

Analisis Kebutuhan Pembangkit Listrik Sistem Photovoltaic (PV) untuk Net Zero Energy Building (NZE) di PT Pertamina Fuel Terminal Tasikmalaya

Ulfi Latipah Oktoviani

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Indonesia

Article Info

Article history

Received July 29, 2022

Revised January 16, 2023

Accepted February 13, 2023

Keywords

Net Zero Energy Building (NZE);

Photovoltaic (PV);

Efisiensi;

On grid;

Off grid.

ABSTRACT

Dalam rangka mendukung pelaksanaan dekarbonisasi dan energi bersih, Pemerintah Indonesia telah mendorong efisiensi dan penggunaan energi baru terbarukan. Salah satu bentuk pelaksanaannya dapat dilakukan pada gedung melalui pemanfaatan sumber energi mandiri yang disebut dengan *Net Zero Energy Building (NZE)*. Saat ini di PT Pertamina FT Tasikmalaya sumber listrik yang digunakan sepenuhnya masih berasal dari PLN serta generator set (genset) sebagai cadangan sumber energi saat padam. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan sistem *Photovoltaic (PV)* sebagai sumber penyediaan energi untuk penerapan NZE pada salah satu gedung kantor Pertamina FT Tasikmalaya yaitu salah satu anak perusahaan yang berkomitmen pada konservasi energi. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah melalui menyusun profil konsumsi energi gedung dan memodelkan sistem penyediaan energi dari PV dan selanjutnya menganalisis keekonomiannya untuk menjadi dasar bagi kelayakan penerapannya dengan menggunakan aplikasi HOMER. Dengan hasil dari pengukuran konfigurasi PV off grid dapat menyuplai daya 100% dari listrik PLTS ke gedung utama perkantoran sebesar 114.548 kWh/yr. Untuk konfigurasi on grid dapat menyuplai daya 67,8% kebutuhan listrik gedung utama FT Tasikmalaya yaitu 29.317 kWh/yr.

This is an open-access article under the [CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



*Corresponding Author

Ulfi Latipah Oktoviani,

Jurusan Teknik Mesin,

Fakultas Teknik,

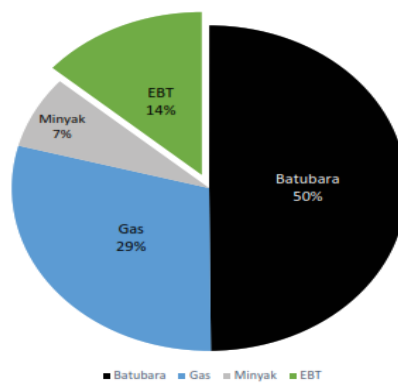
Universitas Mercu Buana,

Jl. Meruya Selatan No. 1, Kembangan, Jakarta Barat 11650, Indonesia

Email: uoktoviani18@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Pemerintah Indonesia, telah mewajibkan Indonesia untuk melakukan dekarbonisasi melalui efisiensi dan penggunaan energi bersih seperti Energi Baru Terbarukan (EBT). Saat ini sumber energi listrik di Indonesia masih sebagian besar berasal dari pembangkit energi fosil yaitu Batubara (50%), Gas Bumi (29%), BBM (7%) dan Energi Baru Terbarukan (14%) [20] sebagaimana terlihat pada Gambar 1. Ketersediaan potensi EBT dapat menjadi peluang sebagai sumber energi bersih yang dapat dimanfaatkan oleh gedung-gedung baik rumah tangga ataupun komersial sebagai sumber energi mandiri dan bersih atau yang sering disebut juga dengan *Net Zero Energy Building (ZEB)* yaitu konsep bangunan yang dapat mencukupi kebutuhan energinya dari sumber EBT [8]. Pemanfaatan sumber EBT jenis surya belum secara optimal dilakukan di Indonesia.



Gambar 1. Sumber Penggunaan Energi Listrik di Indonesia 2019

Jika dibandingkan secara global, bahkan tidak mengikuti tren global yang cenderung naik dua kali lipat selama tujuh tahun terakhir di sejumlah negara. Padahal, potensi surya di Indonesia bisa lebih maksimal dibandingkan negara lain karena variasi musim yang rendah atau tropis [5]. Hal utama yang menjadi pertimbangan dalam investasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yaitu mahalnya investasi awal dan dampak atau nilai *payback* yang tergolong cukup lama [7]. Salah satu industri atau perusahaan yaitu PT Pertamina (Persero) Fuel Terminal (FT) Tasikmalaya yang berlokasi di pusat kota Tasikmalaya. FT Tasikmalaya merupakan satu-satunya perusahaan yang bergerak di industri distribusi Bahan Bakar Minyak (BBM) menyuplai di wilayah Priangan Timur [13]. Sumber energi yang digunakan FT Tasikmalaya masih berasal dari listrik PLN sepenuhnya dengan kapasitas 329 kVA melalui trafo 20kV/400V serta *generator set* (genset) berbahan bakar *Biofuel* dengan kapasitas 500 kVA sebagai cadangan sumber energi apabila PLN padam [16]. Maka dari itu perlu dilakukannya analisis suatu profil kebutuhan penyediaan energi dan perhitungan kapasitas sistem Photovoltaic (PV) yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan listrik di gedung utama PT Pertamina FT Tasikmalaya Analisis kebutuhan ini dilakukan untuk menghitung kebutuhan energi yang diperlukan sehingga dapat dirancang sistem PV yang optimal diperlukan, Analisis juga mencakup kelayakan investasi dari penerapan PV tersebut sehingga kelayakan keekonomiannya dapat menjadi dasar pertimbangan bagi keputusan investasi.

