



PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK

Instalasi dan Prinsip Kerja



Muh. Rais ■ Ritnawati ■ Rizki Wahyu P ■ Irwan Syarif
Ahmad Thamrin Dahri ■ Rosihan Aminuddin ■ Erdawaty
Sarman ■ Rosnita Rauf ■ Rahmi Berlianti ■ Berlianti



PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK

Instalasi dan Prinsip Kerja

UU 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Tentang diperhaluskannya Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi

Pendataan Perihal Pasal 26

Kategori sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 adalah sebagai berikut:

- penggunaan layanan dengan Ciptaan elektronik melalui Hak Terkait untuk penggunaan pribadi atau yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi atau;
- Penggunaan Ciptaan elektronik melalui Hak Terkait hanya untuk keperluan penelitian atau pengetahuan;
- Penggunaan Ciptaan elektronik melalui Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, keolah-olahan dan Program yang tidak dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar atau
- penggunaan untuk keperluan penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan yang menggunakan suatu Ciptaan elektronik melalui Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyanyi.

Sanksi Pidana Pasal 113

- Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h atau Penggunaan Secara Komersial sebagaimana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah);
- Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g atau Penggunaan Secara Komersial sebagaimana dengan pidana penjara paling lama 2 (dua) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah);

Pembangkit Energi Listrik: Instalasi dan Prinsip Kerja

Muh. Rais, Ritnawati, Rizki Wahyu P, Irwan Syarif
Ahmad Thamrin Dahri, Rosihan Aminuddin, Erdawaty
Sarman, Rosnita Rauf, Rahmi Berlianti, Berlianti



Penerbit Yayasan Kita Menulis

Pembangkit Energi Listrik: Instalasi dan Prinsip Kerja

Copyright © Yayasan Kita Menulis, 2024

Penulis:

Muh. Rais, Ritnawati, Rizki Wahyu P, Irwan Syarif
Ahmad Thamrin Dahri, Rosihan Aminuddin, Erdawaty
Sarman, Rosnita Rauf, Rahmi Berlianti, Berlianti

Editor: Janner Simarmata

Desain Sampul: Devy Dian Pratama, S.Kom.

Penerbit

Yayasan Kita Menulis

Web: kitamenulis.id

e-mail: press@kitamenulis.id

WA: 0821-6453-7176

IKAPI: 044/SUT/2021

Muh. Rais., dkk.

Pembangkit Energi Listrik: Instalasi dan Prinsip Kerja

Yayasan Kita Menulis, 2024

xiv; 176 hlm; 16 x 23 cm

ISBN: 978-623-113-150-8

Cetakan 1, Februari 2024

- I. Pembangkit Energi Listrik: Instalasi dan Prinsip Kerja
- II. Yayasan Kita Menulis

Katalog Dalam Terbitan

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak maupun mengedarkan buku tanpa
izin tertulis dari penerbit maupun penulis

Kata Pengantar

Buku ini merupakan pengantar yang berfungsi untuk memberikan penjelasan rinci dan lengkap tentang pembangkit listrik. Dalam pengantar yang sangat informatif ini, pembaca akan diperkenalkan dengan berbagai konsep dasar tentang bagaimana pembangkit listrik bekerja dan bagaimana pentingnya peran mereka dalam melayani kebutuhan energi masyarakat modern. Selain itu, akan diuraikan pula mengenai berbagai jenis pembangkit listrik hingga pembangkit nuklir yang semuanya memiliki peran penting dalam menyokong stabilitas energi dunia. Buku ini juga bertujuan untuk memberikan wawasan mendalam tentang tantangan dan keuntungan yang terkait dengan penggunaan energi terbarukan serta menggali potensi inovasi di bidang pembangkit listrik.

Melalui pembacaan buku ini, pembaca akan dapat mengembangkan pemahaman yang mendalam tentang berbagai aspek terkait di bidang pembangkit listrik dan memahami betapa pentingnya mendukung dan berkontribusi dalam upaya transformasi energi. Selengkapnya, penuhilah keingintahuan Anda dan bersiaplah memasuki dunia yang luas dan menarik tentang pembangkit listrik. Dalam buku ini, penulis akan memberikan perspektif yang lebih mendalam tentang sejarah pembangkit listrik dan evolusi teknologi yang telah terjadi selama berabad-abad.

Pembaca akan diajak untuk memahami bagaimana orang-orang pada masa lampau menggunakan sumber energi yang berbeda untuk memenuhi kebutuhan listrik mereka. Selain itu, pembaca juga akan menjumpai penjelasan yang lebih rinci tentang proses pembangkitan listrik dari masing-masing jenis pembangkit, termasuk penjelasan tentang komponen-komponen penting yang terlibat dalam pembangunan dan operasionalnya. Buku ini juga akan mengupas tuntas berbagai permasalahan lingkungan yang terkait dengan pembangkit listrik konvensional. Pembaca akan mengetahui dampak negatif yang

dihasilkan, seperti polusi udara dan pencemaran lingkungan, serta upaya-upaya yang telah dilakukan untuk mengurangi dampak tersebut. Selain itu, pembaca juga akan diberikan informasi tentang upaya global untuk beralih ke sumber energi terbarukan sebagai solusi yang lebih ramah lingkungan. Selain mengulas masalah lingkungan, buku ini juga akan menceritakan tentang bagaimana pembangkit listrik telah membantu mendorong pertumbuhan ekonomi dan pembangunan infrastruktur.

Pembaca akan mendapatkan wawasan tentang dampak ekonomi yang dihasilkan oleh industri pembangkit listrik, termasuk peningkatan lapangan kerja dan kerjasama antar negara dalam perdagangan energi. Tidak hanya itu, penulis juga akan membahas teknologi-teknologi terkini yang sedang dikembangkan dalam bidang pembangkit listrik. Pembaca akan mendapatkan pengetahuan tentang teknologi energi terbarukan yang sedang berkembang, seperti penggunaan energi matahari dalam skala besar dan sistem penimbunan energi untuk mengatasi ketidakstabilan pasokan listrik. Dalam rangka memberikan pemahaman yang lebih komprehensif, buku ini juga akan memberikan studi kasus dari berbagai proyek pembangunan pembangkit listrik di seluruh dunia. Pembaca akan dapat melihat contoh-contoh nyata tentang bagaimana pembangkit listrik telah berhasil meningkatkan kualitas hidup masyarakat dan membantu mengatasi tantangan energi di berbagai wilayah.

Terakhir, buku ini akan merangkum secara keseluruhan gagasan utama yang telah dijelaskan sebelumnya, serta memberikan tinjauan terhadap arah masa depan pembangkit listrik. Pembaca akan diundang untuk memikirkan inovasi dan solusi yang dapat merubah industri pembangkit listrik menjadi lebih efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Dengan demikian, setelah membaca buku ini, pembaca akan memiliki pengetahuan dan pemahaman yang lebih mendalam tentang pembangkit listrik, serta dapat berkontribusi dalam pengembangan dan penggunaan energi terbarukan demi masa depan yang lebih baik. Jadi, jangan lewatkan kesempatan untuk menjelajahi dunia yang luas dan menarik tentang pembangkit listrik melalui buku ini!

s

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel.....	

Bab 1 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

1.1 Pengertian PLTD	1
1.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Diesel	3
1.3 Keuntungan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel	5
1.4 Kerugian Pembangkit Listrik Tenaga Diesel	8
1.5 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Diesel	11
1.5.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Diesel	11
1.6 Pertumbuhan PLTD di Indonesia.....	13

Bab 2 Pembangkit Listrik Tenaga Air

2.1 Mengenal Pembangkit Listrik Tenaga Air	17
2.2 Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Air	20
2.3 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air	23

Bab 3 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

3.1 Pengantar Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).....	29
3.1.1 Sejarah dan Perkembangan PLTB.....	29
3.1.2 Prinsip Dasar Pembangkitan Listrik dari Energi Angin	30
3.2 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)	32
3.2.1 Turbin Angin	32
3.2.2 Generator Listrik	34
3.2.3 Sistem Transmisi	35
3.3 Teknologi dan Inovasi dalam Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)..	36
3.3.1 Teknologi Terkini dalam Turbin Angin	36
3.3.2 Inovasi dalam Efisiensi Energi.....	37
3.3.3 Pengembangan Berkelanjutan PLTB	38
3.4 Instalasi dan Pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) .	39
3.4.1 Persiapan dan Perencanaan Instalasi.....	39
3.4.2 Proses Pemasangan dan Pengoperasian	39

3.4.3 Pemeliharaan dan Keselamatan Kerja	40
3.5 Analisis Efisiensi dan Produktivitas Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)	41
3.5.1 Faktor-faktor yang Memengaruhi Efisiensi	41
3.5.2 Pengukuran dan Evaluasi Produktivitas	41
3.5.3 Studi Kasus: PLTB di Berbagai Negara.....	42
3.6 Dampak Lingkungan dan Sosial dari Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)	43
3.6.1 Dampak Positif terhadap Lingkungan.....	44
3.6.2 Tantangan dan Solusi dalam Aspek Sosial	44
3.6.3 Strategi Pengelolaan Dampak Lingkungan.....	45
3.7 Kebijakan dan Regulasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)	45
3.7.1 Kebijakan Energi Terbarukan di Indonesia.....	46
3.7.2 Regulasi yang Mengatur PLTB	46
3.7.3 Tantangan dan Peluang dalam Kebijakan PLTB	47
3.8 Kesimpulan dan Masa Depan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) ..	47
3.8.1 Ringkasan Temuan Utama	47
3.8.2 Prediksi Tren Masa Depan PLTB.....	48
3.8.3 Saran dan Rekomendasi untuk Pengembangan PLTB	48
Bab 4 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)	
4.1 Prinsip Kerja PLTU.....	49
4.2 Komponen Utama PLTU.....	50
4.3 Jenis Pembangkit Listrik Tenaga Uap	52
4.3.1 Pembangkit Listrik Uap Konvensional	52
4.3.2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap Nuklir	53
4.3.3 Pembangkit Listrik Tenaga Uap Berbasis Energi Terbarukan	54
4.4 Kelebihan Pembangkit Listrik Tenaga Uap	56
4.5 Inovasi dan Pengembangan	57
Bab 5 Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)	
5.1 Sejarah Singkat Turbin Gas	59
5.2 Pengertian PLTGU	60
5.3 Siklus Kombinasi (Combined Cycle).....	60
5.4 Prinsip Kerja PLTGU.....	63
5.5 Bagian-bagian PLTGU	64
5.5.1 Turbin Gas	64
5.6 Variasi Siklus PLTGU	67

Bab 6 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

6.1 Definisi Mikrohidro.....	71
6.1.1 Prinsip Kerja Mikrohidro	71
6.2 Komponen Utama Mikrohidro.....	73
6.3 Kelebihan Pembangkit Listrik Mikrohidro	77
6.4 Peran dalam Pembangunan Berkelanjutan.....	79

Bab 7 Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

7.1 Pendahuluan.....	83
7.2 Sistem Pembakaran	87
7.3 Mesin Gas Wartsilla	88
7.4 Komponen-Komponen Utama PLTMG	89
7.5 Prinsip-Prinsip Kerja PLTG	90
7.5.1 Alat Bantu pada Boiler	93
7.5.2 Alat-alat bantu pada Turbin.....	95

Bab 8 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

8.1 Pendahuluan.....	97
8.1.1 Latar Belakang Pentingnya Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP).....	100
8.1.2 Potensi Panas Bumi di Dunia.....	102
8.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP).....	105
8.2.1 Pemanfaatan Energi Panas Bumi.....	105
8.2.2 Proses Pembangkitan Listrik dari Panas Bumi.....	107
8.2.3 Jenis-jenis Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP).....	109
8.3 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)	112
8.3.1 Sumur Panas Bumi	113
8.3.2 Turbin	114
8.3.3 Generator	116

Bab 9 Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro

9.1 Rencana Implementasi	121
9.1.1 Langkah Awal Konstruksi.....	122
9.1.2 Tahap Konstruksi	125
9.1.3 Tahap Operasional dan Pemeliharaan PLTM.....	127
9.2 Analisa Finansial Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro	130
9.3 Studi Analisa Dampak Lingkungan.....	132

Bab 10 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

10.1 Pendahuluan.....	135
10.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	136
10.3 Komponen Utama Sistem PLTS	137
10.3.1 Panel Surya (Solar Panel).....	137
10.3.2 Inverter.....	140
10.3.3 Solar Charge Controller (SCC).....	141
10.3.4 Baterai.....	143
10.4 Klasifikasi PLTS	146
10.4.1 Klasifikasi Berdasarkan Sistem Pemasangan	146
10.4.2 Klasifikasi Berdasarkan Teknologi Pemasangannya	149

Bab 11 Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm)

11.1 Biomassa dan Potensi	151
11.2 Konversi Energi Biomassa	153
11.3 Instalasi dan Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm).....	155
11.3.1 Pembangkit Listrik dengan Penggerak Turbin (rankine cycle)...	155
11.3.2 Pembangkit Listrik Biomassa terhubung ke penggerak Engine (Otto cycle)	156
Daftar Pustaka	161
Biodata Penulis	171

Daftar Gambar

Gambar 2.1: Skema PLTA (Tennessee Valley Authority).....	22
Gambar 3.1: Pembangkit listrik tenaga bayu (a) HAWT-Horizontal Axis Wind Turbines, (b) VAWT-Vertical Axis Wind Turbines.....	33
Gambar 5.1: Siklus Gabungan (Combined Cycle).....	61
Gambar 5.2: Siklus Brayton, Siklus Rankine dan Siklus Gabungan	61
Gambar 5.3: Diagram Combined Cycle	62
Gambar 5.4: Diagram Cogeneration Cycle	62
Gambar 5.5: Combined Cycle Power Plant (PLTGU)	63
Gambar 5.6: Siklus air uap PLTGU Gresik (Modul Pusat Pendidikan PLN) ..	64
Gambar 5.7: Siklus air uap PLTGU Priok (Modul Pusat Pendidikan PLN64	
Gambar 5.8: Kompresor Utama.....	65
Gambar 5.9: Ruang Bakar (Combustion Chamber & Gas Turbine)	65
Gambar 5.10: HRSG (Heat Recovery Steam Generator).....	66
Gambar 5.11: PLTGU dengan PLTG digabung dengan peleburan besi.....	67
Gambar 5.12: PLTGU dengan turbin gas berbahan bakar batubara.....	67
Gambar 5.13: Diagram PLTGU dengan konfigurasi 1 – 1 – 1	68
Gambar 5.14: Diagram PLTGU dengan konfigurasi 2 – 2 – 1	68
Gambar 5.15: Diagram PLTGU dengan konfigurasi 3-3-1.....	69
Gambar 7.1: Skematik Sistem Bahan Bakar Pada PLTMG.....	88
Gambar 7.2: Mesin PLTMG Wartsilla	88
Gambar 7.3: Unit BBM.....	90
Gambar 7.4: Prinsip Kerja PLTG.....	90
Gambar. 8.1: Pembangkit Listrik Geothermal.....	99
Gambar 8.2: Daerah-daerah Dunia yang dilewati oleh Jalur Cincin Api	102
Gambar 8.3: Posisi Indonesia di cincin Api Pasifik	103
Gambar 8.4: Flash Steam Power Plant.....	110
Gambar 8.5: Binary Cycle Power Plant.....	111
Gambar 8.6: Dry Steam Power Plant	111
Gambar 8.7: Sumur panas bumi	113
Gambar. 8.8: Prinsip Kerja Turbin Uap.....	115
Gambar. 8.9: Kontruksi Generator DC	117

Gambar 8.10: Konstruksi Generator AC	118
Gambar 9.1: Bendungan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro.....	122
Gambar 9.2: Site Plan Pada Power House.....	123
Gambar 9.3: Sistem pengopersaian dan Pemeliharaan pada PLTM	128
Gambar 10.1: Diagram Instalasi PLTS.....	136
Gambar 10.2: Prinsip Sel Surya.....	137
Gambar 10.3: Panel Surya	138
Gambar 10.4: Jenis Panel Surya	139
Gambar 10.5: Jenis-jenis Inverter.....	141
Gambar 10.6: Jenis SCC	143
Gambar 10.7: Baterai Asam Timbal	143
Gambar 10.8: Baterai Ion Litium	144
Gambar 10.9: Baterai Nikel Kadmium	145
Gambar 10.10: Baterai Nikel Besi.....	145
Gambar 10.11: sistem PLTS Terpusat	147
Gambar 10.12: sistem PLTS Off-grid.....	147
Gambar 10.13: sistem PLTS ON-grid	148
Gambar 10.14: Sistem PLTS Hybrid.....	148
Gambar 10.15: PLTS Rooftop.....	149
Gambar 10.16: PLTS Ground-Mounted.....	150
Gambar 10.17: PLTS Floating.....	150
Gambar 11.1: Sumber energi Biomassa dan material yang dihasilkan	152
Gambar 11.2: Skema Teknologi Konversi Energi dari sumber Biomassa ..	153
Gambar 11.3: Instalasi PLTBm Proses pembakaran dengan penggerak Turbin (rankine cycle)	155
Gambar 11.4: Instalasi PLTBm proses pemanasan pirolisis gas sintetis terhubung ke penggerak engine (otto cycle).....	157
Gambar 11.5: Instalasi PLTBm proses gasifikasi gas sintetis terhubung ke penggerak engine (otto cycle).....	157
Gambar 11.6: Instalasi PLTBm proses ekstraksi biji tumbuhan – bio diesel, terhubung ke penggerak engine (otto cycle)	158
Gambar 11.7: Instalasi PLTBm proses fermentasi alkohol– bio etanol, terhubung ke penggerak engine (otto cycle)	159
Gambar 11.8: Instalasi PLTBm proses fermentasi metan– biogas, terhubung ke penggerak engine (otto cycle).....	159

Daftar Tabel

Tabel 3.1: Analisa SWOT PLTB	43
Tabel 8.1: Potensi Panas Bumi Indonesia per provinsi.....	105

Bab 1

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

1.1 Pengertian PLTD

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel adalah sistem pembangkit listrik yang sangat penting dalam dunia energi, karena menggunakan mesin diesel sebagai sumber energi utamanya. Mesin diesel tersebut digunakan untuk menggerakkan generator listrik yang akan menghasilkan energi listrik yang dibutuhkan oleh banyak orang. Dalam pembangkit listrik tenaga diesel, bahan bakar yang digunakan adalah solar atau diesel oil, yang dapat dengan mudah diakses dan digunakan secara efisien. Sistem ini umumnya digunakan di daerah yang tidak terhubung dengan jaringan listrik pusat atau sebagai sumber daya cadangan saat terjadi pemadaman listrik yang tak terduga.

Sistem pembangkit listrik tenaga diesel ini memiliki komponen-komponen utama yang sangat penting. Tentu saja, yang pertama adalah mesin diesel yang berfungsi mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanik. Mesin ini bekerja dengan menggunakan prinsip siklus kerja empat langkah, yaitu langkah hisap, langkah kompresi, langkah pembakaran, dan langkah buang. Dengan menggunakan siklus kerja ini, mesin diesel dapat menghasilkan energi mekanik yang sangat kuat untuk menggerakkan

generator listrik. Selain mesin diesel, sistem pembangkit listrik tenaga diesel ini juga dilengkapi dengan generator listrik yang memiliki peran yang sangat penting. Generator ini berperan dalam mengubah energi mekanik yang dihasilkan oleh mesin diesel menjadi energi listrik yang siap digunakan oleh banyak pengguna.

Prinsip kerja generator ini terletak pada pergerakan medan magnet yang berputar di sekitar kumparan. Ketika medan magnet bergerak, akan terjadi induksi elektromagnetik yang menghasilkan aliran listrik yang sangat kuat dan berguna. Untuk menjaga agar sistem pembangkit listrik tenaga diesel ini berfungsi dengan baik, perlu dilakukan pemeliharaan berkala pada kedua komponen utamanya, yakni mesin diesel dan generator listrik. Pemeliharaan ini meliputi pembersihan, perawatan, dan penggantian suku cadang yang sudah rusak atau aus.

Selain itu, penting juga untuk memantau kondisi bahan bakar dan melakukan pengisian ulang secara teratur agar proses pembangkitan listrik tetap berjalan dengan lancar dan efisien. Selain komponen utamanya, dalam sistem pembangkit listrik tenaga diesel juga terdapat sistem kontrol dan pengamanan yang sangat penting. Sistem kontrol digunakan untuk mengontrol dan memantau kinerja mesin diesel serta generator listrik dengan akurat dan efisien. Dengan sistem kontrol yang baik, kita dapat memastikan bahwa pembangkit listrik ini beroperasi dengan baik dan sesuai dengan kebutuhan listrik yang diperlukan. Sementara itu, sistem pengamanan berfungsi untuk melindungi sistem dari gangguan dan kerusakan yang bisa memiliki potensi bahaya. Contohnya adalah sistem proteksi untuk mencegah terjadinya kondisi arus yang berlebihan (*overcurrent*), tegangan listrik yang berlebihan (*overvoltage*), atau frekuensi listrik yang berlebihan (*overfrequency*).

Di masa depan, kita berharap akan dilakukan pengembangan teknologi dalam sistem pembangkit listrik tenaga diesel ini. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dari sistem ini serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu perkembangan yang sedang dibahas adalah penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif. Dengan penggunaan biodiesel, kita dapat berharap bahwa emisi gas rumah kaca dapat berkurang secara signifikan, serta dapat mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya fosil yang terbatas.

Secara keseluruhan, pembangkit listrik tenaga diesel merupakan solusi yang sangat efektif dan penting untuk memenuhi kebutuhan listrik di daerah yang

terpencil atau saat terjadi pemadaman listrik yang tak terduga. Dengan melakukan pemeliharaan yang tepat, sistem ini dapat beroperasi secara efisien dan dapat diandalkan untuk memberikan pasokan listrik yang dibutuhkan. Pengembangan teknologi juga harus terus dilakukan untuk menjaga keberlanjutan dan meningkatkan kinerja dari sistem pembangkit listrik tenaga diesel yang sangat penting ini. Dengan demikian, kita akan dapat memastikan penggunaan energi yang lebih efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan.

1.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) adalah salah satu metode yang umum digunakan untuk menghasilkan energi listrik di berbagai daerah di seluruh dunia. Pada dasarnya, PLTD menggunakan mesin diesel untuk menggerakkan generator dan mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Meskipun pembangkit listrik tenaga diesel sering dianggap sebagai solusi sementara atau cadangan dalam menghasilkan energi listrik, namun metode ini masih menjadi pilihan yang penting dalam beberapa keadaan. Terutama di daerah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik utama atau yang membutuhkan pasokan energi listrik yang cepat dan fleksibel.

Secara umum, PLTD terdiri dari beberapa komponen utama, seperti mesin diesel, generator, sistem bahan bakar, sistem pendingin, dan sistem kontrol. Mari kita bahas masing-masing komponen tersebut lebih detail. Mesin diesel merupakan mesin utama dalam PLTD. Mesin ini berfungsi untuk mengubah energi kimia dalam bahan bakar diesel menjadi energi mekanik. Mesin diesel bekerja dengan prinsip pembakaran internal, di mana bahan bakar diesel dicampur dengan udara dalam ruang bakar dan kemudian dibakar oleh pengapian. Proses pembakaran ini menghasilkan tekanan yang digunakan untuk mendorong piston dalam siklus kerja mesin.

Generator, sebagai komponen kedua, akan mengubah energi mekanik dari mesin diesel menjadi energi listrik. Generator ini terdiri dari belitan kawat yang diletakkan di sekitar inti magnetik. Ketika mesin diesel berputar, gerakan ini akan menyebabkan perubahan medan magnet di sekitar belitan kawat. Hal ini menginduksi arus listrik yang mengalir melalui kawat dan menghasilkan

energi listrik. Sistem bahan bakar pada PLTD sangat penting dalam memastikan pasokan bahan bakar yang stabil dan efisien. Biasanya, bahan bakar diesel disimpan dalam tangki di dekat pembangkit listrik. Bahan bakar ini kemudian dihisap oleh pompa bahan bakar dan disuplai ke mesin diesel. Penting untuk menjaga kualitas bahan bakar dan melakukan pemeliharaan rutin untuk memastikan kelancaran operasi mesin.

Sistem pendingin merupakan komponen lain yang tidak terpisahkan dari PLTD. Mesin diesel menghasilkan panas yang cukup tinggi selama beroperasi, sehingga memerlukan pendinginan yang baik. Sistem pendingin biasanya menggunakan air sebagai media pendingin, di mana air akan mengalir melalui saluran yang melingkar pada mesin diesel untuk menghilangkan panas yang dihasilkan. Sistem ini bersifat penting agar mesin tidak terlalu panas dan tidak mengalami keausan berlebihan.

Selain komponen-komponen tersebut, sistem kontrol juga memainkan peran yang sangat penting dalam mengoperasikan dan mengawasi PLTD. Sistem kontrol ini melibatkan berbagai komponen elektronik, seperti sensor, kotak kontrol, dan perangkat pemantauan. Sistem kontrol ini memungkinkan operator untuk mengontrol kondisi operasi PLTD, seperti tekanan, suhu, kecepatan, dan penerangan. Selain itu, sistem kontrol juga memungkinkan pemantauan jauh dan pengawasan pengoperasian PLTD.

Kemudian, penting untuk mempertimbangkan keuntungan dan tantangan dalam menggunakan pembangkit listrik tenaga diesel. Salah satu keuntungan utama adalah fleksibilitas dan mobilitasnya. PLTD dapat dengan mudah dipasang dan dioperasikan di daerah terpencil atau daerah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik utama. PLTD juga dapat diandalkan sebagai sumber energi cadangan yang dapat diaktifkan saat terjadi pemadaman listrik atau kegagalan jaringan.

Namun, ada beberapa tantangan yang perlu diatasi dalam menggunakan PLTD. Salah satunya adalah biaya operasional dan pemeliharaan yang tinggi. Mesin diesel memerlukan bahan bakar yang mahal, dan pemeliharaan rutin yang diperlukan untuk menjaga performa yang optimal. Selain itu, PLTD juga tidak ramah lingkungan karena menghasilkan emisi gas buang yang dapat merusak udara dan lingkungan sekitarnya. Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan teknologi energi terbarukan seperti tenaga surya dan tenaga angin telah memberikan alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berbiaya rendah dalam menghasilkan energi listrik. Namun, PLTD tetap menjadi

pilihan yang diperlukan dalam beberapa situasi yang memerlukan pasokan energi listrik yang cepat dan fleksibel.

Dalam kesimpulan, Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) adalah metode yang umum digunakan dalam menghasilkan energi listrik. Meskipun dianggap sebagai solusi sementara atau cadangan, PLTD masih menjadi pilihan yang penting dalam beberapa situasi. Berbagai komponen seperti mesin diesel, generator, sistem bahan bakar, sistem pendingin, dan sistem kontrol bekerja bersama untuk menghasilkan energi listrik yang diperlukan. Meskipun PLTD memiliki keuntungan dan tantangan, terobosan teknologi energi terbarukan semakin memainkan peran penting dalam masa depan pembangkit listrik.

1.3 Keuntungan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) adalah salah satu metode yang umum digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Meskipun pembangkit listrik tenaga diesel kadang-kadang dianggap sebagai solusi sementara atau cadangan, namun metode ini masih menjadi pilihan yang penting dalam beberapa keadaan.

Pada artikel ini, kita akan membahas tentang keuntungan menggunakan pembangkit listrik tenaga diesel secara rinci.

1. Fleksibilitas dan Mobilitas:

Salah satu keuntungan utama menggunakan PLTD adalah fleksibilitas dan mobilitas. PLTD dapat dengan mudah dipasang dan dioperasikan di daerah terpencil atau daerah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik utama. Hal ini memungkinkan akses ke pasokan listrik yang stabil dan andal di daerah-daerah terpencil, misalnya di pulau-pulau terpencil atau wilayah pedesaan yang sulit dijangkau oleh infrastruktur jaringan listrik tradisional. PLTD juga dapat digunakan dalam situasi darurat jika terjadi pemadaman listrik atau kegagalan sistem kelistrikan.

2. Kemampuan Memulai dengan Cepat:

PLTD memiliki keunggulan dalam kemampuan memulai dengan cepat. Ini berarti, dalam waktu yang singkat, PLTD dapat diaktifkan dan segera memulai menghasilkan listrik. Hal ini sangat penting dalam situasi darurat atau keadaan mendesak di mana pasokan listrik harus segera tersedia. PLTD dapat memenuhi permintaan listrik yang mendesak secara instan dan memberikan waktu bagi pihak yang bertanggung jawab untuk mengatasi masalah dan menghidupkan kembali sumber listrik utama yang mengalami gangguan.

3. Kapasitas Scalable:

PLTD memiliki kemampuan untuk mengatur kapasitas sesuai dengan permintaan. Dapat dengan mudah meningkatkan atau mengurangi jumlah unit pembangkit listrik sesuai dengan kebutuhan energi saat itu. Karena bisa mengoperasikan beberapa unit diesel secara bersamaan, PLTD memiliki kapabilitas untuk menyesuaikan dan memperluas kapasitas sesuai kebutuhan. Ini memungkinkan PLTD untuk mengatasi kenaikan permintaan energi listrik dalam waktu singkat atau untuk mempertahankan penyediaan energi listrik yang stabil dan dapat diandalkan dalam jangka panjang.

4. Tingkat Efisiensi yang Tinggi:

Mesin diesel dalam PLTD diketahui memiliki tingkat efisiensi yang tinggi. Mesin diesel modern menggunakan teknologi yang canggih seperti sistem injeksi bahan bakar dan desain yang dioptimalkan untuk menghasilkan daya dan konsumsi bahan bakar yang optimal. Mesin diesel memiliki tingkat efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan mesin pembakaran lainnya, seperti pembangkit listrik tenaga batu bara. Efisiensi yang lebih tinggi berarti penggunaan bahan bakar yang lebih efisien dan pengurangan biaya operasional dalam jangka panjang.

5. Biaya Pembangunan yang Rendah:

PLTD memiliki biaya pembangunan yang lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga lainnya, seperti pembangkit listrik tenaga nuklir atau tenaga surya yang besar. Pembangunan PLTD

dapat dimulai dengan ukuran yang lebih kecil dan dapat diupgrade seiring dengan perkembangan permintaan energi. Dalam banyak kasus, PLTD dapat menjadi alternatif yang lebih ekonomis dan hemat biaya dalam menghasilkan energi listrik, terutama jika pembangunan infrastruktur grid listrik utama tidak memungkinkan atau mahal.

6. 6. Sumber Bahan Bakar yang Tersedia Luas:

Bahan bakar diesel sebagai sumber daya utama pada PLTD tersedia secara luas. Diesel menjadi salah satu sumber energi paling populer di dunia dan pemrosesannya relatif sederhana dan efisien. Jaringan pengiriman bahan bakar diesel tersedia di hampir semua wilayah, baik di perkotaan maupun di pedesaan. Ketersediaan bahan bakar yang luas membuat PLTD menjadi pilihan yang memadai dan mudah diakses di banyak lokasi.

7. Keandalan yang Tinggi:

PLTD telah terbukti menjadi sumber listrik yang andal dan dapat diandalkan. Karena menggunakan mesin diesel yang tangguh dan handal, PLTD dapat menghasilkan listrik dalam jangka waktu yang lama tanpa gangguan atau gangguan yang signifikan. Dalam skenario darurat atau keadaan yang sangat mendesak, PLTD menjadi pilihan yang paling handal dalam memastikan pasokan energi listrik yang stabil.

Namun, meskipun terdapat keuntungan dalam menggunakan PLTD, ada juga beberapa kekurangan yang perlu dipertimbangkan. Salah satu kelemahannya adalah dampak lingkungan yang dihasilkan. Mesin diesel menghasilkan emisi gas buang yang berkontribusi terhadap masalah lingkungan seperti polusi udara dan perubahan iklim. Selain itu, biaya operasional PLTD kadang-kadang bisa menjadi lebih tinggi karena biaya bahan bakar, pemeliharaan dan perawatan yang diperlukan untuk menjaga kinerja optimal mesin diesel

1.4 Kerugian Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Pembangkit listrik tenaga diesel telah lama menjadi pilihan utama dalam menyediakan energi listrik, terutama di daerah yang sulit dijangkau oleh sumber daya listrik lainnya. Namun, meskipun memberikan kontribusi penting dalam menyediakan daya, pembangkit listrik diesel juga memiliki sejumlah kerugian yang perlu mendapatkan perhatian serius.

Dalam tulisan ini, kita akan menjelajahi berbagai aspek kerugian pembangkit listrik tenaga diesel dengan mendalam, melibatkan aspek lingkungan, ekonomi, dan teknis.

1. Dampak Lingkungan

Pembangkit listrik tenaga diesel terkenal karena memberikan dampak lingkungan yang signifikan. Beberapa kerugian terkait dengan dampak lingkungan antara lain:

a. Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)

Mesin diesel menghasilkan emisi gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO_2) dan metana (CH_4), yang berkontribusi terhadap perubahan iklim global.

b. Partikulat Udara

Diesel juga menghasilkan partikulat udara (debu halus) yang dapat mencemari udara dan memiliki dampak kesehatan pada manusia dan hewan.

c. Pencemaran Tanah dan Air

Penyimpanan dan pengelolaan bahan bakar diesel dapat menyebabkan pencemaran tanah dan air, terutama jika terjadi tumpahan atau kebocoran.

2. Ketergantungan pada Bahan Bakar Fosil

Pembangkit listrik tenaga diesel sangat bergantung pada bahan bakar fosil, khususnya minyak diesel.

Ketergantungan ini dapat memberikan sejumlah kerugian, seperti:

- a. **Vulnerabilitas terhadap Fluktuasi Harga Minyak**
Harga minyak diesel dapat fluktuatif, dan pembangkit listrik diesel menjadi rentan terhadap kenaikan harga minyak, yang dapat memengaruhi biaya operasional dan keberlanjutan proyek.
- b. **Pergantian Sumber Energi Bersih**
Ketergantungan pada bahan bakar fosil membuat sulit untuk beralih ke sumber energi terbarukan dan bersih. Hal ini bertentangan dengan upaya global untuk mengurangi emisi karbon dan mengadopsi energi terbarukan.
- c. **Efisiensi Energi**
Meskipun pembangkit listrik tenaga diesel dapat memberikan daya dengan cepat dan efisien, namun efisiensi energinya cenderung lebih rendah dibandingkan dengan beberapa alternatif. Beberapa faktor yang berkontribusi terhadap kerugian efisiensi meliputi:

3. Pemulainya Peralatan

Mesin diesel memerlukan waktu untuk mencapai tingkat efisiensi optimal setelah start-up. Proses ini dapat mengakibatkan pemborosan energi pada awal operasional.

