

Analisis Penggunaan Daya Listrik Panel Surya Pada Gedung Parkir Motor

Kurniawan Sony^{1*}, dan Budhi M. Suyitno¹

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

* Corresponding author: sonykrwn08@gmail.com

Abstrak. Pemerintah Indonesia memberikan perhatian terhadap energi alternatif yaitu Energi Baru Terbarukan (EBT) sesuai dengan yang tercantum pada Peraturan Pemerintah No 79 tahun 2014. Serta melalui surat dari Badan Perencanaan Pembangunan Nasional pada tanggal 20 Mei 2021 Nomor 05894/PP.04.09/D.3/B/05/2021 perihal Pengalokasian Pagu Anggaran TA 2022 untuk Pembangunan PLTS pada Gedung Kementerian/Lembaga. Dalam surat tersebut menjelaskan bahwa memberlakukan kewajiban pemanfaatan sel surya minimum sebesar 30% dari luas atap (*rooftop*) seluruh bangunan pemerintah termasuk Gedung Kementerian/Lembaga. Oleh sebab itu, dibutuhkan analisis mengenai panel surya yang telah terinstal atau terpasang pada sebuah bangunan untuk menggantikan listrik negara. Metode penelitian yang digunakan yaitu penelitian ilmiah melalui data primer berupa wawancara dan sekunder berupa data lapangan pada panel surya. Subjek dalam penelitian ini yaitu panel surya pada gedung parkir motor dengan variabel kontrol penelitian yaitu waktu pengambilan data *power solar cell*. Diperoleh data efisiensi PLTS pada gedung parkir motor yaitu 58,58%. Selanjutnya berdasarkan peralatan utilitas yang terpasang pada gedung parkir motor beban puncaknya yaitu 8706,64 *Watt peak*, sedangkan daya maksimal yang dihasilkan oleh panel surya adalah 51.640 *Watt hour*. Jadi daya yang dihasilkan oleh panel surya pada gedung parkir motor ini berlebih. Sehingga mampu menggantikan listrik negara pada siang hari atau pada saat PLTS tersebut beroperasi.

Kata kunci— panel surya; gedung parkir motor; efisiensi.

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini, energi fosil yaitu minyak, batubara dan gas bumi sangat mendominasi dalam proses pengolahan energi. Kerusakan lingkungan dan alam akibat eksploitasi sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui merupakan masalah terbesar yang sedang dihadapi oleh dunia saat ini. Penggunaan energi yang berbahan bakar fosil telah berlangsung lama, sehingga menyebabkan masalah lingkungan yang cukup serius. Akan tetapi, pemerintah Indonesia juga memberikan perhatian terhadap energi alternatif yaitu Energi Baru Terbarukan (EBT) sesuai dengan yang tercantum pada Peraturan Pemerintah No 79 tahun 2014[1]. Dalam susunan komposisi energi nasional, Energi Baru Terbarukan (EBT) diharapkan dapat menggantikan energi fosil dan meningkatkan perkembangan EBT. Berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) seperti air, bioenergi, panas bumi, angin/bayu dan sinar matahari sangat melimpah di Indonesia. Dalam hal ini energi surya merupakan energi yang terus tersedia dan tidak akan habis dengan potensi energi surya mencapai 207.898 Mega Watt (4,80 kWh/m²/day) berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017[2]. Serta melalui surat dari Badan Perencanaan Pembangunan Nasional pada tanggal 20 Mei 2021 Nomor 05894/PP.04.09/D.3/B/05/2021 perihal Pengalokasian Pagu Anggaran TA 2022 untuk Pembangunan PLT Surya Atap pada Gedung Kementerian/Lembaga. Dalam surat tersebut menjelaskan bahwa capaian porsi bauran energi baru dan terbarukan dalam bauran energi primer nasional sampai dengan tahun 2020 baru mencapai 11,2%. Serta memberlakukan kewajiban pemanfaatan sel surya minimum sebesar 30% dari luas atap (*rooftop*) seluruh bangunan pemerintah termasuk Gedung Kementerian/Lembaga.

Penelitian terdahulu yang berjudul “Analisa Penggunaan *Solar Cell* Pada Rumah Tinggal Untuk Keperluan Penerangan dan Beban Kecil” menjelaskan bahwa Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dapat menghasilkan energi listrik yang hanya dapat dipakai untuk keperluan beban kecil dan lampu rumah yang ada dirumah tinggal, disebabkan jika energi listrik digunakan untuk beban yang besar maka energi yang diperoleh oleh PLTS belum dapat mencukupi. Produksi energi panel surya yaitu 1.280 kWh dengan kemampuan daya simpan *battery* 1.920 kWh. Jadi apabila digunakan beban penuh pada kapasitas produksi yang dihasilkan oleh PLTS dengan beban 1.280 kWh, maka kapasitas

baterai hanya dapat melayani beban selama $1.920/1.280 = 1,5$ hari[5].

Jurnal penelitian lainnya yang berjudul “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Hybrid* Pada Area Parkir Gedung Dinas Cipta Karya, Dinas Bina Marga dan Pengairan Kabupaten Badung” menjelaskan bahwa sudut kemiringan panel surya juga menentukan dalam proses penangkapan sinar matahari agar panel surya mampu beroperasi maksimal dengan menggunakan titik koordinat pada lokasi rencana proyek PLTS. Rencana pembangunan PLTS ini akan memenuhi 30% dari konsumsi energi listrik pada Gedung dikarenakan lahan untuk panel surya yang terbatas. PLTS tersebut bekerja secara *hybrid* dengan sistem PLN[6].

