

**PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK BERBASIS ENERGI
TERBARUKAN UNTUK LAHAN PERKEBUNAN: STUDI KASUS DI
KECAMATAN BUPON KABUPATEN LUWU**



**Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan
Program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Makassar**

Disusun oleh:

Andi Dwiki Yulianto

D411 16 021

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2020

HALAMAN JUDUL

**PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK BERBASIS ENERGI
TERBARUKAN UNTUK LAHAN PERKEBUNAN: STUDI KASUS DI
KECAMATAN BUPON KABUPATEN LUWU**

Oleh:

ANDI DWIKI YULIANTO

D411 16 021

TUGAS AKHIR

Disusun dalam rangka memenuhi salahsatu persyaratan untuk menyelesaikan

Program Strata Satu Departemen Teknik Elektro

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2020

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK BERBASIS ENERGI
TERBARUKAN UNTUK LAHAN PERKEBUNAN: STUDI KASUS DI
KECAMATAN BUPON KABUPATEN LUWU**

Disusun Oleh:

Andi Dwiki Yulianto
D411 16 021

Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Pernyataan untuk Menyelesaikan
Program Strata-1 pada Sub-Program Teknik Energi Listrik
Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Makassar, September 2020

Disahkan Oleh:

Pembimbing I

Ardiaty Arief, ST., MTM., Ph.D
NIP: 197804242001122001

Pembimbing II

Ir. Muh. Bachtiar Nappu, ST., MT., M.Phil., Ph.D
NIP: 19760406 200312 1 002

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT.
NIP: 19691026 199412 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini, nama Andi Dwiki Yulianto, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK BERBASIS ENERGI TERBARUKAN UNTUK LAHAN PERKEBUNAN: STUDI KASUS DI KECAMATAN BUPON KABUPATEN LUWU”**, adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain yang telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kemaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggung jawabkan segala resiko.

Gowa, 26 November 2020

Yang membuat pernyataan,

Andi Dwiki Yulianto
NIM : D411 16 021

Kata Pengantar

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Penyelesaian skripsi ini merupakan upaya penulis dalam memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Peneliti persembahkan skripsi sederhana ini agar menjadi sebuah kebanggaan bagi kedua orang tua. Kedua orang tua peneliti yang dengan setulus hati, keikhlasan jiwa, butiran doa dan keringat jerih payahnya dalam membesarkan dan mendidik ananda. Semoga kalian berdua selalu diberi umur panjang dan senantiasa dikaruniai kesehatan.

Skripsi ini berjudul Perencanaan Pembangkit Listrik Berbasis Energi Terbarukan Untuk Lahan Perkebunan: Studi Kasus Di Kecamatan Bupon Kabupaten Luwu. Peneliti menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini mengalami berbagai kesulitan. Namun, berkat ketekunan dan usaha yang disertai doa, penulisan skripsi ini akhirnya dapat terselesaikan. Penyusunan skripsi ini juga tidak terlepas dari bantuan, dorongan, semangat, serta bimbingan dari berbagai pihak. Sehubungan dengan hal tersebut, penulis sewajarnya menyampaikan terima kasih kepada

1. Orang tua dan saudara-saudara saya tercinta, serta seluruh keluarga atas segala doa, bantuan, nasehat, dan motivasinya
2. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT, Ketua Departemen Teknik Elektro.
3. Ibu Ardiaty Arief, ST.,MTM.,Ph.D dan bapak M. Bachtiar Nappu, ST., MT., Ph.D selaku dosen pembimbing skripsi saya yang telah memberikan kritik dan saran bimbingan maupun arahan yang sangat berguna dalam penyusunan skripsi.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Nadjamuddin Harun, M.Si dan Ir. Gassing, MT selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat berguna dalam penyusunan skripsi.
5. Bapak/Ibu dosen dan staff di lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin khususnya program studi Teknik Elektro yang telah banyak membantu saya selama menjalani masa studi.

6. Ibu Haslinda Mustajab serta Sobat karib XII.IPA.1 SMAN 1 BUA PONRANG Angkatan 2013 atas dukungan yang tiada hentinya saya terima.
 7. Kepada sahabat saya yang selalu mendoakan, memberi semangat serta berbagi cerita dan kebahagiaan (Raja Lantera, Muhammad Yusuf Muskamal, Muhammad Arif, Muhammad Syarif Alwi, Ananda Dwi Puspita, Nurhayu Basan, Rika Salma, Ade Ananda Saldi, Paul Kalaba).
 8. Kepada Muhammad Amin R dan Dhea Rezky Amalia M yang dengan sabarnya merawat saya saat sakit serta anak-anak Mawang C39 (Andi Bau Restu Wardana A, Muh. Waiz Alkarni, Ahmad Ari Syaputra, Syarwan Syiraid) yang sudah seperti saudara serumah.
 9. Kepada *BigBro* Fajar (Rectifier 14) atas bimbingan, nasihat serta support yang membantu saya melewati kejamnya masa-masa permaban.
 10. *To Ammar, Thomas, Mattypoo, my buddy Wyatt B. Smith, Hunter Martin, Saralina, Fathini and my Yes Fam all over the world for the Convos.*
 11. Kepada teman-teman seperjuangan Grup Riset saya Ummu Khalsum, Aidil Fudhail Mumtaz, Ayu Faradillah, Andi Anugrah P, Ema Robertho, Wahyudi S, Almand Paskah, Devira.
 12. Kepada teman-teman EXCITER16 terima kasih kebersamaan dan kekompakannya.
 13. Kepada semua pihak yang terlibat dan tidak dapat saya sebut satu persatu, terima kasih yang tak terhingga atas semua dukungan dan bantuannya.
- Akhir kata semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua, aamiin.

Makassar, 20 September 2020

Penulis

Daftar Isi

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar.....	x
Daftar Tabel	xi
ABSTRAK	xii
ABSTRACT	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Batasan Masalah	3
I.5 Manfaat Penelitian	4
I.6 Metode Penelitian.....	4
I.7 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
II.1 Bentuk-Bentuk Energi.....	6
II.2 Energi Terbarukan	9
II.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	9
II.3.1 Analisis Performa.....	11
II.3.2 Penentuan Kapasitas Fotovoltaik.....	12
II.3.3 Kurva Karakteristik Sel Surya	12
II.3.4 Charge Controller	17
II.3.5 Baterai.....	17
II.3.6 Inverter	17
II.4 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.....	17
II.4.1 Konsep Konversi Energi Angin	18
II.4.2 Karakteristik Turbin Angin.....	20
II.4.3 Zona Operasi Turbin Angin.....	21
II.5 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)	22
II.5.1 Prinsip Kerja PLTMH.....	22
II.5.2 Komponen Utama	24

II.6	Sistem Hibrid.....	27
II.6.1	Sistem Operasi Sistem Hibrid.....	27
II.6.1.1	Sistem Hibrid Serial.....	28
II.6.1.2	Sistem Hibrid Tersaklar.....	29
II.6.1.3	Sistem Hibrid Paralel.....	30
II.6.1.4	Sistem Hibrid <i>Off-Grid</i>	31
II.7	HOMER.....	31
II.8	Analisis Ekonomi.....	34
II.8.1	<i>Net Present Value</i>	34
II.8.2	<i>Internal Rate of Return</i>	34
II.8.3	<i>Net Benefit Cost Ratio</i>	34
II.8.4	<i>Payback Period</i>	35
BAB III METODE PENELITIAN.....		36
III.1	Judul Penelitian.....	36
III.2	Waktu dan Lokasi Penelitian.....	36
III.3	Pengambilan Data.....	36
III.4	Alur Penelitian.....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		39
IV.1	Prosedur Perencanaan.....	39
IV.2	Analisis Data.....	40
IV.2.1	Data Beban.....	40
IV.2.2	<i>Solar Insolation</i>	41
IV.2.3	Potensi Angin.....	41
IV.2.4	Data Temperatur.....	43
IV.2.5	Ketersediaan Lahan.....	43
IV.2.6	Perhitungan Kapasitas Komponen.....	44
IV.3	Hasil Simulasi.....	45
IV.3.1	Simulasi Penambahan Kapasitas.....	46
IV.3.2	Perbandingan Parameter Hasil Simulasi.....	47
IV.3.3	Pembahasan Konfigurasi Sistem Optimal.....	53
IV.4	Analisis Ekonomi.....	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		62
V.1	Kesimpulan.....	62
V.2	Saran.....	63

Daftar Pustaka	64
Lampiran	65

Daftar Gambar

Gambar II. 1 Efek Fotovoltaik [7]	10
Gambar II. 2 Efek Fotovoltaik [7]	11
Gambar II. 3 Kurva karakteristik I,V & P Sel Surya [9]	12
Gambar II. 4 Kurva karakteristik Irradiance Matahari [8].....	14
Gambar II. 5 Kurva karakteristik Variasi Suhu [8].....	15
Gambar II. 6 Kurva Karakteristik Pemasangan modul Seri [13].....	15
Gambar II. 7 Kurva Karakteristik Pemasangan modul Paralel [13]	16
Gambar II. 8 Kurva daya mekanik turbin angin [17].....	20
Gambar II. 9 Kurva Torsi mekanik turbin angin [17]	20
Gambar II. 10 Zona Operasi Turbin Angin [17]	21
Gambar II. 11 Layout dari Skema PLTMH [19].....	23
Gambar II. 12 jenis-jenis turbin [21]	26
Gambar II. 13 Range headflow berdasarkan jenis turbin [21]	27
Gambar II. 14 Sistem Hibrid Serial [22].....	28
Gambar II. 15 Sistem Hibrid Tersaklar [22].....	29
Gambar II. 16 Sistem Hibrid Paralel [22]	30
Gambar II. 17 Sistem Hibrid off-grid [24].....	31
Gambar II. 18 Arsitektur Simulasi dan Optimasi HOMER [25]	32
Gambar III. 1 Diagram Alir Penelitian	38
Gambar IV. 1 Kurva beban sistem irigasi perkebunan	40
Gambar IV. 2 Data Insolasi Matahari	41
Gambar IV. 3 Data Kecepatan Angin.....	42
Gambar IV. 4 Kurva Karakteristik Turbin Angin.....	42
Gambar IV. 5 Data Temperatur Harian	43
Gambar IV. 6 Pemenuhan Beban Sistem	46
Gambar IV. 7 Perbandingan NPC Sistem	47
Gambar IV. 8 Perbandingan Capital Cost Sistem.....	48
Gambar IV. 9 Perbandingan COE sistem	49
Gambar IV. 10 Perbandingan Produksi Listrik Sistem.....	50
Gambar IV. 11 Perbandingan Fuel Cost Sistem.....	51
Gambar IV. 12 Perbandingan Excess Electricity Sistem	52
Gambar IV. 13 Perbandingan Emisi Sistem.....	53
Gambar IV. 14 Rincian NPC sistem Optimal	54
Gambar IV. 15 Aliran Biaya Sistem Optimal	55
Gambar IV. 16 Produksi Listrik Sistem	56
Gambar IV. 18 Pemenuhan Beban Sistem	57
Gambar IV. 19 SOC Baterai Sistem.....	58