- a. **Ketidaksempurnaan Pembakaran**
Pembakaran dalam mesin diesel tidak selalu sempurna, menghasilkan kerugian energi yang disebabkan oleh gas buang yang tidak terbakar sepenuhnya.
- b. **Biaya Operasional dan Pemeliharaan**
Meskipun mesin diesel dikenal karena daya tahan dan kinerjanya yang andal, namun biaya operasional dan pemeliharaannya dapat menjadi faktor kerugian yang signifikan. Beberapa aspek terkait biaya ini melibatkan:
 - c. **Biaya Perawatan Rutin**
Mesin diesel memerlukan perawatan rutin yang melibatkan penggantian suku cadang dan servis berkala, yang dapat meningkatkan biaya operasional.

d. Biaya Pemantauan dan Pengendalian Emisi

Untuk mematuhi peraturan lingkungan, pembangkit listrik diesel mungkin memerlukan peralatan tambahan untuk mengendalikan emisi, yang dapat menambah biaya operasional.

e. Keterbatasan Kapasitas dan Fleksibilitas

Pembangkit listrik diesel memiliki keterbatasan kapasitas dan fleksibilitas yang perlu diperhitungkan. Skala Produksi Terbatas Pembangkit diesel biasanya lebih cocok untuk skala produksi yang kecil hingga menengah, sehingga kurang efektif jika digunakan untuk memenuhi kebutuhan daya yang sangat besar. Keterbatasan Pada Mode Operasi Puncak Mesin diesel kurang efisien ketika beroperasi pada beban rendah atau tidak terisi penuh. Oleh karena itu, mereka mungkin kurang sesuai untuk mode operasi puncak. Secara keseluruhan, pembangkit listrik tenaga diesel, meskipun memberikan manfaat dalam menyediakan daya listrik di daerah terpencil, memiliki sejumlah kerugian yang perlu dipertimbangkan. Dampak lingkungan, ketergantungan pada bahan bakar fosil, efisiensi energi yang terbatas, biaya operasional dan pemeliharaan, keterbatasan kapasitas, dan pengalaman negatif adalah beberapa aspek yang harus dievaluasi dalam keputusan penggunaan teknologi ini. Dalam konteks perubahan menuju energi bersih dan berkelanjutan, penting untuk terus menggali solusi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis.

1.5 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

1.5.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

1. Mesin Diesel

Mesin diesel adalah komponen utama dalam sistem pembangkit listrik tenaga diesel. Mesin ini menggunakan pembakaran internal untuk menghasilkan energi mekanik yang diperlukan untuk menggerakkan generator. Mesin diesel bekerja dengan memampatkan udara di dalam silinder yang kemudian diinjeksikan dengan bahan bakar diesel. Proses pembakaran menghasilkan dorongan yang menggerakkan piston ke bawah, menggerakkan poros engkol, dan akhirnya menghasilkan energi mekanik. Mesin diesel sering digunakan dalam pembangkit listrik tenaga diesel karena keandalannya, efisiensi yang tinggi, dan bahan bakar yang lebih murah dibandingkan dengan bahan bakar lainnya (Ihsan, 2023).

2. Generator

Generator atau alternator adalah salah satu komponen utama dalam sistem pembangkit listrik tenaga diesel. Generator berfungsi untuk mengubah energi mekanik yang dihasilkan oleh mesin diesel menjadi energi listrik. Generator bekerja dengan prinsip konversi energi elektromagnetik yang terjadi ketika kumparan dalam stator diputar dalam medan magnet yang dihasilkan oleh rotor. Generator memiliki beberapa bagian, antara lain rotor, stator, dan komutator. Rotor adalah bagian yang berfungsi sebagai medan magnet yang berputar, sedangkan stator merupakan bagian yang berisi kumparan dan medan magnet yang tidak berputar. Komutator berfungsi untuk mengarahkan arus listrik pada kumparan dalam stator. Seluruh komponen generator bekerja secara terkoordinasi untuk menghasilkan energi listrik yang stabil dan sesuai kebutuhan (Harahap & Siahaan, 2023).

3. Sistem Bahan Bakar

Sistem bahan bakar dalam komponen pembangkit listrik tenaga diesel bertanggung jawab untuk menyediakan bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin diesel. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen penting, termasuk tangki bahan bakar, pompa bahan bakar, filter bahan bakar, dan injektor. Tangki bahan bakar digunakan untuk menyimpan bahan bakar yang akan digunakan oleh mesin diesel. Pompa bahan bakar bertugas untuk mengalirkan bahan bakar dari tangki ke injektor. Filter bahan bakar digunakan untuk menyaring kotoran dan partikel yang ada dalam bahan bakar, sehingga dapat menjaga kelancaran aliran bahan bakar dan mencegah kerusakan pada komponen mesin. Injektor adalah komponen yang mengatur jumlah dan waktu penyemprotan bahan bakar ke dalam ruang bakar mesin. Sistem bahan bakar yang baik dan efisien sangat penting untuk menjaga performa mesin diesel agar tetap optimal dan menghindari masalah seperti kekurangan bahan bakar atau pencemaran lingkungan akibat emisi gas buang yang berlebihan (Aidil Syah, 2023)

4. Sistem Pendingin

Sistem pendingin pada pembangkit listrik tenaga diesel sangat penting seratus persen untuk menjaga suhu mesin agar tetap stabil dan mencegah kelebihan panas yang dapat merusak komponen-komponen kritis. Sistem pendingin umumnya menggunakan air sebagai medium pendingin yang mengalir melalui saluran pembuluh air yang terhubung dengan mesin diesel. Air yang telah mengalir melalui mesin akan mengalami peningkatan suhu yang signifikan dan kemudian melewati radiator yang efisien tinggi untuk menghilangkan panas yang dihasilkan. Proses ini berlangsung berulang kali ketika mesin bekerja tanpa henti. Selain itu, sistem pendingin yang ada di mesin diesel juga dilengkapi dengan kipas yang berfungsi untuk mengatur aliran udara agar panas yang dihasilkan dapat terbuang dengan baik. Komponen-komponen yang terdapat pada sistem pendingin yang luar biasa penting ini harus benar-benar dirawat dan dibersihkan secara teratur agar kinerjanya tetap optimal dan tidak ada

yang bisa menghentikannya. Jika terjadi kerusakan apapun pada sistem pendingin yang tak tergoyahkan ini, suhu mesin yang luar biasa stabil dan terjaga dengan sangat baik adalah akan meningkat dengan sangat cepat dan dengan sendirinya dapat mengakibatkan mesin diesel dengan presentasi satu ratus persen akan mati secara mendadak.

1.6 Pertumbuhan PLTD di Indonesia

1. Penambahan jumlah PLTD di berbagai daerah

Di Indonesia, terjadi penambahan jumlah PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel) di berbagai daerah untuk memenuhi kebutuhan listrik. Hal ini disebabkan adanya wilayah yang belum terjangkau oleh sumber listrik utama seperti PLN (Perusahaan Listrik Negara). Dalam beberapa tahun terakhir, pemerintah telah melakukan investasi untuk membangun PLTD di berbagai daerah terpencil dan pulau-pulau terluar seperti Papua, Maluku, dan Nusa Tenggara Timur. Penambahan jumlah PLTD ini memberikan dampak positif bagi masyarakat setempat, karena mereka dapat menikmati pasokan listrik yang lebih stabil dan terjangkau. Penambahan jumlah PLTD juga diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap pembangkit listrik menggunakan bahan bakar fosil, sehingga mendukung upaya pemerintah dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Meski demikian, penambahan jumlah PLTD juga perlu dikelola dengan baik agar tidak mengganggu keseimbangan ekosistem dan ketersediaan bahan bakar yang terbatas. (Ramadhan2023)

2. Perkembangan teknologi PLTD

Perkembangan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) di Indonesia terus berlangsung seiring dengan perkembangan kebutuhan energi listrik. Teknologi PLTD terus mengalami peningkatan untuk mengoptimalkan produksi energi listrik secara efisien dan ramah lingkungan. Saat ini, beberapa teknologi yang telah

dikembangkan untuk PLTD meliputi penggunaan bahan bakar yang lebih efisien, penggunaan mesin dan generator yang lebih canggih, serta penggunaan sistem kontrol yang lebih pintar. Teknologi pembangkit listrik tenaga diesel yang terkini juga telah mengadopsi sistem digitalisasi dan pengaturan otomatis untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi dan meminimalkan penggunaan bahan bakar. Dengan adanya perkembangan teknologi ini, diharapkan PLTD di Indonesia dapat lebih handal, efisien, serta ramah lingkungan.

3. Dukungan masyarakat terhadap penggunaan PLTD

Dukungan masyarakat terhadap penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) di Indonesia cukup tinggi. Masyarakat menyadari pentingnya PLTD sebagai salah satu sumber energi yang dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Masyarakat juga semakin sadar akan pentingnya keberlanjutan lingkungan, oleh karena itu, mereka mendukung penggunaan PLTD sebagai alternatif energi yang ramah lingkungan. Selain itu, PLTD telah membantu menyediakan pasokan listrik yang lebih baik bagi masyarakat di daerah terpencil dan pulau-pulau terluar yang sulit terjangkau oleh grid listrik nasional. Dengan adanya dukungan masyarakat, diharapkan peningkatan penggunaan PLTD dapat terus dilakukan untuk mengatasi kesenjangan akses listrik di Indonesia. (Gautami and Astuti2023)

4. Potensi pertumbuhan PLTD di masa depan

Potensi pertumbuhan PLTD di masa depan sangatlah besar di Indonesia. Salah satu faktor utamanya adalah pertumbuhan populasi yang terus meningkat. Dengan adanya peningkatan jumlah penduduk, permintaan akan energi listrik pun semakin bertambah. PLTD merupakan solusi yang efektif untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di daerah terpencil atau di daerah yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik nasional. Selain itu, kemajuan teknologi juga akan berperan penting dalam meningkatkan potensi pertumbuhan PLTD. Dengan adanya inovasi-inovasi teknologi yang terus muncul, PLTD

menjadi lebih efisien dan ramah lingkungan. Dukungan masyarakat juga menjadi faktor yang memengaruhi potensi pertumbuhan PLTD di masa depan. Dengan sosialisasi yang tepat dan pemahaman masyarakat terhadap kelebihan dan manfaat penggunaan PLTD, tingkat adopsi masyarakat terhadap PLTD akan semakin meningkat. Semua faktor tersebut menciptakan peluang yang besar untuk pertumbuhan lebih lanjut PLTD di masa depan.

Bab 2

Pembangkit Listrik Tenaga Air

2.1 Mengetahui Pembangkit Listrik Tenaga Air

Air merupakan salah satu sumber energi yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Salah satu penggunaan energi air yang sangat esensial adalah manfaatnya untuk menghasilkan energi listrik. Jumlahnya yang berlimpah menjadikan air sebagai salah satu sumber energi terbarukan. Kebutuhan tenaga dari waktu ke waktu semakin semakin tinggi karena perkembangan teknologi serta pertumbuhan penduduk. Salah satu bentuk tenaga yang paling besar digunakan rakyat yaitu listrik. Listrik yang dikonsumsi oleh masyarakat sebagian besar diproduksi asal PLTU berbahan bakar batubara dan minyak bumi yang tergolong tidak terbarukan serta menghasilkan emisi yang relatif tinggi. Berdasarkan Peraturan Presiden Republik Indonesia nomor 22 Tahun 2017 awal Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) memprioritaskan penggunaan energi terbarukan dengan sasaran paling sedikit 23% di tahun 2025 serta paling sedikit 31% di tahun 2050 (Widyaningsih 2017).

Selain itu Pemerintah Indonesia juga sudah menandatangani *Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change* (Persetujuan Paris atas kesepakatan Kerangka Kerja perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perubahan Iklim) di lepas 22 April 2016 di New York,

Amerika perkumpulan (Arinaldo, Mursanti, and Tumiwa 2019). Ialah pemerintah Indonesia berkomitmen buat berbagi tenaga baru serta terbarukan sekaligus membantu mengurangi emisi asal berbagai sektor.

Kondisi topografi yang bergunung serta berbukit dan adanya danau/waduk yang sebagai hulu aliran sungai membuat Indonesia memiliki potensi tenaga air menjadi tenaga primer yang akbar. Indonesia memiliki potensi tenaga air hingga 75.091MW yang beredar di semua Indonesia tetapi pemanfaatannya baru lebih kurang 7, dua%. Sebagian besar pemanfaatan energi air yaitu menjadi pembangkit listrik. Pembangkit listrik energi air (PLTA) ini sudah terbukti handal serta menyumbang persentase 66% asal total 7GW pembangkit listrik energi baru dan terbarukan (Institute for Essential Services Reform (IESR) 2019).

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang menggunakan energi air sebagai sumber daya utamanya. PLTA mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan listrik. Selain pembangkit listrik tenaga air (PLTA), tenaga air juga dimanfaatkan menjadi pembangkit listrik tenaga minihidro (PLTM) dan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) yaitu menggunakan memanfaatkan sirkulasi sungai atau irigasi yang dibedakan berdasarkan daya yang bisa didapatkan. Pada perkembangannya tenaga air pula dapat menjadi alternatif penyimpan tenaga yaitu menggunakan teknologi pumped storage. Cara kerja pumped storage ialah menyimpan energi pada bentuk air dalam jumlah akbar yang ditempatkan di bak super besar/danau yang dipompa berasal level bawah ke level yang lebih tinggi (Donalek 2020).

Pembangkit Listrik Energi Air (PLTA) artinya pembangkit listrik yang mengandalkan tenaga potensial serta kinetik dari air buat membuat tenaga listrik. Hidroelektrik artinya energi listrik yang dibangkitkan berasal pembangkit ini. PLTA memiliki empat komponen utama yaitu waduk atau bendungan, saluran pelimpah (pembawa air), gedung sentral (powerhouse), serta serandang hubung (switchyard) atau unit transmisi yang mengalirkan produksi listrik ke konsumen.

Kapasitas PLTA di semua dunia lebih kurang 675.000 Megawatt (MW), setara dengan tiga, 6 miliar barel minyak atau sama menggunakan 24% kebutuhan listrik dunia. Sedangkan pada Indonesia sendiri, potensi energi yang bisa dimanfaatkan asal air adalah sebesar 45,379MW berasal total 75,091MW

energi yang terpakai. Komponen primer berasal PLTA adalah motor yang dihubungkan ke turbin yang digerakkan oleh energi kinetik air. Secara luas, pembangkit listrik tenaga air tak hanya berupa air asal sebuah waduk atau air terjun, namun juga mencakup pembangkit listrik yang memakai tenaga air dalam bentuk lain seperti ombak.

Air artinya salah satu asal energi yang sangat penting bagi kehidupan insan. Salah satu penggunaan tenaga air yang sangat esensial artinya kegunaannya buat membuat energi listrik. Jumlahnya yang berlimpah mengakibatkan air menjadi salah satu sumber energi terbarukan. Di Indonesia sendiri, potensi tenaga yang dapat dimanfaatkan berasal air artinya sebesar 45,379MW asal total 75,091MW energi yang terkandung. Pemanfaatan tenaga air buat membentuk tenaga listrik dilakukan menggunakan memakai teknologi bernama Pembangkit Listrik energi Air (PLTA). PLTA memanfaatkan sirkulasi air buat dapat memutar turbin. Mekanisme kerja PLTA cukup sederhana, yaitu memanfaatkan energi potensial dan kinetik air buat membentuk putaran di turbin. Air dikumpulkan pada suatu area (reservoir) yang berada pada ketinggian tertentu.

Turbin yang menjadi komponen utama buat menghasilkan energi listrik terletak pada bangunan *powerhouse* yang berada pada ketinggian yang lebih rendah berasal *reservoir*. Saluran air (penstock) menghubungkan reservoir menggunakan *powerhouse*. Adanya disparitas ketinggian antara reservoir serta *powerhouse* memungkinkan air mengalir pada dalam saluran air dari *reservoir* menuju *powerhouse*. Di dalam *powerhouse*, peredaran air asal *reservoir* tersebut memungkinkan turbin air yang sudah terhubung ke generator buat berputar, listrik pun dapat dihasilkan. Setidaknya ada 3 proses konversi tenaga di PLTA. Proses konversi tenaga dimulai dari energi potensial (berafiliasi dengan ketinggian) dari air di reservoir yang berubah menjadi energi kinetik translasi (berafiliasi menggunakan perpindahan) ketika air beranjak menuju *powerhouse* pada saluran air. Kemudian energi kinetik translasi dikonversi sebagai energi kinetik rotasi (bekerjasama dengan putaran) waktu turbin berputar dampak berasal pergerakan peredaran air.

2.2 Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit Listrik tenaga Air (PLTA) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang memakai tenaga air menjadi sumber daya utamanya. PLTA mengganti energi potensial air menjadi energi kinetik yang kemudian dipergunakan buat menggerakkan turbin serta menghasilkan listrik. Pemerintah Indonesia melalui Paris Agreement atau Persetujuan Paris menyatakan komitmennya dalam aksi iklim dunia yang selanjutnya dituangkan dalam rencana Jangka Panjang Rendah Emisi atau *Long Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience* tahun 2050.

Pembangkit Listrik tenaga Air (PLTA) bekerja menggunakan cara mengganti tenaga potensial asal bendungan (dam) atau air terjun menjadi energi mekanik dengan bantuan turbin air dan berasal energi mekanik sebagai tenaga listrik menggunakan donasi generator. Pengembangan PLTA di Indonesia bukan tanpa tantangan. Pembangunannya wajib bermanfaat secara ekologi, menguntungkan secara ekonomi, dan diterima secara sosial.

Membangun PLTA memerlukan beberapa langkah strategis antara lain:

1. Aliran serta ketersediaan air, terutama ketika Indonesia dilanda cuaca ekstrem. Pasokan dan sirkulasi air harus diperhitungkan supaya waktu debit air tinggi bendungan tidak jebol serta waktu animo kering bendungan tak kering.
2. Deforestasi atau penebangan hutan. Deforestasi wajib dicegah supaya hutan dapat menyimpan air, sehingga aliran air menjadi asal energi PLTA permanen terdapat. Selain itu, kelangsungan hayati keanekaragaman hayati harus sebagai prioritas. Jangan hingga pembangunan PLTA mengancam kehidupan flora serta fauna yang ada pada suatu wilayah. Selain aspek fisik, pembangunan PLTA mempertimbangkan aspek lain, mirip investasi, kebijakan atau hukum, dan aspek sosial.

Konsep integrasi antara PLTA dan Pembangkit Listrik energi matahari (PLTS). Integrasi dimungkinkan serta diperlukan pada optimalisasi. Tapi, perlu kajian yang mendalam terkait menggunakan *supply chain* serta nilai

ekonominya. PLTA dan PLTS ialah pembangkit listrik serta penghasil hydrogen buat keperluan industri serta transportasi. Keduanya merupakan energi baru terbarukan yang paling berpotensi untuk pengembangan integrasi.

PLTA dikategorikan buat pembangkitan listrik pada daya/kapasitas lebih asal 5.000kW. Struktur PLTA antara lain yaitu waduk (reservoir), bendungan (dam), gerbang kontrol, penstock, turbin air, generator, dan jaringan listrik pendukung lainnya. Di umumnya PLTA terkoneksi pada jaringan (on grid) buat didistribusikan ke konsumen menggunakan kapasitas besar. Salah satu model PLTA pada Indonesia yaitu PLTA Waduk Cirata, Jawa Barat, yang sebagai PLTA terbesar di Indonesia menggunakan daya mencapai 1.008MW menggunakan kemampuan energi listrik rata-homogen 1,428GigaWattHour (GWH) per tahun. PLTA ini terkoneksi menggunakan jaringan buat memenuhi kebutuhan listrik pulau Jawa-Bali (Harsoyo et al. 2015).

PLTM dikategorikan buat pembangkit listrik energi air di daya antara 100kW hingga 5.000kW sementara PLTMH menghasilkan daya kurang berasal 100kW. Menggunakan daya yang kecil sampai sedang, PLTM dan PLTMH dibangun pada saluran irigasi atau sungai di daratan yang berbukit sehingga ada energi mekanik peredaran air. Komponen utama asal pembangkit listrik ini di antaranya *reservoir*, pipa pesat, turbin air, generator, serta saluran pembuangan sebagaimana di PLTA tetapi dengan kapasitas yang lebih mungil. Dengan daya yang dihasilkan PLTM dan PLTMH dapat dihubungkan dengan jaringan listrik yang terkoneksi menggunakan pembangkit lainnya (on grid) atau bisa langsung dipergunakan untuk sejumlah pemukiman atau keperluan tertentu (off grid). Pembangkit ini cocok dipergunakan buat memenuhi kebutuhan listrik pada wilayah pedalaman yang memiliki potensi tenaga air (Schnitzer 2011).

Pumped Storage juga dikenal menjadi *pumped-hydro energy storage*, ialah keliru satu dari beberapa teknologi penyimpanan yang dapat digunakan buat mendukung ekuilibrium sesaat antara pasokan dan permintaan listrik, dengan demikian dapat mempertahankan daya stabilitas sistem, keamanan, serta keandalan sistem. Maret 2012, forum Penelitian Energi Listrik (EPRI) melaporkan pumped storage menyumbang lebih dari 99% dari kapasitas penyimpanan massal pada semua dunia kurang lebih 127.000 MW. Umumnya, efisiensi tenaga *pumped storage* bolak-balik bervariasi antara 70% serta 80%, dengan beberapa mengklaim sampai 87%. Kekurangan berasal *pumped storage* yaitu pemilihan lokasi yang diperlukan, membutuhkan ketinggian geografis serta ketersediaan air. Oleh karena itu, wilayah yang

sinkron yaitu daerah perbukitan atau pegunungan sekaligus berpotensi dengan estetika alamnya. Selain itu dilema sosial serta ekologi juga harus diatasi. Skema *pumped storage* terhubung dengan jaringan lainnya dan mampu melakukan fungsi kontrol frekuensi, kontrol jaringan, restart sistem, dan cadangan saat pemadaman (Ion, Petrescu, and Petrescu 2015).

Pembangkit listrik dengan teknologi *pumped storage* membutuhkan dua penampung air (reservoirs) yang terpisah menjadi *upper reservoir* dan *lower reservoir*. Lalu dua penampung air ini terhubung ke saluran air. Menggunakan memanfaatkan gravitasi energi potensial air berasal *upper reservoir* dapat diubah menjadi tenaga kinetik berupa sirkulasi air menuju *lower reservoir*. Tenaga kinetik lalu dikonversi menjadi listrik memakai mekanik turbin dan generator sinkron. Proses ini dapat diklaim menggunakan discharge mode. Sementara itu buat *charge mode*, generator sinkron digerakkan listrik buat berputar memompa air asal *lower reservoir* menuju *upper reservoir* atau menambahkan volume serta tenaga potensial air. *Charge mode* dilakukan waktu beban listrik sedang rendah atau suplai daya dari jaringan primer pembangkit lain berlebih (Donalek 2020).



Gambar 2.1: Skema PLTA (Tennessee Valley Authority
<https://www.eia.gov/energyexplained/hydropower/>)

PLTA adalah salah satu sumber energi terbarukan yang ketersediaannya bisa diperbarui dan tidak menghasilkan emisi. Hanya dengan memanfaatkan energi potensial dari energi air bisa mendapatkan energi listrik yang bisa dipakai untuk keperluan sehari-hari. Listrik dari PLTA dapat dipakai baik untuk keperluan industri atau untuk kebutuhan sehari-hari di skala rumah tangga.

2.3 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air

Air menjadi salah satu asal energi baru terbarukan. Keberadaannya yang melimpah pada Indonesia lalu banyak dilirik buat dijadikan Pembangkit Listrik energi Air (PLTA). Hal ini mengingat listrik sebagai keliru satu kebutuhan primer warga. Padahal asal primer listrik mulai menipis. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) artinya suatu sistem yang memanfaatkan aliran berasal air kemudian pada ubah sebagai tenaga listrik.

Secara umum, PLTA artinya mesin konversi energi yang terdiri berasal *dam, reservoir, penstock, turbin, draft tube, power house* dan *electricity terminal*. Awal mula dikembangkan pada tahun 1770an Bernard Forest De Belido. Pada suatu sistem PLTA, turbin ialah suatu alat-alat utama selain generator. Sistem kerjanya merupakan dengan memanfaatkan arus sirkulasi air berasal sungai lalu ditampung disebuah dam (bendungan) yang kemudian dialirkan pada suatu rangkaian pipa agar tenaga potensial air bisa diubah menjadi energi kinetik. Di akhirnya energi kinetik akan diubah kembali sebagai energi mekanis buat menggerakkan atau memutarakan turbin. Hal ini yang menyebabkan generator seporos menggunakan turbin dapat berputar, maka menggunakan proses itu terjadi induksi elektromagnetik yang membentuk tenaga listrik.

Ada beberapa komponen PLTA, antara lain adalah:

1. Waduk atau bendungan berfungsi buat menyimpan air dalam jumlah besar serta menyimpan tenaga.

Waduk berfungsi buat menyediakan simpanan (tampungan), sebagai akibatnya karakteristik fisik yang paling penting ialah memiliki kapasitas simpanan. Kapasitas waduk yang bentuknya beraturan dapat dihitung menggunakan rumus menghitung volume benda padat. Bendungan artinya keliru satu bangunan air yang dibangun melintang sungai yang berfungsi menahan peredaran air sampai energi besar sebagai daya penggerak turbin yang besar. Bendungan bisa dibangun dalam berbagai bentuk serta banyak sekali bahan. Bangunan pelimpah adalah bangunan pengaman berasal suatu bendungan yang harus memiliki kapasitas sehingga mampu

menyalurkan air yang dialirkan sungai masuk ke bendungan disaat bendungan penuh.

2. Pipa pesat ialah indera yang berfungsi menyalurkan air ke turbin. Bangunan pemasok air atau intake adalah suatu bangunan yang digunakan buat merogoh air asal bendungan ke pada pipa tekan lalu disalurkan ke turbin. Pipa Pesat (Penstock) ialah pipa tekan yang digunakan buat mengalirkan air dari tangki atas (head tank) atau pribadi berasal bangunan yang mengambil air. Pipa ini berfungsi menjadi alat pengantar air ke turbin. Syarat untuk menjalankannya merupakan pipa harus kedap atau kedap air dan kuat menahan atau mengimbangi tekanan air dalam pipa.
3. Turbin yang kebanyakan berbentuk seperti kincir angin Berfungsi buat menangkap tenaga mekanik dari sirkulasi air dan diteruskan ke generator.
4. Generator adalah peralatan yang tersusun serta terdiri asal peralatan suplai air yang masuk turbin, pada antaranya sudu (runner), pipa pesat (penstock), tempat tinggal turbin (spiral chasing), katup utama (inlet valve), pipa tanggal (draft tube), alat pengaman, poros, bantalan (bearing), dan distributor. Generator dihubungkan menggunakan turbin melalui gigi-gigi putar, sebagai akibatnya ketika baling-baling turbin berputar maka generator juga ikut berputar. Generator berfungsi mengganti tenaga kinetik asal turbin sebagai tenaga listrik menggunakan cara memanfaatkan putaran turbin tadi. Ialah sebuah alat yang menghasilkan energi listrik asal sumber energi mekanis. Generator terdiri berasal dua bagian utama, yaitu rotor dan stator. Rotor terdiri asal 18 buah besi yang dililit sang dawai serta dipasang secara melingkar sebagai akibatnya membentuk sembilan pasang kutub utara serta selatan. Sedangkan stator merupakan bagian yang berfungsi menjadi daerah menerima induksi magnet dari rotor. Artinya saluran udara atau kabel yang dapat diwakili sang konstanta rangkaian yang terdistribusi. Fungsi berasal transmisi ialah untuk menyalurkan tenaga listrik asal pusat pembangkit ke sentra beban-beban.

5. Jalur transmisi berfungsi mengalirkan arus listrik asal PLTA ke tempat tinggal rumah atau industri. Merupakan komponen sistem tenaga listrik yang dapat memindahkan daya listrik arus bolak-balik berasal suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya sesuai induksi elektromagnetik di frekuensi yang tetap.

Secara singkat cara kerja asal PLTA dimulai saat air dari bendungan dialirkan dari pipa pesat menuju turbin, kemudian energi potensial dan kinetik memutar turbin. Tenaga kinetik asal turbin diubah menjadi energi listrik oleh generator dan energi listrik itu yang akan ditransmisikan menggunakan jalur transmisi. PLTA bekerja dengan cara membarui tenaga potensial air sebagai listrik mekanik buat menggerakkan motor dari energi mekanik menjadi tenaga listrik dengan bantuan generator. Di sini PLTA memerlukan komponen berupa turbin yang berfungsi buat mengganti tenaga potensial menjadi energi mekanik. Air akan memukul sudut-sudut berasal turbin sehingga turbin berputar. Perputaran turbin dihubungkan ke generator. Kemudian generator dihubungkan ke turbin dengan bantuan poros dan gearbox. Perputaran turbin dimanfaatkan buat memutar kumparan magnet yang terdapat di dalam generator sehingga terjadi pergerakan elektron yang membangkitkan arus AC atau arus Listrik bolak-balik diharapkan transformator buat meningkatkan tegangan AC dan mengurangi atau menambah arus supaya energi arus yang digunakan sinkron dan tidak mengalami kerugian.

PLTA menggunakan energi air yang terbarukan, seperti sungai, waduk, atau air terjun, yang berarti sumber energinya tak terbatas dan bisa diperbaharui secara alami oleh siklus air. Ini membantu mengurangi ketergantungan di bahan bakar fosil yang terbatas serta membantu menjaga ketersediaan tenaga pada jangka panjang. PLTA merupakan salah satu bentuk energi higienis sebab tidak membentuk emisi gas tempat tinggal kaca dan polusi udara lainnya. Penggunaan PLTA membantu mengurangi dampak negatif terhadap perubahan iklim serta lingkungan secara keseluruhan. Sehabis pembangunan selesai, porto operasional PLTA cenderung rendah. Meskipun investasi awal dalam pembangunan PLTA bisa relatif besar, porto operasionalnya cukup rendah sebab energi yang dipergunakan merupakan energi primer yaitu air.

PLTA menyampaikan pasokan listrik yang stabil sebab peredaran air bisa diatur serta diprediksi menggunakan baik. Hal ini membantu mengurangi risiko pemadaman listrik yang ditimbulkan oleh fluktuasi pasokan energi. PLTA dapat dengan praktis diatur untuk produksi listrik sinkron dengan

permintaan. Peningkatan atau penurunan produksi listrik dapat dilakukan menggunakan mengatur jumlah air yang mengalir ke turbin. PLTA dapat dibangun di wilayah terpencil atau pedalaman, sehingga dapat menyediakan akses listrik yang lebih baik buat komunitas yang terpencil atau terisolasi. Waduk yang dibentuk PLTA bisa memiliki manfaat ganda, seperti irigasi buat pertanian, penanganan banjir, pariwisata, dan aktivitas rekreasi air. PLTA mempunyai masa operasional yang relatif panjang dengan perawatan yang tepat. Pembangunan PLTA tak jarang memerlukan pemindahan penduduk serta menyebabkan kehilangan lahan yang luas. Bendungan yang dibangun pula bisa mengubah ekosistem sungai dan lingkungan sekitarnya. Perubahan peredaran air dapat memengaruhi ekosistem sungai, termasuk hewan dan tumbuhan yang bergantung pada pola peredaran air yang asli.

Pembangunan waduk buat PLTA bisa mengurangi ketersediaan air bagi pertanian, pemenuhan kebutuhan air higienis, dan ekosistem air di hilir waduk. Hal ini bisa menyebabkan dampak negatif pada pertanian serta lingkungan pada wilayah yang terdampak. Pengaturan sirkulasi air oleh bendungan bisa mengakibatkan banjir pada hilir waduk saat debit air datang-tiba dilepaskan. Selain itu, waduk juga dapat menjadi penampung sedimen dan polutan, yang berpotensi mengakibatkan pencemaran air. Adanya risiko kerusakan atau kegagalan di struktur bendungan atau alat-alat PLTA bisa menyebabkan bencana alam serta ancaman bagi keselamatan rakyat yang tinggal di sekitar wilayah tadi. Pembangunan PLTA bisa mengakibatkan perubahan mikro iklim di sekitar waduk, sebab perubahan luas serta kedalaman air. Hal ini bisa mensugesti tumbuhan, hewan, dan insan yang tinggal disekitar waduk. Pembangunan PLTA memerlukan biaya serta investasi awal yang besar. Meskipun biaya operasionalnya rendah setelah pembangunan terselesaikan, investasi awalnya bisa menjadi kendala terutama di wilayah dengan daya finansial yang terbatas.

Efisiensi PLTA sangat tergantung curah hujan dan debit air yang stabil. Perubahan pola cuaca atau perubahan iklim dapat mensugesti ketersediaan air dan performa PLTA. Potensi energi air di Indonesia mencapai 94.449MW yang terdiri berasal potensi untuk PLTA, PLTM, serta PLTMH. Tetapi hingga saat ini potensi yang dimanfaatkan baru mencapai 6,4%. Pemerintah menargetkan bauran tenaga baru dan terbarukan di tahun 2025 paling sedikit sebanyak 23% dan 31% pada tahun 2050. Dengan potensi yang besar pembangunan PLTA menjadi prioritas pemerintah dalam menaikkan bauran energi baru dan terbarukan. Di rencana umum tenaga Nasional (RUEN)

ditargetkan pemanfaatan tenaga air terpasang mencapai 17.896,7MW. Buat menunjang planning tadi pemerintah yang diwakilkan sang Direktorat Jendral EBTKE membuat kebijakan serta rencana strategis. Pemanfaatan energi air dapat diubah disesuaikan topografi wilayah yang berpotensi. Selain PLTA buat daya yang lebih dari 5.000kW, energi air pula dapat dimanfaatkan sebagai PLTM buat daya antara 100kW sampai 5.000kW dan PLTMH buat daya kurang berasal 100kW. Selain bisa sebagai energi listrik, tenaga air pula menjadi alternatif teknologi penyimpanan tenaga dengan kapasitas besar yaitu menggunakan teknologi pumped storage.

