

TUGAS AKHIR

ANALISIS POTENSI PLTS DAN PLTB SEBAGAI CADANGAN ENERGI LISTRIK RUMAH DI KABUPATEN LANGKAT DENGAN MEMANFAATKAN *SOFTWARE* HOMER PRO

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

M.IMAM AL HAFIZ
2107220070



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : M.Imam Al Hafiz

NPM : 2107220070

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : ANALISIS POTENSI PLTS DAN PLTB SEBAGAI
CADANGAN ENERGI LISTRIK RUMAH DI KABUPATEN
LANGKAT DENGAN MEMANFAATKAN SOFTWARE
HOMER PRO

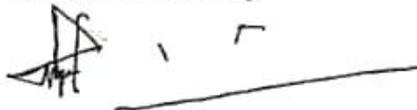
Bidang Ilmu : Sistem Tenaga Listrik

Telah Berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 15 September 2025

Mengetahui dan menyetujui

Dosen Pembimbing



Ir. Abd Aziz Hutasuhut, MM

Dosen Pembanding I



Dr. Rimbawati, S.T., M.T

Dosen Pembanding II



Partaon Harahap, S.T., M.T,

Program Studi Teknik Elektro



Dr. Juvy Sabhy Nasution, S.T., M.Pd

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Surat yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : M.Imam Al Hafiz

Tempat / Tanggal Lahir : Medan / 14 September 2003

NPM : 2107220070

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan Sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul:

“Analisis Potensi PLTS Dan PLTB Sebagai Cadangan Energi Listrik Rumah Di Kabupaten Langkat Dengan Memanfaatkan *Software Homer Pro*”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian kerja hasil milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan / keserjanaan saya

Demikian surata pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 15 September 2025

Sd
an,

METERAI
TEMPEL
04E96AMX136623108
M.Imam Al Hafiz

ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk, pembangunan infrastruktur, dan penggunaan peralatan elektronik, termasuk di Kabupaten Langkat, Sumatera Utara. Selama ini, pasokan listrik masyarakat masih bergantung pada PLN yang menggunakan sumber energi fosil yang terbatas dan berpotensi menimbulkan dampak lingkungan. Oleh karena itu, pemanfaatan energi baru terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) menjadi solusi potensial. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi energi matahari dan angin di Kabupaten Langkat dengan memanfaatkan perangkat lunak HOMER Pro menggunakan data historis NASA dari tahun 1983 hingga 2025. Analisis dilakukan untuk mengetahui kecepatan angin rata-rata, tingkat radiasi matahari, estimasi daya yang dapat dihasilkan, serta kelayakan teknis dan ekonomis dari PLTS dan PLTB di wilayah penelitian. Hasil analisis menunjukkan bahwa potensi PLTS di Kabupaten Langkat cukup tinggi dengan estimasi kebutuhan daya harian XXXX kWh/hari dan kapasitas terpasang XXXX WP menggunakan XX modul surya XXX WP. Sementara itu, potensi PLTB relatif rendah dengan rata-rata kecepatan angin hanya XX m/s sehingga daya yang dihasilkan terbatas pada XXX Watt untuk turbin XX kW. Analisis biaya energi (COE) menunjukkan bahwa PLTS masih sedikit lebih tinggi dibandingkan tarif dasar listrik PLN, namun dari sisi keberlanjutan, PLTS memiliki prospek yang baik untuk dikembangkan. Berdasarkan hasil penelitian, Kabupaten Langkat lebih berpotensi untuk pengembangan PLTS dibandingkan PLTB sebagai sumber energi baru terbarukan.

Kata Kunci : Energi Terbarukan, HOMER Pro, Potensi Energi

ABSTRACT

The demand for electrical energy in Indonesia continues to increase along with population growth, infrastructure development, and the use of electronic devices, including in Langkat Regency, North Sumatra. Currently, the community's electricity supply still relies on PLN, which predominantly uses fossil energy sources that are limited and potentially harmful to the environment. Therefore, the utilization of renewable energy such as Solar Power Plants (PLTS) and Wind Power Plants (PLTB) becomes a potential solution. This study aims to analyze the potential of solar and wind energy in Langkat Regency by utilizing HOMER Pro software with historical NASA data from 1983 to 2025. The analysis was conducted to determine the average wind speed, solar radiation level, estimated power generation, and the technical and economic feasibility of PLTS and PLTB in the study area. The results show that PLTS potential in Langkat is relatively high, with an estimated daily energy demand of XXXX kWh/day and an installed capacity of XXXX WP using XX units of XXX WP solar modules. Meanwhile, PLTB potential is relatively low with an average wind speed of only XXX m/s, producing approximately XXX W using a XX kW turbine. The Cost of Energy (COE) analysis indicates that PLTS is slightly higher than PLN's basic tariff, yet from a sustainability perspective, PLTS is highly feasible to develop. Overall, Langkat Regency shows greater potential for PLTS compared to PLTB as a renewable energy source.

Keywords: *Renewable Energy, HOMER Pro, Energy Potential*

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, yang telah menetapkan segala sesuatu dengan sempurna, sehingga tiada sehelai daun pun yang jatuh tanpa izin-Nya. Alhamdulillah, atas rahmat dan petunjuk-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “ANALISIS POTENSI PLTS DAN PLTB SEBAGAI CADANGAN ENERGI LISTRIK RUMAH DI KABUPATEN LANGKAT DENGAN MEMANFAATKAN SOFTWARE HOMER PRO” sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan, baik secara langsung maupun tidak langsung, selama proses penyusunan skripsi ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Ayahanda Rudi Widodo S.Sos , Ibunda Hj.Nurhayati, serta Kakak Dan Abang, yang senantiasa memberikan cinta, dukungan moral, dan materi tanpa henti. Terima kasih atas doa, nasihat, dan kasih sayang yang tiada habisnya.
2. Bapak Prof. Dr .H.Agussani, M.A.P, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T. M.Sc., Ph.D, selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Affandi, S.T., M.T, selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Ibu Dr. Elvy Sahnur, S.T., M.Pd, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Bapak Benny Oktrialdi, S.T., M.T, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Bapak Ir.Abd Aziz Hutasuhut, MM , yang dengan sabar telah membimbing, mengarahkan, dan memberikan masukan berharga selama proses penyusunan tugas akhir ini.
9. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, atas ilmu yang sangat bermanfaat selama masa perkuliahan.
10. Bapak/Ibu Staf Administrasi Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, atas dukungan administratif yang diberikan.
11. Sahabat penulis, Farhan Hatadi, Haikal, Ryan rambe, Alda, Fajar Fatham Mubina, Dai Rinaldy, Agil Fitriansyah, Zunaidi, Fitria, Surya Dharma dan seluruh teman kelas B1 teknik elektro stambuk 2021 yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan bantuan selama proses penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan di masa mendatang. Harapan penulis, semoga laporan ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang teknik elektro, dan menjadi kontribusi kecil bagi perkembangan dunia teknik.

Medan,.....

M.Imam Al Hafiz

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Batasan Masalah	3
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Landasan Teori	5
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid	6
2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)	6
2.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	19
2.2.3 Kebutuhan Beban.....	30
BAB 3 METODE PENELITIAN	39
3.1 Waktu dan Tempat.....	39
3.1.1 Waktu	39
3.1.2 Tabel Jadwal Penelitian.....	39
3.1.3 Tempat	39
3.1.4. Alat Dan Bahan.....	39
3.2 Bagan Alir Penelitian	42
3.3 Metode Pengumpulan Data	43
3.4 Metode Pengolahan Data	43

DAFTAR PUSTAKA.....	44
LAMPIRAN.....	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta Angin di Indonesia	8
Gambar 2. 2 Skema Aliran Konversi Angin	9
Gambar 2. 3 PLTB Secara Umum (Setiawan, Hermawan, and Suardi 2018)	10
Gambar 2. 4 Tipe Turbin Angin.....	13
Gambar 2. 5 Bagian Blade (Fachri 2017)	15
Gambar 2. 6 Tipa-tipe Blade (Fachri 2017).....	16
Gambar 2. 7 Generator (Wildan Hamdani, Ahmad Yani, and Toni Hendrawan. R 2021).....	17
Gambar 2. 8 Skema PLTB (Wildan Hamdani, Ahmad Yani, and Toni Hendrawan. R 2021).....	18
Gambar 2. 9 Pembiasan Cahaya (Diantari Aita Retno, Erlina 2018).....	21
Gambar 2. 10 Solar Cell (Purwoto 2018)	22
Gambar 2. 11 Sistem Instalasi Menggunakan PLTS (Stefanie and Bangsa 2021)	26
Gambar 2. 12 PLTS Offgrid.....	27
Gambar 2. 13 7 Sistem PLTS Grid Connection.....	29
Gambar 2. 14 Biaya Produksi dan Harga Jual Listrik (Rp/kWh)	36
Gambar 3. 1 Laptop.....	40
Gambar 3. 2 Software Homer Pro.....	40
Gambar 3. 3 Anemometer	40
Gambar 3. 4 Lux Meter	41
Gambar 3. 5 GPS Digital	41
Gambar 3. 6 Bagan Alir Penelitian	42

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai Negara berkembang, Indonesia memiliki kebutuhan energi yang terus meningkat. Kenaikan rata-rata kebutuhan energi ini mencapai 7 % pertahun. Sebagian besar atau sekitar 75 % dari kebutuhan energi ini dipasok oleh bahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak bumi. Akan tetapi, ketersediaan bahan bakar fosil terus berkurang dan menimbulkan polusi yang berbahaya bagi lingkungan. Mengingat kebutuhan energi yang terus meningkat dan mendesak serta pentingnya menjaga kelestarian lingkungan, maka pemanfaatan energi terbarukan seperti energi matahari, panas bumi, biomassa dan angin menjadi solusi yang tepat untuk memenuhi kebutuhan energi ini.

Salah satu kebutuhan energi yang sangat dasar adalah energi listrik. Energi listrik memegang peranan penting dalam memenuhi kebutuhan hidup. Kebutuhan energi listrik diperkirakan mengalami peningkatan rata-rata 6,5% pertahun hingga tahun 2020. Hal ini karena penggunaan jumlah peralatan elektronika yang mengkonsumsi energi listrik semakin hari semakin bertambah mulai dari sektor rumah tangga, instansi pemerintah hingga sektor industri. Sehingga menyebabkan kebutuhan energi listrik semakin besar.

Demikian juga kebutuhan energi listrik di Kabupaten Langkat setiap tahun selalu bertambah yang disebabkan oleh bertambahnya infrastruktur sarana prasarana masyarakat. Selama ini kebutuhan energi listrik dipasok oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Oleh karena itu untuk mengurangi ketergantungan terhadap PLN, Masyarakat harus mampu memanfaatkan energi terbarukan sebagai energi alternatif. Salah satu sumber energi alternatif yang jumlahnya sangat melimpah dan ramah lingkungan adalah energi matahari dan angin.

Angin adalah sumber energi yang tersedia cukup berlimpah di alam. Pemanfaatannya telah dimulai sejak tahun 5000 SM untuk menggerakkan baling-baling perahu di Sungai Nil. Tahun 200 SM, Cina telah memanfaatkan energi angin untuk pompa air, dan di Timur Tengah telah dimanfaatkan untuk menggiling biji-bijian. Pada abad ke-20, energi angin telah banyak dimanfaatkan untuk pengolahan makanan, pompa air, dan pembangkit listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Angin

(PLT Angin) merupakan pembangkit listrik yang sangat ramah lingkungan. Penerapannya bisa dalam bentuk *wind farm* ataupun *stand alone*, baik yang terhubung ke dalam *grid* maupun tidak. PLT Angin sangat cocok diterapkan pada lokasi terpencil maupun yang telah mempunyai grid. Keberadaan dan kelangsungan suatu PLT Angin ditentukan oleh pemilihan lokasi (*sitting*) yang tepat berdasarkan data angin yang akurat dan berlaku sepanjang waktu guna (*service life*) mesin turbin angin. Oleh sebab itu studi potensi angin sepanjang tahun pada lokasi yang mempunyai potensi merupakan sesuatu yang mutlak dilakukan sebelum diputuskan untuk membangun PLT Angin.

Sedangkan Energi Matahari merupakan sumber energi yang juga berlimpah dan bersifat terbarukan. Karena energi ini berasal dari alam yaitu cahaya matahari yang diserap dan dikonversikan menjadi energi listrik menggunakan panel surya. Pada penggunaan PLTS tentu saja terdapat berbagai halangan yang dapat menyebabkan kuantitas dari daya yang dihasilkan menjadi berkurang. Ada beberapa faktor yang dapat menyebabkan berkurangnya daya keluaran dari pembangkit listrik tenaga surya tersebut, yang pertama adalah faktor cuaca. Cuaca sangat mempengaruhi daya keluaran yang dapat dihasilkan pada PLTS, karena apabila cuaca cerah maka intensitas cahaya matahari yang didapat juga maksimal dan daya keluaran yang dihasilkan juga dapat maksimal, begitu pula sebaliknya. Maka dari itu untuk penerapan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terkhusus pada usaha – usaha menengah memerlukan analisis terlebih dahulu agar penerapan pembangkit lebih efektif dan efisien digunakan.

Untuk membuat ataupun menggunakan pembangkit listrik tenaga angin juga sama halnya seperti PLTS yang memerlukan biaya cukup mahal mulai dari turbin, baterai, charger controller, inverter dan generator. Maka dari itu sebelum menggunakan pembangkit listrik tenaga angin alangkah lebih baik untuk tempat lokasi pemasangan dianalisa terlebih dahulu potensi energi angin yang dihasilkan. Hal ini bertujuan untuk menguji kelayakan lokasi tersebut untuk dipasang pembangkit listrik tenaga angin.

