

Perencanaan PLTS Roof Top *On-Grid* Untuk Gedung Kantor PLTU Amurang Sebagai Upaya Mengurangi *Auxiliary Power* dan Memperbaiki Nilai *Nett Plant Heat Rate* Pembangkit

Ardian Burhandono¹, Jaka Windarta¹, Nazaruddin Sinaga²

¹Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro;

²Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro;

Email : ardianburhandono@students.undip.ac.id (A.B), jakawindarta@lecturer.undip.ac.id (J.W),
nazarsinaga@lecturer.undip.ac.id (N.S);

Abstrak : Pembangkit listrik adalah kumpulan dari beberapa mesin yang sumber utamanya dari listrik tergabung dalam beberapa sistem atau sub sistem untuk menjalankan proses produksi menghasilkan energi listrik. Tidak semua listrik yang di hasilkan dari Generator disalurkan ke pelanggan namun juga ada listrik yang di pakai sendiri untuk menggerakkan motor-motor listrik atau tempat-tempat lain yang memerlukan listrik yang ada di dalam area pembangkit tersebut. Saat ini kebutuhan listrik untuk gedung kantor diambilkan dari unit pembangkit PLTU Amurang sehingga membebani *auxiliary power* pembangkit tersebut. Perencanaan pembangunan PV sel surya roof top on grid sebagai salah satu alternatif sebagai sumber energi listrik di kantor PLTU Amurang sehingga bisa mengurangi *auxiliary power* pembangkit utama dan memperbaiki *Nett Plant Heat Rate* (NPHR). Hasil perhitungan diperlukan 6 modul panel sel surya dengan nominal power per panel 300 Wp dan satu inverter kapasitas 2000 W dengan estimasi biaya Rp 71.500.000,-. Setelah pemasangan PLTS, terdapat perkiraan penghematan rata-rata 133 kWh setiap bulan dan nilai NPHR mengalami penurunan minimal 20,15 kCal/kWh setiap bulannya yang menandakan unit pembangkit utama semakin efisien.

Kata Kunci : Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Penghematan Energi Listrik, *Nett Plant Heat Rate*

Abstract : A power plant is a collection of several machines whose main source of electricity is incorporated in several systems or sub-systems to run the production process to produce electrical energy. Not all electricity generated from the generator is distributed to customers, but there is also electricity that is used alone to drive electric motors or other places that require electricity in the power plant area. Currently the electricity needs for office buildings are taken from the Amurang power plant unit, thus burdening the auxiliary power of the power plant. Planning for the construction of roof top on grid PV solar cells as an alternative as a source of electricity in the Amurang power plant office building so that it can reduce the auxiliary power of the main power plant and improve the *Nett Plant Heat Rate* (NPHR). The calculation results require 6 solar cell panel modules with a nominal power per panel of 300 Wp and one inverter with a capacity of 2000 W with an estimated cost of Rp. 71.500.000,-. After the installation of PLTS, there is an estimated average savings of 133 kWh per month and the NPHR value has decreased by at least 20.15 kCal/kWh every month which indicates that the main power generation unit is becoming more efficient.

Keywords : Solar Power Generation Electric, Energy Saving, *Nett Plant Heat Rate*

1. Pendahuluan

Pembangkit listrik adalah kumpulan dari beberapa mesin yang sumber utamanya dari listrik tergabung dalam beberapa sistem atau sub sistem untuk menjalankan proses produksi menghasilkan energi listrik (A.K. Raja, Amit Prakash Srivastava, 2006). Listrik dari hasil produksi tersebut kemudian disalurkan ke Gardu Induk milik PT PLN untuk dijual ke pelanggan. Tidak semua listrik yang dihasilkan dari Generator disalurkan ke pelanggan namun juga ada listrik yang dipakai sendiri untuk menggerakkan motor-motor listrik atau tempat-tempat lain yang memerlukan listrik yang ada di dalam area pembangkit tersebut. Pemakaian sendiri tersebut dinamakan *Auxiliary Power*. Perhitungan energi listrik yang terjual adalah produksi listrik *gross* dikurangi *auxiliary power*. Semakin tinggi penggunaan *auxiliary power* maka energi listrik yang terjual akan semakin sedikit.

Laju panas didefinisikan dalam satuan Btu/kWh (kJ/kWh) dan merupakan jumlah panas yang masuk ke dalam sistem dibagi dengan jumlah daya yang dihasilkan oleh sistem atau dikenal dengan istilah *Nett Plant Heat Rate* (NPHR) (EPRI, 2006). Pada umumnya di pembangkit listrik jumlah daya yang dihasilkan sebagian digunakan untuk pemakaian sendiri atau *auxiliary power*. Tingginya penggunaan *auxiliary power* akan berdampak terhadap beberapa hal antara lain, akan mengurangi pendapatan pembangkit listrik serta *Nett Plant Heat Rate* (NPHR) pembangkit menjadi tinggi yang menandakan performance pembangkit tersebut kurang efisien.

Gedung kantor pada perusahaan pembangkit listrik berfungsi sebagai tempat untuk mengerjakan pekerjaan-pekerjaan kantor untuk menunjang kegiatan produksi. Diperlukan listrik pada gedung tersebut untuk kelancaran pekerjaan kantor. Sumber energi listrik yang digunakan saat ini berasal dari listrik hasil produksi pembangkit utama. Listrik yang digunakan di gedung kantor tersebut dimasukkan dalam perhitungan *Nett Plant Heat Rate* (NPHR) pembangkit, sehingga peningkatan pemakaian listrik di gedung tersebut akan mempengaruhi perhitungan NPHR pembangkit.

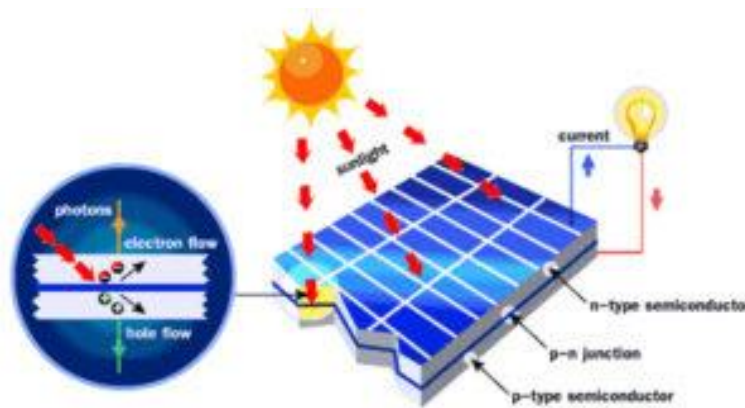
Modul PV Sel Surya saat ini telah dirancang dan dikembangkan untuk sistem PV sel surya yang terintegrasi dengan bangunan salah satunya sistem atap (Andrei et al., 2007). Di India PV sel surya digunakan sebagai energi listrik dan untuk pemurnian air yang bekerja secara *hybrid* (Vivar et al., 2010). Selain itu pada jaman modern ini PV sel surya juga di terapkan untuk pertanian seperti yang dilakukan di China (Xue, 2017). Teknologi pemanfaatan energi surya mungkin merupakan teknologi energi terbarukan yang paling berkelanjutan karena radiasi matahari terdapat di mana-mana di seluruh dunia dan emisi gas rumah kacanya sangat minim (Ogbonnaya et al., 2021).