Daftar Tabel

Tabel II. 1 Bentuk-Bentuk Energi [3]	8
Tabel II. 2 Konversi Energi [3]	8
Tabel II. 3 Klasifikasi Turbin [20].....	25
Tabel IV. 2 Spesifikasi Baterai.....	45
Tabel IV. 3. Kapasitas Sistem	45
Tabel IV. 4 Konfigurasi Sistem Pembangkit	47
Tabel IV. 5 Komponen Konfigurasi Sistem Optimal.....	54
Tabel IV. 6 Rincian Npc Sistem Optimal.....	55

ABSTRAK

Andi Dwiki Yulianto. *Perencanaan Pembangkit Listrik Berbasis Energi Terbarukan Untuk Lahan Perkebunan: Studi Kasus Di Kecamatan Bupon Kabupaten Luwu* (dibimbing oleh Ardiaty Arief dan M. Bachtiar Nappu)

Mayoritas penduduk di kecamatan Bua Ponrang adalah petani dengan salah satu komoditas unggulannya adalah Kakao. Produktivitas tanaman kakao sangat dipengaruhi oleh pemenuhan kebutuhan air dari tanaman itu sendiri terutama saat musim kemarau terjadi, dimana tanaman mudah mengalami defisit air sehingga diperlukan pemompaan air dengan menggunakan tenaga diesel untuk menyiram tanaman. Lokasi penelitian ini memiliki potensi radiasi matahari rata-rata sebesar 5,25 kWh/m²/d sehingga dapat dimanfaatkan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar diesel yang berdampak buruk bagi lingkungan. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menemukan konfigurasi sistem yang paling optimal berdasarkan biaya investasi awal, produksi energi dan ketersediaan sumber energi terbarukan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan mensimulasikan konfigurasi sistem yang ditentukan serta data potensi energi terbarukan pada *software* HOMER. Berdasarkan hasil simulasi tersebut kemudian dilakukan analisis ekonomi sistem yang optimal untuk melihat apakah sistem layak untuk direalisasikan. Hasil simulasi dari sistem yang direncanakan yaitu: 1) PV 100% dengan NPC sebesar Rp. 223.430.500. 2) PV 75%; Diesel 25% dengan NPC sebesar Rp.187.285.480. 3) PV 50%; Diesel 50% dengan NPC sebesar Rp.154.773.000. Kesimpulan dari penelitian ini adalah konfigurasi sistem yang paling optimal untuk memenuhi beban perkebunan yang ada adalah konfigurasi sistem hybrid PV 50%; Diesel 50% sebab sistem ini memiliki NPC terendah, dan berdasarkan analisis ekonomi yang telah dilakukan, sistem ini layak untuk direalisasikan sebab memenuhi syarat dari parameter-parameter sebagai berikut: NPV>0 (450.736.062,1), BCR>1 (3,64), PP<25 tahun (5,699 tahun), IRR>3,75% (3,89%).

Kata kunci: perkebunan, sistem hibrid, HOMER PRO, NPC, analisis kelayakan

ABSTRACT

Andi Dwiki Yulianto. *Planning on Renewable Energy-Based Power Plant for Plantation Land: A Case Study in Bupon Sub-district, Luwu Regency* (supervised by Ardiaty Arief and M. Bachtiar Nappu)

The majority of the population in Bua Ponrang sub-district are farmers with one of its top commodities is cocoa. The productivity of the cocoa plant is strongly influenced by the fulfillment of water needs of the plant itself, especially during the dry season, where the plants are prone to water deficit, so it is necessary to pump water using diesel power to water the plants. This Research location has an average of annual solar irradiation around 5.25 kWh/m²/d, so that it can be used to reduce the use of diesel fuel which has a negative impact on the environment. The purpose of this research is to find the most optimal system configuration based on initial investment costs, energy production and availability of renewable energy sources. The method used in this research is by simulating the specified system configuration and renewable energy potential data on the HOMER software. Based on the simulation results, the optimum system configuration will be analyzed economically to see whether the system is feasible to be realized. The simulation results of the 3 configurations are: 1) PV 100% with an NPC of Rp. 223,430,500. 2) PV 75%; Diesel 25% with an NPC of Rp. 187,285,480. 3) PV 50%; Diesel 50% with an NPC of Rp. 154,773,000. The conclusion of this research is that the most optimal system configuration to meet the existing plantation load is the 50% PV; 50% Diesel system configuration because this system has the lowest NPC, and based on the economic analysis that has been done, this system is feasible to be realized because it meets the requirements of the following parameters: NPV>0 (450.736.062,1), BCR>1 (3,64)PP <25 years (6.11 years), IRR>3,75% (3,89%).

Keywords: plantation, hybrid system, HOMER PRO, NPC, feasibility analysis

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pemanfaatan sumber energi terbarukan sebagai sumber energi alternatif bukanlah hal yang baru-baru ini dilakukan. Sumber energi terbarukan merupakan sumber energi yang memiliki ketersediaan di alam yang sangat melimpah dalam waktu yang relatif lama sehingga tidak perlu dikhawatirkan akan kehabisan sumber energi ini. Energi panas bumi, surya, angin, air, biomassa merupakan contoh sumber utama energi terbarukan. Setiap negara di dunia berupaya untuk menggali dan memanfaatkan potensi sumber energi terbarukan yang dimiliki negara mereka masing-masing dengan tujuan menjaga keberlangsungan persediaan energi mereka. Upaya yang serupa juga dilakukan Indonesia untuk mewujudkan keamanan pasokan energi dalam negeri yakni dengan mengeluarkan keputusan presiden RI No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional [1].

Seiring dengan berjalannya waktu, penggunaan energi listrik semakin meningkat sejalan dengan permintaan akan energi listrik sehingga penggunaan bahan bakar fosil pun meningkat. Hal ini mengakibatkan eksploitasi terhadap sumber energi *nonrenewable* terus menerus dilakukan. Tidak hanya pada sektor pembangkitan tenaga listrik, pada sektor pertanian dan perkebunan juga sangat bergantung pada penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak bumi untuk keperluan penyiraman/irigasi tanaman.

Pemenuhan kebutuhan air dari tanaman ini memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap produktivitas dan bahkan kelangsungan hidup tanaman itu sendiri. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kebutuhan air tanaman salah satunya yaitu faktor suhu udara. Suhu dan udara mempengaruhi banyaknya air yang hilang dari tanah akibat evapotranspirasi. Semakin tinggi suhu, semakin tinggi evapotranspirasi khususnya di wilayah yang beriklim panas dan banyak menerima sinar matahari. Pada umumnya, kebutuhan air tanaman dapat dipenuhi dengan air hujan. Namun pada kasus-kasus tertentu seperti musim kemarau, hujan cenderung turun dalam periode waktu yang singkat dan sangat jarang sehingga tanaman

mengalami Defisit air. Defisit air tanaman adalah kondisi dimana kebutuhan air tanaman tidak terpenuhi yang jika dibiarkan saja akan berdampak pada produktivitas dan usia tanaman.

Kabupaten Luwu terletak pada koordinat antara $2^{\circ}3'45''$ sampai $3^{\circ}37'30''$ LS dan $119^{\circ}15''$ sampai $121^{\circ}43'11''$ BT. Komoditi unggulan Kabupaten Luwu yaitu sektor perkebunan, pertanian, dan jasa. Sektor perkebunan komoditi unggulannya adalah kelapa sawit, kakao, kopi, kelapa, cengkeh, jambu mete, kemiri, lada, pala, sagu dan vanili. Sub sektor pertanian komoditi yang diunggulkan berupa jagung, tembakau dan ubi kayu [2]. dari sini dapat dilihat bahwa perekonomian masyarakat di Kabupaten Luwu lebih tepatnya Kec. Bupon ($3^{\circ}15'52.2''S$ $120^{\circ}16'50.4''E$) sangat bergantung pada sektor perkebunan & pertaniannya, terutama pada komoditi kakao. Sebagaimana yang kita ketahui bahwa produktivitas tanaman kakao sangat dipengaruhi oleh pemenuhan kebutuhan air dari tanaman itu sendiri terutama saat musim kemarau terjadi, dimana tanaman mudah mengalami defisit air dan adapun cara mengatasi defisit air tanaman yaitu dengan memompa air dengan menggunakan pompa diesel.

Solusi yang masih digunakan petani setempat untuk mengatasi defisit air tanaman dengan pompa diesel masih memiliki banyak kekurangan, contohnya: tidak ramah lingkungan, bahan bakar yang digunakan memiliki ketersediaan yang terbatas di alam (tidak berkelanjutan) dan belum lagi ongkos bahan bakar setiap kali dilakukan pemompaan. Oleh karena itu, diperlukan cara yang dianggap lebih efisien baik dari segi keberlangsungan sumber energi maupun segi ekonomisnya. Dengan melihat potensi sumber energi yang terdapat di sekitar lokasi pengamatan yakni potensi energi surya serta adanya aliran sungai, cara yang dianggap lebih efisien untuk mengganti penggunaan pompa diesel untuk kebutuhan irigasi tanaman yaitu dengan menggunakan pompa dengan sumber energi hibrid. Oleh karena itu, Peneliti melakukan perancangan pembangkit listrik energi terbarukan Kec. Bupon, Kabupaten Luwu dengan bantuan perangkat lunak Perencanaan sistem energi terbarukan.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan Latar Belakang diatas, dapat dirumuskan masalah :

1. Bagaimana menentukan konfigurasi system yang paling optimal untuk melayani beban perkebunan berdasarkan biaya investasi awal, produksi energi, dan ketersediaan sumber energi terbarukan.
2. Bagaimana simulasi dan optimasi pembangkit sistem hibrid di Kecamatan Bupon, Kabupaten Luwu menggunakan perangkat lunak Perencanaan sistem energi terbarukan.
3. Bagaimana hasil dari analisis ekonomi sistem hibrid ini?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan konfigurasi system yang paling optimal untuk melayani beban perkebunan berdasarkan biaya investasi awal, produksi energi, dan ketersediaan sumber energi terbarukan.
2. Mensimulasi dan Mengoptimasi pembangkit listrik tenaga hibrid di Kecamatan Bupon, Kabupaten Luwu menggunakan perangkat lunak Perencanaan sistem energi terbarukan.
3. Melakukan analisis ekonomi sistem hibrid untuk mengetahui apakah sistem ini layak direalisasikan.

I.4 Batasan Masalah

1. Penentuan kebutuhan energi listrik (perkiraan beban) untuk keperluan Perkebunan di kecamatan Bupon kabupaten Luwu.
2. Potensi radiasi/insolasi matahari dan kecepatan angin berdasarkan data dari Nasa (2019), tidak didasarkan pada pengukuran langsung ke lapangan.
3. Simulasi dan optimasi sistem pembangkit tenaga listrik menggunakan perangkat lunak perencanaan sistem energi terbarukan.