1.1. Penggunaan Solar Cell Pada Bangunan (PLTS)

Solar panel dapat dipasang hampir ke semua jenis desain bangunan. Umumnya, pemasangan solar panel ditempatkan di atap, baik itu genteng, kanopi, maupun area rooftop pada gedung tinggi. Namun, tidak terbatas juga jika dipasang di lahan luas lainnya. Penggunaan solar cell pada gedung dapat dilakukan dalam 3 bentuk yaitu PLTS Off-Grid, PLTS On-Grid, dan PLTS Hybrid. Setiap jenis sistem PLTS ini memiliki karakteristik desain dan prosedur yang berbeda, dengan rincian sebagai berikut.

1. Sistem PLTS On-Grid: yaitu sistem PV yang terhubung dengan jaringan sehingga PLTS tidak memerlukan baterai dan output energinya dapat didistribusikan ke pelanggan yang telah disuplai oleh pembangkit lainnya.
2. Sistem PLTS Off-Grid: yaitu sistem PV yang secara mandiri menyuplai pelanggan atau tidak terhubung dengan jaringan listrik PLN. Sistem ini memerlukan penyimpanan energi seperti baterai untuk menyuplai kebutuhan listrik pada malam hari atau saat cuaca buruk.
3. Sistem PLTS Hybrid: yaitu gabungan dari sistem PV dan pembangkit lainnya seperti PLTD/PLTB sehingga sifat intermitensi dari PV dapat diantisipasi oleh pembangkit lainnya.

Adapun komponen-komponen penyusun sistem PLTS pada gedung adalah sebagai berikut.

1. Modul Surya (PV Modul)
Modul Surya adalah bagian utama dari PLTS yang berfungsi untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Modul ini berbahan dasar semikonduktor yang bekerja dengan prinsip fenomena efek fotolistrik, terlihat seperti pada Gambar 2.
2. Inverter
Inverter merupakan perangkat elektronik yang berguna untuk mengubah daya DC menjadi AC. Perkembangan teknologi inverter kini mampu melakukan sinkronisasi secara otomatis jika terhubung dengan jaringan listrik lain. Hal ini tentunya akan memudahkan pengoperasi sistem PLTS terutama untuk kondisi On-Grid sehingga tidak mengganggu kondisi jaringan yang terhubung.



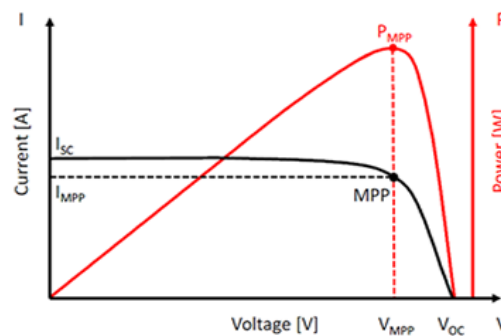
Gambar 2. Panel PV Monokristalin dan Polikristalin

3. Maximum Power Point Tracking (MPPT)

MPPT merupakan teknik kontrol tambahan yang sering digunakan untuk memaksimalkan energi yang didapatkan dari penggunaan modul PV. Penggunaan MPPT biasanya terdapat pada Inverter dan Charge Controller (jika menggunakan baterai).

Gambar 3 berikut menunjukkan karakteristik dari modul PV. Kontrol MPPT pada inverter mampu mengatur titik operasi modul PV sehingga berada pada titik optimum (V_{MPP} dan I_{MPP}).

I-V and P-V Characteristic



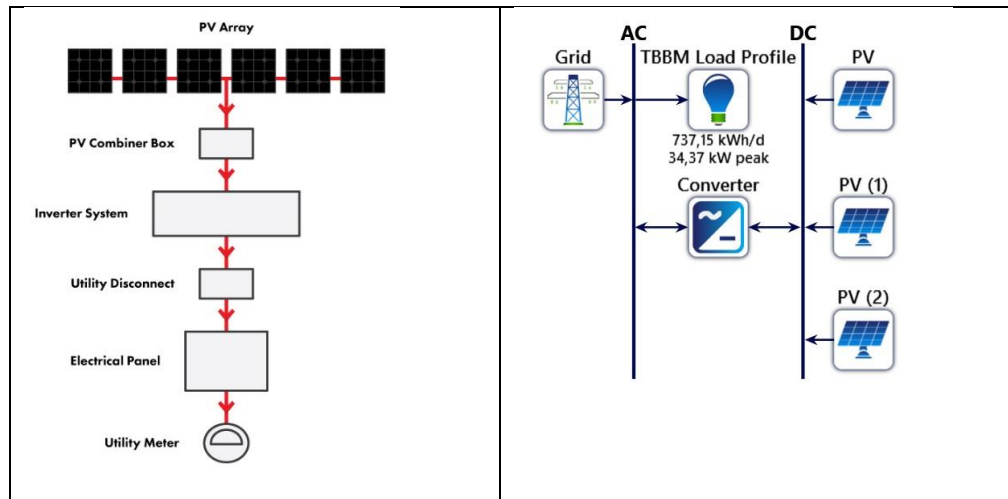
Gambar 3. Kurva karakteristik I-V dan P-V pada modul PV