Berdasarkan beberapa referensi penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian penulis dengan judul ANALISIS POTENSI PLTS DAN PLTB

SEBAGAI CADANGAN ENERGI LISTRIK RUMAH DI KABUPATEN LANGKAT DENGAN MEMANFAATKAN SOFTWARE HOMER PRO.

1.2 Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian yang dilakukan maka perlunya membatasi proses penelitian agar tetap sesuai dengan judul yang dibahas. Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini berfokus pada pembahasan potensi angin dan surya di kabupatenLangkat Sumatera Utara, dimana potensi yang diambil pada lokasi yaitu tiap tiap kecamatan yang ada di kabupatenLangkat.
2. Penelitian ini tidak membahas sistem keamanan pada pembangkit, hanya terfokus pada potensi energi angin dan matahari untuk pemanfaatan PLTS dan PLTB di kabupatenLangkat.
3. Penelitian ini akan dibuat sebagai pembanding data,dan informasi dari BMKG

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari judul yang ingin diajukan adalah :

1. Bagaimana karakteristik sumber energi terbarukan di Kabupaten Langkat, khususnya rata-rata intensitas radiasi matahari dan kecepatan angin yang tersedia, sebagai dasar pemanfaatan PLTS dan PLTB?
2. Berapa besar potensi daya listrik yang dapat dihasilkan dari PLTS dan PLTB berdasarkan data historis NASA serta hasil simulasi HOMER Pro, dibandingkan dengan kebutuhan energi listrik rumah tangga di Kabupaten Langkat?
3. Bagaimana kelayakan teknis dan ekonomis penerapan PLTS dan PLTB sebagai alternatif sumber energi listrik rumah tangga di Kabupaten Langkat berdasarkan hasil simulasi HOMER Pro?

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi potensi energi terbarukan di Kabupaten Langkat dengan menganalisis data historis NASA terkait intensitas radiasi matahari dan kecepatan angin sebagai dasar perancangan PLTS dan PLTB.
2. Menghitung estimasi daya listrik yang dapat dihasilkan dari PLTS dan PLTB berdasarkan kondisi radiasi matahari dan kecepatan angin di lokasi penelitian, serta dibandingkan dengan kebutuhan energi listrik rumah tangga
3. Menganalisis kelayakan teknis dan ekonomis penerapan PLTS dan PLTB di Kabupaten Langkat menggunakan perangkat lunak HOMER Pro, guna mengetahui sistem mana yang paling optimal untuk dikembangkan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini meliputi dua aspek yaitu, aspek tekno-ekonomi dan juga lingkungan. Aspek dari tekno-ekonomi yaitu penggunaan teknologi yang terbarukan dan ekonomis. Sedangkan untuk aspek lingkungan yaitu memberikan informasi pada warga desa akan pentingnya energi baru terbarukan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Dilihat dari letak geografis berdasarkan Google Earth®, berdasarkan data dari NASA pada koordinat Kabupaten Deli Serdang berpotensi menghasilkan energi surya dan potensi energi terbarukan lainnya yang dapat di manfaatkan adalah potensi energi angin. Data dari NASA potensi energi angin yang dapat dimanfaatkan dengan kecepatan angin rata rata 3,19 m/s. Dari data tersebut, potensi energi angin di Kabupaten Deli Serdang bagus untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) karena kecepatan angin rata rata berada di atas nilai batas minimum kecepatan angin yang dapat dimanfaatkan untul pembangkit listrik tenaga angin. (Pengantar et al., n.d.)

Pembangkit energi listrik dunia maupun khususnya di Indonesia sebagian besar masih menggunakan energi fosil yang tidak dapat diperbaharui serta memiliki batas ketersediaan untuk di manfaatkan dalam jangka panjang. Sesuai dengan cetak biru Pengelolaan Energi Nasional yang dikeluarkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) tahun 2005 cadangan minyak Indonesia diperkirakan akan habis dalam 18 tahun mendatang dengan rasio produksi di dalamnya (Utara, 2005). Selain ketersediaannya yang terbatas penggunaan energi fosil seperti minyak dan batu bara ternyata berdampak buruk untuk kehidupan jika digunakan dalam jangka panjang. Peningkatan kadar gas rumah kaca di atmosfer akibat dari pembakaran energi fosil dapat memicu pemanasan secara global dan perubahan iklim secara extrem. (Purwoto 2018)

Beberapa energi terbarukan di Indonesia yang saat ini menjadi ramai direncanakan untuk di jadikan pembangkit listrik adalah energi angin dan energi matahari. Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) yang berlokasi di Sidenreng Rappang, Sulawesi Selatan dengan kapasitas 25 MW yang selesai pada tahun 2018 serta pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang berada di Likupang, Sulawesi Utara dengan kapasitas 15 MW menjadi bukti bahwasanya energi angin dan surya dapat di manfaatkan sebagai sumber energi listrik.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Sistem pembangkit listrik hybrid didefinisikan sebagai suatu sistem pembangkit tenaga listrik yang menggabungkan dua atau lebih pembangkit dengan sumber energi yang berbeda, umumnya digunakan untuk isolated grid, sehingga diperoleh sinergi penerapannya dapat menghasilkan keuntungan ekonomis maupun teknis. (Hollberg and Fuso Nerini 2015) Sel surya bekerja berdasarkan efek fotoelektrik pada material semikonduktor untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Berdasarkan teori Maxwell tentang radiasi elektromagnet, cahaya dapat dianggap sebagai spektrum gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang berbeda. Pendekatan yang berbeda dijabarkan oleh Einstein bahwa efek fotoelektrik mengindikasikan cahaya merupakan partikel diskrit atau quanta energi. (Vries, Connors, and Jaliwala 2011)

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Pada tahun 2018, dengan beroperasinya pembangkit listrik bertenaga angin (PLTB) pertama yang terletak di Desa Mattirotasi, Kabupaten Sidrap, Sulawesi Tengah. Pembangkit tersebut memiliki kapasitas yang besar, mencapai 75 MW, yang terdiri dari 30 turbin angin yang tersebar di lahan seluas 100 hektar. Terealisasinya PLTB tersebut menjadi salah satu bukti keseriusan Indonesia dalam pemanfaatan sumber energi terbarukan. Di negara-negara lain, terutama negara-negara di Eropa Barat seperti Belanda dan Jerman, pemanfaatan energi angin dalam memenuhi kebutuhan konsumsi listrik sudah sejak lama dilakukan. Hal tersebut dilakukan seiring dengan meningkatnya kekhawatiran akan perubahan iklim dan pemanasan global sebagai akibat dari tingginya emisi karbon yang timbul dari penggunaan sumber energi fosil. (Radwitya and Akhdiyatul 2019)

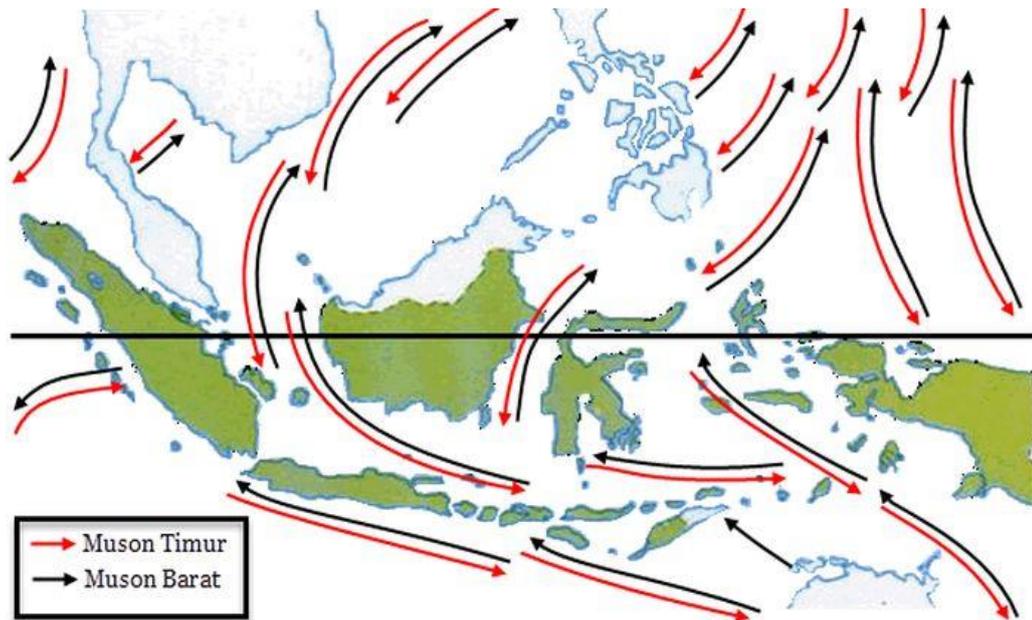
Pemanfaatan energi angin sebenarnya sudah dilakukan sejak seribu tahun yang lalu. Salah satunya adalah melalui teknologi kincir angin tradisional yang acap dijumpai di Belanda untuk keperluan penggilingan padi. Namun, pemanfaatan energi angin untuk pembangkitan listrik masih tergolong baru jika dibandingkan dengan pembangkit listrik berbahan bakar fosil dan juga pembangkit listrik tenaga air. Percobaan pertama dalam pemanfaatan angin untuk menghasilkan listrik dilakukan di Glasgow, Skotlandia, di tahun 1887

Berdasarkan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), energi angin merupakan salah satu sumber energi yang akan diprioritaskan dalam pemenuhan konsumsi energi nasional. Potensi energi angin di Indonesia yang dapat dimanfaatkan mencapai 60,647 MW. Provinsi dengan potensi energi angin terbesar adalah Nusa Tenggara Timur dengan nilai energi sebesar 10,188 MW. Provinsi kedua dengan potensi angin terbesar adalah Jawa Timur dengan energi angin mencapai 7,907 MW. DKI Jakarta, mengingat kondisi geografisnya yang berada di dataran rendah serta dipadati dengan bangunan-bangunan, memiliki potensi terendah dari seluruh provinsi di Indonesia, yaitu hanya sebesar 4 MW. Hal ini menjadi tantangan tersendiri mengingat DKI Jakarta menjadi salah satu provinsi dengan konsumsi energi listrik terbesar se-Indonesia.

Secara mekanisme, cara kerja PLTB memiliki prinsip yang sama dengan PLTA. Perbedaannya, pada PLTB, energi kinetik yang dimanfaatkan untuk memutar turbin adalah energi kinetik yang berasal dari aliran angin. Bentuk sudu turbin dirancang dengan memperhitungkan sifat-sifat aerodinamika yang umumnya dikenal dengan nama aerofoil. Seperti halnya pada desain sayap pesawat terbang, angin yang mengalir ke permukaan sudu turbin akan menghasilkan gaya angkat (lift force) pada sudu turbin. Gaya angkat tersebut lah yang berperan dalam terputarnya sudu turbin.

2.2.1.1 Energi Angin

Energi angin merupakan bentuk energi yang penggerakannya berupa angin. Pada peta berikut ditunjukkan daerah-daerah di Indonesia yang memiliki potensi energi angin berdasarkan data kecepatan angin rata-rata pada ketinggian 10 m. Berdasarkan kriteria turbin angin seperti TSD-500 maka dibutuhkan angin berkecepatan minimal 3 m/s untuk mulai berproduksi. Dan daerah yang memiliki kecepatan rata-rata angin di atas 3 m/s banyak ditemui pada pesisir Selatan Jawa, Sumatera, dan pulau bagian timur. (Alex Surapaty 2020)

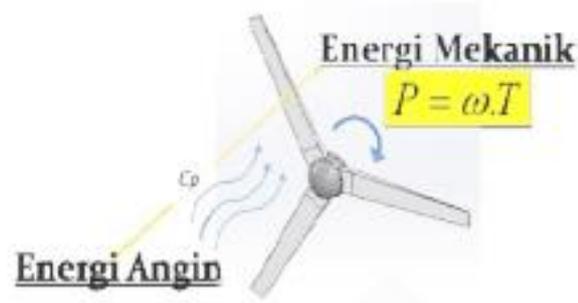


Gambar 2. 1 Peta Angin di Indonesia

2.2.1.2 Turbin Angin

Turbin angin merupakan alat konversi energi angin menjadi energi mekanik. Energi angin (P_{wind}) ini sendiri merupakan hasil dari setengah kali massa jenis udara (ρ) dengan luas penampang cakupan dari turbin angin (A) dan pangkat tiga dari kecepatan anginnya (V^3). Jadi, sedikit saja selisih kecepatan anginnya, maka perbedaan energi yang dihasilkannya dapat berkali lipat besarnya. (Radwitya and Akhdiyatul 2019)

Setiap sistem pasti memiliki suatu tingkat efisiensi kerja karena hampir tidak ada sistem yang mampu bekerja sempurna, seperti halnya turbin angin ini. Oleh karena itu, untuk mendapatkan Energi Mekanik dari hasil turbin ini maka perlu diperhitungkan juga nilai efisiensi turbin (C_p). Energi Mekanik dari turbin ini berupa kecepatan putaran bilah II-18 turbin (ω) dan torsi, T , (besar gaya yang diberikan pada suatu panjang lengan beban/blade)



Gambar 2. 2 Skema Aliran Konversi Angin

PLTB adalah suatu teknologi pembangkit listrik yang merubah potensi angin menjadi energi listrik. Angin merupakan udara yang bergerak/mengalir, sehingga memiliki kecepatan, tenaga dan arah. Penyebab dari pergerakan ini adalah pemanasan bumi oleh radiasi matahari. Daya yang dihasilkan energi angin dirumuskan sebagai berikut : (Wildan Hamdani, Ahmad Yani, and Toni Hendrawan. R 2021)

$$(P_{\text{wind}}) = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2.1)$$

Dimana :

(P_{wind}) = Energi angin (w)

A = Luas daerah sapuan turbin angin (m^2)

ρ = Kerapatan udara (kg/m^3)

v = Kecepatan angina (m/det)

PLTB secara umum adalah suatu sistem pembangkit listrik yang dapat mengkonversikan energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik. Secara umum PLTB terbagi menjadi 4 bagian, yaitu rotor turbin, *gearbox*, generator dan pembebanan. Prinsip kerja PLTB adalah mengubah energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik dari putaran baling-baling yang dapat memutar rotor. Putaran rotor relatif lambat sehingga PLTB secara umum menggunakan *gearbox* untuk mempercepat laju putaran rotor. Setelah itu generator mengubah putaran dari *gearbox* tersebut mejadi energi listrik

Dari persamaan (2.4) dan (2.5) dapat diperoleh daya angin seperti persamaan berikut :

$$P_a = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2.4)$$

Dimana :

P_a = daya angin (watt).

