

PERENCANAAN SISTEM SOLAR PANEL *ON – GRID FIXED ARRAY* SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA PADA PEMBANGUNAN RUMAH SUSUN XYZ DI JAKARTA

Desvita Elvira Anyeler^{1*}, Dian Budhi Santoso²

1,2 Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Singaperbangsa Karawang, Jl. HS.Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat 41361, Indonesia

Keywords:

Pembangkit Listrik Tenaga Surya;
Energi Terbarukan;
Sistem On-Grid;
Bangunan Hijau.

Correspondent Email:

2110631160040@student.unsika.ac.id

Abstrak. Penelitian ini membahas perencanaan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) on-grid dengan konfigurasi fixed array pada pembangunan Rumah Susun XYZ di Jakarta, sebagai wujud penerapan konsep Bangunan Gedung Hijau berdasarkan Permen PUPR No. 2 Tahun 2015. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang sistem energi terbarukan yang mampu mensuplai kebutuhan daya listrik sebesar 40.000 watt per tower, sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap energi dari jaringan PLN. Pendekatan penelitian yang digunakan adalah kualitatif dengan metode pengumpulan data melalui studi literatur dan observasi lapangan. Komponen utama dalam sistem PLTS ini meliputi 100 unit modul PV tipe monocrystalline berdaya 400Wp dengan efisiensi 19,6%, inverter Hicell sebagai alat konversi dari arus DC ke AC, serta distribusi arus melalui Panel Utama Tegangan Rendah (PUTR). Hasil perhitungan menunjukkan daya efektif harian yang dihasilkan mencapai 47.040 watt. Energi listrik yang dihasilkan sistem ini digunakan untuk mendukung operasional harian rumah susun secara berkelanjutan. Selain mendukung efisiensi biaya dan pengurangan emisi karbon, sistem ini juga dapat berfungsi sebagai solusi energi alternatif di lingkungan perkotaan yang padat. Penerapan sistem PLTS on-grid ini menunjukkan bahwa penggunaan energi terbarukan tidak hanya feasible secara teknis, namun juga mendukung kebijakan nasional dalam transisi energi hijau. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan dalam pengembangan proyek serupa di wilayah lain, khususnya dalam upaya menghadapi tantangan krisis energi dan isu perubahan iklim.



JITET is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Abstract. This study explores the planning of an on-grid Solar Power Plant (PLTS) system with a fixed array configuration for the construction of the XYZ apartment complex in Jakarta. It serves as a practical implementation of the Green Building concept, as mandated by Regulation No. 2 of 2015 by Indonesia's Ministry of Public Works and Housing (PUPR). The main objective is to design a renewable energy system capable of supplying 40,000 watts of electrical power per tower, while reducing dependence on the national electricity grid (PLN). The research employs a qualitative approach, collecting data through literature studies and direct field observations. The PLTS system consists of 100 monocrystalline PV modules, each with a capacity of 400Wp and an efficiency of 19.6%, supported by a Hicell inverter that converts direct current (DC) to alternating current (AC), and a power distribution network via the Low Voltage Main Panel (PUTR). The results indicate a daily effective energy output of 47,040 watts. This energy supports daily operations in the residential complex sustainably. In addition to providing cost savings and lowering carbon emissions, the system offers a viable alternative energy solution for dense urban environments. The

*implementation of this on-grid solar panel system demonstrates that renewable energy use is not only technically feasible but also aligned with national green energy transition goals. The findings of this research are expected to serve as a reference for similar urban infrastructure projects, particularly in addressing energy crises and climate change challenges. A maximum of 200 words abstracts in English in italics with **Times New Roman 10 points**. The abstract should be clear, descriptive and should provide a brief overview of the problem studied. Abstract topics include reasons for selecting or the importance of research topics, research methods, and a summary of the results. The abstract should end with a comment about the significance of the results or conclusions brief.*

1. PENDAHULUAN

DKI Jakarta merupakan ibu kota negara dan pusat perekonomian di Indonesia yang membuat masyarakat bermigrasi dari berbagai daerah untuk mencari penghidupan yang lebih baik. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) jumlah penduduk DKI Jakarta sampai tahun 2022 berjumlah 10.679.951 di atas lahan seluas 662,33 km². Dalam rangka menyediakan Rumah Layak Huni (RLH) bagi warga DKI Jakarta khususnya di kawasan perkotaan yang sudah sangat minim ketersediaan lahan, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta mendukung adanya upaya pengembangan hunian vertikal sebagai salah satu solusi untuk mengimbangi tingginya kebutuhan dan terbatasnya lahan. Upaya Pemerintah Provinsi DKI Jakarta diwujudkan dalam program penyediaan perumahan rakyat bagi masyarakat berpenghasilan rendah dan penataan kawasan kumuh.

Rumah susun ini rencana akan dibangun dengan menerapkan konsep Bangunan hijau, dimana konsep Bangunan hijau berdasarkan Permen PUPR No. 2 Tahun 2015 tentang Bangunan Gedung Hijau adalah bangunan gedung yang memenuhi persyaratan bangunan gedung dan memiliki kinerja terukur secara signifikan dalam penghematan energi, air, dan sumber daya lainnya melalui penerapan prinsip bangunan gedung hijau sesuai dengan fungsi dan klasifikasi dalam setiap tahapan penyelenggaraannya, sehingga target pengurangan konsumsi energi dapat dicapai, terutama yang berasal dari sektor bangunan.

Perencanaan pembangunan Rusun ini memanfaatkan teknologi terkini antara lain penggunaan sensor otomatis smart lock, fire alarm, dan solar cell. Solar cell atau panel surya adalah sebuah alat/sistem yang dapat digunakan

untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan prinsip efek photovoltaic. Penggunaan panel surya sebagai pembangkit listrik memanfaatkan sumber energi terbarukan yang semakin menjadi perhatian utama dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan keberlanjutan energi. Energi matahari merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang melimpah dan dapat dimanfaatkan secara efisien. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan energi matahari menjadi energi listrik melalui photovoltaic module yang termasuk dalam energi hijau sehingga menjadi suatu pembangkit yang terbarukan, lebih efisien efektif, handal dan dapat mensuplai kebutuhan energi listrik. PLTS merupakan salah satu sarana untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan listrik yang sangat ramah lingkungan. Mengingat Indonesia merupakan daerah tropis, maka sangat baik apabila PLTS dikembangkan dengan sungguh-sungguh. [1]

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Energi Surya

Energi surya merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang diperoleh melalui pancaran sinar matahari. Untuk mengubah sinar matahari menjadi energi listrik diperlukan sel surya[2] . Energi surya merupakan sumber utama energi bebas yang tidak ada habisnya di Bumi. Saat ini, teknologi baru sedang dikembangkan untuk menghasilkan energi surya yang dikumpulkan. Energi surya merupakan energi primer yang memiliki sifat tidak polutif dan tidak dapat habis [3]. Seiring dengan berkembangnya teknologi modern, terdapat kebutuhan mendesak untuk menemukan sumber energi yang kredibel dan menjanjikan.

Pada energi surya, matahari merupakan sumber utama yang dapat menjadi sarana yang layak apabila dimanfaatkan untuk menghasilkan energi photovoltaic. Energi photovoltaic tersebut diproduksi dengan bantuan energi matahari dan dikonversikan menjadi energi listrik melalui bantuan panel surya[4].