Penelitian kali ini yaitu menganalisis mengenai panel surya yang telah terinstal atau terpasang pada sebuah bangunan untuk dapat menggantikan listrik negara. Objek penelitian adalah panel surya pada gedung kantor pemerintah yang ada di wilayah Selong, Kecamatan Kebayoran Baru, Jakarta Selatan, dalam hal ini Gedung Parkir Motor lima Lantai dengan luas bangunan 3630 m^2 dan luas lahan 804 m^2 . Tipe modul PV yang digunakan yaitu *polycrystalline*. Dalam analisis hanya menggunakan data lapangan, desain *as build*, data kontrak serta tidak dilakukan pemilihan alternatif lain.

2. METODOLOGI

Penelitian analisis ini menggunakan jenis penelitian ilmiah melalui data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui wawancara kepada *stakeholder* yang terkait dalam pembangunan maupun pengelolaan PLTS pada atap gedung parkir motor. Sedangkan data sekunder diperoleh melalui data kontrak, *as build drawing*, dan data konsumsi listrik serta data daya listrik yang dihasilkan oleh PLTS tersebut. Selanjutnya data tersebut diolah untuk dapat menganalisis efisiensi dan efektivitas daya listrik panel surya pada atap gedung parkir motor tersebut.

a. Panel Surya

Panel surya merupakan sebuah sistem yang dipakai untuk dapat mengubah energi sinar cahaya matahari menjadi energi listrik dengan memakai prinsip yang dapat disebut efek *photovoltaic*. Panel surya menghasilkan energi listrik dan akan disimpan ke dalam sebuah baterai jika menggunakan tipe PLTS *off grid*, kemudian listrik tersebut digunakan untuk mengoperasikan perangkat elektronik sesuai kebutuhan dayanya atau juga dapat langsung digunakan tanpa disimpan terlebih dahulu ke dalam baterai yang dapat disebut dengan sistem *on grid*

b. Komponen Panel Surya

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan sistem topologi *On Grid* memiliki beberapa komponen yang harus dimiliki. Beberapa komponen yang harus dimiliki yaitu pertama PV modul, kedua inverter dan terakhir exim meter. Berikut ini merupakan gambar ilustrasi dari sistem topologi PLTS *on grid*, dengan kebutuhan komponennya tidak memerlukan baterai dalam pembangunan PLTS.

1) Modul Surya

Alat atau modul yang mampu mengkonversi radiasi cahaya matahari secara langsung untuk diubah menjadi listrik dapat disebut *Photovoltaic*. PV merupakan singkatan dari kata *photovoltaic*[8]. Bahan baku yang biasa digunakan yaitu seperti *gallium arsenide*, *silicon*, dan *copper indium deselenide* atau *cadmium telluride* merupakan bahan semikonduktor. secara luas untuk pembuatan panel surya biasa menggunakan *solar cell crystalline*[9]. Kristal *Solar Cell* memiliki banyak jenis yang tersedia dipasaran yaitu *monocrystalline*, *polycrystalline*, dan *amorphous*.

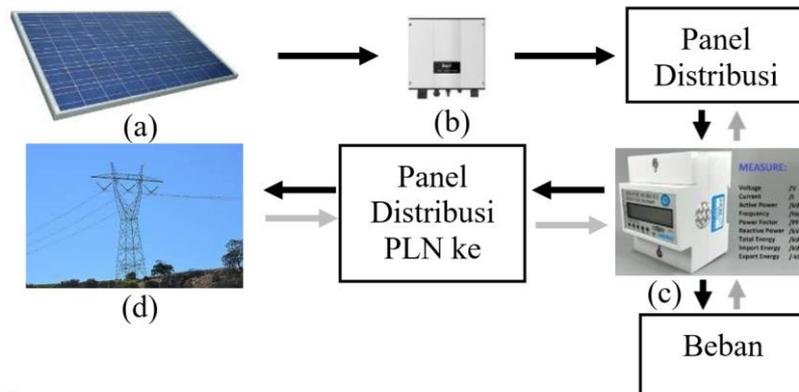
2) Inverter

Dalam sistem suatu PLTS Inverter merupakan “jantung”. Mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh PV modul menjadi arus bolak balik (AC) merupakan fungsi dari inverter. Tingkat radiasi cahaya matahari menyebabkan tegangan DC dari panel surya cenderung tidak konstan. Inverter mengubah tegangan DC dari panel surya yang tidak konstan menjadi tegangan AC yang konstan dan siap dipakai atau dihubungkan dengan sistem eksisting yang ada, seperti jaringan listrik negara. Parameter arus dan tegangan pada keluaran inverter biasanya telah disesuaikan dengan standar baku nasional/internasional.

Pada saat ini, semua inverter pada bagian dalamnya menggunakan komponen elektronika. IGBT (*Insulated-Gate Bipolar Transistor*) merupakan teknologi terbaru suatu inverter yang telah digunakan[11] sebagai komponen primer menggantikan komponen lama seperti SCR, J-FET, BJT, MOSFET dan lainnya. Kombinasi keunggulan antara BJT dan MOSFET merupakan karakteristik IGBT.

Dalam pembangunan PLTS pemilihan jenis inverter harus disesuaikan dengan desain PLTS yang akan dibangun[10]. Penyesuaian jenis inverter untuk PLTS yaitu apakah PLTS *Off Grid* atau *On Grid* atau Hibrid. *On Grid* Inverter atau inverter untuk sistem *On Grid* wajib mempunyai kemampuan

memutuskan hubungan (*islanding system*) ketika grid kehilangan tegangan daya. Sedangkan, untuk sistem PLTS hibrid *inverter* harus dapat mengubah arus dari AC ke DC dan sebaliknya dari DC ke AC dengan kata lain dapat mengubah dari dari kedua arah. Sehingga *bi-directional* inverter lebih dikenal untuk inverter jenis ini.