Persamaan (2.5) merupakan teori perhitungan daya pada turbin angin yang hanya memperhitungkan luas penampang turbin angin yang menyapu turbin. Sedangkan untuk memperhitungkan kemampuan turbin dalam mengekstraksikan angin yaitu menggunakan efisiensi kerja turbin yang dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$C_p = \frac{P_m}{P_a} \quad (2.5)$$

Dimana :

P_m = daya mekanik (watt)

C_p = koefisien daya pada turbin angin,

Efisiensi kerja turbin tidak dapat melebihi 0,593, hal tersebut dikenal sebagai *limit betz*. Dengan menggabungkan persamaan (2.4), (2.5) dan efisiensi kerja turbin maksimal, maka dapat dituliskan seperti persamaan berikut :

$$P_{maks} = 0,2965 CP = \rho A v^3, \quad (2.6)$$

Dimana :

P_{maks} = daya maksimum atau daya turbin angin dalam kondisi ideal.

Turbin angin pada prinsipnya dapat dibedakan atas dua jenis turbin berdasarkan arah putarannya. Turbin angin yang berputar pada poros horisontal disebut dengan turbin angin poros horizontal atau Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT), sementara yang berputar pada poros vertikal disebut dengan turbin angin poros vertikal atau Vertical Axis Wind Turbine (VAWT).

1. Turbin HAWT

Turbin angin horizontal adalah model umum yang sering kita lihat pada turbin angin. Desainnya mirip dengan kincir angin, memiliki blade yang mirip propeller dan berputar pada sumbu vertikal. Turbin angin horizontal memiliki shaft rotor dan generator pada puncak tower dan harus diarahkan ke arah angin bertiup. Turbin-turbin kecil mengarah ke angin dengan menggunakan wind plane yang diletakkan di rotor, sementara untuk turbin yang lebih besar dilengkapi dengan sensor yang terhubung dengan motor servo yang mengarahkan blade sesuai dengan arah angin. Sebagian besar turbin yang besar memiliki gearbox yang merubah kecepatan putar rotor yang ditransfer ke generator menjadi lebih cepat. (Setiawan, Hermawan, and Suardi 2018)

Karena tower menghasilkan turbulensi di belakangnya maka turbin biasanya mengarah ke arah angin dari depan. Blade turbin dibuat kaku untuk mencegah terdorong ke tower oleh angin yang kencang. Disamping itu, blade di tempatkan pada jarak yang mencukupi didepan tower dan kadang melengkung kedepan. Downwind turbine atau turbin dengan arah angin dari belakang juga dibuat, meskipun adanya masalah turbulensi, karena turbin ini tidak membutuhkan mekanisme yang mengharuskan searah dengan dengan angin. Disamping itu dalam keadaan angin kencang blade dibolehkan untuk melengkung yang mnurunkan area sapuan dan resistansi angin. Namun dikarenakan turbulensi dapat menyebabkan fatigue, dan keandalan sangat dibutuhkan maka sebagian besar turbin angin horisonal menggunakan jenis upwind. (Setiawan, Hermawan, and Suardi 2018)

2. Turbin VAWT

Turbin angin vertikal memiliki shaft rotor vertikal. Kegunaan utama dari penempatan rotor ini adalah turbin angin tidak perlu diarahkan ke arah angin bertiup. Hal ini sangat berguna pada daerah dimana arah angin sangat variatif atau memiliki turbulensi. Dengan sumbu vertikal, generator dan komponen primer lainnya dapat ditempatkan dekat dengan permukaan tanah, sehingga tower tidak perlu support dan hal ini menyebabkan maintenance lebih mudah. Kekurangan utama dari turbin angin vertikal adalah menciptakan dorongan saat berputar. Sangat sulit untuk memasang turbin angin di tower, sehingga jenis tower ini biasanya di

install dekat dengan permukaan. Kecepatan angin lebih lambat pada altitude yang rendah, sehingga energi angin yang tersedia lebih rendah.

Semakin tinggi efisiensi suatu turbin, semakin maksimal pula turbin tersebut mengkonversi energi yang didapatnya. Tipe turbin yang memiliki tingkat efisiensi paling tinggi adalah tipe 3 blade propeller (C_p mendekati 45 dan holland efisiensinya yang terendah. Tipe 2 dan 3 blade propeller saat ini banyak dijumpai pada produk-produk komersil. Pemanfaatan turbin angin terbagi ke dalam beberapa skala ketinggian dan kapasitasnya, yaitu skala besar menengah, kecil, dan mikro. Semakin besar skalanya, semakin besar pula kapasitas yang mampu dihasilkan suatu turbin angin.

Adapun beberapa tipe turbin angin yang ada di dunia berdasarkan tingkat efisiensinya diantara lain: (Setiawan, Hermawan, and Suardi 2018)

- a. Tipe Holland (Belanda)
- b. Tipe Savonius
- c. Tipe Darius
- d. Tipe Linear
- e. Tipe 2 blade propeller
- f. Tipe 3 blade propeller
- g. Tipe multi blade



Gambar 2. 4 Tipe Turbin Angin

Dalam pemilihan tipe blade yang perlu diperhatikan adalah C_p dan Tip Speed Ratio (TSR) C_p adalah tingkat efisiensi dari blade, semakin besar efisiensinya maka semakin besar juga kemampuan suatu turbin untuk mengambil energi yang didapatnya (konversi energi). TSR merupakan perbandingan kecepatan ujung blade terhadap angin, maka semakin besar TSR akan semakin besar putarannya. Dari berbagai tipe turbin angin, tipe 3 blade propeller paling mendekati nilai efisiensi ideal (koefisiennya mencapai 40%) dan juga bias digunakan untuk putaran tinggi. Pada perkembangannya saat ini, produk komersil lebih banyak mengembangkan tipe 2 dan 3 blade Propeller. (Saputra et al. 2016)

Dalam pemilihan dan pengembangan suatu system selain dari segi kualitas, hal yang perlu diutamakan lainnya adalah biaya produksi dan instalasi dari sistem tersebut harus disesuaikan dengan kondisi pasar sistem tersebut nantinya, serta bagaimana penyampaian terhadap penggunaannya. (Saputra et al. 2016)

2.2.1.3 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Untuk membuat pembangkit listrik tenaga bayu, dibutuhkan beberapa komponen yang memiliki peranan dan fungsi masing-masing yang berbeda untuk dapat merubah energi mekanik oleh angin menjadi energi listrik.

Blade merupakan bagian penting dalam suatu sistem turbin angin sebagai komponen yang berinteraksi langsung dengan angin. Secara umum terdiri dari 2 tipe yaitu horizontal axis wind turbine (HAWT) dan vertical axis wind turbine (VAWT). Kedua tipe ini dapat disesuaikan dengan orang yang ingin mengimplementasikannya dan kemampuannya dalam mewujudkan. Untuk tipe vertikal pembuatannya jauh lebih sulit dibandingkan horizontal dan tergantung pada keterampilan pembuatnya. The Sky Dancer merupakan turbin angin tipe. (Ma'ruf et al. 2023)

HAWT dengan 3 blade propeller yang memiliki nilai C_p 40%, yang berarti mampu mengambil 40% dari total energi angin yang diterimanya (energi per luas sapuan blade) menjadi energi mekanik. Dalam pemilihan tipe blade yang perlu diperhatikan adalah C_p dan Tip Speed Ratio (TSR). C_p adalah tingkat efisiensi dari blade, semakin besar efisiensinya maka semakin besar juga kemampuan suatu turbin untuk mengambil energi yang didapatnya (konversi energi). TSR merupakan

perbandingan kecepatan ujung blade terhadap angin, maka semakin besar TSR akan semakin besar putarannya. Dari berbagai tipe turbin angin, tipe 3 blade propeller paling mendekati nilai efisien (koefisiennya mencapai 40%) dan juga bisa digunakan untuk putaran tinggi. Pada perkembangannya saat ini, produk komersil lebih banyak mengembangkan tipe 2 dan 3 blade propeller. Untuk ukuran angin yang tidak terlalu kencang penambahan jumlah blade merupakan solusi yang dapat dilakukan supaya turbin angin dapat menangkap daya angin secara maksimal. Sebaliknya apabila kecepatan angin di suatu daerah memiliki kecepatan yang tinggi maka pengurangan blade menjadi solusinya karena apabila angin di kecepatan tinggi memakai jumlah blade yang banyak maka turbin angin tersebut memiliki sifat yang sama seperti dinding apabila di terpa oleh angin. Pemilihan jumlah blade yang sesuai dengan kondisi di asia tengah yaitu memakai jumlah blade 3, dimana kecepatan angin rata rata di asia bisa di kategorikan kepada angin sedang. (Fachri 2017)

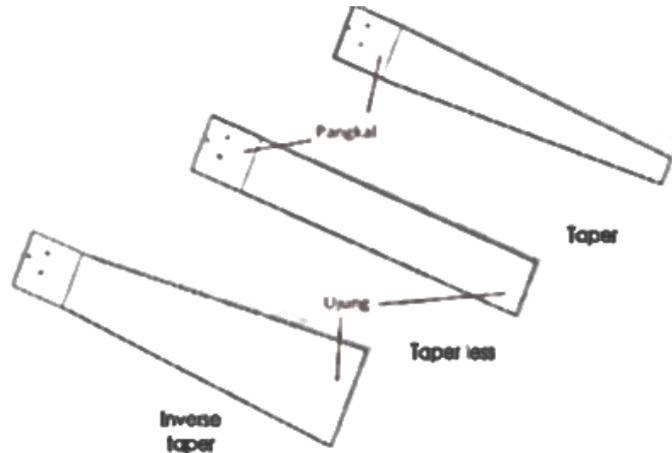


Gambar 2. 5 Bagian Blade (Fachri 2017)

Blade terdiri dari beberapa bagian, seperti :

- a. *Radius* (jari-jari blade)
- b. *Chord* (lebar blade)
- c. *Leading edge*
- d. *Trailing edge*
- e. *Chord line* (garis yang men ghubungkan leading dan trailing edge)
- f. *Setting of angle* (pitch, sudut antara chord line dan bidang rotasi dari rotor)

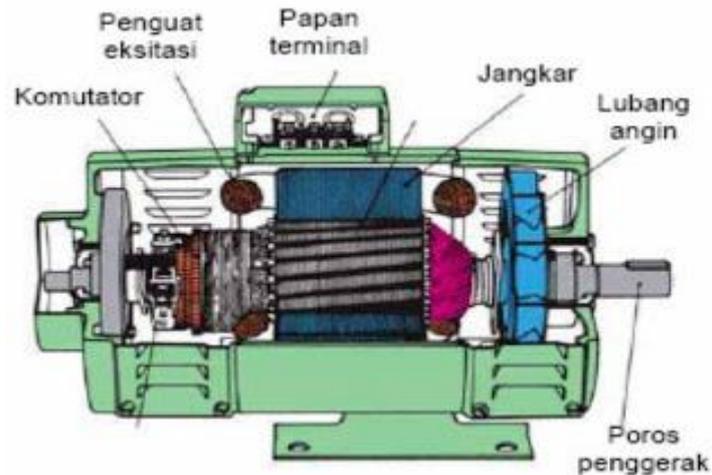
- g. *Angle of attack* (sudut antara chord line dengan arah gerak udara relatif)



Gambar 2. 6 Tipa-tipe Blade (Fachri 2017)

Blade memiliki 3 jenis berdasarkan desainnya, yaitu, taper (mengecil ujungnya), taperless (pangkal dan ujungnya memiliki lebar yang sama), dan inverse-taper (membesar ke ujungnya). Ketiga blade ini memiliki kapasitasnya masing-masing, seperti blade taper cocok untuk angin berkecepatan tinggi, sementara inverse-taper cocok untuk kecepatan angin rendah (putaran rendah, torsi tinggi) dan blade taper-less di antara keduanya. Pemilihan material harus seimbang dan tepat guna berdasarkan kualitas, harga, dan penyampaiannya kepada pengguna (QCD). Turbin angin TSD-500 menggunakan bahan kayu pinus karena bahannya yang ringan, kuat, murah, dan bahannya yang mudah ditemui di Indonesia. Bahan lain yang lebih baik yaitu dengan styrofoam karena bahan ini ringan, mudah dibentuk, murah, dan tidak berbahaya. Blade juga harus diuji dari segi ketahanan terhadap lingkungan, baik itu terhadap badai ataupun pada kecepatan angin tertentu. Kemungkinan yang harus diperhatikan seperti patah blade, cacat akibat bertabrakan dengan butiran pasir, debu, ataupun material lainnya karena kecepatan tinggi dan juga dapat mempengaruhi berat blade bila ada retakan (kemungkinan air/fluida lainnya menyerap), serta kemungkinan blade dapat melengkung. Dan hal lainnya yang harus diperhatikan adalah dari segi keamanan baik dalam proses pemasangan ataupun setelah dipasang. (Wildan Hamdani, Ahmad Yani, and Toni Hendrawan. R 2021)