I.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai masukan kepada pemda kabupaten/propinsi setempat agar melakukan pengembangan energi terbarukan.
2. Menjadi referensi bagi pemda kabupaten/propinsi setempat dalam pengambilan rencana pembangunan pembangkit listrik energi terbarukan terutama dalam sektor perkebunan dan pertanian.
3. Memberikan kesadaran kepada masyarakat setempat untuk memanfaatkan potensi energi terbarukan di lingkungan sekitar mereka.
4. Menjadi referensi bagi mahasiswa dan peneliti lain untuk memperdalam ilmu dan pengetahuannya akan optimasi sistem pembangkit energi terbarukan .

I.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini adalah:

1. Studi literatur
Studi literatur yakni kajian yang dilakukan penulis atas referensi-referensi berupa buku, jurnal ilmiah, internet maupun media lain yang berkaitan dengan penelitian ini.
2. Pengamatan di lapangan
Dilakukan dengan meninjau langsung ke lapangan untuk melakukan pengamatan secara langsung.
3. Pengumpulan Data
Pengumpulan data dilakukan dengan metode wawancara, pengamatan dan studi literatur.
4. Analisis Data
Data yang telah dikumpulkan kemudian diolah yakni dengan menganalisis biaya sistem, kelistrikan, konsumsi bahan bakar dan emisi.
5. Simpulan
Diperoleh setelah dilakukan korelasi antara hasil pengolahan dengan permasalahan yang diteliti. Simpulan ini merupakan hasil akhir dari semua masalah yang dibahas.

I.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan teori-teori pendukung materi penelitian yang diambil dari berbagai sumber ilmiah yang digunakan dalam penulisan laporan tugas akhir ini.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas tentang metode penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang Hasil Simulasi dalam tugas akhir ini

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas tentang kesimpulan dan saran dalam tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Bentuk-Bentuk Energi

Sejatinya, secara singkat energi merupakan kemampuan untuk melakukan sebuah usaha. Energi dapat diubah dari suatu bentuk energi ke bentuk lainnya dan oleh karena itu, kebanyakan diskusi mengenai energi selalu menyangkut dengan hal perubahan dari suatu bentuk energi ke bentuk energi lainnya sehingga dapat menghasilkan kerja/usaha. Terdapat sebuah prinsip menyatakan bahwa jumlah total energi pada suatu sistem tertutup adalah konstan. Prinsip ini dikenal dengan **'Konservasi Energi'** yang sangat penting untuk memahami berbagai macam fenomena. Berikut kita akan mengidentifikasi berbagai bentuk energi dan perubahan bentuk energi dari suatu bentuk ke bentuk lainnya [3]:

(a) Energi kinetik

Energi dari pergerakan disebut dengan energi kinetik. Jika suatu benda memiliki massa, m dan kecepatan v , maka energi kinetiknya adalah

$$KE = \frac{mv^2}{2} (J) \quad (II.1)$$

Dimana satuan m dalam kg dan v dalam m/s.

(b) Energi Potensial

Energi yang dimiliki suatu objek sebagai hasil dari elevasinya dalam medan gravitasi dinamakan energi potensial dan dinyatakan sebagai

$$PE = mgh (J) \quad (II.2)$$

Dimana m merupakan massa (kg), g merupakan percepatan gravitasi (m/s^2) dan h adalah ketinggian (m).

(c) Energi Kimia

Energi kimia bangkit dari kapasitas atom untuk menyusun panas yang mereka gabungkan atau pisahkan. Ketika bahan kimia tertentu bergabung, energi dilepaskan (pada umumnya dalam bentuk panas). Ini merupakan energi kimia pada batu bara, gas alam, minyak, kayu yang menghangatkan rumah kita, menyalakan mobil, dan digunakan untuk membangkitkan energi

listrik. dan juga energi kimia yang ada dalam makanan yang kita makan yang menyediakan energi yang kita butuhkan dalam kehidupan sehari-hari.

(d) Energi Listrik

Energi listrik bangkit dari kapasitas dari elektron yang bergerak yang menyusun panas, radiasi elektromagnetik dan medan magnet. Jika kawat terhubung pada terminal baterai dan kemudian kawat dihubungkan ke bola lampu atau resistor, energi yang terdapat dalam baterai dikirimkan melalui kawat dan hilang dalam bentuk panas yang terdapat pada resistor. Ada beberapa macam sumber energi listrik selain baterai.

(e) Energi Panas

Energi panas merupakan energi kinetik dari suatu molekul. Dalam kehidupan sehari-hari kita sering kali membahas bentuk panas dan bentuk terpendam dari energi dalam sebagai panas dan kita juga membahas tentang kandungan panas dari tubuh kita. Energi panas juga disebut dengan energi termal.

(f) Energi Radiant

Energi radiant adalah energi yang melintas melalui ruang. Ini dipancarkan oleh elektron ketika mereka berganti orbit dan oleh *atomic nuclei* selama pemecahan dan penyatuan; dengan jelasnya, suatu energi yang pada akhirnya timbul dalam bentuk panas. Hanya panas radiant yang dapat timbul dengan sendirinya; bentuk lainnya membutuhkan zat lain.

(g) Energi Nuklir

Energi nuklir bangkit dari eliminasi dari semua bagian massa dari partikel-partikel atomik. Berkat teori relativitas khusus, hal ini dapat ditunjukkan bahwa jika massa dari beberapa sistem dikurangi oleh jumlah Δm , seperti pada reaksi nuklir, kemudian jumlah dari energi dilepaskan adalah

$$E_n = \Delta mc^2 \quad (\text{II.3})$$

Dimana c sama dengan kecepatan cahaya ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$).

Penjelasan mengenai bentuk-bentuk energi disediakan pada Tabel II.1 berikut.

Tabel II. 1 Bentuk-Bentuk Energi [3/]

Sumber Utama	Penggunaan akhir
	Kimia
	Nuklir
	Radiant
	Listrik
	Mekanik (Kinetik, Potensial)
Batu bara	Panas
Minyak	Cahaya
Gas Alam	Gerak
Uranium-nuklir	Listrik
Radiasi Matahari	Proses Kimiawi

Penjelasan mengenai bentuk-bentuk konversi energy dapat dilihat pada Tabel II.2 berikut.

Tabel II. 2 Konversi Energi [3/]

	Ke Kimia	KE LISTRIK	Ke Panas	Ke Cahaya	Ke Mekanik
Dari Kimia	Makanan Tumbuhan	baterai fuel cell	api makanan	lilin phosphorescence	roket otot
Dari Listrik	Baterai elektrolisis electroplating	transistor transformer	pemanggang lampu pijar spark plug	lampu fluorescent led	Motor-listrik relay
Dari Panas	Gasification	thermocouple	heatpump	api	turbin mesin gas

	Vaporization		heat exchanger		mesin uap
Dari Cahaya	photosynthesis solar cell	Sel surya	lampu pijar radiant solar	laser	photoelectric pembuka - pintu
Dari Mekanik	heat cell kristalisasi	generator alternator	Friction- brake	flint spark	flywheel pendulum water wheel

II.2 Energi Terbarukan

Energi Terbarukan adalah sumber-sumber energi yang bisa habis secara alamiah. Energi terbarukan berasal dari elemen-elemen alam yang tersedia di bumi dalam jumlah yang besar, misal : matahari, angin, sungai, tumbuhan dsb. Energi terbarukan merupakan sumber energi paling bersih yang tersedia di planet ini [4].

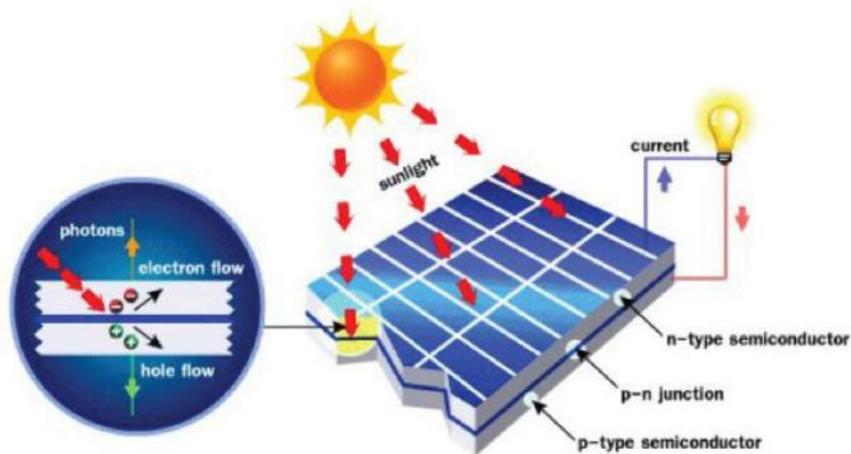
Ada beragam jenis energi terbarukan, namun tidak semuanya bisa digunakan di seluruh wilayah Indonesia. Tenaga Surya, Tenaga Angin, Biomassa dan Tenaga Air adalah teknologi yang paling sesuai untuk menyediakan energi di daerah-daerah terpencil dan perdesaan. Energi terbarukan lainnya termasuk Panas Bumi dan Energi Pasang Surut adalah teknologi yang tidak bisa dilakukan di semua tempat. Indonesia memiliki sumber panas bumi yang melimpah; yakni sekitar 40% dari sumber total dunia. Akan tetapi sumber-sumber ini berada di tempat-tempat yang spesifik dan tidak tersebar luas. Teknologi energi terbarukan lainnya adalah tenaga ombak, yang masih dalam tahap pengembangan [5].

II.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS adalah suatu teknologi pembangkit listrik yang mengkonversi energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini dilakukan pada panel surya yang terdiri dari sel – sel fotovoltaik. Sel – sel ini merupakan lapisan – lapisan tipis dari silikon (Si) murni atau bahan semikonduktor lainnya yang diproses sedemikian

rupa, sehingga apabila bahan tersebut mendapat energi foton akan mengeksitasi elektron dari ikatan atomnya menjadi elektron yang bergerak bebas, dan pada akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah [6].

Sebuah sel surya bukanlah apa-apa melainkan sebuah diode PN *junction* dibawah iluminasi cahaya. Cahaya Matahari terdiri dari Foton-foton (kumpulan dari energi). Foton-foton ini mengandung bermacam-macam muatan Energi bergantung pada perbedaan Panjang gelombang cahaya. Ketika foton mengenai sebuah sel surya foton-foton ini bisa saja terpantulkan atau terserap atau bahkan terus melewati sel. Ketika radiasi matahari terserap dalam diode PN *junction*, *Electron Hole Pair (EHP)* terbangkitkan [7]. Gambar II.1 berikut menjelaskan mengenai efek fotovoltaiik.