2.1.1 Geometri Radiasi Matahari

Untuk mengetahui energi radiasi yang jatuh pada permukaan bumi dibutuhkan beberapa parameter letak kedudukan dan posisi matahari, hal ini perlu untuk mengkonversikan harga fluks berkas yang diterima dari arah matahari menjadi hubungan harga ekivalen ke arah normal permukaan. [5]

Berikut ini adalah beberapa definisi yang digunakan, antara lain :

1. Sudut datang θ adalah sudut antara sinar datang dengan normal pada permukaan pada sebuah bidang
2. Sudut latitude ϕ pada suatu tempat adalah sudut yang dibentuk oleh garis radial ke pusat bumi pada suatu lokasi dengan proyeksi garis pada bidang equator. Sudut deklinasi berubah harga maksimum +23,450 pada tanggal 21 juni ke harga minimum -23,450 pada tanggal 21 desember. Deklinasi 00 terjadi pada tanggal 21 maret dan 22 desember.
3. Sudut Zenit θ_z adalah sudut yang dibuat oleh garis vertikal ke arah zenit dengan garis ke arah titik pusat matahari.
4. Sudut Azimuth δ_z adalah sudut yang dibuat oleh garis bidang horizontal antara garis selatan dengan proyeksi garis normal pada bidang horizontal. Sudut azimuth positif jika normal adalah sebelah timur dari selatan dan negatif pada sebelah barat dan selatan.
5. Sudut latitude α adalah sudut yang di buat oleh garis ke titik pusat matahari dengan garis proyeksinya pada bidang horizontal.
6. Sudut kemiringan (*slope*) β adalah sudut kemiringan yang di buat oleh

permukaan bidang dengan horizontal.[5]

2.1.2 Intensitas Radiasi Matahari

Karena adanya perubahan letak matahari terhadap bumi maka intensitas radiasi surya yang tiba di permukaan bumi juga berubah-ubah. Maka berkaitan dengan hal tersebut di atas radiasi surya yang tiba pada suatu tempat di permukaan bumi dapat kita bedakan menjadi 3 jenis. Ketiga jenis radiasi itu adalah: [5]

1. Radiasi Langsung (direct radiation) Intensitas radiasi langsung atau sorotan per jam pada sudut masuk normal I_{bn} dari persamaan berikut ini.

$$I_{bn} = \frac{I_b}{\cos \theta_z} \quad (1)$$

dimana I_b adalah radiasi sorotan pada sumbu permukaan horisontal dan $\cos \theta_z$ adalah sudut zenit. Dengan demikian, untuk suatu permukaan yang dimiringkan dengan sudut β terhadap bidang horisontal, intensitas dari komponen sorotan adalah

$$I_{bT} = I_{bn} \cos \theta_T = I_b \frac{\cos \theta_T}{\cos \theta_z} \quad (2)$$

Dimana θ_T disebut sudut masuk, dan didefinisikan sebagai sudut antara arah sorotan pada sudut masuk normal dan arah komponen tegak lurus (90°) pada permukaan bidang miring.

2. Radiasi Sebaran (diffuse radiation)

Radiasi sebaran yang disebut juga radiasi langit (sky radiation), adalah radiasi yang dipancarkan ke permukaan penerima oleh atmosfer, dan karena itu berasal dari seluruh bagian hemisfer langit. Radiasi sebaran (langit) didistribusikan merata pada hemisfer (disebut distribusi isotropik), maka radiasi sebaran pada permukaan miring dinyatakan dengan :

$$I_{dT} = I_d \left[\frac{1 + \cos \beta}{2} \right] \quad (3)$$

Dimana β adalah sudut miring dari permukaan miring dan I_d menunjukkan besarnya radiasi sebaran per jam pada suatu permukaan horisontal.

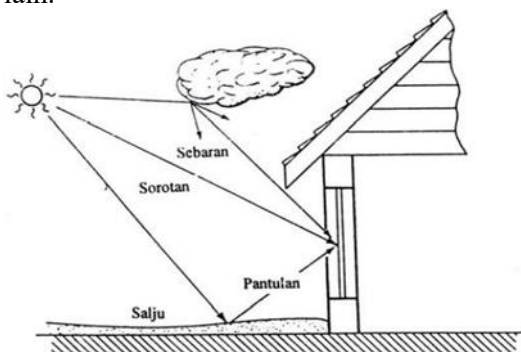
3. Radiasi Pantulan

Selain komponen radiasi langsung dan sebaran, permukaan penerima juga

mendapatkan radiasi yang dipantulkan dari permukaan yang berdekatan, jumlah radiasi yang dipantulkan tergantung dari reflektansi α (albeldo) dari permukaan yang berdekatan itu, dan kemiringan permukaan yang menerima. Radiasi yang dipantulkan per jam, juga disebut radiasi pantulan.

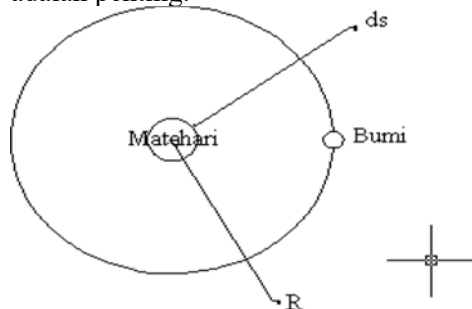
$$I_{\text{refl}} = \alpha (I_b + I_s) \left[\frac{1 - \cos \beta}{2} \right] \quad (4)$$

Dimana reflektansi α dianggap 0,20 – 0,25 untuk permukaan-permukaan tanpa salju dan 0,7 untuk lapisan salju yang baru turun, kecuali jika tersedia data yang lain.



Gambar 1. Jenis - Jenis Radiasi

Lapisan luar dari matahari yang disebut fotosfer memancarkan suatu spektrum radiasi yang kontinu. Untuk pembahasan ini cukup dianggap matahari sebagai sebuah benda hitam, sebuah radiator sempurna pada 5762 K. Dalam ilmu fotovoltaik dan studi mengenai permukaan tertentu, distribusi spektral adalah penting.



Gambar 2. Bola Surya

Dimana :

Ds = Diameter matahari

R = Jarak rata-rata matahari – bumi.

Radiasi yang dipancarkan oleh permukaan matahari, E_s , adalah sama dengan hasil perkalian konstanta Stefan-Boltzman σ , pangkat empat temperatur

s

permukaan absolut T^4 dan luas permukaan πd_s^2 ,

$$E_s = \sigma \cdot \pi d_s^2 T^4 \quad (5)$$

Dimana $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$, temperatur permukaan T_s dalam K, dan diameter matahari d_s dalam meter. dari gambar di atas dapat dilihat jari-jari R adalah sama dengan jarak rata-rata antara matahari dan bumi. Luas permukaan bumi adalah sama dengan $4 \pi R^2$, dan fluksa radiasi pada satu satuan luas dari permukaan bola tersebut yang dinamakan iradiansi, menjadi

$$G = \frac{E_s \cdot \pi d_s^2}{4 \pi R^2} \text{ W/m}^2 \quad (6)$$

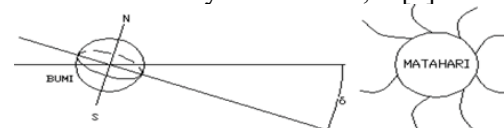
Dengan garis tengah matahari $1,39 \times 10^9 \text{ m}$, temperatur permukaan matahari 5762 K, dan jarak rata-rata antara matahari dan bumi sebesar $1,5 \times 10^{11} \text{ m}$, maka fluksa radiasi persatuan luas dalam arah yang tegak lurus pada radiasi tepat diluar atmosfer bumi adalah

$$G = \frac{5,67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4) \times (1,39 \times 10^9 \text{ m})^2 \times (5,762 \times 10^3 \text{ K})^4}{4 \times (1,5 \times 10^{11} \text{ m})^2} = 1353 \text{ W/m}^2$$

