

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

Izef Aulia Kurniawan, Harsono Hadi, Ph.D. dan Ir. Sarwono, M.M.

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: izfekurniawan@gmail.com

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/m². Sedangkan yang dapat di tangkap panel akibat radiasi hambur rata-rata sebesar 107W/m² per bulan adalah 346 W/m² artinya dalam setahun menghasilkan 4156,8 W/m². 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 memperngaruhi 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 100 dengan azimuth 180o. Perhitungan potensi energi listrik yang dihasilkan dari keseluruhan parameter yakni polikristal (efisiensi 20,7%) menghasilkan energi listrik 12,7 kWh/m², monokristal (efisiensi 27,6%) menghasilkan 17,2 kWh/m² sedangkan amorf (efisiensi 20,9%) menghasilkan 12,9 kWh/m² semua dalam satu tahun.*

Kata Kunci — *PLTS, PV, potensi energi surya, radiasi, iklim.*

I. PENDAHULUAN

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 di Indonesia 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.

II. METODE PENELITIAN

A. Studi Literatur

Literatur yang menjadi acuan atau referensi dalam penulisan tugas akhir ini adalah literatur terkait renewable 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 pvsyst untuk mendapatkan data lain terkait penelitian ini.

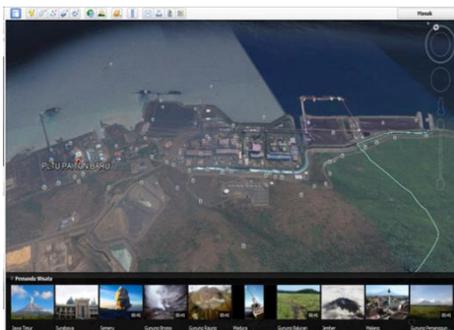
B. Pengambilan Data

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 1 Pengambilan gambar dilokasi Paiton

Gambar 1 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 2. Interface pada Google Earth

Gambar 2 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 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 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/m²) : 100-700 W/m²

Luas Lahan : buangan sisa hasil pembakaran

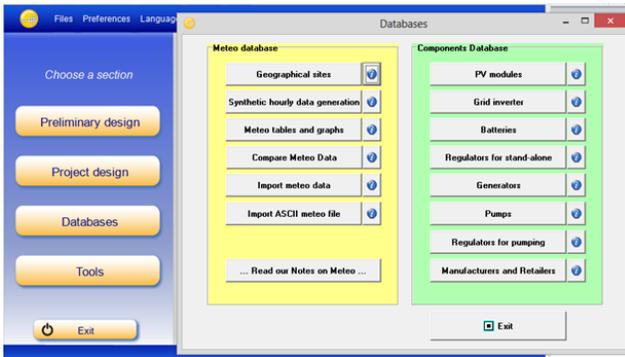
Radiasi matahari diukur melalui informasi berdasarkan letak geografis PLTU Paiton yakni :

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

Garis Bujur (longitude) : 113°43'39" East (<http://pvgis.com>)

C. Penggunaan Perangkat PVSystem

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 4 Interface pada pvsyst

Dalam penggunaan perangkat lunak ini diutamakan untuk pencarian database yang diperlukan. Gambar 4 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.

Radiasi matahari diukur melalui informasi berdasarkan letak geografis PLTU Paiton yakni :
 Garis Lintang (latitude) : 7°34'29" South
 Garis Bujur (longitude) : 113°43'39" East (<http://pvgis.com>)

D. 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 ; $-90 \leq \varphi \leq 90$. Hal ini pengujian modul surya dilakukan ditempat kampus undip semarang dengan letak geografisnya berada pada 7°LS – 110° BT.

2. Deklinasi (δ)

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

$$\delta = 23,450 \sin (260 (284 \times n)/365) , \quad (1)$$

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 :

$$\beta = \text{Tan}^{-1} (\text{Tan } \theta_z \times \cos \gamma_s) \quad (2)$$

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.

$$\omega = (ts - 12) \times 360/24, \quad ts = \text{waktu jam} \quad (3)$$

6. Sudut datang (θ)

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

$$\theta = \cos^{-1} (1 - \cos^2 \delta \times \sin^2 \omega)^{1/2} \quad (4)$$

7. Sudut zenith (θ_z)

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

$$\theta_z = \cos^{-1} (\cos \varphi \times \cos \delta \times \cos \omega + \sin \varphi \times \sin \delta) \quad (5)$$

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 :

$$\gamma_s = \sin^{-1} (\sin \theta_z [\cos \omega \times \cos \delta] / \sin \theta_z) \quad (6)$$

E. 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).

F. 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/m²) pada masing-masing satelit.

G. Jenis Bahan pada PV

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

Tabel 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 2 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.

