

SKRIPSI

**STUDI PERANCANGAN SISTEM HIBRIDA PEMBANGKIT
LISTRIK DI HOTEL ALMADERA MAKASSAR**

Disusun dan diajukan oleh:

M. YUSRIL

D041 20 1042



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI PERANCANGAN SISTEM HIBRIDA PEMBANGKIT LISTRIK DI HOTEL ALMADERA MAKASSAR

Disusun dan diajukan oleh

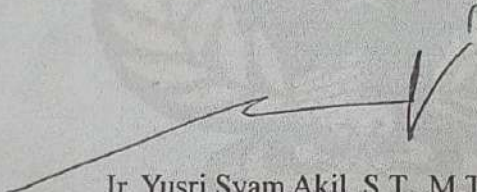
M. Yusril

D041 20 1042

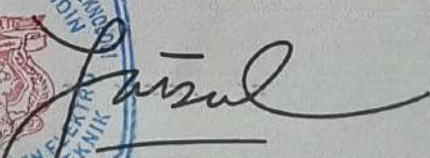
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 20 November 2024
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,


Ir. Yusri Syam Akil, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197703222005011001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr.-Ing. Ir. Fauzan Arya Samman, ST, MT, IPU, AseanEng, ACPE
NIP. 197506052002121004

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Yusril

NIM : D041201042

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

STUDI PERANCANGAN SISTEM HIBRIDA PEMBANGKIT LISTRIK DI HOTEL ALMADERA MAKASSAR

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain 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 kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala risiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 20 November 2024

Yang Menyatakan



M. Yusril

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, serta kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Studi Perancangan Sistem Hibrida Pembangkit Listrik Di Hotel Almadera Makassar”** ini tepat pada waktunya. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Sarjana Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa hasil yang dicapai tidak lepas dari bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Safruddin dan Ibu Hasni serta kakak-kakak yang tidak henti-hentinya mengingatkan, mendoakan dan mendukung baik secara materi maupun non-materi serta semangat yang tiada hentinya selama penulis menyelesaikan studi.
2. Bapak Ir. Yusri Syam Akil, S.T., M.T., Ph.D. selaku pembimbing skripsi yang dengan penuh kesabaran memberikan bimbingan, arahan, dan saran yang sangat berharga selama penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Ir. Tajuddin Waris, M.T dan Ibu Dr. Ir. Sri Mawar Said, M.T. selaku penguji yang telah memberikan masukan dan kritik yang sangat konstruktif untuk penyempurnaan skripsi ini.
4. Seluruh dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, yang telah memberikan ilmu dan pengalaman berharga selama masa studi.
5. Bapak *Manager* dan Bapak *Chief Of Engineering* Hotel Almadera Makassar serta seluruh pegawai Hotel Almadera Makassar yang telah memberikan izin dan bantuan selama proses pengumpulan data dan penelitian di lokasi.

6. Teman satu kos penulis yang kami sebut A40, terkhusus Ahmad Yani, Rahmat Hidayat, fiqul dan adi yang selalu menemani dan membantu untuk mengerjakan dan menyelesaikan skripsi ini.
7. Teman-teman Laboratorium *Research Group* Pembangkitan Terdistribusi Energi dan Lingkungan yang telah membantu dan saling mendukung selama proses pengerjaan skripsi
8. Devi yang telah kebersamai penulis sejak awal perkuliahan hingga akhir penulisan skripsi, sebagai tempat mengeluh, teman curhat dan sebagai *support system* penulis dalam mengerjakan skripsi.
9. Teman-teman seangkatan (PROZE2OR) dan seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan kebersamaan yang berarti dalam proses penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan dan penyempurnaan di masa yang akan datang.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membutuhkan dan menjadi sumbangsih kecil dalam perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang teknik elektro.

Gowa, 20 November 2024

Penulis

ABSTRAK

M. Yusril. Studi Perancangan Sistem Hibrida Pembangkit Listrik Di Hotel Almadera Makassar (dibimbing oleh Yusri Syam Akil)

Energi listrik merupakan kebutuhan pokok masyarakat saat ini baik untuk kehidupan sehari-hari maupun untuk kegiatan industri, kebutuhan energi listrik cenderung mengalami peningkatan sehingga dibutuhkan lebih banyak pasokan energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan efisiensi energi dan biaya pada sistem tenaga surya hibrid. Metode simulasi dilakukan menggunakan software untuk memodelkan dan menganalisis performa pembangkit sistem hibrid selama 20 tahun. Penelitian ini membandingkan dua skenario utama dalam meningkatkan efisiensi energi di Hotel Almadera Makassar. Skenario 2 merupakan sistem tenaga surya hibrid antara PLTS, PLTB, dan jaringan listrik PLN yang beroperasi selama 24 jam tanpa penggunaan baterai. Sementara itu, Skenario 3 melibatkan konfigurasi yang sama namun dilengkapi dengan baterai yang digunakan untuk menyimpan energi dan dioperasikan selama jam beban puncak (pukul 17.00-22.00). Hasil simulasi menunjukkan bahwa Skenario 2 menghasilkan penghematan tahunan sebesar Rp232.027.913,65, dengan *Net Present Value* (NPV) sebesar Rp128.084.858,44 dan *payback period* selama 10,4 tahun. Di sisi lain, Skenario 3 menghasilkan penghematan tahunan yang lebih besar, yaitu Rp327.794.365,16, dengan NPV sebesar Rp173.443.540,21 dan *payback period* selama 11,89 tahun. Meskipun Skenario 3 membutuhkan investasi awal yang lebih tinggi, penggunaan baterai pada skenario ini memberikan penghematan jangka panjang yang lebih baik dan fleksibilitas dalam pengelolaan beban puncak, sehingga lebih efisien secara keseluruhan.

Kata Kunci: Hibrid, PLTS, PLTB, baterai, efisiensi energi, NPV, *payback period*.

ABSTRACT

M. Yusril. *Design Study of a Hybrid Power Generation System at Almadera Hotel Makassar* (supervised by Yusri Syam Akil)

Electrical energy is a basic need of today's society both for daily life and for industrial activities, the need for electrical energy tends to increase so that more electrical energy supply is needed. This study aims to determine the energy efficiency and cost of a hybrid solar power system. The simulation method was conducted using software to model and analyze the performance of the hybrid generation system for 20 years. This research compares two main scenarios in improving energy efficiency at Almadera Hotel Makassar. Scenario 2 is a hybrid solar power system between solar PV, wind farm, and PLN grid that operates for 24 hours without the use of batteries. Meanwhile, Scenario 3 involves the same configuration but is equipped with a battery that is used to store energy and is operated during peak load hours (17.00-22.00). The simulation results show that Scenario 2 generates annual savings of Rp232.027.913,65, with a Net Present Value (NPV) of Rp128.084.858,44 and a payback period of 10.4 years. On the other hand, Scenario 3 generates greater annual savings of Rp327.794.365,16, with an NPV of Rp142.655.355,36 and a payback period of 10.5 years. Although Scenario 3 requires a higher initial investment, the use of batteries in this scenario provides better long-term savings and flexibility in peak load management, making it more efficient overall.