4. Baterai dan Charge Controller

Pada sistem PLTS Off-Grid atau Hybrid terkadang memerlukan media penyimpanan energi guna mencukupi kebutuhan beban pada kondisi cuaca buruk atau malam hari. Baterai merupakan komponen penyimpanan yang paling sering digunakan dalam sistem PLTS. Baterai mampu menyerap dan menyuplai energi dalam bentuk listrik DC selama periode waktu tertentu. Umur dari baterai sendiri sangat tergantung pada besar arus dan jumlah siklus charging – discharging yang terjadi. Untuk meningkatkan efektivitas dan umur baterai, maka penggunaan baterai dalam sistem PLTS biasanya dilengkapi oleh converter dua arah yang biasa disebut dengan Solar Charge Controller (SCC). SCC akan mengatur tegangan baterai sehingga mampu mengatur siklus charging-discharging sekaligus melindungi baterai dari kondisi overcharged yang berujung pada kerusakan. Teknologi terkini dari SCC juga telah memiliki kontrol MPPT guna memaksimalkan ekstraksi energi dari PV.

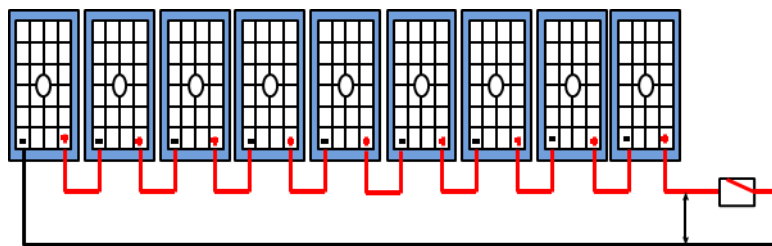
1.2. Perencanaan Topologi Sistem

Topologi sistem dirancang untuk memodelkan sistem PV yang akan dibangun dan terdiri dari *Solar PV*, *converter* dan *grid*, terlihat pada Gambar 4.

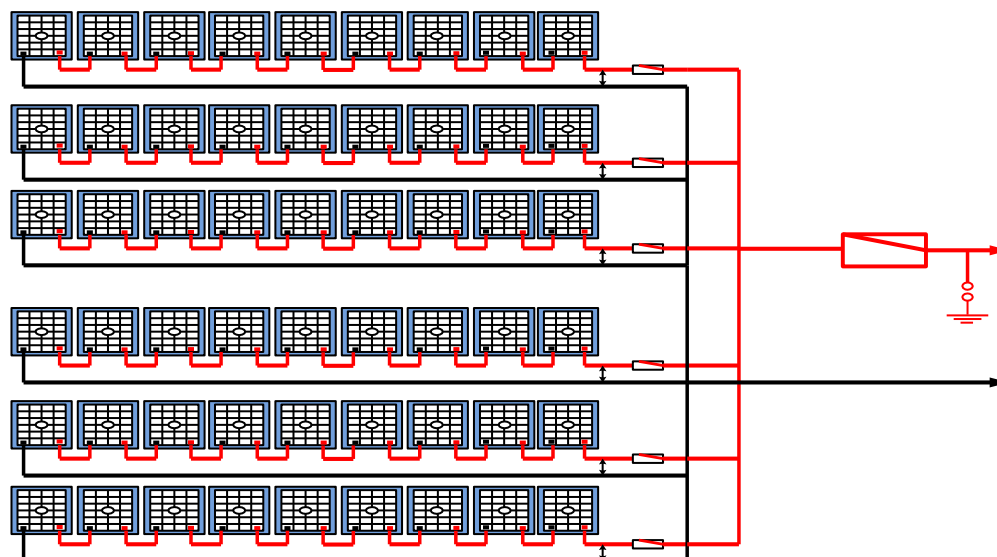


Gambar 4. Contoh Topologi Sistem PV

Susunan modul dapat dilakukan secara serial pada Gambar 5, paralel pada Gambar 6 atau hybrid sesuai dengan kebutuhan daya yang diperlukan.



Gambar 5. Susunan Serial Solar Cell



Gambar 6. Susunan Paralel Solar Cell

Jumlah modul yang diperlukan untuk modul PV yang terhubung serial dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.6.

$$N_{ps} = \frac{VN}{VP_{max}} \tag{1}$$

Oleh karena pada modul PV yang terhubung serial memiliki arus (i) yang sama, dimana total daya keluaran adalah sebesar:

$$P_{TOTAL} = P_{modul} \times N_{TOTAL} \tag{2}$$

Sedangkan jumlah modul yang diperlukan untuk PV yang terhubung parallel adalah:

$$N_{pp} = \frac{I_{max}}{I_{pmax}} \tag{3}$$

Dengan total daya keluaran adalah:

$$P_{mpp} = V_{mpp} \times I_{mpp} \tag{4}$$

1. Pemilihan Converter.

Converter diperlukan untuk mengkonversi kelistrikan dari jenis DC menjadi AC. Converter memiliki peran penting dalam pengendalian dan transfer energi yang dihasilkan PV.

2. Alat Perhitungan dan Simulator

Perhitungan dan simulasi akan menggunakan alat simulasi homer, yaitu perangkat lunak HOMER untuk perhitungan dan simulasi PV.