Radiasi surya yang diterima pada satuan luasan di luar atmosfer tegak lurus permukaan matahari pada jarak rata-rata antara matahari dengan bumi disebut konstanta surya adalah 1353 W/m^2 dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi.[5]

2.1.3 Intensitas Radiasi Surya Pada Bidang Permukaan

Bumi berevolusi pada sumbunya selama 365 hari, bumi juga berrotasi pada sumbunya selama satu hari. Selama berevolusi dan berrotasi pada sumbunya bumi mengalami kemiringan terhadap sumbu vertikalnya sebesar $23,5^\circ$. [2]



Gambar 3. Deklinasi matahari, posisi pada musim panas

Pada gambar diatas dapat dinyatakan di dalam suatu hubungan persamaan sebagai berikut :

$$\cos \theta = \sin \delta (\alpha - \beta) + \cos \delta \cdot \cos(\alpha - \beta) \cdot \cos \omega \quad (7)$$

Dimana :

θ : Sudut sinar datang terhadap garis normal permukaan

δ : Sudut deklinasi

α : Garis lintang dari posisi alat

β : Kemiringan sudut permukaan dan alat

ω : Sudut waktu

Bila hasil perkalian intensitas surya yang diterima bumi dengan cosinus sudut sinar datang, maka besarnya laju energi yang diterima oleh suatu permukaan di bumi dengan luasan persegi dapat ditulis dengan persamaan.

$$q = G_T \cdot A \cdot \cos \theta$$

Dimana :

q : Laju energi, (W)

A : Satuan luas pada bidang, (m²)

GT : Intensitas radiasi surya yang diterima oleh permukaan bumi, (W/m²)

θ : Sudut sinar datang

2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

PLTS adalah salah satu pembangkit listrik yang energinya bersumber dari radiasi matahari, melalui konversi sel fotovoltaik. Sistem fotovoltaik mengubah radiasi sinar matahari menjadi listrik. Semakin tinggi intensitas radiasi matahari (solar radiation) yang mengenai sel surya, maka semakin tinggi pula daya yang dihasilkan. Dalam kondisi sinar matahari tropis dan khatulistiwa Indonesia, PLTS merupakan salah satu teknologi pembangkit listrik yang potensial diterapkan.

Pemanfaatan energi surya sebagai pembangkit listrik dapat dilakukan melalui dua penerapan teknologi yaitu (Photovoltaic) mengkonversi langsung matahari menjadi energi listrik melalui sel surya. Teknologi PV mengkonversi langsung sinar matahari menjadi listrik melalui perangkat semikonduktor yaitu sel surya. Teknologi PV yang dimanfaatkan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berupa sistem terpusat (centralized), sistem tersebar (stand-alone) dan sistem hybrid (hybrid system). Pada sistem hybrid PLTS digunakan bersama dengan sistem pembangkit listrik lainnya. Sistem hybrid ini disebut juga sistem on grid sebab pada umumnya di Indonesia sistem hybrid PLTS disambungkan ke jaringan listrik PLN. Adapun komponen sistem umumnya terdiri dari sel surya yang membentuk panel dan beberapa komponen

pendukung lainnya seperti inverter, baterai, dan sistem kontrol, dan komponen lainnya yang terlibat dalam perancangan sistem PLTS.[1]

2.2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Berdasarkan aplikasi dan konfigurasi, secara garis besar PLTS diklasifikasi menjadi dua yaitu. Sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan (*off-grid PV plant*), atau lebih dikenal dengan sebutan PLTS berdiri sendiri (*stand-alone*), dan sistem PLTS terhubung dengan jaringan (*grid-connected PV plant*) atau lebih dikenal dengan sebutan PLTS *On-grid*. Apabila dalam penggunaannya PLTS digabung dengan jenis pembangkit listrik lain disebut sistem hybrid.[1]

A. PLTS Terpusat (*Off – Grid*)

Stand alone PV system atau Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (PLTS Terpusat) merupakan sistem pembangkit listrik alternatif untuk daerah-daerah terpencil atau pedesaan yang tidak terjangkau oleh jaringan PLN. Sistem PLTS terpusat disebut juga (*stand-alone PV System* yaitu sistem pembangkit yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian photovoltaic module untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan yang diperlukan.[1]

B. PLTS Terinterkoneksi (*On – Grid*)

Grid Connected PV System atau PLTS terinterkoneksi merupakan solusi Green Energi bagi penduduk perkotaan baik perumahan ataupun perkantoran. Sistem ini menggunakan modul surya (photovoltaic module) untuk menghasilkan listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi. Dengan adanya sistem ini akan mengurangi tagihan listrik rumah tangga, dan memberikan nilai tambah pada pemiliknya. Sesuai namanya grid connected PV, maka sistem ini akan tetap berhubungan dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi PV untuk menghasilkan energi listrik semaksimal mungkin[6]

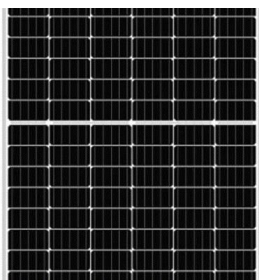
C. PLTS Hybrid

Sistem hybrid yaitu sistem yang melibatkan 2 atau lebih sistem pembangkit listrik, umumnya sistem pembangkit yang banyak digunakan untuk hybrid adalah genset, PLTS, mikrohidro, dan tenaga angin. Sehingga sistem hybrid bisa berarti PLTS-Genset, PLTS mikrohidro, PLTS-Tenaga Angin, dan lainnya. Di Indonesia sistem hybrid telah banyak digunakan, baik PLTS Genset, PLTS mikrohidro, maupun PLTS tenaga angin mikrohidro. Namun demikian hybrid PLTS-Genset yang paling banyak dipakai. Umumnya digunakan pada captive genset/isolated grid stand alone genset, yakni genset yang tidak diinterkoneksi.[1]

2.3. Solar Cell

Komponen terkecil dari panel surya adalah solar cell atau sel surya. Sel surya adalah komponen foto dioda yang dapat mengubah cahaya menjadi energi listrik. Sel surya harus disusun sehingga membentuk panel surya untuk menghasilkan jumlah energi yang besar. Jenis kristal solar cell yang banyak di pasaran adalah tipe :

A. Monocrystalline Solar Panels: menggunakan silikon murni yang dihasilkan dengan proses crystal-growth yang cukup rumit dengan ketebalan sekitar 0.2 – 0.4 mm. Termasuk jenis solar cell yang paling efisien karena penampangannya dapat menyerap cahaya dan mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan efisiensi 15 – 20% [7]



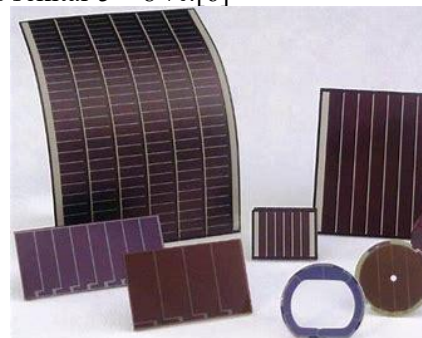
Gambar 4. Solar Cell Monocrystalline

B. Polycrystalline Solar Panels: dikenal juga sebagai multi-crystalline, panel surya dibuat dari Polycrystalline cells yang tersusun lebih rapi dan rapat serta memiliki ciri khas seperti ada retakan di dalam solar cell, memiliki konversi energi matahari ke energi listrik berkisar 13 – 16 %.[6]