Keywords: Hybrid, solar PV, wind farm, battery, energy efficiency, NPV, payback period

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRISPI	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Ruang Lingkup	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Profil Singkat Hotel Almadera Makassar.....	5
2.2. Sistem Pembangkit Listrik Hibrid	5
2.3. Sel Surya.....	6
2.3.1. Prinsip Kerja Sel Fotovoltaik.....	6
2.3.2. Jenis-jenis Sel Surya	7
2.4. Komponen-Komponen Sistem PV	8
2.4.1. <i>Solar Cell</i> (PV Cell).....	8
2.4.2. Baterai / Aki	9
2.4.3. <i>Inverter</i>	10
2.5. Perancangan PLTS	10
2.6. Analisis Ekonomi	14
2.7. Energi angin	16
2.8. Turbin Angin	16
2.9. Pembangkit Listrik Tenaga Angin.....	18

2.10.	Sistem Konversi Energi Angin Menjadi Energi Listrik	18
2.11.	Net Present Cost (NPC).....	19
2.12.	Cost Of Energy	20
2.13.	HOMER (<i>Hybrid Optimization Model For Energy Renewables</i>).....	20
2.14.	Penelitian Terkait	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		23
3.1.	Waktu dan Lokasi Penelitian.....	23
3.2.	Alat dan Bahan Penelitian	23
3.3.	Teknik Pengumpulan Data	23
3.4.	Diagram Alir Penelitian.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		26
4.1.	Profil Beban Hotel Almadera Makassar.....	26
4.2.	Analisis data	27
4.2.1	Data Beban	27
4.2.2.	Data Radiasi Matahari.....	29
4.2.3.	Data Kecepatan Angin	30
4.2.4.	Data Temperatur.....	31
4.3.	Identifikasi Lokasi	32
4.4.	Perancangan Pembangkit Sistem hibrid PV dan Angin	33
4.4.1	Penentuan Panel Surya.....	33
4.4.2.	Konverter.....	37
4.4.3.	<i>Batery</i>	37
4.4.4.	Turbin angin.....	38
4.5.	Biaya Investasi Awal.....	40
4.6.	Data Masukan Komponen Pada Aplikasi Homer.....	41
4.6.1.	Panel Surya	41
4.6.2.	Turbin Angin.....	42
4.6.3.	Konverter.....	43
4.6.4.	<i>Grid</i>	44
4.6.5.	Baterai	45
4.6.6.	Data Teknis Proyek	46
4.7.	Simulasi Pada Perangkat Lunak HOMER.....	46
4.8.	Skenario 1	47
4.8.1.	Hasil Simulasi Skenario 1	48
4.9.	Skenario 2	50
4.9.1.	Hasil Simulasi Skenario 2	50
4.9.2.	Analisis Ekonomi	53

4.10. Skenario 3.....	54
4.10.1. Hasil Simulasi Skenario 3.....	55
4.10.2. Analisis Ekonomi.....	58
4.11. Perbandingan Ekonomis.....	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1. Kesimpulan.....	60
5.2. Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	63
LAMPIRAN.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Prinsip Kerja Turbin Angin.....	17
Gambar 2 Lokasi penelitian	23
Gambar 3 <i>Flowchart</i> Penelitian	25
Gambar 4 Genset Hotel Almadera Makassar.....	26
Gambar 5 Grafik Beban	28
Gambar 6 Grafik Radiasi Matahari	30
Gambar 7 Grafik Kecepatan Angin.....	31
Gambar 8 Grafik Temperatur	32
Gambar 9 Lokasi Penempatan PLTS dan PLTB.....	33
Gambar 10 Atap Hotel Almadera Makassar	35
Gambar 11 Kemiringan Atap	35
Gambar 12 Ukuran <i>Rooftop</i>	36
Gambar 13 Data Masukan PV	41
Gambar 14 Data Masukan Turbin Angin.....	42
Gambar 15 Data Masukan Konverter.....	43
Gambar 16 Data Masukan <i>Grid</i>	44
Gambar 17 Data Masukan Baterai	45
Gambar 18 Skenario 1.....	47
Gambar 19 Masukan Persentasi Terjadinya Pemadaman Listrik	47
Gambar 20 Profil Beban Harian.....	48
Gambar 21 Produksi Genset Skenario 1	48
Gambar 22 Produksi <i>Grid</i> Skenario 1.....	49
Gambar 23 Skenario 2.....	50
Gambar 24 Produksi Listrik Skenario 2.....	50
Gambar 25 Grafik Produksi PLTB dan PLTS Skenario 2	51
Gambar 26 Produksi <i>Grid</i> Skenario 2.....	52
Gambar 27 Skenario 3.....	54
Gambar 28 Produksi Listrik Skenario 3.....	55
Gambar 29 Produksi <i>Grid</i> Skenario 3.....	56
Gambar 30 Grafik Produksi PLTS dan PLTB	57

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Penelitian Terkait	21
Tabel 2 Spesifikasi Generator	26
Tabel 3 Data beban di Hotel Almadera Makassar	27
Tabel 4 Data Radiasi Matahari.....	29
Tabel 5 Data Kecepatan Angin	30
Tabel 6 Data Temperatur	31
Tabel 7 Spesifikasi Panel Surya.....	33
Tabel 8 Spesifikasi Inverter	37
Tabel 9 Spesifikasi Baterai.....	38
Tabel 10 Spesifikasi Turbin Angin	39
Tabel 11 <i>Aeolos-V</i> 5kW Wind Turbine Annual Energy Output.....	40
Tabel 12 Rancangan Sistem Hibrid Tanpa Baterai	40
Tabel 13 Rancangan Sistem Hibrid Dengan Baterai.....	40
Tabel 14 Data Teknis Proyek.....	46
Tabel 15 Perbandingan Biaya Energi <i>Grid</i> Dengan dan Tanpa Sistem Hibrid Skenario 2	52
Tabel 16 Perbandingan Biaya Energi <i>Grid</i> dengan dan tanpa Sistem Hibrid skenario 3	58
Tabel 17 Perbandingan Ekonomis	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan pokok masyarakat saat ini baik untuk kehidupan sehari-hari maupun untuk kegiatan industri, kebutuhan energi listrik cenderung mengalami peningkatan sehingga dibutuhkan lebih banyak pasokan energi listrik. Bahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak bumi merupakan sumber bahan bakar terbesar saat ini dimana ketersediaan bahan bakar fosil semakin menurun lebih dari 80% dari listrik yang dihasilkan berasal dari bahan bakar fosil, sekitar 60% dari batu bara, 22% dari gas alam dan 6% dari minyak dan hanya sekitar 12% listrik yang dihasilkan dari energi terbarukan. Cadangan minyak bumi terus menurun dari 5,9 miliar barel sejak tahun 1995 menjadi 3,7 miliar barel pada tahun 2015 dan diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 11 tahun lagi jika terus berlangsung begitupula dengan gas alam dan batu bara yang diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 36 tahun dan 70 tahun kedepan (Gede Agus Januar Ariawan dkk. 2021).