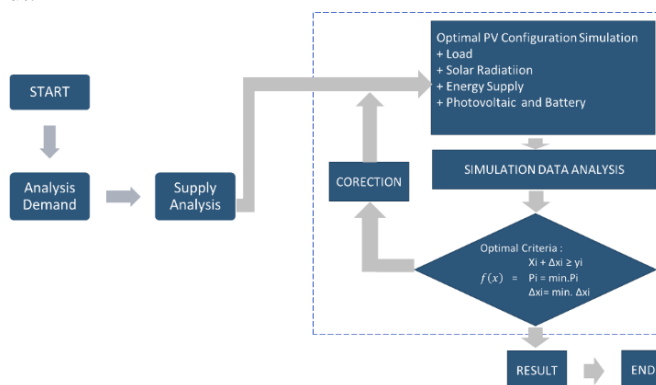
2. METODE DAN BAHAN

Langkah pertama yang dilakukan yaitu identifikasi masalah yang ada di PT Pertamina FT Tasikmalaya, setelah menemukan masalah yang dimaksud kemudian penulis mencari solusi yang dapat menyelesaikan permasalahan tersebut. Kemudian dilakukan studi literatur mengenai permasalahan yang ada, dan juga pengumpulan data yang dibutuhkan untuk melakukan analisis dari permasalahan yang ada di PT Pertamina Tasikmalaya mengenai sumber energi yang digunakan saat ini.

Hasil dari analisis dan perhitungan berupa jumlah dan lokasi yang paling optimal agar didapatkan energi listrik yang digunakan semaksimal mungkin berasal dari system fotovoltaik, jika ternyata efisiensi yang diharapkan tidak tercapai, maka dilakukan analisa ulang dan perhitungan.

2.1. Perancangan Kebutuhan Solar Cell

Perancangan kebutuhan solar cell pada bangunan dapat dilakukan berdasarkan kebutuhan konsumsi energi pada bangunan tersebut Gambar 4. Adapun tahapan perancangan kebutuhan solar cell dapat digambarkan pada Gambar 7 sebagai berikut.



Gambar 7. Metode Perancangan Kebutuhan Solar Cell

2.2. Perhitungan Konsumsi Energi Gedung

Konsumsi energi pada suatu bangunan dalam suatu periode waktu terdiri dari konsumsi dasar yaitu konsumsi yang berasal dari peralatan yang bekerja secara rutin dan konsumsi dinamis yaitu konsumsi yang terjadi secara berubah-ubah dan tidak tetap seperti adanya kegiatan baru dalam gedung. Konsumsi energi tersebut dapat dirumuskan dengan:

$$C_{total} = C_{base} + C_{dinamis} \tag{5}$$

Dimana:

C total = total konsumsi energi

C base = konsumsi energi dasar

C dinamis = konsumsi dinamis atau fleksibel dan berhubungan dengan jumlah dan jenis aktivitas dan aplikasi yang dipengaruhinya.

C_{dinamis} dapat dirumuskan dengan:

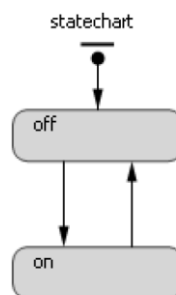
$$C_{\text{dinamis}} = \beta_1 C_{f1} + \beta_1 C_{f1} + \beta_1 C_{f1} + \beta_1 C_{f1} + \dots + \beta_n C_{fn} \quad (6)$$

Dimana:

C_{fn} = konsumsi energi maksimum pada setiap aplikasi ke n yang fleksibel

β = parameter yang menunjukkan karakteristik fleksibilitas

Contoh dari model fleksibilitas pada **Gambar 8** adalah sebagai berikut:



Gambar 8. Model Fleksibilitas

Adapun data konsumsi energi akan diambil dari data-data:

1. Perkiraan beban berdasarkan peralatan terpasang di dalam gedung;
2. Data historis pemakaian energi;
3. Pencatatan data primer konsumsi energi harian.

2.3. Perhitungan Kapasitas *Photovoltaic (PV)*

Perhitungan kapasitas PV mengacu kepada jumlah konsumsi energi gedung. Adapun perhitungan kapasitas PV dilakukan sebagai berikut:

1. Load Sizing

Load Sizing dihitung berdasarkan jumlah konsumsi energi yang telah dihitung berdasarkan data historis dan pengukuran harian.

2. Pemilihan Solar PV

Tegangan dan arus pada *maximum power point tracker (MPPT)* bergantung kepada karakteristik dari sel surya. Arus dari sel surya dapat ditulis berdasarkan persamaan berikut (Martin, GA.1982):

$$I = I_{sc} \left(e^{\frac{k.T}{q}} - 1 \right) - I_0 \quad (7)$$

Dimana:

k.T/q : Voltage Thermal = 0,02586 V in 300 °K

I_{sc} : Short Circuit Current (A)

I_o : No load Current (A)

sedangkan V_{oc} atau tegangan tanpa beban dirumuskan dengan:

$$V_{oc} = \frac{k.T}{q} \cdot \ln\left(\frac{I}{I_0} + 1\right) \quad (8)$$

Jumlah dari modul yang diperlukan dirumuskan dengan:

$$n = \frac{P_R}{P_M} \quad (9)$$

Dimana:

PR : Power of PLTS planning (kWp)
PM : Power of PV (Wp) / module

2.4. Pemodelan Sistem Penyediaan Dan Konsumsi Energi

Kegiatan *Net Zero-Energy Building (NZEB)* yang diteliti adalah gedung kantor (komersial) untuk pengurangan jumlah kebutuhan energi terbesar yang diperoleh melalui efisiensi yaitu melalui penyediaan energi baru terbarukan (dalam hal ini *photovoltaic*) untuk keseimbangan kebutuhan energi (Torcellini, 2006).

