuse radiation*

Garis hijau pada Gambar 4.12 adalah garis radiasi yang ditangkap oleh panel setelah melewati hambatan *diffuse radiation*. Sedangkan garis biru adalah *direct radiation*. Dengan pengurangan akibat adanya hamburan maka radiasi

yang tertinggi yakni pada bulan September yang dapat menangkap radiasi sebesar 490 W/m^2 mendekati 500 W/m^2 .



Gambar 4.13 Radiasi rata-rata tiga satelit yang dapat diterima panel

Gambar 4.13 garis yang menyajikan radiasi yang dapat diterima oleh akibat efek *diffuse radiation*. Sedangkan garis merah putus-putus adalah radiasi yang aman yang dihasilkan setiap bulannya adalah lebih dari 200 W/m^2 . Apabila didekati model matematis maka dapat dengan persamaan :

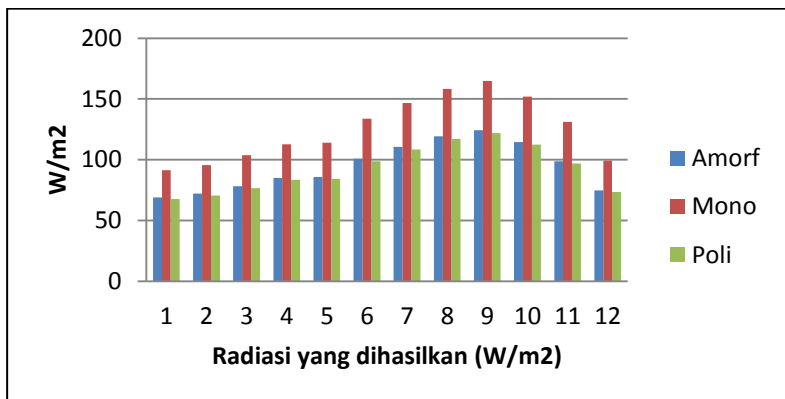
$$y = 15,365x + 246,53$$

4.4 Analisa Jenis Bahan terhadap Keluaran PV

Dari jenis bahan PV yang dipilih dengan tingkat efisiensi yang beda didasari penelitian sebelumnya diambil dari penelitian yang paling PV maka efisiensi dihasilkan dari banyak penelitian adalah :

Tabel 4.7 Jenis PV dan efisiensinya

Jenis	Efisiensi
Amorphous	20,8%
Polikristal	20,4%
Monokristal	27,6%

**Gambar 4.14** Radiasi setelah dipengaruhi oleh efisiensi bahan

Maka dapat diambil kesimpulan bahwa bahan pv yang paling bagus dari segi efisiensi adalah jenis bahan mono kristal kemudian amorf lalu polikristal.

4.5 Konversi Energi

Jika ditinjau dari keseluruhan aspek, radiasi yang dapat ditangkap kemudian dihasilkan di lokasi tersebut setelah melewati *diffuse radiation*, iklim yakni kecepatan angin, lalu pemilihan bahan PV

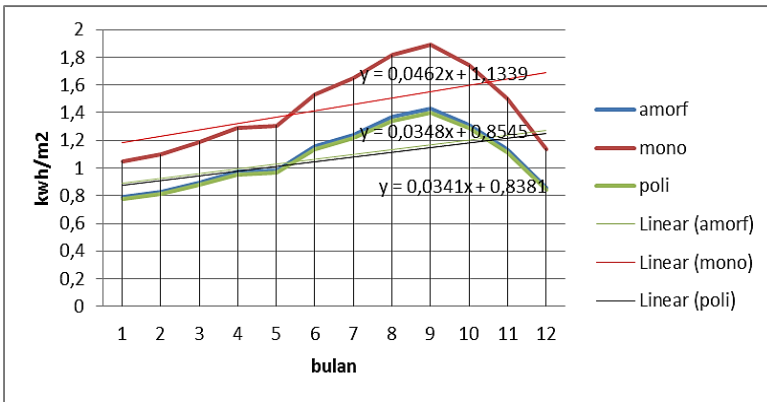
Tabel 4.8 Daya yang dihasilkan pada 12 jam/hari