Potensi energi baru terbarukan (EBT) di Indonesia mencapai 300 Gigawatt namun penggunaan energi baru terbarukan (EBT) di Indonesia masih rendah. Pemerintah menargetkan penggunaan EBT sebanyak 23% dalam bauran energi nasional di tahun 2025, namun hingga tahun 2019 lalu realisasi EBT baru mencapai 9,2% dan bauran EBT pada tahun 2020 baru mencapai sebesar 11,51% atau baru setengah capaian dari target 23% di tahun 2025. Tenaga surya sebagai salah satu sumber energi baru terbarukan (EBT) memiliki potensi yang tinggi untuk dikembangkan. Berdasarkan data dari Dewan Energi Nasional (DEN), di Indonesia potensi energi matahari mencapai rata-rata 4,8 kWh/m²/hari (Asdiyan Salsabila Ayu dkk. 2023).

Dalam era modern ini, kesadaran akan pentingnya penggunaan energi terbarukan semakin meningkat. Kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat di sektor komersial memicu penelitian terkait penggunaan energi terbarukan. Di Indonesia, khususnya di wilayah Makassar, menghadapi tantangan dalam

memenuhi kebutuhan listrik yang terus melonjak. Kebutuhan energi listrik hampir semuanya masih bergantung oleh jaringan utama (PLN). Dengan desain yang tepat, pembangkit listrik tenaga hibrid dapat membantu mengurangi ketergantungan terhadap listrik dari jaringan utama. Dengan gugusan kepulauan dan iklim tropisnya, Indonesia memiliki keuntungan untuk mengembangkan pembangkit yang bersumber dari alam. Energi angin dan energi matahari dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik *hybrid*, menjawab berbagai masalah energi yang muncul saat ini. Pemanfaatan energi matahari dapat digunakan dengan bantuan teknologi *photovoltaic (solar cell)*, digunakan untuk mengubah sinar matahari menjadi listrik. Sedangkan ketika intensitas cahaya matahari berkurang bahkan dimusim penghujan energi angin dapat menjadi alternatif. Pemanfaatan energi angin ini memerlukan turbin untuk menghasilkan energi kinetik kemudian dihubungkan ke generator untuk menghasilkan listrik, listrik yang dihasilkan sangat bergantung pada kecepatan angin.

Menurut peraturan menteri energi dan sumber daya mineral republik indonesia nomor 26 tahun 2021 tentang pembangkit listrik tenaga surya atap yang terhubung pada jaringan tenaga listrik pemegang izin usaha penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum bahwa guna mendorong pemanfaatan energi surya yang ramah lingkungan untuk pembangkitan tenaga listrik menggunakan sistem pembangkit listrik tenaga surya atap yang digunakan untuk kepentingan sendiri, perlu dilakukan peningkatan mutu pelayanan pembangunan dan pemasangan sistem pembangkit listrik tenaga surya atap.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mensimulasikan pembangkit listrik tenaga hibrid (PV dan angin) di Hotel Almadera Makassar. Dengan menerapkan pembangkit tenaga hibrid tersebut, diharapkan konsumsi energi dari generator berbahan bakar fosil dapat dikurangi secara signifikan yang pada gilirannya akan mengurangi dampak lingkungan dan mengurangi biaya operasional hotel saat beban puncak.

Atas dasar itulah penulis tertarik untuk menyusun dan membahas lebih lanjut serta melakukan penelitian dengan judul **“STUDI PERANCANGAN**

SISTEM HIBRIDA PEMBANGKIT LISTRIK DI HOTEL ALMADERA MAKASSAR”

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan apa yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah yang akan dibahas adalah:

1. Bagaimana merancang pembangkit listrik tenaga hibrid (PV dan angin) di Hotel Almadera Makassar dapat mengoptimalkan penggunaan energi surya dan angin?
2. Bagaimana dampak implementasi sistem pembangkit yang dirancang terhadap efisiensi operasional dan biaya energi Hotel Almadera Makassar?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Menganalisis potensi penggunaan sistem tenaga hibrid yang memanfaatkan sinar matahari dan angin di lingkungan hotel untuk mendukung operasi hotel secara berkelanjutan.
2. Mengetahui dampak implementasi pembangkit terhadap efisiensi operasional dan biaya energi Hotel Almadera Makassar, dengan memperhitungkan faktor-faktor seperti investasi awal, biaya operasional, dan penghematan jangka panjang.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan manfaat yaitu:

1. Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PV dan angin) akan meningkatkan efisiensi penggunaan energi di hotel, karena sumber energi surya adalah sumber energi yang terbarukan dan bersih.
2. Penelitian ini dapat membantu hotel mengurangi ketergantungan pada listrik dari jaringan utama, terutama saat beban puncak. Dengan adanya sistem hibrid PLTS-PLTB yang tepat, diharapkan terjadi penghematan signifikan dalam biaya operasional hotel terkait konsumsi energi.

1.5. Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini mencakup:

1. Studi akan merancang sistem hibrid yang optimal untuk Hotel Almadera Makassar, termasuk pemilihan jenis panel komponen, kapasitas sistem dan konfigurasi system.
2. Penelitian akan melakukan analisis ekonomi terhadap implementasi sisten hibrid di Hotel Almadera Makassar, termasuk biaya investasi awal, biaya operasional, penghematan energi, dan pengembalian investasi dalam jangka panjang.
3. Aspek lain seperti daya reaktif (kvar) tidak menjadi bagian dari kajian dan tidak diperhitungkan dalam analisis maupun pengambilan data. Fokus penelitian ini adalah untuk memahami dan meningkatkan kinerja yang terkait dengan daya aktif tanpa mempertimbangkan dampak atau kontribusi dari daya reaktif.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Profil Singkat Hotel Almadera Makassar

Hotel Almadera Makassar adalah hotel business bintang 3 di mana saat ini sesuai acuan Standar Usaha Pariwisata telah diganti sebutannya menjadi Usaha Hotel Berbasis Resiko dan telah memiliki SERTIFIKASI dari PT. CHESNA, bertaraf *international*, dibuka tanggal 8 Januari 1996 dengan nama Radisson Hotel Ujung Pandang, *Grand Opening* 03 Mei 1996. Berubah nama menjadi *Quality Hotel* pada tanggal 1 Agustus 1999. Berlantai 7 dan memiliki 86 kamar depan dan 5 kamar Standar, jadi total kamar keseluruhan ada 91 kamar. Pada tanggal 29 November 2010 *Quality Hotel Makassar* berubah nama menjadi *Quality Plaza Hotel Makassar*, di mana usaha ini bernaung di bawah satu manajemen yang di namakan *Glion Service Management*.