Upaya meningkatkan penghematan pemakaian listrik di dalam pembangkit sudah dilakukan antara lain dengan cara penghematan pemakaian listrik untuk gedung kantor dan rutin pemeriksaan unjuk kerja motor-motor penggerak mesin pembangkit listrik. Berdasarkan keterangan sebelumnya penghematan pemakaian listrik di gedung kantor dapat menggunakan sistem PV sel surya sebagai energi alternatif selain dari pembangkit utama. Untuk itu akan direncanakan pembuatan pembangkit listrik atap dengan memanfaatkan atap gedung kantor. Perencanaan pembangkit listrik dari tenaga surya selain di hitung berdasarkan rumus yang ada, dan menggunakan aplikasi Pvsyst 7.0 untuk simulasi.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Prinsip Dasar PLTS

Fenomena di mana potensi listrik yang dikembangkan dari dua bahan fotoresponsif setelah disinari dengan foton, pertama kali ditunjukkan oleh fisikawan Prancis, Alexandre Edmond Becquerel, pada tahun 1839 (Ghosh & Yadav, 2021). Menurut (Khaligh & Onar, 2017) tenaga surya merupakan merupakan salah satu energi baru dan terbarukan yang bersih dan bebas emisi. Energi dari tenaga surya sudah banyak di aplikasikan salah satunya yaitu pembangkit listrik yang memanfaatkan energi surya dari matahari menjadi energi listrik. Teknologi yang banyak digunakan untuk memanfaatkan sinar matahari menjadi energi listrik adalah dengan *Photovoltaic* (PV). *Photovoltaic* adalah peralatan utama yang digunakan untuk merubah sinar matahari menjadi energi listrik (Khaligh & Onar, 2017) seperti di sajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Prinsip Kerja Konversi Energi Surya Menjadi Listrik
(<https://www.sanspower.com>)

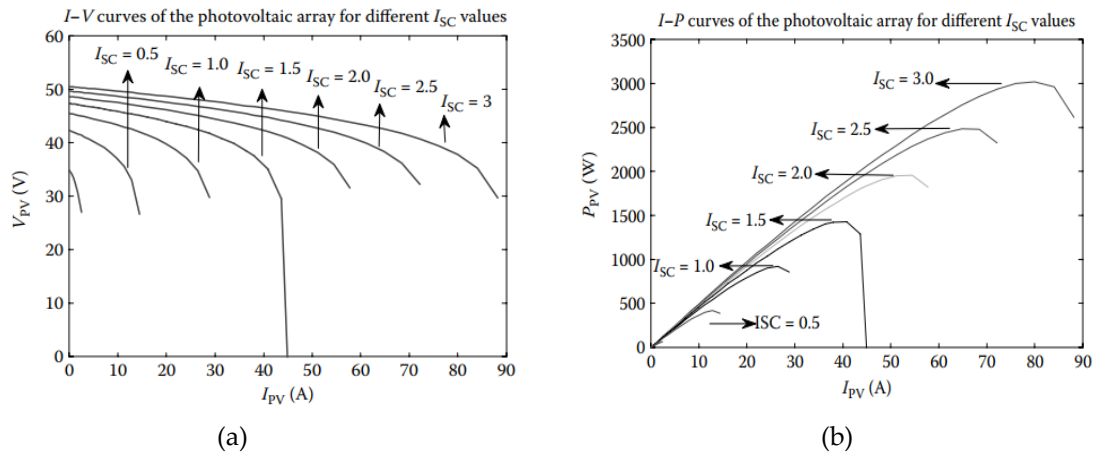
Berdasarkan besaran iradiasi sinar matahari yang di terima oleh sel surya terjadi fluktuasi karena pengaruh waktu dan tentunya akan mempengaruhi besaran tegangan, arus dan daya yang dihasilkan maka menurut (Khaligh & Onar, 2017) ada dua karakteritik yang harus diperhatikan mengenai sel surya yaitu :

1. *Short-circuit current* (I_{sc}) : untuk mengetahui arus (I) maksimum dari rangkaian sel surya dengan cara dilakukan hubung singkat antara terminal positif dengan negatif. Saat demikian tegangan menjadi nol yang menandakan tidak ada hambatan.
2. *Open-circuit voltage* (V_{oc}) : pengukuran tegangan (V) dilakukan saat rangkaian terbuka yang saat itu arus nol dan hambatan tidak terbatas.

Untuk lebih jelasnya hubungan I_{sc} , V_{oc} , dan daya dapat dilihat pada grafik seperti gambar 2.

2.2. Sistem Jaringan PLTS

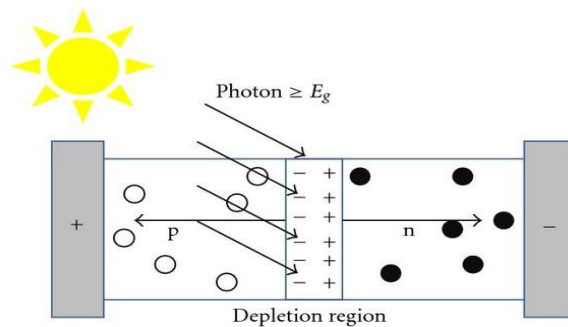
Terdapat dua sistem jaringan pada instalasi pembangkit listrik tenaga surya yaitu PLTS *on-grid* dimana PLTS ini terhubung dengan sistem jaringan perusahaan listrik negara (PLN) dan PLTS *Off-grid* adalah sistem instalasi yang berdiri sendiri dan tidak terhubung dengan jaringan PLN dan menggunakan baterai untuk menyimpan energi (Syahputra & Soesanti, 2021). PLTS *off-grid* banyak diterapkan di daerah terpencil yang belum mendapatkan aliran listrik dari perusahaan listrik negara, namun bisa juga di terapkan di perumahan.



Gambar 2. Grafik Hubungan
 (a) I – V pada Sel Surya pada Level *Short Circuit* yang Berbeda
 (b) I – P pada Sel Surya pada Level *Short Circuit* yang Berbeda
 (Khaligh & Onar, 2017)

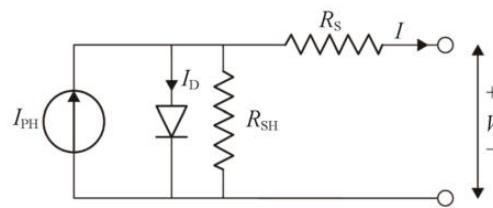
2.3. Prinsip Dasar PV Sel Surya

Photovoltaic atau PV modul adalah peralatan yang digunakan oleh pembangkit listrik tenaga surya untuk merubah energi surya menjadi energi listrik. Gambar 1 menyajikan bahwa pada PV modul terdapat tipe-P semikonduktor dan tipe-N semikonduktor. Menurut (Zhang et al., 2020) karena adanya perbedaan jumlah lubang dan kerapatan elektron bebas pada masing-masing permukaan tipe-P dan tipe-N maka dapat terbentuk medan listrik pada P-N *junction* dengan arah P menuju positif dan N menuju negatif seperti disajikan dalam gambar 3.



Gambar 3. Skema *Photovoltaic* (<https://www.hindawi.com>)

Terdapat dua model rangkaian yang biasa digunakan pada instalasi sel surya yaitu *single diode* dan dual *diode*. Gambar 4 menunjukkan rangkaian *single diode* yang pada umumnya digunakan untuk rangkaian PV sel surya. Pada rangkaian tersebut terdapat dioda yang berfungsi mencegah adanya arus balik sehingga modul sel surya selalu dalam kondisi aman. I_{PH} adalah arus yang dikeluarkan dari modul sel surya.