H. Konversi Energi

Contoh spesifikasi PV 200 W sebagai berikut :

Tabel 4 Contoh Spesifikasi Photovoltaic 200 W

Maximum Power	200 W
Output Tolerance	± 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 :

$$P_{IN} = \text{Radiasi} \times A \quad (7)$$

Keluaran (Pout) :

$$P_{MAX} = V_{OC} \times I_{SC} \times FF \quad (8)$$

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 :

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_s} + 1 \right) \quad (9)$$

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

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (10)$$

Kemudian menghitung efisiensi dari PV :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100\% \quad (11)$$

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

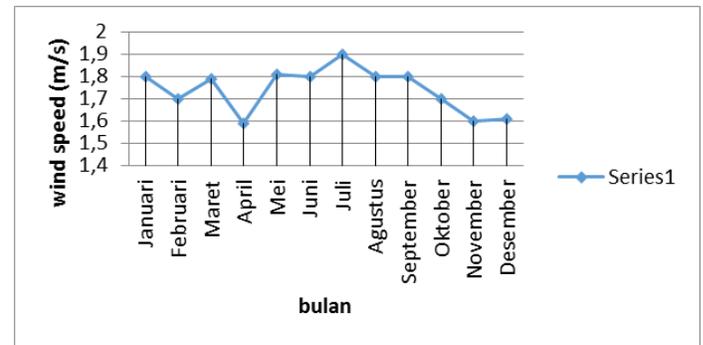
$$kwh = \frac{W}{m^2} \times \frac{\text{jam operasi}}{1000} \quad (12)$$

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Analisa Tapak

Dari beberapa faktor seperti iklim,suhu dan kecepatan angin ,maka faktor yang paling mempengaruhi adalah kecepatan angin di lokasi tersebut.

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 5 Kecepatan angin dilokasi tahun 2015

Menurut Minto-rogo, 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 110 C sedangkan untuk kecepatan angin 2 m/s menurunkan suhu permukaan sebesar 160C 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%.

B. 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)

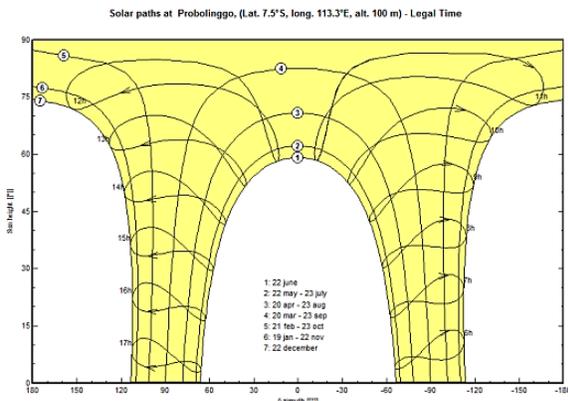
Deklinasi pada lokasi Paiton adalah :

Tabel 5 Deklinasi matahari Probolinggo

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

Menurut perhitungan yang ada pada Tabel 5 ,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 keutara 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 6 Ketinggian matahari dan sudut azimuth pada berbagai tanggal dan waktu selama tahun untuk 7°S lintang

Gambar 6 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 6 Hubungan kemiringan terhadap radiasi yang ditangkap (Pangestuningtyas,2013)

Sudut ($^{\circ}$)	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°
10	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

Tabel 6 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 7. Hubungan antara sudut kemiringan panel dan arah datangnya sinar matahari.

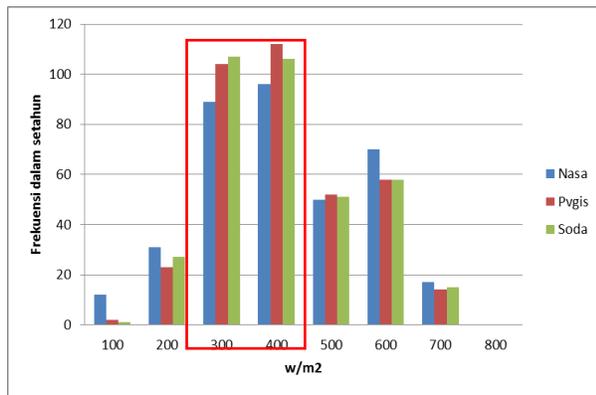
Sudut Elevasi Matahari (α°)	Pitch Length (cm)
10	196
20	146
30	128
40	125
50	113
60	108
70	104

C. 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 :

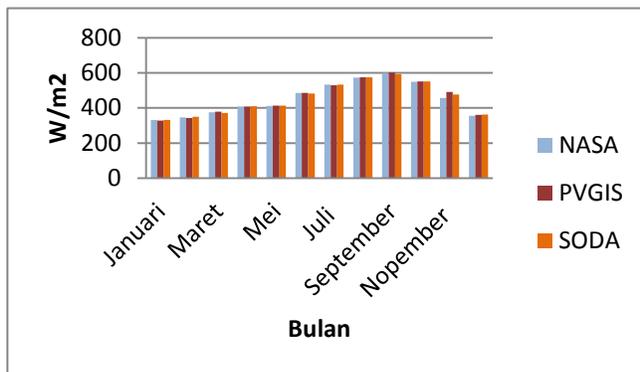
Garis Lintang (latitude) : $7^{\circ}43'11.42''$ South

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



Gambar 7 Frekuensi radiasi pada setahun

Pada Gambar 7 plotting radiasi menggunakan *office excel*. Dimana radiasi yang paling sering keluar dalam kurun waktu tahun tahun selama tahun 2015 adalah pada range $300 \text{ W/m}^2 < 400 \text{ W/m}^2 < 500 \text{ W/m}^2$.