* Sumber: gambar telah diolah kembali

Gambar 1. Konfigurasi Sistem Konsep *On-grid*[8], (a) *Photovoltaik*. ; (b) Inverter, ; (c) Exim, ; (d) Jaringan PLN

3) *Exim Meter*

Exim meter merupakan meteran listrik yang akan mengukur surplus listrik yang mengalir ke jaringan listrik negara, dan juga sebaliknya listrik negara yang dipakai rumah/beban saat panel surya tak dapat menghasilkan energi di malam hari atau hujan deras dan juga alat ini dapat disebut alat kWh meter ekspor impor listrik PLN.

c. Komponen Panel Surya

Efisiensi pada panel surya merupakan prosentase ukuran untuk keluaran daya listrik. Berikut Langkah- langkah dalam menghitung efisiensi pada panel surya:

1) Tentukan P_{max}

Dalam menghitung efisiensi terlebih dahulu harus dapat mengetahui P_{max} (daya keluaran maksimal) dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{max} = V_{mp} \cdot I_{mp} \quad (1)$$

2) Hitung Besaran Dimensi Panel Surya

Besaran dimensi dapat mempengaruhi daya yang dihasilkan panel surya karena semakin luas panelsurya maka semakin besar pula daya yang dihasilkan:

$$\text{Dimensi} = \text{Panjang} \cdot \text{Lebar} \quad (2)$$

3) Perhitungan Efisiensi

Setelah dilakukan perhitungan P_{max} dan dimesi, maka ada koefisien yang harus diketahui yaitu *Peak Sun Insulation* (PSI) dalam *standard test conditions* (STC). *Peak Sun Insulation* (PSI) adalah jumlah sinar cahaya matahari yang diterima permukaan bumi dengan satuan W/m^2 , sedangkan *standard test conditions* (STC) merupakan kondisi pengujian panel surya utama yang digunakan oleh kebanyakan produsen dan badan pengujian. Ketentuan suhu sel yaitu 25° dan PSI yaitu $1000 W/m^2$. Setelah koefisien dapat diketahui maka efisiensi panel surya dapat dihitung sebagai berikut:

$$\eta_{max} = \frac{P_{max}}{PSI \cdot AC} \cdot 100\% \quad (3)$$

d. Menghitung Kapasitas PLTS

Persamaan perhitungan area array PLTS adalah sebagai berikut[14].

$$PV_{area} = \frac{EL}{G_{av} \cdot \eta_{PV} \cdot TCF \cdot \eta_{out}} \cdot 100\% \quad (4)$$

Persamaan menghitung daya yang akan dibangkitkan oleh PLTS adalah sebagai berikut.

$$P_{Watt\ Peak} = \text{Area array} \cdot PSI \cdot \eta_{PV} \quad (5)$$

Selanjutnya berdasarkan besar daya yang dibutuhkan, maka jumlah panel surya yang diperlukan diperhitungkan melalui rumus sebagai berikut:

$$\text{Jumlah PV Modul} = \frac{P_{watt\ peak}}{P_{mpp}} \quad (6)$$

e. Orientasi PV Modul

Panel surya atau PV modul akan efektif apabila mendapatkan sinar matahari langsung dengan arah normal tegak lurus terhadap permukaan PV modul. Jika semakin jauh sudut

tegak PV modul terhadap cahaya matahari maka tingkat penerimaan sinar cahaya matahari akan semakin rendah, sebab bila sudut PV modul semakin miring maka sebagian besar sinar matahari akan mengalami pemantulan dari permukaan sel surya dan hanya sedikit foton yang diserap. Persamaan untuk dapat mengetahui ketinggian maksimum (dalam derajat) ketika sinar matahari mencapai langit (α), secara mudah sebagai berikut [16].

$$\alpha = 90^\circ - lat + \delta(N \text{ hemisphere}); 90^\circ - lat + \delta(S \text{ hemisphere}) \quad (7)$$

Keterangan:

- EL : Penggunaan energi (kWh/hari)
 Gav : Insolasi harian radiasi cahaya matahari rata-rata (3,98 kWh/m²/hari)
 η_{PV} : Efisiensi panel surya
 TCF : *Temperature correction factor*
 η_{out} : Efisiensi inverter
 PSI : 1000w/m² (*Peak Solar Insolation*)
 P Watt peak : Daya yang dibangkitkan (Wp)
 PMPP : Daya maksimum keluaran panel surya
 lat : Garis lintang (*latitude*) lokasi instalasi PV modul terpasang (°)
 δ : Sudut dari deklinasi matahari (23.45°)

Sedangkan sudut yang harus dibentuk oleh PV modul terhadap permukaan bumi (β), dapat diperoleh dengan $\beta = 90 - \alpha$

f. Variabel Penelitian

Komponen dasar dalam penelitian analisis efisiensi dan efektivitas daya listrik panel surya untuk menggantikan listrik negara terdiri dari faktor cuaca, daya listrik yang dihasilkan panel surya, dan waktu pengambilan data daya listrik pada inverter. Dalam hal ini, faktor cuaca merupakan variabel bebas, dikarenakan faktor cuaca ini merupakan variabel yang dapat mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu hasil daya listrik yang diperoleh PLTS saat panel surya mendapatkan sinar matahari dikarenakan variabel terikat ini merupakan variabel yang dipengaruhi oleh faktor cuaca. Selanjutnya, untuk variabel kontrol merupakan variabel yang dikendalikan agar variabel bebas dan variabel terikat tidak dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak diteliti oleh peneliti. Variabel kontrol dalam penelitian ini yaitu waktu pengambilan nilai hasil daya listrik panel surya pada empat inverter di PLTS pada gedung parkir motor.