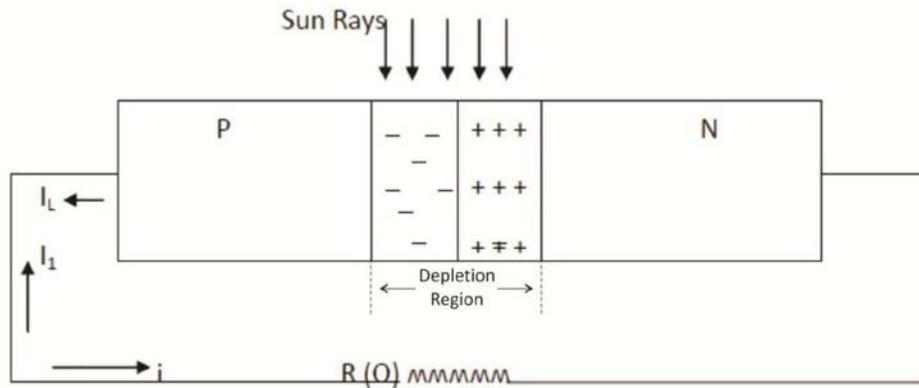
Gambar II. 1 Efek Fotovoltaiik [7]

- *Electron Hole Pair (EHP)* terbangkitkan pada *depletion layer*- elektron terlepas ke sisi P disebabkan oleh medan listrik.
- *Electron Hole Pair (EHP)* terbangkitkan di wilayah netral *quasi*- pada wilayah ini, elektron dan holes dari *Electron Hole Pair (EHP)* akan mengalir disekitaran wilayah secara acak. Tidak terdapat gaya listrik yang mengarahkan arah geraknya.
- *Minority carrier* dari wilayah P dan N- *Minority carrier* disekitaran wilayah deplesi juga akan terarahkan oleh medan listrik.

Pada jalan ini akan terjadi kenaikan muatan positif pada sisi P dan kenaikan muatan negative pada sisi N. kenaikan muatan positif dan negatif menyebabkan munculnya perbedaan potensial sepanjang PN *junction* seiring dengan cahaya yang menyinari sel surya. Pembangkitan tegangan ini dikenal dengan istilah efek *fotovoltaik* [7].

II.3.1 Analisis Performa

Proses terbangkitkannya energi listrik pada fotovoltaik ditunjukkan pada Gambar II.2 berikut ini.



Gambar II. 2 Efek Fotovoltaik [7]

Misalkan sebuah PN *junction* dengan beban resistif seperti yang ditunjukkan pada gambar diatas. Ketika sel surya terillumiasi, EHP terbangkitkan pada wilayah deplesi. EHP ketika terpisah satu sama lain sepanjang *junction* kemudian arus (I_L) mengalir dalam rangkaian dalam oleh efek *fotovoltaik*. Arus ini menghasilkan jatuh tegangan sepanjang beban resistif dan tegangan ini menyebabkan kondisi forward bias pada PN *junction*. Tegangan forward bias ini akan menghasilkan arus (I_1) sehingga arusnya akan bernilai [7] :

$$I = I_L - I_1 \quad (II.4)$$

$$I = I(L) - I(0) \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (II.5)$$

II.3.2 Penentuan Kapasitas Fotovoltaik

Kapasitas array *fotovoltaik* ditentukan oleh keseimbangan antara daya yang dihasilkan dan daya yang disuplay ke beban. Intensitas radiasi surya serta energi beban tidak tetap sepanjang tahun dan perubahan ini akan diatasi oleh baterai untuk mencegah kelebihan dan kekurangan daya dari array. Kapasitas fotovoltaik dapat diperoleh dengan persamaan :

$$P_f = \frac{QI.A}{Hid.K} \quad (II.6)$$

Dimana :

P_f = kapasitas fotovoltaik (Wp)

QI = Energi beban rata-rata (kWH/hari)

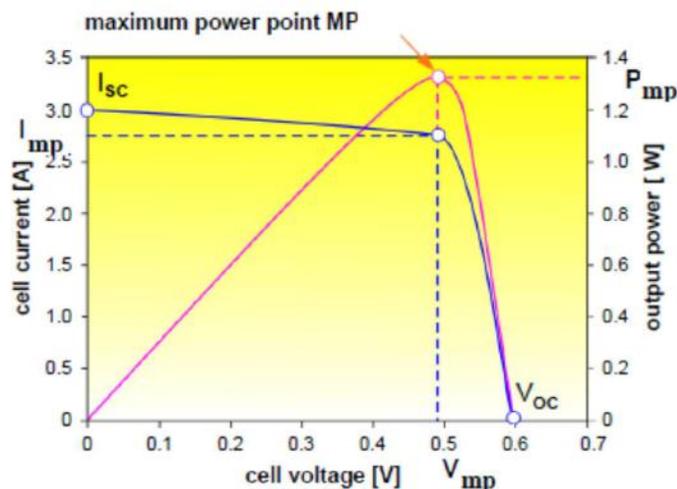
A = radiasi standar (1000 watt/ m^2)

Hid = insolasi disain (kWH/ m^2 hari)

K = faktor kerugian

II.3.3 Kurva Karakteristik Sel Surya

Sel surya memiliki kurva karakteristik yang menunjukkan hubungan antara arus dengan tegangan keluaran (kurva I-V) dan daya dengan tegangan keluaran sel surya (kurva P-V). Kurva ini ditunjukkan pada Gambar II.3 berikut [8]:



Gambar II. 3 Kurva karakteristik I,V & P Sel Surya [9]

Pada saat keluaran sel surya tidak terhubung dengan beban (*open cicuit*) maka tidak ada arus yang mengalir dan tegangan pada sel berada pada nilai maksimum, disebut tegangan *open circuit* (V_{oc}). Pada keadaan lain, saat keluaran sel surya dihubungkan singkatkan (*short cicuit*) maka arus bernilai maksimum, yang disebut arus *short circuit* (I_{sc}). Selain itu terdapat nilai daya maksimum (P_{mp}) yang dapat dihasilkan pada saat tegangan maksimum (V_{mp}) dan arus maksimum (I_{mp}). Titik dimana nilai arus dan tegangan pada titik yang menghasilkan daya terbesar disebut dengan *Maximum Power Point* (MPP) [10].

Perubahan *irradiance*, suhu dan susunan sel surya (disusun secara seri atau paralel) dalam modul berpengaruh terhadap parameter utama sel surya yaitu arus, tegangan dan daya keluaran dari sel surya. Karakteristik kurva hubungan antara arus dan tegangan (kurva I-V) serta daya dan tegangan (kurva P-V) dianalisa berdasarkan variasi *irradiance*, suhu dan susunan sel surya dalam modul. Pengaruh perubahan *irradiance*, suhu dan susunan sel surya terhadap keluaran dari sel surya adalah sebagai berikut [11]:

a. Efek Variasi *Irradiance* terhadap Arus, Tegangan dan Daya

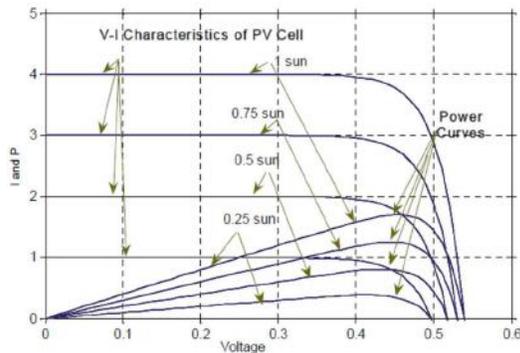
Irradiance sangat mempengaruhi besar kecilnya arus yang dihasilkan.

Hal ini berdasarkan persamaan 2.3, yaitu :

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i (T_c - 298)] \beta / \beta_{ref} \quad (II.7)$$

Terlihat bahwa *irradiance* sel surya berbanding lurus dengan arus yang dihasilkan. Artinya semakin berkurang *irradiance* yang

mengenai sel surya maka semakin berkurang arus yang dihasilkan oleh sel surya [8].



Gambar II. 4 Kurva karakteristik Irradiance Matahari [8]

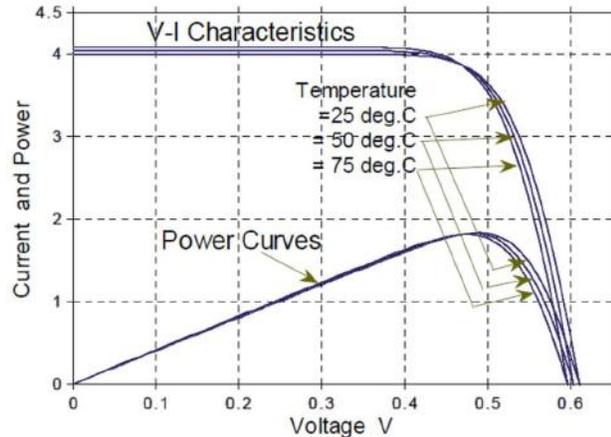
Gambar II.4 di atas menunjukkan bahwa arus *short circuit* mengalami penurunan ketika *irradiance* yang diterima oleh sel surya berkurang. Hal ini karena saat *irradiance* yang berkurang menyebabkan elektron-elektron yang terlepas semakin sedikit sehingga arus listrik yang dihasilkan menurun. *Irradiance* juga berpengaruh terhadap perubahan tegangan *open circuit*. Tegangan *open circuit* semakin berkurang ketika *irradiance* dikurangi, namun perubahan yang dihasilkan tidak signifikan atau perubahannya sangat kecil. Karena *irradiance* yang mengenai sel surya mempengaruhi keluaran dari sel surya maka daya yang dihasilkan pun terpengaruh. Daya merupakan perkalian antara arus dan tegangan, sehingga nilai daya yang dihasilkan sel surya akan menurun saat *irradiance* yang diterima menurun [8].

b. Efek Variasi Suhu terhadap Arus, Tegangan dan Daya

Selain jumlah *irradiance* yang mempengaruhi keluaran dari sel surya, suhu juga sangat berpengaruh, yaitu semakin besar suhu maka nilai tegangan *open circuit* akan semakin kecil. Hal ini disebabkan penurunan energi *gap* ketika suhu meningkat. Hal ini juga diungkapkan oleh Hans Joachim Moller (1993) dengan menggunakan persamaan berikut [12]:

$$V_{oc} = \frac{1}{q} [E_g + kT \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_s} \right)] \quad (II.8)$$

Dari persamaan diatas terlihat bahwa tegangan *open circuit* berbanding lurus dengan energi gap dari semikonduktor penyusun sel surya. Sehingga semakin menurun energi gap maka semakin menurun tegangan V_{oc} [8] hal ini ditunjukkan pada Gambar II.5 berikut.