Gambar 8 Grafik radiasi rata-rata setiap bulan

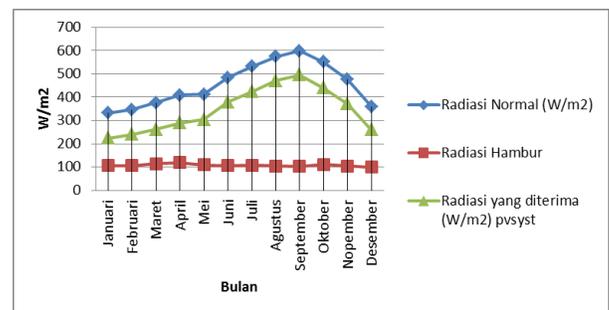
Pada Gambar 8 dalam plotting grafik ketiga satelit menunjukkan data yang kurang lebih tidak jauh berbeda. Untuk lebih jelas dalam pembacaan grafik pada Gambar 8, maka data akan dimuat kedalam tabel seperti yang tampak pada Tabel 8. Pada tabel ini digunakan untuk membaca nilai radiasi yang lebih jelas 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 8 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*.

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 9 Grafik Radiasi yang diterima setelah pengaruh dari *diffuse radiation*

Garis hijau pada Gambar 9 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 .

D. Analisa Jenis Bahan terhadap Keluaran PV

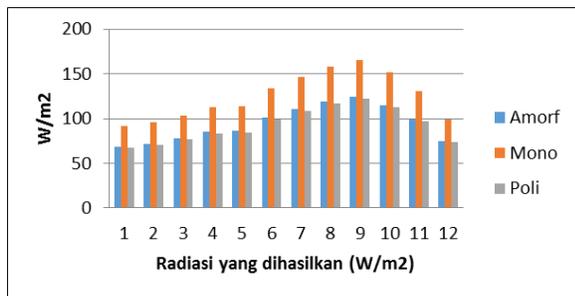
Dari jenis bahan PV yang dipilih dengan tingkat efisiensi yang beda didasari penelitian sebelumnya diambil dari penelitian yang paling PV maka efisiensi dihasilkan dari banyak penelitian adalah :

Jenis Efisiensi yang digunakan :

Amorphous 20,8%

Polikristal 20,4%

Monokristal 27,6%



Gambar 10 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.

E. 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 9 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

Tabel 10 Energi yang dihasilkan dengan luas lahan tertentu

Luas Lahan (m ²)	Energi yang dihasilkan oleh jenis Amorf (kWh/m ²)	Energi yang dihasilkan oleh jenis Monokristal (kWh/m ²)	Energi yang dihasilkan oleh jenis Polikristal (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 10 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*.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi dan analisa data yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang dapat diambil dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

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

- Potensi energi surya yang ada di Paiton dalam setahun rata-rata mendapatkan radiasi 453 W/m² untuk yang *direct radiation*. Sedangkan radiasi yang dapat diterima panel setelah dikurangi *diffuse radiation* untuk dikonversi ke daya listrik sebesar 4156,8 W/m² selama setahun atau 346 W/m² rata-rata tiap bulannya.
- Parameter kemiringan panel surya 10⁰ menghadap ke-utara dengan jarak antar PV string sebesar 2 meter untuk menghindari loss akibat bayangan.
- Kecepatan tiup angin mengurangi radiasi yang ditangkap sebesar 4,4% tiap bulan (kecuali Juli sebesar 6,4%).
- Total daya yang dapat dihasilkan dalam waktu satu tahun adalah 12,9 kWh/m² (amorf), 17,2 kWh/m² (monokristal), 12,7 kWh/m² (polikristal) dengan asumsi efisiensi jenis bahan masing-masing 20,8% ; 27,6% ; 20,4% .

V. SARAN

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah perancangan sistem PLTS yang lebih optimal dengan menggunakan generator atau dengan sistem penyimpanan serta pengembangan sistem PLTS untuk unit PLTU yg lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan yang telah mendukung kegiatan simulasi pada penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak Harsono, Ph.D dan juga Bapak Ir. Sarwono, M.M atas bimbingan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Altas, H., Sharaf, M. (2011). A Photovoltaic Array Simulation Model for Matlab-Simulink GUI Environment.
- Gatot (2011). Perancangan Sistem Hibrid PLTS dengan Jala-Jala Listrik PLN untuk Rumah Perkotaan
- Herawati, A. (2009). Studi Kestabilan *Photovoltaic* 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). Proyeksi kebutuhan listrik PLN tahun 2003-2020
- Nazif, H. (2015). Pemodelan dan Simulasi PV-Inverter Terintegrasi Ke Grid dengan Kontrol Arus "Ramp-Comparison of Current Control. Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas.
- Pangestuningtyas, D. Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya Terhadap Radiasi Matahari yang Diterima oleh 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.
- 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 Kayubih, 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.
- 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.