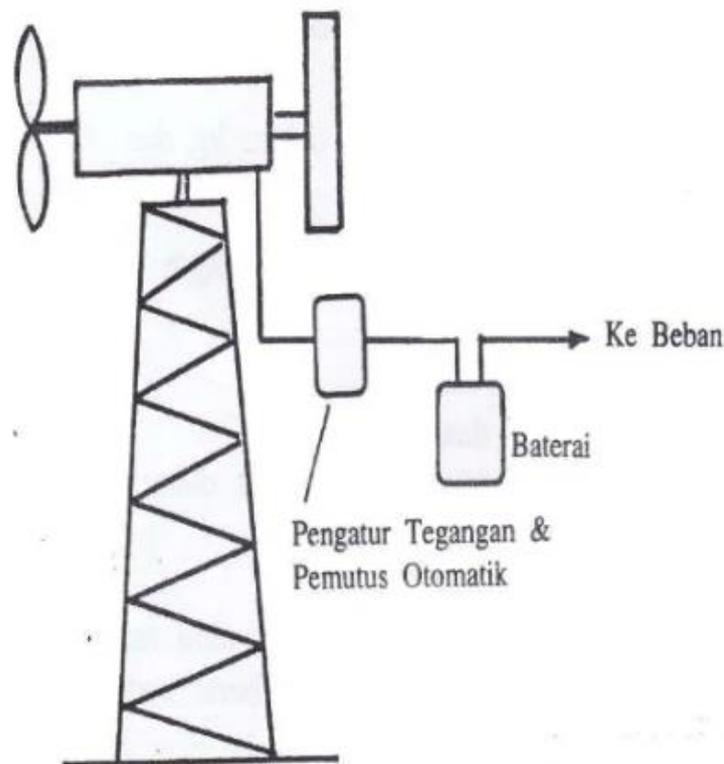
Generator adalah suatu alat yang dapat mengubah Energi Mekanik menjadi Energi Listrik. Energi Mekanik tersebut dapat berupa turbin angin, turbin air dan turbin uap. Dari turbin tersebut, dapat memutar poros generator dimana yang bisa menghasilkan energi listrik dari kumparan yang ada di dalam generator itu sendiri.



Gambar 2. 7 Generator (Wildan Hamdani, Ahmad Yani, and Toni Hendrawan. R 2021)

2.2.1.4 Konfigurasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Putaran blade membuat generator berputar dan menghasilkan tegangan AC 3 fasa yang mewakili vektor arah angin, yaitu u , v , dan w . Kemudian dialirkan menuju controller (teknologi pengamanan dan konversi energi) dan hasil keluaran dari controller ini berupa tegangan DC (telah dikonversi dari AC menjadi DC karena media penyimpanan energi dalam bentuk DC). Setelah itu, dialirkan kembali menuju data logger untuk dilakukan perekaman data dan selanjutnya disimpan ke dalam baterai/aki. Sebelum digunakan ke beban (peralatan listrik AC), energy yang telah disimpan ini harus dikonversi terlebih dahulu melalui inverter (tegangan DC menjadi AC) (Wildan Hamdani, Ahmad Yani, and Toni Hendrawan. R 2021)



Gambar 2. 8 Skema PLTB (Wildan Hamdani, Ahmad Yani, and Toni Hendrawan. R 2021)

2.2.1.5 Penentuan Kapasitas Komponen

Sebuah desain hemat biaya dari sistem pembangkit listrik tenaga bayu harus tepat sesuai dengan kapasitas produksi dan permintaan lokal. Kelebihan kapasitas (*over sizing*) akan mengakibatkan pemborosan biaya. Misalnya, kelebihan kapasitas untuk pembangkit akan meningkatkan biaya investasi, menghasilkan produksi listrik yang tidak dapat digunakan. Untuk Genset, kelebihan kapasitas dapat memiliki efek negatif pada usia pakai turbin angin sendiri. Pemilihan baterai yang melebihi kapasitas juga meningkatkan biaya modal. Namun, Pemilihan dibawah kapasitas (*under sizing*) terhadap permintaan beban dapat mengakibatkan ketidakpuasan pelanggan sehingga dapat menyebabkan kegagalan proyek. Kekurangan kapasitas juga dapat mengakibatkan dampak pada komponen, sehingga menurunkan usia komponen. Dari masalah tersebut akan berdampak pada biaya produksi energi (*levelized cost of energi/LCOE*), sehingga perlu pemilihan kapasitas yang efektif. (Radwitya and Akhdiyatul 2019)

Kecepatan angin digunakan berdasarkan data yang diperoleh dari BMKG atau dari data yang telah berhasil didapatkan yaitu 7 m/s, Masa jenis udara adalah sesuai dengan standar yang ada yaitu $1,2 \text{ kg/m}^3$, luas penampang yang digunakan yaitu dengan diameter 57 meter (turbin poros horizontal) Perhitungan menggunakan formula untuk menghitung energi angin sebagai berikut : (Radwitya and Akhdiyatul 2019)

Luas Penampang Blade :

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (2.9)$$

Masa Udara (kg)

$$m = \rho \cdot v \cdot A \quad (2.10)$$

Energi :

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (2.11)$$

Dimana :

A = Luas Penampang (m^2)

π = Konstanta (3,14)

r = Jari – Jari Turbin (m)

m = masa udara (kg)

E = Energi (Joule/dt)

v = Kecepatan Angin (m/s)

2.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

2.2.1.1 Cahaya

Energi dalam bentuk gelombang elektro magnetic yang dapat dilihat dengan mata telanjang yang memiliki panjang gelombang 380 dan 750 nm disebut dengan cahaya. Cahaya adalah partikel yang disebut foton. Dimana foton adalah medan elektromagnetik kuantum yang berinteraksi dengan electron dan inti. Didalam kamus besar Bahasa Indonesia, Cahaya diartikan sebagai sinar atau terang (dari sesuatu yang bersinar seperti matahari, bulan, lampu) yang memungkinkan mata menangkap bayangan benda-benda disekitarnya. (Ramadhan, Diniardi, and Mukti 2016)

Cahaya adalah gelombang elektromagnetik yang dapat dilihat dengan mata. Suatu sumber cahaya memancarkan energi, sebagian energi ini diubah menjadi

cahaya tampak (visible light). Perambatan cahaya di ruang bebas dilakukan oleh gelombang elektromagnetik. Menurut Suharyanto, dkk (2009) Panjang gelombang elektromagnetik yang dapat dilihat manusia yaitu 380-750 nm. Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang yang tidak memerlukan medium untuk merambat. Intensitas cahaya dengan satuan lux (1 lm/m^2), dimana lm adalah lumens atau lux cahaya. Sifat-sifat cahaya sebagai berikut : (Stefanie and Bangsa 2021)

1. Cahaya dapat merambat lurus
2. Cahaya dapat dipantulkan
3. Cahaya dapat menembus benda bening
4. Cahaya dapat dibiaskan
5. Cahaya dapat diuraikan

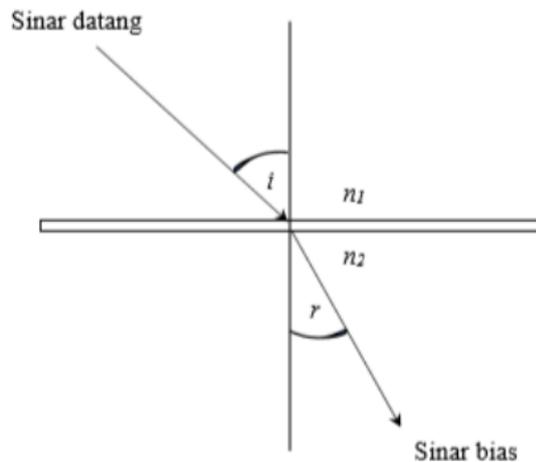
Menurut Lasmi (2008) pemantulan cahaya dibedakan menjadi 2 sebagai berikut :

1. Pemantulan difus atau pemantulan baur, merupakan pemantulan ke segala arah yang terjadi karena berkas sinar datang jatuh pada permukaan yang tidak rata. Pemantulan ini dapat menyilaukan mata.
2. Pemantulan teratur, merupakan pemantulan yang terjadi sinar datang jatuh pada permukaan halus atau rata. Cahaya yang dipantulkan ke satu arah dan pemantulan ini menyejukkan mata.

Jarak terdekat cahaya yang dapat dilihat oleh mata manusia normal yaitu 25 cm dan jarak terjauh yang dapat dilihat bernilai tak terhingga. Pada saat ini cahaya yang digunakan untuk penerangan adalah cahaya matahari dan energi listrik.

Hukum Snellius tentang pembiasan :

1. Sudut datang, garis normal, dan sinar pantul terletak pada satu bidang datar.
2. Sudut datang sama dengan sudut pantul ($i = r$)



Gambar 2. 9 Pembiasan Cahaya (Diantari Aita Retno, Erlina 2018)

2.2.2.2 Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya adalah kuantitas fisik utama yang menunjukkan kekuatan sumber cahaya dalam arah tertentu per unit sudut. Symbol untuk intensitas cahaya adalah I (huruf kapital). Defenisi standar untu 1 candela adalah intensitas cahaya dalam arah tertentu dari sumber cahaya dengan frekuensi 540×10^{12} Hz dengan intensitas radian dalam arah $1/1682$ watt per steradian. Biasanya intensitas cahaya diukur dengan alat yang bernama lux meter. (Hasan 2012)

Intensitas radiasi matahari di luar atmosfer bumi bergantung pada jarak antara matahari dengan bumi. Jarak ini bervariasi pada tiap tahunnya antara $1,47 \times 10^8$ km dan $1,52 \times 10^8$ km dan hasil besar pancarannya E_0 naik turun antara 1325 W/m^2 sampai 1412 W/m^2 . Nilai rata-ratanya disebut sebagai konstanta matahari dengan nilai $E_0 = 1367 \text{ W/m}^2$. Pancaran ini tidak dapat mencapai ke permukaan bumi. Atmosfer bumi mengurangi insolation yang melewati pemantulan, penyerapan (oleh ozon, uap air, oksigen, dan karbon dioksida), serta penyebaran (disebabkan oleh molekul udara, partikel debu atau polusi). (Hasan 2012)

2.2.2.3 Panel Surya

Solar cell atau biasa disebut dengan panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. Mereka disebut surya atau matahari atau “sol” karena matahari merupakan sumber cahaya yang dapat

dimanfaatkan. Panel surya sering kali disebut sel photovoltaic, photovoltaic dapat diartikan sebagai “cahaya listrik”. Sel surya bergantung pada efek photovoltaic untuk menyerap energi. (Purwoto 2018)



Gambar 2. 10 Solar Cell (Purwoto 2018)

Pada umumnya, panel surya merupakan sebuah hamparan semi konduktor yang dapat menyerap photon dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Sel surya tersebut dari potongan silikon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari sel surya. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Pada sel surya terdapat sambungan (function) antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang masing - masing yang diketahui sebagai semikonduktor jenis “P” (positif) dan semikonduktor jenis “N” (Negatif). Silikon jenis P merupakan lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis supaya cahaya matahari dapat menembus langsung mencapai junction. Bagian P ini diberi lapisan nikel yang berbentuk cincin, sebagai terminal keluaran positif . Dibawah bagian P terdapat bagian jenis N yang dilapisi dengan nikel juga sebagai terminal keluaran negative (Hutagalung and Panjaitan 2017)

Panel surya adalah suatu perangkat yang dapat mengubah energy cahaya menjadi energy listrik, prinsip yang diikuti adalah photovoltaic, adanya energy dari cahaya (foton) pada panjang gelombang tertentu akan mengeksitasi sebagian selektron pada suatu material ke pita energy , hal ini ditemukan oleh Alexandre Edmond Bacquerel (Belgia) Pada tahun 1894.