Pada tanggal 03 Mei 2018 *Quality Plaza Hotel Makassar* berubah nama menjadi Almadera Hotel Makassar dibawah naungan dari PT. JEA (PHINISI HOSPITALITY INDONESIA), sebagai perusahaan yang menangani Mangement The Rinra, Claro, Dalton dan Mall Phinisi Point (Almadera Makassar Company Regulation, 2024)

2.2. Sistem Pembangkit Listrik Hibrid

Semakin bertambahnya tahun semakin bertambahnya pula populasi manusia di Indonesia. Dengan bertambahnya populasi manusia maka permintaan kebutuhan juga semakin bertambah. Salah satunya adalah listrik. Listrik di bangkitkan menggunakan pembangkit listrik, dimana penggerak utama perubahan energi listrik yaitu generator. Banyak di Indonesia maupun di dunia yang menggunakan pembangkit listrik berbeda beda. Berbagai macam pembangkit listrik antara lain adalah Pembangkit Listrik Uap (PLTU). Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTPB), Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), dan masih banyak lainnya (Islam dan Agung, 2021).

Pembangkit listrik hibrid merupakan suatu sistem pembangkit dimana terdapat dua jenis atau lebih pembangkit yang digunakan untuk beban yang sama. Dalam pembangkit hibrid biasanya menggunakan sumber energi alternatif. Tujuan dari penggunaan sistem hibrid ini adalah untuk mendapatkan keandalan dari sumber energi alternatif. Penggunaan energi alternatif yang telah banyak digunakan adalah *photovoltaic* (PV) yang menggunakan energi surya dan turbin angin dengan sumber berupa energi angin. Sifat alami dari energi terbarukan seperti PV dan turbin angin yang dapat menghasilkan pada waktu tertentu menjadikan dasar penerapan pembangkit listrik hibrid. Keuntungan dari penggunaan PV dan turbin angin adalah skalabilitas dan kemudahan penggunaan karena parameter *input* bersifat meteorologis dan konstruktif (Pradana, 2018).

2.3. Sel Surya

Sel surya merupakan sebuah perangkat yang mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik dengan proses efek *fotovoltaic*, oleh karenanya dinamakan juga sel *fotovoltaic* (*Photovoltaic cell*). Tegangan listrik yang dihasilkan oleh sebuah sel surya sangat kecil, sekitar 0,6V tanpa beban atau 0,45V dengan beban. Untuk mendapatkan tegangan listrik yang besar sesuai keinginan diperlukan beberapa sel surya yang tersusun secara seri. Jika 36 keping sel surya tersusun seri, akan menghasilkan tegangan sekitar 16V. Tegangan ini cukup untuk digunakan mensuplai aki 12V. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih besar lagi maka diperlukan lebih banyak lagi sel surya. Gabungan dari beberapa sel surya ini disebut panelsurya atau modul surya. Susunan sekitar 10 - 20 atau lebih Panel Surya akan dapat menghasilkan arus dan tegangan tinggi yang cukup untuk kebutuhan sehari hari.

2.3.1. Prinsip Kerja Sel Fotovoltaik

Sel *fotovoltaik* 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.

Prinsip kerja semikonduktor sebagai sel *fotovoltaik* mirip dengan dioda sebagai *pn-junction*. *Pn-junction* adalah gabungan/lapisan semikonduktor jenis p dan n yang diperoleh dengan cara doping pada silikon murni. Pada semikonduktor jenis p, terbentuk *hole* (pembawa muatan listrik positif) yang jumlahnya lebih banyak dibandingkan jumlah elektronnya, sehingga *hole* merupakan pembawa muatan mayoritas, sedangkan elektron merupakan pembawa muatan minoritas. Demikian pula sebaliknya dengan semikonduktor jenis n. Bila bagian p dari *pn-junction* dihubungkan dengan kutub positif baterai dan bagian n dihubungkan dengan kutub negatif baterai, maka arus dapat mengalir melewati *pn-junction*. Kondisi ini disebut sebagai panjar maju. Bila hal sebaliknya dilakukan (panjar mundur), yaitu bagian n dari *pn-junction* dihubungkan dengan kutub positif baterai dan bagian p dihubungkan dengan kutub negatif baterai, maka arus tidak dapat mengalir melewati *pn-junction*. Akan tetapi, masih ada arus dalam ukuran sangat kecil yang masih dapat mengalir (dalam ukuran mikroamper) yang disebut dengan arus bocor (Jazari, 2018).

2.3.2. Jenis-jenis Sel Surya

Jenis-jenis sel surya digolongkan berdasarkan teknologi pembuatannya. Secara garis besar sel surya dibagi dalam tiga jenis, yaitu:

1. *Monocrystalline*

Merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini & menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik di tempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan (Hari Purwoto dkk, 2014).

2. *Polycrystalline*

Polycrystalline merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak. Tipe polikristal memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik pada saat mendung. Panel surya bermateri polikristal

dikembangkan atas alasan mahalannya materi monokristal per kilogram. Efisiensi konversi sel surya jenis polikristal berkisar antara 11,5%-14%.

Jenis ini terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dilebur / dicairkan kemudian dituangkan dalam cetakan yang berbentuk persegi. Kemurnian kristal silikonnya tidak semurni pada sel surya *monocrystalline*, karenanya sel surya yang dihasilkan tidak identik satu sama lain dan efisiensinya lebih rendah, sekitar 13%-16%. Tampilannya nampak seperti ada motif pecahan kaca di dalamnya. Bentuknya yang persegi, jika disusun membentuk panel surya, akan rapat dan tidak akan ada ruangan kosong yang sia-sia seperti susunan pada panel surya *monocrystalline* di atas. Proses pembuatannya lebih mudah di banding *monocrystalline*, karenanya harganya lebih murah. Jenis ini paling banyak dipakai saat ini (Sudarto, 2018).

3. *Thin Film Solar* (TFSC)

Jenis sel surya ini diproduksi dengan cara menambahkan satu atau beberapa lapisan material sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasar. Sel surya jenis ini sangat tipis karenanya sangat ringan dan fleksibel. Jenis ini dikenal juga dengan nama TFPV (*Thin Film Photovoltaic*). Sel surya *thin film* dibuat dengan menyimpan lapisan tipis bahan *fotovoltaik* pada bahan pendukung seperti kaca, plastik atau logam. Secara garis besar terdapat dua tipe *thin film solar cells* yaitu *amorphous silicon* dan *multijunction*. Anorganik *fotovoltaik* merupakan tipe sel surya yang terbuat dari bahan senyawa kimia. Terdapat tiga tipe Anorganik *fotovoltaik* yaitu *Gallium Arsenide* (GaAs), *Copper Indium Gallium Diselenide* (CIGS), dan *Cadmium Telluride* (CdTe). CdTe dan CIGS membutuhkan proteksi lebih dibandingkan dengan silicon agar data yang dioperasikan di luar ruangan bertahan dalam waktu yang lama (Lestari dkk, 2021)

2.4. **Komponen-Komponen Sistem PV**

2.4.1. *Solar Cell* (PV Cell)

Photovoltaic adalah alat yang dapat mengkonversi cahaya matahari secara langsung untuk diubah menjadi listrik. Kata *photovoltaic* biasa disingkat dengan PV. Bahan *semikonduktor* seperti *silicon*, *gallium arsenide*, dan *cadmium telluride*

atau *copper indium deselenide* biasanya digunakan sebagai bahan bakunya. *Solar cell crystalline* biasanya digunakan secara luas untuk pembuatan *solar cell*. Sebuah Sel Surya dalam menghasilkan energi listrik (energi sinar matahari menjadi *photon*) tidak tergantung pada besaran luas bidang Silikon, dan secara konstan akan menghasilkan energi berkisar ± 0.5 volt - max 600 mV pada 2 amp, dengan kekuatan radiasi solar matahari 1000 W/m^2 akan menghasilkan arus listrik (I) sekitar 30 mA/cm^2 per sel surya (Sukmajati dan Hafidz, 2015).