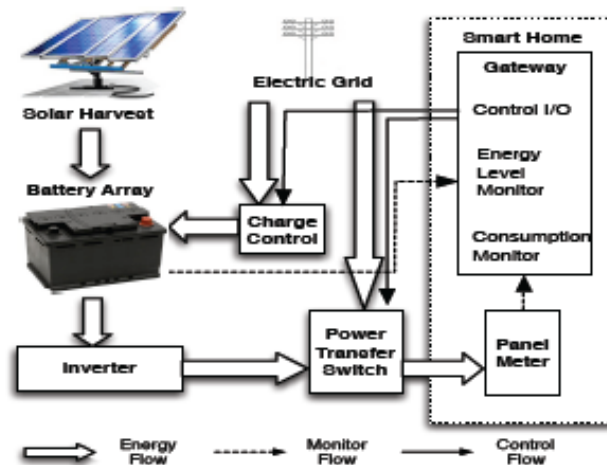
Keseimbangan kebutuhan dan penyediaan energi gedung dari *pv* dapat dirumuskan dengan:

$$\text{NZEB: } \sum_{t=0}^t C(t) \leq \sum_{t=0}^t E(t) \quad (10)$$

Dimana:

C(t) = total konsumsi energi selama waktu t
E(t) = total suplai (penyediaan) energi selama waktu t.

Pemodelan dengan energi terbarukan sebagai alternatif penyediaan energinya sebagai berikut pada **Gambar 9**:



Gambar 9. Sistem Penyediaan Energi dengan PV

Sistem digambarkan dengan parameter sebagai berikut:

Si = Daya yang dimuat ke dalam baterai selama interval i
Gi = Daya terbarukan yang dimuat ke dalam baterai
Ri = Daya terbarukan yang tersedia ke bangunan
Di = Daya yang dilepaskan dari baterai
Pj = Daya yang dikonsumsi
e = Ketidakefisienan dari susunan baterai dan inverter
Ci = biaya per KWh dalam interval i

3. HASIL DAN DISKUSI

Hasil perhitungan konsumsi energi pada gedung di FT Tasikmalaya adalah sebagai berikut:

a. Konsumsi Dasar

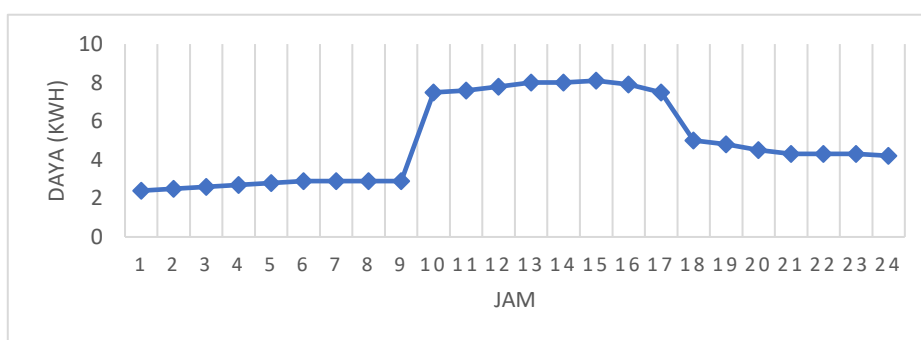
Konsumsi dasar (C_{base}) terdiri dari peralatan-peralatan pengonsumsi energi rutin yaitu:

- Sistem Pencahayaan (Lampu);
- Perangkat pengolah dan pencetak data seperti komputer, mesin fotocopy, *printer*, *scanner*;

- HVAC, seperti AC, Fan;
 - Perangkat telekomunikasi seperti perangkat komunikasi radio, telepon, faksimili;
 - Perangkat dan fasilitas lainnya seperti akuarium.
- b. Konsumsi Dinamis
- Konsumsi dinamis ($C_{dinamis}$) yaitu konsumsi yang terjadi secara dinamis karena adanya kegiatan sementara sehingga terjadi perubahan dari konsumsi dasar. Konsumsi dinamis terjadi saat:
- Adanya penambahan populasi pada gedung seperti kedatangan tamu sehingga meningkatkan konsumsi energi seperti peningkatan daya AC untuk mengatur suhu karena adanya perubahan suhu;
 - Adanya penambahan kegiatan sementara seperti aktivitas rapat dengan tamu sehingga terjadi penambahan penggunaan energi untuk komputer/laptop tamu.

Berdasarkan pola kerja di FT Tasikmalaya, dimana ruang kerja gedung merupakan area tertutup maka konsumsi energi dinamis tidak besar. Selain itu pola operasi gedung kantor yang berfungsi administratif sehingga pola konsumsi energi cenderung terjadi di jam kerja yaitu jam 8.00 WIB – 16.00 WIB (8 jam kerja). Berdasarkan pertimbangan tersebut total konsumsi energi $C_{total} \approx C_{base}$.

Dari pengukuran yang dilakukan di gedung kantor FT Tasikmalaya pada 1 hari dalam bulan April 2022 diperoleh data sebagai berikut pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil Pengukuran Daya Listrik Gedung FT Tasikmalaya

Dari hasil pengukuran tersebut diperoleh ringkasan konsumsi seperti terlihat pada Tabel 1.