Gambar 5. Solar Cell Polycrystalline

C. Amorphous Solar Panels: untuk jenis ini bukan merupakan kristal yang real, tetapi berupa lapisan tipis silikon yang dideposit diatas base material seperti metal atau gelas sehingga memiliki dua lapisan dengan bobot yang lebih ringan dibandingkan jenis lainnya. Solar cell jenis ini dapat bekerja sangat baik ketika berada pada cahaya fluorescent. Efisiensinya lebih kecil dari pada yang lain yaitu sekitar 5 – 8 %.[6]



Gambar 6. Amorphous Solar Panels

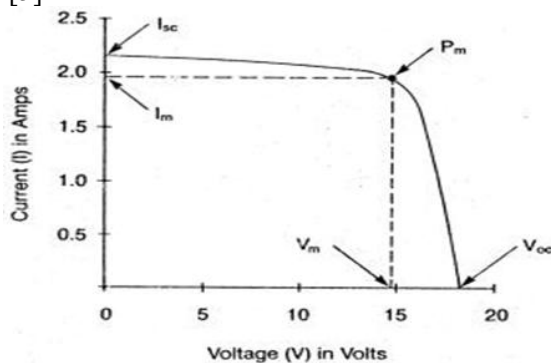
Untuk jenis solar cell yang lebih lengkap tercantum pada Tabel 1, dimana tercantum juga luas area cell yang diperlukan untuk menghasilkan daya sebesar 1 kWp.[6]

CELL MATERIAL	MODULE EFFICIENCY	SURFACE AREA NEED FOR 1 kWp
Monocrystalline silicon	13–19%	5–8 m ²
Polycrystalline silicon	11–15%	7–9 m ²
Micromorphous tandem cell (a-Si/μc-Si)	8–10%	10–12 m ²
Thin film copper-indium/gallium-sulfur/disenide (CI/GS/Se)	10–12%	8–10 m ²
Thin-film cadmium telluride (CdTe)	9–11%	9–11 m ²
Amorphous silicon (a-Si)	5–8%	13–20 m ²

Gambar 7. Material Solar Cell dan Efisiensinya

Sebuah Sel Surya dalam menghasilkan energi listrik (energi sinar matahari menjadi

photon) tidak tergantung pada besaran luas bidang Silikon, dan secara konstan akan menghasilkan energi berkisar ± 0.5 volt - max 600 mV pada 2 amp[3], dengan kekuatan radiasi solar matahari $1000 \text{ W/m}^2 = "1 \text{ Sun}"$ akan menghasilkan arus listrik (I) sekitar 30 mA/cm² per sel surya³. Pada grafik I-V Curve dibawah yang menggambarkan keadaan sebuah Sel Surya beroperasi secara normal. Sel Surya akan menghasilkan energi maximum jika nilai V_m dan I_m juga maximum. Sedangkan I_{sc} adalah arus listrik maximum pada nilai volt = nol; I_{sc} berbanding langsung dengan tersedianya sinar matahari. V_{oc} adalah volt maximum pada nilai arus nol; V_{oc} naik secara logaritma dengan peningkatan sinar matahari, karakter ini yang memungkinkan Sel Surya untuk mengisi accu.[5]



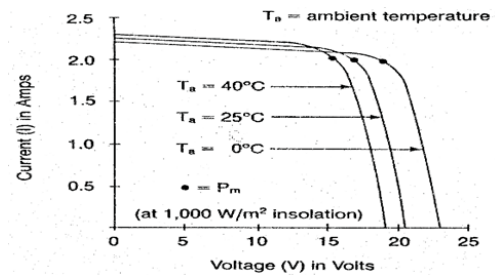
Gambar 8. Grafik I-V Curve

2.3.1 Faktor – Faktor Pengoperasian Sel Surya

Pengoperasian maximum Sel Surya sangat tergantung pada :

a. Ambient air temperature

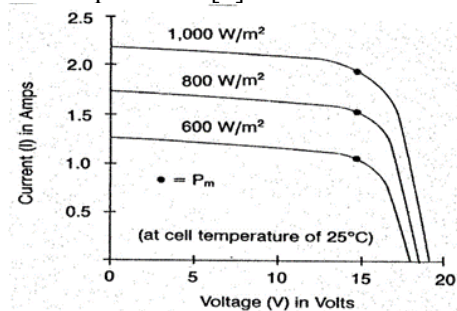
Sebuah Sel Surya dapat beroperasi secara maximum jika temperatur sel tetap normal (pada 25 derajat Celsius), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperature normal pada PV sel akan melemahkan voltage (V_{oc}). Setiap kenaikan temperatur Sel Surya 1 derajat celsius (dari 25 derajat) akan berkurang sekitar 0.4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah 2x lipat untuk kenaikan temperatur Sel per 10 derajat C.[5]



Gambar 9. Effect of Cell Temperature on Voltage (V)

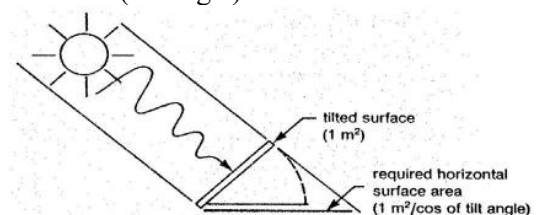
b. Radiasi solar matahari (insolation)

Radiasi solar matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi, dan sangat tergantung keadaan spektrum solar ke bumi. Insolation solar matahari akan banyak berpengaruh pada current (I) sedikit pada volt.[6]



Gambar 10. Effect of Insolation Intensity on Current (I)

- Kecepatan angin bertiup
- Keadaan atmosfer bumi
- Orientasi panel atau array PV
- Posisi letak sel surya (array) terhadap matahari (tilt angle)

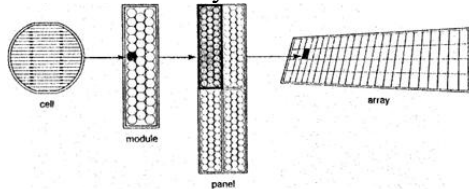


Gambar 11. Extra Luasan Panel PV dalam posisi datar

2.3.2 Rangkaian Photovoltaics (PV) Generator

Agar dapat memperoleh sejumlah voltage atau ampere yang dikehendaki, maka umumnya masing-masing sel surya dikaitkan satu sama lainnya baik secara hubungan "seri" ataupun secara "pararel" untuk membentuk suatu rangkaian PV yang lazim disebut "Modul". Sebuah

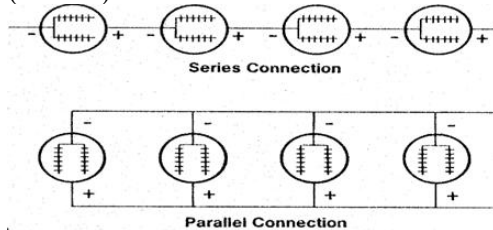
modul PV umumnya terdiri dari 36 sel surya atau 33 sel, dan 72 sel. Beberapa modul pv dihubungkan untuk membentuk satu rangkaian tertentu disebut “PV Panel”, sedangkan jika berderet-deret modul pv dihubungkan secara baris dan kolom disebut “PV Array”.



Gambar 12. Diagram Hubungan Sel

Surya, Modul, Panel & Array

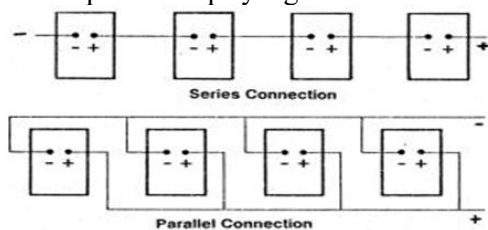
Hubungan sel-sel surya dalam Modul dapat dilakukan secara “Seri” untuk mendapatkan varian voltage umumnya 12V, dan secara “Pararel” untuk mendapatkan varian “Arus Listrik” (current).