Gambar 4. Rangkaian sel surya (Zhang et al., 2020)

Menurut (Zhang et al., 2020), pada gambar 4 resistor R_s dan R_{SH} dapat diabaikan sehingga persamaan 1, I dapat ditentukan sebagai berikut :

$$I = I_{PH} - I_D \quad (1)$$

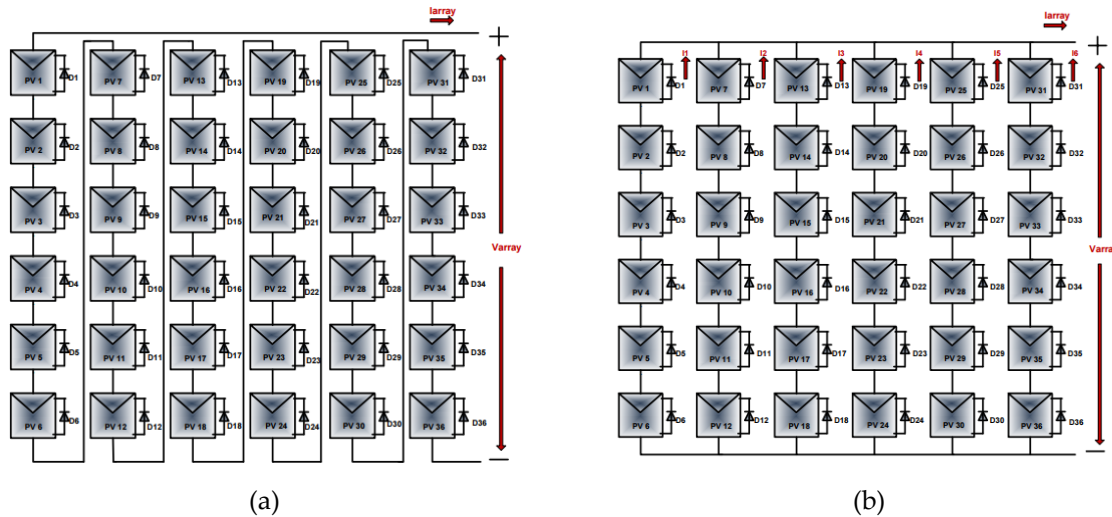
$$I = I_{PH} - \left\{ I_0 \left[\exp \left(\frac{eV}{kT_C} \right) \right] - 1 \right\}$$

Dimana k adalah konstanta Boltzman ($1,381 \times 10^{-23}$ J/K), T_c adalah suhu sel surya (K), I_0 adalah arus saturasi (A) yang tergantung pada suhu, V adalah tegangan (V). Sedangkan untuk tegangan terbuka di hitung dengan persamaan 2, dimana kT/q adalah 25,7 mV pada suhu 25°C (Khaligh & Onar, 2017).

$$V_{OC} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{PH}}{I_0} + 1 \right) \quad (2)$$

$$V_{OC} \approx \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{PH}}{I_0} \right)$$

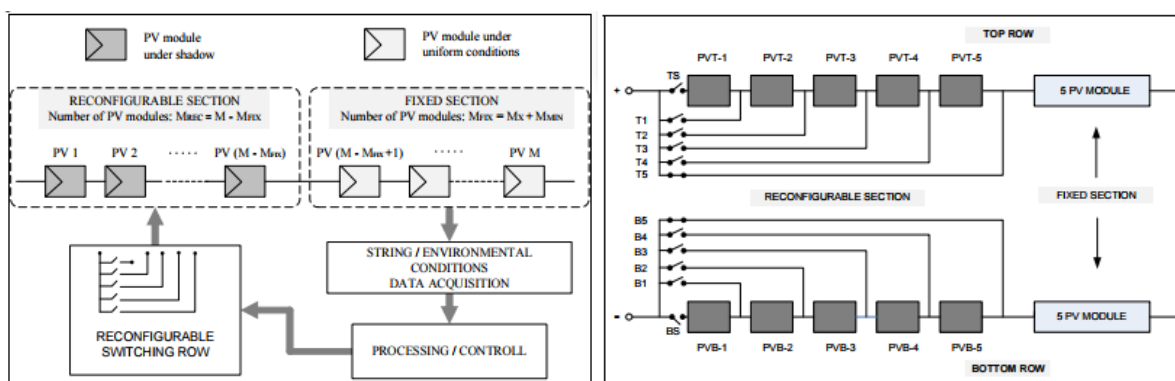
Pada umumnya terdapat dua tipe rangkaian PV sel surya yaitu secara paralel dan seri. Pada rangkaian tersebut masing-masing mempunyai kekurangan dan kelebihan. Sambungan seri modul PV sel surya mempunyai efisiensi dan keandalan yang lebih rendah dibandingkan dengan sambungan paralel (Patrao et al., 2011). Namun, koneksi paralel modul PV sel surya mempunyai tegangan yang lebih rendah. Menurut (Desai & Mikkili, 2019) rangkaian PV sel surya Seri menghasilkan arus yang lebih sedikit dan kerugian yang tinggi karena jumlah sambungan seri yang lebih banyak sedangkan rangkaian *series-paralel* (SP) PV sel surya lebih baik daripada rangkaian Seri PV sel surya karena tegangan dan arus yang diinginkan dapat tercapai. Dengan demikian, jelas bahwa *Power Conditioning System* (PCS) harus memiliki fungsi penambah tegangan, pelacakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), dan inversi (Dogga & Pathak, 2019). PV sel surya Array pada dasarnya merupakan kumpulan dari beberapa modul PV sel surya yang saling berhubungan dalam konfigurasi yang berbeda, misalnya seri-paralel (SP), *total cross-tied* (TCT), jembatan link (BL), *honeycomb* (HC), dan lain-lain (Ghosh & Yadav, 2021) seperti disajikan gambar 5.



Gambar 5. (a) Rangkaian Seri 6×6
 (b) Rangkaian *Series Paralel* 6×6 (Desai & Mikkili, 2019)

Menurut penelitian (Humaid Mohammed, Manish Kumar, 2020) *shading* atau bayangan parsial pada sistem PV sel surya umumnya terjadi pada kondisi di luar ruangan. Penyinaran yang tidak seragam menyebabkan ketidaksesuaian dalam keluaran listrik antar modul sel surya sehingga menyebabkan distribusi suhu yang tidak seragam yang dapat memiliki efek seketika pada daya dan efek jangka panjang pada keandalan sistem PV sel surya. Konsep *bypass diode* (BPD) adalah solusi yang sangat menarik untuk mengurangi efek *shading* pada modul PV sel surya dan sehingga dapat memberikan kinerja PV sel surya yang lebih baik pada lingkungan *shading* tersebut (Bhadoria et al., 2020).

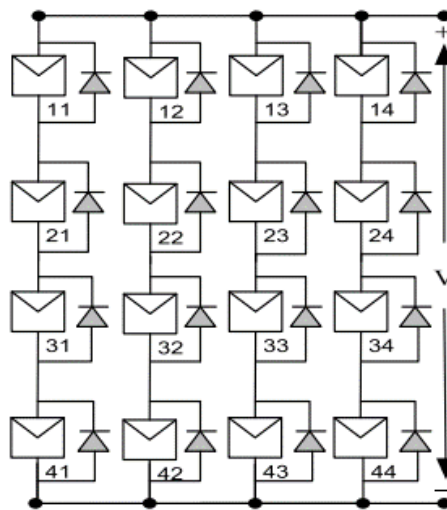
Untuk mengatasi *shading* atau adanya bayangan sehingga mempengaruhi kinerja PV sel surya terdapat beberapa penelitian antara lain (Orba et al., 2016) membuat penelitian dengan membuat rangkaian yang dinamakan *reconfigurable string with comb-shaped switch* (RST-CSS) seperti gambar 6. Setelah dilakukan simulasi, hasilnya menyatakan bahwa rangkaian ini mampu mengatasi bayangan dan menghasilkan energi listrik yang baik (Orba et al., 2016).



Gambar 6. Rangkaian RST-CSS (Orba et al., 2016)

Proses konfigurasi pada gambar 6 menggunakan *reconfigurable switching row* untuk mengkondisikan PV sel surya yang mendapat bayangan, setelah bayangan hilang modul PV sel surya kinerjanya meningkat kembali.