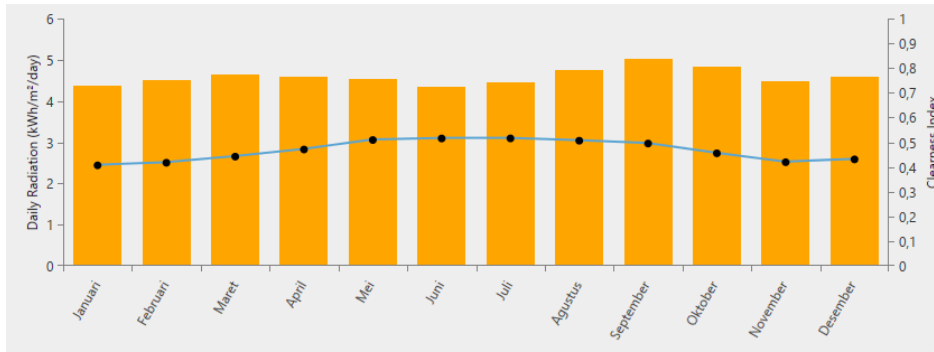
Tabel 1. Ringkasan Konsumsi Gedung FT Tasikmalaya dalam 1 Hari

<i>Metric</i>	<i>Baseline</i>	<i>Scaled</i>
<i>Average (kWh/d)</i>	118,4	118,4
<i>Average (kW)</i>	4,93	4,93
<i>Peak (Kw)</i>	14,25	14,25
<i>Load Factor</i>	,35	,35

Berdasarkan hasil pengukuran tersebut diperoleh profil konsumsi gedung FT Tasikmalaya adalah 118,4 kWh/hari.

c. Kebutuhan Pembangkit Listrik Sistem *Photovoltaic* (PV)

Dari data potensi matahari pada Gambar 11. Potensi Radiasi Matahari di Tasikmalayadi area FT Tasikmalaya, maka diperoleh potensi radiasi yang diperoleh dari Global Horizontal Irradiance (GHI) NASA dalam Software HOMER.



Gambar 11. Potensi Radiasi Matahari di Tasikmalaya

Dengan rata-rata curah radiasi per tahun dapat dilihat pada Tabel 2.

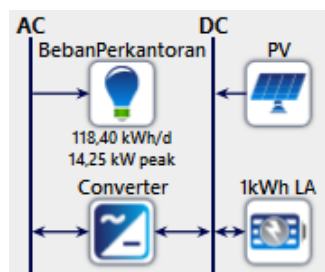
Tabel 2. Rata-rata Curah Radiasi Matahari di Tasikmalaya (kWh/m²/hari)

Month	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m ² /day)
Januari	0,406	4,370
Februari	0,417	4,500
Maret	0,441	4,640
April	0,470	4,600
Mei	0,509	4,540
Juni	0,515	4,350
Juli	0,515	4,450
Agustus	0,506	4,740
September	0,494	5,030
Oktober	0,455	4,840
November	0,419	4,490
Desember	0,430	4,600
<i>Annual Average (kWh/m²/day):</i>		4,60

Dari data curah radiasi pada Tabel 2 dan kebutuhan energi rata-rata dapat dilakukan perhitungan rancangan PV dengan menambahkan data kapasitas PV, *converter*, juga baterai yang digunakan. Adapun PV untuk memenuhi kebutuhan energi dirancang dalam 2 bentuk yaitu tidak terpasang langsung dengan sistem kelistrikan gedung (*off grid*) dan terpasang langsung dengan sistem kelistrikan gedung (*on grid*).

3.1. Rancangan PV Terpasang *Off Grid*

Rancangan PV terpasang off grid dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 12. Rancangan PV Terpasang Off Grid

Simulasi dengan menggunakan software HOMER dengan parameter tingkat curah radiasi matahari dan konfigurasi *off grid* maka kebutuhan PV ditunjukkan oleh Tabel 3. Dengan konfigurasi hasil simulasi pada Tabel 3 suplai daya dari PLTS ke Gedung Perkantoran sebesar 114.548 kWh/yr dan dari jaringan listrik PLN

sebesar 0 kWh/yr. Dengan demikian PLTS dengan kapasitas 84,8 kWp dapat menyuplai sebesar 100% kebutuhan listrik gedung TBBM Tasikmalaya.

Tabel 3. Hasil Simulasi Kebutuhan Daya PV Off Grid

Architecture			
PV (kW)	Grid (kW)	Converter (kW)	Dispatch
84,8	314	15,7	CC

Adapun biaya yang diperlukan untuk pengoperasian PV dengan konfigurasi *off grid* seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Biaya PV Off Grid

Cost			
COE	NPC	Operating Cost	Initial Capital
Rp 1.941	Rp 1.08B	Rp 19,0M	Rp 838M

Sedangkan biaya modal yang diperlukan dengan produksi listrik yang dihasilkan ditunjukkan oleh Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Biaya Modal PV Off Grid

PV	
Capital Cost	Production (kWh/yr)
Rp 508M	Rp 114.548

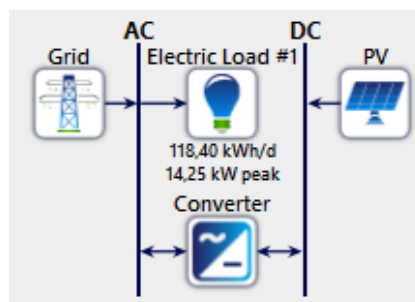
Tabel 6. Biaya Produksi Listrik Per Tahun

Cost			
COE	NPC	Operating Cost	Initial Capital
Rp 1.941	Rp 1.08B	Rp 19,0M	Rp 838M

Dari hasil simulasi pada 6 menunjukkan bahwa nilai *Cost of Energy* (COE) sistem off-grid sebesar Rp1.941,- dengan nilai investasi awal sebesar Rp838.000.000,-. dan masa operasi 25 tahun.