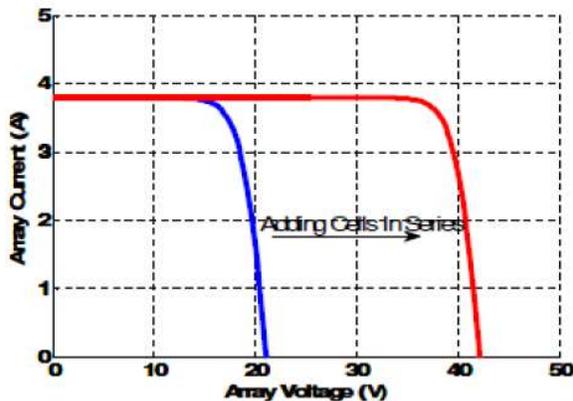


Gambar II. 5 Kurva karakteristik Variasi Suhu [8]

Gambar diatas menunjukkan bahwa perubahan arus akibat perubahan suhu tidak terlalu signifikan, namun tetap akan bertambah besar saat suhu semakin besar. Perubahan daya maksimum akan semakin menurun saat suhu semakin bertambah besar, hal ini karena tegangan maksimum berkurang terhadap kenaikan suhu [8].

c. Susunan Seri Sel Surya dalam Modul

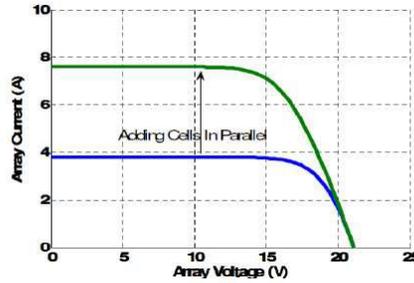
Penyusunan seri akan meningkatkan tegangan tetapi arus konstan. Tegangan total yang dihasilkan adalah penjumlahan dari tegangan yang dihasilkan oleh modul ($V_{oc1}+V_{oc2}$), hal ini sesuai dengan hukum Kirchoff. Gambar berikut menunjukkan kurva karakteristik akibat pemasangan modul secara seri [8].



Gambar II. 6 Kurva Karakteristik Pemasangan modul Seri [13]

d. Susunan Paralel Sel Surya dalam Modul

Susunan parallel sel surya dalam modul menunjukkan bahwa akan meningkatkan arus tetapi tegangan konstan seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah. Arus total yang dihasilkan adalah penjumlahan dari arus yang dihasilkan modul (I_1+I_2), hal ini sesuai dengan hukum Kirchoff [8]. Gambar II.7 berikut menunjukkan hubungan arus array dengan tegangan array.



Gambar II. 7 Kurva Karakteristik Pemasangan modul Paralel [13]

e. Kombinasi Susunan Seri dan Paralel Sel Surya dalam Modul

Kombinasi susunan seri dan parallel menghasilkan daya yang besar dengan meningkatkan arus dan tegangan [8].

f. Fill Factor & Efisiensi Modul

Untuk mengetahui efisiensi dan *Fill Factor* modul digunakan persamaan berikut [7]:

$$FF = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{oc} \cdot I_{SC}} \quad (II.9)$$

$$\eta_m = \frac{Max\ Power}{Intensity \times Module\ area} \quad (II.10)$$

Dimana :

V_m = Tegangan Maximum

I_m = Arus Maximum

V_{oc} = Tegangan Hubung Buka

I_{SC} = Arus hubung singkat

II.3.4 Charge Controller

Charge Controller adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengatur pengisian arus searah dari panel surya ke baterai dan mengatur penyaluran arus dari baterai ke peralatan listrik (beban). *Charge Controller* mempunyai kemampuan untuk mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari panel surya berhenti [14].

II.3.5 Baterai

Baterai adalah komponen PLTS yang berfungsi menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya pada siang hari, untuk kemudian digunakan di malam hari dan pada saat cuaca mendung [14].

II.3.6 Inverter

Inverter adalah peralatan elektronika yang berfungsi untuk mengubah arus listrik searah dari panel surya atau baterai menjadi arus bolak-balik dengan frekuensi 50/60 HZ [14].

II.4 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

PLTB yang merupakan pembangkit dengan sumber *intermittent* menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang fluktuatif. Dalam pengoperasiannya, dibutuhkan pembangkit cadangan sebagai pembangkit pendukung untuk mengantisipasi ketika terjadi penurunan kecepatan angin dibawah batasan desain turbin. Sehingga, untuk setiap daerah dengan karakter sistem berbeda, dibutuhkan kajian yang berbeda juga untuk menilai kelayakan proyek PLTB, terutama skala besar [15].

Dibandingkan dengan sumber energi tradisional, energi angin memiliki sejumlah manfaat dan kelebihan. Tidak seperti bahan bakar fosil yang mengeluarkan gas berbahaya dan tenaga nuklir yang menghasilkan limbah radioaktif, tenaga angin adalah sumber energi bersih dan ramah lingkungan. Sebagai sumber energi yang tidak pernah habis dan bebas, itu tersedia dan banyak di sebagian besar wilayah di bumi [16].

Pemanfaatan energi angin mungkin menjadi alternatif menarik di tempat-tempat seperti pulau lepas pantai, di mana bahan bakar biasanya mahal dan rezim angin sangat menguntungkan. Kekuatan angin utamanya dihasilkan dengan memutar bilah turbin angin melalui aliran udara untuk mengubah energi angin menjadi energi listrik. Pembangkit listrik tenaga angin dapat diasumsikan bervariasi dengan kecepatan angin [17].

Pada pembangkit listrik tenaga bayu, energi kinetik angin ini dikonversikan menjadi energi listrik melalui dua konverter utama, yaitu turbin angin untuk mengkonversikan energi kinetik menjadi energi mekanik dan generator untuk mengkonversikan energi mekanik yang dihasilkan turbin angin menjadi energi listrik. Ada beberapa jenis generator yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga angin, yaitu *permanent magnet synchronous generator* (PMSG) dan *doubly fed induction generator* (DFIG). PMSG berdasarkan sistem konversi energi angin digunakan pada turbin angin kecepatan konstan dan DFIG berdasarkan sistem konversi energi angin dapat digunakan untuk turbin angin dengan kecepatan yang berubah-ubah.

II.4.1 Konsep Konversi Energi Angin

Energi Angin tergantung pada [16]:

- jumlah udara (volume udara dalam pertimbangan),
- kecepatan udara (besarnya kecepatannya),
- massa udara (terkait dengan volumenya melalui densitas).

Energi angin menurut definisi adalah kandungan energi dari aliran udara karena sifat gerakannya. Jenis energi ini disebut energi kinetik dan merupakan fungsi dari massa dan kecepatan, yang dirumuskan sebagai berikut [17]:

$$Ek = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (\text{II.11})$$

Dimana,

Ek = energi kinetik angin (Joule)

m = adalah aliran massa angin (Kg)

v = adalah kecepatan angin (m/s)

Untuk energi angin, massa m ditentukan oleh densitas udara ρ , kecepatan angin v , luas area yang dilewati oleh angin A , yang dirumuskan dengan :

$$m = \rho A v \quad (\text{II.12})$$

Berdasarkan Persamaan (II.11) dan (II.12) dapat dirumuskan energi kinetik angin sebagai berikut:

$$Ek = \frac{1}{2} \cdot (\rho A v) \cdot v^2 \quad (\text{II.13})$$

Proses konversi energi angin menjadi daya mekanik pada turbin angin berdasarkan persamaan energi kinetik. Berdasarkan Persamaan (II.13), daya angin yang ditangkap turbin angin dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_w = Ek = \frac{1}{2} \cdot (\rho A v) \cdot v^2 \quad (\text{II.14})$$

Karena area tangkapan turbin angin berbentuk lingkaran, maka luas area tangkapannya ditentukan oleh jari-jari R , sehingga Persamaan (II.14) dapat juga dituliskan dengan:

$$P_w = Ek = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3 \quad (\text{II.15})$$

Daya angin yang ditangkap turbin (P_w) ini dikonversikan menjadi daya mekanik (P_m) untuk memutar generator. Daya mekanik yang dihasilkan turbin angin ditentukan oleh koefisien daya (C_p), yang dirumuskan dengan:

$$P_m = P_w \cdot C_p = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3 \cdot C_p \quad (\text{II.16})$$

Koefisien daya adalah perbandingan antara daya mekanik yang dihasilkan turbin dengan daya angin yang ditangkap turbin. Menurut hukum Betz, koefisien daya ditentukan oleh kecepatan angin sebelum mengenai sudu v_1 dan kecepatan angin sesudah mengenai sudu v_2 .

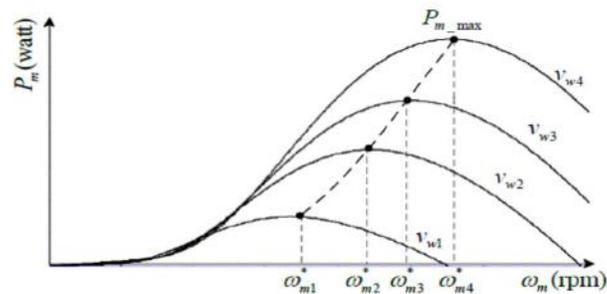
Nilai koefisien daya ini dapat diartikan sebagai efisiensi turbin angin.

Berdasarkan Betz limit, efisiensi maksimum turbin angin hanya sekitar 59.26%.

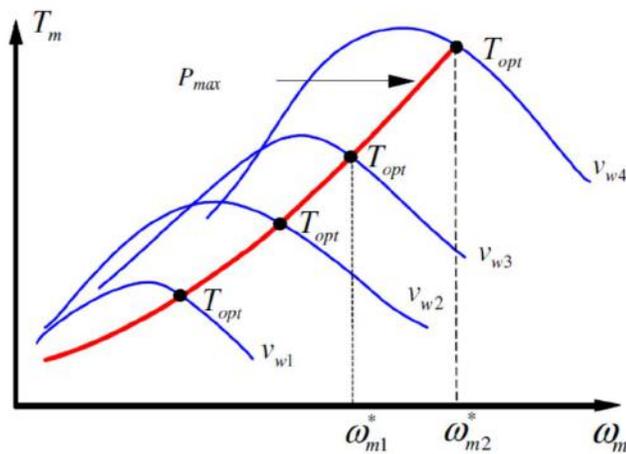
Nilai koefisien daya ini ditentukan oleh Tip Speed Ratio (TSR) λ dan sudut pitch turbin angin β . Sudut pitch merupakan sudut arah datang angin terhadap bidang sudu rotor turbin, sedangkan TSR merupakan rasio kecepatan putaran jari-jari turbin dengan kecepatan angin [18].

II.4.2 Karakteristik Turbin Angin

Ketika turbin angin mendapat energi angin dengan kecepatan angin sebesar v , maka turbin akan bergerak dengan kecepatan putaran ω_m dan menghasilkan daya mekanik sebesar P_m dengan torsi mekanik sebesar T_m . Daya mekanik yang dihasilkan turbin angin linear dengan kubik dari kecepatan angin, sedangkan torka mekaniknya linear dengan kuadrat dari kecepatan angin. Pada satu kecepatan angin, daya mekanik turbin dapat berubah, sesuai dengan perubahan kecepatan putaran poros rotor turbin. Hal yang sama juga berlaku pada torsi mekanik yang dihasilkan turbin angin. Gambar II.8 dan Gambar II.9 berikut menunjukkan kurva daya mekanik dan torsi mekanik turbin angin ketika diberi kecepatan angin yang bervariasi.