Ada 2 (dua) jenis modul surya yang paling populer yaitu jenis *crystalline silicon* dan *thin film*. Jenis *crystalline silicon* terbuat dari bahan silikon dan *thin film* sebagian besar terbuat dari bahan kimia. Jenis *crystalline* terdiri dari 2 (dua) jenis yaitu tipe *monocrystalline* dan *polycrystalline*. Masing-masing jenis memiliki efisiensi berbeda yaitu *monocrystalline* 14-16%, *polycrystalline* 13% – 15%. Modul surya thin film terdiri dari beberapa jenis yang dinamai sesuai dengan bahan dasarnya, seperti A-Si:H, CdTe dan CIGs. Rata-rata efisiensi modul surya jenis thin film 6,5% – 8%. Sehingga, dengan kapasitas yang sama, masing-masing jenis modul memiliki luas permodul yang berbeda, hal ini berimplikasi pada penyediaan lahan yang berbeda. Kapasitas modul surya yang dinyatakan dalam Wp dan tersedia dalam beberapa ukuran. Untuk penggunaan pembangkit, ukuran modul yang lazim digunakan adalah 80 – 300 Wp per modul. Untuk mendapatkan tegangan yang lebih besar, modul disusun secara seri dan untuk mendapatkan arus yang besar, modul disusun secara parallel (Sianipar, 2014).

2.4.2. Baterai / Aki

Baterai atau aki adalah penyimpan energi listrik pada saat matahari tidak ada. Secara garis besar, baterai dibedakan berdasarkan aplikasi dan konstruksinya. Berdasarkan aplikasi maka baterai dibedakan untuk *automotif*, *marine* dan *deep cycle*. Sedangkan secara konstruksi maka baterai dibedakan menjadi type basah, gel dan AGM (*Absorbed Glass Mat*). Baterai jenis AGM biasanya juga dikenal dgn VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*). Baterai yang cocok digunakan untuk PV adalah *baterai deep cycle lead acid* yang mampu menampung kapasitas 100 Ah, 12 V, dengan efisiensi sekitar 80%. Waktu pengisian baterai/aki selama 12 jam - 16 jam.

2.4.3. Inverter

Inverter adalah “jantung” dalam sistem suatu PLTS. *Inverter* berfungsi mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak balik (AC). Tegangan DC dari panel surya cenderung tidak konstan sesuai dengan tingkat radiasi matahari. Tegangan masukan DC yang tidak konstan ini akan diubah oleh *inverter* menjadi tegangan AC yang konstan yang siap digunakan atau disambungkan pada sistem yang ada, misalnya jaringan PLN. Parameter tegangan dan arus pada keluaran *inverter* pada umumnya sudah disesuaikan dengan standar baku nasional/internasional. Pemilihan jenis *inverter* dalam merencanakan PLTS disesuaikan dengan desain PLTS yang akan dibuat. Jenis *inverter* untuk PLTS disesuaikan apakah PLTS *On Grid* atau *Off Grid* atau Hibrid. *Inverter* untuk sistem *On Grid* (*On Grid Inverter*) harus memiliki kemampuan melepaskan hubungan (*islanding system*) saat grid kehilangan tegangan. *Inverter* untuk sistem PLTS hibrid harus mampu mengubah arus dari kedua arah yaitu dari DC ke AC dan sebaliknya dari AC ke DC. Oleh karena itu *inverter* ini lebih populer disebut *bi-directional inverter* (Sianipar, 2014).

2.5. Perancangan PLTS

Perancangan manual ini dilakukan untuk mengetahui beberapa nilai yang akan dijadikan parameter pada simulasi. Hasil perhitungan teoritis ini dijadikan pembandingan terhadap nilai yang dihasilkan dari simulasi Homer. Adapun tahap-tahap perancangan sistem PLTS, yaitu: (Sartika dkk, 2023)

a) Penentuan titik lokasi

Beberapa hal yang harus diperhatikan saat menentukan titik lokasi penempatan sistem PLTS yaitu kondisi fisik dari lokasi PLTS, menentukan titik koordinat lintang, bujur, ketinggian, menghitung total luas wilayah yang akan digunakan sebagai tempat peletakan panel, kemiringan serta sistem pemasangan PLTS dan beban daya yang terpasang pada lokasi tersebut. Untuk menentukan kapasitas sistem PLTS yang dirancang dapat menggunakan persamaan berikut:

$$P_{\text{peak}} = \frac{\text{Energi per hari}}{\text{Radiasi matahari rata-rata}}$$

Nilai P_{peak} perlu ditambahkan 15-25% karena sistem PLTS mengalami rugi-rugi.

b) Nilai radiasi matahari

Radiasi matahari adalah jumlah keseluruhan dari energi matahari yang diterima pada titik lokasi tertentu dalam satuan kWh/m²/hari. Pengukuran radiasi matahari dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu pengukuran secara langsung yang diambil selama siang hari dan pengukuran radiasi berdasarkan data dari satelit.

c) Nilai temperatur

Tegangan listrik keluaran dari sel surya tidak hanya bergantung pada besarnya intensitas radiasi yang diterima oleh permukaan panel, namun perubahan temperatur pada permukaan panel surya juga dapat menurunkan tegangan listrik keluaran dari sel surya. Sel surya dapat bekerja optimal pada saat temperatur konstan yaitu 25 °C. Jika temperatur sel surya meningkat di atas 25 °C, maka akan berpengaruh besar terhadap faktor pengisian sehingga tegangan akan menurun. Secara umum, temperatur permukaan panel surya dapat terjadi karena pengaruh temperatur lingkungan disekitarnya. Perubahan temperatur akan mengakibatkan perubahan sifat bahan silikon dari sel surya dalam menyerap energi foton akibat panas yang terkandung pada radiasi matahari (Sarna dkk. 2021).

d) Pemilihan Spesifikasi Panel Surya

Pemilihan panel surya sangat penting dalam perancangan sistem PLTS yang akan dibuat. Pemilihan panel surya ini dapat ditentukan berdasarkan efisiensi panel surya, area modul dan biaya perancangan. Untuk mengetahui berapa jumlah panel surya yang digunakan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Jumlah panel surya} = \frac{P_{PLTS \text{ yang dirancang}}}{P_{\text{Panel surya yang digunakan}}}$$