Tabel 1. Variabel Penelitian

No.	Jenis Variabel Penelitian	Variabel Penelitian
1	Variabel Bebas	Faktor cuaca seperti cerah, cerah berawan, berawan, hujan, dan hujan disertai petir
2	Variabel Terikat	Nilai daya listrik yang dihasilkan panel surya pada saat panel surya mendapatkan sinar cahaya matahari
3	Variabel Kontrol	Waktu pengambilan nilai daya listrik panel surya pada empat inverter di PLTS pada Gedung parkir motor

Variabel kontrol telah ditentukan oleh peneliti yaitu pada hari Rabu, tanggal 09 Juni 2021 hingga Senin, 14 Juni 2021. Pada hari tersebut akan dilakukan pengambilan nilai daya listrik panel surya dimulai pada pukul 06.00 WIB hingga pukul 18.00 dengan jarak waktu pengambilan selama 2 jam. Jadi dalam satu hari akan didapatkan tujuh nilai data daya listrik panel surya pada satu inverter, sehingga total data yang didapatkan dari keempat inverter yaitu 28 nilai daya listrik panel surya.

g. Konsep Perancangan PLTS

Dalam menganalisis penggunaan daya listrik panel surya pada gedung parkir motor terlebih dahulu kita harus mengetahui perancangan dari panel surya pada gedung parkir motor mulai dari perhitungan perancangan kapasitas komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), hingga perhitungan perancangan kemiringan panel surya pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di gedung parkir motor lima lantai.

1) Perhitungan Perancangan Kapasitas Komponen PLTS

Dalam pembangunan sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), hal yang terpenting ialah pemilihan tipe komponen panel surya. Pemilihan tipe produk berdasarkan dari beberapa hal yaitu

pertimbangan nilai ekonomis, keterjangkauan barang terhadap konsumen, dan pelayanan yang berkelanjutan. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada gedung parkir motor lima lantai menggunakan panel surya yang memiliki kapasitas 200 wp produksi BP Solar *Polycrystalline*. Berdasarkan kapasitas produksi panel surya sebesar 200 wp, maka dapat ditentukan daya rancangan yang dihasilkan yaitu sebagai berikut.

$$P_{Watt\ Peak} = \text{Jumlah PV modul} \cdot P_{mpp} (\text{Watt peak})$$

$$P_{Watt\ Peak} = 440 \cdot 200 = 88,000 \text{ Wp}$$

Daya rancangan yang dihasilkan dari 440 buah panel surya adalah 88 kWp

Tabel 2. Spesifikasi Modul Surya

Item PV Modul	Spesifikasi	Keterangan
Modul Type	JB-200P	<i>Polycrystalline</i>
Quantity	440 Pcs	
Number of Cell	72 Pcs	
Rated Max Power	200 Watt peak	(Pmax)
Tolerance	±5 %	
Current at Pmax	5,30 A	(Imp)
Voltage at Pmax	37,8 V	(Vmp)
Short circuit current	5,55 A	(Isc)
Open circuit Voltage	45,40 V	(Voc)
Efficiency	15,11 %	
Weight	15,8 kg	(kg)
Max System Voltage	1000 Vdc	(Vdc)
Size	1330×992×35mm	

Berdasarkan jumlah panel yang terpasang sebanyak 440 unit dan dibagi menjadi 4 inverter dengan masing-masing inverter berisikan 20 unit panel yang disusun secara seri dan paralel × 6 string, 20 unit panel yang disusun secara seri dan paralel × 6 string, 20 unit panel yang disusun secara seri dan paralel × 5 string, dan 20 unit panel yang disusun secara seri dan paralel × 5 string. Berikut spesifikasi panel surya dengan $V_{mp} = 37,8 \text{ V}$, $I_{mp} = 5,30 \text{ A}$ dan $P_{MPP} = 150 \text{ Wp}$ per-panel surya, maka dengan spesifikasi tersebut besar V_{mp} , I_{mp} , dan P_{MPP} pada satu panel dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_{mp} \text{ satu string} = 37,8 \times 2 = 75,6 \text{ V}$$

$$I_{mp} \text{ satu string} = 5,30 \times 10 = 53 \text{ A}$$

$$P_{MPP} = V_{mp} \times I_{mp} = 75,6 \text{ V} \times 53 \text{ A} = 4,006,8 \text{ Wp}$$

Berdasarkan gambar 2 rangkaian distribusi panel surya dibawah dan data dilampiran maka jumlah panel surya yang digunakan adalah sebanyak 440 panel surya dengan setiap *string* akan menghasilkan daya sebesar 4.006,8 Wp, sehingga untuk tiap inverter akan menghasilkan daya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Inverter 1} &= 4,006,8 \text{ Wp} \times 6 \text{ String} & \text{Inverter 2} &= 4,006,8 \text{ Wp} \times 6 \text{ String} \\ &= 24,040,8 \text{ Wp} & &= 24,040,8 \text{ Wp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inverter 3} &= 4,006,8 \text{ Wp} \times 5 \text{ String} & \text{Inverter 3} &= 4,006,8 \text{ Wp} \times 5 \text{ String} \\ &= 20,034 \text{ Wp} & &= 20,034 \text{ Wp} \end{aligned}$$

Jadi berdasarkan perhitungan daya pada setiap inverter maka total daya perancangan yang dihasilkan PLTS sebesar 88,1496 kWp. Nilai tersebut merupakan nilai total daya puncak pada panel surya yang dirancang secara seri paralel di gedung parkir motor.