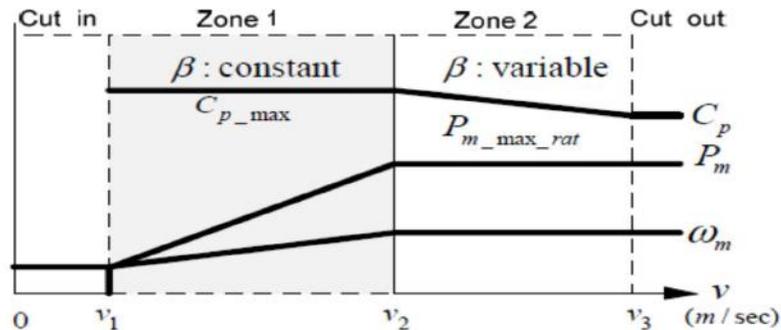
Gambar II. 8 Kurva daya mekanik turbin angin [18]



Gambar II. 9 Kurva Torsi mekanik turbin angin [18]

II.4.3 Zona Operasi Turbin Angin

Setiap turbin angin memiliki batas kemampuan yang harus diperhatikan dalam merancang pembangkit listrik tenaga angin. Salah satunya adalah batas kecepatan angin yang dapat diterima oleh turbin angin. Berdasarkan kecepatan angin operasi turbin angin dapat dibagi atas empat zona, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar II.10 berikut.



Gambar II. 10 Zona Operasi Turbin Angin [18]

- 1) **Cut in:** Berada pada zona kecepatan angin 0 sampai v_1 . Pada zona ini turbin angin tidak dioperasikan karena daya mekanik yang dihasilkan belum cukup untuk menggerakkan generator.
- 2) **Zona 1:** Berada pada zona kecepatan angin v_1 sampai v_2 . Pada zona ini daya mekanik turbin angin di bawah rating daya generator. Pada zona ini kecepatan putaran turbin dikendalikan untuk tetap pada titik koefisien daya maksimum C_{p_max} untuk mendapatkan daya maksimum pada setiap variasi kecepatan angin. Sudut pitch turbin β dibuat konstan pada titik koefisien daya maksimum.
- 3) **Zona 2:** Berada pada zona kecepatan angin v_2 sampai v_3 . Pada zona 2 kecepatan generator dijaga tetap konstan dengan mengendalikan daya mekanik turbin melalui pengaturan sudut pitch turbin β . Daya mekanik dikontrol agar sama dengan rating daya elektrik generator sehingga kecepatan tetap konstan.
- 4) **Cut Out:** Berada pada zona kecepatan besar dari v_{w3} . Pada zona ini turbin angin tidak dioperasikan karena kecepatan angin sudah melampaui batas kemampuan turbin angin.

II.5 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Pembangkit listrik tenaga air merupakan pembangkit yang dapat mengubah energi air yang bergerak dalam jumlah tertentu menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin air yang dihubungkan pada generator listrik. umumnya PLTA merupakan pusat pembangkit tenaga listrik yang mengubah energi potensial air menjadi energi listrik. dimana hal tersebut air memiliki tenaga potensial. Dalam proses aliran dalam pipa pesat (*penstock*) energi potensial berangsur-angsur berubah menjadi energi kinetic, di dalam turbin energi kinetic dirubah menjadi tenaga mekanis dimana air memutar roda turbin yang akan memutar generator untuk menghasilkan energi listrik. apabila dilihat dari daya yang dimanfaatkan dari tenaga air, maka dapat diklasifikasikan sebagai berikut [14]:

- PLTA (Kapasitas Besar) = lebih dari 100 MW
- PLTA (Kapasitas Sedang) = 15-100 MW
- PLTA (Kapasitas Kecil) = 1-15 MW
- PLTMH (Mini Hidro) = 100 KW- 1 MW
- PLTMH (Mikro Hidro) = 1 KW- 100 KW
- PLTMH (Piko Hidro) = kurang dari 1KW

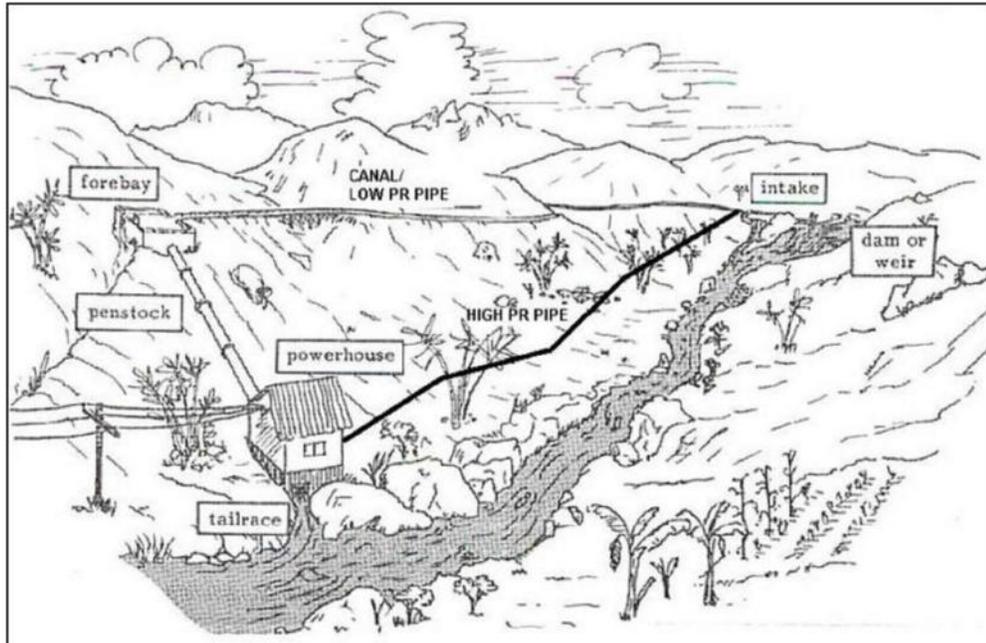
Pusat listrik tenaga air ini dapat dibangun apabila tiga hal utama yang menjadi dasar yaitu [14]:

1. Curah hujan dan debit air
2. Daerah aliran sungai
3. Tinggi terjun air

II.5.1 Prinsip Kerja PLTMH

Sebuah Pusat listrik tenaga air terdiri dari bendungan, waduk, saluran-saluran air dan sentral daya beserta semua perlengkapannya.

Deskripsi kerja suatu PLTMH meliputi aliran sungai, air yang mengalir akan ditampung di sebuah waduk yang dilengkapi dengan *intake gate* yang selanjutnya masuk ke dalam saluran penghantar. Air akan mengalir di dalam pipa pesat yang setelah melalui katup pintu masuk air akan terus menuju roda turbin, roda turbin akan memutar poros turbin air, yang pada gilirannya akan menggerakkan sebuah generator listrik [14].



Gambar II. 11 Layout dari Skema PLTMH [19]

Energi potensial dari air yang mengalir dikonversi menjadi energi kinetik selama alirannya dalam pipa pesat. Energi kinetik dari air yang mengalir diubah menjadi energi mekanik dalam prosesnya memutar turbin. Energi mekanik dari turbin yang berputar kemudian diubah menjadi energi listrik sepanjang *shaft* dari turbin memutar generator.

Oleh karena itu, daya yang terbangkitkan dari pembangkit listrik tenaga air pada dasarnya merupakan sebuah fungsi dari hulu dan debit. Daya yang terbangkitkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [19]:

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (II.16)$$

Dimana :

P = Daya (W)

η = efisiensi (micro=50-60%, small > 80%)

ρ = massa jenis air (1000kg/m³)

g = percepatan gravitasi (9.81 m/s²)

Q = aliran yang melewati turbin (m³/s)

H = ketinggian jatuh air (m) (perbedaan antara level *forebay* dan level turbin)

II.5.2 Komponen Utama

II.5.2.1 Civil Works

Biaya *civil works* untuk *small hydro* berkisar antara 50-60% dari biaya total. Bendungan besar untuk menyimpan air normalnya digunakan ini. oleh karena itu, bendungan yang rendah atau sederhana terbuat dari beton, kayu ataupun pondasi batu sering kali digunakan untuk *small hydro*. Bendungan ini memisahkan air melalui sistem pengangkutan (biasanya kanal atau pipa dan bahkan terowongan) menuju *Power House. Intake* dengan pemisah sampah danggerbang disediakan. Jumlah air yang berlebihan akan dibuang ke bendungan. Tangga ikan juga disediakan agar ikan dapat berenang ke hulu. Tekadang, *Power House* berlokasi ditempat yang lebih rendah dari *Intake* dan tidak terdapat sistem pengangkutan air yang dibutuhkan. Katup dan gerbang pada saluran masuk dan keluar dari turbin tersedia untuk menghentikan aliran pada saat pemeliharaan [19].

bangunan lain yang tersedia yaitu Bak air untuk mengendapkan dan memisahkan sediment agar tidak masuk ke dalam turbin. Sebuah kolam penampung (*forebay*) juga disediakan untuk menyeimbangkan fluktuasi yang terjadi pada level air selama operasi mendadak dan jika turbin dimatikan. Ketika sebuah terowongan digunakan untuk pengangkutan air, tanki *surge* digunakan untuk menghindari dampak dari pembukaan secara tiba-tiba dan saat pe-nonaktifan pembangkit. Air dari *Power House* dibuang kembali ke sungai melalui kanal pembuangan atau terowongan. Selain itu, *Power House, housing* dari turbin, generator dan peralatan kelistrikan dan peralatan mekanik, juga merupakan bagian dari *civil works* [19].