3.2. Rancangan PV Terpasang On Grid

Rancangan PV terpasang on grid dapat digambarkan sebagai berikut pada Gambar 13. Rancangan PV Terpasang on Grid.



Gambar 13. Rancangan PV Terpasang on Grid

Simulasi dengan menggunakan software HOMER dengan parameter tingkat curah radiasi matahari dan konfigurasi *on grid* maka kebutuhan PV adalah:

Tabel 7. Hasil Simulasi Kebutuhan Daya PV On Grid

<i>Architecture</i>			
PV (kW)	Grid (kW)	Converter (kW)	Dispatch
21,7	999.999	10,4	CC

Dengan konfigurasi hasil simulasi pada 7 suplai daya dari PLTS ke Gedung Perkantoran sebesar 29.317 kWh/yr dan dari jaringan listrik PLN sebesar 23.789 kWh/yr. Dengan demikian PLTS dengan kapasitas 21,7 kWp dapat menyuplai sebesar 50,3% kebutuhan listrik gedung TBBM Tasikmalaya.

Adapun biaya yang diperlukan untuk pengoperasian PV dengan konfigurasi *on grid* pada Tabel .

Tabel 8. Biaya PV On Grid

<i>Cost</i>			
COE	NPC	Operating Cost	Initial Capital
Rp 918,83	Rp 575M	Rp 33,6M	Rp 141M

Tabel 9. Biaya Modal PV On Grid dan Produksi Listrik per Tahun

<i>PV</i>	
Capital Cost	Production (kWh/yr)
Rp 130 M	Rp 29.317

Sedangkan biaya modal pada Tabel yang diperlukan dengan produksi listrik yang dihasilkan. Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa untuk memenuhi kebutuhan 100% energi pada gedung kantor utama di PT Pertamina FT Tasikmalaya maka konfigurasi yang digunakan adalah konfigurasi *off grid* dengan nilai COE sebesar Rp.1.941 dengan nilai investasi awala sebesar Rp. 838.0000.000 dan masa beroperasi yaitu 25 tahun. Namun untuk penurunan biaya yang dikeluarkan oleh PT Pertamina pada konsumsi energi dapat juga menggunakan konfigurasi *on grid* dimana hasil yang didapat nilai COEnya lebih rendah dari COE yang sekarang ada dari PLN, yaitu menjadi Rp. 918,83 dengan nilai investasi awal sebesar Rp. 141.000.000 dan masa beroperasi yaitu 25 tahun.

Berikut beberapa hasil yang didapatkan dari perhitungan diatas:

1. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut diperoleh kebutuhan konsumsi energi gedung FT Tasikmalaya adalah 118,4 kWh/hari.
2. PV untuk memenuhi kebutuhan energi dirancang dalam 2 bentuk yaitu tidak terpasang langsung dengan sistem kelistrikan gedung (*off grid*) dan terpasang langsung dengan sistem kelistrikan gedung (*on grid*).
3. Dengan konfigurasi PV *off grid*, suplai daya dari PLTS ke Gedung Perkantoran sebesar 114.548 kWh/yr dan dari jaringan listrik PLN sebesar 0 kWh/yr.
4. Dengan demikian PLTS dengan kapasitas 84,8 kWp dapat menyuplai sebesar 100% kebutuhan listrik gedung TBBM Tasikmalaya.
5. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai *Cost of Energy* (COE) sistem off-grid sebesar Rp1.941,- dengan nilai investasi awal sebesar Rp838.000.000,- dan masa operasi 25 tahun.
6. Dengan konfigurasi PV *on grid*, suplai daya dari PLTS ke Gedung Perkantoran sebesar 29.317 kWh/yr dan dari jaringan listrik PLN sebesar 23.789 kWh/yr.
7. Dengan demikian PLTS dengan kapasitas 21,7 kWp dapat menyuplai sebesar 50,3% kebutuhan listrik gedung TBBM Tasikmalaya.
8. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai *Cost of Energy* (COE) sistem on-grid sebesar Rp.918,83,- dengan nilai investasi awal sebesar Rp.141.000.000,- dan masa operasi 25 tahun.]

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa untuk memenuhi kebutuhan 100% energi pada gedung kantor utama di PT Pertamina FT Tasikmalaya maka konfigurasi yang digunakan adalah konfigurasi *off grid* dengan nilai COE sebesar Rp.1.941 dengan nilai investasi awala sebesar Rp. 838.0000.000 dan masa beroperasi yaitu 25 tahun. Namun untuk penurunan biaya yang dikeluarkan oleh PT Pertamina pada konsumsi energi dapat juga menggunakan konfigurasi *on grid* dimana hasil yang didapat nilai COEnya lebih

rendah dari COE yang sekarang ada dari PLN, yaitu menjadi Rp. 918,83 dengan nilai investasi awal sebesar Rp. 141.000.000 dan masa beroperasi yaitu 25 tahun.