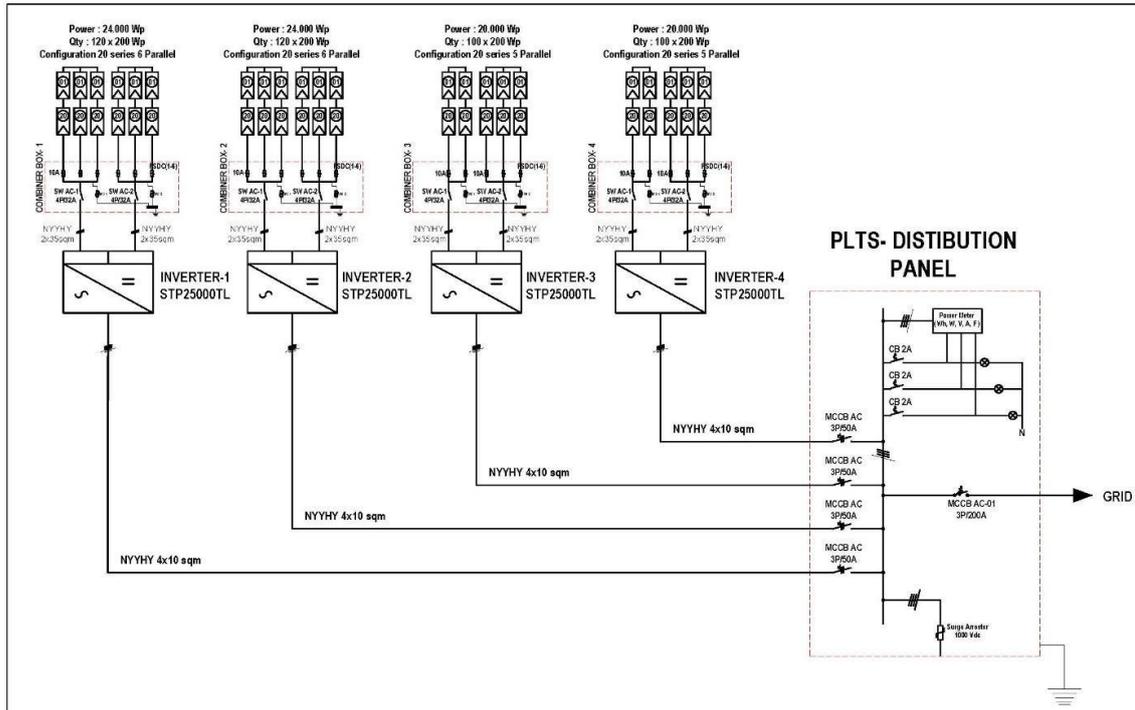
2) Perhitungan Perancangan Kemiringan Panel Surya

Pada proses instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya diperlukan ketelitian dan kecermatan dalam menentukan sudut kemiringan panel surya, hal ini diperlukan agar panel surya tersebut mendapatkan cahaya sinar matahari yang optimal pada gedung parkir motor lima lantai yang berada di wilayah Kecamatan Kebayoran Baru Kota Jakarta Selatan dengan titik koordinat $6^{\circ}14'08.9''\text{S}$ $106^{\circ}48'00.3''\text{E}$, maka sudut kemiringan panel surya dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \alpha &= 90^{\circ} + \text{lat} - \delta (\text{S hemisphere}) & \beta &= 90^{\circ} - \alpha \\ &= 90^{\circ} + 6,14^{\circ} - 23,45 & &= 90^{\circ} - 72,69^{\circ} \\ &= 72,69^{\circ} & &= 17,31^{\circ} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, jadi sudut kemiringan perancangan panel surya maksimum adalah

sebesar 17,31°. sedangkan kemiringan panel surya pada parkir motor lima lantai sebesar 10 derajat berdasarkan *design as build drawing* (terlampir). Sehingga sinar matahari mampu ditangkap secara optimal karena sudut kemiringan dibawah 17,31°.



Gambar 2. Rangkaian Distribusi Panel Surya

3. METODOLOGI

a. Objek Penelitian

Dalam penelitian analisis panel surya ini telah ditentukan objek penelitiannya yaitu pada gedung parkir motor lima lantai yang menggunakan daya listrik dari panel surya dengan sistem *on grid*. Gedung parkir motor lima lantai dengan luas bangunan 3630 m² dan luas lahan 804 m² terletak di daerah Kebayoran Baru, Kota Jakarta Selatan. Gedung parkir motor ini beroperasi pada hari kerja mulai pukul 06.00. WIB hingga pukul 18.00 WIB. Gedung ini beroperasi setiap hari akan tetapi penggunaan fasilitas tersibuk pada lima hari kerja dalam seminggu. Dalam gedung tersebut terdapat berbagai macam peralatan yang digunakan untuk menunjang fasilitas parkir motor pegawai, diantaranya: lift dengan 5600 Watt peak sebanyak satu unit, lampu TL LED dengan 14,5 Watt peak sebanyak 146 unit, lampu petunjuk arah *exit* dengan 3 Watt peak sebanyak 22 unit, cctv dengan 5,04 Watt peak sebanyak 41 unit, dan komputer dengan 230 Watt peak sebanyak tiga unit, serta barrier gate motor 4,5 Watt peak sebanyak enam unit. Gedung parkir motor lima lantai ini menggunakan tiga sumber energi listrik yang pertama energi listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang terletak pada *rooftop* gedung tersebut, Kedua energi listrik yang berasal dari listrik negara yaitu PLN, dan ketiga berasal dari generator set yang beroperasi ketika Pembangkit Listrik Tenaga Surya tidak menghasilkan daya atau dengan kata lain cuaca sedang berawan atau hujan dan listrik yang berasal dari PLN sedang mengalami pemadaman. Berdasarkan peralatan utilitas yang telah dijelaskan sebelumnya, maka jumlah beban puncak pada gedung parkir motor tersebut adalah 8706,64 Watt peak.

b. Profil Energi Listrik Gedung Parkir Motor

Pengumpulan data beban total harian pada gedung parkir motor lima lantai merupakan Langkah awal dalam perhitungan efisiensi dan efektivitas panel surya yang digunakan gedung parkir motor tersebut. Dalam hal ini peneliti telah menentukan jadwal dalam pengambilan data beban total harian yaitu pada tanggal 9 Junihingga 14 Juni 2021 selama 6 hari kalender.