Penentuan kapasitas panel surya sebagai berikut (Hajr, Haddin, and Suprajitno 2022)

$$\text{Luas array} = \frac{EL}{G_{av} \times \eta_{PV} \times \eta_{out} \times FKT}$$

dimana:

EL = Besar energi yang akan di bangkitkan (kWh/hari)

G_{av} = Intensitas radiasi matahari (kWh/m² /hari)

η_{PV} = Efisiensi panel surya (%)

η_{out} = Efisiensi keluaran sistem (%), diasumsikan 0,95

FKT = Faktor koreksi temperatur (%)

Luas Array = Luas permukaan array surya (m^2)

FKT merupakan faktor koreksi temperatur yang mempengaruhi besarnya energi yang dihasilkan karena setiap kenaikan temperatur 1 °C (dari temperatur standarnya) pada panel surya, maka hal tersebut akan mengakibatkan daya yang dihasilkan oleh panel akan berkurang sekitar 0,5% sehingga kapasitas baterai yang dibutuhkan akan meningkat. Untuk mencari FKT digunakan rumus: (Widiarto and Samanhudi, 2023).

$$P_{\text{saat } t \text{ naik } ^\circ\text{C}} = 0,5\% \text{ per } ^\circ\text{C} \times P_{MPP} \times \Delta t$$

$$P_{MPP \Delta t ^\circ\text{C}} = P_{MPP} - P_{\text{saat } t \text{ naik } ^\circ\text{C}}$$

$$FKT = \frac{P_{MPP \text{ saat naik } t ^\circ\text{C}}}{P_{MPP}}$$

dimana:

P_{MPP} = Daya panel surya (W)

Δt = Selisih perubahan suhu

FKT = Faktor koreksi temperature

Untuk menentukan besar daya yang akan dibangkitkan:

$$P_{\text{wattpeak}} = \text{luas array} \times PSI \times \eta_{PV}$$

dimana:

P_{wattpeak} = Daya yang akan dibangkitkan PLTS (W)

Luas Array = Luas permukaan panel surya (m^2)

PSI = *Peak solar insolation* (1000 W/m^2)

η_{PV} = Efisiensi panel surya (%)

Untuk mengetahui jumlah panel bisa terpasang menggunakan persamaan: (Hajr dkk, 2022).

$$\text{Jumlah panel} = \frac{P_{\text{wattpeak}}}{P_{\text{max}}}$$

dimana:

P_{wattpeak} = Daya yang akan dibangkitkan PLTS (W)

$P_{\max}$ = Kapasitas daya maksimal panel surya (W)

f) Penentuan kapasitas baterai

untuk menentukan kapasitas baterai digunakan persamaan sebagai berikut :

$$C = \frac{N \times E_d}{V_s \times DOD \times \eta}$$

dimana:

C = Kapasitas baterai (Ampere-hour)

N = Jumlah hari otonomi

E_d = Konsumsi energi harian (kWh)

V_s = Tegangan baterai (Volt)

DOD = Kedalaman maksimum untuk pengosongan baterai (%)

η = Efisiensi baterai x efisiensi *inverter*

g) Pemilihan Spesifikasi *Inverter*

Inverter adalah rangkaian elektronika yang berfungsi sebagai pengubah tegangan DC ke tegangan AC dengan menggunakan frekuensi tertentu. Pemilihan *inverter* ini bergantung pada kapasitas sistem PLTS yang dirancang dan madanya yang khusus *on-grid*, *off-grid* ataupun hibrid. Untuk penentuan spesifikasi *inverter* sebuah sistem PLTS dapat menggunakan persamaan berikut:(Hajr dkk, 2022).

$$Capacity\ of\ inverter = Demand\ Watt \times Safety\ factor$$

dimana,

Demand Watt = Permintaan daya/daya output (W)

Safety factor = Faktor keamanan

Capacity of inverter = Kapasitas *Inverter*

h) Daya PLTS yang dapat dibangkitkan

Ketika merancang sebuah PLTS, jenis panel surya dan jenis *inverter* harus diperhatikan karena untuk menghasilkan produksi daya keluaran yang optimal pada rangkaian sistem PLTS maka array panel surya harus disesuaikan dengan *inverter*.

Konfigurasi rangkaian array dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut:

$$\begin{aligned}V_{\text{mpp array}} &= V_{\text{mp}} \times \text{Jumlah seri} \\I_{\text{mpp array}} &= I_{\text{mp}} \times \text{Jumlah paralel} \\P_{\text{mpp}} &= V_{\text{mpp}} \times I_{\text{mpp}}\end{aligned}$$

dimana,

- V_{mpp} = Tegangan maksimum array
- I_{mpp} = Arus maksimum array
- P_{mpp} = Daya maksimum array
- V_{mp} = Tegangan maksimum panel surya
- I_{mp} = Arus maksimum panel surya

2.6. Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi ini dilakukan untuk mengetahui kelayakan investasi sistem PLTS dari sudut pandang ekonomi. Analisis aspek ekonomi dari sistem PLTS ini terdiri dari analisis biaya yang meliputi biaya investasi awal, biaya operasional dan perawatan, dan biaya pergantian komponen, biaya siklus hidup, *levelized cost of energy*, aliran kas masuk, aliran kas keluar, aliran kas bersih, *net present value* dan *payback period*.

a) Net Present Value (NPV)

NPV digunakan untuk mengevaluasi kelayakan sebuah sistem PLTS yang dirancang. Hasil NPV dipengaruhi oleh aliran kas bersih dan nilai investasi awal. Aliran kas bersih merupakan uang yang dihasilkan oleh sistem PLTS setelah dipotong oleh aliran kas keluar. Untuk menghitung nilai aliran kas bersih dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Aliran kas bersih} = \text{kas masuk} - \text{kas keluar}$$

Aliran kas masuk pada penelitian ini diasumsikan sebagai aliran uang yang masuk setiap tahunnya selama sistem PLTS beroperasi. Aliran uang masuk ini dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$\text{Cash flow benefit} = \text{LCoE} \times \text{produksi energi PLTS}$$

$$\text{LCoE} = \frac{\text{LCC} \times \text{CRF}}{\text{kWh}}$$

$$CRF = \frac{i \times (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

dimana:

Lcoe : Biaya energi (Rp/kWh)

LCC : Biaya siklus hidup

CRF : Faktor pemulihan modal

n : Periode dalam tahun (umur investasi)

i : Tingkat diskonto

Sedangkan aliran kas keluar merupakan uang yang dikeluarkan pada setiap tahunnya selama sistem PLTS beroperasi yang terdiri dari biaya operasional dan perawatan.