Pada penelitian yang lain seperti yang dilakukan (Bhadoria et al., 2020) melakukan penelitian terhadap jenis rangkaian W-BPD *Without bypass diode*, SS-SBPD *Single string-single bypass diode*, SS-DBPD *Single string-double bypass diode*, Series G-BPD *Series group-bypass diode*, SG-BPD *Staggered group-bypass diode*, ML-OBPD *Multi level-octal bypass diode*. Pada penelitian tersebut memvariasi susunan *diode* dan PV sel surya untuk mencari rangkaian yang ideal pada kondisi untuk mengatasi bayangan. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa rangkaian Seri G-BPD memiliki nilai daya maksimum untuk hampir semua kasus bayangan (Bhadoria et al., 2020) seperti disajikan gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian Seri G-BPD (*Series Group Bypass Diode*) (Bhadoria et al., 2020)

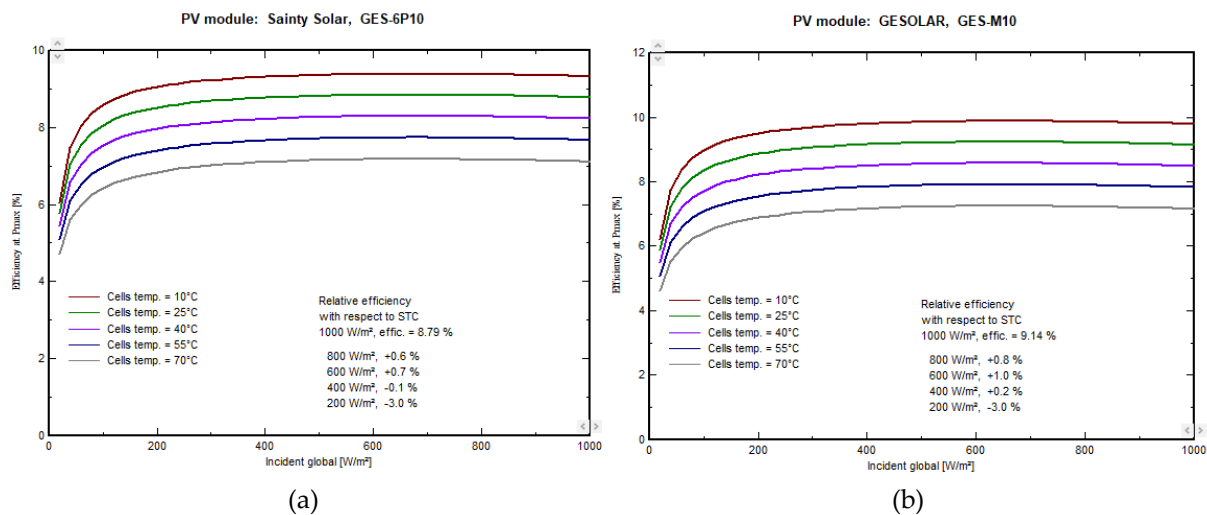
2.4. Material PV Sel Surya

Menurut (Khaligh & Onar, 2017) material modul PV sel surya pada intinya tiga jenis yaitu *silicone*, *polycrystalline thin film*, *single crystalline thin film*. Bagian dari teknologi Si-Crystalline adalah mono-crystal (Mono-C), *polycrystalline* (Poly-C), *hybrid silicone* dan pembungkus emitor melalui sel dan lain sebagainya, sedangkan berbagai jenis teknologi *thin film* adalah *amorphous silicon* (a-Si), *cadmium telluride* (CdTe) atau *sulphide* dan *copper indium gallium diselenide* (CIGS) dan lain sebagainya (Ghosh et al., 2017). Di Indonesia jenis sel surya yang banyak di pasaran merupakan bahan baku silicon yaitu *Polycrystalline* dan *monocrystalline*. Pada penelitian (Pattanapong Jumrusprasert, Geoff Smith, 2008), pada kondisi panel tetap dengan sudut kemiringan 30° C, dan menghadap selatan, serta pengambilan data dilakukan dalam satu tahun menghasilkan bahwa *monocrystalline* mempunyai efisiensi 6,8%±2,4%, dan *polycrystalline* mempunyai efisiensi 5,7%±2,0%. Menurut penelitian (Hidayanti, 2020) sel surya *monocrystalline* mempunyai efisiensi lebih tinggi dari pada *polycrystalline* dimana *monocrystalline* mempunyai efisiensi sebesar 9,22% sedangkan *polycrystalline* sebesar 7,94%.

Perbedaan *monocrystalline* dan *polycrystalline* dapat dilihat pada *software* PVSyst. Sel surya *monocrystalline* dan *polycrystalline* di pilih dari pabrikan yang sama yaitu GESolar dengan parameter seperti tabel 1.

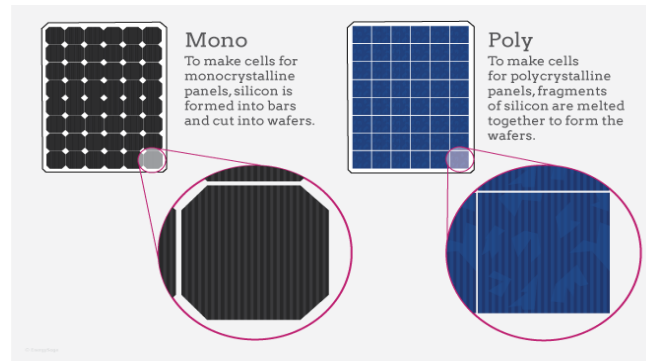
Tabel 1.
 Data Penyinaran Matahari di Lokasi Penelitian

Parameter	Satuan	Monocrystalline	Polycrystalline
Manufacture		GESolar	GESolar
Tipe		GES-M10	GES-6P10
Nominal Power	Wp	10	10
G_{ref}	W/m ²	1000	1000
I_{sc}	A	0,680	0,650
I_{mpp}	A	0,600	0,570
Temp Coef	mA/°C	0,3	0,3
	%/°C	0,04	0,05
$V_{emp\ Reff}$	C	25	25
V_{oc}	V	21,30	21,60
V_{mpp}	V	16,70	17,40
Lenght	mm	360	368
Width	mm	306	310
Total Nb Cell		36	36
Thickness	mm	18	18
Module Area	m ²	0,110	0,114
R_{sh}	Ohm	1050	1100
R_s	Ohm	3,612	3,465



Gambar 8. (a) Sel Surya Polycrystalline (b) Sel Surya Monocrystalline (Aplikasi PVSyst)

Pada keterangan beberapa penelitian dan tabel 1 serta gambar 5 dapat diambil kesimpulan bahwa sel surya *monocrystalline* mempunyai efisiensi dan kinerja lebih baik dari *polycrystalline*. Gambar 9 menunjukkan perbedaan fisik dari sel surya *monocrystalline* dan *polycrystalline*.



Gambar 9. Sel Surya *Monocrystalline* dan *Polycrystalline* (<https://www.literoflightusa.org>)

Berdasarkan (Ramadhani, 2018) untuk menghitung total energi modul menggunakan persamaan 3.

$$\text{Total Energi Modul} = \frac{\text{Energi Malam}}{100\% - \text{Losses Malam} (\%)} + \frac{\text{Energi Siang}}{100\% - \text{Losses Siang} (\%)} \quad (3)$$

Berdasarkan (Ramadhani, 2018) rugi-rugi malam ditentukan sebesar 37,5% dan rugi-rugi siang ditentukan sebesar 22,5%. Dan untuk menentukan kapasitas modul maka menggunakan persamaan 4.

$$\text{Kapasitas Modul} = \frac{\text{Total Energi Modul}}{\text{Minimum Rata-Rata Radiasi}} \times G_{\text{STC}} \quad (4)$$

2.5. Inverter

Inverter merupakan peralatan utama untuk mengubah energi listrik dihasilkan oleh modul sel surya arus searah (DC) menjadi energi listrik arus bolak-balik (AC) dengan karakteristik dan kualitas yang diperlukan sebelum dikirim ke jaringan atau dikonsumsi langsung oleh konsumen (G.A. Rampinelli a, A. Krenzinger b, 2014). *Sizing Factor Inverter* (SFI) menetapkan hubungan antara daya inverter dan daya modul sel surya pada *Standard Test Condition* (STC) seperti pada persamaan 5 (Leticia Toreti Scarabelot & Arns Rampinelli, 2021).