Gambar 13. Diagram Rangkaian Sel

Surya (PV sel) dalam Modul

Hubungan Modul-modul PV pada Array juga dapat dihubungkan secara “Seri” untuk mendapatkan voltage yang tinggi, dan dihubungkan secara “Pararel” untuk mendapatkan amps yang besar.



Gambar 14. Diagram Rangkaian Modul PV dalam Array

“Seri “— 4 modul pv @ 12 volt, 2 amp dihubungkan secara seri akan mendapatkan 48 volt, 2 amp.

“Pararel “— 4 modul pv @ 12 volt, 2 amp dihubungkan secara seri akan mendapatkan 12 volt, 8 amp[8]

2.3.3 Beberapa Cara Peletakkan Modul PV

Agar dapat memperoleh energi optimum dari sisi peletakkan modul/deretan PV baik pada unit perumahan maupun bangunan komersial, maka ada 5 cara peletakkan deretan/modul PV:

1) Fixed Array

“Latitude Angle Location + 23 derajat “

Padahal sudut “altitude” dari matahari berubah secara konstan dalam hitungan hari dalam setahun, maka sudut deklinasi harus diperhitungkan untuk posisi matahari, yaitu posisi tepat-->

desember 21 = - 23.45 derajat

maret 21 = 0 derajat

juni 21 = + 23.45 derajat

september 21 = 0 derajat

maka untuk “Tilt Angle” berdasarkan sudut altitude matahari pada suatu lokasi dalam suatu waktu :

Altitude Angle = 90 derajat - latitude angle + declination angle

Atau untuk suatu lokasi yang energi radiasi hampir konstan dalam setahun (sangat dekat ke Equator) maka dapat juga pakai rumus ini untuk “Tilt Angle” optimum fixed arrays, : **Latitude + 15 derajat**

Disamping menemukan “tilt angle” optimum, maka deretan modul-modul PV tetap diarahkan ke Utara untuk lokasi di latitude Selatan, dan sebaliknya.

2) Seasonally Adjusted Tilting

Deretan modul PV dapat dirubah secara manual sesuai waktu (Maret/Juni/Sept./Des.) yang dikehendaki untuk pengoptimalan “tilt angle”. Untuk lokasi yang terletak pada “Midlatitude” dapat mengubah sudut modul PV setiap 3 bulan, dan akan meningkatkan produksi energi surya $\pm 5\%$.

3) One Axis Tracking

Panel modul PV dapat mengikuti lintasan pergerakan matahari dari Timur ke Barat secara otomatis; akan mendapatkan efisiensi $\pm 20\%$ dibandingkan Fixed Arrays

4) Two Axis Tracking

Panel modul PV dapat mengikuti lintasan pergerakan matahari dari Timur ke Barat serta orientasi Utara-Selatan secara otomatis; akan mendapatkan efisiensi $\pm 40\%$ dibandingkan Fixed Arrays.

5) Concentrator Arrays

Deretan lensa optik dan cermin yang menfokuskan pada suatu area Sel Surya (PV) efisiensi tinggi.[1]

2.4. Inverter

Inverter merupakan rangkaian elektronika daya yang berfungsi sebagai pengubah arus dearah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) dengan menggunakan metode *switching* dengan frekuensi tertentu. *Switching* itu sendiri adalah proses perpindahan antara kondisi ON dan OFF ataupun sebaliknya. [2]

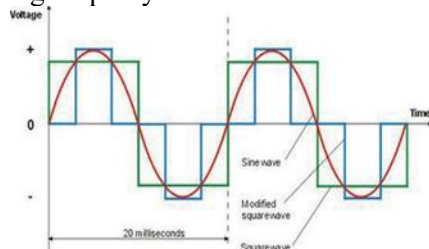
Jenis jenis inverter DC ke AC berdasarkan jumlah fasa *output inverter* dapat dibedakan sebagai berikut :

- Inverter 1 fasa : Inverter dengan output 1 fasa
- Inverter 3 fasa : Inverter dengan output 3 fasa

Jenis jenis inverter berdasarkan pengaturan tegangannya :

- Voltage Fed Inverter* (VFI) : Inverter dengan tegangan *input* yang diatur konstan
- Current fed Inverter* (CFI) : Inverter dengan arus *input* yang diatur konstan
- Variable DC linked inverter* : Inverter dengan tegangan *input* yang dapat diatur

Jenis jenis inverter berdasarkan bentuk gelombang outputnya :



Gambar 15. Bentuk Gelombang Inverter

- Square sine wave inverter
- Modified sine wave inverter
- Pure sine wave inverter
- Grid Tie Inverter [5]

2.5 Kabel PV

Kabel PV Solar (Photovoltaic Solar Cable) adalah kabel khusus yang dirancang untuk digunakan dalam sistem tenaga surya atau fotovoltaik. Kabel ini dirancang untuk menangani kondisi lingkungan yang berbeda dan bekerja secara efisien dalam sistem tenaga surya. Untuk karakteristik kabel PV Solar adalah sebagai berikut : [6]

- Kabel PV Solar tahan terhadap paparan sinar ultraviolet (UV)
- Kabel tersebut harus tahan terhadap kondisi cuaca ekstrem, termasuk panas, dingin, hujan, dan angin.
- Kabel PV Solar dirancang agar tahan terhadap kerusakan akibat paparan ozon, yang dapat terjadi terutama di lingkungan perkotaan.
- Kabel ini memiliki karakteristik listrik yang sesuai untuk aplikasi tenaga surya, termasuk daya hantar yang memadai dan rendahnya resistansi.
- Kabel tersebut dapat menahan tekanan mekanis dan memiliki daya tahan yang baik terhadap kerusakan.[10]

3. METODE PENELITIAN

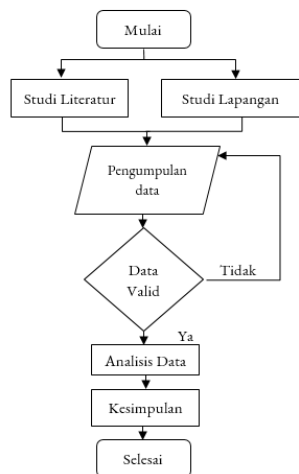
3.1 Pendekatan Penulisan

Pendekatan yang digunakan dalam penulisan ini adalah pendekatan kualitatif. Pendekatan kualitatif merupakan metode yang bertujuan untuk menghasilkan data yang bersifat deskriptif, baik berupa narasi tertulis maupun lisan, yang berasal dari hasil pengamatan, wawancara, dan telaah dokumen terhadap objek kajian. Dalam konteks penulisan ini, fokus utama diarahkan pada pemahaman mendalam terhadap konsep sistem solar panel serta penerapan energi terbarukan dalam sektor kehidupan masyarakat urban.

Proses pengumpulan data dilakukan melalui studi literatur serta observasi langsung di lapangan. Melalui pengamatan langsung, diperoleh data kontekstual yang memperkaya informasi dari literatur yang telah dikaji sebelumnya. Hal ini memungkinkan penulis untuk menghubungkan teori dengan realita di lapangan, serta mengidentifikasi potensi penerapan teknologi energi terbarukan di wilayah tersebut. Selain itu, kajian literatur yang digunakan meliputi berbagai sumber pustaka seperti jurnal ilmiah, buku referensi, laporan penelitian, dan artikel yang relevan. Sumber-sumber tersebut memberikan landasan teoretis yang kuat dalam mendukung analisis dan interpretasi data yang diperoleh dari lapangan

untuk mengadopsi teknologi cerdas.