Ada dua pita energy yaitu konduksi dan valensi, kedua pita energi ini berturut – turut dari yang berenergi lebih rendah adalah pita valensi dan pita konduksi, sedangkan keadaan tanpa electron disebut dengan celah pita. Celah pita ini besarnya berbeda – beda untuk setiap material semikonduktor, tapi disyaratkan tidak melebihi 3 atau 4 Ev. (Purwoto 2018)

Sel Surya atau Solar Cell adalah suatu perangkat atau komponen yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek Photovoltaic. Yang dimaksud dengan Efek Photovoltaic adalah suatu fenomena dimana munculnya tegangan listrik karena adanya hubungan atau kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya. Oleh karena itu, Sel Surya atau Solar Cell sering disebut juga dengan Sel Photovoltaic (PV). Efek Photovoltaic ini ditemukan oleh Henri Becquerel pada tahun 1839. Arus listrik timbul karena adanya energi foton cahaya matahari yang diterimanya berhasil membebaskan elektron-elektron dalam sambungan semikonduktor tipe N dan tipe P untuk mengalir. Sama seperti Dioda Foto (Photodiode), Sel Surya atau Solar Cell ini juga memiliki kaki Positif dan kaki Negatif yang terhubung ke rangkaian atau perangkat yang memerlukan sumber listrik. Pada dasarnya, Sel Surya merupakan Dioda Foto (Photodiode) yang memiliki permukaan yang sangat besar. Permukaan luas Sel Surya tersebut menjadikan perangkat Sel Surya ini lebih sensitif terhadap cahaya yang masuk dan menghasilkan Tegangan dan Arus yang lebih kuat dari Dioda Foto pada umumnya. Contohnya, sebuah Sel Surya yang terbuat dari bahan semikonduktor silikon mampu menghasilkan tegangan setinggi 0,5V dan Arus setinggi 0,1A saat terkena (expose) cahaya matahari. Saat ini, telah banyak yang mengaplikasikan perangkat Sel Surya ini ke berbagai macam penggunaan. Mulai dari sumber listrik untuk Kalkulator, Mainan, pengisi 17 baterai hingga ke pembangkit listrik dan bahkan sebagai sumber listrik untuk menggerakkan satelit yang mengorbit bumi kita. (Sukmajati and Hafidz 2015)

Sinar Matahari terdiri dari partikel sangat kecil yang disebut dengan Foton. Ketika terkena sinar Matahari, foton yang merupakan partikel sinar Matahari tersebut menghantam atom semikonduktor silikon Sel Surya sehingga menimbulkan energi yang cukup besar untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya. Elektron

yang terpisah dan bermuatan Negatif(-)tersebut akan bebas bergerak pada daerah pita konduksi dari materialsemikonduktor. Atom yang kehilangan elektron tersebut akanterjadikekosongan pada strukturnya, kekosongan tersebut dinamakan dengan“hole”dengan muatan Positif (+). Daerah Semikonduktor dengan elektron bebas ini bersifat negatifdan bertindak sebagai pendonor elektron, daerah semikonduktor ini disebutdengan semikonduktor tipe N (N-type). Sedangkan daerah semikonduktordengan hole bersifat positif dan bertindak sebagai penerima (Acceptor)elektron yang dinamakan dengan Semikonduktor tipe P (P-type). Dipersimpangan daerah positif dan negatif (PN Junction), akan menimbulkanenergi yang mendorong elektron dan hole untuk bergerak ke arahyangberlawanan. Elektron akan bergerak menjauhi daerah negatif sedangkanholeakan bergerak menjauhi daerah positif. Ketika diberikan sebuah bebanberupalampu maupun perangkat listrik lainnya di persimpangan positif dannegatif(PN Junction) ini, maka akan menimbulkan arus listrik. (Dedi Wiriastika, Setiawan, and Sukerayasa 2022)

2.2.2.4 Cara Kerja PLTS

Pembangkit listrik tenaga surya konsepnya sederhana, yaitu mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Cahaya matahari merupakan salah satu bentuk energi dari sumber daya alam. Sumber daya alam matahari ini sudah banyak digunakan untuk memasok daya listrik di satelit komunikasi melalui sel surya. Sel surya ini dapat menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang tidak terbatas langsung diambil dari matahari, tanpa ada bagian yang berputar dan tidak memerlukan bahan bakar. Sehingga sistem sel surya sering dikatakan bersih dan ramah lingkungan. Bandingkan dengan sebuah generator listrik, ada bagian yang berputar dan memerlukan bahan bakar untuk dapat menghasilkan listrik. Suaranya bising, selain itu gas yang dihasilkan dapat menimbulkan efek gas rumah kaca (*green house gas*) yang pengaruhnya dapat merusak ekosistem planet bumi kita. (Nurjaman and Purnama 2022)

Sistem sel surya yang dapat digunakan di permukaan bumi terdiri dari panel sel surya, rangkaian kontroler pengisian (*charge controller*), dan aki (baterai) 12 volt yang *maintenance fee*. Panel sel surya merupakan modul yang terdiri dari beberapa sel surya yang dihubungkan seri dan paralel tergantung ukuran dari

kapasitas yang diperlukan. Rangkaian kontroler pengisian aki dalam sistem sel surya merupakan rangkaian elektronik yang mengatur proses pengisian akinya. Kontroler ini dapat mengatur tegangan aki dalam selang tegangan 12 volt. Bila tegangan turun sampai 10.8 volt berarti sisa tegangan pada aki 2.2 volt, maka kontroler akan mengisi aki dengan panel surya sebagai sumber dayanya. Tentu saja proses pengisian itu akan terjadi bila berlangsung pada saat ada cahaya matahari. Jika penurunan tegangan terjadi pada malam hari, maka kontroler akan memutuskan pemasokan energi listrik. Setelah proses pengisian itu berlangsung selama beberapa jam, tegangan aki itu akan naik bila tegangan aki itu mencapai 12 volt, maka kontroler akan menghentikan proses pengisian aki itu. Rangkaian kontroler pengisian aki sebenarnya mudah untuk dirakit sendiri. Tapi, biasanya rangkaian kontroler ini sudah tersedia dipasaran. Memang harga kontroler itu cukup mahal kalau dibeli sebagai unit sendiri. Kebanyakan sistem sel surya itu hanya dijual dalam bentuk paket lengkap itu jelas lebih murah dibandingkan dengan bila merakit sendiri. Biasanya panel surya itu diletakkan dengan posisi lurus menghadap matahari. Padahal bumi itu bergerak mengelilingi matahari, agar dapat terserap secara maksimum sinar matahari itu harus diusahakan selalu jatuh tegak lurus pada permukaan panel surya. (Gunawan et al. 2021)

Sebuah solar cells menghasilkan kurang lebih tegangan 0.5 Volt. Jadi sebuah panel surya 12 Volt terdiri dari kurang lebih 36 sel (untuk menghasilkan 17 Volt tegangan maksimum). Bahan sel surya sendiri terdiri dari kaca pelindung dan material *adhensive* transparan yang melindungi bahan sel surya dari keadaan lingkungan kemudian material anti-refleksi untuk menyerap lebih banyak cahaya dan mengurangi jumlah cahaya yang dipantulkan, semikonduktor P-type dan N-type (terbuat dari campuran silikon) untuk menghasilkan medan listrik, saluran awal dan saluran akhir (terbuat dari logam tipis) untuk mengirim elektron ke perabot listrik. Cara kerja sel surya sendiri sebenarnya identik dengan piranti semikonduktor dioda. Ketika cahaya bersentuhan dengan sel surya dan diserap oleh bahan semi-konduktor, terjadi pelepasan elektron. Apabila elektron tersebut bisa menempuh perjalanan menuju bahan semi-konduktor pada lapisan yang berbeda, terjadi perubahan sigma gaya-gaya pada bahan. Gaya tolakan antar bahan semi-konduktor, menyebabkan aliran medan magnet listrik. Dan menyebabkan elektron

dapat disalurkan ke saluran awal dan akhir untuk digunakan pada perabot listrik. (Hollberg and Fuso Nerini 2015)



Gambar 2. 11 Sistem Instalasi Menggunakan PLTS (Stefanie and Bangsa 2021)

Sinar Matahari terdiri dari partikel sangat kecil yang disebut dengan Foton. Ketika terkena sinar Matahari, Foton yang merupakan partikel sinar Matahari tersebut menghantam atom semikonduktor silikon Sel Surya sehingga menimbulkan energi yang cukup besar untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya. Elektron yang terpisah dan bermuatan Negatif (-) tersebut akan bebas bergerak pada daerah pita konduksi dari material semikonduktor. Atom yang kehilangan Elektron tersebut akan terjadi kekosongan pada strukturnya, kekosongan tersebut dinamakan dengan “hole” dengan muatan Positif (+) . (Stefanie and Bangsa 2021)

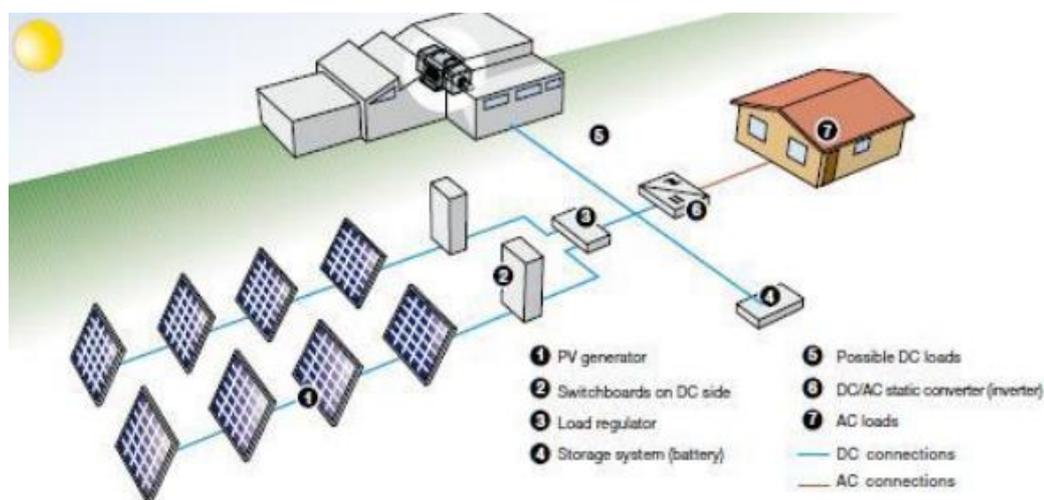
Prinsip kerja dari panel surya adalah jika cahaya matahari mengenai panel surya, maka elektron-elektron yang ada pada sel surya akan bergerak dari N ke P, sehingga pada terminal keluaran dari panel surya akan menghasilkan energi listrik. Besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya berbeda-beda tergantung dari jumlah sel surya yang dikombinasikan didalam panel surya tersebut. Keluaran dari panel surya ini adalah berupa listrik arus searah (DC) yang besar tegangan keluarannya tergantung dengan jumlah sel surya yang dipasang didalam panel surya dan banyaknya sinar matahari yang menyinari panel surya tersebut. (Ramadhan, Diniardi, and Mukti 2016).

Daerah Semikonduktor dengan elektron bebas ini bersifat negatif dan

bertindak sebagai pendonor elektron, daerah semikonduktor ini disebut dengan semikonduktor tipe N (N-type). Sedangkan daerah semikonduktor dengan hole bersifat positif dan bertindak sebagai penerima (*Acceptor*) elektron yang dinamakan dengan Semikonduktor tipe P (P-type). Di persimpangan daerah positif dan negatif (PN Junction), akan menimbulkan energi yang mendorong elektron dan hole untuk bergerak ke arah yang berlawanan. Elektron akan bergerak menjauhi daerah negatif sedangkan hole akan bergerak menjauhi daerah positif. Ketika diberikan sebuah beban berupa lampu maupun perangkat listrik lainnya dipersimpangan positif dan negatif (PN Junction) ini, maka akan menimbulkan arus listrik.

A. PLTS Terpusat (Offgrid)

Stand alone PV system atau Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (PLTS Terpusat) merupakan sistem pembangkit listrik alternatif untuk daerah-daerah terpencil/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. Secara umum konfigurasi PLTS sistem terpusat dapat dilihat seperti gambar (Hollberg and Fuso Nerini 2015)



Gambar 2. 12 PLTS Offgrid

Prinsip kerja PLTS sistem terpusat dapat diuraikan sebagai berikut:

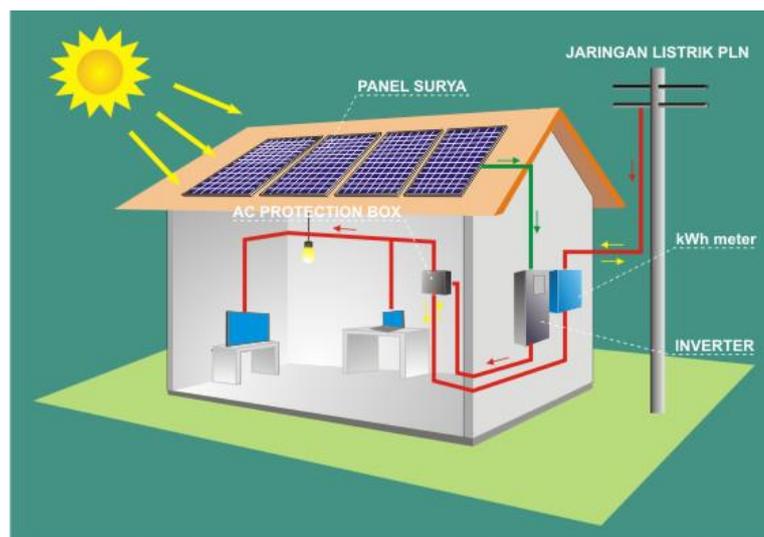
1. Sumber energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya (PV) pada siang hari akan disimpan dalam baterai. Proses pengisian energi listrik dari PV ke baterai diatur oleh Solar Charge Controller agar tidak terjadi over charge. Besar energi yang dihasilkan oleh PV sangat tergantung kepada intensitas penyinaran matahari yang diterima oleh PV dan efisiensi cell. Intensitas matahari maksimum mencapai 1000 W/m^2 , dengan efisiensi cell 14% maka daya yang dapat dihasilkan oleh PV adalah sebesar 140 W/m^2 .
2. Selanjutnya energi yang tersimpan dalam baterai digunakan untuk menyuplai beban melalui inverter saat dibutuhkan. Inverter mengubah tegangan DC pada sisi baterai menjadi tegangan AC pada sisi beban

B. PLTS Terinterkoneksi (Ongrid)

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 (ABB, 2010). Berdasarkan pola operasi sistem tenaga listrik ini dibagi menjadi dua yaitu, sistem dengan penyimpanan (storage) atau disebut Grid-connected PV with a battery back up, menggunakan baterai sebagai cadangan dan penyimpanan tenaga listrik dan tanpa baterai atau disebut Grid-connected PV without a battery back up. Baterai pada PLTS On-grid berfungsi sebagai suplai tenaga listrik untuk beban listrik apabila jaringan mengalami kegagalan untuk periode tertentu dan sebagai suplai tenaga listrik ke jaringan listrik negara (PLN) apabila ada kelebihan daya listrik (exces power) yang dibangkitkan PLTS. Berdasarkan aplikasinya sistem ini dibagi menjadi dua yaitu, Grid-connected distributed PV dan Grid-connected centralized PV. Prinsip kerja PLTS sistem on-grid dapat diuraikan sebagai berikut: (Hollberg and Fuso Nerini 2015)

1. Pada siang hari, modul surya yang terpasang akan mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik arus searah (DC). Selanjutnya sebuah komponen yang II-6 disebut grid inverter merubah listrik arus DC tersebut dari PV menjadi listrik arus bolak-balik (AC) yang kemudian dapat digunakan untuk mensuplai berbagai peralatan rumah tangga. Jadi pada siang hari, kebutuhan energi listrik berbagai peralatan disuplai langsung oleh modul surya. Jika pada kondisi ini terdapat kelebihan energi dari PV maka kelebihan energi ini dapat dijual ke PLN sesuai kebijakan.
2. Pada malam hari atau jika kondisi cuaca mendung maka peralatan akan disuplai oleh jaringan PLN. Hal ini dimungkinkan karena sistem ini tetap terkoneksi dengan jaringan PLN.