Bulan	amorf (kWh/m ²)	mono (kWh/m ²)	poli (kWh/m ²)
Jan	0,789824	1,048036	0,774635
Feb	0,825617	1,09553	0,80974
Mar	0,895611	1,188407	0,878388
Apr	0,974355	1,292894	0,955618
Mei	0,984695	1,306615	0,965759
Jun	1,155704	1,533531	1,133479
Jul	1,241331	1,64715	1,217459
Agu	1,36887	1,816385	1,342545
Sep	1,426138	1,892375	1,398712
Okt	1,313988	1,743561	1,288719
Nop	1,133434	1,503979	1,111637
Des	0,858228	1,138803	0,841724
Total	12,9	17,2	12,7
Rata-rata	1,05	1,41	1,05

Merujuk pada Tabel 4.8 dimana daya yang dihasilkan tertinggi oleh ketiga jenis bahan PV adalah bulan September dengan bahan monokristal dapat menghasilkan daya $1,89 \approx 1,9 \text{ kWh/m}^2$. Pada

sistem perhitungan ini diasumsikan bahwa PLTS tidak menggunakan baterai. Maka perhitungan pengisian daya yakni 12 jam. Maka potensi listrik yang dapat dihasilkan oleh Paiton pada titik tersebut yakni untuk jenis bahan amorf ($12,9 \text{ kWh/m}^2$ per tahun), untuk jenis monokristal ($17,2 \text{ kWh/m}^2$ per tahun), sedangkan untuk jenis polikristal sebesar ($12,7 \text{ kWh/m}^2$ per tahun).

Apabila didekati dengan persamaan linier maka seperti yang terlihat pada Gambar 4.15



Gambar 4.15 daya yang dihasilkan jika didekati persamaan linier

Untuk memperlihatkan ketersediaan lahan dengan potensi energi yang dihasilkan oleh panel surya ditunjukkan pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Energi yang dihasilkan dengan luas lahan tertentu

Luas Lahan (m^2)	Energi yang dihasilkan oleh jenis Amorf	Energi yang dihasilkan oleh jenis Monokristal	Energi yang dihasilkan oleh jenis Polikristal

	(kWh/m ²)	(kWh/m ²)	(kWh/m ²)
10m x 20m	2580	3440	2540
20m x 20m	5160	6880	5080
20m x 30m	7740	10320	7620
30m x 30m	11610	15480	11430
30m x 40m	15480	20640	15240

Tabel 4.9 asumsi jika semua lahan dimanfaatkan secara optimal. Namun dengan lokasi tertentu untuk merencanakan suatu PLTS perlu diperhatikan parameter yang lain artinya nilai yang ditunjukkan masih akan berkurang beberapa parameter lainnya. Dengan mengetahui potensi energi yang dihasilkan artinya PLTU Paiton dapat merencanakan PLTS tersebut baik dengan dua pendekatan *supply side* maupun *demand side*.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

LAMPIRAN A RADIASI MATAHARI

Januari	nasap	vgis	bmkg	Februari	nasa	ovgis	omkg
01/01/2015	186	194	163	01/02/2015	269	259	237
02/01/2015	250	218	203	02/02/2015	234	237	411
03/01/2015	293	238	241	03/02/2015	319	352	340
04/01/2015	266	256	279	04/02/2015	364	366	378
05/01/2015	298	272	316	05/02/2015	441	277	490
06/01/2015	325	301	351	06/02/2015	448	288	312
07/01/2015	387	305	384	07/02/2015	276	296	331
08/01/2015	310	318	315	08/02/2015	203	304	348
09/01/2015	345	354	343	09/02/2015	244	311	287
10/01/2015	339	325	370	10/02/2015	388	347	305
11/01/2015	380	332	394	11/02/2015	356	322	268
12/01/2015	343	338	316	12/02/2015	334	326	412
13/01/2015	394	344	335	13/02/2015	367	330	432
14/01/2015	350	348	352	14/02/2015	335	335	367
15/01/2015	310	352	367	15/02/2015	366	337	368
16/01/2015	362	355	380	16/02/2015	360	338	378
17/01/2015	366	357	390	17/02/2015	410	437	374
18/01/2015	350	359	380	18/02/2015	440	335	334
19/01/2015	391	378	375	19/02/2015	315	333	290
20/01/2015	379	359	359	20/02/2015	398	368	324
21/01/2015	310	357	311	21/02/2015	393	466	447
22/01/2015	323	355	352	22/02/2015	421	482	288
23/01/2015	328	352	312	23/02/2015	358	317	326
24/01/2015	326	358	340	24/02/2015	333	311	289
25/01/2015	314	344	353	25/02/2015	346	386	378
26/01/2015	361	338	317	26/02/2015	386	388	388
27/01/2015	435	412	425	27/02/2015	305	377	318
28/01/2015	345	325	325	28/02/2015	306	337	355
29/01/2015	188	317	204				
30/01/2015	315	318	314				
31/01/2015	421	428	426				
Rata-rata	332	329	332	Rata-rata	347	342	349