II.5.2.2 Turbin

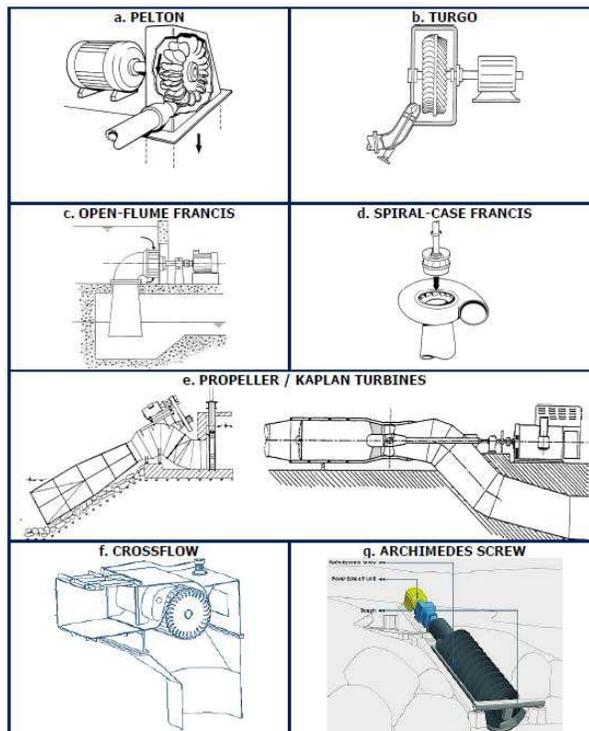
Turbin merupakan komponen utama dalam peralatan sistem ini yang mengubah energi dari jatuhnya air yang memutar *shaft power*. Pemilihan turbin yang paling cocok dengan segala jenis pembangkit tenaga air bergantung pada dua hal pada karakteristik lokasi – ketinggian dan aliran yang tersedia. Setiap turbin memiliki karakteristik kecepatan-tenaga. Artinya turbin-turbin ini beroperasi dengan sangat efisien pada kecepatan tertentu, kombinasi antara ketinggian dan aliran. Dengan demikian kecepatan kerja yang diinginkan dari generator atau perangkat yang terhubung ke turbin juga mempengaruhi pemilihan. Pertimbangan yang lainnya ialah apakah turbin dapat menghasilkan daya pada keadaan *part-flow* [20].

Rancangan kecepatan dari sebuah turbin secara garis besar diketahui dengan melihat bagian *head* saat keadaan beroperasi. Turbin dapat diklasifikasikan ke dalam mesin *high head*, *medium head*, dan *low head*. Mereka juga dilengkapi dengan prinsip kerja dan juga dapat berupa impuls maupun reaksi turbin. Tabel II.3 Berikut menunjukkan klasifikasi paling dasar dari turbin [20]:

Tabel II. 3 Klasifikasi Turbin [20]

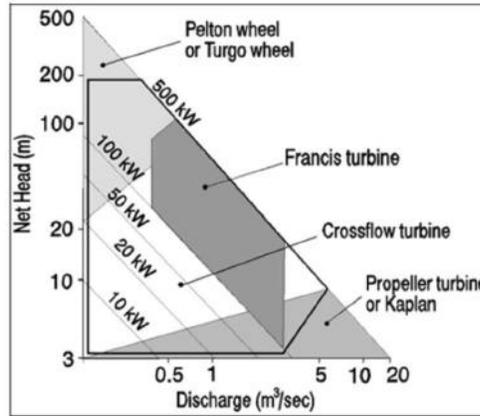
	<i>High Head</i>	<i>Medium Head</i>	<i>Low Head</i>
<i>Impulse Turbines</i>	<i>Pelton</i>	<i>Cross-flow</i> <i>Multi-Jet Pelton</i> <i>Turgo</i>	<i>Cross Flow</i>
<i>Reaction Turbines</i>		<i>Francis</i>	<i>Propeller Kaplan</i>

Pada tipe turbin *reaction*, roda yang berputar secara utuh terbenam pada aliran dan menggunakan tekanan air dan energi kinetic dari aliran. Tipe ini layak untuk aplikasi *low head* dan *medium head*. Pada sisi yang lainnya, turbin *impulse*, tekanan tinggi mengalir melalui mulut pipa yang mengubahnya menjadi jet air pada tekanan atmosferik namun kecepatan dan energi kinetic yang besar. Dengan demikian, ini menggunakan energi kinetic air yang berkecepatan tinggi yang mendesak/ memberikan gaya dorong pada baling-baling dan menyebabkannya berputar [19]. Jenis-jenis turbin ditunjukkan pada Gambar II.12 berikut.



Gambar II. 12 jenis-jenis turbin [21]

Contoh dari turbin *reaction* adalah *francis*, turbin *fixed pitched propeller*, dan *Kaplan*, sementara contoh dari turbin *impulse* yaitu *pelton*, *turgo*, dan *cross flow*. Gambar II.13 di bawah memperlihatkan range dari *head flow* serta tipe turbin yang sesuai [21].



Gambar II. 13 Range headflow berdasarkan jenis turbin [21]

II.6 Sistem Hibrid

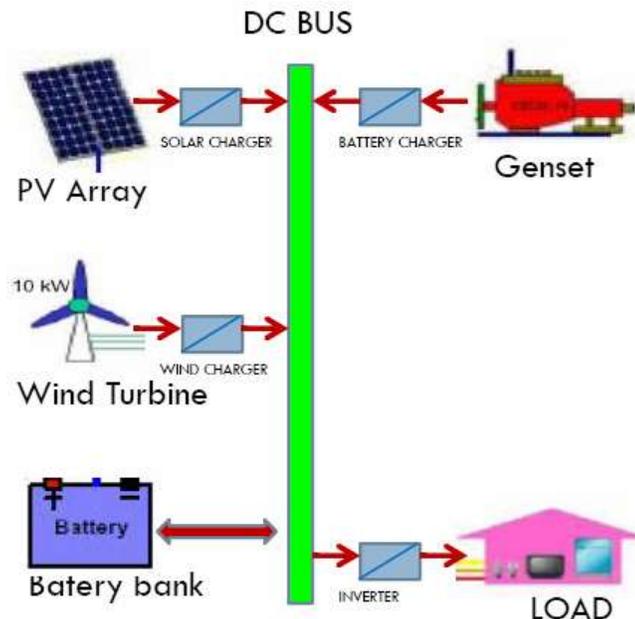
Sistem Hibrid adalah suatu sistem pembangkit listrik yang memadukan beberapa jenis pembangkit listrik, pada umumnya antara pembangkit listrik berbasis BBM dengan pembangkit listrik berbasis energi terbarukan. Sistem hibrid merupakan solusi untuk mengatasi krisis BBM dan ketiadaan listrik di daerah terpencil, pulau-pulau kecil dan pada daerah perkotaan. Umumnya terdiri atas modul surya, turbin angin, generator diesel, baterai, dan peralatan kontrol yang terintegrasi. Tujuan sistem hibrid adalah mengkombinasikan keunggulan dari setiap pembangkit sekaligus menutupi kelemahan masing-masing pembangkit untuk kondisi-kondisi tertentu, sehingga secara keseluruhan sistem dapat beroperasi lebih ekonomis dan efisien. Mampu menghasilkan daya listrik secara efisien pada berbagai kondisi pembebanan [22].

II.6.1 Sistem Operasi Sistem Hibrid

Sistem operasi Sistem Hibrid dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu sistem serial, sistem tersaklar dan sistem parallel [22].

II.6.1.1 Sistem Hibrid Serial

Semua pembangkit daya mensuplai daya DC ke dalam baterai, setiap komponen harus dilengkapi dengan charge controller sendiri, untuk menjamin operasi yang handal sistem ini, generator dan inverter harus didisain agar dapat melayani beban puncak. Pada sistem ini sejumlah besar energi yang dibangkitkan dilewatkan melalui baterai, siklus baterai bank menjadi naik dan mengurangi efisiensi sistem, daya listrik dari genset di DC akan dan diubah kembali menjadi AC sebelum disuplai ke beban sehingga terjadi rugi-rugi yang signifikan [23]. Gambar II.14 berikut menunjukkan system Hibrid serial



Gambar II. 14 Sistem Hibrid Serial [22]

a. Keunggulan – Keunggulan Sistem Hibrid Serial

PLTH sistem serial ini memiliki beberapa keunggulan antara lain [23]:

- Genset dapat didesain untuk dapat dibebani secara optimal, sewaktu mensuplai beban juga mengisi baterai hingga mencapai *State of Charge* (SOC) 70-80%.
- Tidak diperlukan saklar AC diantara sumber energi, menyederhanakan komponen antar muka keluaran, daya yang disuplai ke beban tidak terinterupsi ketika genset di start.

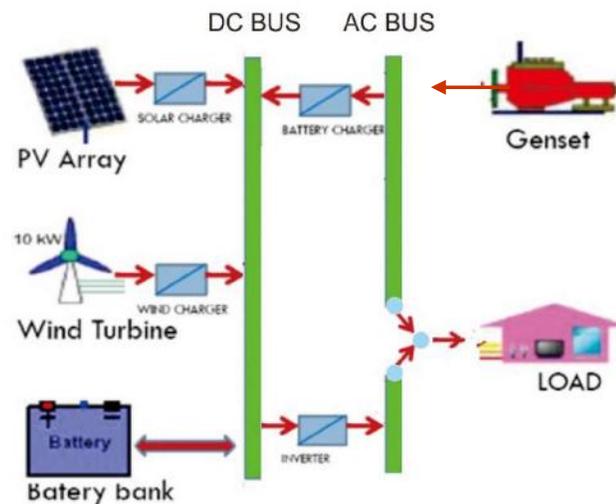
b. Kelemahan – Kelemahan Sistem Hibrid Serial

Kelemahan atau kerugian apabila menggunakan sistem ini adalah [23] :

- Inverter tak dapat beroperasi paralel dengan genset, sehingga inverter harus didesain untuk mensuplai beban puncak.
- siklus baterai menjadi tinggi, sehingga mengurangi umur baterai, profil siklus membutuhkan baterai bank yang besar, untuk membatasi DOD (Depth of Discharge).
- Efisiensi total rendah, karena genset tak dapat mensuplai beban secara langsung, kerusakan inverter akan mengakibatkan kehilangan daya total ke beban, kecuali beban dapat disuplai dengan genset emergency.

II.6.1.2 Sistem Hibrid Tersaklar

Pada sistem hibrid tersaklar (*switched*), genset dan inverter dapat beroperasi sebagai sumber AC, pada sistem yang tidak memiliki operasi paralel, genset dan sumber energi terbarukan dapat mengisi (*charging*) baterai. Pada sistem ini beban dapat langsung disuplai genset sehingga meningkatkan efisiensi total, kelebihan daya dari genset dapat digunakan untuk mengisi baterai, ketika beban rendah, genset dimatikan, beban disuplai dari ET bersama energi yang tersimpan [23]. Gambar II.15 berikut menunjukkan sistem hibrid tersaklar.



Gambar II. 15 Sistem Hibrid Tersaklar [22]

a. Keunggulan – Keunggulan Sistem Hibrid Tersaklar

Keunggulan yang dapat diperoleh jika menggunakan sistem ini adalah [23]:

- Inverter dapat membangkitkan gelombang sinus, kotak termodifikasi atau kotak tergantung pada aplikasi.
- genset dapat mensuplai beban secara langsung, sehingga meningkatkan efisiensi sistem total dan mengurangi konsumsi BBM.