Jika nilai NPV bernilai positif, maka sistem PLTS yang dirancang memperoleh keuntungan dan sebaliknya jika nilai NPV bernilai negatif maka rancangan sistem PLTS tersebut menimbulkan kerugian sehingga tidak layak untuk diimplementasikan. Nilai NPV dihitung dengan persamaan berikut:

$$NPV = \sum_t^n \frac{NFC_t}{(1 + i)^t} - \text{investasi awal}$$

dimana :

NPV : *Net Present Value*

NFC_t : Arus kas bersih selama masa umur teknis PLTS

n : Periode dalam tahun (umur investasi)

i : Tingkat diskonto

b) *Payback period*

Payback Period adalah salah satu parameter yang digunakan untuk menghitung waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan suatu nilai investasi. Satuan yang digunakan adalah tahun, bulan dan hari. *Payback Period* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Nilai investasi}}{\text{total kas bersih}} \times 1 \text{ tahun}$$

Sebagai salah satu penentu kelayakan, jika nilai *Payback Period* yang dihasilkan lebih lama dari waktu yang ditentukan pada rencana awal maka perencanaan pembangunan sistem PLTS tersebut dapat ditolak. Namun, jika

waktunya singkat maka perencanaan pembangunan sistem PLTS tersebut dapat diterima (Sartika dkk, 2023).

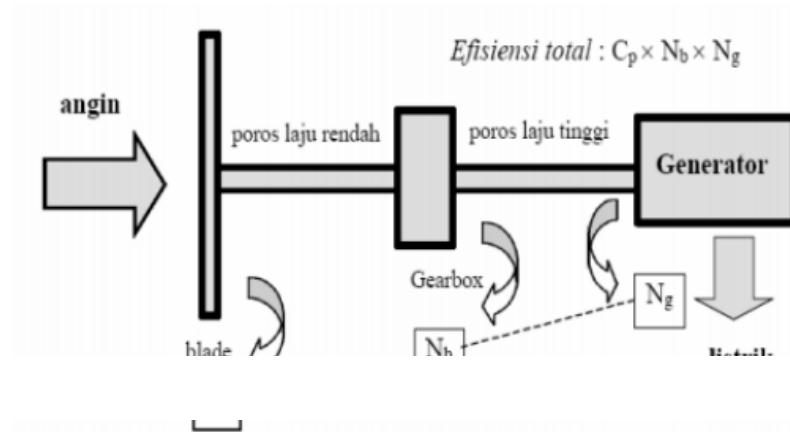
2.7. Energi angin

Pada dasarnya energi angin terjadi karena ada perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin pada beberapa tempat di muka bumi. Oleh karena itu, Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki sumber energi angin yang baik. Indonesia yang dilewati khatulistiwa merupakan daerah yang panas, maka udaranya menjadi panas, mengembang dan menjadi ringan, bergerak ke arah kutub yang lebih dingin. Sebaliknya di daerah kutub yang dingin, udaranya menjadi dingin dan turun ke bawah. Dengan demikian perputaran udara terjadi berupa perpindahan udara dari Kutub Utara ke Garis Khatulistiwa, dan sebaliknya. Pada prinsipnya bahwa angin terjadi karena adanya perbedaan suhu udara pada beberapa tempat di muka bumi.

2.8. Turbin Angin

Energi listrik dihasilkan dari energi gerak angin yang menggerakkan kincir sehingga menjadi energi putar pada kincir angin yang dipengaruhi oleh efisiensi kincir tersebut. Kemudian putaran kincir tersebut digunakan untuk memutar *gearbox* dan dipengaruhi efisiensi *gearbox* tersebut. *Gearbox* membuat putaran menjadi lebih besar dari sebelumnya, sehingga dapat memutar generator lebih baik. Efisiensi generator akan mempengaruhi perputaran dari generator. Hal tersebut disebut prinsip dasar kerja dari turbin angin. Generator merupakan salah satu

komponen yang akan menghasilkan listrik pada rangkaian turbin angin. Gambar berikut adalah prinsip kerja turbin angin.



Gambar 1 Prinsip Kerja Turbin Angin

Turbin angin pada prinsipnya dapat dibedakan menjadi dua jenis turbin berdasarkan arah putarannya yaitu:

a) Horizontal Axis Wind Turbine (HWAT)

HWAT atau *Horizontal Axis Wind Turbine* merupakan jenis turbin angin horisontal yang design mirip dengan kincir angin, memiliki *blade* yang mirip *propeler* dan berputar pada sumbu vertikal. Turbin angin ini memiliki shaft rotor dan generator yang terletak dipuncak tower dan harus diarahkan sesuai dengan arah angin bertiup. Pada turbin berukuran kecil memiliki *wind plane* yang berguna untuk mengarahkan turbin ke arah angin bertiup. Sedangkan pada turbin yang berukuran besar dilengkapi dengan sensor yang terhubung dengan motor *servo* untuk mengarahkan *blade* sesuai dengan arah angin bertiup. Turbin angin horizontal ini memiliki postur bangunan yang sangat tinggi. Hal ini berguna untuk mendapatkan kekuatan angin yang lebih besar. Sehingga memiliki efisiensi yang besar, karena *blade* selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin (Pangampe, 2024).

b) Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)

VAWT atau *Vertical Axis Wind Turbine* merupakan turbin angin yang memiliki shaft rotor vertikal. Fungsi utama dari penempatan rotor ini adalah agar turbin angin tidak perlu diarahkan ke arah angin bertiup. Hal ini

sangat berguna untuk daerah yang memiliki intensitas angin yang variatif. Dengan sumbu vertikal, generator dan komponen lainnya dapat ditempatkan dekat dengan permukaan tanah. Sehingga tidak diperlukan tower yang sangat tinggi. Turbin angin jenis ini memiliki kecepatan *startup* angin yang lebih kecil dibandingkan dengan turbin angin horizontal. Sehingga efisiensi tidak sebesar turbin angin horizontal karena tidak memanfaatkan kekuatan angin yang lebih besar (Pradana, 2018).

2.9. Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Secara umum Pembangkit listrik tenaga angin adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit ini dapat mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Sistem pembangkitan listrik menggunakan angin sebagai sumber energi merupakan sistem alternatif yang sangat berkembang pesat, mengingat angin merupakan salah satu energi yang tidak terbatas di alam.

Jenis pembangkit listrik dengan memanfaatkan energi kinetik angin. Angin nanti nya akan menerpa permukaan bilah yang merupakan komponen dari pembangkit itu sendiri dan memutar bagian rotor generator, putaran tersebut menghasilkan perubahan *fluks* magnetik pada stator dimana lilitan tembaga berada. Berdasarkan fenomena yang di temukan Michael Faraday dimana perubahan *fluks* magnetik terhadap lilitan tembaga, maka tegangan pun didapat dari energi kinetik dari angin menjadi energi listrik (Tama 2018).

2.10. Sistem Konversi Energi Angin Menjadi Energi Listrik

Udara yang bergerak memiliki massa, kerapatan dan kecepatan. Sehingga angin mempunyai energi kinetik dan energi potensial. Namun, faktor kecepatan lebih dominan dibandingkan dengan massa. Hal ini menyebabkan energi kinetik lebih dominan daripada energi energi potensial.