Maret	nasa	pvgis	bmkg	April	nasa	pvgis	bmkg
01/03/2015	404	480	460	01/04/2015	326	331	335
02/03/2015	481	477	458	02/04/2015	340	360	350
03/03/2015	430	474	481	03/04/2015	363	384	376
04/03/2015	354	294	353	04/04/2015	411	406	415
05/03/2015	319	311	451	05/04/2015	433	424	442
06/03/2015	418	325	467	06/04/2015	418	440	428
07/03/2015	290	338	316	07/04/2015	460	454	478
08/03/2015	402	450	471	08/04/2015	483	481	496
09/03/2015	284	360	401	09/04/2015	505	501	520
10/03/2015	392	368	394	10/04/2015	528	522	543
11/03/2015	325	376	387	11/04/2015	550	542	566
12/03/2015	402	382	380	12/04/2015	572	562	589
13/03/2015	383	388	373	13/04/2015	395	383	313
14/03/2015	422	374	366	14/04/2015	417	403	436
15/03/2015	412	382	360	15/04/2015	319	321	334
16/03/2015	412	399	353	16/04/2015	321	389	322
17/03/2015	373	401	356	17/04/2015	344	345	367
18/03/2015	412	388	340	18/04/2015	403	404	406
19/03/2015	414	386	333	19/04/2015	445	415	408
20/03/2015	410	401	325	20/04/2015	467	458	410
21/03/2015	413	400	319	21/04/2015	510	498	488
22/03/2015	435	401	412	22/04/2015	426	436	406
23/03/2015	339	314	305	23/04/2015	460	475	456
24/03/2015	354	396	299	24/04/2015	412	414	412
25/03/2015	346	392	292	25/04/2015	419	453	460
26/03/2015	340	388	284	26/04/2015	349	392	408
27/03/2015	285	318	377	27/04/2015	359	412	401
28/03/2015	360	370	370	28/04/2015	313	314	316
29/03/2015	337	342	263	29/04/2015	267	216	231
30/03/2015	312	348	378	30/04/2015	221	118	146
31/03/2015	389	340	378				
Rata-rata	376	379	371	Rata-rata	408	408	409