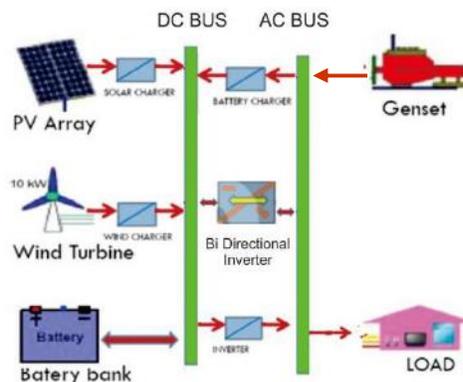
b. Kelemahan -Kelemahan Sistem Hibrid Tersaklar

Kelemahan yang dapat diperoleh jika menggunakan sistem ini adalah [23]:

- daya ke beban terinterupsi sesaat ketika terjadi pemindahan sumber listrik AC.
- genset dan inverter didesain untuk dapat mensuplai beban puncak, berakibat menurunnya efisiensi pada sebagian operasi beban.

II.6.1.3 Sistem Hibrid Paralel

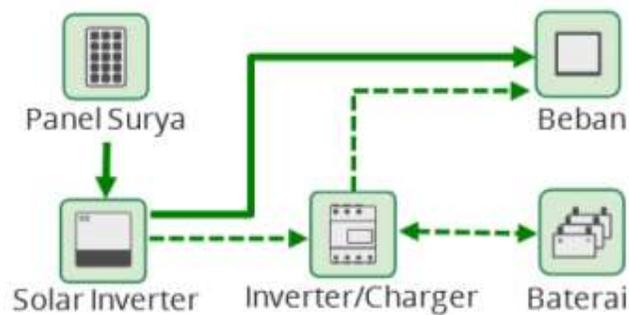
Pada sistem hibrid yang menggunakan sistem ini, beban dapat disuplai baik dari genset maupun inverter secara paralel. *Bi-directional inverter* (BDI) digunakan untuk menjembatani antara baterai dan sumber AC, BDI dapat mengisi baterai dari genset (*AC-DC converter*) maupun sumber energi terbarukan, juga dapat beraksi sebagai *DCAC converter*, sumber ET dihubungkan pada sisi DC, sistem ini terbagi lagi menjadi dua jenis yaitu sistem paralel *AC Coupling* dan sistem paralel *DC Coupling* [23]. Gambar II.16 berikut menunjukkan sistem hibrid paralel.



Gambar II. 16 Sistem Hibrid Paralel [22]

II.6.1.4 Sistem Hibrid *Off-Grid*

Sistem hibrid off-grid merupakan sistem PLTS yang umum digunakan untuk daerah-daerah terpencil atau pedesaan yang benar-benar tidak terjangkau oleh jaringan listrik. Sistem off-grid disebut juga stand-alone pv system yaitu sistem pembangkit listrik yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian panel surya untuk menghasilkan energi listrik sesuai dengan kebutuhan. Berikut skema sistem off-grid seperti terlihat pada Gambar II.17 di bawah ini:



Gambar II. 17 Sistem Hibrid off-grid [24]

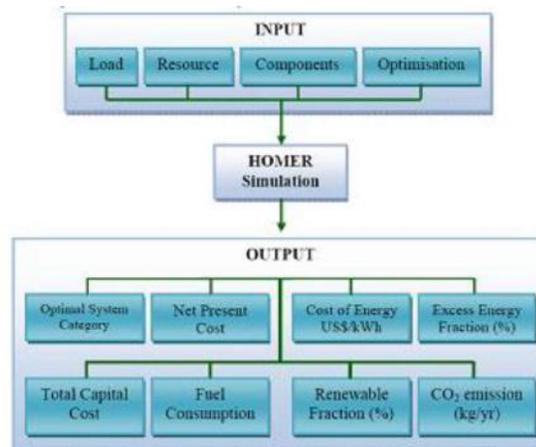
II.7 HOMER

HOMER adalah singkatan dari *The Hybrid Optimisation Model for Electric Renewables*, salah satu tool populer untuk desain sistem PLH menggunakan energi terbarukan. HOMER mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik stand-alone maupun grid-connected yang dapat terdiri dari kombinasi turbin angin, photovoltaic, mikrohidro, biomassa, generator (diesel/bensin), microturbine, fuel-cell, baterai, dan penyimpanan hidrogen, melayani beban listrik maupun termal [25].

HOMER mensimulasikan operasi sistem dengan menyediakan perhitungan energy balance untuk setiap 8.760 jam dalam setahun. Jika sistem mengandung baterai dan generator diesel/bensin, HOMER juga dapat memutuskan, untuk setiap jam, apakah generator diesel/bensin beroperasi dan apakah baterai diisi atau dikosongkan. Selanjutnya HOMER menentukan konfigurasi terbaik sistem dan kemudian memperkirakan biaya instalasi dan operasi sistem selama masa

operasinya (life time costs) seperti biaya awal, biaya penggantian komponen-komponen, biaya O&M, biaya bahan bakar, dan lain-lain [25].

Saat melakukan simulasi, HOMER menentukan semua konfigurasi sistem yang mungkin, kemudian ditampilkan berurutan menurut net presents costs - NPC (atau disebut juga life cycle costs). Jika analisa sensitivitas diperlukan, HOMER akan mengulangi proses simulasi untuk setiap variabel sensitivitas yang ditetapkan. Error relatif tahunan sekitar 3% dan error relative bulanan sekitar 10%. Gambar II.18 menunjukkan arsitektur HOMER, yang diambil dari Fung et al. (2002) dengan sedikit modifikasi. Ada tiga bagian utama HOMER; input, simulasi dan output [25] seperti pada Gambar II.18 berikut.



Gambar II. 18 Arsitektur Simulasi dan Optimasi HOMER [25]

Perangkat lunak ini bekerja berdasarkan tiga langkah, yaitu simulasi, optimasi dan analisis sensitivitas [25].

a. Simulasi

Perangkat lunak ini akan melakukan simulasi pengoperasian sistem pembangkit listrik tenaga hibrida dengan membuat perhitungan keseimbangan energi selama 8.760 jam dalam satu tahun. Untuk setiap jamnya, HOMER membandingkan kebutuhan listrik dan panas dengan energi yang dapat dipasok oleh sistem pada jam tersebut, dan menghitung aliran energi dari dan ke setiap komponen dari sistem. Untuk sistem dengan baterai atau generator bahan bakar, HOMER juga memutuskan kapan akan mengoperasikan generator dan mengisi atau mengosongkan baterai.

b. Optimasi

Setelah disimulasi, tahapan selanjutnya adalah mengoptimasi semua kemungkinan konfigurasi sistem kemudian diurutkan berdasarkan Nilai Net Sekarang (Net Present Value) yang digunakan untuk membandingkan pilihan disain sistem.

c. Analisis Sensitivitas

Ketika variabel sensitivitas ditambahkan, HOMER mengulangi proses optimasi untuk setiap variabel sensitivitas yang ditentukan. Misalnya, jika ditetapkan konsumsi beban (kWh/hari) sebagai sensitivitas variabel, HOMER akan melakukan simulasi konfigurasi sistem untuk berbagai konsumsi beban tersebut.

Adapun Analisa Finansial pada Program Homer [25]:

- *Net Present Cost (NPC)*

Biaya Net Total Masa Kini (Total Net Present Cost / NPC) adalah keluaran ekonomi yang paling utama untuk nilai suatu sistem pada PLTMH dan PV, HOMER akan mengurutkan data hasil keluaran simulasi dan optimasi berdasar nilai NPC terendah. Total NPC dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut ini :

$$C_{npc} = \frac{C_{ann.tot}}{CRF(i,R_{proj})} \quad (II.17)$$

Dimana :

$C_{ann.tot}$ = Total Biaya tahunan (\$/tahun)

CRF = Faktor Penutupan Modal

I = Suku bunga

R_{proj} = Lama waktu suatu proyek

N = Jumlah Tahunan

- *Syarat Batas Biaya Energi (Levelized Cost of Energy)*

Levelized cost of energy (COE) didefinisikan sebagai biaya rata per kWh produksi energi listrik yang terpakai oleh sistem. Untuk menghitung COE,

biaya produksi energi listrik tahunan dibagi dengan total energi listrik terpakai yang diproduksi, dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_{npc} = \frac{C_{ann.tot}}{CRF_{(i,Rproj)} E_{(grid.sales)} E_{(def)}} \quad (II.18)$$

Dimana :

$C_{ann.tot}$	= biaya total sistem tahunan (\$/tahun)
E_{primAC}	= Beban AC utama yang terpenuhi (kWh/tahun)
E_{def}	= Beban defferable yang terpenuhi (kWh/tahun)
$E_{grid.sales}$	= Total penjualan grid (kWh/tahun)

II.8 Analisis Ekonomi

II.8.1 *Net Present Value*

Net present value dapat diartikan sebagai nilaisekarang dari arus pendapatan yang ditimbulkan oleh penanaman investasi. NPV merupakan hasil pengurangan dari pendapatan dengan biaya yang di-diskonto-kan. Indikator kelayakannya adalah : jika NPV bernilai positif ($NPV > 0$) maka usaha layak untuk dijalankan. Sebaliknya, jika NPV bernilai negatif ($NPV < 0$) maka usaha tidak layak untuk dijalankan [26].

II.8.2 *Internal Rate of Return*

Internal Rate of Return (IRR) adalah tingkat sukubunga maksimum yang dapat mengembalikan biaya-biaya yang ditanam. Indikator kelayakannya adalah : jika IRR lebih besar dari suku bunga bank yang berlaku ($IRR > DR$) maka usaha layak untuk diusahakan. Sebaliknya jika IRR lebih kecil dari suku bunga yang berlaku ($IRR < DR$) maka usaha tidak layak untuk diusahakan [26].

II.8.3 *Net Benefit Cost Ratio*

Rasio ini diperoleh dengan membagi nilaisekarang arus manfaat (PV) dengan nilai sekarang arus biaya, yang bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara jumlah biaya yang dikeluarkan pada suatu usaha terhadap manfaat yang akan diperolehnya. Indikator kelayakannya adalah : jika Net B/C lebih besar dari satu ($Net\ B/C > 1$) maka usaha layak untuk dijalankan. Sebaliknya jika Net B/C lebih kecil dari satu ($Net\ B/C < 1$) maka usaha tidak layak untuk dijalankan [26].

II.8.4 *Payback Period*

Payback period adalah suatu periode yang diperlukan untuk menutup kembali pengeluaran investasi dengan menggunakan aliran kas. Kriteria payback period ini tidak memiliki indikator standar dan bersifat relatif tergantung umur proyek dan besarnya investasi. Usaha layak dijalankan jika payback period usaha tidak terlalulama mendekati akhir proyek atau lebih lama dari umur proyek. Payback period yang relatif cepat lebih disukai untuk investasi [26].

Discount rate merefleksikan opportunity cost dari modal yang ditanamkan atau suku bunga pinjaman. Discount rate dapat menggunakan suku bunga pinjaman, suku bunga simpanan atau suku bunga riil sesuai dengan asumsi sumber modal yang digunakan. Namun begitu, Gittinger (1984) menyarankan untuk penggunaan suku bunga rendah 6-12 % untuk menilai usaha budidaya di negara berkembang [26].