Tabel 3. Data Konsumsi Energi Listrik Gedung Parkir Motor

No.	Waktu/tanggal	Beban Total Harian
1	9 Juni 2021	209.9694 kWh
2	10 Juni 2021	210.1511 kWh
3	11 Juni 2021	209.8796 kWh

No.	Waktu/tanggal	Beban Total Harian
4	12 Juni 2021	208.8519 kWh
5	13 Juni 2021	208.9594 kWh
6	14 Juni 2021	210.1496 kWh
Beban total harian rata-rata		209.66 kWh



Gambar 3. Gedung Parkir Motor

Berdasarkan hasil pengukuran energi listrik gedung parkir motor lima lantai dari AMR (*Automatic Meter Reading*) dalam rentang waktu 9 Juni hingga 14 Juni 2021 menunjukkan bahwa pemakaian energi listrik dengan beban total harian rata-rata sebesar 209,66 kWh. Data AMR (*Automatic Meter Reading*) digunakan sebagai acuan perhitungan efisiensi dan efektivitas PLTS karena data AMR (*Automatic Meter Reading*) menunjukkan beban puncak sesungguhnya.

Selanjutnya pengumpulan data daya listrik yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *On Grid*. Data daya listrik ini diperoleh dari AMR (*Automatic Meter Reading*) pada masing-masing Inverter. Dalam hal ini peneliti telah menentukan jadwal dalam pengambilan data daya listrik yang diperoleh yaitu pada tanggal 9 Juni hingga 14 Juni 2021 selama 6 hari kalender.

Tabel 4. Data Daya Panel Surya Gedung Parkir Motor

No.	Waktu/tanggal	Daya
1	9 Juni 2021	205.64 kWh
2	10 Juni 2021	218.30 kWh
3	11 Juni 2021	199.60 kWh
4	12 Juni 2021	267.15 kWh
5	13 Juni 2021	175.87 kWh
6	14 Juni 2021	194.92 kWh
Beban total harian rata-rata		209,66 kWh

Berdasarkan hasil pengukuran daya energi listrik yang dihasilkan panel surya pada gedung parkir motor lima lantai dari AMR (*Automatic Meter Reading*) di setiap inverter dalam rentang waktu 9 Juni hingga 14 Juni 2021 menunjukkan bahwa daya listrik yang dihasilkan dengan total daya harian rata-rata sebesar 205.64 kWh.

c. Perhitungan Efisiensi Modul PV

Efisiensi pada panel surya merupakan prosentase ukuran untuk keluaran daya listrik. Dalam menghitung efisiensi terlebih dahulu harus dapat mengetahui P_{max} (daya keluaran maksimal) dan besaran dimensi yang dapat mempengaruhi daya yang dihasilkan panel surya karena semakin luas panel surya maka semakin besar pula daya yang dihasilkan. Berikut perhitungan efisiensi.

$$\begin{aligned}
 \eta_{max} &= P_{max} : (PSI \times A_c) \times 100\% \\
 &= 88.149,6 \text{ Watt} : (1000 \text{ W/m}^2 \times (\text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Jumlah Panel})) \times 100\% \\
 &= 88.149,6 \text{ Watt} : (1000 \text{ W/m}^2 \times (1,33 \times 0,992 \times 440)) \times 100\% \\
 &= 88.149,6 \text{ Watt} : 580.518,4 \times 100\% \\
 &= 15,18\%
 \end{aligned}$$

d. Perhitungan Kapasitas PLTS

Dalam pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya tentunya pada mulanya akan memperhitungkan luasan area yang akan digunakan untuk penempatan panel surya tersebut. Melalui luasan area tersebut maka kita dapat menentukan jumlah panel surya yang dibutuhkan dalam memenuhi kebutuhan energi listrik. Menghitung area string dan menghitung energi listrik yang disuplai dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) diperoleh dengan menghitung luas area string sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{PV Area} &= \text{EL} : (\text{Gav} \times \eta_{\text{PV}} \times \text{TCF} \times \eta_{\text{Out}}) \\ \text{PV Area} &= 209,66 \text{ kWh} : (3,98 \text{ kWh/m}^2 \times 0,1518 \times 0,98 \times 0,98) \\ &= 209,66 \text{ kWh} : 0,580 \text{ kWh/m}^2 \\ &= 361,48 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