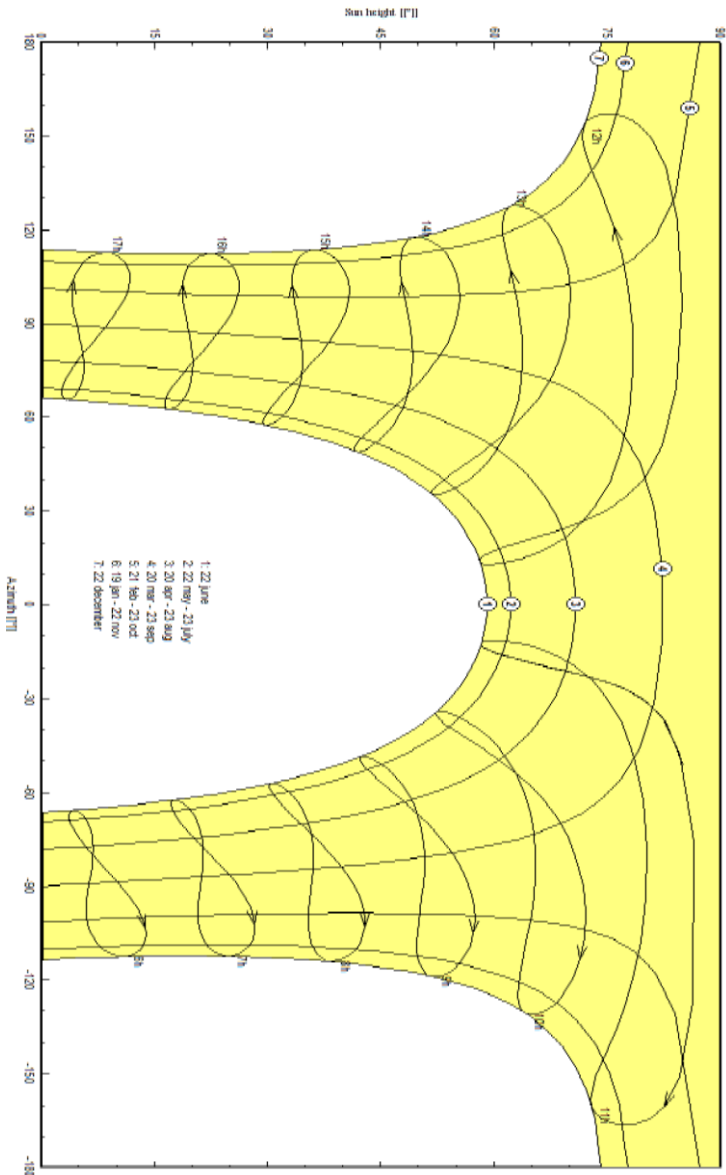
Mei	nasa	pv	gis	omkg	Juni	nasa	pv	gis	omkg
01/05/2015	432	427	428		01/06/2015	409	444	428	
02/05/2015	345	341	339		02/06/2015	437	472	437	
03/05/2015	483	470	465		03/06/2015	465	463	465	
04/05/2015	440	488	420		04/06/2015	560	516	518	
05/05/2015	424	426	430		05/06/2015	362	532	534	
06/05/2015	411	416	410		06/06/2015	415	425	424	
07/05/2015	396	404	401		07/06/2015	585	550	401	
08/05/2015	437	421	437		08/06/2015	558	564	537	
09/05/2015	497	482	488		09/06/2015	499	479	488	
10/05/2015	277	260	255		10/06/2015	475	586	520	
11/05/2015	229	238	246		11/06/2015	330	494	490	
12/05/2015	291	290	294		12/06/2015	536	425	294	
13/05/2015	240	251	258		13/06/2015	606	612	616	
14/05/2015	380	450	460		14/06/2015	610	615	615	
15/05/2015	420	422	462		15/06/2015	478	417	462	
16/05/2015	438	473	464		16/06/2015	697	618	678	
17/05/2015	412	425	466		17/06/2015	623	618	616	
18/05/2015	456	452	448		18/06/2015	637	617	628	
19/05/2015	485	450	471		19/06/2015	389	427	471	
20/05/2015	412	418	410		20/06/2015	513	512	514	
21/05/2015	441	463	475		21/06/2015	444	426	475	
22/05/2015	444	459	467		22/06/2015	468	462	467	
23/05/2015	446	453	439		23/06/2015	285	294	295	
24/05/2015	421	426	428		24/06/2015	598	586	587	
25/05/2015	501	437	483		25/06/2015	592	574	584	
26/05/2015	476	446	485		26/06/2015	474	450	485	
27/05/2015	570	516	466		27/06/2015	560	535	548	
28/05/2015	447	403	363		28/06/2015	563	526	536	
29/05/2015	308	488	391		29/06/2015	414	397	391	
30/05/2015	578	470	393		30/06/2015	447	441	444	
31/05/2015	210	250	395						
Rata-rata	411	413	414		Rata-rata	485	486	482	

Juli	nasap	ovgis	bmkg	Agustus	nasap	ovgis	bmkg
01/07/2015	436	444	442	01/08/2015	649	648	649
02/07/2015	478	472	476	02/08/2015	433	434	434
03/07/2015	568	492	548	03/08/2015	453	544	499
04/07/2015	536	516	528	04/08/2015	549	550	550
05/07/2015	525	532	529	05/08/2015	670	668	669
06/07/2015	287	285	289	06/08/2015	686	687	687
07/07/2015	508	550	534	07/08/2015	554	556	555
08/07/2015	531	564	547	08/08/2015	604	605	605
09/07/2015	572	576	574	09/08/2015	475	477	476
10/07/2015	589	586	587	10/08/2015	457	458	458
11/07/2015	218	219	223	11/08/2015	526	528	527
12/07/2015	766	761	764	12/08/2015	485	484	487
13/07/2015	384	386	385	13/08/2015	630	632	631
14/07/2015	714	708	710	14/08/2015	442	446	444
15/07/2015	692	686	691	15/08/2015	466	464	465
16/07/2015	613	618	616	16/08/2015	593	591	592
17/07/2015	452	448	450	17/08/2015	679	681	680
18/07/2015	382	417	466	18/08/2015	272	270	271
19/07/2015	635	615	613	19/08/2015	403	402	403
20/07/2015	485	612	621	20/08/2015	529	530	530
21/07/2015	308	312	321	21/08/2015	676	677	677
22/07/2015	511	601	608	22/08/2015	733	698	716
23/07/2015	742	742	744	23/08/2015	682	690	686
24/07/2015	608	586	589	24/08/2015	606	680	643
25/07/2015	343	574	519	25/08/2015	587	669	628
26/07/2015	389	450	467	26/08/2015	661	656	659
27/07/2015	655	535	589	27/08/2015	620	641	631
28/07/2015	558	516	514	28/08/2015	647	623	635
29/07/2015	659	496	491	29/08/2015	651	620	663
30/07/2015	677	472	470	30/08/2015	637	603	634
31/07/2015	659	603	607	31/08/2015	690	579	635
Rata-rata	532	528	533	Rata-rata	572	574	575