3.2 Diagram Alir Penelitian

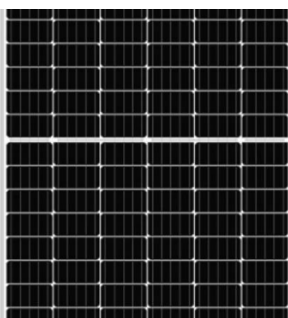


Gambar 16. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian di atas menggambarkan tahapan sistematis dalam pelaksanaan penelitian, dimulai dari tahap Mulai yang dilanjutkan dengan Studi Literatur dan Studi Lapangan untuk memperoleh dasar teori serta data empiris. Setelah itu, dilakukan Pengumpulan Data yang kemudian divalidasi untuk memastikan keabsahannya; jika data tidak valid, proses pengumpulan diulang hingga memenuhi syarat. Data yang valid kemudian dianalisis untuk menemukan pola atau jawaban atas rumusan masalah, dan hasilnya digunakan untuk menyusun Kesimpulan sebelum akhirnya masuk ke tahap Selesai. Setiap tahap memiliki peranan penting, di mana studi literatur memperkuat dasar teori [11] studi lapangan memberikan data aktual [12] validasi menjamin keakuratan informasi [13], dan analisis data menjadi inti dalam menarik simpulan [10]. Tahapan ini memastikan penelitian berjalan secara sistematis, logis, dan dapat dipertanggungjawabkan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Solar Cell Monocrystalline 400 Wp



Gambar 17. Solar Cell Monocrystalline

Spesifikasi solar panel yang digunakan pada *project* ini adalah merk Onduline dengan jenis Ondusolar Classic 400Wp (watt peak). Adapun spesifikasi kelistrikan dengan luas 1997mm x 1022mm x 37mm dan berat 25kg, memiliki *max power* 400W, *max power voltage* 41,10V, *max power current* 9,75A, *Open circuit voltage* 49,18V, *Short circuit current* 10,19A, dan *Module efficiency* 19,6%. Untuk spesifikasi lengkap *electrical* dan *mechanical* dari modul PV ini dapat dilihat pada gambar dibawah :

ELECTRICAL DATA

Model Number	72-6-400
Rated Power In Wats-Pmax (WP)	400
Open Circuit Voltage-Voc (V)	49,18
Short Circuit Current-Isc (A)	10,19
Maximum Power Voltage-Vmpp (V)	41,10
Maximum Power Current-Impp (A)	9,75
Module Efficiency	19,6

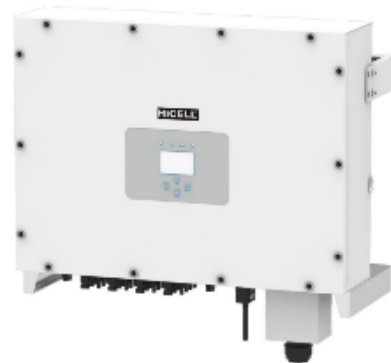
Gambar 18. Data *Electrical* Modul PV

MECHANICAL DATA

Solar Sel	Monocrystalline, 5BB
Konfigurasi Sel	72 cells (158,75 x 158,75)
Dimensi Modul	1997 x 1022 x 37
Berat	25 kg
Superstrate	High transmission 3.2 mm tempered low iron glass
Substrate	White Back Sheet; Encapsulant: Fast Cure EVA
Bingkai	Clear anodized aluminium alloy type 6063T5 color; Silver
J-Box	IP67, TUV&U, Rated Current 15 A
Kabel	1500 mm, 4mm
Konektor	Mc4 Connectors or Equivalent

Gambar 19. Data *Mechanical* Modul PV

4.2 Hicell



Gambar 20. Inverter Hicell

Inverter merupakan alat converter listrik yang mengubah arus DC (Direct Current) menjadi arus AC (Alternating Current), hasil dari arus AC tersebut memiliki voltase dan frekuensi tertentu sesuai kebutuhan beban. Penggunaan inverter dapat ditemukan di berbagai peralatan elektronik, mulai dari yang kecil seperti komputer sampai pada sistem

PLTS yang memiliki arus listrik yang lebih tinggi. Menggunakan Inverter merk Hicell *On - Grid String Inverter* 40 kW - 60 kW 3 phase dengan spesifikasi *Wifi Plugin (included)*, *4 MPPT Module Level Monitoring*, *IP65 Protection Degree*, *Zero Export Application (optional)*, *Wide Output Range Voltage*. Inverter ini menggunakan sistem 12V karena banyak peralatan yang berbasis untuk menjadi standar sistem listrik DC (direct current) berdaya rendah, termasuk untuk modul PV. Selain itu sistem 12V dianggap aman untuk dikerjakan secara umum karena tegangannya cukup rendah dan tidak berbahaya jika terkena sentuhan langsung. Selain itu, sistem 12V masih dapat diatur secara seri atau paralel untuk mendapatkan tegangan dan daya yang lebih besar sesuai kebutuhan, serta kemudahan dalam perakitan dan perawatan.

4.3 PUTR (Panel Utama Tegangan Rendah)



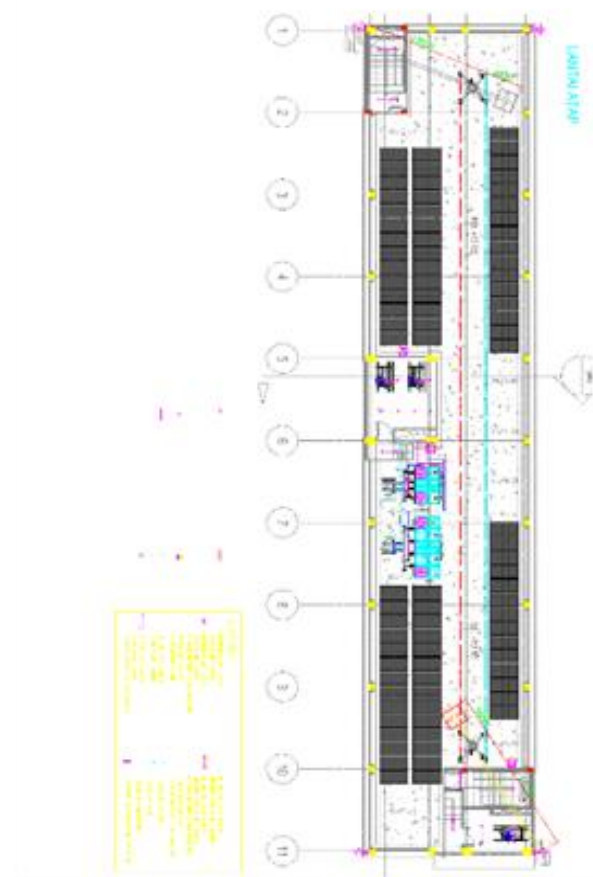
Gambar 21. PUTR Type Test Form 4b

Panel Utama Tegangan Rendah atau sering disingkat PUTR adalah panel hubung bagi yang melayani tegangan rendah kurang dari 1000 V (PUIL, 2000), suatu perlengkapan hubung bagi yang pada tempat pelayanannya berbentuk suatu panel atau kombinasi panel-panel, terbuat dari bahan konduktif atau tidak konduktif (PUIL, 2000). Panel Utama Tegangan Rendah (PUTR) adalah panel distribusi utama yang mempunyai fungsi utama menerima suplai listrik baik dari PLN maupun dari sumber listrik lainnya seperti genset kemudian membagi-bagikannya ke seluruh beban. PUTR dicatu dari 2 sumber listrik dengan genset sebagai cadangan sehingga bila suplai listrik dari PLN mati, suplai listrik untuk beban essential tetap terpenuhi.