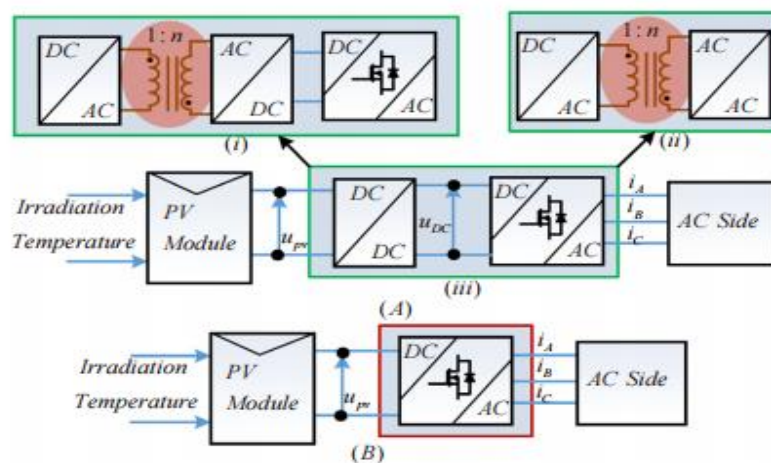
$$\text{SFI} = \frac{P_{\text{Inverter}}}{P_{\text{PV}}} \quad (5)$$

SFI adalah rasio perbandingan antara daya dari inverter dengan daya dari PV sel surya sehingga kedua peralatan tersebut dapat bekerja dengan aman dan efisien. Berdasarkan hasil penelitian (Rodrigo et al., 2016) angka SFI untuk PV sel surya berbahan dasar silicon (Si) sebesar 1,05 dan untuk berbahan dasar *cadmium tellurium* (CdTe) sebesar 0,95. Berdasarkan penelitian yang lain rasio ukuran daya inverter-ke-PV array sel surya yang dapat memaksimalkan hasil energi ditemukan bervariasi antara 1,72 dan 1,59 untuk beberapa inverter, dan antara 1,51 dan 1,18 untuk inverter yang lain, dimana pengukuran tersebut dilakukan per jam atau permenit pada inverter yang diuji (Rodrigo et al., 2016). Efisiensi inverter menjadi maksimal ketika daya keluaran inverter mendekati daya masuk inverter, sedangkan efisiensi inverter menjadi rendah terjadi ketika inverter memasok daya yang rendah (Omar & Mahmoud, 2021).

Terdapat beberapa masalah saat pemrosesan daya dari sumber energi terbarukan yang dilakukan dengan menggunakan konverter daya, seperti efisiensi dan biaya sebagai faktor utama

permasalahan tersebut (Patrao et al., 2011). Untuk PV sel surya yang terhubung ke sistem jaringan pada umumnya memerlukan transformator yang beroperasi pada frekuensi rendah maupun tinggi sehingga memerlukan isolasi galvanik antara PV sel surya dan sistem jaringan listrik. Hal tersebut yang menyebabkan biaya investasi menjadi mahal. Untuk mengatasi tingginya biaya diusulkan inverter tanpa transformator yang lebih efisien dari segi biaya karena biaya instalasi dan operasi menjadi lebih murah (Patrao et al., 2011).

Terdapat dua jenis inverter tanpa transformator untuk sistem PV, yaitu *Multi Stage Power Conversion* (MSPC) dan *Single-Stage Power Conversion* (SSPC) (Dogga & Pathak, 2019) seperti disajikan gambar 10.



Gambar 10. Klasifikasi PV Inverter

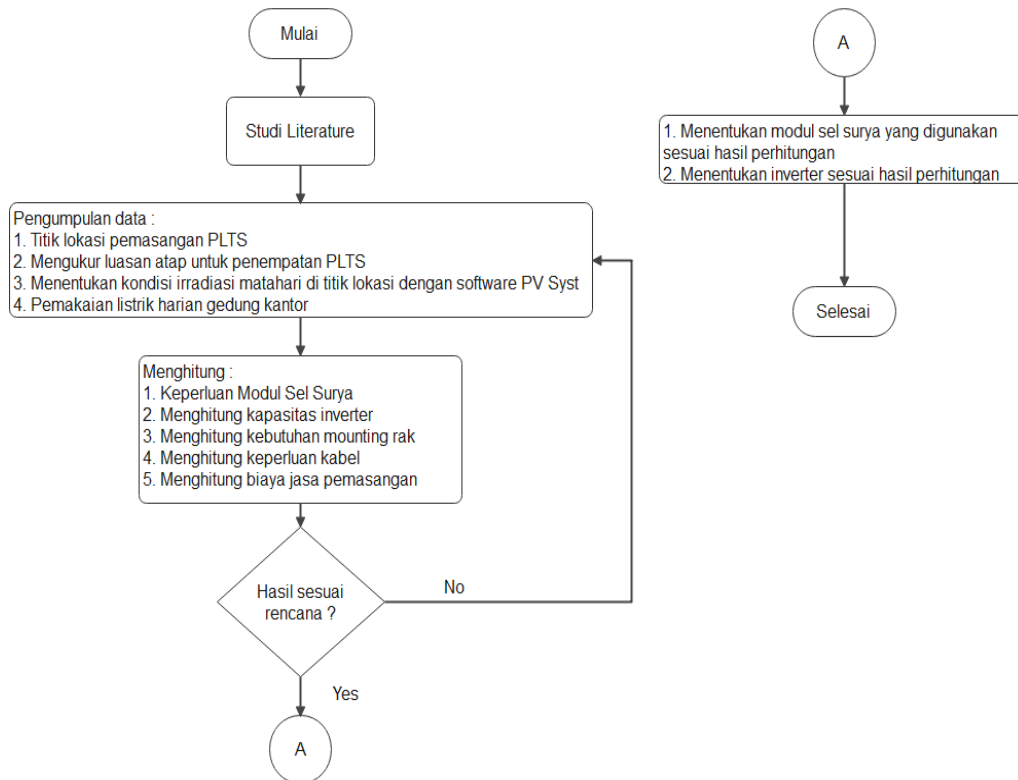
(a) *Multi Stage Power Conversion* (MSPC)

(b) *Single-Stage Power Conversion* (SSPC)

(Dogga & Pathak, 2019)

3. Metodologi

Penulisan karya ilmiah ini berdasarkan pada literatur mengenai pembangkit listrik tenaga surya data pemakaian listrik untuk gedung kantor di PLTU Amurang. Dari data yang ada kemudian di rencanakan untuk pemasangan PLTS dengan bahan yang ada di pasaran dan menghitung biaya yang di perlukan. Pemasangan PLTS atap diharapkan bisa mengurangi pemakaian listrik gedung kantor yang di ambil dari hasil produksi pembangkit utama. Metodologi penelitian ditampilkan seperti *flow chart* pada Gambar 11.