Selain itu sistem PLTS on-grid ini dapat menggunakan baterai sebagai cadangan atau backup energi. Sistem ini disebut sebagai grid connected PV system with battery backup Sistem ini berfungsi sebagai backup energi listrik untuk menjaga kontinuitas operasional peralatan-peralatan elektronik. Jika suatu saat terjadi kegagalan pada suplai listrik PLN (pemadaman listrik) maka peralatan-peralatan II-7 elektronik dapat beroperasi secara normal dalam jangka waktu tertentu tanpa adanya gangguan.



Gambar 2. 13 7 Sistem PLTS Grid Connection

Dengan baterai back-up memiliki keunggulan dalam pemenuhan kebutuhan listrik. Namun, menambahkan baterai ke sistem dilengkapi dengan beberapa kelemahan yang harus di pertimbangkan terhadap keuntungannya. Kerugian ini antara lain:

- a. Batrai mengkonsumsi energi selama pengisian dan pemakaian, mengurangi
- b. Efisiensi dan output dari sistem PV sekitar 10 persen untuk baterai timbalasam.
- c. Baterai meningkatkan kompleksitas sistem. Kedua biaya pertama dan instalasi
- d. Biaya meningkat.
- e. Kebanyakan baterai biaya yang lebih rendah membutuhkan perawatan.
- f. Baterai biasanya akan perlu diganti sebelum bagian lain dari sistem dan di biaya yang cukup besar

2.2.3 Kebutuhan Beban

Dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga bayu perkiraan permintaan beban yang tepat sangat dibutuhkan. Perkiraan permintaan beban secara sederhana bisa dilakukan dengan mengalikan jumlah pengguna dengan rata-rata estimasi penggunaan listrik per pengguna. Namun, pendekatan ini tidak benar-benar cukup karena memiliki tingkat akurasi yang rendah untuk pedesaan yang besar. Sebaliknya, lebih baik untuk menggabungkan estimasi permintaan listrik masing-masing calon pengguna, seperti rumah tangga, bangunan sosial, dan layanan ekonomi. (Wahid, Junaidi, and Arsyad 2014)

Memperkirakan permintaan listrik membutuhkan usaha yang intensif ketika observasi langsung kelapangan dari pintu ke pintu (door to door). Dua faktor penting dalam perencanaan listrik pedesaan, yaitu kesediaan pengguna untuk terhubung ke akses listrik yang akan dibangun dan konsumsi peralatan listrik yang akan digunakan ketika terhubung ke akses listrik. (Wahid, Junaidi, and Arsyad 2014)

Masalah kemungkinan terjadinya kelebihan permintaan beban harus diperhitungkan langsung dari tahap perencanaan awal. Permintaan cenderung

tumbuh setelah tahun pertama penyediaan listrik, karena beberapa alasan. Pertama, peningkatan taraf hidup dan ekonomi lokal memungkinkan pengguna untuk membeli lebih banyak peralatan. Kedua, jumlah pengguna juga kemungkinan akan meningkat karena manfaat elektrifikasi berdampak pada pengguna yang pada awal pembangunan tidak menerima terhubung ke jaringan listrik yang dibangun, dan perkembangan desa juga mempengaruhi kelebihan beban. Untuk mengantisipasi peningkatan permintaan tanpa mengorbankan kualitas layanan, beberapa komponen dari sistem harus menggunakan kapasitas yang lebih besar saat perencanaan awal. Untuk menghindari besarnya biaya modal awal, maka kapasitas cukup ditingkatkan sebesar 30%, terutama pada kabel dan baterai. Teknologi pembangkit dapat ditingkatkan setelah sesuai dengan permintaan. (Wahid, Junaidi, and Arsyad 2014)

2.2.3.1 Profil Beban

Beban listrik dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu beban motor, beban penerangan dan beban elektronik dan lain – lain. Pada penelitian ini beban akan dibedakan menjadi 3 bagian tersebut untuk mempermudah proses penentuan beban yang akan disuplai oleh PLTB nantinya setelah mendapatkan hasil perencanaan dan perancangan.

2.2.3.2 Energi Listrik

Energi Listrik Energi menurut Eugene C. Lister yang diterjemahkan oleh Hanapi Gunawan (1993) bahwa energi merupakan kemampuan untuk melakukan kerja, energi merupakan kerja tersimpan. Pengertian ini tidaklah jauh beda dengan ilmu fisika yaitu sebagai kemampuan melakukan usaha (Kamajaya, 1986). Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat pula dimusnahkan. Energi hanya dapat diubah dari suatu bentuk ke bentuk energi yang lain. Demikianlah pula energi listrik yang merupakan hasil perubahan energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik. Keberadaan energi listrik ini dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin. Adapun kegunaan energi listrik dalam kehidupan sehari-hari merupakan penerangan, pemanas, motormotor listrik dan lain-lain. Energi yang digunakan alat listrik merupakan laju penggunaan energi (daya)

dikalikan dengan waktu selama alat tersebut digunakan. (Salsa hayani, Stefanie, and Bangsa 2021)

Bila daya diukur dalam watt jam, maka:

$$W = P \times t \quad (2.12)$$

Dimana :

P = Daya Aktif (Watt)

t = Waktu (Jam)

W = Energi (Watt-hour)

2.2.3.3 Beban Listrik

Beban sistem tenaga listrik merupakan pemakaian tenaga listrik dari para pelanggan listrik. Oleh karenanya, besar kecilnya beban beserta perubahannya tergantung pada kebutuhan para pelanggan akan tenaga listrik. Tidak ada perhitungan eksak mengenai besarnya beban sistem pada suatu saat, yang bisa dilakukan hanyalah membuat perkiraan beban. Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik harus selalu diusahakan agar daya yang dibangkitkan sama dengan beban sistem. Maka masalah perkiraan beban merupakan masalah yang sangat menentukan bagi kelembagaan listrik baik segi-segi manajerial maupun bagi segi operasional, oleh karena itu perlu mendapat perhatian khusus. Untuk dapat membuat perkiraan beban yang sebaik mungkin perlu beban sistem tenaga listrik yang sudah terjadi di masa lalu dianalisa (Setiaji, MM, and Agus Sugiharto 2022)

Pembagian kelompok perkiraan beban yaitu, Perkiraan beban jangka panjang Perkiraan beban jangka panjang adalah untuk jangka waktu di atas satu tahun. Dalam perkiraan beban jangka panjang masalah-masalah makro ekonomi yang merupakan masalah ekstern kelembagaan listrik merupakan faktor utama yang menentukan arah perkiraan beban. Perkiraan beban jangka menengah Perkiraan beban jangka menengah adalah untuk jangka waktu dari satu bulan sampai dengan satu tahun. Poros untuk perkiraan beban jangka menengah adalah perkiraan beban jangka panjang. Perkiraan beban jangka pendek Perkiraan beban jangka pendek adalah untuk jangka waktu beberapa jam sampai satu minggu (168 jam). Dalam perkiraan beban jangka pendek batas atas untuk beban maksimum dan batas bawah untuk beban minimum yang ditentukan dalam perkiraan beban jangka menengah.

Beban rata-rata (Br) didefinisikan sebagai perbandingan antara energi yang terpakai dengan waktu pada periode. Atau dituliskan menurut persamaan 1 periode tahunan : (Ahmad Wahin, 2018)

$$Br = \frac{KWh \text{ yang terpakai selama 1 tahun}}{365 \times 24} \quad (2.13)$$

Faktor beban didefinisikan sebagai perbandingan antara beban rata-rata dengan beban puncak yang diukur untuk suatu periode waktu tertentu. Beban puncak (Lf) yang dimaksud adalah beban puncak sesaat atau beban puncak rata-rata dalam interval tertentu, pada umumnya dipakai beban puncak pada waktu 15 menit atau 30 menit. Untuk prakiraan besarnya faktor beban pada masa yang akan datang dapat didekati dengan data statistik yang ada. Dari definisi faktor beban dapat dituliskan : (Ahmad Wahin, 2018)

$$Lf = \frac{Bp \text{ (Beban Rata-Rata)}}{Bc \text{ (Beban Puncak)}} \quad (2.14)$$

Persamaan tersebut mengandung arti bahwa beban rata-rata akan selalu bernilai lebih kecil dari kebutuhan maksimum atau beban puncak, sehingga faktor beban akan selalu kecil dari satu. (Setiaji, MM, and Agus Sugiharto 2022)

2.2.3.4 Daya Listrik

Daya listrik adalah tingkat konsumsi energi dalam sebuah sirkuit atau rangkaian listrik. Daya listrik menyatakan banyaknya energi listrik yang terpakai setiap detiknya. Satuan daya listrik adalah Watt. Di mana 1 Watt = 1 Joule/detik.

$$P = \frac{E}{t} \quad (2.15)$$

Dimana :

P = Daya Aktif (Watt)

t = Waktu (Jam)

E = Energi (Joule)

Pada dasarnya daya listrik terbagi menjadi 3 yaitu : (Nanang Setiaji, 2020)

a. Daya nyata atau daya aktif (Watt)

Daya nyata merupakan daya yang dibutuhkan beban dan biasanya daya aktif nilainya lebih rendah dibandingkan dengan daya semu. Daya Aktif dihasilkan dari hasil perkalian Daya Semu dengan Faktor Daya (Cosphi). Daya aktif akan

mengalami penurunan nilai yang diakibatkan adanya beban-beban listrik yang menghasilkan daya reaktif.

$$P = V \times I \times \cos \phi \quad (2.16)$$

Dimana :

P = Daya Aktif (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

$\cos \phi$ = Faktor Daya

b. Daya Semu (VA)

Daya Semu merupakan daya yang dihasilkan dari perhitungan-perhitungan listrik sebelum dibebani dengan bebanbeban listrik. Satuan daya nyata adalah VA (Volt.ampere). beban yang bersifat daya semu adalah beban yang bersifat resistansi (R). Peralatan listrik atau beban pada rangkaian listrik yang bersifat resistansi tidak dapat dihemat karena tegangan dan arus listrik memiliki nilai faktor daya adalah 1.

$$S = V \times I \quad (2.17)$$

Dimana :

S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

c. Daya Reaktif (VAR)

Daya Reaktif merupakan daya yang mengakibatkan terjadinya kerugiankerugian daya, sehingga daya dapat mengakibatkan terjadinya penurunan nilai factor daya ($\cos \phi$). Satuan daya reaktif adalah VAR (Volt. Amper Reaktif). Untuk menghemat daya reaktif dapat dilakukan dengan memasang kapasitor pada rangkaian yang memiliki beban bersifat induktif.

$$Q = V \times I \times \sin \phi \quad (2.18)$$

Dimana :

Q = Daya reaktif (VAR)

S = Daya semu (VA)

P = Daya Aktif (Watt)

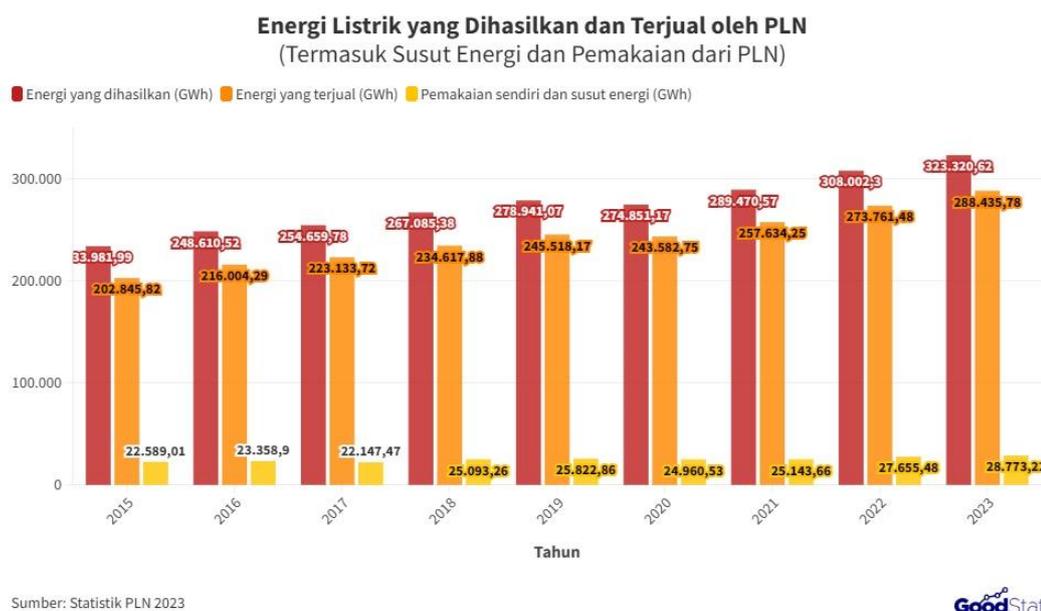
2.2.3.5 Tarif Listrik

Tarif Tenaga Listrik (TTL) adalah tarif yang dikenakan oleh pemegang Ijin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (IUPTL) kepada konsumen/pelanggan, yang mana besaran tarifnya ditetapkan oleh Pemerintah/Pemerintah Daerah. Berdasarkan UU Kelistrikan No. 30/2009, TTL ditentukan oleh pemerintah (c.q. Kementerian ESDM)/pemerintah daerah dengan persetujuan DPR/DPRD. Sebagian besar wilayah usaha PT PLN menggunakan TTL yang seragam (uniform) untuk setiap kelompok pelanggan, kecuali untuk Pulau Batam dan Tarakan dimana TTL ditentukan oleh pemerintah daerah dan disetujui oleh DPRD. Adanya keterlibatan DPR dalam penetapan TTL dan subsidi menjadikan proses ini sarat dengan kepentingan politik, selain daripada teknis ekonomi. Sementara itu, untuk melaksanakan percepatan penyediaan tenaga listrik di desa tertinggal, terpencil, dan terluar (3T) pemerintah mengadakan program Listrik Desa (LisDes) yang mengutamakan penggunaan sumber energi setempat. Untuk daerah isolated yang sulit dijangkau oleh jaringan PLN, pemerintah melalui direktorat jenderal EBTKE menyediakan lampu tenaga surya hemat energi (LTSHE) sebagai bagian dari program pra-elektifikasi. (IESR 2025)