Penelitian ini telah menghasilkan analisis kebutuhan PV untuk sistem Net-Zero Energy Building, namun demikian penelitian lebih lanjut. Penelitian ini fokus pada perancangan dan analisis kebutuhan PV untuk memenuhi kebutuhan energi gedung secara total sehingga tidak membahas secara rinci proses aliran energi ke perangkat pengonsumsi energi. Dengan demikian analisis aliran energi pada PV dengan atau tanpa baterai dapat dilakukan mengingat baterai merupakan komponen PV berbiaya tinggi. Penelitian ini dilakukan berdasarkan data konsumsi total yang diperoleh dari pengukuran secara primer. Namun demikian penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan berdasarkan perkiraan kebutuhan energi gedung ke depan diantaranya dengan menggunakan metode *forecasting* seperti dengan Metode *Auto Regressive Moving Average* dan *Long Time Run Marginal Cost*. Penelitian lainnya yang dapat dilakukan adalah analisis kebutuhan PV berdasarkan perkiraan pola konsumsi energi berbasis dinamis diantaranya dengan menggunakan metode *artificial intelligence* atau *machine learning*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPPT. (2020). Benchmark Specific Energy Consumption di Bangunan Komersial. Jakarta: BPPT.
- [2] Components of a Photovoltaic System. (2018, October 23). (FuelCellStore) Retrieved August 15, 2021, from <https://www.fuelcellstore.com/blog-section/components-of-a-photovoltaic-system>.
- [3] Global Solar Atlas. (2021). Global Solar Atlas: Project Detail Tasikmalaya. Washington: The World Bank Group.
- [4] HOMER, T. (2022). NASA Surface Meteorology and Solar Energy Database. the HOMER Pro.
- [5] IESR. (2018, July 3). Institute for Essential Services Reform. Retrieved from IESR Web site: <https://iesr.or.id/kapasitas-plts-indonesia-masih-minim-3>.
- [6] Joseph, F. S. (2022, Feb 7). britannica. Retrieved Maret 20, 2022, from [britannica.com: https://www.britannica.com/technology/solar-cell/Solar-panel-design](https://www.britannica.com/technology/solar-cell/Solar-panel-design).
- [7] Karuniawan, E. A. (2019, December 27). Magister Teknik Sistem Fakultas Teknik UGM. Retrieved from Metsi UGM Web site: <https://metsi.ft.ugm.ac.id/2019/12/27/simulasi-dan-analisis-plts-sistem-on-grid-pada-gedung-pusat-studi-lingkungan-hidup-dengan-skema-kebijakan-plts-atap>.
- [8] Magdalena, E. D., & Tondobala, L. (2016). Implementasi Konsep Zero Energy Building (ZEB) dari Pendekatan Eco-Friendly pada Rancangan Arsitektur. *Media Matrasain*, XIII, 1.
- [9] *Monocrystalline vs Polycrystalline Solar Panels*. (2019, June 26). (celanenergyideas) Retrieved August 15, 2021, from <https://www.clean-energy-ideas.com/solar/solar-panels/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/>
- [10] N.G., A. (2018, February 28). *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*. (netSOLAR) Retrieved August 15, 2021, from <https://netsolar.wordpress.com/2018/02/26/maximum-power-point-tracking-mppt/>
- [11] Prahastono, I., Wicaksono, B. G., Atmajaya, G. K., Sinisuka, N. I., & Dinata, I. S. (2019). Feasibility Study of PV-Grid Connected System at The Office Building of TBBM Cikampek. *2019 2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)*, 354-358.
- [12] Prahastono, I., Wicaksono, B. G., Indra Surya Dinata, T. F., Widiyanto, G., Atmajaya, G. K., Saputra, & Sinisuka, N. I. (2019). Feasibility Study of PV-Grid Connected System at The Office Building of TBBM Cikampek. *IEEE Xplore*, 31.
- [13] Prayitno, A. H. (2020). *Company Profile PT Pertamina (Persero) Fuel Terminal Tasikmalaya*. Tasikmalaya.
- [14] *sanspower*. (2020, Agustus 11). Retrieved April 10, 2022, from [sanspower.com: https://www.sanspower.com/jenis-jenis-panel-surya-yang-bagus.html](https://www.sanspower.com/jenis-jenis-panel-surya-yang-bagus.html)
- [15] Shehadi, M. (2020). *Net-Zero Energy Buildings: Principles and Applications*. Intechopen.
- [16] Sinisuka, N. I., Hernawan, K., Dinata, I. S., Atmajaya, G. K., & Yusni, A. (2019). *Laporan Audit Energi Komprehensif, Verifikasi Data dan Benchmark Kinerja Efisiensi Energi*. Tasikmalaya: PT LAPI Ganeshatama Consulting.
- [17] *Solar cells : operating principles, technology, and system applications / Martin A. Green*. (1982). Prentice-Hall.
- [18] *solstice*. (2020, Feb 28). Retrieved April 12, 2022, from [solstice.id: https://solstice.id/en/maximum-power-point-tracking-mppt/](https://solstice.id/en/maximum-power-point-tracking-mppt/)
- [19] *solstice*. (2020, Feb 28). Retrieved Mei 7, 2022, from [solstice.id: https://solstice.id/en/topologi-inverter/](https://solstice.id/en/topologi-inverter/)
- [20] Suharyati, Pambudi, S. H., Wibowo, J. L., & Pratiwi, N. I. (2019). *Outlook Energi Indonesia 2019*. Jakarta: Dewan Energi Nasional.
- [21] Tampubolon, A. P., & Adiatma, J. C. (2019). *Laporan Status Energi Bersih Indonesia*. Jakarta: Institute for Essential Services Reform (IESR).
- [22] Yoka Mustopa, A. W. (2018). Optimization Modeling and Simulation Solar PV System Using PVsyst Software. *International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICEECS)*