Perpindahan molekul-molekul pada udara memiliki energi kinetik, sehingga molekul pada udara akan berpindah melalui luasan selama selang waktu tertentu menentukan besarnya daya. Luasan ini merupakan bukan luas dari permukaan bumi

melainkan luasan yang tegak. Perbedaan topografi atau ketinggian dapat menyebabkan potensi angin yang berbeda, dan karena daya angin sebanding dengan kecepatan angin pangkat tiga, perbedaan kecepatan angin yang kecil pun akan menghasilkan perbedaan daya yang besar. Kondisi dan kecepatan angin dapat digunakan untuk menentukan tipe dan ukuran rotor. Kecepatan angin mulai dari 3 m/s dapat digunakan untuk menggerakkan turbin angin propeler kecil, di atas 5 m/s untuk turbin angin menengah dan di atas 6 m/s untuk turbin angin dengan skala besar. Dengan demikian pada sistem pembangkit tenaga angin memanfaatkan kecepatan pergerakan angin untuk dapat menghasilkan energi listrik.

Energi angin merupakan salah satu energi alternatif yang mempunyai prospek yang sangat baik karena selalu tersedia di alam, dan merupakan sumber energi yang bersih dan terbarukan. Proses memanfaatkan energi angin melalui dua tahapan konversi yaitu:

- a. Aliran angin akan menggerakkan rotor (baling-baling) yang akan menyebabkan rotor berputar selaras dengan tiupan angin.
- b. Putaran dari rotor dihubungkan dengan generator sehingga dapat dihasilkan listrik.

Dengan demikian energi kinetik atau angin yang disebabkan oleh kecepatan angin untuk dimanfaatkan memutar sudu-sudu kincir angin (Pradana, 2018).

2.11. Net Present Cost (NPC)

Net Present Cost (NPC) adalah biaya total dari semua biaya pemasangan dan pengoprasian komponen selama masa proyek berlangsung. (Yoga, 2018).

$$NPC = Capital Costs + Replacement Cost + O\&M Cost + Fuel Costs - Salvage$$

dimana:

Capital Costs = Biaya modal komponen (Rupiah).

Replacement Costs = Biaya pergantian komponen (Rupiah).

O&M Costs = Biaya oprasional dan perawatan (Rupiah).

Fuel Costs = Biaya bahan bakar (Rupiah).

Salvage = Biaya yang tersisa pada komponen (Rupiah)

2.12. Cost Of Energy

Cost of Energy (COE) merupakan biaya yang diperlukan untuk menghasilkan tiap 1 kWh energi listrik yaitu, hasil pembagian antara biaya tahunan dengan produksi energi tahunan oleh pembangkit cadangan sistem hibrid. Nilai COE dari masing-masing skenario menggunakan Persamaan : (Yoga 2018).

$$COE = \frac{TAC}{E_{tot.served}}$$

dimana:

$E_{tot.served}$ = Total energi tahunan yang digunakan untuk melayani beban (kWh).

TAC = Total *annanualize cost* atau biaya total tahunan yang dikeluarkan untuk pembangkit cadangan.

2.13. HOMER (*Hybrid Optimization Model For Energy Renewables*)

HOMER adalah model perangkat lunak yang dikembangkan oleh *The National Renewable Energy Laboratory* (NREL) Amerika Serikat dengan tujuan optimasi sistem pembangkit listrik, HOMER dilengkapi dengan output estimasi ukuran/kapasitas sistem, *lifecycle cost*, dan emisi gas 4 rumah kaca. Perangkat lunak HOMER *microgrid* memberikan simulasi kronologis yang rinci dan optimasi dalam suatu model yang relatif sederhana dan mudah digunakan. Hal ini disesuaikan dengan berbagai macam proyek. Untuk sistem listrik desa atau skala *power system*, HOMER dapat digunakan untuk dua faktor, yaitu bagian teknis dan ekonomi dalam proyek yang sedang dikerjakan. Untuk sistem yang lebih besar, HOMER dapat memberikan gambaran penting yang membandingkan biaya dan kelayakan konfigurasi yang berbeda, sehingga desainer dapat menggunakan perangkat lunak yang lebih khusus untuk model kinerja teknis. Analisis sensitivitas HOMER membantu menentukan dampak potensial dari faktor yang tidak pasti seperti harga bahan bakar atau kecepatan angin pada sistem tertentu

HOMER adalah *software* model simulasi yang mensimulasikan sistem yang layak untuk semua kemungkinan kombinasi peralatan yang dipertimbangkan pertimbangkan. Homer bekerja berdasarkan 3 hal, yaitu simulasi, optimasi, dan

analisa sensitifitas. Ketiga hal tersebut bekerja secara beruntun dan memiliki fungsi masing-masing, sehingga didapat hasil yang optimal.

2.14. Penelitian Terkait

Tabel 1 Penelitian Terkait

No	Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Tega Krisna Yoga. 2018	Studi ekonomi sistem penyedia cadangan daya hybrid bayu-diesel (studi kasus: di <i>Hotel Queen Of The South Beach Resort</i>)	Pemanfaatan skala menengah dengan kecepatan angin rata-rata tahunan dari 4,0-5,0 m/s adalah antara kecil dan besar, contoh aplikasinya adalah hybrida turbin angin dan pembangkit diesel yang disebut dengan <i>wind-diesel</i> . Hasil simulasi didapat kesimpulan sebagai berikut: Melalui studi ekonomi sistem penyedia cadangan daya di <i>Hotel Queen of The South Beach Resort</i> menggunakan perangkat lunak HOMER menunjukkan hasil bahwa sistem penyedia cadangan <i>hybrid</i> bayu-diesel terbukti lebih ekonomis dibandingkan dengan menggunakan generator diesel untuk nilai ekonomi tahunannya, dimana <i>annual cost</i> berkurang sebesar Rp201.544.133 atau 26,89%.
2.	Ganda Hartawan Sihotang, 2019.	Perencanaan pembangkit listrik tenaga surya rooftop di hotel kini pontianak	Dari hasil penelitian, analisis teknis dan analisis ekonomis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya <i>Rooftop</i> di Hotel Kini Pontianak diperoleh beberapa kesimpulan yaitu: 1. Komponen panel surya dirancang untuk diletakkan pada bagian atap dengan kemiringan 0 derajat (mendatar). 2. Data radiasi dan suhu matahari kota pontianak hanya menggunakan data 1 hari yaitu pada

No	Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
			tanggal 20 januari 2019. 3. Berdasarkan jumlah panel surya yang terpasang sebanyak 270 dengan masing-masing keluaran daya panel surya 443,92 Watt/hari mampu memproduksi listrik sebesar 119,857946 kWh/hari dan daya yang dihasilkan selama 1 tahun sebesar 43.748,15 kWh/tahun. 4. Harga per 1 kWh PLTS rooftop menggunakan harga yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri ESDM No.49 tahun 2018 yaitu Rp 1.467,28 per kWh. 5. Dari pengolahan alur kas PLTS menunjukkan bahwa dengan perkiraan umur sistem PLTS selama 20 tahun dengan tingkat suku bunga 11% mendapatkan arus kas total sebesar Rp 425.130.239 6. Analisis ekonomis dengan metode <i>net present value</i> (NPV) bernilai negatif dimana selisih arus kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal sebesar Rp 651.236.761 sehingga dengan analisis NPV proyek ini tidak layak untuk diterapkan.