September	nasa	ovgis	bmkg	Oktober	nasa	ovgis	bmkg
01/09/2015	686	684	688	01/10/2015	246	606	426
02/09/2015	729	728	731	02/10/2015	132	729	432
03/09/2015	638	639	642	03/10/2015	641	568	606
04/09/2015	736	735	741	04/10/2015	403	736	570
05/09/2015	657	658	659	05/10/2015	305	525	415
06/09/2015	628	693	664	06/10/2015	155	287	222
07/09/2015	706	706	718	07/10/2015	547	508	528
08/09/2015	716	718	719	08/10/2015	592	531	563
09/09/2015	724	728	728	09/10/2015	627	724	676
10/09/2015	654	656	656	10/10/2015	622	654	638
11/09/2015	741	743	743	11/10/2015	696	218	458
12/09/2015	726	749	739	12/10/2015	653	766	710
13/09/2015	384	384	387	13/10/2015	519	384	453
14/09/2015	714	704	759	14/10/2015	540	714	624
15/09/2015	692	690	694	15/10/2015	594	692	643
16/09/2015	613	614	615	16/10/2015	546	613	581
17/09/2015	452	456	456	17/10/2015	631	452	542
18/09/2015	382	380	389	18/10/2015	683	382	533
19/09/2015	635	636	634	19/10/2015	695	635	665
20/09/2015	485	484	486	20/10/2015	644	485	565
21/09/2015	176	177	178	21/10/2015	680	176	428
22/09/2015	511	514	514	22/10/2015	608	511	560
23/09/2015	712	736	736	23/10/2015	684	742	714
24/09/2015	608	609	715	24/10/2015	615	608	612
25/09/2015	343	346	350	25/10/2015	659	343	502
26/09/2015	389	388	404	26/10/2015	640	389	516
27/09/2015	655	644	657	27/10/2015	666	655	662
28/09/2015	558	559	560	28/10/2015	679	558	620
29/09/2015	659	659	666	29/10/2015	556	659	610
30/09/2015	657	656	658	30/10/2015	306	677	493
				31/10/2015	490	546	519
Rata-rata	599	602	590	Rata-rata	550	551	551

Nopember	nasa	pvgis	omkg	Desember	nasa	pvgis	omkg
01/11/2015	570	400	485	01/12/2015	394	305	351
02/11/2015	428	413	422	02/12/2015	435	310	374
03/11/2015	496	430	464	03/12/2015	318	314	316
04/11/2015	516	444	481	04/12/2015	404	323	366
05/11/2015	359	457	410	05/12/2015	219	331	275
06/11/2015	416	468	443	06/12/2015	415	338	377
07/11/2015	592	478	536	07/12/2015	420	344	382
08/11/2015	607	486	548	08/12/2015	274	349	312
09/11/2015	664	493	580	09/12/2015	469	354	412
10/11/2015	622	499	562	10/12/2015	266	357	312
11/11/2015	589	505	548	11/12/2015	422	360	392
12/11/2015	589	509	550	12/12/2015	392	366	380
13/11/2015	664	512	589	13/12/2015	202	405	305
14/11/2015	540	514	539	14/12/2015	395	406	402
15/11/2015	568	516	548	15/12/2015	127	408	268
16/11/2015	430	517	475	16/12/2015	122	410	268
17/11/2015	463	517	491	17/12/2015	199	416	309
18/11/2015	561	520	542	18/12/2015	542	420	482
19/11/2015	566	522	546	19/12/2015	474	422	449
20/11/2015	429	523	476	20/12/2015	422	415	420
21/11/2015	382	544	464	21/12/2015	416	410	414
22/11/2015	181	545	364	22/12/2015	160	390	276
23/11/2015	387	550	470	23/12/2015	515	387	452
24/11/2015	586	545	566	24/12/2015	621	382	503
25/11/2015	366	530	448	25/12/2015	460	381	421
26/11/2015	290	490	391	26/12/2015	251	375	315
27/11/2015	104	488	297	27/12/2015	155	331	246
28/11/2015	223	457	341	28/12/2015	411	323	367
29/11/2015	166	444	305	29/12/2015	298	314	306
30/11/2015	344	430	387	30/12/2015	317	304	311
				31/12/2015	523	292	409
Rata-rata	457	492	476	Rata-rata	356	363	360