Bab 3

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

3.1 Pengantar Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) merupakan salah satu bentuk pemanfaatan energi terbarukan yang berfokus pada kekuatan angin untuk menghasilkan listrik. Konsep ini telah berkembang secara signifikan sejak awal kemunculannya, berkat inovasi teknologi dan kebutuhan mendesak akan sumber energi yang lebih ramah lingkungan.

3.1.1 Sejarah dan Perkembangan PLTB

Sejarah PLTB dapat ditelusuri kembali ke zaman kuno, di mana angin telah digunakan untuk berbagai keperluan, seperti pelayaran dan penggilingan biji-bijian. Namun, konversi angin menjadi energi listrik adalah sebuah kemajuan yang terjadi di akhir abad ke-19. Pembangkit listrik tenaga angin pertama kali dibangun oleh Charles F. Brush di Cleveland, Ohio, Amerika Serikat pada tahun 1887 (Brush, 1884). Ini menandai awal dari eksplorasi angin sebagai sumber energi listrik. Perkembangan teknologi dan kebutuhan energi yang

berkelanjutan mendorong inovasi dalam PLTB. Pada awalnya, turbin angin memiliki desain yang sederhana dan kapasitas terbatas. Namun, seiring waktu, desain turbin telah berevolusi menjadi lebih efisien dan kapabel dalam menghasilkan listrik dalam skala besar. Era modern turbin angin dimulai pada tahun 1970-an sebagai respons terhadap krisis energi global, mendorong penelitian dan pengembangan lebih lanjut dalam teknologi ini.

Di Indonesia, PLTB mulai mendapatkan perhatian sebagai bagian dari upaya diversifikasi sumber energi dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Proyek-proyek PLTB di beberapa daerah seperti di Sulawesi Selatan dan Nusa Tenggara Timur menunjukkan komitmen negara dalam mengembangkan energi terbarukan. Keunggulan geografis Indonesia yang memiliki banyak daerah dengan kecepatan angin yang ideal, memberikan potensi besar untuk pengembangan PLTB di masa depan (Murniati, 2022).

Secara global, PLTB terus berkembang dengan adanya penelitian terus-menerus dalam meningkatkan efisiensi, mengurangi biaya, dan meminimalkan dampak lingkungan. Integrasi PLTB dengan sistem energi yang ada dan teknologi penyimpanan energi juga menjadi fokus penting dalam penelitian saat ini, untuk memastikan bahwa energi yang dihasilkan dari angin dapat dimanfaatkan secara optimal dan berkelanjutan.

3.1.2 Prinsip Dasar Pembangkitan Listrik dari Energi Angin

Pembangkitan listrik dari energi angin adalah proses konversi energi kinetik yang dihasilkan oleh gerakan angin menjadi energi listrik. Prinsip dasar dari proses ini dapat diuraikan dalam beberapa langkah utama:

1. Penangkapan Energi Angin

Proses ini diawali dengan penangkapan energi kinetik angin menggunakan baling-baling atau rotor. Baling-baling turbin angin dirancang untuk menangkap sebanyak mungkin energi kinetik. Saat angin bertiup, baling-baling berputar mengikuti arah angin, menangkap energi kinetik yang dihasilkan (Setiawan, 2023).

2. Konversi Energi Kinetik menjadi Energi Mekanis

Energi kinetik angin yang ditangkap oleh baling-baling kemudian dikonversi menjadi energi mekanis. Putaran baling-baling menggerakkan poros utama dan gearbox yang terhubung dengan

generator. Poros ini berputar dan menggerakkan generator, yang merupakan inti dari proses pembangkitan listrik.

3. Generasi Energi Listrik

Di dalam generator, energi mekanis dari putaran poros diubah menjadi energi listrik. Ini terjadi melalui prinsip induksi elektromagnetik, di mana gerakan mekanis dalam medan magnetik generator menghasilkan arus listrik.

4. Transmisi dan Distribusi

Energi listrik yang dihasilkan kemudian dikirim melalui sistem transmisi dan distribusi. Pada tahap ini, tegangan listrik diubah agar sesuai dengan kebutuhan jaringan listrik atau untuk distribusi langsung ke konsumen.

5. Kontrol dan Manajemen

Sistem kontrol pada PLTB mengatur operasi turbin untuk memastikan efisiensi maksimum. Sensor dan komputer memantau kondisi angin dan menyesuaikan orientasi baling-baling serta kecepatan putarannya untuk mengoptimalkan penangkapan energi angin.

Keefektifan PLTB sangat bergantung pada faktor-faktor seperti kecepatan angin, desain turbin, dan teknologi yang digunakan. Lokasi pembangkit juga penting, dengan area yang memiliki kecepatan angin tinggi dan konsisten, seperti dataran tinggi atau pantai, biasanya lebih efektif untuk pembangkitan energi angin. Di samping itu, aspek seperti dampak lingkungan, biaya pembangunan dan operasional, serta integrasi dengan sistem grid listrik juga menjadi pertimbangan penting dalam pengembangan PLTB.

3.2 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

3.2.1 Turbin Angin

Turbin angin adalah komponen inti dalam PLTB, yang bertugas mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanis dan kemudian menjadi energi listrik.

Komponen ini memiliki beberapa aspek penting yang perlu dipahami:

1. Jenis dan Model
 - a. Turbin Angin Poros Horizontal (HAWT-Horizontal Axis Wind Turbines)

Ini adalah jenis turbin angin yang paling umum. Memiliki rotor dengan baling-baling yang terletak pada poros horizontal, biasanya diarahkan ke angin. Keunggulannya termasuk efisiensi tinggi dan kemampuan untuk menghasilkan listrik dalam skala besar (Azhari, 2022).
 - b. Turbin Angin Poros Vertikal (VAWT-Vertical Axis Wind Turbines)

Turbin ini memiliki poros rotasi yang vertikal. Kelebihannya antara lain tidak memerlukan sistem penyesuaian arah angin dan konstruksi yang lebih sederhana. Cocok untuk area dengan arah angin yang sering berubah (Nelson, 2019).
 - c. Model Skala Kecil dan Mikro Turbin

Dirancang untuk aplikasi skala kecil seperti rumah tangga atau keperluan komersial kecil. Mereka lebih mudah dipasang dan memerlukan ruang yang lebih sedikit.



Gambar 3.1: Pembangkit listrik tenaga bayu (a) HAWT- Horizontal Axis Wind Turbines, (b) VAWT-Vertical Axis Wind Turbines

2. Prinsip Kerja

a. Penangkapan Energi Angin

Turbin angin menangkap energi kinetik angin melalui baling-balingnya. Angin yang bergerak menyebabkan baling-baling berputar, yang kemudian menggerakkan poros utama turbin.

b. Transmisi Energi Mekanis

Energi mekanis dari putaran baling-baling ditransmisikan melalui poros ke generator. Pada beberapa model, terdapat gearbox yang meningkatkan kecepatan putaran untuk efisiensi generator yang lebih tinggi.

c. Pembangkitan Listrik

Poros yang berputar mengaktifkan generator, biasanya melalui prinsip induksi elektromagnetik, untuk menghasilkan listrik. Listrik yang dihasilkan kemudian dapat disimpan atau langsung disalurkan ke jaringan listrik.

Pemilihan jenis dan model turbin angin sangat tergantung pada kondisi lokal, seperti kecepatan angin, topografi, dan kebutuhan energi. Selain itu, aspek seperti biaya, perawatan, dan dampak lingkungan juga memengaruhi keputusan dalam memilih jenis turbin yang tepat untuk PLTB di suatu lokasi.

3.2.2 Generator Listrik

Jenis Generator

Dalam dunia kelistrikan, generator listrik dan sistem transmisi memainkan peran krusial. Generator listrik, yang berfungsi sebagai jantung dari pembangkit listrik, dapat dikategorikan berdasarkan metode pembangkitan dan sumber energinya. Jenis utama termasuk generator AC (Alternating Current), yang menghasilkan arus bolak-balik dan meliputi tipe seperti generator sinkron dan asinkron. Ada pula generator DC (Direct Current) yang menghasilkan arus searah dan sering digunakan dalam skala kecil, seperti pada kendaraan. Selain itu, terdapat generator yang diklasifikasikan berdasarkan sumber energinya, seperti generator hidroelektrik yang menggunakan air, generator termoelektrik yang memanfaatkan panas (Barek, 2023), dan generator angin.

Mekanisme pembangkitan listrik pada generator umumnya berlandaskan prinsip induksi elektromagnetik, yang ditemukan oleh Michael Faraday. Proses ini melibatkan rotasi koil dalam medan magnet, menginduksi aliran elektron dan menghasilkan arus listrik. Komponen penting dari generator termasuk rotor, yang merupakan bagian bergerak dan biasanya mengandung magnet yang berputar, serta stator, bagian tetap yang terdiri dari kumparan kawat tempat terjadinya induksi elektromagnetik. Sebuah regulator tegangan juga hadir untuk mengontrol output generator. Generator listrik dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis berdasarkan metode pembangkitan dan sumber energinya. Jenis-jenis utama yaitu:

1. Generator AC (Alternating Current)
Menghasilkan arus bolak-balik. Contohnya adalah generator sinkron dan generator asinkron.
2. Generator DC (Direct Current)
Menghasilkan arus searah, sering digunakan dalam aplikasi skala kecil seperti generator di kendaraan.
3. Generator Berdasarkan Sumber Energi
Termasuk generator hidroelektrik (menggunakan air), generator termoelektrik (menggunakan panas), dan generator angin (menggunakan energi angin).

Mekanisme Pembangkitan Listrik

Generator listrik umumnya bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yang ditemukan oleh Michael Faraday. Proses ini melibatkan rotasi koil dalam medan magnet, yang menginduksi aliran elektron dan menghasilkan arus listrik. Komponen utama dalam generator adalah:

1. Rotor (bagian bergerak): Biasanya mengandung magnet yang berputar.
2. Stator (bagian tetap): Terdiri dari kumparan kawat tempat induksi elektromagnetik terjadi.
3. Regulator Tegangan: Mengontrol tegangan output generator.

3.2.3 Sistem Transmisi

Komponen Sistem Transmisi

Sistem transmisi listrik, yang bertindak sebagai jaringan distribusi energi, terdiri dari berbagai komponen seperti tower transmisi, yang menopang kabel transmisi menghubungkan pembangkit listrik dengan area distribusi, kabel transmisi yang menghantarkan listrik jarak jauh, transformator yang menyesuaikan level tegangan, dan peralatan pengendali seperti pemutus sirkuit dan sakelar. Proses transmisi energi terjadi dalam beberapa tahap, mulai dari penghasilan listrik di pembangkit, peningkatan tegangan melalui transformator untuk mengurangi kehilangan energi selama transmisi, hingga penurunan tegangan di stasiun transformator sebelum distribusi ke pengguna akhir.

Sistem transmisi listrik adalah jaringan kompleks yang meliputi:

1. Tower Transmisi
Menopang kabel transmisi yang menghubungkan pembangkit listrik dengan area distribusi.
2. Kabel Transmisi
Menghantarkan listrik dalam jarak jauh.
3. Transformator
Menyesuaikan level tegangan untuk transmisi efisien.
4. Peralatan Pengendali
Termasuk pemutus sirkuit dan sakelar untuk mengatur aliran listrik.

Proses Transmisi Energi

Transmisi energi listrik melalui sistem transmisi melibatkan beberapa tahap:

1. Penghasilan Listrik: Dilakukan di pembangkit listrik.
2. Peningkatan Tegangan: Melalui transformator untuk mengurangi kehilangan energi selama transmisi.
3. Transmisi Jarak Jauh: Listrik dihantarkan melalui jaringan kabel tinggi tegangan.
4. Penurunan Tegangan: Dilakukan di stasiun transformator sebelum distribusi ke pengguna akhir.

3.3 Teknologi dan Inovasi dalam Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

3.3.1 Teknologi Terkini dalam Turbin Angin

Dalam konteks teknologi terkini yang digunakan dalam turbin angin, terdapat beberapa inovasi signifikan yang telah memberikan kontribusi penting dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Pertama, inovasi dalam desain aerodinamis turbin telah memungkinkan pengembangan blade turbin yang lebih efisien. Hal ini dicapai melalui penggunaan material yang ringan namun kuat, yang tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional turbin tetapi juga mengurangi biaya pemeliharaan dan operasional. Kedua, penerapan sistem kontrol cerdas yang memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan kecerdasan buatan (AI) telah mengubah cara operasi turbin. Sistem ini memungkinkan penyesuaian orientasi dan operasi turbin secara real-time berdasarkan kondisi angin yang berubah-ubah, sehingga meningkatkan output energi dan mengurangi risiko kerusakan akibat kondisi angin yang tidak stabil. Terakhir, adopsi teknologi gearless dalam turbin angin merupakan langkah maju yang signifikan. Dengan menghilangkan *gearbox*, turbin ini mengurangi kerugian mekanis dan meminimalisir kebutuhan pemeliharaan, yang pada gilirannya meningkatkan reliabilitas dan umur panjang turbin. Keseluruhan inovasi ini menandakan kemajuan penting dalam teknologi turbin angin, mendorong efisiensi yang

lebih tinggi dan operasional yang lebih berkelanjutan dalam sektor energi terbarukan.

Turbin angin merupakan komponen kunci dalam PLTB. Teknologi terkini yang digunakan dalam turbin angin meliputi:

1. **Desain Aerodinamis**
Pengembangan blade turbin yang lebih efisien, dengan material yang ringan namun kuat, meningkatkan efisiensi.
2. **Sistem Kontrol Cerdas**
Penggunaan teknologi IoT dan AI untuk mengoptimalkan orientasi dan operasi turbin berdasarkan kondisi angin yang berubah-ubah.
3. **Teknologi Gearless**
Mengurangi kerugian mekanis dan kebutuhan pemeliharaan dengan menghilangkan gearbox.

3.3.2 Inovasi dalam Efisiensi Energi

Upaya-upaya inovatif untuk meningkatkan efisiensi energi menjadi kunci dalam mengoptimalkan produksi energi terbarukan. Salah satu aspek penting dalam inovasi ini adalah pengembangan generator dengan efisiensi yang lebih tinggi. Melalui teknologi canggih, generator ini dirancang untuk menghasilkan listrik lebih banyak dari energi kinetik angin yang sama, sehingga meningkatkan output total PLTB tanpa perlu meningkatkan jumlah atau ukuran turbin.

Selain itu, integrasi sistem penyimpanan energi menjadi elemen vital dalam menstabilkan pasokan listrik, terutama mengingat sifat angin yang tidak konsisten dan tak terduga. Sistem penyimpanan ini, yang bisa berupa baterai atau sistem penyimpanan termal, memungkinkan PLTB menyimpan energi surplus saat produksi angin tinggi dan memanfaatkannya saat produksi angin menurun. Pendekatan ini tidak hanya mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan tetapi juga meningkatkan kehandalan dan ketersediaan pasokan listrik.

Terakhir, pengurangan kehilangan transmisi menjadi fokus penting lainnya. Dengan menggunakan material dan desain kabel yang lebih inovatif, PLTB dapat mengurangi kehilangan energi yang terjadi selama proses transmisi dari turbin ke jaringan listrik. Inisiatif ini tidak hanya meningkatkan efisiensi energi

secara keseluruhan tetapi juga berkontribusi pada pengurangan biaya operasional dan pemeliharaan. Melalui kombinasi teknik-teknik ini, PLTB mampu memaksimalkan potensi energi terbarukan, mengurangi dampak lingkungan, dan berkontribusi lebih banyak pada sistem energi yang berkelanjutan.

Upaya meningkatkan efisiensi energi dalam PLTB fokus pada beberapa aspek:

1. **Optimisasi Output Generator**
Pengembangan generator dengan efisiensi tinggi yang dapat menghasilkan lebih banyak listrik dari energi kinetik angin yang sama.
2. **Penyimpanan Energi**
Integrasi sistem penyimpanan energi, seperti baterai atau penyimpanan termal, untuk menstabilkan pasokan listrik saat produksi angin tidak konsisten.
3. **Reduksi Kehilangan Transmisi**
Penggunaan material dan desain kabel yang inovatif untuk mengurangi kehilangan energi selama transmisi dari turbin ke jaringan listrik.

3.3.3 Pengembangan Berkelanjutan PLTB

Pengembangan berkelanjutan dalam PLTB mencakup:

1. **Dampak Lingkungan Rendah**
Desain dan lokasi turbin angin yang memperhatikan dampak terhadap habitat lokal dan spesies burung.
2. **Penggunaan Material Ramah Lingkungan**
Riset terhadap material baru yang lebih mudah didaur ulang dan memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah selama produksi dan pembuangan.
3. **Pemberdayaan Komunitas Lokal**
Memastikan PLTB memberikan manfaat ekonomi kepada komunitas lokal, baik melalui penciptaan lapangan kerja maupun kontribusi terhadap pembangunan berkelanjutan.

Penerapan teknologi dan inovasi dalam PLTB tidak hanya meningkatkan efisiensi dan output energi, tetapi juga memperkuat komitmen terhadap keberlanjutan dan pengurangan dampak lingkungan. Penelitian dan pengembangan terus-menerus di bidang ini esensial untuk mengoptimalkan manfaat PLTB dalam jangka panjang.

3.4 Instalasi dan Pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

3.4.1 Persiapan dan Perencanaan Instalasi

Tahap awal dalam pembangunan PLTB sangat menentukan keberhasilan proyek. Langkah-langkah kunci dalam persiapan dan perencanaan meliputi:

1. Studi Kelayakan
Menilai potensi lokasi, termasuk analisis kecepatan dan konsistensi angin, aksesibilitas, dan dampak lingkungan.
2. Perencanaan Desain
Merancang tata letak turbin dan infrastruktur pendukung, mempertimbangkan faktor teknis dan lingkungan.
3. Perizinan dan Regulasi
Memastikan semua persyaratan hukum dan regulasi terpenuhi, termasuk izin lingkungan dan keselamatan kerja.
4. Pengadaan Komponen dan Kontraktor
Memilih pemasok turbin dan komponen lainnya, serta mengontrak perusahaan konstruksi yang berpengalaman (Syam, 2022).

3.4.2 Proses Pemasangan dan Pengoperasian

Setelah perencanaan, tahap pemasangan dan pengoperasian melibatkan:

1. Pemasangan Infrastruktur
Memasang pondasi, menara, dan komponen turbin. Ini memerlukan peralatan berat dan koordinasi logistik yang tepat.

2. **Penghubungan ke Jaringan Listrik**
Mengintegrasikan turbin dengan sistem transmisi listrik, termasuk pemasangan kabel dan transformator.
3. **Uji Coba dan Pengoperasian**
Melakukan pengujian untuk memastikan semua sistem berfungsi sesuai desain. Setelah diuji, PLTB siap beroperasi (Aslimeri, 2019).

3.4.3 Pemeliharaan dan Keselamatan Kerja

Manajemen pemeliharaan dan keselamatan kerja adalah aspek penting untuk memastikan keberlanjutan PLTB:

1. **Pemeliharaan Rutin**
Melakukan inspeksi dan perawatan berkala untuk memastikan operasi yang efisien dan mencegah kerusakan.
2. **Protokol Keselamatan Kerja**
Menerapkan standar keselamatan tinggi untuk melindungi pekerja dan peralatan. Ini termasuk pelatihan keselamatan, peralatan pelindung, dan prosedur darurat.
3. **Monitoring dan Manajemen Teknologi**
Menggunakan sistem monitoring canggih untuk melacak performa turbin dan mendiagnosis masalah secara proaktif.

Penerapan praktik terbaik dalam instalasi dan pengoperasian PLTB sangat penting untuk memastikan operasi yang lancar, efisien, dan aman. Ini juga membantu dalam memperpanjang umur operasional turbin dan infrastruktur terkait, memaksimalkan investasi, dan meminimalkan dampak lingkungan.

3.5 Analisis Efisiensi dan Produktivitas Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

3.5.1 Faktor-faktor yang Memengaruhi Efisiensi

Efisiensi PLTB dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk:

1. Kondisi Meteorologis
Kecepatan dan konsistensi angin adalah penentu utama efisiensi. Variabilitas musiman dan harian angin berpengaruh signifikan terhadap output energi.
2. Teknologi Turbin
Desain aerodinamis blade, kualitas bahan, dan teknologi gearbox atau gearless menentukan seberapa efisien energi kinetik angin diubah menjadi listrik.
3. Pemeliharaan
Pemeliharaan rutin dan penggantian komponen yang aus memastikan operasi yang efisien dan meminimalkan downtime.
4. Lokasi dan Tata Letak
Penempatan turbin yang strategis untuk memaksimalkan pemanfaatan angin, sambil menghindari efek bayangan angin antar turbin.

3.5.2 Pengukuran dan Evaluasi Produktivitas

Pengukuran dan evaluasi produktivitas PLTB meliputi:

1. Pemantauan Output Listrik
Mengukur jumlah listrik yang dihasilkan relatif terhadap potensi angin.
2. Analisis Efisiensi Turbin
Mengevaluasi performa individual turbin, termasuk kecepatan rotasi dan efisiensi perubahan energi.
3. Penilaian Keseluruhan Sistem
Melibatkan evaluasi integrasi sistem PLTB dengan jaringan listrik, termasuk efisiensi transmisi.

3.5.3 Studi Kasus: PLTB di Berbagai Negara

Analisis studi kasus PLTB di berbagai negara dapat memberikan wawasan tentang praktik terbaik dan tantangan yang dihadapi:

1. Eropa

Negara-negara seperti Denmark dan Jerman, yang memiliki kebijakan yang mendukung energi terbarukan, menunjukkan efisiensi tinggi dalam pemanfaatan PLTB. Penerapan teknologi terkini dan kebijakan progresif berkontribusi pada kesuksesan mereka.

2. Amerika Serikat

PLTB di AS menunjukkan variasi efisiensi yang signifikan, tergantung pada lokasi dan dukungan kebijakan. Area dengan kebijakan kuat dan angin yang konsisten, seperti Texas, mencatat output yang tinggi.

3. Asia

Negara-negara seperti China dan India yang sedang berkembang dalam sektor PLTB, menghadapi tantangan dalam infrastruktur dan integrasi jaringan, tetapi menunjukkan potensi besar untuk peningkatan efisiensi.

Menganalisis efisiensi dan produktivitas PLTB memberikan informasi penting untuk pengembangan dan optimalisasi pembangkit listrik tenaga bayu di masa depan, dengan menyoroti faktor-faktor kritis yang memengaruhi performa dan menunjukkan bagaimana berbagai tantangan dapat diatasi berdasarkan pengalaman global.

3.6 Dampak Lingkungan dan Sosial dari Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Tabel 3.1: Analisa SWOT PLTB

Aspek	Deskripsi
Strengths (Kekuatan)	<p>-Pengurangan Emisi Karbon: Menurunkan emisi gas rumah kaca dengan menggantikan bahan bakar fosil.</p> <p>-Penggunaan Lahan yang Efisien: Kemampuan untuk ditempatkan di berbagai lokasi, termasuk lahan yang sudah ada, memungkinkan multifungsi lahan.</p> <p>-Konservasi Sumber Daya: Mengurangi eksploitasi sumber daya alam yang tidak terbarukan dengan memanfaatkan angin.</p>
Weaknesses (Kelemahan)	<p>-Penerimaan Komunitas Lokal: Potensi penolakan dari masyarakat lokal karena masalah visual dan kebisingan.</p> <p>-Dampak terhadap Fauna Lokal: Risiko terhadap burung dan kelelawar akibat operasi turbin.</p> <p>-Tantangan dalam Evaluasi Dampak Lingkungan: Kesulitan dalam melakukan studi yang akurat dan komprehensif.</p>
Opportunities (Peluang)	<p>-Edukasi dan Keterlibatan Masyarakat: Meningkatkan penerimaan melalui pendidikan dan keterlibatan komunitas.</p> <p>-Pengembangan Teknologi Ramah Fauna: Inovasi dalam desain untuk mengurangi dampak terhadap fauna lokal.</p> <p>-Peningkatan Lapangan Kerja: Penciptaan pekerjaan dan pelatihan untuk masyarakat lokal.</p>
Threats (Ancaman)	<p>-Perubahan Regulasi: Potensi perubahan kebijakan yang memengaruhi operasi PLTB.</p> <p>-Perubahan Sosial-Ekonomi: Dinamika sosial dan ekonomi yang berubah dapat memengaruhi dukungan dan operasional PLTB.</p> <p>-Risiko Lingkungan Tak Terduga: Kemungkinan dampak lingkungan yang belum teridentifikasi atau tak terduga.</p>

3.6.1 Dampak Positif terhadap Lingkungan

PLTB memiliki beberapa dampak positif terhadap lingkungan, diperlihatkan pada Tabel 3.1, antara lain:

1. Pengurangan Emisi Karbon
Sebagai sumber energi terbarukan, PLTB mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, secara signifikan mengurangi emisi gas rumah kaca.
2. Penggunaan Lahan yang Efisien
PLTB dapat ditempatkan di berbagai lokasi, termasuk lahan pertanian atau lahan kosong, memungkinkan penggunaan lahan yang multifungsi.
3. Konservasi Sumber Daya
Menggunakan angin sebagai sumber energi mengurangi eksploitasi sumber daya alam yang tidak terbarukan.

3.6.2 Tantangan dan Solusi dalam Aspek Sosial

Dalam konteks sosial, PLTB menghadapi beberapa tantangan yang memerlukan solusi inovatif:

1. Penerimaan Komunitas Lokal
PLTB terkadang menghadapi penolakan dari masyarakat lokal karena isu visual dan kebisingan. Solusinya melibatkan keterlibatan komunitas sejak awal proyek dan penyediaan informasi yang transparan tentang manfaat PLTB.
2. Dampak terhadap Fauna Lokal
Khususnya burung dan kelelawar yang terpengaruh oleh turbin angin. Mengadopsi teknologi pendeteksi dan menghindari pembangunan di jalur migrasi adalah beberapa cara untuk mengurangi dampak ini.
3. Pembangunan dan Pekerjaan
PLTB dapat menciptakan lapangan kerja dan mendorong pembangunan lokal. Pemberdayaan masyarakat melalui pelatihan dan pekerjaan dapat menjadi solusi untuk memaksimalkan dampak positif ini.

3.6.3 Strategi Pengelolaan Dampak Lingkungan

Untuk mengelola dampak lingkungan PLTB, beberapa strategi dapat diterapkan:

1. Evaluasi Dampak Lingkungan (EIA)
Melakukan studi EIA secara menyeluruh sebelum memulai proyek untuk mengidentifikasi dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.
2. Desain Ramah Lingkungan
Mengadopsi desain turbin dan layout yang meminimalkan gangguan terhadap habitat lokal dan spesies.
3. Pemantauan dan Mitigasi Berkelanjutan
Melakukan pemantauan berkelanjutan terhadap dampak lingkungan dan menerapkan tindakan mitigasi jika diperlukan.

Dampak lingkungan dan sosial dari PLTB sangat penting untuk dipertimbangkan dalam pengembangan proyek. Dengan strategi yang tepat, PLTB dapat memberikan manfaat energi terbarukan yang signifikan sambil meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan dan masyarakat sekitar.

3.7 Kebijakan dan Regulasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Indonesia, sebagai negara dengan potensi besar dalam energi terbarukan, telah mengembangkan berbagai kebijakan untuk mendukung energi terbarukan, termasuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Melalui Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), pemerintah menargetkan peningkatan penggunaan energi terbarukan dalam bauran energi nasional. Ini didukung dengan insentif fiskal dan non-fiskal, serta inisiatif pembangunan infrastruktur. Terkait regulasi, terdapat peraturan khusus mengenai tarif tenaga listrik dari PLTB, standar keselamatan dan lingkungan, serta pengaturan pemakaian lahan. Meskipun potensi pengembangan PLTB di Indonesia sangat besar, terdapat tantangan dalam koordinasi dan implementasi kebijakan, serta kebutuhan investasi infrastruktur yang signifikan. Namun, ini juga membuka peluang di

pasar energi terbarukan dan memberikan kesempatan untuk pemberdayaan masyarakat lokal. Efektivitas kebijakan PLTB bergantung pada kerjasama antara pemerintah, pelaku industri, dan masyarakat, serta kesiapan infrastruktur dan aspek teknis lainnya (Corio, Et all, 2022).

3.7.1 Kebijakan Energi Terbarukan di Indonesia

Indonesia, sebagai negara dengan potensi energi terbarukan yang besar, telah mengembangkan berbagai kebijakan untuk mendukung pengembangan energi terbarukan, termasuk PLTB. Ini termasuk:

1. Rencana Umum Energi Nasional (RUEN)
Menetapkan target untuk meningkatkan penggunaan energi terbarukan dalam bauran energi nasional.
2. Inisiatif Pemerintah untuk Pembangunan Infrastruktur
Fokus pada pengembangan infrastruktur energi terbarukan, termasuk PLTB.
3. Insentif Fiskal dan Non-Fiskal
Memberikan insentif untuk investasi dalam proyek energi terbarukan, termasuk pembebasan pajak dan subsidi (Setyaningrum et all, 2022).

3.7.2 Regulasi yang Mengatur PLTB

Regulasi yang mengatur pengembangan dan operasional PLTB di Indonesia meliputi:

1. Peraturan tentang Tarif Tenaga Listrik
Mengatur mekanisme penetapan harga listrik yang dihasilkan oleh PLTB.
2. Standar Keselamatan dan Lingkungan
Menetapkan standar teknis dan keselamatan untuk instalasi dan operasi PLTB.
3. Regulasi tentang Pemakaian Lahan
Mengatur penggunaan lahan untuk proyek PLTB, terutama di lokasi yang sensitif secara lingkungan dan sosial.

3.7.3 Tantangan dan Peluang dalam Kebijakan PLTB

Dalam penerapan kebijakan PLTB, Indonesia menghadapi beberapa tantangan dan peluang:

1. Tantangan Koordinasi dan Implementasi
Keterbatasan dalam koordinasi antar lembaga pemerintah dan pelaksanaan kebijakan di lapangan.
2. Pengembangan Infrastruktur
Membutuhkan investasi yang besar untuk infrastruktur pendukung seperti jaringan transmisi.
3. Peluang Pasar Energi Terbarukan
Potensi besar untuk pengembangan PLTB, mengingat sumber daya angin yang ada di beberapa wilayah Indonesia.
4. Pemberdayaan Masyarakat Lokal
Melibatkan masyarakat lokal dalam proyek PLTB dapat meningkatkan penerimaan sosial dan memberikan manfaat ekonomi.

Kebijakan dan regulasi PLTB di Indonesia memainkan peran penting dalam mengarahkan dan mendukung pengembangan sektor energi terbarukan. Efektivitas kebijakan ini sangat bergantung pada koordinasi yang baik antara pemerintah, pelaku industri, dan masyarakat, serta kesiapan infrastruktur dan aspek teknis lainnya.

3.8 Kesimpulan dan Masa Depan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

3.8.1 Ringkasan Temuan Utama

Penelitian ini telah menyoroti beberapa aspek penting PLTB. Pertama, efisiensi dan inovasi dalam teknologi turbin angin terus berkembang, memberikan peluang peningkatan produktivitas. Kedua, pemasangan dan pengoperasian PLTB memerlukan perencanaan yang matang dan pemeliharaan yang efektif. Ketiga, PLTB memiliki dampak positif yang signifikan terhadap lingkungan dengan mengurangi emisi karbon, namun juga

menimbulkan tantangan sosial dan lingkungan yang perlu dikelola secara hati-hati. Keempat, kebijakan dan regulasi di Indonesia menunjukkan komitmen negara terhadap energi terbarukan, tetapi memerlukan koordinasi dan implementasi yang lebih baik.

3.8.2 Prediksi Tren Masa Depan PLTB

Diperkirakan bahwa PLTB akan terus tumbuh dan berkembang di masa depan. Tren ini didorong oleh kemajuan teknologi, penurunan biaya, serta meningkatnya kesadaran akan pentingnya energi terbarukan. Dengan perubahan iklim yang menjadi perhatian global, pemerintah dan sektor swasta kemungkinan akan meningkatkan investasi di bidang ini. Selain itu, penelitian dan pengembangan akan terus memperkenalkan inovasi dalam desain turbin dan sistem manajemen energi, meningkatkan efisiensi dan integrasi PLTB dengan jaringan listrik.

3.8.3 Saran dan Rekomendasi untuk Pengembangan PLTB

Untuk mendukung pengembangan PLTB yang berkelanjutan, diperlukan beberapa langkah. Pertama, peningkatan koordinasi antara pemerintah, industri, dan masyarakat sangat penting, terutama dalam penerapan kebijakan dan regulasi. Kedua, investasi dalam penelitian dan pengembangan teknologi harus ditingkatkan untuk mengatasi tantangan teknis dan operasional. Ketiga, perlu adanya strategi komprehensif untuk mengelola dampak lingkungan dan sosial, termasuk peningkatan keterlibatan masyarakat lokal. Akhirnya, memperkuat kerangka kerja hukum dan insentif ekonomi akan mendorong lebih banyak investasi dalam sektor ini.

Bab 4

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

4.1 Prinsip Kerja PLTU

Prinsip kerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) mencakup beberapa tahap yang kompleks dan terkoordinasi dengan baik. Proses ini dimulai dari pembakaran bahan bakar fosil atau pemanasan dengan sumber panas lainnya, dan berakhir dengan menghasilkan energi listrik yang siap didistribusikan ke jaringan listrik. PLTU dapat menggunakan berbagai jenis bahan bakar, seperti batu bara, minyak, atau gas alam. Pembakaran bahan bakar ini terjadi dalam suatu ruang pembakaran atau tungku, yang menghasilkan panas yang tinggi. Proses ini sering melibatkan pembakaran batu bara dalam boiler. Sebagai contoh, dalam pembakaran batu bara, batu bara dibakar di dalam boiler untuk menghasilkan panas. Panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar digunakan untuk memanaskan air dalam boiler. Boiler terdiri dari pipa-pipa dan tabung-tabung yang didesain untuk memaksimalkan kontak antara air dan gas panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar. Air dalam boiler dipanaskan hingga menjadi uap.