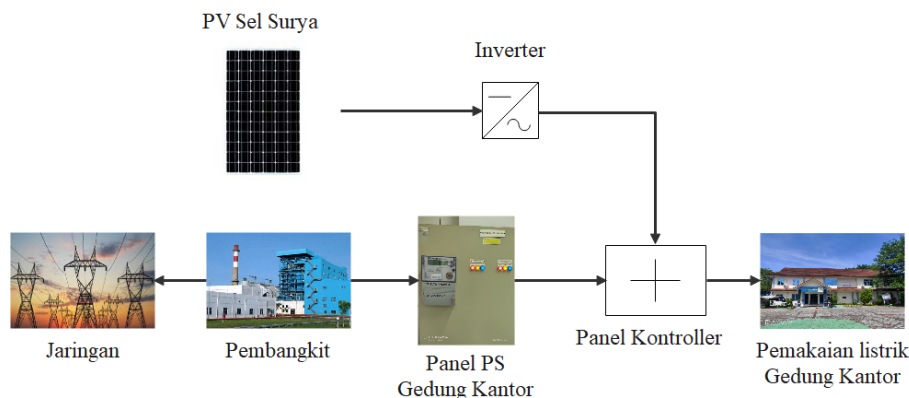


Gambar 11. Metode Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Desain PLTS

Pembangkit listrik tenaga surya akan di pasang pada atap gedung kantor untuk memenuhi kebutuhan listrik gedung kantor. Instalasi jaringan yang akan diterapkan yaitu sistem *on-grid* karena untuk menghemat biaya pengadaan baterai dan belum adanya tempat untuk penempatan baterai. Pertimbangan lain penggunaan jaringan *on-grid* dikarenakan pada malam hari tidak banyak aktivitas perkantoran sehingga penerangan tetap diambilkan dari sumber energi listrik utama yaitu dari pembangkit utama. Rencana instalasi PLTS disajikan seperti pada gambar 12 tersebut menggunakan panel kontroler untuk mengatur suplai power dari pembangkit dan modul PV sel surya ke gedung kantor.



Gambar 12. Rencana Instalasi PLTS untuk Gedung Kantor

4.2. Lokasi Pemasangan

Gedung kantor PLTU Amurang terletak di dalam kawasan PLTU Amurang di daerah Moinit kabupaten Minahasal Selatan propinsi Sulawesi Utara. Sebelum menghitung keperluan energi dari PLTS terlebih dahulu menentukan lokasi pemasangannya seperti disajikan pada gambar 13, dengan menggunakan *software* PVsyst 7.0 di dapatkan letak gedung kantor pada koordinat latitude 1,1841° N, longitude 124,4797°E, altitude 16 m.



Gambar 13. Titik Pemasangan PLTS

4.3. Kebutuhan Listrik Gedung Kantor

Pemakaian listrik untuk gedung kantor digunakan untuk beberapa peralatan perkantoran diantaranya, komputer, lampu penerangan, pendingin ruangan, printer, kompor listrik, kulkas, pompa air, dan peralatan-peralatan pendukung kantor.

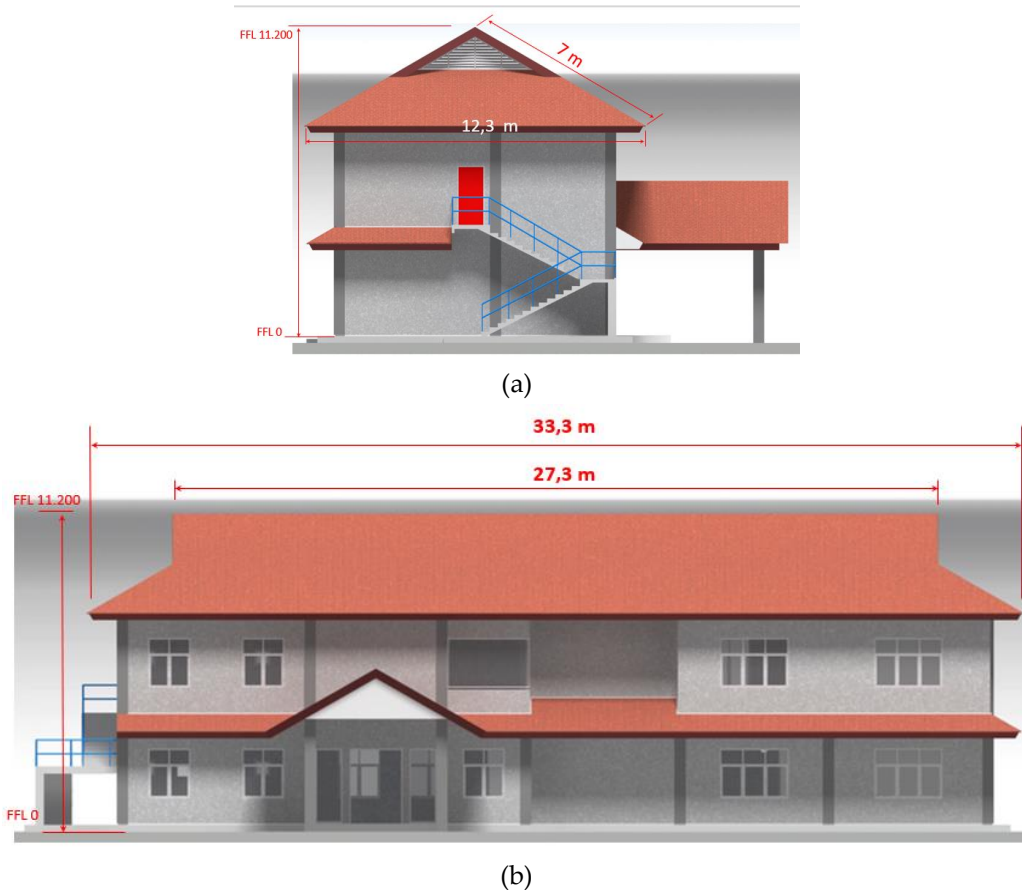


Gambar 14. Pemakaian Listrik Harian

Data pemakaian listrik harian disajikan dalam gambar 14. Dari grafik diatas diketahui rata-rata pemakaian listrik sebesar 13,12 kWh / hari. Rata-rata pemakaian listrik perjam sebesar 0,5 kW/jam.

4.4. Desain Pemasangan

Modul sel surya akan dipasang di atas tap gedung kantor dengan luasan atap 7 m × 27,3 m sehingga mempunyai luasan 191,1 m². Berdasarkan gambar 15 (a) kemiringan atap berkisar 30°.



Gambar 15. (a) gambar gedung tampak samping, (b) tampak depan

Modul sel surya akan dipasang diatas atap gedung seperti disajikan pada gambar 15 dengan sebelumnya memperhatikan kekuatan struktur atap tersebut. Kemiringan atap menghadap timur dan barat dan sedikit terkena bayangan.

4.5. Data Irradiasi Sinar Matahari

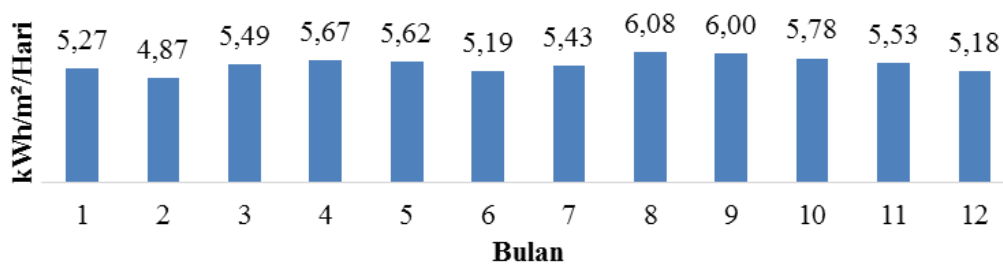
Berdasarkan data dari koordinat pada gambar 13 yang didapatkan dari aplikasi PVSyst dihasilkan data iradiasi seperti pada Tabel 2.

Data iradiasi yang digunakan adalah *Global Horizontal* dari bulan Januari sampai dengan Desember, data iradiasi terendah pada bulan Februari yaitu 136,3 kWh/m²/bulan dan irradiasi minimum 4,87 kWh/m²/hari terjadi pada bulan Februari seperti disajikan pada gambar 17.