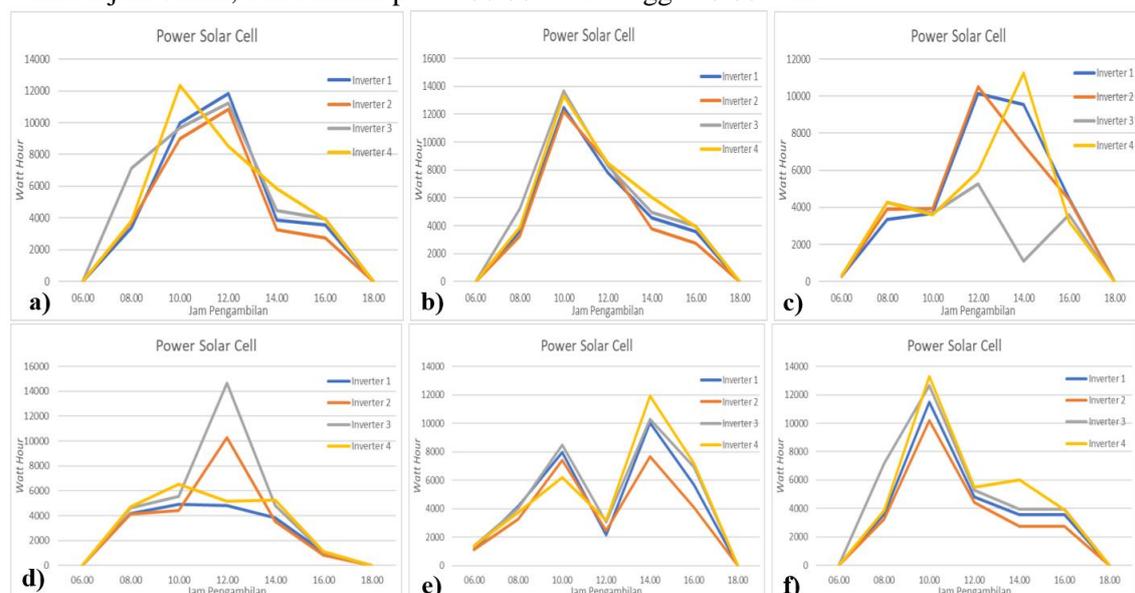
Berdasarkan perhitungan *PV Area* tersebut maka didapatkan nilai sebesar 361,48 m². Nilai tersebut merupakan luasan area PV yang digunakan untuk membangkitkan kebutuhan energi listrik sesuai tabel 4.1. Luasan area PV ini lebih kecil dari data dilapangan yaitu luas lahan gedung parkir motor lima lantai yang terletak pada bagian *rooftop* gedung dengan luasan 802,3 m². Sehingga luasan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada Gedung parkir motor tersebut hanya membutuhkan 45,05 % dari luas *rooftop* tersebut Berdasarkan hasil perhitungan luasan *PV area*, maka daya yang dapat dibangkitkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Surya dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah PV modul} &= P \text{ (Watt peak)} : P_{\text{mpp}} \\ &= 54,872 \text{ kWp} : 200 \text{ Wp} \\ &= 274,36 = 275 \text{ Panel} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka kebutuhan panel dengan beban total harian rata-rata 209,66 kWh adalah 275 panel surya. Jadi jika dibandingkan dengan data dilapangan jumlah panel surya yang terpasang 440 buah, maka daya yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) tersebut memiliki daya yang berlebih dan dialirkan langsung ke listrik negara. Perbedaan jumlah panel surya ini terjadi karena selain untuk pembangkit listrik tenaga surya yang seharusnya dibangkitkan hanya untuk kebutuhan beban gedung parkir motor tersebut cukup dengan 275 panel surya, akan tetapi panel surya tersebut juga sebagai atap pada gedung parkir motor dengan luas *rooftop* 802,3 m². Oleh karena itu, panel surya dengan jumlah 440 buah luasnya 580,52 m² berfungsi juga sebagai atap gedung parkir motor. Sesuai dengan *design as build drawing* terlampir.

e. Data Power Solar cell

Pengambilan data power solar cell telah dilakukan mulai hari Rabu, 9 Juni 2021 sampai dengan hari Senin, 14 Juni 2021. Selanjutnya dari data tersebut akan dianalisis bagaimana panel surya ini beroperasi dan berapa power maksimal yang dihasilkan. Pengambilan data ini dilakukan dengan *range* waktu 2 jam sekali, dan dimulai pukul 06.00 WIB hingga 18.00 WIB.



Gambar 4. Grafik *Power Solar Cell*: (a) grafik tanggal 09-06-21; (b) grafik tanggal 10-06-21; (c) grafik tanggal 11-06-21; (d) grafik tanggal 12-06-21; (e) grafik tanggal 13-06-21; (f) grafik tanggal 14-06-21

Grafik dibawah ini menunjukkan empat *line* yang berarti terdiri dari empat inverter. Berikut data *power solar cell*.

Berdasarkan dari ke enam gambar grafik diatas dapat kita ketahui bahwa rata-rata daya maksimal yang dihasilkan terjadi pada pukul 10.00 WIB. Hal ini terjadi dikarenakan sinar cahaya matahari dapat tegak lurus dengan panel surya pada gedung parkir motor lima lantai. Dalam gambar 3.2 menunjukkan gambar grafik yang fluktuatif, hal ini terjadi dikarenakan pengaruh dari sinar cahaya matahari yang diperoleh/ditangkap panel surya tidak konstan dengan kata lain tergantung pada cuaca dihari itu. Cuaca pada saat pengambilan tanggal 9 Juni 2021 hingga 14 Juni 2021 yaitu cerah dan cerah berawan. Selanjutnya dilakukan perhitungan sebagai perbandingan antara daya maksimal yang dihasilkan melalui data grafik diatas dengan daya maksimal yang telah dilakukan sebelumnya melalui spesifikasi modul panel surya yang telah disambung secara seri dan parallel. Untuk perhitungan daya maksimal yang aktual, peneliti memilih grafik pada hari Kamis, tanggal 10 Juni 2021 dikarenakan data tersebut grafiknya menunjukkan datayang cukup stabil dan cuaca yang cerah.