Uap air yang dihasilkan oleh pemanasan air dalam boiler memiliki tekanan dan suhu yang tinggi. Uap ini kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin

uap. Uap yang dihasilkan dari boiler melewati turbin uap. Turbin uap memiliki bilah-bilah yang dipasang pada poros, dan saat uap melewati bilah-bilah ini, itu menyebabkan poros berputar. Inilah yang menciptakan energi mekanis dari panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar. Energi mekanis yang dihasilkan oleh turbin uap kemudian diteruskan ke generator. Generator menggunakan prinsip elektromagnetisme untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Dalam generator, poros dari turbin terhubung dengan kumparan kawat konduktor yang ditempatkan di antara medan magnet. Gerakan rotasi poros memotong garis medan magnet, menciptakan arus listrik dalam kawat.

Energi listrik yang dihasilkan oleh generator dapat disalurkan ke sistem transmisi dan distribusi listrik. Daya listrik ini dapat dialirkan melalui jaringan listrik dan disalurkan ke rumah-rumah, industri, dan berbagai lokasi lain yang membutuhkan suplai energi listrik. Setelah melewati turbin, uap yang telah kehilangan sebagian besar energinya mengalami kondensasi kembali menjadi air. Air ini kemudian dikembalikan ke boiler melalui sistem sirkulasi air untuk dipanaskan kembali. Ini menciptakan siklus tertutup yang berulang, di mana air terus-menerus dipanaskan, diubah menjadi uap, digunakan untuk menggerakkan turbin, dan kemudian dikondensasikan kembali untuk dimasukkan kembali ke dalam siklus. PLTU biasanya dilengkapi dengan sistem pendingin atau kondensor untuk membuang kelebihan panas yang tidak diubah menjadi energi mekanis. Sistem ini membantu menjaga efisiensi proses dan mencegah kerusakan pada komponen-komponen utama.

4.2 Komponen Utama PLTU

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang menggunakan uap air untuk menghasilkan energi listrik. Prosesnya melibatkan konversi energi panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar fosil atau energi panas dari sumber lain menjadi energi mekanis melalui uap air, dan akhirnya diubah menjadi energi listrik. PLTU merupakan teknologi yang umum digunakan di seluruh dunia karena efisiensinya yang tinggi dan kemampuannya untuk menghasilkan daya listrik dalam skala besar.

Berikut adalah penjelasan lebih rinci mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Uap:

1. Boiler

Merupakan komponen utama yang digunakan untuk mengubah air menjadi uap dengan memanfaatkan panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. Boiler biasanya terdiri dari berbagai pipa dan tabung untuk memaksimalkan kontak antara air dan gas panas. Boiler dalam Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menjadi elemen kritis dalam transformasi energi, mengubah panas dari pembakaran bahan bakar menjadi uap yang dapat menggerakkan turbin uap dan akhirnya menghasilkan energi listrik. Proses ini melibatkan sejumlah tahap yang kompleks dan terkoordinasi secara cermat.

2. Turbina Uap

Uap yang dihasilkan oleh boiler digunakan untuk menggerakkan turbin uap. Turbin ini memiliki bilah-bilah yang dipasang pada poros, dan saat uap melewati turbin, ia menyebabkan poros berputar, menghasilkan energi mekanis. Turbin uap adalah komponen kunci dalam Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang mengonversi energi termal dari uap menjadi energi mekanis, yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan generator dan menghasilkan energi listrik. Proses ini melibatkan sejumlah tahap dan teknologi yang canggih

3. Generator

Energi mekanis yang dihasilkan oleh turbin uap kemudian diteruskan ke generator. Generator mengubah energi mekanis menjadi energi listrik melalui prinsip elektromagnetisme, menghasilkan arus listrik yang dapat didistribusikan ke jaringan listrik. Generator dalam Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah komponen yang bertanggung jawab mengubah energi mekanis yang dihasilkan oleh turbin uap menjadi energi listrik. Generator ini memainkan peran utama dalam menghasilkan daya listrik yang kemudian dapat didistribusikan ke jaringan listrik.

4. Condenser

Setelah melewati turbin, uap yang telah kehilangan sebagian besar energinya mengalami kondensasi kembali menjadi air. Proses ini terjadi di dalam kondensor, dan air yang dihasilkan kemudian dikembalikan ke boiler untuk dipanaskan kembali. Condenser (kondensor) dalam Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah komponen yang memainkan peran penting dalam siklus termal untuk mengembalikan uap yang telah digunakan oleh turbin uap menjadi air, sehingga dapat digunakan kembali dalam boiler.

5. Pompa Umpan Air

Bertugas untuk memompa air dari kondensor ke boiler, memastikan siklus air tertutup dan efisiensi keseluruhan proses. Pompa umpan air adalah komponen vital dalam Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang berfungsi untuk memompa air dari kondensor kembali ke dalam boiler, memastikan kelancaran dan kelengkapan siklus air tertutup dalam pembangkit listrik.

4.3 Jenis Pembangkit Listrik Tenaga Uap

4.3.1 Pembangkit Listrik Uap Konvensional

Umumnya menggunakan bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak, atau gas alam sebagai sumber panas untuk menghasilkan uap. PLTU konvensional seringkali memiliki efisiensi yang tinggi, namun, dapat menciptakan dampak lingkungan negatif seperti emisi gas rumah kaca dan polusi udara. Pembangkit Listrik Uap Konvensional merupakan infrastruktur penting dalam sektor energi yang telah lama menjadi tulang punggung pasokan listrik di banyak negara di seluruh dunia. Dengan teknologi yang telah berkembang sejak awal abad ke-20, pembangkit listrik uap konvensional telah membuktikan keandalannya dalam menyediakan daya listrik untuk memenuhi kebutuhan industri, rumah tangga, dan komunitas secara luas.

Pembangkit Listrik Uap Konvensional mengikuti prinsip kerja siklus Rankine, siklus termodinamika yang digunakan dalam pembangkit listrik berbasis uap. Siklus ini melibatkan beberapa tahapan, dimulai dari pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak, atau gas alam. Proses pembakaran menghasilkan panas yang digunakan untuk memanaskan air dalam boiler. Boiler adalah salah satu komponen utama dalam pembangkit listrik uap. Di dalam boiler, air yang diumpankan dipanaskan oleh panas dari pembakaran bahan bakar, mengubahnya menjadi uap. Desain boiler dirancang untuk memaksimalkan transfer panas, menciptakan kondisi ideal untuk pembentukan uap yang efisien.

Proses pemanasan berlanjut hingga air mencapai suhu didih dan berubah menjadi uap. Uap yang dihasilkan memiliki tekanan dan suhu yang tinggi, memberikan energi potensial yang besar. Uap ini selanjutnya dialirkan ke turbin uap untuk menghasilkan energi mekanis. Uap yang diarahkan ke turbin uap menyebabkan gerakan rotatif pada bilah-bilah turbin. Gerakan ini menghasilkan energi kinetik yang dapat digunakan untuk menggerakkan generator. Turbin uap memainkan peran krusial dalam konversi energi termal menjadi energi mekanis.

4.3.2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap Nuklir

Menggunakan reaksi nuklir, biasanya fisika pemecahan inti atau fisika fusi nuklir, untuk menghasilkan panas yang kemudian digunakan untuk menghasilkan uap. PLTU nuklir tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca, tetapi memiliki tantangan terkait dengan pengelolaan limbah nuklir dan keamanan. Pembangkit Listrik Uap Nuklir adalah bentuk unik dari pembangkit listrik yang menggunakan energi nuklir untuk memanaskan air dan menghasilkan uap yang digunakan untuk menggerakkan turbin dan generator listrik. Sistem ini berbeda dengan pembangkit listrik uap konvensional karena menggunakan reaksi nuklir sebagai sumber panas utama. Dalam deskripsi ini, kita akan menjelajahi secara rinci tentang pembangkit listrik uap nuklir, termasuk prinsip kerjanya, komponen-komponennya, dan aspek-aspek lain yang relevan.

Pembangkit Listrik Uap Nuklir bekerja berdasarkan prinsip reaksi nuklir. Proses ini melibatkan pemecahan inti atom, biasanya uranium atau plutonium, yang disebut fisi nuklir. Fisi nuklir menghasilkan energi panas yang besar dan neutron tambahan, yang dapat menyebabkan fisi lanjutan dalam reaksi berantai. Reaktor nuklir adalah pusat dari pembangkit listrik uap nuklir. Di

dalam reaktor, bahan bakar nuklir seperti uranium-235 ditempatkan dalam elemen bakar, biasanya batang bakar yang dirancang untuk mendukung reaksi fisi nuklir. Ketika inti atom uranium memecah, mereka melepaskan energi panas yang besar. Moderator neutron digunakan dalam reaktor nuklir untuk memperlambat neutron yang dihasilkan selama fisi nuklir. Semakin lambat neutron, semakin besar kemungkinan mereka dapat menyebabkan fisi nuklir lanjutan, meningkatkan efisiensi reaktor.

Pendingin reaktor berfungsi untuk mengalirkan panas yang dihasilkan selama reaksi fisi nuklir. Air atau bahan pendingin khusus sirkulasi melalui elemen bakar dan membawa panas ke penukar panas. Beberapa jenis pendingin yang umum digunakan termasuk air bertekanan tinggi atau gas helium. Penukar panas digunakan untuk mentransfer panas dari reaktor ke air atau pendingin lainnya. Panas yang dihasilkan selama reaksi nuklir digunakan untuk memanaskan air dan menghasilkan uap. Generator uap adalah komponen penting dalam pembangkit listrik uap nuklir. Uap yang dihasilkan dari panas reaktor digunakan untuk menggerakkan turbin uap di dalam generator. Turbin uap berputar saat uap melewati bilah-bilahnya, menghasilkan energi kinetik yang dapat diubah menjadi energi listrik oleh generator.

Sistem kontrol reaktor digunakan untuk mengelola laju reaksi nuklir. Kontrol ini mencakup pengaturan batang kendali neutron yang dapat dimasukkan atau ditarik dari elemen bakar untuk mengontrol kecepatan reaksi nuklir. Industri nuklir terus melakukan inovasi untuk meningkatkan keselamatan, efisiensi, dan keberlanjutan pembangkit listrik uap nuklir. Pengembangan reaktor canggih, termasuk reaktor generasi keempat, dan penelitian pada bahan bakar nuklir cair, menjadi fokus untuk mencapai pembangkit listrik nuklir yang lebih aman dan efisien. Pembangkit Listrik Uap Nuklir memainkan peran penting dalam mendiversifikasi sumber daya energi dan menyediakan daya listrik yang andal. Sementara keberlanjutan dan keselamatan tetap menjadi perhatian utama, penelitian dan inovasi terus dilakukan untuk membuat teknologi nuklir lebih efisien, aman, dan berkelanjutan.

4.3.3 Pembangkit Listrik Tenaga Uap Berbasis Energi Terbarukan

Meskipun sebagian besar PLTU menggunakan bahan bakar fosil, ada upaya untuk mengembangkan PLTU berbasis energi terbarukan, seperti biomassa atau limbah panas industri, untuk mengurangi dampak lingkungan.

Pembangkit Listrik Uap Berbasis Energi Terbarukan adalah solusi inovatif dalam menghasilkan energi listrik tanpa mengandalkan bahan bakar fosil yang dapat merusak lingkungan. Metode ini menggabungkan teknologi pembangkit listrik uap dengan sumber energi terbarukan seperti matahari, angin, atau biomassa. Dalam deskripsi ini, kita akan membahas prinsip kerja, komponen-komponen utama, keberlanjutan, dan dampaknya terhadap lingkungan.

Pembangkit Listrik Uap Berbasis Energi Terbarukan memanfaatkan sumber energi terbarukan sebagai input utama. Sumber energi ini dapat berasal dari matahari melalui pembangkit listrik tenaga surya, angin melalui pembangkit listrik tenaga angin, atau biomassa melalui pembangkit listrik biomassa. Pilihan sumber energi tergantung pada ketersediaan dan kondisi lokal. Prinsip kerja mirip dengan pembangkit listrik uap konvensional, namun dengan bahan bakar yang berbeda. Proses dimulai dengan menghasilkan panas dari sumber energi terbarukan. Misalnya, panel surya mengonversi sinar matahari menjadi panas, turbin angin mengonversi energi kinetik angin menjadi panas, atau pembakaran biomassa menghasilkan panas.

Panas yang dihasilkan dari sumber energi terbarukan digunakan untuk memanaskan fluida kerja dalam sistem pemanas. Fluida kerja ini kemudian mengalir ke pembangkit uap di mana panasnya ditransfer ke air atau cairan kerja lainnya untuk menghasilkan uap. Uap yang dihasilkan oleh sistem pemanas dan pembangkit uap digunakan untuk menggerakkan turbin uap. Turbin uap, seperti pada pembangkit listrik uap konvensional, berputar saat terkena aliran uap. Gerakan rotatif turbin selanjutnya diteruskan ke generator, yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Setelah uap melewati turbin, itu harus dikondensasikan kembali menjadi cairan untuk memulai siklus baru. Sistem pendingin dan kondensor digunakan untuk menghilangkan panas dari uap, mengubahnya kembali menjadi cairan yang dapat digunakan kembali dalam proses pembangkitan.

Pembangkit Listrik Uap Terbarukan dapat menghasilkan tegangan variabel atau tegangan searah (DC) tergantung pada jenis sumber energi terbarukan yang digunakan. Misalnya, panel surya menghasilkan listrik searah yang kemudian dapat diubah menjadi tegangan bolak-balik (AC) melalui inverter. Beberapa pembangkit listrik uap terbarukan mengintegrasikan teknologi yang berbeda untuk meningkatkan efisiensi dan ketersediaan energi. Sistem penyimpanan energi seperti baterai dapat diintegrasikan untuk menyimpan energi yang dihasilkan pada saat-saat ketika sumber energi terbarukan tidak aktif.

4.4 Kelebihan Pembangkit Listrik Tenaga Uap

1. Efisiensi Tinggi

PLTU memiliki efisiensi tinggi dalam mengubah panas menjadi energi listrik, menjadikannya salah satu jenis pembangkit listrik yang paling efisien. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu sumber utama energi listrik di banyak negara di seluruh dunia. Efisiensi PLTU menjadi kunci dalam mengekstrak sebanyak mungkin energi dari bahan bakar yang digunakan, sambil tetap meminimalkan dampak lingkungan. Dalam deskripsi ini, kita akan menjelajahi berbagai aspek yang memengaruhi efisiensi PLTU, termasuk teknologi canggih, peran desain, dan upaya untuk meningkatkan kinerja secara keseluruhan.

2. Skala Besar

Cocok untuk pembangkitan listrik dalam skala besar, memenuhi kebutuhan energi yang tinggi di kota-kota besar dan industri. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) memang cocok untuk skala besar dan telah menjadi pilihan utama dalam memenuhi kebutuhan listrik masyarakat dan industri dalam skala yang besar. PLTU dirancang untuk memiliki kapasitas besar dalam menghasilkan daya listrik. Kapasitas yang tinggi memungkinkan PLTU dapat menyuplai listrik dalam jumlah yang mencukupi untuk memenuhi kebutuhan besar, seperti kota metropolitan atau wilayah industri.

3. Stabilitas Sistem

PLTU dapat menyediakan daya listrik secara konsisten dan dapat diandalkan, yang penting untuk stabilitas jaringan listrik. PLTU biasanya memiliki infrastruktur dan sistem operasional yang terintegrasi dengan baik. Proses pembakaran dan konversi energi menjadi listrik dapat dijaga dan diawasi secara konsisten, memastikan ketersediaan daya listrik sepanjang waktu dan PLTU sering kali dirancang dengan kapasitas cadangan dan kemampuan operasional yang fleksibel. Ini memungkinkan mereka beradaptasi

dengan fluktuasi permintaan listrik dan mempertahankan produksi daya yang konsisten.

4.5 Inovasi dan Pengembangan

CCS (Carbon Capture and Storage) Teknologi ini mencoba untuk mengurangi dampak lingkungan PLTU konvensional dengan menangkap dan menyimpan emisi karbon dioksida agar tidak terlepas ke atmosfer. CCS adalah suatu metode yang dirancang untuk menangkap gas buang yang mengandung karbon dioksida dari sumber-sumber besar emisi, seperti PLTU konvensional. Gas CO₂ yang tertangkap kemudian disimpan di dalam batuan bawah tanah, bekas ladang minyak, atau dalam bentuk lainnya untuk mengurangi jejak karbon dari aktivitas manusia.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap, dengan segala komponennya dan peranannya dalam menyediakan energi listrik, mencerminkan kompleksitas dan keberagaman dalam sektor energi. Sambil terus meningkatkan efisiensi dan mengurangi dampak lingkungan, PLTU tetap menjadi bagian integral dari keberlanjutan sistem energi global, memberikan daya listrik yang penting untuk pemenuhan kebutuhan masyarakat dan perkembangan industri.

Bab 5

Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)

5.1 Sejarah Singkat Turbin Gas

Prinsip kerja PLTGU sama halnya dengan membahas siklus dasar turbin gas yang disebut siklus Brayton, yang pertama kali diajukan pada tahun 1870 oleh George Brayton seorang insinyur dari Boston. Sekarang siklus Brayton digunakan hanya pada turbin gas, yang merupakan cikal bakal dari PLTGU dengan proses kompresi dan ekspansi terjadi pada alat permesinan yang berputar. John Barber telah mempatenkan dasar turbin gas pada tahun 1791. Dua penggunaan utama mesin turbin gas adalah pendorong pesawat terbang dan pembangkit tenaga listrik. Turbin gas digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik yang berdiri sendiri (simple cycle) atau bergandengan dengan turbin uap (combined cycle) pada sisi suhu tingginya. Turbin uap (combined cycle) memanfaatkan gas buang turbin gas sebagai sumber panasnya. Turbin uap dianggap sebagai mesin pembakaran luar (external combustion), di mana pembakaran terjadi diluar mesin. Energi termal dipindah ke uap sebagai panas.

Proses pengubahan energi itu juga melibatkan sistem kerja mekanik yang kemudian oleh generator pada siklus sederhana diubah menjadi tenaga listrik. Data menunjukkan bahwa tingkat efisiensi dari konversi tersebut dapat

berkisar sekitar 30 sampai dengan 40 persen. Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat sebagian energi yang terbuang, di mana energi tersebut akan berakhir menjadi energi panas dalam proses pembakaran. Proses pembakaran tersebutlah yang nantinya menghasilkan energi tambahan.

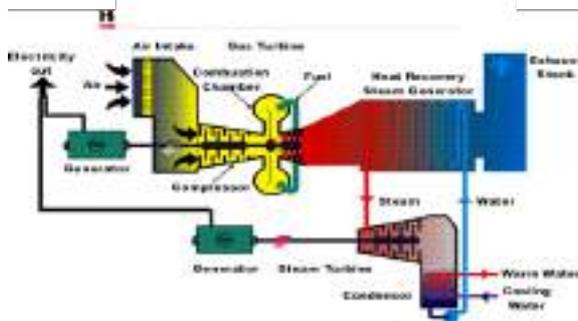
5.2 Pengertian PLTGU

PLTGU adalah gabungan antara PLTG dengan PLTU, di mana panas dari gas buang dari PLTG digunakan untuk menghasilkan uap yang digunakan sebagai fluida kerja di PLTU. Dan bagian yang digunakan untuk menghasilkan uap tersebut adalah HRSG (Heat Recovery Steam Generator). PLTGU merupakan suatu instalasi peralatan yang berfungsi untuk mengubah energi panas (hasil pembakaran bahan bakar dan udara) menjadi energi listrik yang bermanfaat. Pada dasarnya, sistem PLTGU ini merupakan penggabungan antara PLTG dan PLTU. PLTU memanfaatkan energi panas dan uap dari gas buang hasil pembakaran di PLTG untuk memanaskan air di HRSG (Heat Recovery Steam Generator), sehingga menjadi uap jenuh kering. Uap jenuh kering inilah yang akan digunakan untuk memutar sudu (balok-balok). Gas yang dihasilkan dalam ruang bakar pada Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG) akan menggerakkan turbin dan kemudian generator, yang akan mengubahnya menjadi energi listrik. Sama halnya dengan PLTU, bahan bakar PLTG bias berwujud cair (BBM) maupun gas (gas alam). Penggunaan bahan bakar menentukan tingkat efisiensi pembakaran dan prosesnya

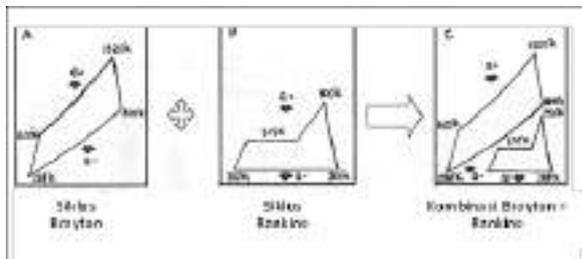
5.3 Siklus Kombinasi (Combined Cycle)

Di bidang industri saat ini, dilakukan usaha untuk meningkatkan efisiensi turbin gas yaitu dengan cara menggabungkan siklus turbin gas dengan siklus proses sehingga diperoleh siklus gabungan yang biasa disebut dengan istilah "Cogeneration". Sedangkan untuk meningkatkan efisiensi termal turbin gas yang digunakan sebagai unit pembangkit listrik (PLTG), siklus PLTG digabung dengan siklus PLTU sehingga terbentuk siklus gabungan yang disebut "Combined Cycle" atau Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU).

Siklus PLTGU terdiri dari gabungan siklus PLTG dan siklus PLTU. Siklus PLTG menerapkan siklus Brayton, sedangkan siklus PLTU menerapkan siklus ideal Rankine seperti gambar berikut ini:



Gambar 5.1: Siklus Gabungan (Combined Cycle)



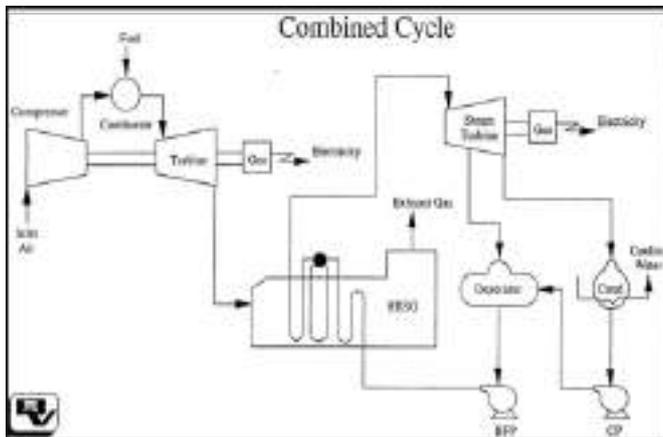
Gambar 5.2: Siklus Brayton, Siklus Rankine dan Siklus Gabungan

Penggabungan siklus turbin gas dengan siklus turbin uap dilakukan melalui peralatan pemindah panas berupa boiler atau umum disebut “Heat Recovery Steam Generator” (HRSG). Siklus kombinasi ini selain meningkatkan efisiensi termal juga akan mengurangi pencemaran udara. Dengan menggabungkan siklus tunggal PLTG menjadi unit pembangkit siklus kombinasi (PLTGU) maka dapat diperoleh beberapa keuntungan, di antaranya adalah:

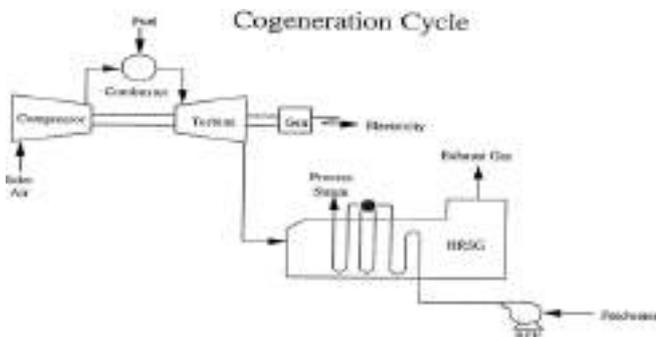
1. Efisiensi termalnya tinggi, sehingga biaya operasi (Rp/kWh) lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit thermal lainnya.
2. Biaya pemakaian bahan bakar (konsumsi energi) lebih rendah
3. Pembangunannya relatif cepat
4. Kapasitas dayanya bervariasi dari kecil hingga besar
5. Menggunakan bahan bakar gas yang bersih dan ramah lingkungan

6. Fleksibilitasnya tinggi
7. Tempat yang diperlukan tidak terlalu luas, sehingga biaya investasi lahan lebih sedikit.
8. Pengoperasian PLTGU yang menggunakan komputerisasi memudahkan pengoperasian.
9. Waktu yang dibutuhkan: untuk membangkitkan beban maksimum 1 blok PLTGU relatif singkat yaitu 150 menit.
10. Prosedur pemeliharaan lebih mudah dilaksanakan dengan adanya fasilitas sistem diagnosa.

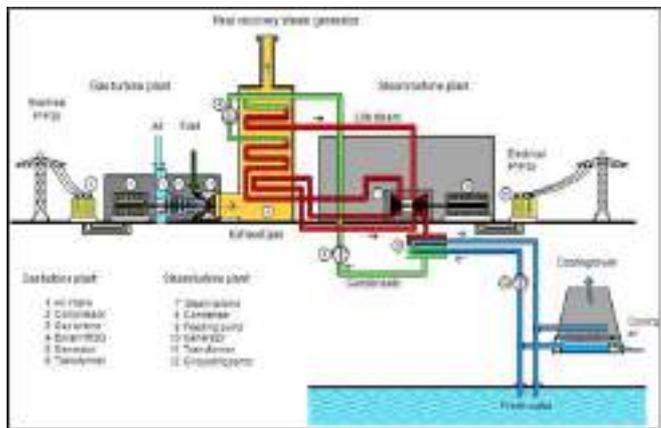
Skema siklus PLTGU dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 5.3: Diagram Combined Cycle



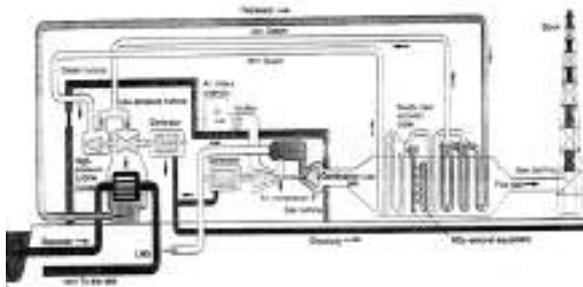
Gambar 5.4: Diagram Cogeneration Cycle



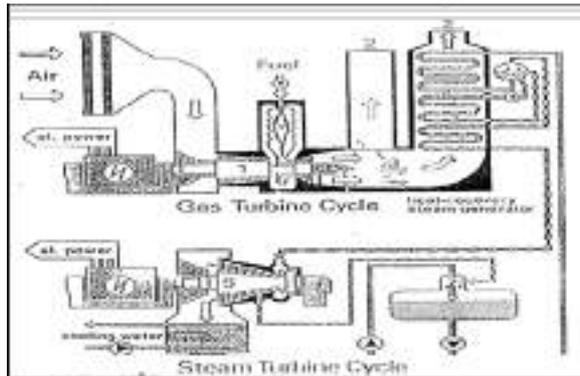
Gambar 5.5: Combined Cycle Power Plant (PLTGU)

5.4 Prinsip Kerja PLTGU

Di dalam sistem turbin gas gas panas hasil pembakaran bahan bakar dialirkan untuk memutar turbin gas sehingga menghasilkan energi mekanik yang digunakan untuk memutar generator. Gas buang dari turbin gas yang masih mengandung energi panas tinggi dialirkan ke HRSG untuk memanaskan air sehingga dihasilkan uap. Setelah menyerahkan panasnya gas buang di buang ke atmosfer dengan temperatur yang jauh lebih rendah. Uap dari HRSG dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar turbin uap yang dikopel dengan generator sehingga dihasilkan energi listrik. Uap bekas keluar turbin uap didinginkan di dalam kondensor sehingga menjadi air kembali. Air kondensat ini dipompakan sebagai air pengisi HRSG untuk dipanaskan lagi agar berubah menjadi uap dan demikian seterusnya.



Gambar 5.6: Siklus air uap PLTGU Gresik (Modul Pusat Pendidikan PLN)



Gambar 5.7: Siklus air uap PLTGU Priok (Modul Pusat Pendidikan PLN)

5.5 Bagian-bagian PLTGU

PLTGU yang merupakan siklus kombinasi mempunyai komponen utama yang terdiri dari:

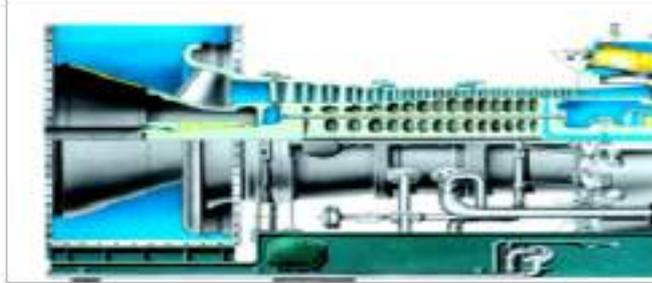
5.5.1 Turbin Gas

Turbin gas dan alat bantuannya pada umumnya merupakan suatu paket set unit PLTG yang dapat berdiri sendiri maupun digabung menjadi siklus kombinasi.

1. Kompresor Utama (Main Compressor)

Kompresor Utama berfungsi untuk menaikkan tekanan dan temperatur udara sebelum masuk ruang bakar. Udara juga dimanfaatkan untuk:

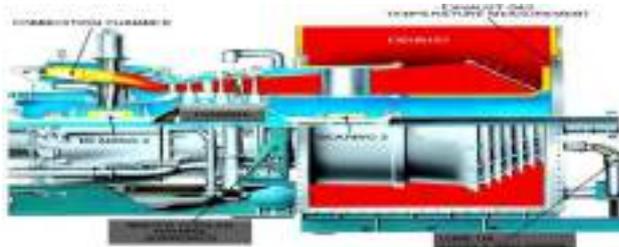
udara pembakaran, udara pengabut bahan bakar, udara pendingin sudu dan ruang bakar dan perapat pelumas bantalan.



Gambar 5.8: Kompresor Utama

2. Ruang Bakar (Combustion Chamber)

Ruang Bakar (Combustion Chamber) adalah ruangan tempat proses terjadinya pembakaran. Energi kimia bahan bakar diubah menjadi energi thermal pada proses pembakaran tersebut. Ada Turbin Gas yang memiliki satu atau dua *Combustion Chamber* yang letaknya terpisah dari casing turbin, akan tetapi yang lebih banyak di jumpai adalah memiliki *Combustion Chamber* dengan beberapa buah *Combustor Basket*, mengelilingi sisi masuk (inlet) turbin. Contohnya PLTG di PLTGU Gresik memiliki satu *Combustion Chamber* berisi 18 buah *Combustor Basket*, sedangkan PLTG Bali memiliki satu *Combustion Chamber* berisi 8 buah *Combustor Basket* yang terpasang jadi satu dengan casing turbin



Gambar 5.9: Ruang Bakar (Combustion Chamber & Gas Turbine)

3. Turbin

Turbin berfungsi untuk mengubah energi thermal dari hasil pembakaran di dalam ruang bakar menjadi energi kinetik dalam sudu

tetap kemudian menjadi energi mekanik dalam sudu jalan sehingga energi mekanik akan memutar poros turbin.

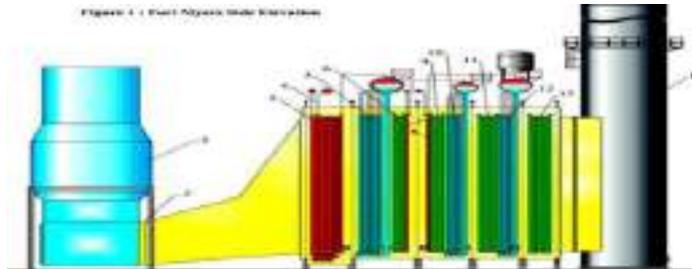
4. Generator

Generator berfungsi untuk mengubah energi mekanik putaran pada rotor yang terdapat kutub magnet, kemudian menjadi energi listrik pada kumparan stator.

5. HRSG (Heat Recovery Steam Generator)

Bagian-bagian HRSG adalah bagian per bagian dalam bentuk jadi (pre-assembled) yang telah dikerjakan di bengkel pabrikan dan diangkut ke tempat pemasangan. Kemudahan pemasangan bagian-bagian modular di lapangan dan melakukan pengerjaan bagian-bagian sebanyak mungkin di bengkel pabrik akan meningkatkan mutu peralatan dan mempercepat waktu pemasangan konstruksi.

Peralatan utama HRSG dapat diidentifikasi seperti gambar berikut:



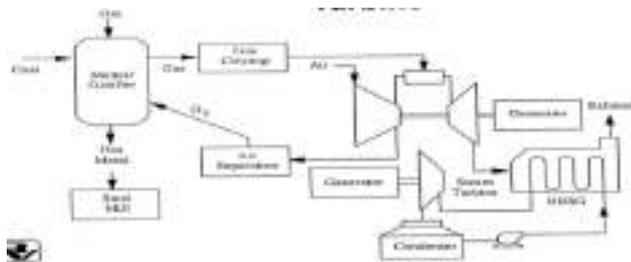
Gambar 5.10: HRSG (Heat Recovery Steam Generator)

- a. Diverter box, bypass stack, and bypass stack silencer.
- b. Blanking plate for conversion to simple cycle operation.
- c. Superheater.
- d. Reheater.
- e. High pressure evaporator.
- f. High pressure economizer.
- g. Intermediate pressure superheater.
- h. Low pressure superheater.
- i. High pressure economizer.
- j. Intermediate pressure evaporator.
- k. High pressure economizer/intermediate pressure economizer.