Tabel 2.
 Data Penyinaran Matahari di Daerah Moinit/Gedung Kantor

Bulan	GlobHor (kWh/m ² /bulan)	DiffHor (kWh/m ² /bulan)	T_Amb (°C)	WindVel (m/s)
Januari	163,5	78,8	26,9	1,1
Februari	136,3	71,1	26,9	1,5
Maret	170,2	75,4	27,2	1,4
April	170,0	81,1	26,9	1,2
Mei	174,1	73,1	27,5	1,2
Juni	155,6	71,4	26,8	1,5
Juli	168,3	63,6	27,3	1,7
Agustus	188,4	75,1	27,3	2,1
September	180,0	66,9	27,0	1,5
Oktober	179,2	80,0	27,4	1,4
November	165,9	70,9	26,9	1,2
Desember	160,7	76,4	27,3	1,4
Tahun	2012,2	883,8	27,1	1,4

Global Horizontal Irradiation Harian



Gambar 17. Global Horizontal Irradiation Harian Daerah Moinit

4.6. Menghitung Kapasitas Modul Sel Surya

Dari gambar 3 rata-rata pemakaian listrik harian sebesar 13,12 kWh. Pemakaian tersebut diasumsikan untuk pemakaian energi siang hari, sedangkan pada malam hari menggunakan energi listrik dari pembangkit utama. Rugi-rugi malam sebesar 37,5% dan rugi-rugi siang sebesar 22,5% (Ramadhani, 2018). Untuk menghitung kebutuhan energi total menggunakan persamaan 3 dan hasilnya sebesar 8,33 kWh.

Berdasarkan gambar 11 data irradiasi sinar matahari minimum sebesar 4,87 kWh/m²/hari, maka kapasitas modul sel surya dapat di hitung dengan menggunakan persamaan 4 dan hasilnya sebesar 1711,16 Wp.

Jika direncanakan menggunakan modul sel surya 300 Wp maka jumlah modul sel surya yang diperlukan sebanyak 5,7 modul dan dibulatkan menjadi 6 modul.

4.7. Menghitung Kapasitas Inverter



Penentuan inverter menggunakan persamaan 5 dimana SFI kita tentukan sebesar 1,05 sehingga daya inverter yang dipilih sebesar 1.796,71 W.

Sesuai dengan spesifikasi inverter di pasaran, direncanakan menggunakan inverter dengan kapasitas 2 kW atau 2000 watt. Bila menggunakan inverter 2000 W maka SFI nya 1,11 dan nilai tersebut masih dalam batas normal.

4.8. Spesifikasi Peralatan dan Estimasi biaya

Pada makalah perencanaan pembangkit listrik tenaga surya ini menggunakan beberapa peralatan utama sebagai berikut :

Tabel 3.
 Kebutuhan Peralatan PLTS

Peralatan	Foto	Spesifikasi
Modul sel surya		Maximum power : 300 W Vmp : 36,6 V Imp : 8,21 A Voc : 44,8 V Isc : 8,88 A NOTC : 47 ±2°C Max system Volt : 600 VDC Power Tolerance : +3% Cell : Monocrystalline Dimensi : 1950 mm × 990 mm × 40 mm Berat : 20,8 kg
Inverter		Operating DC input voltage range: 90V – 580V Rated DC input power : 2500W Number of independent MPPT : 1 DC input voltage range with parallel configuration of MPPT : 210V – 530V Maximum DC input current for each MPPT : 10.0A Number of DC input pairs for each MPPT: 1 DC connection type : Quick Fit PV Connector

Estimasi kebutuhan biaya untuk pemasangan pembangkit listrik tenaga surya disajikan pada tabel 3 dibawah ini

Tabel 4.
 Data Penyinaran Matahari di Daerah Moinit/Gedung Kantor

Nama Peralatan	Satuan	Jumlah	Harga Satuan	Total harga (Ongkos kirim dan pajak 10%)
Panel Sel surya 300 Wp	pcs	6	Rp 4.800.000,-	Rp 34.430.000,-
Inverter 2000 W	pcs	1	Rp 6.000.000,-	Rp 8.250.000,-
Panel kontroller	pcs	1	Rp 6.700.000,-	Rp 8.470.000,-
Combiner Box Set	pcs	1	Rp 2.500.000,-	Rp 3.850.000,-
Mounting Panel	Lot	1	Rp 5.000.000,-	Rp 5.500.000,-
Aksesoris	Lot	1	Rp 5.000.000,-	Rp 5.500.000,-
Jasa Pemasangan	Lot	1	Rp 5.000.000,-	Rp 5.500.000,-
TOTAL				Rp 71.500.000,-

5. Analisis Benerfit Pemasangan PLTS

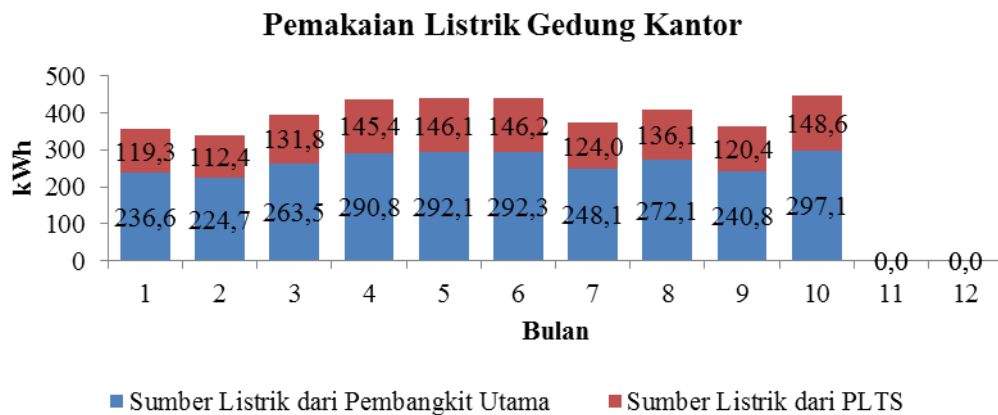
5.1. Prediksi Penghematan Pemakaian Listrik

Setelah dilakukan pemasangan pembangkit listrik tenaga surya untuk gedung kantor diharapkan ada penghematan pemakaian energi listrik di gedung kantor. Pemakaian listrik untuk gedung kantor per bulan sampai dengan bulan oktober tahun 2021 di sajikan seperti gambar 18.



Gambar 18. Pemakaian listrik sebelum dipasang PLTS

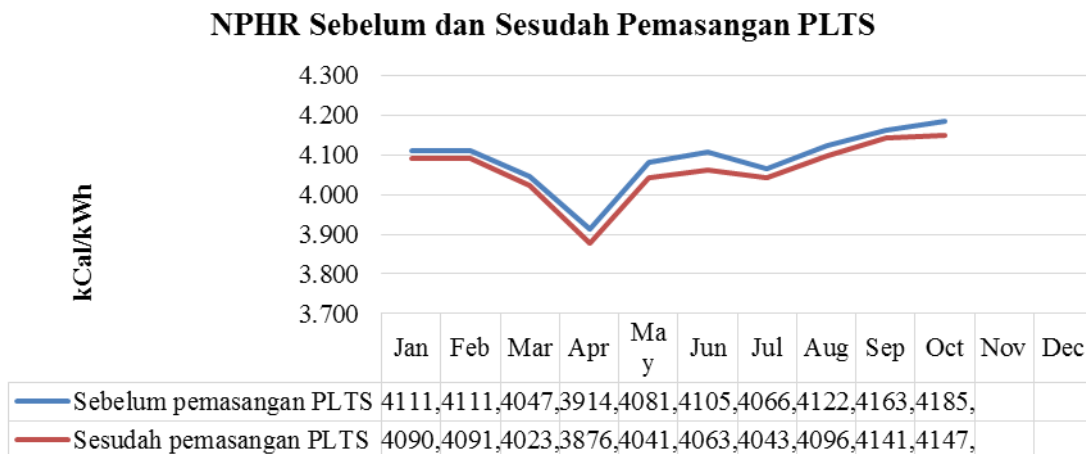
Setelah dipasang pembangkit listrik tenaga surya, terdapat estimasi penghematan seperti yang disajikan pada gambar 19 yaitu rata-rata 133 kWh setiap bulan.