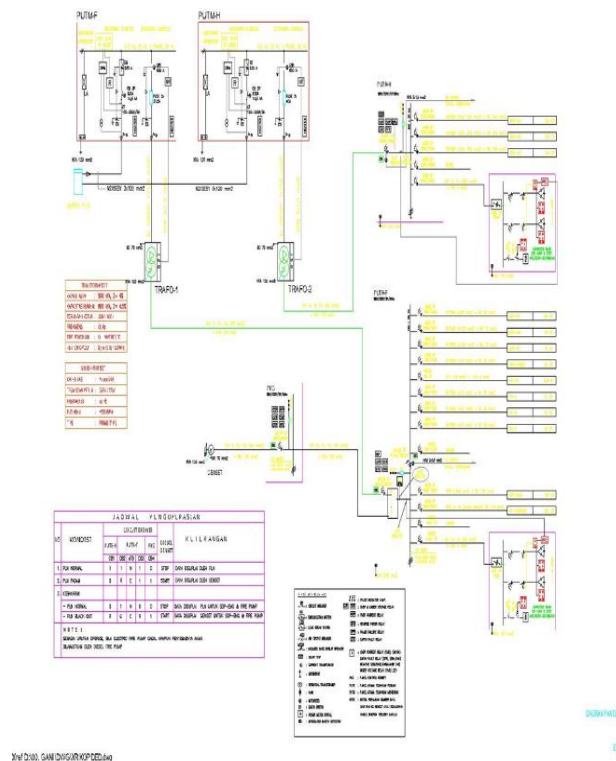
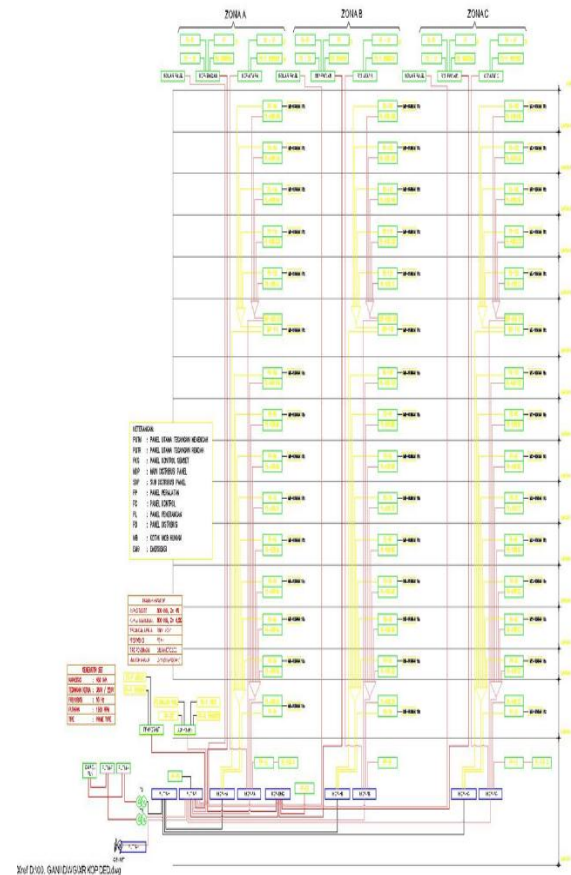
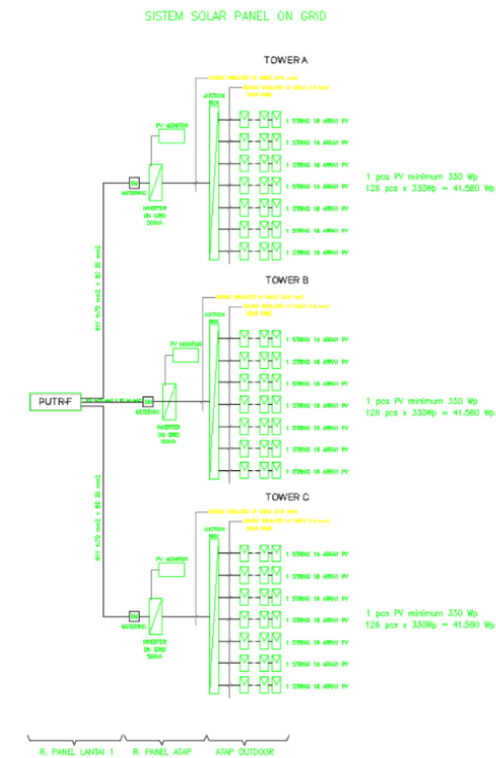
4.4 Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Energi matahari merupakan radiasi elektromagnetik yang dipancarkan ke bumi berupa cahaya matahari yang terdiri atas foton

atau partikel energi surya yang dikonversikan menjadi energi listrik. Energi surya yang sampai pada permukaan bumi disebut sebagai radiasi surya global yang diukur dengan kepadatan daya pada permukaan daerah penerima. Rata-rata nilai dari radiasi surya atmosfer bumi adalah 1.353 W/m yang dinyatakan sebagai konstanta surya. Intensitas radiasi surya dipengaruhi oleh waktu siklus perputaran bumi, kondisi cuaca meliputi kualitas dan kuantitas awan, pergantian musim dan posisi garis lintang. Intensitas radiasi sinar matahari di Indonesia berlangsung 4 - 6 jam per hari.[14] Pemilihan komponen yang akan digunakan pada siste PLTS bergantung pada konfigurasi sistem yang akan dipasang[15]



Gambar 22. Desain PLTS Rooftop



2208

(AC) didistribusikan ke setiap lantai di tower dan ke setiap unit kamar berdasarkan kebutuhan dayanya. Dengan estimasi daya total yang dibutuhkan 40.000 watt untuk setiap tower maka modul PV yang dibutuhkan adalah :

Jumlah Total Panel Surya :

$$= \frac{\text{Daya total yang dibutuhkan}}{\text{Jumlah total daya yang dihasilkan satu modul pv}}$$

$$= \frac{40.000}{400}$$

$$= 100 \text{ pcs}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka modul PV yang dibutuhkan untuk setiap tower adalah 100 pcs.

Efisiensi Sistem : Efisiensi sistem mengacu pada berapa persen energi matahari diubah menjadi energi listrik. Berdasarkan tabel 1 tentang electrical data yang digunakan, efisiensi panel surya ini berkisar 19,6%.