Daya maksimal pada hari Kamis, tanggal 10 Juni 2021 terjadi pada pukul 10.00 WIB yaitu masing- masing 12.490 *Watt hour*, 12.190 *Watt hour*, 13.660 *Watt hour*, dan 13.300 *Watt hour*.

$$\begin{aligned} \text{Daya maksimal total aktual} &= 12.490 + 12.190 + 13.660 + 13.300 \\ &= 51.640 \text{ Watt hour} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya maksimal rencana} &= 24.040,8 + 24.040,8 + 20.034 + 20.034 \\ &= 88.149,6 \text{ Watt peak} \end{aligned}$$

Efisiensi panel surya pada gedung parkir motor dapat dihitung melalui daya maksimal total aktual dibagi daya maksimal rencana yang sesuai dengan spesifikasi pada modul panel surya yang telah dihubungkan secara seri dan parallel dikali seratus persen, sebagai berikut.

$$\text{Efisiensi panel surya} = 51.640 : 88.149,6 \times 100 \% = 58,58\%$$

Jadi efisiensi panel surya sebesar 58,58%. Prosentase diatas terlihat kurang memuaskan bisa jadi dikarenakan waktu pengambilan yang kurang tepat dan bisa juga dengan cuaca yang kurang mendukung sehingga daya total aktual yang dihasilkan dapat dikatakan kurang memuaskan.

4. KESIMPULAN

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *On Grid* memiliki efisiensi sebesar 58,58%. sehingga Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *On Grid* pada gedung parkir motor lima lantai dengan luas bangunan 3630 m² dan luas lahan 804 m² memiliki efisensi yang cukup. Dalam hal efektivitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *On Grid* pada gedung parkir motor lima lantai dengan luas bangunan 3630 m² dan luas lahan 804 m² memiliki kekurangan yaitu tidak adanya exim meter yang mampu mengukur surplus listrik yang masuk ke jaringan PLN, dan juga sebaliknya listrik PLN yang dipakai gedung parkir motor saat panel surya tidak menghasilkan energi yang menyebabkan tidak mendapatkan *feed in tarif* dari listrik negara. Berdasarkan peralatan utilitas yang terpasang pada gedung parkir motor beban puncaknya yaitu 8706,64 *Watt peak*, sedangkan daya maksimal yang dihasilkan oleh panel surya adalah 51.640 *Watt hour*. Jadi daya yang dihasilkan oleh panel surya pada gedung parkir motor ini berlebih. Sehingga mampu menggantikan listrik negara pada siang hari atau pada saat PLTS tersebut beroperasi.

5. REFERENSI

- [1] Pemerintah Republik Indonesia (Government of Indonesia), “Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (Government Regulations of the Republic of Indonesia Number 79 Year 2014 on National Energy Policy),” pp. 1–36, 2014.
- [2] Presiden RI, “Perpres Nomor 22 Tahun 2017.” 2017.
- [3] Ministry of Energy and Mineral Resource Republic of Indonesia, “Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik.” 2017.
- [4] S. S. Mohammad Hafidz;, “Perancangan Dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 10 Mw *on Grid* Di Yogyakarta,” *Jur. Tek. Elektro, Sekol. Tinggi Tek. PLN*, vol. 7, no. JURNAL ENERGI & KELISTRIKAN VOL. 7 NO. 1, JANUARI-MEI 2015, p. 49, 2015.
- [5] S. Karim and D. Cahyanto, “Analisa Penggunaan Solar Cell Pada Rumah Tinggal Untuk Keperluan Penerangan dan Beban Kecil,” vol. 2, no. 1, pp. 22–32, 2019.
- [6] P. G. Chamdareno, E. Nuryanto, and E. Dermawan, “Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid (Panel Surya dan Diesel Generator) pada Kapal KM. Kelud,” *Resist. (Elektronika Kendali*

- Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer*), vol. 2, no. 1, p. 59, 2019, doi: 10.24853/resistor.2.1.59-64.
- [7] Kementerian ESDM, “Solar cell, Sumber Energi Terbarukan Masa Depan,” 2011. [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/solar-cell-sumber-energi-terbarukan-masa-depan>. [Diakses 11 April 2021].
- [8] R. Hariyati, M. N. Qosim, and A. W. Hasanah, “Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah Konsep Fotovoltaik Terintegrasi *On Grid* dengan Gedung STT-PLN Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah,” vol. 11, no. 1, pp. 17–26, 2019.
- [9] Naville, Richard C., “Solar Energy Conversion”. Elsevier USA, 1995.
- [10] T. Markvart and L. Castaner, “Practical handbook of,” *Pract. Handb. Photovoltaics Fundam. Appl.*, pp. 1–1015, 2003.
- [11] M.R. Patel. “*Wind and Solar Power System*”. Washington, DC: CRC Press., 1984.
- [12] Luque, A., dan S. Hegedus., “Buku Pegangan Sains dan Teknik Fotovoltaik”. Wiley, Hoboken, NJ, 2003.
- [13] Ito, M., K. Kato, K. Komoto, T. Kichimi, dan K. Kurokawa, “Studi Perbandingan Tentang Biaya Dan Analisis Siklus Hidup Untuk 100 MW Sistem PV Skala Sangat Besar (VLS-PV) Di Gurun Menggunakan Modul m-Si, a-Si, CdTe, dan CIS”. *Progress in Photovoltaics*, 16, 17-30, 2007.
- [14] Nafeh, A.E.A. “Design and economic Analipsis of a stand-alone PV System to Electrify a reamotearea Household in Egypt”. *The Open Renewable Energy Journal* 2 : 33-37, 2009.
- [15] ABB. “Technical Application Papers N0.10 Photovoltaic Plants”. Italy. Bergamo, 2010.