Gambar 19. Prediksi Pemakaian Listrik Setelah Pemasangan PLTS

5.2. Prediksi Nilai NPHR

Nett Plant Heat Rate (NPHR) adalah besaran nilai kalori batubara untuk memproduksi energi listrik. Semakin kecil nilai kalori yang diperlukan untuk memproduksi 1 kWh listrik dikatakan unit operasi efisien. Seperti pada gambar 20, diharapkan setelah dipasang PLTS nilai NPHR semakin turun sehingga bisa dikatakan unit pembangkit operasi dalam kondisi efisien.



Gambar 20. Prediksi Nilai NPHR Sebelum dan Setelah Dipasang PLTS

Nilai NPHR setelah dipasang PLTS mengalami penurunan minimal 20,15 kCal/kWh setiap bulannya atau 0,72 kCal/kWh setiap hari.

6. Kesimpulan

Pemasangan PLTS di lakukan di gedung kantor PLTU Amurang dengan rencana instalasi seperti disajikan pada gambar 12. Pada perencanaan PLTS ini memerlukan modul panel sel surya kapasitas 300 Wp sebanyak 6 buah tipe monocrystalline, inverter kapasitas 2000 Watt sebanyak 1 buah dengan *Sizing Factor Inverter* (SFI) 1,11 dan perkiraan biaya sebesar Rp 71.500.000,-. Setelah di pasang PLTS diperkirakan terdapat penghematan pemakaian energi listrik untuk gedung kantor rata-rata sebesar

133 kWh setiap bulan. Nilai *Nett Plant Heat Rate* (NPHR) diperkirakan semakin menurun minimal 20,15 kCal/kWh setiap bulan sehingga pengoperasian unit pembangkit utama semakin efisien.

Berdasarkan pertimbangan biaya dan untuk menghasilkan energi yang maksimal maka untuk rangkaian inverter menggunakan rangkain inverter tanpa transformator dengan topologi *Single Stage Power Conversion* (SSPC) seperti disajikan pada gambar 10b.

Untukantisipasi terhadap bayangan atau shading sehingga energi listrik yang dihasilkan tetap maksimal maka rangkaian PV sel surya menggunakan tipe *Series G-BPD Series group-bypass diode* seperti disajikan pada gambar 7.

Daftar Pustaka

- A.K. Raja, Amit Prakash Srivastava, M. D. (2006). *Power Plant Engineering* (Vol. 148).
- Andrei, H., Dogaru-Ulieru, V., Chicco, G., Cepisca, C., & Spertino, F. (2007). *Photovoltaic applications. Journal of Materials Processing Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.03.043>
- Bhadoria, V. S., Pachauri, R. K., & Tiwari, S. (2020). *Investigation of Different BPD Placement Topologies for Shaded Modules in a Series-Parallel Configured PV Array*. 216911–216921. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3041715>
- Desai, A. A., & Mikkili, S. (2019). *Modelling and analysis of PV configurations (alternate TCT-BL, total cross tied, series, series parallel, bridge linked and honey comb) to extract maximum power under partial shading conditions*. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, PP(99). <https://doi.org/10.17775/CSEEJPES.2020.00900>
- Dogga, R., & Pathak, M. K. (2019). *Recent trends in solar PV inverter topologies*. *Solar Energy*, 183(March), 57–73. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.02.065>
- EPRI. (2006). *Power Plant Optimization Guidelines*. 2006.
- G.A. Rampinelli a, A. Krenzinger b, F. C. R. c a. (2014). *Mathematical models for efficiency of inverters used in grid connected photovoltaic systems*. *ScienceDirect Renewable*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.047> 1364-0321/&
- Ghosh, S., & Yadav, R. (2021). *Future of photovoltaic technologies: A comprehensive review*. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47(June), 101410. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101410>
- Ghosh, S., Yadav, V. K., Mukherjee, V., & Yadav, P. (2017). *Evaluation of relative impact of aerosols on photovoltaic cells through combined Shannon's entropy and Data Envelopment Analysis (DEA)*. *Renewable Energy*, 105, 344–353. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.062>
- Hidayanti, F. (2020). *The Effect of Monocrystalline and Polycrystalline Material Structure on Solar Cell Performance Material Structure on Solar Cell Performance*. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8. <https://doi.org/https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/87872020>
- Humaid Mohammed, Manish Kumar, R. G. (2020). *Bypass diode effect on temperature distribution in crystalline silicon photovoltaic module under partial shading*, *Solar Energy*. 208, 182–194. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.087>.
- Khaligh, A., & Onar, O. C. (2017). *Energy harvesting: Solar, wind, and ocean energy conversion systems*. In *Energy Harvesting: Solar, Wind, and Ocean Energy Conversion Systems*. <https://doi.org/10.1201/9781439815090>

Leticia Toreti Scarabelot, G., & Arns Rampinelli, C. R. R. (2021). *Overirradiance effect on the electrical performance of photovoltaic systems of different inverter sizing factors*. *Solar Energy*, 225(June 2020), 561–568. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.07.055>

Ogbonnaya, C., Abeykoon, C., Nasser, A., Ume, C. S., Damo, U. M., & Turan, A. (2021). *Engineering risk assessment of photovoltaic-thermal-fuel cell system using classical failure modes, effects and criticality analyses*. *Cleaner Environmental Systems*, 2(January), 100021. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100021>

Omar, M. A., & Mahmoud, M. M. (2021). *Improvement Approach for Matching PV-array and Inverter of Grid Connected PV Systems Verified by a Case Study*. 10(4), 687–697. <https://doi.org/10.14710/ijred.2021.36082>

Orba, Z. Č., Č, V. K., Č, B. P., & Č, D. M. Č. E. V. I. (2016). *New String Reconfiguration Technique for Residential Photovoltaic System Generation Enhancement*. 16(1), 19–26.

Patrao, I., Figueres, E., González-espín, F., & Garcera, G. (2011). *Transformerless topologies for grid-connected single-phase photovoltaic inverters*. 15, 3423–3431. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.03.034>

Pattanapong Jumrusprasert, Geoff Smith, L. K. (2008). *Comparing The Efficiency Of Fixed Solar Cell Panels In A Tropical Location*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-540-75997-3_300

Ramadhani, B. (2018). *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Issue 31 Agustus 2018)*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Energising Development (EnDev) Indonesia. www.endev-indonesia.info

Rodrigo, P. M., Velázquez, R., & Fernández, E. F. (2016). *DC/AC conversion efficiency of grid-connected photovoltaic inverters in central Mexico*. *Solar Energy*, 139, 650–665. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.10.042>

Syahputra, R., & Soesanti, I. (2021). *Renewable energy systems based on micro-hydro and solar photovoltaic for rural areas: A case study in Yogyakarta, Indonesia*. *Energy Reports*, 7, 472–490. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.01.015>

Vivar, M., Skryabin, I., Everett, V., & Blakers, A. (2010). *A concept for a hybrid solar water purification and photovoltaic system*. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 94(10), 1772–1782. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2010.05.045>

Xue, J. (2017). *Photovoltaic agriculture - New opportunity for photovoltaic applications in China*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73(January), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.098>

Zhang, C., Shen, C., Wei, S., Wang, Y., Lv, G., & Sun, C. (2020). *A Review on Recent Development of Cooling Technologies for Photovoltaic Modules*. *Journal of Thermal Science*, 29(6), 1410–1430. <https://doi.org/10.1007/s11630-020-1350-y>