Daya Efektif yang Dihasilkan : untuk menghitung daya efektif yang dihasilkan, maka dapat menggunakan rumus:

$$\text{Daya Efektif} = \text{Daya Total Panel Surya} \times \text{Efisiensi Sistem}$$

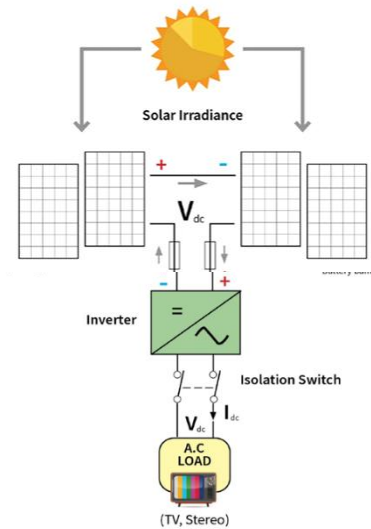
$$\text{Daya Efektif} = 40.000 \text{ Wp} \times 0.196 = 7.840 \text{ Watt}$$

Daya yang dihasilkan dalam waktu 1 hari : untuk menghitung daya yang dihasilkan dalam waktu 1 hari adalah menghitung panel surya dalam mengambil energi dari matahari, panel surya mengambil energi paling intens dari matahari pada jam 9 pagi sampai jam 3 sore. Jadi, estimasi panel surya bisa menghasilkan listrik dalam kurun waktu 6 jam.

$$\text{Daya total dalam 1 hari} = 6 \times 7.840 \text{ Watt} = 47.040 \text{ Watt}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, pemasangan solar panel dengan daya total yang dibutuhkan per tower adalah 40.000 watt membutuhkan 100 pcs modul solar panel dalam sistem *on – grid*. Dengan efisiensi solar panel yang berkisar diangka 19,6% maka potensi daya efektif yang dihasilkan per harinya sekitar 47.040 watt untuk rangkaian panel surya per tower. Namun hasil akhir daya dapat bervariasi tergantung pada faktor – faktor seperti kondisi cuaca dan intensitas sinar matahari serta kebutuhan energi harian yang dibutuhkan oleh setiap tower.

4.5 Konfigurasi Solar Panel



Gambar 26. Skema Konfigurasi Solar Panel

Konfigurasi solar panel dimulai dari energi surya yang ditangkap oleh solar cell kemudian arus dialirkan listrik arus DC diubah menjadi AC menggunakan inverter dengan metode switching pada frekuensi tertentu. Setelah itu listrik di alirkan ke panel utama tegangan rendah (PUTR), kemudian listrik dialirkan ke beban sesuai dengan daya setiap tower yang dibutuhkan. Pada penelitian ini menggunakan sistem panel surya *on – grid* dimana panel surya akan aktif jika ada beban yang dibutuhkan dan berhenti menangkap energi surya jika tidak ada beban. Keuntungan memakai solar panel dengan sistem *on – grid* karena PLTS dapat digunakan saat siang hari dengan memanfaatkan energi surya dan *switch* pada malam hari dengan listrik konvensional sebagai pembangkit listrik. Jadi dengan metode ini dapat dijadikan alternatif untuk penghematan dari segi biaya. Metode ini juga mendukung gerakan pemerintah tentang Bangunan Gedung Hijau dengan membangun gedung yang memiliki kinerja terukur secara signifikan dalam penghematan sumber daya lainnya sehingga target pengurangan konsumsi energi dapat dicapai.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa perencanaan pembangunan PLTS untuk Rumah Susun ini membutuhkan estimasi daya sekitar 40.000 watt

dengan menggunakan modul PV 400Wp (Watt Peak) ini berarti dibutuhkan sekitar 100pcs per towernya. Setelah penulis melakukan analisis perhitungan, maka potensi daya efektif yang dihasilkan 47.040 watt yang mana energi surya yang mengalirkan arus listrik DC diubah menjadi AC menggunakan inverter.

Kemudian di perencanaan rangkaian sistem solar cell pada pembangunan Rumah Susun ini. Arus listrik AC yang telah diubah melalui inverter kemudian dialirkan ke panel utama tegangan rendah (PUTR) yang selanjutnya aliran listrik tersebut di distribusikan ke masing – masing tower berdasarkan kebutuhan dayanya.

Perencanaan pembangunan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) ini merupakan peran yang penting untuk mewujudkan konsep Bangunan hijau berdasarkan Permen PUPR No. 2 Tahun 2015 tentang Bangunan Gedung Hijau adalah bangunan gedung yang memenuhi persyaratan bangunan gedung dan memiliki kinerja terukur secara signifikan dalam penghematan energi, air, dan sumber daya lainnya melalui penerapan prinsip bangunan gedung hijau sesuai dengan fungsi dan klasifikasi dalam setiap tahapan penyelenggaraannya, sehingga target pengurangan konsumsi energi dapat dicapai, terutama yang berasal dari sektor bangunan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Syahwil, M., & Kadir, N. (2021). Rancang Bangun Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem Off-grid Sebagai Alat Penunjang Praktikum Di Laboratorium. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 3(1), 26-35.
- [2] Gultom, T. T., & Suhelmi. (2024). Sistem Pembumian pada Kapal Penangkap Ikan menggunakan Energi Terbarukan. *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 6(2), 88–94. <https://doi.org/https://doi.org/10.30596/rele.v6i2.17686>
- [3] Ferdyson, F., & Windarta, J. (2023). Overview Pemanfaatan dan Perkembangan Sumber Daya Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 4(1), 1–6. <https://doi.org/10.14710/jebt.2023.15714>
- [4] Soomar, A. M., Hakeem, A., Messaoudi, M., Musznicki, P., Iqbal, A., & Czapp, S. (2022). Solar Photovoltaic Energy Optimization and Challenges. *Frontiers in Energy Research*, 10, 1–17. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.879985>
- [5] Sukmajati, S., & Hafidz, M. (2021). Perancangan dan analisis pembangkit listrik tenaga surya kapasitas 10 MW on grid di Yogyakarta. *Energi & Kelistrikan*, 7(1), 49–63.
- [6] Ariyani, S., Wicaksono, D. A., Fitriana, F., Taufik, R., & Germenio, G. (2021). Studi Perencanaan dan Monitoring System Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Remote Area. *Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 20(2), 113-124.
- [7] Bayu, H., & Windarta, J. (2021). Tinjauan Kebijakan dan Regulasi Pengembangan PLTS di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 2(3), 123-132.
- [8] Sulaeman, D. A., & Wardoyo, S. (2024). Perancangan Panel AC Combiner Low Voltage Main Distribution Panel di PT. Tiga Kreasi Indonesia. *JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, 2(4), 389-400.
- [9] Rahayuningtyas, A., Kuala, S. I., & Apriyanto, I. F. (2020). Studi Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Skala Rumah Sederhana Di Daerah Pedesaan Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Untuk Mendukung Program Ramah Lingkungan Dan Energi Terbarukan. *Prosiding SNaPP: Sains, Teknologi*, 4(1), 223-230.
- [10] Nugroho, H., & Dewi, L. (2021). Analisis Data dalam Penelitian Ilmiah: Strategi dan Pendekatan. *Jurnal Riset Multidisipliner*, 6(4), 200–210. <https://doi.org/10.4567/jrm.v6i4.200>
- [11] Ardiansyah, R., & Hasanah, U. (2021). Peran Studi Literatur dalam Menyusun Rancangan Penelitian yang Berkualitas. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 14(2), 112–120. <https://doi.org/10.1234/jipt.v14i2.112>
- [12] Putra, D. A., & Suryani, E. (2022). Penerapan Metode Observasi dalam Studi Lapangan untuk Penelitian Sosial. *Jurnal Penelitian Sosial dan Humaniora*, 8(1), 45–53. <https://doi.org/10.5678/jpsh.v8i1.45>
- [13] Sari, M. P., & Wibowo, A. (2023). Teknik Validasi Data dalam Penelitian Kualitatif dan Kuantitatif. *Jurnal Metodologi Penelitian*, 9(3), 76–84. <https://doi.org/10.8910/jmp.v9i3.76>
- [14] S. Muslim, K. Khotimah, and A. N. Azhiimah, “ANALISIS KRITIS TERHADAP PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK

TENAGA SURYA (PLTS) TIPE PHOTOVOLTAIC (PV) SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF MASA DEPAN,” vol. 3, no. 1, 2020, doi: 10.31869/rtj.v3i1.1638.

- [15] Gusmedi, H., Putra, R. P., & Samosir, A. S. (2025). DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ON-GRID 60 KWP. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(1).