LAMPIRAN C SUN PATH PADA 7° LINTANG SELATAN



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada pengerjaan tugas akhir ini diperoleh beberapa kesimpulan, antara lain sebagai berikut:

- a. Potensi energi surya yang ada di Paiton dalam setahun rata-rata mendapatkan radiasi 453 W/m^2 untuk yang *direct radiation*. Sedangkan radiasi yang dapat diterima panel setelah dikurangi *diffuse radiation* untuk dikonversi ke daya listrik sebesar $4156,8 \text{ W/m}^2$ selama setahun atau 346 W/m^2 rata-rata tiap bulannya.
- b. Parameter kemiringan panel surya 10^0 menghadap ke-utara dengan jarak antar PV string sebesar 2 meter untuk menghindari loss akibat bayangan.
- c. Kecepatan tiup angin mengurangi radiasi yang ditangkap sebesar 4,4% tiap bulan (kecuali Juli sebesar 6,4%).
- d. Total daya yang dapat dihasilkan dalam waktu satu tahun adalah $12,9 \text{ kWh/m}^2$ (amorf), $17,2 \text{ kWh/m}^2$ (monokristal), $12,7 \text{ kWh/m}^2$ (polikristal) dengan asumsi efisiensi jenis bahan masing-masing 20,8% ; 27,6% ; 20.4% .

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah untuk lebih membahas lebih dalam pengaruh ketinggian matahari, memperhitungkan parameter teknis serta membandingkan potensi pada tempat yang lain. Serta penelitian studi kelayakan pada lokasi tersebut dengan metode *supply side* atau *demand side*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Altas,H., Sharaf, M. (2011). A Photovoltaic Array Simulation Model for Matlab-Simulink GUI Enviroment.
- Bakhsh,Sunila. (2015). Efficiency Analisys of Polycrystalline and Amorphous Solar Cells In Cloudy Sky Condition of Quetta. Balochistan University of Information Technology Engineering and Management Science,Quetta. Pakistan.
- Dobrzanski,L.A.,Szczesna.,Szindler.,Drygala.,(2013). Electrical Propertis mono- and policyralline silicon solar cells.Institute of Engineering Materials and Biomaterials,Silesian University of Technology. Gwice. Poland.
- Gatot (2011). Perancangan Sistem Hibrid PLTS dengan Jala-Jala Listrik PLN untuk Rumah Perkotaan
- Goverde dkk (2015). Spatial and temporal analysis of wind effects on PV module temperature and performance. Geography Research Group, KU Leuven, Department of Earth and Environmental Sciences, Celestijnenlaan 200E, 3001 Heverlee. Belgium
- Herawati, A. (2009). Studi Kestabilan *Photovolyaic* pada Pembangkit Tersebar Berbasis Pembangkit Angin, *Photovoltaic* dan Pembangkit Diesel Terhadap Gangguan di Sistem Tenaga. Universitas Bengkulu. Bengkulu.
- <http://www.esdm.go.id/berita/56-artikel/3347-pemanfaatanenergi-surya-diindonesia.html?tmpl=component&print=1&page=diakses> 18 Maret 2016 pukul 09.00.
- <http://www.esdm.go.id/berita/323-energi-baru-dan-terbarukan/2846-energi-surya-dan-pengembangannya-di-indonesia.html> diakses 18 Maret 2016 pukul 10.00
- <http://hargabahanbangunan.co/harga-kabel-listrik-terbaru.html> diakses 1 Juni 2016 pukul 14.00.
- Kunaifi (2010). Program Homer Untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Hibrida di Propinsi Riau. Pekanbaru.
- Kementrian ESDM (2010) Kajian Indonesia Energy Outlook.