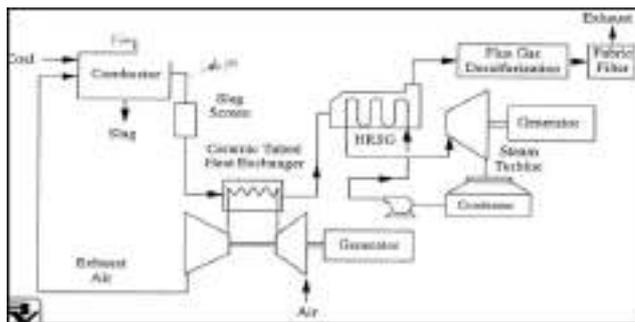
- l. Low pressure evaporator.
- m. Low pressure economizer.
- n. Stack and silencer.

5.6 Variasi Siklus PLTGU

Terdapat beberapa variasi dari siklus kombinasi PLTGU dalam memanfaatkan gas buang untuk menghasilkan uap sebagai penggerak turbin PLTU. Gambar di bawah menunjukkan contoh variasi siklus PLTGU:



Gambar 5.11: PLTGU dengan PLTG digabung dengan peleburan besi

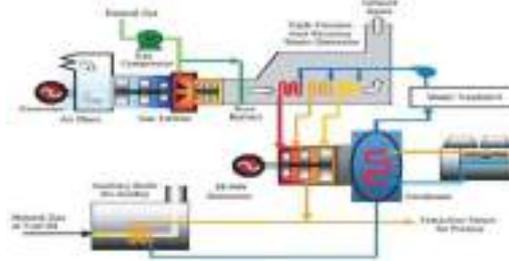


Gambar 5.12: PLTGU dengan turbin gas berbahan bakar batubara

Ditinjau dari konfigurasi jumlah turbin gas dan *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) dan turbin uapnya, suatu PLTGU dapat di susun dengan beberapa konfigurasi, tetapi umumnya dibedakan menjadi 3, yaitu:

- 1. Konfigurasi: 1 turbin gas (GT), 1 HRSG, 1 turbin uap (ST) = konfigurasi 1-1-1

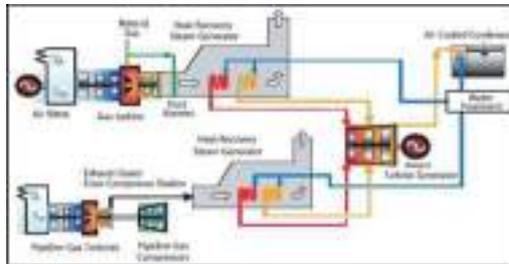
Konfigurasi ini merupakan PLTGU yang paling sederhana karena hanya terdiri dari 1 turbin gas (GT), 1 HRSG dan 1 turbin uap (ST). Pada sebagian PLTGU ini bahkan generatornya hanya satu sehingga turbin gas, turbin uap dan generator merupakan mesin satu poros (single shaft combined cycle). Posisi generator dapat berada di antara turbin gas dan turbin uap atau turbin uap di antara turbin gas dan generator. Kelebihan susunan PLTGU 1-1-1 antara lain adalah mampu memenuhi kebutuhan permintaan daya secara cepat dan ekonomis, konsumsi air dan bahan bakarnya rendah serta konsumsi listrik pemakaian sendiri (works power) juga rendah.



Gambar 5.13: Diagram PLTGU dengan konfigurasi 1 – 1 – 1

2. Konfigurasi: 2 turbin gas (GT), 2 HRSG, 1 turbin uap (ST) = konfigurasi 2-2-1

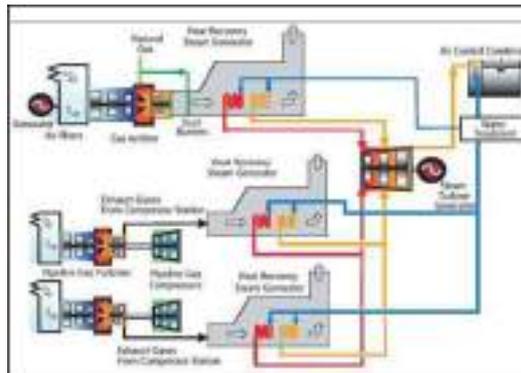
PLTGU dengan susunan 2-2-1 lebih fleksibel dalam pengoperasian maupun pemeliharaan dibanding susunan 1-1-1. Dengan susunan 2-2-1, apabila satu turbin gas terganggu, maka turbin gas yang lain tetap dapat beroperasi dalam siklus kombinasi. Sedangkan bila HRSG nya yang terganggu, maka turbin gas dapat beroperasi dalam mode siklus terbuka (open cycle).



Gambar 5.14: Diagram PLTGU dengan konfigurasi 2 – 2 – 1

3. Konfigurasi: 3 turbin gas (GT), 3 HRSG, 1 turbin uap (ST) = konfigurasi 3-3-1

Tujuan analisis ini adalah untuk menyoroti dan memperkenalkan mengakui konsekuensi pembelajaran dalam kehidupan institusi pendidikan sehari-hari, di mana civitas akademika dan kaum muda dapat mengilhami tindakan transformatif yang berkontribusi terhadap inovasi Pemasaran Politik dan Demokrasi Pendidikan. Studi ini, kemudian, menambah upaya berkelanjutan untuk pembaruan demokrasi pendidikan di sekolah atau universitas.



Gambar 5.15: Diagram PLTGU dengan konfigurasi 3-3-1

Bab 6

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

6.1 Definisi Mikrohidro

Mikrohidro adalah sistem pembangkit listrik tenaga air yang memanfaatkan aliran air kecil, seperti sungai kecil atau aliran air buatan, untuk menghasilkan energi listrik. Secara umum, mikrohidro didefinisikan sebagai pembangkit listrik dengan kapasitas kurang dari 100 kilowatt. Sistem ini dapat diaplikasikan di wilayah pedesaan maupun perkotaan, memberikan alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan dalam memenuhi kebutuhan energi lokal.

6.1.1 Prinsip Kerja Mikrohidro

1. Intake (Pengambilan Air)

Intake atau pengambilan air merujuk pada proses pengumpulan atau pengambilan air dari suatu sumber oleh suatu sistem atau instalasi. Intake seringkali terkait dengan kebutuhan air untuk berbagai keperluan seperti konsumsi manusia, industri, irigasi pertanian, dan pembangkit listrik. Intake dapat dilakukan dari berbagai sumber air,

seperti sungai, danau, atau sumur. Proses intake melibatkan desain struktur khusus yang memungkinkan pengambilan air secara efisien dan sesuai dengan kebutuhan.

2. Saluran Pembangkit (Penstock)

Air dari intake mengalir melalui saluran pembangkit atau penstock. Penstock ini berfungsi sebagai pipa yang mengarahkan air menuju turbin dengan tekanan yang cukup untuk menghasilkan energi. Penstock, atau saluran pembangkit, adalah suatu sistem pipa besar yang dirancang khusus untuk mengalirkan air dari sumber air tertinggi ke turbin pembangkit listrik hidro (hidroelektrik). Fungsi utama penstock adalah mengarahkan dan memberikan aliran air yang diperlukan dari waduk atau sumber air lainnya ke turbin, sehingga energi hidrokinetik air dapat diubah menjadi energi listrik.

3. Turbin

Di dalam turbin, energi kinetik air diubah menjadi energi mekanik melalui perputaran roda turbin. Terdapat beberapa jenis turbin yang umum digunakan, seperti turbin pelton, turbin francis, dan turbin kaplan, tergantung pada karakteristik aliran air yang tersedia. Turbin adalah suatu perangkat mesin yang dirancang untuk mengubah energi fluida (biasanya air, gas, atau uap) menjadi energi mekanik yang dapat digunakan untuk melakukan pekerjaan. Turbin bekerja berdasarkan prinsip dasar hukum kekekalan momentum, di mana fluida yang melewati turbin memberikan impuls dan menghasilkan gerakan rotasi.

4. Generator Listrik

Energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin kemudian dialirkan ke generator listrik. Generator ini mengubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui prinsip induksi elektromagnetik. Generator listrik, atau sering disebut sebagai generator, adalah suatu perangkat elektromekanis yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip dasar kerja generator didasarkan pada hukum elektromagnetik Faraday yang menyatakan bahwa perubahan fluks

magnetik dalam suatu kawat konduktor akan menginduksi arus listrik di dalam kawat tersebut.

5. Sistem Kontrol dan Monitoring

Sistem ini memantau kinerja pembangkit, mengatur laju aliran air, dan memastikan operasional sistem dalam batas yang aman dan efisien. Sistem kontrol dan monitoring adalah suatu rangkaian komponen dan proses yang dirancang untuk memantau, mengukur, dan mengendalikan kinerja suatu sistem atau proses. Sistem ini dapat digunakan dalam berbagai konteks, seperti industri, teknologi informasi, lingkungan, otomasi, dan lain sebagainya. Tujuan utama dari sistem kontrol dan monitoring adalah untuk memastikan bahwa suatu sistem beroperasi sesuai dengan standar yang diinginkan atau ditentukan.

6. Penyaluran Air Kembali (Tailrace)

Air yang telah melewati turbin dialirkan kembali ke sungai atau saluran air asal melalui tailrace. Proses ini dirancang agar tidak memberikan dampak negatif pada lingkungan setempat. Prinsip kerja mikrohidro didasarkan pada konsep konversi energi dari air menjadi energi listrik melalui beberapa komponen utama, menciptakan sumber daya energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan secara efisien untuk memenuhi kebutuhan listrik lokal.

6.2 Komponen Utama Mikrohidro

Komponen utama mikrohidro mencakup turbin, generator listrik, intake, penstock, dan sistem kontrol. Turbin memanfaatkan energi kinetik air menjadi energi mekanik, yang selanjutnya diubah menjadi listrik oleh generator. Intake bertugas mengambil air dari sungai atau saluran air buatan. Penstock adalah saluran pembangkit yang mengarahkan air ke turbin dengan tekanan yang cukup. Sistem kontrol memantau dan mengatur operasional mikrohidro. Keseluruhan sistem ini bekerja sinergis untuk menghasilkan listrik dari aliran air yang relatif kecil, menjadikannya solusi yang efisien dan berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan energi lokal.

1. Turbin Mikrohidro

Turbin mikrohidro merupakan komponen kunci dalam sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro, menyediakan solusi efisien untuk mengubah energi kinetik air menjadi listrik. Terdapat beberapa jenis turbin yang umum digunakan, termasuk Pelton, Francis, dan Kaplan, yang dipilih berdasarkan karakteristik aliran air di lokasi tertentu.

a. Turbin Pelton

Turbin ini ideal untuk aliran air dengan tinggi jatuh yang tinggi. Dengan roda berbentuk corong, turbin Pelton memanfaatkan energi air yang mengenai sudu turbin untuk menghasilkan putaran.

b. Turbin Francis

Cocok untuk aliran air dengan tinggi jatuh menengah, turbin Francis menggunakan kombinasi gaya impuls dan reaksi untuk mengonversi energi air menjadi putaran. Desainnya fleksibel dan dapat diaplikasikan pada berbagai kondisi.

c. Turbin Kaplan

Turbin ini efisien pada aliran air dengan tinggi jatuh rendah hingga menengah. Dilengkapi dengan sudu yang dapat diatur, turbin Kaplan dapat disesuaikan dengan variasi aliran air, meningkatkan efisiensinya.

2. Generator Listrik

Generator listrik merupakan inti dari sistem pembangkit listrik, bertanggung jawab mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Sebagian besar generator listrik bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik yang ditemukan oleh Faraday pada abad ke-19. Ketika rotor generator diputar, medan magnet yang berubah menginduksi aliran arus listrik pada kumparan di sekitarnya, sesuai dengan hukum elektromagnetik Faraday. Rotor generator biasanya dihubungkan dengan turbin atau sumber energi mekanik lainnya, seperti mesin pembakaran internal atau turbin mikrohidro. Putaran rotor menghasilkan energi mekanik. Generator dapat menghasilkan

arus bolak-balik atau arus searah, tergantung pada desainnya. Arus bolak-balik lebih umum digunakan untuk distribusi listrik karena kemudahan dalam transformasi dan distribusi.

Jenis Generator

a. Generator Synchronous

Sinkron dengan frekuensi jaringan listrik. Cocok untuk pembangkit listrik skala besar.

b. Generator Asinkron (Induksi)

Tidak sinkron dengan frekuensi jaringan listrik. Umum digunakan dalam pembangkit listrik tenaga mikrohidro dan aplikasi skala kecil hingga menengah.

Generator listrik adalah mesin penting yang mendukung kehidupan modern, menyediakan daya untuk rumah, bisnis, dan industri. Upaya terus-menerus dalam penelitian dan pengembangan akan terus meningkatkan kinerja dan dampak positif generator listrik terhadap keberlanjutan energi global.

3. Saluran Pengalir dan Bangunan Intake

Saluran pengalir dan bangunan intake adalah elemen vital dalam sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro, bertugas mengarahkan dan mengelola aliran air menuju turbin untuk menghasilkan energi listrik. Keduanya memiliki peran penting dalam memastikan operasional yang efisien dan berkelanjutan dari pembangkit mikrohidro tersebut.

a. Saluran Pengalir (Penstock)

Saluran pengalir, atau penstock, adalah jalur pipa yang membawa air dari bangunan intake ke turbin mikrohidro. Beberapa aspek penting terkait saluran pengalir meliputi:

1) Bahan Konstruksi

Pipa saluran pengalir umumnya terbuat dari material yang kokoh dan tahan terhadap tekanan air, seperti baja tahan karat atau beton bertekanan tinggi. Hal ini penting untuk menjaga keberlanjutan operasional.

- 2) **Desain yang Efisien**
Bentuk dan dimensi saluran pengalir dirancang untuk memaksimalkan tekanan air yang diterapkan pada turbin. Desain yang efisien dapat meningkatkan performa turbin dan karenanya efisiensi keseluruhan sistem.
 - 3) **Pengurangan Gesekan**
Minimalkan gesekan air di dalam saluran pengalir adalah tujuan utama. Pilihan material yang halus dan desain yang cermat dapat mengurangi energi yang terbuang akibat gesekan.
 - 4) **Pengelolaan Variabilitas Aliran Air**
Sistem saluran pengalir juga mempertimbangkan perubahan dalam aliran air, yang dapat dipengaruhi oleh musim atau kondisi lingkungan lainnya. Pengaturan pintu air atau katup dapat membantu mengelola variasi ini.
- b. **Bangunan Intake**
Bangunan intake berfungsi sebagai struktur awal tempat air diambil dari sumber, baik itu sungai atau saluran air buatan. Beberapa aspek penting terkait bangunan intake meliputi.
- 1) **Desain yang Optimal**
Bangunan intake dirancang agar dapat menangkap aliran air dengan efisien, mencegah potensi kerusakan atau erosi tanah di sekitarnya. Desain yang optimal juga mempertimbangkan perubahan volume air yang mungkin terjadi.
 - 2) **Filter dan Saringan**
Untuk mencegah masuknya benda asing yang dapat merusak turbin, bangunan intake dilengkapi dengan filter dan saringan. Ini membantu melindungi sistem secara keseluruhan dari kerusakan yang dapat disebabkan oleh material yang terbawa oleh air.
 - 3) **Sistem Pengontrol Aliran**
Sebuah bangunan intake yang baik juga memiliki sistem kontrol yang dapat mengatur aliran air yang masuk ke dalam

saluran pengalir. Ini memungkinkan adaptasi terhadap perubahan dalam kebutuhan energi atau kondisi aliran air.

4) Ketahanan Terhadap Fluktuasi Cuaca

Bangunan intake juga dirancang dengan mempertimbangkan fluktuasi cuaca ekstrem, seperti banjir atau cuaca beku, untuk menjaga kelancaran operasional dan mencegah kerusakan pada struktur.

6.3 Kelebihan Pembangkit Listrik Mikrohidro

Pembangkit listrik mikro hidro memunculkan gambaran yang menggembirakan bagi masa depan energi, memberikan solusi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan untuk memenuhi kebutuhan listrik. Kelebihan-kelebihan yang dimilikinya mencakup berbagai aspek, mulai dari dampak positif terhadap lingkungan, pemberdayaan masyarakat lokal, hingga kontribusi terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca. Sebagai sebuah inovasi dalam bidang energi terbarukan, pembangkit listrik mikro hidro menggabungkan prinsip-prinsip teknologi modern dengan kebijaksanaan pengelolaan sumber daya alam. Salah satu keunggulan utamanya adalah kemampuannya memanfaatkan energi air yang terus-menerus tersedia di alam sebagai sumber daya utama. Sistem ini bekerja dengan cara memanfaatkan potensi energi kinetik atau potensial air untuk menggerakkan turbin, yang selanjutnya menghasilkan energi mekanis yang dikonversi menjadi energi listrik oleh generator. Dengan demikian, mikro hidro tidak hanya menyediakan sumber daya listrik yang andal, tetapi juga merupakan alternatif yang bersih dan berkelanjutan.

Kelebihan yang pertama patut ditekankan adalah aspek lingkungan. Dengan menggunakan air sebagai sumber daya utama, pembangkit listrik mikro hidro dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, yang umumnya menyebabkan emisi gas rumah kaca dan polusi udara. Dalam pandangan ini, mikro hidro dapat dianggap sebagai solusi energi terbarukan yang ramah lingkungan, membantu mengatasi tantangan perubahan iklim dan melindungi keanekaragaman hayati.

Dampak positif ini semakin relevan mengingat meningkatnya kekhawatiran global terhadap perubahan iklim. Pembangkit listrik mikro hidro membantu mengurangi jejak karbon, mempromosikan energi bersih, dan memberikan alternatif yang berkelanjutan untuk menggantikan pembangkit listrik konvensional berbasis bahan bakar fosil. Dengan kata lain, pembangkit listrik mikro hidro bukan hanya sumber daya listrik, tetapi juga pionir perubahan menuju masyarakat yang lebih berkelanjutan. Sifatnya yang berskala kecil menjadi keunggulan tambahan pembangkit listrik mikro hidro. Sistem ini dapat dengan mudah diimplementasikan di wilayah-wilayah terpencil atau terisolasi yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik konvensional. Ketersediaan air yang berlimpah di banyak wilayah membuat mikro hidro menjadi solusi yang tepat untuk meningkatkan akses listrik di desa-desa yang belum tersentuh oleh perkembangan infrastruktur energi.

Keberlanjutan dalam penyediaan energi juga diperoleh melalui sifatnya yang dapat diandalkan. Mikro hidro memiliki kapasitas untuk beroperasi secara terus-menerus selama air yang cukup tersedia. Dengan manajemen yang tepat, proyek-proyek mikro hidro dapat menciptakan sumber daya listrik yang stabil dan dapat diandalkan untuk masyarakat setempat. Ini menjadi penting terutama di daerah-daerah yang mengalami ketidakpastian pasokan listrik, memberikan keamanan energi yang lebih besar dan mengurangi risiko pemadaman listrik. Salah satu dampak sosial yang paling mencolok dari pembangkit listrik mikro hidro adalah pemberdayaan masyarakat lokal. Proyek-proyek ini sering kali melibatkan partisipasi aktif dari komunitas setempat dalam perencanaan, implementasi, dan pemeliharaan. Hal ini bukan hanya menciptakan lapangan kerja baru, tetapi juga meningkatkan kapasitas dan keahlian masyarakat dalam manajemen infrastruktur energi lokal. Pemberdayaan masyarakat ini memberikan dampak jangka panjang, membangun kemandirian dan keterlibatan masyarakat dalam pengelolaan sumber daya alam mereka.

Keterlibatan masyarakat dalam proyek mikro hidro juga sering kali melibatkan pendekatan yang berkelanjutan dan adil. Partisipasi aktif dari pemangku kepentingan lokal dapat membantu memastikan bahwa proyek ini tidak hanya memberikan manfaat ekonomi, tetapi juga menghormati hak-hak tanah dan kebutuhan masyarakat sekitar. Ini menciptakan model pengembangan yang sesuai dengan prinsip-prinsip Pembangunan Berkelanjutan, menjaga keseimbangan antara kepentingan ekonomi, sosial, dan lingkungan. Keberlanjutan ekonomi juga menjadi salah satu aspek kunci dari keunggulan

mikro hidro. Dalam beberapa kasus, energi yang dihasilkan oleh pembangkit listrik mikro hidro dapat dijual ke jaringan listrik nasional, menciptakan sumber pendapatan yang dapat meningkatkan kesejahteraan ekonomi masyarakat lokal. Selain itu, proyek-proyek ini dapat menjadi peluang untuk pengembangan ekonomi lokal yang berkelanjutan, seperti pariwisata atau industri kecil yang terkait dengan energi terbarukan.

Fleksibilitas juga menjadi kelebihan mikro hidro yang layak disoroti. Sistem ini dapat diadaptasi untuk berbagai skala, mulai dari proyek rumah tangga hingga instalasi yang lebih besar. Kemampuannya untuk beroperasi di berbagai skala membuatnya sesuai untuk aplikasi di berbagai konteks geografis dan sosial. Ini memungkinkan solusi energi yang dapat diakses oleh berbagai kelompok masyarakat, dari keluarga di pedesaan hingga industri kecil dan menengah. Sifatnya yang berskala kecil juga membuat mikro hidro memiliki dampak lingkungan yang lebih terkendali dibandingkan dengan proyek-proyek skala besar. Infrastruktur mikro hidro memerlukan lahan yang relatif kecil dan dapat diintegrasikan dengan lingkungan setempat dengan lebih baik.

6.4 Peran dalam Pembangunan Berkelanjutan

Pembangunan berkelanjutan adalah paradigma pembangunan yang menekankan keseimbangan antara kebutuhan saat ini dan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka. Dalam konteks ini, pembangunan berkelanjutan menggambarkan suatu upaya holistik untuk menciptakan masyarakat yang sejahtera, ekonomi yang kuat, dan lingkungan yang terjaga. Berbagai sektor, termasuk energi, memiliki peran krusial dalam mewujudkan tujuan pembangunan berkelanjutan, dan pembangkit listrik mikro hidro memainkan peran yang signifikan dalam pencapaian visi ini. Peran pembangkit listrik mikro hidro dalam pembangunan berkelanjutan dapat dijelaskan secara deskriptif, menggambarkan dampak positifnya pada tiga pilar utama pembangunan berkelanjutan: ekonomi, sosial, dan lingkungan.

1. Kontribusi terhadap Pilar Ekonomi

Pembangkit listrik mikrohidro membawa dampak positif yang signifikan terhadap pilar ekonomi pembangunan berkelanjutan. Pertama-tama, proyek-proyek ini menciptakan peluang kerja lokal. Mulai dari tahap perencanaan hingga pemeliharaan, partisipasi masyarakat dalam proyek mikrohidro menciptakan lapangan pekerjaan yang mendukung kehidupan lokal. Teknisi, insinyur, dan pekerja konstruksi lokal dapat terlibat dalam pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur ini, meningkatkan keahlian dan memajukan karir mereka. Selain itu, mikro hidro memberikan peluang bagi pengembangan ekonomi lokal. Energi yang dihasilkan dapat dijual ke jaringan listrik nasional, menciptakan pendapatan yang dapat digunakan untuk pembangunan infrastruktur tambahan, pendidikan, atau layanan kesehatan. Pengembangan industri kecil dan menengah terkait dengan teknologi energi terbarukan juga dapat terjadi, menciptakan ekosistem ekonomi yang berkelanjutan.

2. Dampak Sosial Positif

Pembangunan berkelanjutan juga berakar pada aspek-aspek sosial masyarakat. Pembangkit listrik mikro hidro secara nyata membawa perubahan positif ke dalam struktur sosial masyarakat lokal. Dengan melibatkan penduduk setempat dalam proses perencanaan, implementasi, dan pemeliharaan, proyek ini mendorong pemberdayaan masyarakat. Partisipasi dalam proyek mikro hidro tidak hanya menciptakan lapangan pekerjaan, tetapi juga meningkatkan kapasitas masyarakat dalam pengelolaan sumber daya alam mereka. Dalam beberapa kasus, proyek-proyek ini memberikan pelatihan teknis kepada penduduk setempat, memungkinkan mereka terlibat secara langsung dalam operasi dan pemeliharaan sistem. Hal ini menciptakan hubungan simbiosis antara teknologi modern dan kearifan lokal, membangun keberlanjutan dan kontinuitas proyek. Pembangkit listrik mikro hidro juga dapat memperbaiki akses pendidikan dan kesehatan. Energi yang dihasilkan dapat digunakan untuk menyediakan listrik bagi sekolah-sekolah di wilayah tersebut

atau pusat kesehatan masyarakat. Hal ini tidak hanya meningkatkan kualitas pendidikan dan pelayanan kesehatan, tetapi juga memotivasi masyarakat lokal untuk mendukung dan menjaga keberlanjutan proyek mikro hidro.

3. Keberlanjutan Lingkungan

Salah satu poin penting dalam pembangunan berkelanjutan adalah memastikan perlindungan dan pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan. Dalam hal ini, pembangkit listrik mikro hidro menonjol sebagai solusi yang ramah lingkungan. Penggunaan energi air sebagai sumber daya utama mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan meminimalkan dampak negatif terhadap kualitas udara. Pembangunan infrastruktur mikro hidro memerlukan pengelolaan air yang bijaksana dan mempertimbangkan dampaknya terhadap ekosistem sungai setempat. Pemeliharaan dan manajemen yang baik dapat meminimalkan risiko erosi tanah, perubahan tata air, dan dampak negatif lainnya pada biodiversitas lokal. Oleh karena itu, mikro hidro menciptakan model pengembangan yang dapat diintegrasikan dengan ekosistem alami, mendukung keseimbangan lingkungan. Selain itu, pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan dapat membantu dalam mitigasi risiko terkait perubahan iklim. Variabilitas iklim dan pola hujan yang tidak pasti dapat diatasi melalui kebijakan manajemen air yang tepat, menjadikan mikro hidro sebagai solusi adaptasi yang cocok.

Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, pembangkit listrik mikro hidro menjadi lebih dari sekadar infrastruktur teknologi. Ia menjadi perwujudan dari prinsip-prinsip keberlanjutan, mewujudkan impian masyarakat yang sejahtera, membangun ekonomi yang kuat, dan merawat lingkungan alam. Sebagai pionir perubahan, pembangkit listrik mikro hidro membawa harapan bagi masa depan yang lebih berkelanjutan dan adil bagi semua.

Bab 7

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

7.1 Pendahuluan

Tenaga memiliki peranan yang sangat penting dan menjadi kebutuhan dasar pada pembangunan ekonomi nasional yang berkelanjutan. sang karena itu, tenaga wajib dipergunakan secara irit, rasional, serta bijaksana supaya kebutuhan energi pada masa kini serta masa yang akan tiba dapat terpenuhi. Mengingat pentingnya penggunaan tenaga secara hemat, rasional, serta bijaksana, Pemerintah perlu menyusun Peraturan Pemerintah dalam rangka pengaturan pemanfaatan asal daya energi, sumber tenaga serta tenaga, melalui penerapan teknologi yang efisien tenaga, pemanfaatan tenaga secara efisien serta rasional, dan penerapan budaya ekonomis tenaga guna mengklaim ketersediaan tenaga nasional yang berwawasan lingkungan. sesuai Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 70 Tahun 2009 ihwal konservasi energi, Peraturan Pemerintah ini mengatur:

1. Tanggung jawab Pemerintah, Pemerintah Daerah, pengusaha serta rakyat; aplikasi perlindungan tenaga yang mencakup semua tahap pengelolaan tenaga yang meliputi aktivitas penyediaan energi,

2. Pengusahaan tenaga, pemanfaatan energi, dan konservasi asal daya energi.
3. Standar dan label
4. Kemudahan, insentif dan disinsentif
5. Pelatihan dan supervisi

Dalam pasal 12 disebutkan pemanfaatan tenaga oleh pengguna sumber energi dan pengguna tenaga harus dilakukan secara ekonomis serta efisien. yang dimaksud dengan "ekonomis" dalam ketentuan ini berkaitan menggunakan sikap penggunaan energi secara efektif serta efisien. yang dimaksud dengan "efisien" dalam ketentuan ini ialah nilai maksimal yang didapatkan dari perbandingan antara keluaran serta masukan tenaga pada peralatan pemanfaat energi. dua. Pengguna asal tenaga serta pengguna energi yang memakai sumber energi dan atau tenaga lebih akbar atau sama dengan 6.000 (enam ribu) setara ton minyak per tahun wajib melakukan konservasi tenaga melalui manajemen energi.

Setara 1 (satu) ton minyak sama dengan:

1. 4 1,9 giga joule (GJ)
2. 1,15 kilo liter minyak bumi (kl minyak bumi)
3. 39,68 million British Thermal Unit (MMBTU)
4. 1 1,63 mega watt hour (MWh)

Manajemen energi sebagaimana dimaksud di ayat (2) dilakukan menggunakan:

1. Mengarah manajer tenaga
2. Menyusun program perlindungan energi
3. Melaksanakan audit energi secara terpola
4. Melaksanakan rekomendasi hasil audit energi
5. Melaporkan pelaksanaan perlindungan energi setiap tahun pada Menteri, gubernur, atau bupati walikota sinkron menggunakan kewenangannya masingmasing. yang dimaksud menggunakan "manajemen energi" merupakan kegiatan terpadu untuk mengendalikan konsumsi tenaga agar tercapai pemanfaatan tenaga yang efektif dan efisien buat membentuk keluaran yang aporisma

melalui tindakan teknis secara terstruktur serta irit buat meminimalisasi pemanfaatan energi termasuk energi buat proses produksi serta meminimalisasi konsumsi bahan bakar dan memaksimalkan bahan bakar. Analisa teknis serta irit analisa teknis dan ekonomis artinya hal yang terpisahkan aspek teknis adalah hal yang berkaitan dengan Produksi, sedangkan ekonomis artinya mengoptimalkan Produksi buat tujuan ekonomi, dengan meminimalisasi porto (Input) serta memaksimalkan produksi (hasil) untuk keuntungan.

a. Analisa teknis

Analisa teknis dikenal menjadi aspek produksi, penentuan kelayakan menyangkut hal-hal yang berkaitan dengan teknis/operasi sebagai akibatnya Bila tak dianalisa dengan baik, maka akan berakibat fatal bagi perusahaan dikemudian hari.

b. Analisa Ekonomi

Analisa Ekonomi artinya pemilihan tingkatan Input/hasil serta kombinasinya buat mengoptimalkan porto atau memaksimalkan laba

Tiga tujuan analisa teknis dan ekonomi terhadap pembangkitan PLTG/MG buat membantu Pengambilan keputusan terkait menggunakan porto produksi sesuai jenis pembangkit dan bahan bakar yang dipergunakan seberapa jauh mekanisasi yang diinginkan serta manfaat ekonomi yang dikerjakan.

Yang perlu diperhatikan pada pemilihan jenis pembangkit serta bahan bakar yang dipergunakan: a. Ketepatan Pembangkit dengan Bahan Bakarnya. b. Keberhasilan Pembangkit pada Produksi dan keuntungannya. c. Pertimbangan Teknologi Berkelanjutan. d. Besarnya porto Investasi Pembangkit (Input-output).

Langkah-langkah Analisa Teknis dan ekonomis Langkah-langkah yang digunakan untuk menghitung serta menganalisa Teknis serta irit pembangkit listrik pada sentra Listrik Balai Pungut artinya:

1. Menetapkan parameter teknis serta ekonomi berasal PLTMG Balai Pungut serta PLTG Balai Pungut untuk dijadikan dasar perhitungan.

2. Memilih komponen porto pembangkit listrik seperti biaya investasi, porto bahan bakar serta porto operasional berasal PLTMG Balai Pungut dan PLTG Balai Pungut.
3. Menghitung biaya pembangkit listrik dari data masukan dengan memakai Metode eksklusif.
4. Menganalisa yang akan terjadi perhitungan.

Teknis serta hemat PLTMG Balai Pungut dan PLTG Balai Pungut sebagai Bahan Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar. Pembangkit Listrik energi Mesin dan Gas (PLTMG) PLTMG pada Indonesia umumnya memakai mesin menggunakan 2 bahan bakar, baik dengan konfigurasi dual-fuel, ataupun bi-fuel. karena umumnya mesin yang dipakai menggunakan 2 (dua) bahan bakar, oleh karena itu sistem bahan bakarnya juga wajib mampu mengakomodir kedua bahan bakar tadi. Bahan bakar yang umumnya digunakan ialah gas alam (natural gas) serta minyak diesel (HSD/MFO). II-7 dari sekian banyak jenis pusat pembangkitan listrik, salah satu jenis yang masih relatif banyakdioperasikan dan dibangun di Indonesia artinya pusat Listrik tenaga Mesin Gas/Gas Engine PowerPlant (PLTMG/GEPP).

Pilihan jatuh pada PLTMG dikarenakan beberapa alasan, di antaranya Ketersediaan bahan bakar gas alam (natural gas), yang asal segi ekonomis lebih baik Jika dibandingkan dengan bahan bakar minyak (HSD/MFO/LFO). Lebih efisien (Heat Rate: 8804 btu/kwh) merupakan dengan jumlah bahan bakar yang sama bisa dihasilkan energi listrik yang lebih akbar Jika dibandingkan dengan jenis pembangkit yang lain. Kemampuan buat mencapai beban maksimum menggunakan ketika yang lebih cepat, hal ini sangat krusial buat pembangkit peaker (bekerja hanya di beban puncak yaitu pada pukul 17.00-22.00). Emisi gas buang yang lebih higienis, polusi minimal, lingkungan lebih sehat serta lebih irit.

Prinsip kerja PLTMG Prinsip kerja PLTMG hampir sama dengan PLTD, namun ada disparitas paling signifikan yaitu pada sistem bahan bakar buat motor penggeraknya. di PLTD umumnya hanya mampu menggunakan bahan bakar berasal jenis minyak diesel (HSD/MFO), sedangkan PLTMG umumnya memakai dua jenis bahan bakar yaitu gas alam (natural gas) serta minyak diesel (HSD/MFO). karena mesin PLTMG yang dipakai memakai dua jenis bahan bakar, sang sebab itu sistem bahan bakarnya pula harus mampu mengakomodir kedua bahan bakar tadi. Bahan bakar gas sebelum masuk ke area pembangkit dilewatkan dulu ke area pencucian. pada area ini gas

dipersiapkan baik dari sisi kebersihan, kadar air, ataupun tekanannya supaya siap Jika diumpankan eksklusif ke unit mesin gas. Sebelum diumpankan eksklusif ke pada mesin, gas disaring lagi memakai sebuah filter.