Ada dua jenis mekanisme tarif yang digunakan di program LisDes, dengan dan tanpa subsidi. Tarif bersubsidi akan dikenakan pada wilayah usaha yang ditetapkan oleh Menteri ESDM atas usulan gubernur (Permen ESDM No. 38/2016). Diluar itu, akan dikenakan tarif non-subsidi yang ditetapkan oleh gubernur. Dalam hal gubernur tidak dapat menetapkan tarif non-subsidi, pemerintah akan menetapkan tarif berdasarkan TTL PT. PLN. Besaran subsidi yang diberikan kepada badan usaha bergantung pada TTL rumah tangga daya 450 VA, Biaya Pokok Penyediaan (BPP), ditambah margin. Adapun mekanisme penyesuaian TTL (tari adjustment) PT. PLN bergantung pada BPP, nilai tukar mata uang Dollar Amerika terhadap Rupiah (kurs), Indonesian Crude Price (ICP), dan inflasi. Terdapat dua tipe pembayaran listrik di Indonesia, tarif pascabayar yang dibayar setelah pemakaian listrik oleh konsumen pada bulan berikutnya dan tarif Prabayar, dimana konsumen membayar kuota listriknya terlebih dulu. Listrik dianggap sebagai barang untuk kepentingan strategis sehingga tidak dikenakan pajak

pertambahan nilai (PPN), kecuali untuk rumah dengan kapasitas daya lebih dari 6600 VA. (IESR 2025)

Seperti terlihat pada Gambar 2.12, biaya produksi listrik selalu lebih tinggi daripada harga jual listrik rata-rata. Selisih ini akan dibayarkan oleh pemerintah ke PLN melalui mekanisme subsidi. Walaupun sejak 2015 jumlah subsidi listrik menurun drastis karena dicabutnya subsidi listrik untuk semua golongan kecuali golongan rumah tangga 450 VA dan 900 VA, tren tiga tahun terakhir menunjukkan adanya pembengkakan subsidi listrik (subsidi lebih besar daripada yang dianggarkan). Penurunan subsidi listrik dari Rp 60.4 triliun di 2019 menjadi Rp 45.7 triliun di 2025 terjadi bersamaan dengan dicabutnya subsidi listrik bagi golongan 900 VA yang dianggap mampu sejak Januari 2019, mengikuti terbitnya Permen ESDM No. 29/2016. (IESR 2025)



Gambar 2. 14 Biaya Produksi dan Harga Jual Listrik (Rp/kWh)

Meskipun Permen ESDM No. 18/2017 mengatur penyesuaian tarif (tari adjustment) untuk dilakukan setiap 3 bulan (setiap bulan dalam pada Permen ESDM No. 28/2016 sebelumnya), sejak Januari 2017 pemerintah belum menaikkan TTL ke pelanggan PLN, bahkan berjanji untuk tidak menaikkan TTL hingga 2019. Menurut pemerintah, hal ini dilakukan untuk menjaga daya beli masyarakat dan

mendukung stabilitas ekonomi nasional. Sementara itu, sejumlah pengamat energi berpendapat keputusan untuk tidak menaikkan TTL ini berkaitan erat dengan tahun politik dan sudah sering dilakukan oleh pemerintahan sebelumnya untuk menjaga dukungan politik dari masyarakat dalam pemilihan umum (pemilu). Golongan tarif listrik di Indonesia dibagi menjadi 37 golongan, 13 diantaranya terikat dengan mekanisme penyesuaian tarif (tariff adjustment). Golongan tarif listrik dibedakan berdasarkan penggunaannya (sosial, rumah tangga, bisnis, industri, kantor pemerintah dan penerangan umum, traksi, curah, dan layanan khusus) dan kapasitas daya listriknya (450 VA, 900 VA, 1300 VA, 2200 VA, 3500-5500 VA, >6600 VA). Penetapan TTL dan penyesuaian tarif diatur dalam peraturan Menteri (Permen) ESDM No. 28/2024 (diubah oleh Permen ESDM No. 18/2025 dan Permen ESDM No. 41/2017) tentang Tarif Tenaga Listrik yang disediakan oleh PT. PLN (Persero).

Banyaknya golongan tarif ini menjadi sorotan karena dinilai terlalu rumit. Praktik di negara-negara lain umumnya tidak menggunakan penggolongan tarif berdasarkan kapasitas daya, namun hanya berdasarkan sektor penggunaannya. Pada umumnya di liberalized market perusahaan listrik mengenakan tarif yang tetap (fixed) untuk semua pelanggannya (e.g. Jerman). Adapun praktik lainnya, perusahaan listrik dapat mengenakan tarif progresif dimana semakin besar penggunaan listrik maka semakin besar pula tarif listrik per unitnya (e.g. Italia). Selain itu, ada juga negara yang menerapkan perubahan tarif listrik berdasarkan waktu penggunaan (Time of Use) dimana tarif ketika beban puncak akan lebih tinggi daripada tarif pada waktu lainnya.

Beberapa negara menerapkan sistem subsidi untuk masyarakat miskin (yang tingkat konsumsi listriknya rendah). Sebagai contoh, sejak tahun 2008 hingga 2018, perusahaan listrik Malaysia memberikan rabat (rebate) sebesar RM20 (sekitar Rp 68,000) untuk semua pelanggan listrik. Jika konsumsi listriknya melebihi RM20, maka pelanggan harus membayar tarif penuh (bukan hanya kelebihannya). Sejak 1 Januari 2019, pemerintah Malaysia mengubah skema rabatnya menjadi RM40, namun rabat ini hanya diberikan kepada masyarakat miskin yang terdapat. Jika konsumsi listriknya melebihi RM40, maka pelanggan hanya perlu membayar kelebihannya. Sementara itu, beberapa negara lain menetapkan tarif listrik yang lebih tinggi dibanding biaya produksinya. Di Jerman, selain biaya pembangkitan,

komponen tarif listrik terdiri dari komponen tarif jaringan, pungutan (levies/surcharge) untuk pembiayaan Energi Terbarukan (ET), dan pajak lainnya. Di tahun 2018, lebih dari setengah (54%) tarif listrik untuk rumah tangga dan usaha kecil merupakan komponen pungutan dan pajak- 23% nya adalah pungutan (surcharge) untuk ET, 25% untuk biaya jaringan, dan hanya 21% untuk biaya pembangkitan (BDEW, 2018). Tingginya surcharge untuk ET sejalan dengan komitmen pemerintah Jerman dalam pengembangan ET untuk menggantikan energi nuklir dan juga batubara. Meskipun tarif listrik di Jerman merupakan tarif listrik termahal kedua di EU setelah Denmark, tagihan listrik per bulan untuk rumah tangga di negara tersebut tidak lebih mahal dari negara-negara OECD lainnya. Hal ini dimungkinkan oleh program Efisiensi Energi yang berjalan dengan efektif di Jerman. (IESR 2019)

Belajar dari pengalaman di negara lain, kebijakan tarif listrik di Indonesia hendaknya memperhitungkan rencana jangka panjang untuk memastikan ketahanan energi. Salah satu komponen yang masih belum diakomodasi dalam skema tarif saat ini adalah komponen tarif untuk pengembangan ET. Penggunaan surcharge di Indonesia mungkin bisa diterapkan untuk golongan masyarakat mampu. Hal ini menjadi penting, mengingat perkembangan ET di Indonesia cukup lambat karena tidak adanya insentif untuk PLN untuk menggunakan ET. Sementara itu, untuk memastikan akses energi ke semua golongan masyarakat, pemerintah bisa mempertimbangkan untuk membebaskan golongan masyarakat tidak mampu dari tagihan listrik.

BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

3.1.1 Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian ini ditargetkan dilakukan dalam waktu selama 6 bulan terhitung dari tanggal 2 Februari 2025 sampai 30 Juli 2025. Dimulai dengan persetujuan proposal ini sampai selesai penelitian. Penelitian diawali dengan kajian awal (tinjauan pustaka), kecepatan angin, cahaya matahari, lalu analisa data, terakhir kesimpulan dan saran. Rincian dari penelitian ini seperti pada tabel berikut

3.1.2 Tabel Jadwal Penelitian

Table 3. 1 Jadwal Penelitian

No.	Uraian	Bulan Ke-					
		1	2	3	4	5	6
1.	Kajian literatur						
2.	Penyusunan proposal penelitian						
3.	Penulisan Bab 1 s/d Bab 3						
4.	Seminar proposal penelitian						
4.	Pengambilan Data						
5	Pengolahan Data						
6.	Seminar hasil penelitian						
7.	Sidang akhir						

3.1.3 Tempat

Penelitian dilaksanakan di kabupaten **Langkat Provinsi Sumatera Utara Indonesia**

3.1.4. Alat Dan Bahan

Adapun alat dan bahan pada penelitian ini adalah
Sebagai berikut

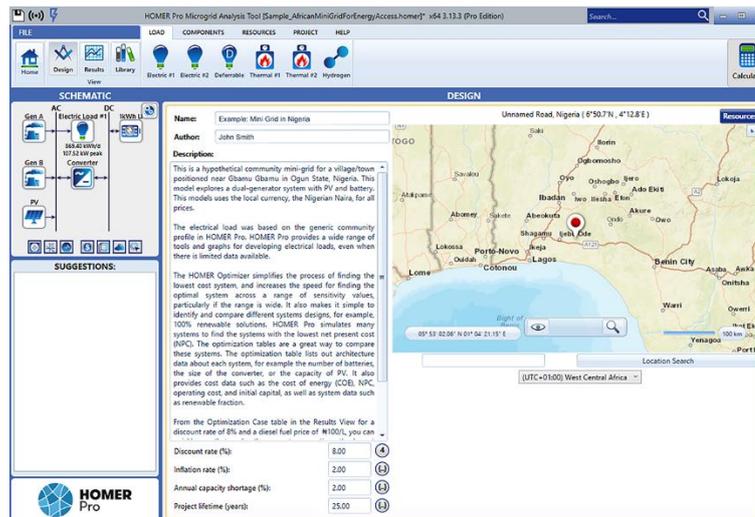
a. Laptop



Gambar 3. 1 Laptop

Laptop pada penelitian ini berfungsi untuk membuat laporan serta analisis data sesuai dengan kebutuhan penelitian.

b. software HOMER PRO



Gambar 3. 2 Software Homer Pro

berfungsi sebagai perangkat lunak untuk melakukan simulasi hasil penelitian yang telah dilakukan

b. Anemometer



Gambar 3. 3 Anemometer

Alat ini berfungsi untuk melakukan pengukuran kecepatan angin pada lokasi penelitian, yang akan dibandingkan dengan hasil bacaan yang ada pada software homer pro

c. Luxmeter



Gambar 3. 4 Lux Meter

Berfungsi untuk melakukan pengukuran intensitas cahaya matahari yang akan dikonversi ke intensitas radiasi matahari untuk dibandingkan dengan software homer pro

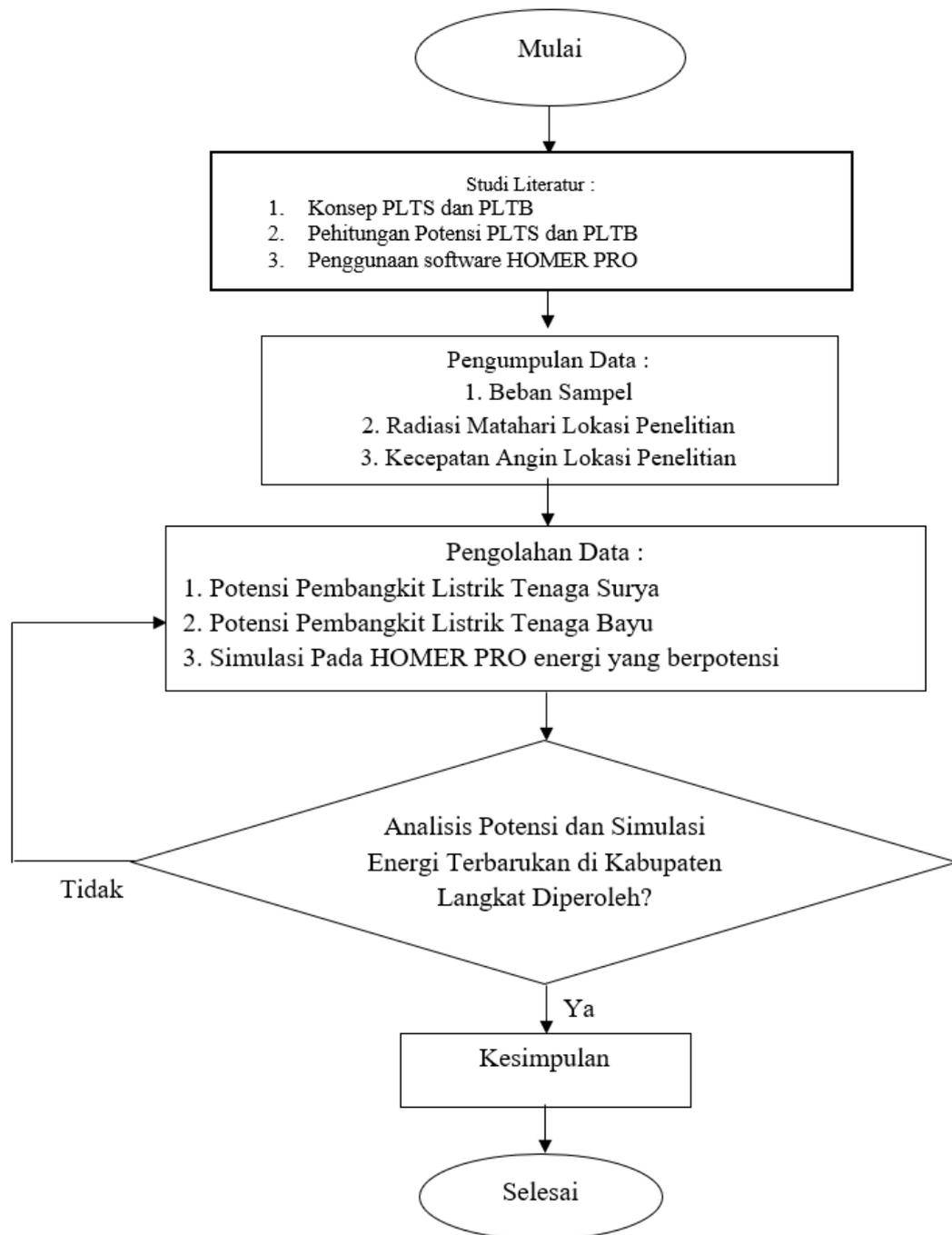
d. GPS (Global Possition System)