- Mohamad, Y. Pemetaan Potensi Energi Surya pada Lahan Potensial Agropolitan di Propinsi Gorontalo. Teknik Elektro Universitas Negeri Gorontalo.
- Muchlis (2003). Pengembangan Sistem Kelistrikan dalam Menunjang Pembangunan Nasional Jangka Panjang. Proyeksi kebutuhan listrik PLN tahun 2003-2020
- Miller Alasdair.,Lumby Ben. (2012) Utility Scale Solar Power Plants A Guide For Developers and Investors 38-40. International Finance Corporation.
- Nazif, H. (2015). Pemodelan dan Simulasi PV-Inveter Terintegrasi Ke Grid dengan Kontrol Arus “Ramp-Comparison of Current Control. Teknik Elektro,Fakultas Teknik, Universitas Andalas.
- <http://panelsuryaindonesia.com/peralatan-panel-surya/32-panel-surya> diakses pada tanggal 25 Juni 2016
- Pangestuningtyas, D. Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya Terhadap Radiasi Matahari yang Diterima oelh Panel Surya Tipe *Array* Tetap. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Pratama, F.P. (2012). Sistem Pembangkit Listrik Hibrida PV-Diesel Microgrid Untuk Daerah Terisolasi Tanpa Menggunakan Media Penyimpanan Energi. Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Rif’an,M.(2012). Optimasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Matahari di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya. Malang.
- Salmi, T. (2012). Matlab/Simulink Based Modelling of Solar Photovoltaic Cell. National Engineering School of Sfax. Tunisia.
- Setiawan (2014) .Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Satu MWP Terinterkoneksi Jaringan di Kayubihi, Bangli.
- Shukla, A. (2015). Modeling and Simulation of Solar PV Module on Matlab/Simulink. Lakshmi Narain College of Technology,Bhopal. India.

- Sunaryo (2014). Analisis Daya Listrik yang Dihasilkan Panel Surya Ukuran 216 cm x 121 cm Berdasarkan Intensitas Cahaya. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Riau. Riau.
- Suriadi., Syukri Mahdi. (2010). Perencanaan Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu Menggunakan PVSYST Pada Komplek Perumahan di Banda Aceh. Jurusan Teknik Elektro, Universitas Syiah Kuala. NAD.
- Venkateswarlu, G. (2013). Simscape Model of Photovoltaic Cell.
- Wulandari, T.I. (2010). Rancang Bangun Sistem Penggerak Pintu Air dengan Memanfaatkan Energi Alternatif Matahari. Jurusan Teknik Elektro Industri PPNS. Surabaya
- Yandri, V.R. Prospek Pengembangan Energi Surya Untuk Kebutuhan Listrik di Indonesia. Universitas Andalas. Padang.
- Zaenab (2009). Pengontrolan Motor Induksi Tiga Fasa dengan Inverter Berbasis Mikrokontroler AT89S51. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Zobaa Ahmed., Bansal Ramesh. (2011). Handbook of Renewable Energy Technology. World Scientific. Singapore

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di kota Nganjuk, 3 September 1994. Penulis menempuh pendidikan di SDN Ganung Kidul 1 Nganjuk lulus tahun 2007, SMP Negeri 1 Nganjuk lulus tahun 2010, dan SMA Negeri 1 Kediri menempuh kelas akselerasi lulus tahun 2012. Pendidikan sarjana ditempuh di Jurusan Teknik Fisika ITS melalui jalur SNMPTN-Undangan 2012. Selama aktif menjadi mahasiswa, penulis bergabung dalam organisasi Unit Kegiatan Mahasiswa Bulutangkis sebagai wakil ketua tahun 2013-2014 serta tahun 2015-2015 sebagai Ketua Umum dan menjadi volunter SOSMAS BEM ITS tahun 2013.. Selain aktif berorganisasi, penulis juga aktif dalam kegiatan akademik sebagai asisten Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan selama periode 2013 – 2015. Penulis mempunyai pengalaman *internship program* selama 1 bulan di PT. Dirgantara Indonesia (DI) Persero serta 1 bulan di Joint Operating Body Pertamina-Petrochina East Java (JOB P-PEJ). Bidang minat penulis adalah energi terbarukan, rekayasa energi, dan pengkondisian lingkungan. Penulis dapat dihubungi melalui email izefkurniawan@gmail.com.