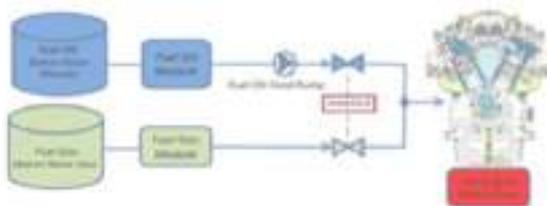
Posisi filter ini akan duduk beserta dengan beberapa alat-alat yang diadaptasi konstruksinya serta tergabung pada sebuah modul gas (fuel gas module) yang tugas utamanya ialah untuk pengaturan volume, keamanan sistem, dan untuk memastikan bahwa gas siap diumpankan ke mesin. untuk bahan bakar minyak diumpankan ke pada mesin, jua disaring terlebih dahulu memakai sebuah filter yang digabung pada sebuah modul minyak (fuel oil module). pada peredaran bahan bakar minyak ada pompa pengumpan (feed pump) yang berfungsi buat mendorong minyak ke dalam mesin.

7.2 Sistem Pembakaran

Sistem Pembakaran Bahan bakar gas umumnya dihasilkan berasal stasiun gas terdekat. Sebelum masuk ke area pembangkit, gas berasal sumber ini dilewatkan area pembersih terlebih dahulu, atau yang lebih acapkali kita kenal menggunakan kata Scrubber. pada area ini, gas umumnya dipersiapkan baik asal sisi kebersihan, kadar air, ataupun tekannya, agar dapat/siap Bila diumpankan eksklusif ke unit mesin gas (Wartsilla, 2013). Sebelum diumpankan langsung ke dalam mesin, gas disaring lagi menggunakan sebuah filter. umumnya posisi filter ini akan duduk bersama beberapa instrumen lapangan (field instrument) yang tergabung dalam sebuah modul gas (gas module), yang tugas utamanya ialah buat pengaturan volume, keamanan sistem dan untuk memastikan bahwa gas siap diumpankan ke mesin (Wartsilla, 2013).

Bahan bakar minyak diesel umumnya dipergunakan buat dua (dua) fungsi, yaitu buat bahan bakar awalan (pilot fuel) serta bahan bakar utama (main fuel). Fungsi bahan bakar primer (main fuel) digunakan mesin gas dioperasikan memakai bahan bakar minyak solar menjadi bahan bakar utamanya, atau di kondisi mesin sebelum switch-over bahan bakar ke sistem gas. Sedangkan fungsi menjadi bahan bakar awalan (pilot fuel) akan selalu dipergunakan di setiap upaya operasi mesin (starting & operation engine).(Wartsilla, 2013) Sebelum diumpankan ke dalam mesin, bahan bakar minyak akan disaring terlebih dahulu menggunakan sebuah filter. Posisi filter bisa berada sebelum

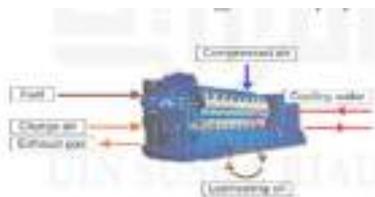
mesin, ataupun digabung pada sebuah modul di posisi dekat dengan pompa pengumpan (feed pump). Bahan bakar solar yang ada ketika ini umumnya sudah baik, sebagai akibatnya tidak dibutuhkan pengolahan lebih lanjut menggunakan fasilitas pengolahan bahan bakar minyak (advance fuel oil treatment plant).



Gambar 7.1: Skematik Sistem Bahan Bakar Pada PLTMG (Wartsilla, 2013)

7.3 Mesin Gas Wartsilla

Mesin ialah mesin gas empat langkah menggunakan injeksi bahan bakar langsung memakai gas alam. bahan bakar minyak digunakan sebagai back-up dan bahan bakar percontohan. Mesin ini dilengkapi menggunakan *turbocharger* serta *intercooler*. Sebuah bagian kecil dari peralatan bantu, mirip mesin didorong pompa air pendingin, dibangun pada atas mesin. PLTMG 100 MW Duri memakai 7 mesin yang terdiri berasal Engine (4 tidak), Generator, serta Auxiliary Equipment yang dibuat untuk dioperasikan menggunakan memakai natural gas. Engine dan Generator telah menyatu dengan alignment setting asal orisinil pabrik serta tidak memerlukan angkur buat duduk diatas pondasi karena mempunyai sistem Common Base Frame memakai steel spring element.



Gambar 2.2 Mesin PLTMG Wartsilla
(Sumber : Wartsilla, 2011)

Gambar 7.2: Mesin PLTMG Wartsilla (Wartsilla, 2013)

7.4 Komponen-Komponen Utama PLTMG

1. Bahan Bakar

Bahan Bakar Sistem bahan bakar menyediakan mesin dengan bahan bakar higienis di tekanan yang sah. mesin dapat dijalankan di bahan bakar gas atau bahan bakar minyak ringan (LFO). saat berjalan pada bahan bakar gas, LFO digunakan menjadi bahan bakar percontohan (Wartsilla, 2013)

2. Pelumas

Pelumas Sistem minyak pelumas mempertahankan kualitas oli mesin pelumas. Sistem ini jua mencakup unit buat mendinginkan bahan bakar minyak supaya tidak terlalu panas.(Wartsilla, 2013)

3. Composed

Udara terkompresi dipergunakan buat menghidupkan mesin. Sistem udara tekan pula menyediakan alat-alat udara buat perangkat pneumatik di pabrik. pendinginan sistem pendingin air menghilangkan panas yang didapatkan oleh mesin. Air pendingin juga bersirkulasi melalui penukar panas, Jika digunakan buat mendinginkan minyak pelumas serta muatan (Wartsilla, 2013).

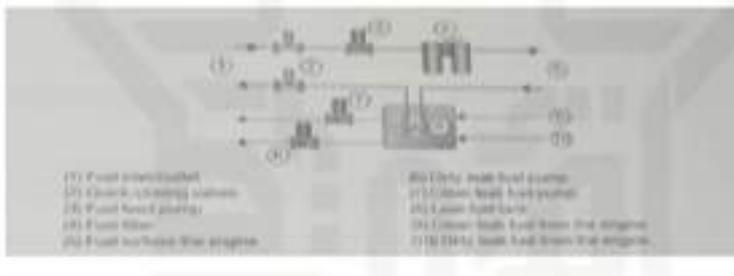
4. Cooling

Sistem air pendingin preheats mesin sebelum memulai, serta menyimpannya dipanaskan selama shutdown (Wartsilla, 2013).

5. Muatan udara serta knalpot

Sistem muatan udara menyediakan mesin dengan udara pembakaran yang higienis, serta sistem gas buang membuang gas buang berasal mesin. (Wartsilla, 2013). Unit BBM Unit bahan bakar minyak menyampaikan mesin menggunakan bahan bakar di tekanan yang sah. Ini pula menyediakan filtrasi akhir bahan bakar. Sebuah pompa di unit bahan bakar minyak feed bahan bakar ke mesin melalui filter. Kelebihan bahan bakar berasal mesin pulang ke sistem penyimpanan bahan bakar melalui unit bahan bakar minyak. Cepat-closing katup

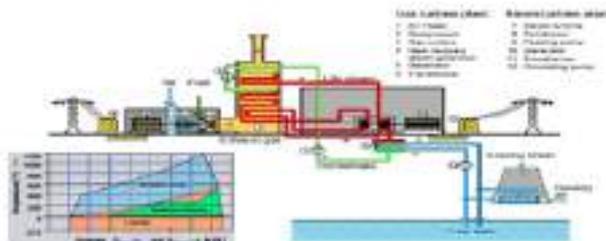
di unit memungkinkan suplai bahan bakar akan eksklusif dipotong dalam situasi darurat. bahan bakar kebocoran asal mesin mengalir ke tangki pengumpul di unit bahan bakar minyak. tangki dipanaskan sang bahan bakar di garis balik asal mesin.



Gambar 7.3: Unit BBM (Wartsilla, 2013)

7.5 Prinsip-Prinsip Kerja PLTG

Dalam operasinya, unit turbin gas dapat dioperasikan terlebih dahulu buat membuat daya listrik ad interim gas buangnya berproses untuk menghasilkan uap dalam ketel pemanfaat gas buang. ± 6 (enam) jam kemudian, selesainya uap pada ketel uap relatif banyak, uap dialirkan ke turbin uap buat membentuk daya listrik. Cara kerja PLTGU dapat pada lihat pada gambar 4



Gambar 7.4: Prinsip Kerja PLTG (Politeknik Sriwijaya)

Setiap unit PLTG mempunyai sebuah ketel uap penampung gas buang yang keluar dari unit PLTG. Uap dari tiga ketel uap unit PLTG kemudian ditampung dalam sebuah pipa pengumpul uap bersama yang dalam bahasa Inggris disebut commonplace steam header. Dari pipa pengumpul uap

bersama, uap dialirkan ke turbin uap PLTU yang terdiri dari turbin tekanan tinggi dan turbin tekanan rendah. Keluar dari turbin tekanan rendah, uap dialirkan ke kondensor untuk diembunkan. Dari kondensor, air dipompa untuk dialirkan ke ketel uap. Dalam operasinya, unit turbin gas dapat dioperasikan terlebih dahulu untuk menghasilkan daya listrik sementara gasoline buangnya berproses untuk menghasilkan uap dalam ketel pemanfaat fuel buang. Kira-kira 6 (enam) jam kemudian, setelah uap dalam ketel uap cukup banyak, uap dialirkan ke turbin uap untuk menghasilkan daya listrik. Karena daya yang dihasilkan turbin uap tergantung kepada banyaknya gas buang yang dihasilkan unit yaitu kira-kira menghasilkan 50% daya unit PLTG, maka dalam mengoperasikan PLTGU ini, pengaturan daya PLTGU dilakukan dengan mengatur daya unit PLTG, sedangkan unit PLTU mengikuti saja, menyesuaikan gan gasoline buang yang diterima dari unit PLTG-nya. Perlu diingat bahwa selang waktu untuk pemeliharaan unit PLTG lebih pendek daripada unit <http://tagoleki.com/2014/6/pembangkit-listrik-gasoline-uap.html>, diakses 12 juni 2019

PLTU sehingga koordinasi pemeliharaan yang baik dalam suatu blok PLTGU agar daya keluar dari blok tidak terlalu banyak berubah sepanjang waktu. Ditinjau dari segi efisiensi pemakaian bahan bakar, PLTGU tergolong sebagai unit yang paling efisien dari unit-unit termal (bisa mencapai angka di atas 45%). PLTGU termasuk produk teknologi mutakhir dalam perkembangan pusat listrik. PLTGU PLN yang pertama beroperasi di sekitar tahun 1995. Daya terpasangnya according to blok dibatasi oleh besarnya daya terpasang unit PLTGnya. Sampai saat ini, unit PLTG yang terbesar baru mencapai daya terpasang sekitar one hundred twenty MW. 2.three Bagian-bagian PLTGU 2.3.1

Bagian umum PLTGU Secara umum, bagian-bagian PLTGU adalah sebagai berikut:

1. Cranking Motor

Cranking Motor adalah motor yang digunakan sebagai penggerak awal saat turbin belum menghasilkan tenaga penggerak generator ataupun compressor. Motor Cranking mendapatkan suplai listrik yang berasal dari jaringan tegangan tinggi 150 KV/500 KV Jawa – Bali.

2. Air filter out

Air filter out merupakan filter out yang berfungsi untuk menyaring udara bebas agar udara yang mengalir menuju ke compressor merupakan udara yang bersih.

3. Compressor

Compressor sebagai penghisap udara luar, dengan terlebih dahulu melalui air clear out. Compressor menghisap udara atmosfer dan menaikkan tekanannya menjadi beberapa kali lipat (sampai 8 kali) tekanan semula. Udara luar ini akan diubah menjadi udara atomizing untuk sebagian kecil pembakaran dan sebagian besar sebagai pendingin turbin.

4. Combustion Chamber

Combustion chamber (ruang bakar) adalah ruang yang dipakai sebagai tempat pembakaran bahan bakar (sun) dan udara atomizing. gasoline panas yang dihasilkan dari proses pembakaran di combustion chamber digunakan sebagai penggerak turbin gasoline.

5. fuel Turbine

Fuel Turbine adalah turbin yang berputar dengan menggunakan energi fuel panas yang dihasilkan dari combustion chamber. Hasil putaran dari turbin inilah yang akan diubah oleh generator untuk menghasilkan listrik.

6. Selector Valve

Selector Valve merupakan valve yang berfungsi untuk mengatur gasoline buangan dari turbin fuel, apakah akan dibuang langsung ke udara atautkah akan dialirkan menuju ke HRSG.

7. GTG

GTG (gas Turbine Generator) berfungsi sebagai alat pembangkit listrik dengan menggunakan tenaga putaran yang dihasilkan dari turbin fuel. Pada PLTGU, satu buah generator ini menghasilkan daya bisa mencapai one hundred MW. PT. PLN keramasan sendiri memiliki 2 unit GTG dengan daya keluaran sebesar 25 MW.

8. Steam Turbine

Steam Turbine (Turbin Uap) adalah turbin yang berputar dengan menggunakan energi uap. Uap ini diperoleh dari penguapan air yang berasal dari HRSG (*warmness recuperation Steam Generator*).

9. STG

STG (*Steam Turbine Generator*) merupakan generator berfungsi sebagai alat pembangkit listrik dengan menggunakan tenaga putaran yang diperoleh dari turbin uap. Tenaga penggeraknya berasal dari uap kering yang dihasilkan oleh HRSG dengan putaran 3000 RPM, berpendingin hidrogen dan tegangan keluar five KV. Pada PLTGU, satu buah generator ini menghasilkan daya kurang lebihnya sekitar 15 MW. PT. PLN Keramsasan memiliki 2 buah steam turbine generator untuk bagian PLTGU-nya.

10. HRSG

HRSG (*heat restoration Steam Generator*) PLN keramasan memiliki 2 blok *integrate Cycle power Plant* dengan kapasitas masing-masing 2 x 40 MW. *in keeping with* bloknnya terdiri dari 2 x 25 MW turbin gasoline dan 2 x 15 MW turbin uap yang merupakan *combine cycle* dari sisa fuel buang dari GTG. a hundred °C tergantung dari *load fuel* turbin dan ambien temperatur. HRSG ini didesain untuk beroperasi pada turbin gas dengan pembakaran natural gas dan destilate oil.± 514°C (HSD) pada outlet flow fuel ±Untuk masing-masing HRSG akan membangkitkan uap sebesar 10 ton/jam overall drift, pada inlet float gasoline.

7.5.1 Alat Bantu pada Boiler

Boiler atau ketel uap adalah suatu alat yang digunakan untuk memproduksi uap dengan tekanan dan temperature tertentu. Uap yang dihasilkan digunakan untuk menggerakkan turbin uap sehingga dari turbin uap tersebut akan didapatkan energi mekanis. Selanjutnya, energi mekanis ini akan diubah menjadi energi listrik di dalam generator.

Adapun boiler sendiri mempunyai alat-alat bantu seperti berikut:

1. Economizer

Economizer adalah alat yang digunakan untuk memanaskan air pengisi ketel dengan media pemanas energi kalor yang terkandung di dalam gasoline bekas. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan air pengisi ketel yang suhunya tidak jauh berbeda dengan air yang terdapat pada boiler drum, serta untuk menaikkan efisiensi boiler.

2. Drum Uap/Steam Drum

Steam drum adalah alat yang digunakan untuk memisahkan bagian air, uap basah dan uap kering karena di dalam boiler terjadi pemanasan bertingkat. Setiap unit boiler dilengkapi oleh sebuah steam drum dan dipasang pada bagian atas dari boiler.

3. exceptional Heater.

Uap yang dihasilkan boiler drum ada yang masih berupa uap basah, dan untuk mendapatkan uap yang betul-betul kering. Uap basah yang berasal dari boiler drum perlu dipanaskan lagi pada terrific heater sehingga uap kering yang dihasilkan naik ke steam drum dan memutar sudu – sudu turbin uap. Setiap boiler biasanya dilengkapi dengan dua buah fantastic heater yaitu number one dan secondary high-quality heater yang dipasang pada bagian atas dari ruang pembakaran (furnace).

4. Desuper Heater

Desuper Heater merupakan spray water yang digunakan untuk mengatur temperatur uap yang dialirkan ke turbin. Alat sudah dibuat sedemikian rupa sehingga bila temperatur uap melebihi ketentuan, maka *desuper heater* ini akan menyemprotkan air yang berasal dari *discharge boiler feed pump* sampai temperaturnya regular kembali.

5. Soot Blower

Soot Blower merupakan alat pembersih pipa di dalam boiler yang diakibatkan menempelnya sisa-sisa pembakaran, dengan media pembersih auxiliary steam.

6. Boiler Feed Pump (BFP)

Boiler Feed Pump merupakan pompa pengisi air boiler. Pompa tersebut memompakan deaerator garage tank ke boiler.

7.5.2 Alat-alat bantu pada Turbin

1. Condensor

Condensor dibuat dari sejumlah pipa-pipa kecil yang mana air laut sebagai media pendingin dapat mengalir melalui pipa-pipa tersebut. Sedangkan uap bekas yang keluar dari turbin akan memasuki sela-sela pipa kondensor sehingga terjadilah perpindahan panas dari uap ke air laut yang selanjutnya akan terjadi pengembunan dan kondensasi uap. Uap yang sudah berubah menjadi air di dalam kondensor ditampung di dalam hot well.

Fungsi dari kondensor adalah sebagai berikut:

- a. Meningkatkan efisiensi turbin, karena dengan mengusahakan vacuum di dalam kondensor uap bekas dari turbin akan segera dapat keluar dan tidak memberikan reaksi tekanan terhadap putaran turbin.
- b. Untuk mengembunkan uap bekas dari turbin dengan media pendingin air laut yang mengalir melalui pipa-pipa kecil di dalam kondensor sehingga air kondensasi tersebut dapat dijadikan sebagai air pengisi ketel.

2. Condensate Pump

Setelah air kondensasi terkumpul pada warm well, maka air tersebut dipompakan oleh *condensate pump* ke daerator tank dengan melalui *heater*. *Low stress Heater* Alat ini berguna untuk memanaskan air condensate yang berasal dari hot properly, sebelum dimasukkan ke daerator tank. Konstruksi pemanasan ini terdiri dari pipa-pipa air yang dilalui oleh air condensat dan pada bagian luarnya dipanasi dengan uap yang diambilkan dari extraction steam dari turbin.

Auxiliary Cooling Water Pump di mana pompa ini berfungsi untuk mensirkulasikan air pendingin yang dibutuhkan untuk mendinginkan minyak pelumas dan gasoline hydrogen. Air pendingin yang disirkulasikan oleh

pompa ini didinginkan lagi oleh air laut di dalam auxillary cooling water warmth exchanger.

High stress Heater di mana alat ini berguna untuk memanaskan air pengisi ketel yang berasal dari deaerator storage tank, yang selanjutnya akan dikirim ke ketel lewat *economizer*. Konstruksi alat ini terdiri dari pipa-pipa air yang dilalui oleh air *boiler feed* dan bagian luarnya dipanasi dengan uap.

Daerator adalah alat yang berfungsi untuk membuang O_2 dan fuel-fuel lain yang terkandung dalam air kondensat, disamping itu juga berfungsi sebagai pemanas air kondensat. Alat ini dikonstruksikan dari tray-tray yang berlapis-lapis sehingga memungkinkan untuk membuat partikel-partikel air *condensate* yang dimasukkannya. Dengan adanya air kondensat yang sudah menjadi partikel-partikel tersebut serta adanya uap ekstraksi yang disemprotkan, maka akan memungkinkan O_2 dan gasoline-gas lainnya yang terkandung di dalamnya akan terlepas dan dibuang ke atmosfer.

Air Ejector adalah suatu alat yang dikonstruksikan dari sebuah nozzle sehingga bilamana dialiri uap akan dapat menarik udara dan gasoline-gas yang tidak dapat mengembun di dalam kondensor sehingga condensor akan menjadi vacuum. Dengan adanya kevakuman pada kondensor maka akan dapat menaikkan efisiensi dari turbin.

Alat ini ada dua macam yaitu:

1. Primming Ejector

Primming Ejector digunakan pada saat start up, kemudian bila kemampuannya sudah mencapai batas maka penarikan vacuum dilakukan oleh alat lain.

2. Air Ejector

Air Ejector digunakan untuk menarik kevakuman setelah melalui alat primming ejector.

Bab 8

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

8.1 Pendahuluan

Pembangkit listrik tenaga panas bumi, atau geotermal, merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang memanfaatkan panas yang dihasilkan dari dalam bumi untuk menghasilkan listrik. Sumber daya alam ini telah lama menjadi perhatian karena potensinya dalam menyediakan energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Sejak awal abad ke-20, teknologi geotermal telah terus berkembang, menjadikannya salah satu solusi penting dalam diversifikasi sumber energi global. Dalam upaya untuk mencapai diversifikasi, kita dapat beralih dari sumber energi non-renewable ke sumber energi yang dapat diperbarui. Contohnya melibatkan inisiatif seperti: 1. Merancang langkah-langkah untuk menggantikan bahan bakar minyak (BBM) dengan bio-diesel. 2. Mendorong pembangunan pembangkit listrik tenaga mikro hidro di daerah pedesaan. 3. Mengurangi ketergantungan pada pembangkit listrik berbahan bakar minyak (BBM) dan menggantikannya dengan pembangkit yang menggunakan sumber energi yang dapat diperbarui (Lubis, 2007).

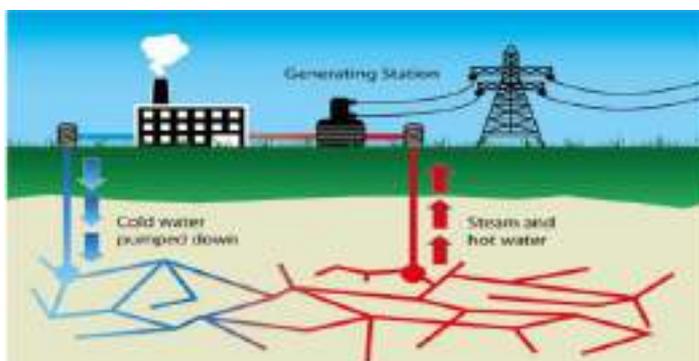
Energi panas bumi adalah energi yang berasal dari panas yang tersimpan di dalam bumi. Panas ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan, seperti menghasilkan listrik, pemanasan air, atau pemanas ruangan. Pemanfaatan energi panas bumi sudah dilakukan sejak zaman Romawi, tetapi baru pada tahun 1904 di Larderello, Italia, energi panas bumi pertama kali digunakan untuk menghasilkan listrik. (Meilani and Wuryandani, 2010a). Salah satu keunikan geotermal adalah ketersediaannya secara terus-menerus, tanpa tergantung pada kondisi cuaca atau waktu. Panas bumi dihasilkan dari aktivitas radioaktif di inti bumi mencapai suhu maksimum 4000C dan dapat diakses sepanjang waktu. Ini membuat pembangkit listrik geotermal menjadi solusi yang dapat diandalkan untuk memenuhi kebutuhan energi di berbagai wilayah, terlepas dari geografis atau musiman (Twidell and Weir, 2006).

Dalam operasinya, pembangkit listrik tenaga panas bumi memanfaatkan reservoir panas bumi di dalam bumi. Air atau uap panas yang dihasilkan dari reservoir ini digunakan untuk menggerakkan turbin, yang kemudian menghasilkan listrik. Selain sebagai sumber energi bersih, geotermal juga memiliki jejak karbon yang lebih rendah dibandingkan dengan sumber energi konvensional, seperti pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Ketahanan dan keberlanjutan pembangkit listrik tenaga panas bumi membuatnya menjadi pilihan yang menarik dalam rangka mencapai tujuan energi bersih dan berkelanjutan di banyak negara. Teknologi ini tidak hanya membantu mengurangi emisi gas rumah kaca, tetapi juga memberikan manfaat ekonomi dengan menciptakan lapangan kerja lokal dan meningkatkan kemandirian energi suatu negara (Nugroho et al., 2023). Dengan terusnya penelitian dan pengembangan dalam bidang geotermal, kita dapat berharap bahwa keberlanjutan dan efisiensi teknologi ini akan terus meningkat, membuka pintu untuk lebih banyak penerapan pembangkit listrik tenaga panas bumi di seluruh dunia dan utamanya di Indonesia. Seiring dengan upaya global untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, geotermal menjadi salah satu pilihan utama untuk mencapai transformasi menuju masa depan yang lebih berkelanjutan secara energi (Gendut Suprayitno, 2015a).

Energi panas bumi adalah energi yang berasal dari panas di dalam Bumi. Panas ini berasal dari aktivitas tektonik, peluruhan elemen radioaktif, dan panas matahari yang diserap oleh permukaan Bumi. Panas ini kemudian disimpan di dalam lapisan batuan tebal dan panas di bawah kerak Bumi. Air yang terperangkap di dalam lapisan batuan ini terkadang menyembur ke permukaan dalam bentuk mata air panas (Indonesia and Pusat Sumber Daya

Mineral, Batubara, dan Panas Bumi (Indonesia), 2017). Air panas ini dapat digunakan secara langsung sebagai sumber energi, misalnya untuk pemanasan dan pendinginan. Air panas ini juga dapat digunakan untuk menghasilkan listrik dengan cara memutar turbin. Energi panas bumi adalah sumber energi yang bersih dan terbarukan. Energi ini tidak menghasilkan emisi berbahaya, sehingga tidak berkontribusi terhadap perubahan iklim. Energi panas bumi juga merupakan sumber energi yang andal, karena dapat beroperasi, terlepas dari kondisi cuaca (Ikechukwu, 2021).

Fluida panas yang ditemukan di reservoir tersebut kemudian dialirkan ke permukaan melalui sumur-sumur ini. Selanjutnya, fluida panas tersebut dapat digunakan untuk memanaskan fluida kerja, seperti air atau bahan kimia khusus, yang akan menghasilkan uap. Uap tersebut kemudian digunakan untuk memutar turbin, yang pada gilirannya menggerakkan generator listrik untuk menghasilkan tenaga listrik (Gambar 8.1) menunjukkan bahwa salah satu model intalasi listrik geothermal.



Gambar. 8.1: Pembangkit Listrik Geothermal (Ikechukwu, 2021)

Kelebihan utama PLTP adalah sumber energi panas bumi yang dapat diperbaharui dan tersedia secara berkelanjutan. Selain itu, PLTP juga dianggap sebagai sumber energi yang bersih karena tidak menghasilkan emisi karbon yang signifikan selama proses pembangkitan listrik. Hal ini membuat PLTP menjadi salah satu solusi penting dalam upaya mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan (Hakim, Sholihah and Ismawati, 2022).

8.1.1 Latar Belakang Pentingnya Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) menjadi semakin penting dalam konteks kebutuhan energi global seiring dengan evolusi tuntutan keberlanjutan dan upaya mitigasi perubahan iklim. Dalam penggunaan energi geothermal tidak lepas dari sejarah penggunaan energi fosil seperti batu bara, minyak, dan gas alam (Siagian, et al., 2023). Pada tahun 1918, seorang insinyur Belanda bernama JB. Van Dijk mengusulkan untuk memanfaatkan energi panas bumi di Kawah Kamojang, Jawa Barat. Usulan ini menjadi titik awal pengembangan energi panas bumi di Indonesia. Menariknya, peristiwa ini juga bertepatan dengan dimulainya pemanfaatan uap panas bumi untuk pembangkit listrik di Larderello, Italia (Idral and Mansoer, 2015).

Penggunaan bahan bakar seperti minyak, gas, dan batubara dapat menimbulkan emisi gas rumah kaca dan merugikan lingkungan, berdampak pada kehidupan manusia. Selain itu, bahan bakar fosil tersebut berasal dari sumber daya yang tidak dapat diperbaharui. Minyak dan gas, sebagai contoh, berasal dari material yang memerlukan waktu geologis jutaan tahun untuk terbentuk, membuatnya semakin sulit dan mahal seiring berjalannya waktu. Oleh karena itu, dibutuhkan sumber energi yang dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil atau bahkan menghindari produksi gas rumah kaca, salah satunya adalah energi geothermal.

Beberapa faktor latar belakang yang menjadikan PLTP penting adalah:

1. Sumber Energi Terbarukan

PLTP menggunakan sumber panas bumi yang terus-menerus diperbarui oleh proses geotermal di dalam bumi. Dengan demikian, PLTP dianggap sebagai sumber energi terbarukan yang dapat berkontribusi pada diversifikasi portofolio energi dan mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil yang terbatas dan tidak ramah lingkungan.

2. Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan

Penggunaan panas bumi sebagai sumber energi pada PLTP menghasilkan emisi gas rumah kaca yang rendah jika dibandingkan dengan pembangkit listrik konvensional yang menggunakan bahan bakar fosil. PLTP membantu mengurangi jejak karbon dan berperan

dalam memitigasi dampak negatif perubahan iklim serta melestarikan lingkungan.

3. Potensi Panas Bumi yang Besar

Bumi memiliki potensi geotermal yang melimpah di berbagai wilayah di seluruh dunia. Keberadaan panas bumi ini dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik, khususnya di daerah-daerah yang memiliki potensi geotermal tinggi, seperti jalur lingkungan tektonik, gunung berapi, dan daerah-daerah dengan aktivitas geotermal yang tinggi.

4. Keandalan dan Ketersediaan Energi

PLTP memiliki keandalan dan ketersediaan energi yang tinggi karena tidak terpengaruh oleh fluktuasi cuaca atau kondisi atmosfer. Dengan kemampuannya menghasilkan listrik secara konsisten, PLTP dapat menjadi sumber energi baseload yang stabil, mendukung kebutuhan listrik kontinu masyarakat.

5. Ekonomi dan Kemandirian Energi

Pemanfaatan PLTP dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap kemandirian energi suatu negara. Dengan mengandalkan sumber energi yang tersedia secara lokal, negara dapat mengurangi ketergantungan pada impor energi dan meningkatkan keamanan pasokan energi, sambil merangsang pertumbuhan ekonomi melalui investasi di sektor energi terbarukan.

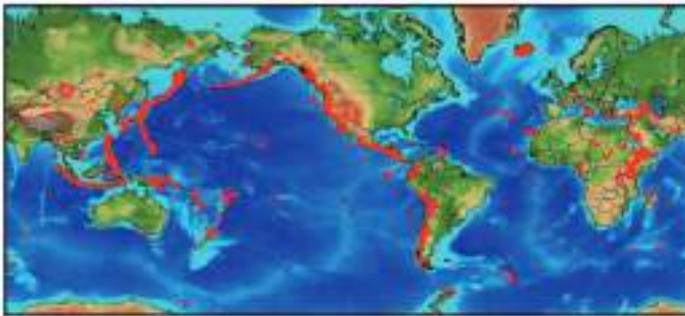
6. Teknologi yang Terus Berkembang

Perkembangan teknologi dalam bidang PLTP terus berlangsung, menghadirkan inovasi-inovasi baru yang meningkatkan efisiensi, menurunkan biaya, dan memperluas potensi penggunaan panas bumi. Hal ini membuat PLTP semakin menarik sebagai solusi energi yang cerdas dan berkelanjutan.

Dengan mempertimbangkan faktor-faktor di atas, PLTP menjadi pilihan strategis dalam upaya menuju transisi energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan di tingkat global.

8.1.2 Potensi Panas Bumi di Dunia

Daerah Panas Bumi Utama: Sebagian besar potensi panas bumi di dunia terdapat di daerah-daerah dengan aktivitas geotermal tinggi, seperti jalur lingkungan tektonik, gunung berapi, dan daerah tektonik aktif. Beberapa wilayah dengan potensi tinggi termasuk Cincin Api Pasifik, Eropa Tengah, Islandia, dan beberapa negara di Amerika Latin, Afrika Timur, dan Asia Tenggara termasuk di negara kita Indonesia. Negara-negara yang terletak di sepanjang jalur cincin api di kawasan Asia-Pasifik memiliki peluang untuk menjadi yang paling utama dalam penghasilan energi listrik melalui sumber panas bumi (Gambar 8.2). Kontribusi Terhadap Energi Global: Potensi panas bumi di dunia sangat besar dan mampu menyediakan sejumlah besar energi listrik. Meskipun baru sebagian kecil potensinya yang telah dimanfaatkan, beberapa negara telah berhasil mengintegrasikan pembangkit listrik geotermal sebagai bagian penting dari portofolio energi mereka. Pengembangan Teknologi dan Investasi: Negara-negara maju seperti Amerika Serikat, Islandia, dan beberapa negara Eropa telah melakukan investasi signifikan dalam pengembangan teknologi panas bumi. Ini mencakup pengembangan sumur geotermal, teknologi penukar panas, dan efisiensi turbin untuk meningkatkan kinerja pembangkit listrik geotermal.



Gambar 8.2: Daerah-daerah Dunia yang dilewati oleh Jalur Cincin Api (Ermawati, Negara and LIPI Press, 2014)

Dengan terus mengoptimalkan teknologi dan investasi, panas bumi memiliki potensi menjadi kontributor utama dalam mencapai target-target energi bersih di tingkat global. Potensi Panas Bumi di Indonesia: Indonesia memiliki potensi energi panas bumi yang sangat besar, yaitu sekitar 40% dari cadangan panas bumi dunia. Potensi ini diperkirakan sebesar 219 juta barel minyak ekuivalen

Kontribusi Terhadap Energi Nasional: Pemanfaatan panas bumi di Indonesia telah memberikan kontribusi positif terhadap pasokan energi nasional. PLTP membantu menyediakan energi listrik yang bersih dan berkelanjutan, serta mengurangi ketergantungan pada energi fosil.

Rencana Pengembangan Masa Depan: Pemerintah Indonesia memiliki rencana ambisius untuk meningkatkan penggunaan energi terbarukan, termasuk panas bumi, dalam bauran energi nasional (Indonesia and Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi (Indonesia), 2017). Langkah-langkah ini diharapkan dapat memberikan akses listrik yang lebih luas, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan mendukung pertumbuhan ekonomi berkelanjutan. Tantangan dan Peluang: Meskipun Indonesia memiliki potensi besar, masih ada tantangan dalam pengembangan panas bumi, seperti kompleksitas teknis, aspek keuangan, dan perizinan.