Gambar 3. 5 GPS Digital

menyediakan informasi lokasi geografis, waktu, dan pergerakan objek secara akurat di permukaan bumi melalui jaringan satelit

3.2 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3. 6 Bagan Alir Penelitian

3.3 Metode Pengumpulan Data

Adapun Metode pengumpulan data adalah sebagai berikut :

1. PLTB

Data kecepatan angin pada penelitian ini diambil dari software HOMER yang telah menyediakan data diseluruh dunia. Adapun data yang digunakan diambil dari badan antariksa dunia yaitu Nasa yang telah melakukan pengambilan data dari tahun 1983 sampai tahun 2025

2. PLTS

Data energi cahaya matahari pada penelitian ini diambil dari software HOMER yang telah menyediakan data diseluruh dunia. Adapun data yang digunakan diambil dari badan antariksa dunia yaitu Nasa yang telah melakukan pengambilan data dari tahun 1983 sampai tahun 2025

3.4 Metode Pengolahan Data

Adapun metode pengolahan data adalah sebagai berikut :

1. Data kecepatan angin dan data intensitas cahaya matahari yang didapat akan dilakukan analisa potensi daya yang dapat dihasilkan data tersebut.
2. Kemudian akan dijumlahkan dari ke 2 pembangkit listrik yaitu PLTS dan PLTB mana yang paling berpotensi untuk menghasilkan daya listrik. Kemudian akan dilihat keseluruhan daya yang dihasilkan
3. Dari pemabangkit listrik tenaga hybrid diperoleh daya yang akan dihubungkan dengan beban yang ada, dimana hasil akhir akan ditentukan apakah kedua energi terbarukan ini berpotensi pada lokasi penelitian
4. Akan dilihat dari segi teknis dan ekonomis potensi dari PLTS dan PLTB yang telah di analisis

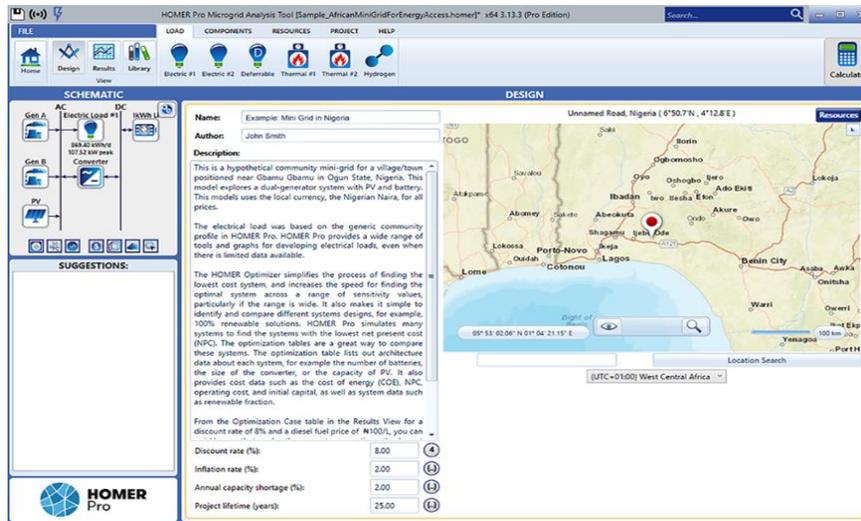
DAFTAR PUSTAKA

- Alex Surapaty, Vikriandi Tri Putra. 2020. "Perancangan Turbin Angin Horizontal Pada Mobil Hybrid." *Majalah Teknik Simes*.
- Dedi Wiriastika, I Putu, I Nyoman Setiawan, and I Wayan Sukerayasa. 2022. "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Tempat Olah Sampah Setempat Werdi Guna Desa Gunaksa Kabupaten Klungkung." *Jurnal SPEKTRUM* 9 (1): 44. <https://doi.org/10.24843/spektrum.2022.v09.i01.p6>.
- Diantari Aita Retno, Erlina, Widyastuti Christine. 2018. "Studi Penyimpanan Energi Pada Baterai PLTS." *Energi & Kelistrikan* 9 (2): 120–25.
- Fachri, Muhammad Rizal. 2017. "Analisa Potensi Energi Angin Dengan Distribusi Weibull Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Banda Aceh" 1 (1): 1–8.
- Gunawan, Luki Adi, Achmad Imam Agung, Mahendra Widyartono, and Subuh Isnur Haryudo. 2021. "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya Portable." *Jurnal Teknik Elektro* 10 (1): 65–71.
- Hasan, Hasnawiya. 2012. "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Pulau Saugi." *Jurnal Riset Dan Teknologi Kelautan (JR TK)* 10:169–80.
- Hollberg, Philipp, and Francesco Fuso Nerini. 2015. "Swarm Grids - Innovation in Rural Electrification" *Independen*:115. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-172846>.
- Hutagalung, Siti Nurhabibah, and Melda Panjaitan. 2017. "Prototype Rangkaian Inverter Dc Ke AC 900 Watt." *Jurnal Pelita Informatika* 6 (1): 64.
- IESR. 2019. "Kebijakan Tarif Listrik Di Indonesia." *Briefing Paper*, no. 29, 1–3. <http://iesr.or.id/wp-content/uploads/2019/07/Briefing-paper-tarif-listrik.pdf>.
- Ma'ruf, Khakam, Surono, Darmono, Yanuar Agung Fadlullah, and Bagus Putra Setiyawan. 2023. "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Turbine Mini Hydro Sebagai Sumber Energi Ramah Lingkungan." *Jurnal Multidisiplin West Science*. <https://doi.org/10.58812/jmws.v2i5.314>.
- Nurjaman, Hendi Bagja, and Trisna Purnama. 2022. "Pembangkit Listrik Tenaga

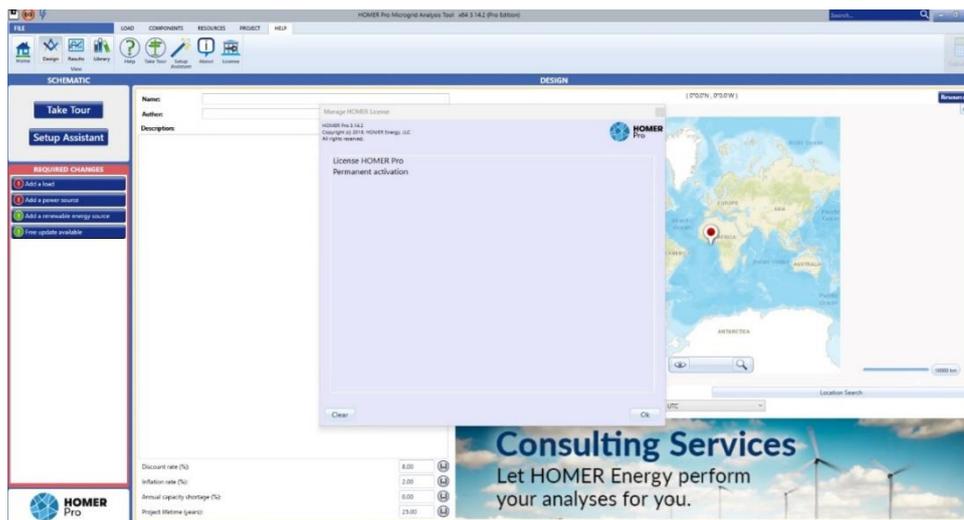
- Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbarukan Rumah Tangga.” *Jurnal Edukasi Elektro* 6 (2): 136–42. <https://doi.org/10.21831/jee.v6i2.51617>.
- Pengantar, Kata, Daftar Isi, Sekilas Sejarah, Gambaran Umum, Keuangan Daerah, Pemberdayaan Masyarakat, Pekerjaan Umum, and Ketahanan Pangan. n.d. “No Title.”
- Purwoto, Bambang Hari. 2018. “Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif.” *Emitor: Jurnal Teknik Elektro* 18 (01): 10–14. <https://doi.org/10.23917/emitor.v18i01.6251>.
- Radwitya, Erick, and Akhdiyatul Akhdiyatul. 2019. “Kajian Ekonomis PLT-Angin Dan PLTS Untuk Penerangan Jalan Umum (PJU).” *Elkha* 10 (1): 33. <https://doi.org/10.26418/elkha.v10i1.25329>.
- Ramadhan, Anwar Ilmar, Ery Diniardi, and Sony Hari Mukti. 2016. “Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP.” *Teknik* 37 (2): 59. <https://doi.org/10.14710/teknik.v37i2.9011>.
- Salsa hayani, Fathana, Arnisa Stefanie, and Insani Abdi Bangsa. 2021. “Hybrid Generator Termoelektrik Panel Surya Thin Film Sf 170-S Cis 170 Watt Pada Plts 1 Mw Cirata.” *Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA)* 6 (1): 154–60. <https://doi.org/10.36277/jteuniba.v6i1.102>.
- Saputra, Wan Novri, Dikpride Despa, Noer Soedjarwanto, and Ahmad Saudi Samosir. 2016. “Prototype Generator Dc Dengan Penggerak Tenaga Angin.” *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan* 4 (1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v4i1.538>.
- Setiaji, Nanang, Ir. Sumpena. MM, and ST. MT Agus Sugiharto. 2022. “Analisis Konsumsi Daya Dan Distribusi Tenaga Listrik” 11 (1).
- Setiawan, Wira, Rio Hermawan, and Suardi Suardi. 2018. “Analisa Potensi Angin Dan Cahaya Matahari Sebagai Alternatif Sumber Tenaga Listrik Di Wilayah Laut Sawu.” *JST (Jurnal Sains Terapan)* 4 (1): 57–62. <https://doi.org/10.32487/jst.v4i1.453>.
- Stefanie, Arnisa, and Insani Abdi Bangsa. 2021. “Hybrid Generator Termoelektrik Panel Surya Thin Film Sf 170-S Cis 170 Watt Pada Plts 1 Mw Cirata.” *Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA)* 6 (1): 154–60.
- Sukmajati, S, and M. Hafidz. 2015. “Perancangan Dan Analisis Pembangkit Listrik

- Tenaga Surya Kapasitas 10 Mw on Grid Di Yogyakarta. Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik PLN,.” *Jurnal Energi & Kelistrikan* vol 7 no 1 (1): 49–63.
- Vries, Pieter de, Mark Conners, and Raden Jaliwala. 2011. “Energi Yang Terbarukan.” *Buku Panduan Energi Terbarukan*, 106.
- Wahid, Ahmad, Junaidi, and M Arsyad. 2014. “Analisis Kapasitas Dan Kebutuhan Daya Listrik Untuk Menghemat Penggunaan Energi Listrik Di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.” *Jurnal Teknik Elektro UNTAN*.
- Wildan Hamdani, Ahmad Yani, and Toni Hendrawan. R. 2021. “Rancang Bangun Turbin Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Daerah Pesisir Pantai).” *Jurnal Teknik Juara Aktif Global Optimis* 1 (1): 38–45. <https://doi.org/10.53620/jtg.v1i1.9>.

LAMPIRAN



Tampilan Software Homer PRO



License Homer PRO

DAFTAR RIWAYAT HIDUP**DAFTAR DIRI PENULIS**

Nama Lengkap : Muhammad Imam Al Hafiz
 Nomor Pokok Mahasiswa : 2107220070
 Tempat Tanggal Lahir : Medan 14 September 2003
 Alamat : Griya Bestari Blok Y No 1 LK 10
 Agama : Islam
 Jenis Kelamin : Laki Laki
 No telp : 083111893324
 Email : Cutpis67@gmail.com

ORANG TUA

Nama Ayah : Rudi Widodo S.Sos
 Nama Ibu : Hj.Nurhayati
 Agama : Islam
 Alamat : Griya Bestari Blok Y No 1 LK 10

RIWAYAT PENDIDIKAN

2009-2015 : SD Nurfadhilah
 2015-2018 : SMP PGRI 3 Medan
 2018-2021 : SMK TR Sinar Husni
 2021-2025 : S1 Teknik Elektro Universitas
 Muhammdiyah Sumatera Utara