Namun, peluang pengembangan yang signifikan terbuka lebar, terutama dengan dukungan pemerintah dan investasi swasta yang lebih besar dalam sektor energi terbarukan. Pemanfaatan potensi panas bumi, baik di tingkat global maupun nasional, dapat menjadi solusi strategis dalam mencapai keberlanjutan energi, mengurangi dampak lingkungan, dan meningkatkan ketahanan energi. Sejarah Pengembangan Energi Panas Bumi di Indonesia dimulai pada masa pemerintahan kolonial Belanda, ketika survei geologi menunjukkan keberadaan sumber daya panas bumi.

Setelah kemerdekaan Indonesia, didirikan *The Volcanological Survey of Indonesia* (VSI) untuk menyelidiki gunung berapi. Pengembangan energi panas bumi modern dimulai pada tahun 1983 di Kamojang, diikuti oleh Unit-1 PLTP (30MW) pada tahun yang sama dan dua unit lainnya dengan kapasitas 55 MW pada 1985. Monoblock di Pulau Sumatera (2 MW) di Sibayak-Brastagi beroperasi sebagai pembangkit listrik pertama. PLTP pertama dengan kapasitas 20 MW beroperasi di Lahendong pada Agustus 2001 (Gendut Suprayitno, 2015a). Pada Tabel 8.1. dibawah menunjukkan bahwa hampir setiap propinsi di Indonesia memiliki Potensi Panas Bumi.

Tabel 8.1: Potensi Panas Bumi Indonesia per provinsi (Gendut Suprayitno, 2015b)

No	Pulau	Provinsi	Jumlah Titik Potensi	Potensi (MW)	Kapasitas Terpasang (MW)
1	Sumatera	Nanggroe Aceh Darussalam	17	1232	-
		Sumatera Utara	16	3260	12
		Sumatera Barat	17	1890	-
		Riau	1	25	-
		Jambi	8	1032	-
		Bengkulu	5	1433	-
		Bangka Belitung	3	75	-
		Sumatera Selatan	6	1911	-
		Lampung	13	2658	-
		Banten	5	790	-
2	Jawa	Jawa Barat	40	5839	1057
		Jawa Tengah	14	2099	60
		Daerah Istimewa Yogyakarta	1	10	-
		Jawa Timur	11	1354	-
3	Bali	5	296	-	
4	Nusa Tenggara	Nusa Tenggara Barat	3	195	-
		Nusa Tenggara Timur	19	1276	-
5	Kalimantan	Kalimantan Barat	5	65	-
		Kalimantan Selatan	3	90	-
6	Sulawesi	Sulawesi Utara	5	793	60
		Gorontalo	2	185	-
		Sulawesi Tengah	16	515	-
		Sulawesi Barat	6	207	-
		Sulawesi Selatan	14	489	-
7	Maluku	Sulawesi Tenggara	12	330	-
		Maluku Utara	13	394	-
8	Papua	Maluku	13	560	-
		Papua Barat	3	75	-
Total			276	29.038	1.189

8.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

8.2.1 Pemanfaatan Energi Panas Bumi

Pemanfaatan energi panas bumi, atau geotermal, telah menjadi salah satu solusi yang menarik untuk memenuhi kebutuhan energi dunia. Energi panas bumi berasal dari sumber-sumber panas yang memiliki variasi suhu yang besar dan ciri khas lokal tertentu (Twidell and Weir, 2006).

Berikut adalah pembahasan mengenai pemanfaatan energi panas bumi:

1. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

Prinsip Kerja PLTP: PLTP menggunakan panas bumi yang ada di dalam bumi untuk memanaskan fluida kerja, menghasilkan uap, dan kemudian memutar turbin untuk menghasilkan energi listrik. Jenis

- Sistem PLTP: Terdapat berbagai jenis sistem PLTP, termasuk flash steam, binary cycle, dan dry steam, yang dipilih berdasarkan karakteristik panas bumi di suatu lokasi.
2. Pemanasan Langsung
Aplikasi Pemanasan Langsung: Panas bumi dapat dimanfaatkan langsung untuk pemanasan air untuk kebutuhan domestik, industri, dan pertanian. District Heating: Sistem pemanasan distrik menggunakan panas bumi untuk memasok panas ke wilayah perkotaan atau industri secara efisien.
 3. Pertambangan Panas Bumi
Sumur Panas Bumi: Pertambangan panas bumi melibatkan pengeboran sumur untuk mengakses reservoir panas bumi di bawah permukaan bumi. Injeksi Fluida Panas: Teknik injeksi fluida panas digunakan untuk memperpanjang umur reservoir dan mempertahankan produksi energi yang stabil.
 4. Penggunaan Panas Bumi di Industri
Industri Pengolahan: Panas bumi digunakan dalam industri pengolahan, seperti pengeringan, pemanasan, dan proses-proses produksi. Greenhouses: Panas bumi dapat digunakan untuk mengontrol suhu di rumah kaca (greenhouse) untuk pertanian tanaman yang membutuhkan kondisi khusus.
 5. Keuntungan Pemanfaatan Energi Panas Bumi
Sumber Energi Terbarukan: Energi panas bumi bersifat terbarukan dan dapat diperbarui secara alami, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Rendah Emisi Gas Rumah Kaca: Pemanfaatan panas bumi menghasilkan emisi gas rumah kaca yang rendah, mendukung upaya mitigasi perubahan iklim. Ketersediaan yang Stabil: PLTP dapat memberikan pasokan energi listrik yang stabil karena tidak tergantung pada fluktuasi cuaca.
 6. Tantangan dan Upaya Peningkatan
Kompleksitas Teknis: Pengembangan dan operasional PLTP melibatkan tantangan teknis seperti pemilihan lokasi, pengeboran, dan manajemen reservoir. Biaya Awal dan Investasi: Biaya awal

pembangunan PLTP bisa tinggi, namun upaya penelitian dan teknologi terus dilakukan untuk mengurangi biaya investasi.

7. Peran dalam Bauran Energi

Diversifikasi Sumber Energi: Pemanfaatan energi panas bumi mendukung diversifikasi sumber energi, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan meningkatkan ketahanan energi. **Kontribusi terhadap Transisi Energi:** Pemanfaatan energi panas bumi merupakan langkah penting dalam transisi menuju energi bersih dan berkelanjutan. Pemanfaatan energi panas bumi menjadi bagian integral dari strategi global untuk mencapai keberlanjutan energi, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan meningkatkan akses terhadap energi listrik yang bersih dan terjangkau.

8.2.2 Proses Pembangkitan Listrik dari Panas Bumi

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) merupakan sistem yang kompleks yang mengubah panas yang berasal dari dalam bumi menjadi energi listrik. Potensi besar energi panas bumi sebagai sumber daya energi sangat mungkin karena dapat diakses di berbagai lokasi (Siagian, et al., 2023).

Proses pembangkitan listrik dari panas bumi ini melibatkan beberapa tahapan kunci:

1. Eksplorasi dan Pemilihan Lokasi

Identifikasi wilayah dengan potensi geotermal tinggi melalui studi eksplorasi seperti: Survei seismik yaitu untuk mendeteksi keberadaan reservoir panas bumi, Geokimia: untuk menganalisis kandungan mineral di dalam tanah, dan Geotermal: untuk mengukur suhu dan tekanan di bawah permukaan bumi. Selain identifikasi wilayah, penentuan lokasi sumur panas bumi berdasarkan karakteristik geotermal dan faktor teknis lainnya juga penting untuk diidentifikasi seperti: Kualitas fluida panas, Tekanan reservoir, Temperatur reservoir, Kedalaman reservoir, Ketersediaan lahan, dan Aksesibilitas.

2. Pengeboran Sumur Panas Bumi

Tahap ini dilakukan untuk mencapai reservoir panas bumi di dalam bumi. Sumur panas bumi dapat berupa sumur injeksi dan sumur produksi. Sumur injeksi digunakan untuk menyuntikkan fluida panas kembali ke reservoir, sedangkan sumur produksi digunakan untuk mengambil fluida panas dari reservoir. Kedalaman pengeboran sumur panas bumi bervariasi, tergantung pada kedalaman reservoir. Sumur panas bumi biasanya dibor hingga kedalaman 1.500-3.000 meter.

3. Pengembangan Reservoir Panas Bumi

Injeksi fluida panas (biasanya air) ke dalam reservoir untuk meningkatkan tekanan dan mempertahankan sifat panas bumi. Pengelolaan reservoir untuk memaksimalkan produksi panas dan memperpanjang umur reservoir.

4. Pemanasan Fluida Kerja

Fluida panas yang diambil dari reservoir mengandung panas tinggi. Fluida kerja (air, isobutana, atau bahan kimia lainnya) dipanaskan oleh fluida panas melalui penukar panas.

5. Penggerak Turbin

Fluida kerja yang dipanaskan menghasilkan uap atau gas yang diteruskan ke turbin. Turbin berputar karena tekanan dari uap atau gas, mengubah energi panas menjadi energi mekanis.

6. Generator Listrik

Turbin yang berputar menggerakkan generator listrik. Generator mengubah energi mekanis menjadi energi listrik melalui prinsip elektromagnetik.

7. Transformasi Energi

Energi listrik yang dihasilkan dari generator memiliki tegangan rendah. Melalui transformator, tegangan ditingkatkan untuk memudahkan distribusi energi melalui jaringan listrik. Transformator yang digunakan dalam PLTP biasanya berupa transformator step-up. Transformator step-up meningkatkan tegangan listrik dari tegangan rendah (sekitar 10.000 volt) menjadi tegangan tinggi (sekitar 200.000 volt).

8. Distribusi Energi Listrik

Energi listrik yang dihasilkan dapat didistribusikan melalui jaringan listrik untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Listrik dapat disalurkan ke industri, rumah tangga, atau daerah-daerah tertentu sesuai dengan kebijakan distribusi energi.

9. Pemantauan dan Pengendalian

Sistem PLTP dilengkapi dengan perangkat pemantauan dan pengendalian untuk memantau kinerja dan menjaga stabilitas operasional. Data operasional dan kondisi sistem diawasi secara terus-menerus. Pemantauan dan pengendalian dilakukan untuk memastikan sistem PLTP beroperasi dengan aman dan efisien.

10. Pemeliharaan dan Optimalisasi

Program pemeliharaan berkala untuk memastikan peralatan beroperasi dengan efisien. Upaya optimalisasi sistem untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Proses pembangkitan listrik dari panas bumi menggabungkan teknologi geotermal, mekanika fluida, dan elektromagnetika untuk menghasilkan energi listrik yang bersih dan berkelanjutan.

Dengan pemahaman mendalam tentang setiap tahap dalam proses ini, PLTP dapat dioptimalkan untuk memberikan kontribusi maksimal terhadap kebutuhan energi masyarakat.

8.2.3 Jenis-jenis Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

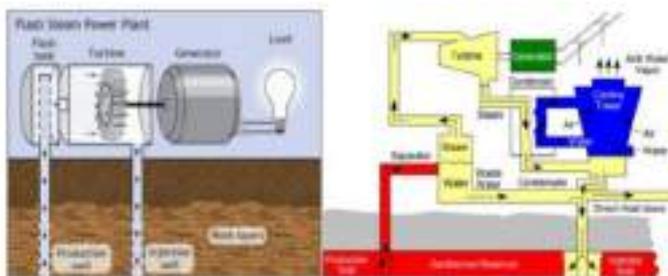
Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) memiliki beberapa jenis sistem yang dapat digunakan untuk mengkonversi panas bumi menjadi energi listrik. Berikut adalah beberapa jenis sistem PLTP yang umum digunakan: *Flash Steam Power Plants*: Prinsip Kerja: *Flash steam power plants* menggunakan fluida panas bumi yang memiliki tekanan tinggi. Ketika fluida ini naik ke permukaan, tekanannya berkurang secara tiba-tiba (flash), menyebabkan sebagian fluida berubah menjadi uap. Uap ini kemudian digunakan untuk memutar turbin dan menghasilkan energi listrik. Salah satu contoh penggunaan *Flash Steam Power Plant* di Indonesia adalah pembangkit

Listrik Tenaga Panas Bumi Lahendong Unit 5 dan 6 di Tompaso kecamatan Tomohon Selatan Kota Tomohon Sulawesi Utara.

Prinsip kerjanya melibatkan langkah-langkah berikut (Kusuma, Mangindaan and Pakiding, 2017):

1. Uap dari dalam sumur dipompa menuju separator untuk memisahkan kandungan uap dan air, menghasilkan uap yang kering.
2. Air hasil pemisahan dialirkan ke settling basin untuk diinjeksikan kembali ke dalam perut bumi.
3. Uap kering dari separator melewati Scrubber untuk menyaring kondensat yang terbentuk sebelum masuk ke turbin, sehingga uap yang digunakan bersih dan kering.
4. Uap tersebut memasuki turbin yang terkoneksi dengan generator untuk menghasilkan listrik.
5. Uap keluar dari turbin dikondensasikan dalam kondenser, menjadi cair, dan dialirkan ke Cooling Tower.
6. Dalam Cooling Tower, air hasil kondensasi didinginkan sebelum dialirkan ke kolam pengendapan dan diinjeksikan kembali ke dalam perut bumi.

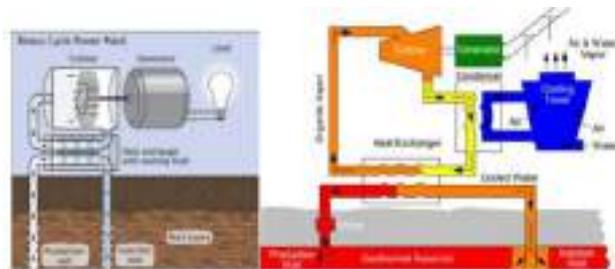
Gambar di bawah menunjukkan skema *Flash Steam Power Plant*. Kelebihan: Cocok untuk fluida panas bumi dengan tekanan tinggi.



Gambar 8.4: Flash Steam Power Plant (Ikechukwu, 2021).

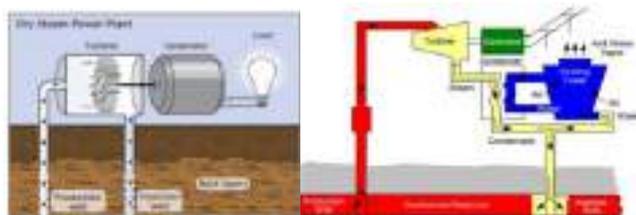
Binary Cycle Power Plants: Prinsip Kerja: *Binary cycle power plants* menggunakan dua jenis fluida: satu dengan titik didih rendah (biasanya bahan organik) dan satu dengan titik didih tinggi (seperti isobutana). Panas dari fluida panas bumi digunakan untuk menguapkan fluida dengan titik didih rendah,

menghasilkan uap yang kemudian digunakan untuk memutar turbin dan generator listrik. Kelebihan: Cocok untuk fluida panas bumi dengan suhu rendah. Pada gambar 8.5 di bawah menunjukkan sistim *Binary Cycle Power Plants*.



Gambar 8.5: Binary Cycle Power Plant (Ikechukwu, 2021)

Dry Steam Power Plants: Prinsip Kerja: *Dry steam power plants* menggunakan uap panas bumi langsung untuk memutar turbin. Fluida panas bumi yang naik ke permukaan langsung digunakan untuk menggerakkan turbin dan generator listrik. Kelebihan: Efisien untuk fluida panas bumi dengan suhu tinggi. Salah satu contoh *Dry Steam Power Plant* dapat di tunjukkan dalam Gambar 8.6 dibawah ini.



Gambar 8.6: Dry Steam Power Plant (Ikechukwu, 2021)

Binary-Flash Power Plants: Prinsip Kerja: Kombinasi dari sistem *flash steam* dan *binary cycle*. Pada awalnya, fluida panas bumi dengan tekanan tinggi digunakan untuk menghasilkan uap secara langsung. Kemudian, fluida yang tidak teruap digunakan untuk memanaskan fluida kerja pada siklus biner.

Kelebihan: Menggabungkan keuntungan dari kedua jenis sistem.

Co-Production Power Plants: Prinsip Kerja: *Co-production power plants* menggabungkan pembangkit listrik geotermal dengan kegiatan produksi panas bumi lainnya, seperti produksi uap untuk pabrik atau penyulingan panas bumi

untuk pengembangan minyak atau gas alam. Kelebihan: Meningkatkan efisiensi dan mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya panas bumi.

Binary-ORC (Organic Rankine Cycle) Power Plants: Prinsip Kerja: Sistem ini menggunakan siklus Rankine organik untuk menghasilkan listrik. Fluida panas bumi yang tidak teruap digunakan untuk memanaskan fluida kerja organik yang kemudian digunakan dalam siklus Rankine untuk menggerakkan turbin. Kelebihan: Efisien untuk suhu rendah dan memiliki keunggulan dalam mengatasi korosi.

Kalina Cycle Power Plants: Prinsip Kerja: Kalina Cycle menggunakan campuran amonia dan air sebagai fluida kerja. Fluida panas bumi digunakan untuk menghasilkan uap amonia dengan berbagai konsentrasi, yang kemudian digunakan dalam turbin. Kelebihan: Efisien untuk variasi suhu dan memberikan performa tinggi pada suhu rendah.

Pemilihan jenis sistem PLTP tergantung pada karakteristik fluida panas bumi, suhu dan tekanan, serta kondisi geologi di lokasi tertentu. Sistem-sistem ini mencerminkan inovasi dan diversifikasi dalam pemanfaatan panas bumi untuk menghasilkan energi listrik secara efisien dan berkelanjutan.

8.3 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

Komponen utama pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) melibatkan serangkaian elemen penting yang bekerja sama untuk mengonversi panas bumi menjadi energi listrik. Salah satu komponen utama adalah sumur geotermal, yang berfungsi sebagai akses menuju reservoir panas di dalam bumi. Sumur ini ditempatkan dengan cermat untuk mengebor ke lapisan bumi yang mengandung sumber panas yang memadai. Fluida, seperti air atau bahan kimia organik, diinjeksikan ke dalam sumur untuk berinteraksi dengan panas dari reservoir dan membentuk uap atau gas panas. Komponen berikutnya adalah turbin, yang digerakkan oleh uap atau gas panas tersebut. Turbin ini memainkan peran kunci dalam mengubah energi panas menjadi energi mekanis, yang selanjutnya akan digunakan untuk menggerakkan generator listrik.

Generator listrik merupakan komponen vital lainnya dalam PLTP. Setelah turbin menghasilkan energi mekanis, generator ini merubahnya menjadi energi listrik. Prinsip elektromagnetik digunakan di dalam generator, di mana pergerakan relatif antara medan magnet dan kumparan kawat menghasilkan arus listrik. Dengan demikian, generator berperan sebagai pendorong utama dalam menghasilkan daya listrik dari energi panas bumi yang diubah menjadi energi mekanis oleh turbin. Semua komponen utama ini bekerja bersama dalam sistem yang terkoordinasi untuk mengoptimalkan konversi energi dan menyediakan sumber daya listrik yang berkelanjutan dari panas bumi.

8.3.1 Sumur Panas Bumi

Definisi Sumur Panas Bumi: Sumur Panas Bumi adalah infrastruktur bor yang dirancang khusus untuk mengeksplorasi dan mengakses panas bumi di dalam kerak bumi. Sumur ini merupakan elemen kunci dalam pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), memungkinkan pengambilan fluida panas bumi untuk menghasilkan energi listrik (Indonesia and Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi (Indonesia), 2017). Proses Pemboran Sumur Panas Bumi: Pertama-tama, proses pemboran sumur panas bumi dimulai dengan pemilihan lokasi yang strategis. Lokasi ini dipilih berdasarkan penelitian geologi dan geofisika untuk menentukan keberadaan sumber panas bumi yang memadai.



Gambar 8.7: Sumur panas bumi

Metode geofisika digunakan untuk meningkatkan akurasi dalam menentukan lokasi dan karakteristik sumber daya (Ghassemi, 2015). Setelah lokasi dipilih, tim ahli geologi melakukan survei untuk mengidentifikasi struktur bawah tanah dan mencari titik yang paling potensial untuk dilakukan pemboran.

Langkah berikutnya adalah menyiapkan peralatan dan mesin pemboran. Rig pemboran khusus yang dirancang untuk mengatasi kondisi geologi yang sulit dipasang di lokasi. Mesin ini dilengkapi dengan bor yang kuat dan sistem pendingin yang efisien untuk mengatasi tekanan dan suhu tinggi di dalam sumur (Gambar 8.7).

Pemboran dimulai dengan membuat lubang kecil di permukaan tanah yang disebut "pilot hole" sebagai langkah awal. Pilot hole ini akan diperluas secara bertahap hingga mencapai kedalaman yang diinginkan. Selama proses ini, peralatan pemboran harus mampu mengatasi tekanan dan suhu tinggi yang ditemui di dalam tanah. Seiring dengan kedalaman yang mencapai target, inti dari pemboran dimulai. Inti ini merupakan potongan batuan dan material bumi yang diambil dari dalam sumur untuk dianalisis. Pada tahap ini, instrumen geologis dan geofisika digunakan untuk memahami lebih lanjut kondisi bawah tanah dan menilai potensi energi panas bumi yang dapat diekstraksi. Ketika sumur mencapai kedalaman yang diinginkan, sistem pemboran akan diperiksa dan dievaluasi untuk memastikan kelancaran operasi. Setelah itu, pipa injeksi dan produksi akan dipasang untuk mengoptimalkan aliran fluida panas bumi ke permukaan. Terakhir, sumur panas bumi diuji untuk memastikan kemampuan produksi energi yang memadai. Jika semua tahapan berhasil, sumur tersebut siap untuk digunakan sebagai sumber energi panas bumi. Dengan proses pemboran yang hati-hati dan cermat, potensi energi terbarukan dari panas bumi dapat diakses dan dimanfaatkan untuk keberlanjutan dan keberlanjutan lingkungan.

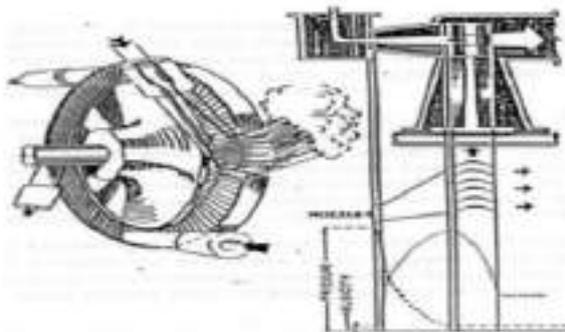
8.3.2 Turbin

Turbin adalah perangkat mekanik yang dirancang untuk mengubah energi dari aliran fluida (biasanya uap air atau gas) menjadi energi mekanis yang dapat digunakan untuk menggerakkan generator listrik (Apriandi and Mursadin, 2016). Turbin berperan penting dalam berbagai aplikasi, terutama dalam pembangkit listrik, dan menjadi komponen utama dalam konversi energi pada berbagai siklus termal dan mesin.

Prinsip Kerja Turbin: Prinsip kerja turbin didasarkan pada hukum fisika bahwa fluida yang mengalir dengan kecepatan tinggi memiliki energi kinetik yang dapat diubah menjadi energi mekanis (Gambar 8.7).

Berikut adalah langkah-langkah prinsip kerja turbin:

1. Aliran Fluida
Turbin menerima aliran fluida, seperti uap air, gas, atau air, dengan tekanan tinggi dan kecepatan tinggi.
2. Pembatasan Aliran
Aliran fluida dibatasi oleh sudu-sudu turbin yang dirancang secara khusus. Pembatasan ini menyebabkan peningkatan kecepatan fluida.
3. Rotasi Sudu
Kecepatan tinggi fluida menyebabkan sudu-sudu turbin berputar. Sudu-sudu ini terpasang pada rotor dan terhubung dengan poros.
4. Rotasi Poros
Rotasi sudu turbin mengakibatkan rotasi poros turbin. Poros ini terhubung dengan generator listrik atau mesin lainnya yang akan dijalankan.
5. Konversi Energi
Rotasi poros yang dihasilkan oleh turbin mengubah energi kinetik fluida menjadi energi mekanis. Energi mekanis ini kemudian dapat digunakan untuk menghasilkan listrik atau melakukan pekerjaan mekanis lainnya.



Gambar. 8.8: Prinsip Kerja Turbin Uap (Apriandi and Mursadin, 2016)

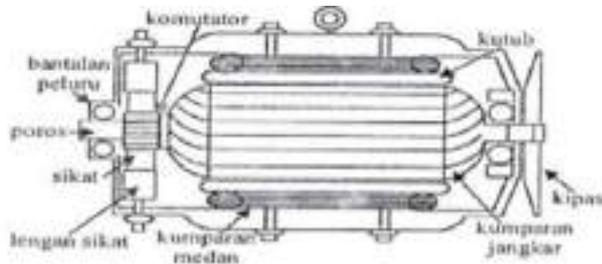
8.3.3 Generator

Generator adalah perangkat listrik yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik (Ellony Pratama, Atmam, and Usaha Situmeang, 2019). Prinsip kerja generator didasarkan pada hukum elektromagnetik Faraday yang menyatakan bahwa perubahan fluks magnetik melalui suatu kumparan akan menghasilkan arus listrik dalam kumparan tersebut (Martua, Setiawan and Yuvendius, 2021). Generator merupakan bagian penting dalam pembangkit listrik dan berperan dalam menghasilkan listrik untuk berbagai keperluan. Konsep Medan Magnet: Sebuah generator umumnya terdiri dari sebuah magnet atau serangkaian magnet yang membentuk medan magnet. Medan magnet ini adalah ruang di sekitar magnet di mana gaya magnetik dapat dirasakan. Medan magnet ini diperlukan untuk menciptakan perbedaan potensial atau tegangan listrik di dalam konduktor. Gerakan Relatif: Untuk menghasilkan perubahan dalam fluks magnetik, ada gerakan relatif antara konduktor dan medan magnet. Gerakan ini bisa dihasilkan dengan berbagai cara, seperti memutar konduktor di dalam medan magnet atau memutar medan magnet di sekitar konduktor.

Berikut adalah Jenis-jenis Generator:

1. Generator DC (Direct Current) adalah suatu perangkat yang menghasilkan arus listrik searah (DC) sebagai hasil dari proses konversi energi mekanis menjadi energi listrik. Prinsip dasar kerja generator DC didasarkan pada hukum elektromagnetik Faraday dan hukum gerak listrik Faraday. Berikut adalah penjelasan singkat mengenai bagaimana generator DC bekerja: Prinsip Faraday: Menurut hukum elektromagnetik Faraday, perubahan fluks magnetik yang melalui suatu konduktor akan menimbulkan arus listrik dalam konduktor tersebut. Fluks magnetik adalah jumlah medan magnet yang melintasi permukaan konduktor.

Konstruksi:



Gambar. 8.9: Kontruksi Generator DC (Martua, Setiawan and Yuvendius, 2021)

Koil Pembangkit (Armature Coil): Sebuah koil dililitkan pada suatu inti yang dapat berputar, dikenal sebagai armature. Armature ini ditempatkan di antara dua kutub magnet permanen atau elektromagnet. **Kutub Magnet:** Kutub magnet menciptakan medan magnet yang melintasi area koil pembangkit saat armature berputar. **Proses Penghasilan Arus:** Saat armature diputar, medan magnet yang melintasi koil pembangkit akan mengalami perubahan seiring dengan rotasi armature. Perubahan ini menyebabkan perubahan fluks magnetik, sesuai dengan prinsip Faraday, yang kemudian menghasilkan arus listrik dalam koil pembangkit. Untuk menghitung gaya gerak listrik (GGL) induksi rata-rata (E) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$E = -N \left(\frac{d\Phi}{dt} \right) \text{ volt (1)}$$

Keterangan:

E = Induksi rata-rata

N = Banyaknya lilitan kumparan

$\Delta\Phi = d\Phi$ = Perubahan pada fluks magnet (Weber)

$\Delta t = dt$ = Perubahan pada waktu (detik)

Kutub Belitan (Commutator): Untuk menghasilkan arus searah, generator DC menggunakan suatu komponen yang disebut kutub belitan (commutator). Kutub belitan berfungsi untuk memutus dan mengalihkan arus listrik saat arus berubah arah, sehingga arus yang dihasilkan tetap searah. **Sistem Pengendalian dan Pemeliharaan**

Tegangan: Sebuah sistem pengendalian tegangan biasanya digunakan untuk menjaga tegangan keluaran generator DC agar tetap konstan. Beberapa generator DC dilengkapi dengan regulator tegangan untuk mengatur besar tegangan output. Generator DC digunakan dalam beberapa aplikasi seperti sistem pembangkit listrik kecil, mesin industri, dan sistem penyimpanan energi yang memerlukan arus searah. Meskipun saat ini generator DC banyak digantikan oleh generator AC (arus bolak-balik) dalam berbagai aplikasi, tetapi tetap digunakan dalam beberapa konteks tertentu.

2. Generator AC (Alternating Current) adalah perangkat elektromekanis yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik dalam bentuk arus bolak-balik (AC). Arus bolak-balik memiliki karakteristik berupa perubahan arah arus secara periodik, yang sering diukur dalam siklus per detik atau Hertz (Hz). Berikut adalah penjelasan singkat mengenai cara kerja dan komponen utama dari generator AC: Prinsip Induksi Elektromagnetik Faraday: Generator AC bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik Faraday, yang menyatakan bahwa perubahan fluks magnetik melalui suatu konduktor akan menimbulkan gaya elektromotif (EMF) atau tegangan listrik dalam konduktor tersebut.

Konstruksi:



Gambar 8.10: Konstruksi Generator AC (Andriansah and Haryudo, 2020)

Rotor (Pembangkit): Rotor adalah elemen yang bergerak berputar yang bertugas menciptakan medan magnet, sehingga menghasilkan tegangan yang akan diinduksi ke stator. Komponen berputar yang terdiri dari kumparan atau kumparan konduktor yang ditempatkan dalam medan magnet. Stator

(Pemegang): Stator merupakan komponen generator yang tetap diam dan berperan sebagai tempat penerima induksi magnet dari rotor (Farhan, 2021). Struktur tetap yang menyediakan medan magnet tetap. Medan magnet ini melalui rotor saat rotor berputar. Gerak Relatif Antar Rotor dan Stator: Saat rotor berputar, kumparan di rotor mengalami perubahan relatif terhadap medan magnet yang dihasilkan oleh stator. Perubahan ini menghasilkan perubahan fluks magnetik yang melintasi kumparan, sesuai dengan prinsip Faraday.

Penghasilan Arus Bolak-Balik: Perubahan fluks magnetik menyebabkan timbulnya gaya elektromotif (EMF) atau tegangan listrik dalam kumparan rotor. Karena rotor berputar, orientasi relatif antara kumparan dan medan magnet berubah secara terus-menerus, menghasilkan arus bolak-balik di kumparan rotor.

Tegangan Listrik Bolak-balik dapat di Representasikan dengan Persamaan berikut:

$$v(t) = V_{peak} \cdot \sin(\omega t) \quad (2)$$

Keterangan:

V_{peak} = Puncak tegangan Listrik (Volt)

ω = Frekuensi sudut (rad/det)

t = Waktu (det)

Pengendalian Tegangan dan Frekuensi: Sistem pengendalian tegangan dan frekuensi digunakan untuk menjaga tegangan dan frekuensi keluaran generator AC agar tetap sesuai dengan kebutuhan sistem tenaga listrik. Transformator dan Jaringan Distribusi: Arus bolak-balik dari generator AC umumnya diubah melalui transformator untuk meningkatkan tegangan (step-up) sebelum disalurkan melalui jaringan distribusi listrik. Generator AC umumnya lebih umum digunakan dalam pembangkit listrik skala besar dan sistem distribusi listrik karena kemudahan dalam mentransformasikan tegangan dan frekuensi serta keuntungan efisiensi transmisi jarak jauh. Selain itu, arus bolak-balik dapat dengan mudah diubah melalui transformator untuk meningkatkan atau menurunkan tegangan sesuai kebutuhan. Menghasilkan arus bolak-balik (AC). Tidak menggunakan komutator dan biasanya berbasis pada prinsip induksi elektromagnetik.

Bab 9

Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro

9.1 Rencana Implementasi

Pada dasarnya, minihidro dan mikrohidro sama, tetapi minihidro memiliki kapasitas yang lebih besar daripada mikrohidro. Undang-Undang No 30 Tahun 2007 mengenai Energi dan Peraturan Pemerintah dan Undang-undang No 79 Tahun 2014 mengenai Kebijakan Energi Nasional (KEN) mengatur pengelolaan energi. Selain itu, Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2023 telah ditetapkan untuk menangani lebih banyak kompetisi di bidang energi dan sumber daya mineral, khususnya di bidang Energi Baru Terbarukan.

Rencana implementasi energi yang berkelanjutan diharapkan dapat meningkatkan akses masyarakat terhadap energi, meningkatkan keamanan pasokan energi, menyesuaikan harga dengan ekonomi, menyediakan infrastruktur yang memadai, dan meningkatkan efisiensi penggunaan energi.



Gambar 9.1: Bendungan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro

Suratman (2001) menyatakan bahwa beberapa elemen penting dalam studi kelayakan proyek adalah hukum, pasar, finansial, manajemen, dan lingkungan. Untuk menilai suatu proyek, tahap analisis dan evaluasi, dipertimbangkan aspek ekonomi, teknis, manajemen, organisasi, komersial, dan keuangannya. Menurut Tjokroamidjojo (1991).

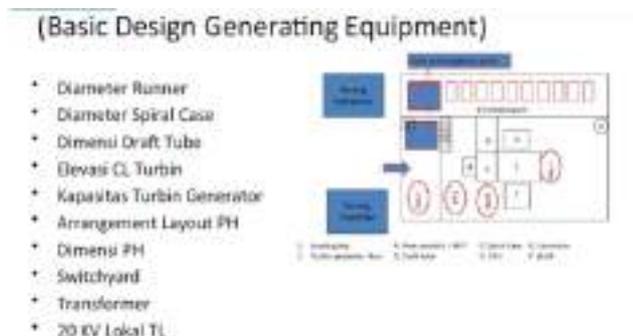
9.1.1 Langkah Awal Konstruksi

Langkah awal-konstruksi merupakan kegiatan proyek yang bervariasi tergantung pada jenis proyek dan skala proyek tersebut., dan kegiatan yang dilakukan meliputi:

1. Studi kelayakan teknis bertujuan untuk memastikan apakah proyek tersebut dapat dilaksanakan secara teknis atau tidak. Jika proyek ini dinyatakan layak, maka dilakukan studi hidrologi untuk keandalan debit (Q), tinggi jatuh air (head), dan aspek kondisi geologi lokasi proyek. Studi ini menjelaskan tentang teknis lapangan, finansial saat konstruksi awal, dan studi Analisa Dampak Lingkungan (AMDAL). Namun, aspek finansial pembangunan dinilai melalui penilaian tingkat keuntungan dari investasi yang ditanamkan dengan menggunakan penilaian instrumen keuangan yang umum berlaku, seperti Pay Back Period NPV, IRR, PBP, PI, dan ROI. Sementara itu, aspek lingkungan dinilai dengan mematuhi ketentuan Amdal yang

ditetapkan oleh pemerintah, yaitu bahwa pembangkit listrik dengan daya di bawah 100 MW tidak akan mengalami kerusakan. Tujuan dari penelitian UKL&UPL adalah untuk mengintegrasikan aspek sosial-ekonomi masyarakat dan lingkungan ke dalam pelaksanaan proyek sehingga pembangunan proyek tidak merusak masyarakat sekitar dan kehidupan sosial-ekonomi dan lingkungan dapat berlanjut seperti sebelum proyek dimulai.

Dokumen UKL-UPL dibuat selama fase perencanaan proyek untuk membantu memperoleh perizinan. Pengusaha wajib melakukan kegiatan Upaya Pengelolaan Lingkungan (UKL) dan Upaya Pemantauan Lingkungan (UPL) yang telah berjalan sampai saat ini jika dibutuhkan. UKL dan UPL dimaksudkan untuk proyek yang dampak lingkungannya dapat diatasi dan memiliki skala pengendalian yang kecil dan sederhana. (“Pengertian UKL Dan UPL | PDF,” 2017)



Gambar 9.2: Site Plan Pada Power House

2. Proses perijinan,

Pembentukan suatu perusahaan yang berbadan hukum wajib mengikuti ketentuan Undang-Undang Perseroan Terbatas Nomor 40 Tahun 2007, mengenai prosedur pendirian perusahaan, permodalan & saham, rencana kerja dan laporan tahunan korporasi, penyelenggaraan RUPS, dan lain-lain.

Proses perijinan yang dibutuhkan untuk pendirian perusahaan tersebut, dikeluarkan oleh:

- a. Dinas Perindustrian dan Perdagangan mengeluarkan Surat Izin Usaha Perdagangan (SIUP)
- b. Dinas Perindustrian dan Perdagangan mengeluarkan surat Tanda Daftar Perseroan
- c. Surat Keterangan Domisili Perusahaan
- d. Kantor Penanaman Modal Daerah mengeluarkan Surat Ijin Gangguan
- e. Kantor Penanaman Modal Daerah mengeluarkan Kartu Registrasi Perusahaan
- f. Ijin Usaha Jasa Penunjang Tenaga Listrik (IUJPTL)
- g. Nomor Pokok Wajib Pajak (NPWP)

Untuk surat perijinan terkait pembangunan PLTM, yang dibutuhkan pada di tingkat daerah di antaranya:

- a. Surat dukungan pembangunan PLTM dari Gubernur
- b. Surat persetujuan Bupati tentang pembangunan pembangkit listrik terbarukan skala menengah (Surat Izin Prinsip)
- c. Surat ijin dari Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) yaitu surat peruntukan penggunaan tanah.
- d. Surat Keputusan Bupati tentang pemberian ijin lokasi tanah.
- e. Surat keputusan dari kantor analisis dampak lingkungan kabupaten mengenai persetujuan UKL & UPL Pembangunan PLTM

Dokumen yang diperlukan terkait dengan penjualan energi listrik ke PLN di antaranya adalah:

- a. Nota Kesepahaman antara PT dengan PT. PLN distribusi mengenai jual beli energi listrik
- b. Surat Ijin Penggunaan dan Pemanfaatan Air (SIPPA) yang dikeluarkan oleh dinas pengairan setempat (Dinas Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum).
- c. Power Purchase Agreement (PPA) antara PT dengan PT. PLN

- d. Surat Izin Usaha Ketenagalistrikan untuk Kepentingan Umum (IUKU)
- e. Surat Menteri Kehutanan Republik Indonesia mengenai Persetujuan Prinsip Penggunaan Kawasan Hutan untuk Pembangunan Pembangkit Listrik Minihidro

Dokumen yang dibutuhkan terkait dengan penjualan dan perolehan insentif CER dari buyer, di antaranya adalah:

- a. Data teknis pembangkit
 - b. Dokumen Project Design Document (PDD)
 - c. Emission Reduction Purchase Agreement (ERPA)
 - d. Monitoring operasional pembangkit
 - e. Penyusunan detailed engineering design,
 - f. Serta menyusun scheme bisnis secara keseluruhan. (“Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025 (Blueprint of National Energy Management 2005-2025)_2006 Ed.pdf,” n.d.)
3. Detail Engineering Design

Setelah studi kelayakan proyek selesai dan proyek tersebut dinyatakan layak, maka pekerjaan tersebut dilanjutkan dengan desain perencanaan konstruksi sipil dan system pembangkit. Desain teknik detail membutuhkan kolaborasi antara berbagai disiplin teknik, termasuk proses, mekanik, listrik, instrumen, dan teknik sipil. Tujuannya adalah untuk menghasilkan serangkaian dokumen yang komprehensif yang berfungsi sebagai blueprint untuk konstruksi dan implementasi proyek. Tahap ini sangat penting untuk memastikan pelaksanaan proyek yang sukses dan efisien sambil memenuhi semua persyaratan keamanan, peraturan, dan kinerja. Tujuannya adalah untuk melakukan evaluasi harga satuan terbaru dan optimasi-optimasi dalam upaya menurunkan biaya investasi, terutama efisiensi biaya konstruksi.

9.1.2 Tahap Konstruksi

Rencana implementasi pekerjaan konstruksi dimulai dengan membuat rencana kerja yang disusun sesuai dengan urutan pekerjaan. Rencana ini termasuk

tahap konstruksi, seperti pembebasan lahan, pelaksanaan tender, dan pelaksanaan konstruksi, serta pekerjaan komisioning dan uji coba.

Rencana implementasi ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pembebasan dan Pengadaan Lahan

Pembebasan lahan pada lokasi rencana konstruksi serta bangunan sipil lainnya dibagi menjadi dua kelompok pemilik lahan yaitu lahan milik masyarakat dan lahan milik departemen Kehutanan. Konsep yang umum digunakan dalam pembebasan lahan untuk tanah milik masyarakat bisa dilakukan secara langsung yaitu dengan proses jual beli tanah milik masyarakat, sedangkan pembebasan lahan yang dimiliki oleh Kehutanan dilakukan sesuai dengan mekanisme yang berlaku di departemen kehutanan yakni dengan pola 1: 2, untuk setiap 1,0 m² luas tanah yang di bebaskan harus diganti dengan lahan (milik masyarakat) seluas 2,0 m² di tempat lain dalam areal wilayah kehutanan yang sama. Luas lahan yang dibebaskan disesuaikan dengan kebutuhan lahan dari hasil disain yang telah diukur, dan pelaksanaannya harus dilakukan secara tanggungjawab mengingat masalah tanah merupakan masalah yang cukup rawan, dan harga tanah di sesuaikan dengan harga yang berlaku di lokasi pekerjaan atau berdasarkan harga yang tercantum dalam NJOP (Nilai Jual Objek Pajak) atas tanah.

2. Tender EPC

Salah satu langkah penting selama periode konstruksi adalah pelaksanaan tender EPC, yang berarti memilih kontraktor untuk menyelesaikan pekerjaan konstruksi. Dua kategori pekerjaan EPC berbeda. Yang pertama adalah pekerjaan sipil (civil works) dan metal, dan yang kedua adalah pekerjaan listrik dan mekanis.

Sistem tender terbuka memilih kontraktor untuk pekerjaan dengan tujuan mendapatkan harga dan kualitas terbaik. Di sisi lain, pembagian pekerjaan menjadi dua kelompok bertujuan untuk mempercepat proses pelaksanaan pekerjaan dan menghindari konsentrasi pelaksana pekerjaan pada satu kontraktor, sehingga

masing-masing kontraktor dapat lebih fokus pada pekerjaannya, yang menghasilkan kualitas terbaik.

3. Tahap Kesepakatan Harga dan Penanda-tanganan Kontrak Konstruksi Setelah tender berakhir dan pemenang diumumkan, maka calon pemenang harus bernegosiasi dan memberikan klarifikasi. Tujuan dari negosiasi dan klarifikasi ini adalah untuk menjamin bahwa lingkup pekerjaan dan target kapasitas pembangkit sesuai, dan harga pekerjaan tetap kompetitif. Nilai penawaran terendah atau calon terendah dipilih dalam negosiasi ini. Kontrak pekerjaan biasanya ditandatangani setelah harga pekerjaan disepakati bersama. Dalam kebanyakan kasus, kontrak ini mencakup lingkup pekerjaan, harga, dan metode pembayaran, serta waktu pelaksanaan dan konsekuensi pelanggaran.

9.1.3 Tahap Operasional dan Pemeliharaan PLTM

Tahap Operasional

Operasional minihidro meliputi beberapa aspek, termasuk prinsip operasi, sistem pengawasan, dan pemeliharaan rutin untuk memastikan kinerja yang optimal. Berikut adalah gambaran umum pengertian operasional minihidro:

1. Prinsip Operasional Minihidro

Minihidro merupakan suatu system pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas diatas 100 KW. Prinsip operasionalnya melibatkan pemanfaatan energy air untuk menggerakkan turbin, yang kemudian mengubah energi kinetik air menjadi energy mekanis yang dapat digunakan untuk menghasilkan listrik. Pada dasarnya, minihidro memanfaatkan aliran air sebagai sumber energy untuk memutar turbin dan menghasilkan listrik.

2. Sistem Pengawasan Operasional

Sistem kontrol dan pengawasan yang sangat penting dalam operasional minihidro. Ini mencakup pengukuran aliran air, pemantauan tekanan dan pengawasan terhadap berbagai parameter operasional. Sistem ini memastikan bahwa pembangkit listrik bekerja

pada kondisi optimal, dan dapat merespon perubahan dalam aliran air atau beban listrik.

3. Pemeliharaan Minihidro

Pemeliharaan melibatkan serangkaian tindakan rutin untuk menjaga kinerja system. Ini termasuk pemeriksaan berkala terhadap turbin, generator dan system mekanis lainnya. Pemeliharaan juga mencakup pemeriksaan system listrik dan control untuk memastikan fungsi yang benar (John Wiley & Sons., 2013).



Gambar 9.3: Sistem pengoperasian dan Pemeliharaan pada PLTM

Tahap Pemeliharaan PLTM

Pemeliharaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) penting untuk memastikan kinerja optimal dan keberlanjutan operasionalnya. Berikut adalah beberapa langkah umum dalam pemeliharaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) sebagai berikut:

1. Pemeliharaan Rutin

a. Pemeriksaan Berkala:

Lakukan pemeriksaan berkala pada semua komponen utama, termasuk turbin, generator, gearbox, dan sistem kontrol.

b. Pembersihan:

Bersihkan bagian-bagian yang rentan terhadap kotoran atau tumpukan debu yang dapat menghambat kinerja.

2. Pemantauan Kinerja:
 - a. Sistem Monitoring:

Gunakan sistem pemantauan untuk memantau kinerja PLTM secara terus-menerus. Hal ini dapat membantu mendeteksi masalah sejak dini.
 - b. Pemantauan Getaran:

Pantau getaran pada mesin dan komponen lainnya, karena getaran berlebih dapat menjadi indikator masalah.
3. Pemeliharaan Sistem Elektrikal:
 - a. Periksa Kabel dan Sambungan:

Pastikan kabel dan sambungan listrik dalam kondisi baik dan aman.
 - b. Pemeliharaan Transformer:

Periksa transformator untuk memastikan tidak ada kebocoran minyak dan tegangan keluaran sesuai dengan spesifikasi.
4. Pemeliharaan Turbin:
 - a. Pembersihan Turbin:

Membersihkan turbin dari kotoran seperti rumput atau batang yang bisa terbawa oleh air.
 - b. Pengecekan Blade Turbin:

Periksa blade turbin untuk memastikan tidak ada kerusakan atau aus yang signifikan.
5. Pemeliharaan Sistem Air
6. Pembersihan Saluran Air, pastikan saluran air yang menuju ke turbin bebas dari penyumbatan atau endapan.
7. Pemeliharaan Sistem Kontrol

Perangkat Kontrol, periksa dan uji semua perangkat kontrol, termasuk sensor dan sistem otomatisasi.
8. Pelatihan Operator:

Pelatihan Reguler: Pastikan operator mendapatkan pelatihan reguler terkait operasi dan pemeliharaan agar dapat mengidentifikasi masalah dan tindakan pencegahan.

9. Pemantauan Lingkungan:

Pantau Kondisi Lingkungan: Perhatikan perubahan dalam kondisi lingkungan sekitar PLTM yang dapat memengaruhi kinerja, seperti perubahan aliran sungai atau cuaca ekstrem.

10. Pemeliharaan Catatan

Catatan Pemeliharaan, Buat dan pelihara catatan pemeliharaan yang rinci, termasuk tanggal pemeliharaan, tindakan yang diambil, dan hasil pemeriksaan.

11. Pemeliharaan Darurat

Perencanaan Darurat, Persiapkan rencana darurat untuk tindakan cepat dalam situasi darurat atau pemadaman mendadak.

Penting untuk diingat bahwa pemeliharaan PLTM harus dilakukan secara teratur dan dengan hati-hati agar dapat mencegah masalah besar dan memaksimalkan masa pakai sistem. Selain itu, mengikuti pedoman produsen dan mematuhi standar keamanan yang merupakan langkah-langkah krusial dalam pemeliharaan PLTM.

9.2 Analisa Finansial Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro

Analisis finansial pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) melibatkan evaluasi investasi dan pengembalian finansial dari proyek tersebut. Berikut adalah beberapa langkah umum dalam melakukan analisis finansial PLTM:

1. Biaya Investasi (Capex):

Identifikasi dan perhitungkan semua biaya yang terlibat dalam pembangunan PLTM, termasuk pembelian peralatan (turbin, generator, dll.), instalasi, konstruksi sumber air, transmisi listrik, dan biaya lainnya.

2. Operational Expenditure (Opex):

Hitung biaya operasional tahunan, termasuk biaya bahan bakar (jika digunakan), pemeliharaan, upah tenaga kerja, dan biaya operasional lainnya.

3. Pendapatan (Revenue):

Hitung pendapatan yang diharapkan dari penjualan listrik yang dihasilkan oleh PLTM. Tentukan tarif listrik dan perkiraan volume penjualan.

4. Return On Investment (ROI)

Hitung tingkat pengembalian investasi (ROI) dengan membandingkan keuntungan bersih tahunan dengan biaya investasi awal.

$$\text{Di mana } ROI = \frac{\text{Keuntungan Bersih Tahunan}}{\text{Biaya Investasi Awal}} \times 100\%$$

5. Net Present Value (NPV)

Hitung Nilai Sekarang Bersih (NPV) untuk mengevaluasi nilai waktu uang dari proyek. NPV dihitung dengan membandingkan nilai sekarang dari arus kas masuk dan keluar selama masa proyek. Proyek dengan NPV positif dianggap layak.

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} - C_0$$

di mana CF_t adalah arus kas bersih pada tahun ke- t , r adalah tingkat diskonto, t adalah tahun, T adalah umur proyek, dan C_0 adalah biaya investasi awal.

6. Payback Period

Hitung periode pengembalian (payback period) untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan proyek untuk mengembalikan biaya investasi awal.

$$\text{Di mana } \text{Payback Period} = \frac{\text{Biaya Investasi Awal}}{\text{Arus Kas Bersih tahunan}}$$

7. Internal Rate Of Return (IRR)

Hitung tingkat pengembalian internal (IRR) untuk menilai tingkat pengembalian proyek. Proyek dianggap layak jika tingkat pengembalian internal melebihi tingkat diskonto.

$$\text{Di mana } IRR = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - C_0 = 0$$

8. Sensitivitas Analisis

Lakukan analisis sensitivitas untuk mengidentifikasi bagaimana perubahan parameter, seperti biaya operasional atau tarif listrik, memengaruhi hasil finansial proyek.

9. Perizinan dan Subsidi:

Pertimbangkan dampak perizinan, insentif pemerintah, atau subsidi yang dapat memengaruhi keberlanjutan proyek dan analisis finansialnya.

10. Risiko dan Manajemen Risiko:

Identifikasi faktor risiko yang mungkin memengaruhi proyek dan tentukan strategi untuk mengelolanya.

Analisis finansial yang baik akan membantu Anda mengambil keputusan yang lebih baik terkait pembangunan PLTM, memastikan kelayakan finansial, dan memberikan gambaran yang jelas tentang potensi pengembalian investasi dari proyek tersebut.

9.3 Studi Analisa Dampak Lingkungan

Analisis Dampak Lingkungan (Environmental Impact Assessment/EIA) merupakan proses evaluasi terstruktur terhadap konsekuensi lingkungan dari suatu kebijakan, proyek, atau aktivitas. EIA bertujuan untuk memahami, memprediksi, dan memitigasi dampak-dampak yang mungkin timbul pada lingkungan sekitar.

Berikut adalah langkah-langkah umum dalam analisis dampak lingkungan beserta rekomendasi pelatihan yang dapat membantu pengembangan keterampilan terkait:

1. Identifikasi Dampak

- a. Penyusunan deskripsi proyek dan bagaimana memahami skala dan ruang lingkungannya. Deskripsi proyek dalam laporan rencana pelaksanaan proyek adalah uraian proyek secara umum yang meliputi hal-hal sebagai berikut:

- 1) Lokasi proyek
- 2) Data kontrak
- 3) Kondisi geoteknik dan hidrologi di lokasi proyek
- 4) Kondisi cuaca
- 5) Kondisi sumber daya

Lokasi proyek perlu dideskripsikan untuk mendapatkan gambaran letak proyek. Berdasarkan lokasi proyek tersebut maka selanjutnya dapat ditentukan jalan akses ke proyek, traffic management di sekitar lokasi proyek, lokasi quarry terdekat dan lain-lain.

- b. Metode identifikasi dampak, analisis keterkaitan antara proyek dan lingkungan.

Berkenaan dengan dampak lingkungan suatu kegiatan ada dua hal pokok yang perlu dipahami yaitu:

- 1) Dampak setiap kegiatan bersifat khas dan unik (site specific), artinya dampak lingkungan suatu kegiatannya berlaku untuk ekosistem tertentu dan kelompok sosial tertentu yang menghuni ruang dan waktutertentu. Asumsi ini berangkat dari suatu pengertian bahwa AMDAL hanya terfokus pada ruang tertentu dan kurun waktu tertentu yang dihipotesakan terkena dampak suatu kegiatan. Implikasi dari asumsi ini adalah walaupun jenis kegiatannya sama, dampak yang ditimbulkan akan berbeda bila berada di ruang yang berbeda.
- 2) Dampak suatu kegiatan bersifat kompleks
Asumsi ini berangkat dari pengertian bahwa, setiap komponen lingkungan satu sama lain saling terkait. Perubahan atau tekanan yang dialami oleh satu komponen lingkungan akan memengaruhi komponen lainnya. Hubungan sebab akibat ini semakin sulit ditelusuri apabila dampak yang ditimbulkan pada suatu komponen bersifat kumulatif dan baru tampak setelah kurun waktu yang cukup lama. Implikasi hal ini adalah bahwa studi AMDAL harus dilakukan secara lintas disiplin sesuai dengan karakteristik dampak yang

ditimbulkan. Jadi diperlukan spesialis yang mengkaji masing-masing disiplin dari aspek yang terkait dan ahli analisis sistim yang mengintegrasikan hasil kajian para spesialis dalam kesatuan analisis.

2. Pemetaan Dampak, dengan cara menganalisa peta dan data geospasial dan penggunaan perangkat lunak pemodelan untuk memprediksi dampak dan lakukan evaluasi kegiatan.
3. Penyusunan Rencana Mitigasi
Mengembangkan strategi untuk mengurangi dampak dan membuat rencana untuk implementasi strategi mitigasi.
4. Penyusunan Laporan EIA
Keterampilan penulisan laporan teknis dan ilmiah dan keterampilan komunikasi efektif untuk menjelaskan temuan kepada masyarakat.
5. Tinjauan dan Persetujuan
Memahami proses perizinan dan persyaratan hukum dan keterampilan presentasi untuk membela temuan EIA.

Bab 10

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

10.1 Pendahuluan

Dalam kehidupan modern saat ini pemanfaatan tenaga listrik merupakan kebutuhan esensial. Namun, sejumlah negara, termasuk Indonesia, masih menghadapi tantangan terkait ketersediaan dan distribusi energi listrik. Permasalahan utama yang sering terjadi dalam penyediaan energi listrik adalah keterbatasan sumber daya energi, biaya yang tinggi, dan efek negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, terjangkau, dan dapat diperbaharui (Nur Chairat, A. S. 2020)

Salah satu pilihan sumber energi alternatif yang menjanjikan adalah energi surya. Energi surya merujuk pada tenaga yang berasal dari radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi. Keunggulan energi surya meliputi ketersediaannya yang melimpah, biaya yang minimal, dan minimnya dampak polusi. Energi surya dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik melalui teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

PLTS adalah sistem yang dapat mengubah energi surya menjadi energi listrik menggunakan sel surya atau panel surya. Sel surya, sebagai semikonduktor, bisa merubah cahaya matahari menjadi arus listrik melalui efek fotovoltaiik.

Komponen utama PLTS meliputi panel surya, modul surya, inverter, dan baterai. PLTS dapat beroperasi secara mandiri atau terhubung dengan jaringan listrik nasional.

PLTS memberikan sejumlah keuntungan, seperti penghematan biaya, kemudahan pemasangan, dan kemandirian. Aplikasi PLTS juga dapat ditemukan dalam berbagai sektor, seperti penyediaan daya untuk satelit, penerangan, sistem komunikasi, pompa air, dan pendinginan. Meskipun demikian, PLTS juga memiliki kekurangan, seperti ketergantungan pada cuaca, efisiensi yang terbatas, dan biaya yang cukup tinggi.

10.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Prinsip kerja dari PLTS melibatkan pemanfaatan sinar matahari sebagai penghasil tenaga listrik. Matahari merupakan sumber energi terbarukan yang bersih dan melimpah. Untuk mengonversi cahaya matahari menjadi energi listrik, PLTS memanfaatkan efek fotovoltaiik yang terjadi pada sel surya. Sel surya merupakan perangkat semikonduktor yang mampu menyerap foton dari sinar matahari, melepaskan elektron sebagai hasilnya. Elektron yang terlepas tersebut mengalir melalui suatu rangkaian listrik, membentuk arus searah (DC). Untuk mengubah Arus DC ini menjadi arus bolak-balik (AC) maka digunakanlah sebuah inverter. Arus AC yang dihasilkan dapat digunakan untuk mengoperasikan perangkat elektronik atau dialirkan ke dalam jaringan listrik.



Gambar 10.1: Diagram Instalasi PLTS (bing.com/images-diakses 2024)

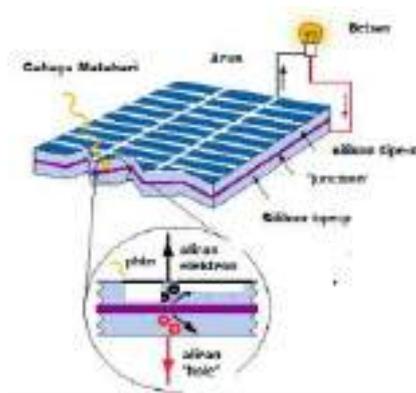
PLTS terdiri dari beberapa komponen inti, antara lain panel surya, baterai, kontroler pengisian, inverter, dan beban listrik. Panel surya bertugas menangkap dan mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Dan energi listrik yang dihasilkan panel surya disimpan di dalam baterai. Kontroler pengisian mengatur proses pengisian dan penggunaan baterai. Sementara Inverter mengonversi arus DC menjadi arus AC, dan beban listrik berperan menerima dan memanfaatkan energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS.

10.3 Komponen Utama Sistem PLTS

Untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik Sistem PLTS memiliki komponen utama yang saling terkait, berikut penjelasannya.

10.3.1 Panel Surya (Solar Panel)

Panel surya dikenal juga sebagai modul surya, merupakan perangkat elektronik yang dibuat untuk menangkap cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Biasanya terdiri dari sel surya yang dipasang di dalam bingkai logam atau plastik, panel surya berfungsi sebagai komponen utama dalam sistem PLTS. Sel surya, yang umumnya terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon, merupakan elemen kunci dalam panel surya.

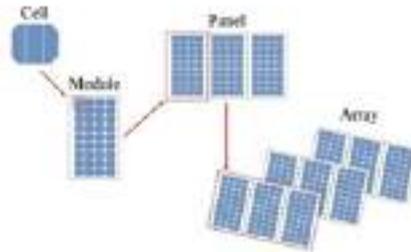


Gambar 10.2: Prinsip Sel Surya (bing.com/images-diakses 2024)

Prinsip kerja panel surya melibatkan efek fotovoltaiik, di mana sel surya menangkap foton cahaya matahari dan merangsang pelepasan elektron.

Elektron yang terlepas ini menghasilkan arus listrik yang bergerak pada rangkaian listrik di dalam panel surya. Proses ini menghasilkan arus searah (DC). Agar bisa digunakan dalam kebanyakan aplikasi rumah tangga dan peralatan listrik, dan inverter akan merubah arus DC ini menjadi arus AC.

Bahan utama dalam panel surya adalah sel surya, yang umumnya terbuat dari silikon. Silikon memiliki sifat semikonduktor yang memungkinkannya menangkap dan mengkonversi sinar matahari menjadi arus listrik. Terdapat dua jenis utama sel surya berdasarkan jenis silikon yang digunakan, yaitu sel surya polikristalin dan monokristalin. Selain itu, ada inovasi baru dengan bahan seperti sel surya film tipis yang menggunakan bahan semikonduktor yang lebih fleksibel.



Gambar 10.3: Panel Surya (bing.com/images-diakses 2024)

Jenis Panel Surya:

1. Sel Surya Monokristalin

Sel Surya Monokristalin merupakan varian sel surya yang terbuat dari kristal silikon murni tunggal. Sel surya ini memiliki bentuk tipis dan memiliki tingkat efisiensi energi yang tinggi karena memiliki bentuk sel yang seragam satu sama lain, serta menunjukkan kinerja yang tinggi. Efisiensi energi dari sel monokristalin mencapai sekitar 15-20%. Namun, kekurangan dari sel monokristalin adalah adanya banyak area kosong pada panel surya, disebabkan oleh bentuk permukaannya yang berupa heksagon atau lingkaran. (Wikipedia.diakses 2024)

2. Sel Surya Polikristalin

Sel Surya Polikristalin, merupakan salah satu varian sel surya yang memiliki bentuk persegi dan terbentuk dari beberapa batang kristal silikon yang dipersatukan melalui proses peleburan. Dibandingkan dengan sel surya monokristalin, pembuatan sel surya polikristalin tidak menggunakan silikon murni, sehingga tingkat kemurnian silikon pada sel polikristalin cenderung lebih rendah. Akibatnya, bentuk sel surya yang dihasilkan tidak seragam satu sama lain, menyebabkan efisiensi energi yang dihasilkannya hanya sekitar 13-16%. (Wikipedia.diakses 2024)

3. Sel Surya Thin Film

Panel surya Thin Film terbentuk dari dua lapisan, dengan menambahkan beberapa lapisan tipis bahan fotovoltaike ke dalam substrat seperti logam, kaca, atau plastik. Film-film ini memiliki ketebalan yang sangat tipis, seringkali sekitar 20 kali lebih tipis daripada wafer silikon kristal. Keunggulan utamanya terletak pada fleksibilitas dan ringan, memberikan panel surya thin film kelebihan tersebut. Terdapat tiga jenis bahan yang sering digunakan, yaitu silikon amorf (a-Si), kadmium tellurida (CdTe), dan tembaga indium gallium selenide (CIGS) atau CIS bebas galium. Walaupun efisiensi panel surya thin film cenderung lebih rendah dibandingkan dengan panel surya kristal silikon, namun harganya lebih ekonomis dan cocok untuk dimanfaatkan pada keadaan dengan pencahayaan yang tersebar dan lemah.



Gambar 10.4: Jenis Panel Surya (bing.com/images-diakses 2024)

10.3.2 Inverter

Inverter yang terdapat dalam PLTS berperan sebagai perangkat elektronik yang bertugas mengubah arus DC yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus AC. Fungsinya adalah untuk menyediakan daya listrik yang bisa dimanfaatkan untuk keperluan rumah tangga atau industri. Pada umumnya, PLTS menggunakan inverter untuk mengubah energi surya yang terkumpul dalam bentuk DC menjadi AC, mengingat bahwa alat-alat dan perangkat listrik di rumah tangga umumnya menggunakan arus AC. (S., Rokhman, T., P., & Sofwan, A. 2019)

Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam memilih inverter:

1. Kapasitas beban dalam Watt
Untuk meningkatkan efisiensi kerja, pilih inverter dengan kapasitas beban yang sebanding dengan beban yang akan digunakan.
2. Input DC
Perlu diperhatikan apakah inverter mendukung input DC 12 Volt, 24 Volt, atau 48 Volt, sesuai dengan kebutuhan sistem yang akan digunakan.
3. Jenis output AC
Harus dipertimbangkan apakah inverter menghasilkan output AC berupa gelombang sinus (sine wave) atau gelombang persegi (square wave).

Selain itu faktor penting dalam menentukan ukuran yang tepat untuk inverter adalah dimensi panel surya. Karena fungsi inverter adalah untuk mengubah arus DC yang berasal dari rangkaian panel surya, sehingga perlu memiliki kapasitas yang memadai untuk menangani seluruh daya yang dihasilkan oleh rangkaian tersebut. Rasio antara ukuran susunan panel surya dan inverter dalam suatu sistem panel surya dihitung sebagai perbandingan antara peringkat daya DC dari susunan surya dengan daya AC maksimum yang dapat dihasilkan oleh inverter. Secara umum, rasio ini berkisar antara 1,15 hingga 1,25, dan biasanya rasio yang melebihi 1,55 tidak direkomendasikan oleh produsen inverter serta perancang panel surya.



Gambar 10.5: Jenis-jenis Inverter (bing.com/images-diakses 2024)

10.3.3 Solar Charge Controller (SCC)

Solar Charge Controller, atau sering disebut sebagai Pengendali Pemantauan Daya atau *Charge Regulator*, adalah perangkat elektronik yang digunakan dalam sistem PLTS untuk mengendalikan aliran daya antara panel surya dan baterai. Fungsi utamanya adalah mencegah *overcharging* dan *overdischarging* baterai, menjaga daya baterai tetap pada tingkat yang aman, dan memastikan kinerja sistem PLTS yang optimal.

Berikut adalah beberapa fungsi utama dari *Solar Charge Controller*:

1. Pengisian Baterai

Charge controller bertanggung jawab untuk mengatur proses pengisian baterai dengan mengontrol arus dan tegangan yang masuk ke baterai dari panel surya. Ini memastikan bahwa baterai diisi secara efisien dan aman.

2. Mencegah Overcharging

Salah satu risiko yang dapat terjadi pada baterai adalah overcharging, yang terjadi ketika baterai terus-menerus menerima arus listrik meskipun sudah penuh. *Charge controller* mendeteksi tingkat pengisian baterai dan memutus aliran daya dari panel surya saat baterai telah mencapai kapasitas maksimumnya.

3. Mencegah Overdischarging

Overdischarging adalah kondisi di mana baterai terlalu banyak diuras hingga mencapai tingkat yang tidak aman. *Charge controller* akan memutus aliran daya dari baterai ke beban ketika tegangan baterai turun di bawah batas yang ditentukan untuk mencegah *overdischarging*.

4. Optimasi Kinerja Baterai

Charge controller dapat memberikan pengaturan yang tepat untuk kondisi baterai tertentu, seperti pengaturan voltase yang sesuai, sehingga dapat memperpanjang umur baterai dan meningkatkan efisiensi pengisian.

5. Pemantauan Kinerja

Sebagian besar *charge controller* dilengkapi dengan fungsi pemantauan yang memungkinkan pemilik sistem untuk melihat kondisi baterai dan performa PLTS secara real-time. Informasi ini dapat membantu dalam pemeliharaan dan pemecahan masalah.

6. Proteksi Terhadap Kondisi Eksternal

Charge controller dapat memberikan perlindungan terhadap kondisi eksternal yang dapat merusak sistem, seperti tegangan berlebih, suhu tinggi, atau petir.

Charge controller dapat berbentuk sederhana atau kompleks tergantung pada jenis sistem PLTS yang digunakan. Ada dua tipe utama *charge controller*:

a. PWM (Pulse Width Modulation)

Mengontrol tegangan keluaran dengan memotong-motong siklus pengisian baterai untuk mempertahankan tegangan yang diinginkan.

b. MPPT (Maximum Power Point Tracking)

Mengoptimalkan pengisian baterai dengan secara dinamis mengatur tegangan dan arus agar selalu beroperasi pada titik daya maksimum.



Gambar 10.6: Jenis SCC (bing.com/images-diakses 2024)

Pemilihan jenis *charge controller* tergantung pada kebutuhan sistem PLTS, kondisi lingkungan, dan anggaran yang tersedia.

10.3.4 Baterai

Baterai pada PLTS berguna untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya. Baterai memungkinkan sistem PLTS untuk mencadangkan energi surya yang dihasilkan selama periode sinar matahari yang cukup dan menggunakannya ketika tidak tersedia sinar matahari, seperti pada saat cuaca mendung atau malam hari.

Ada empat jenis baterai PLTS yang umum digunakan, yaitu:

1. Baterai Asam Timbal

Jenis baterai ini adalah varian yang sering digunakan dalam sistem PLTS. Terbentuk oleh piring-piring timbal yang tenggelam dalam larutan asam sulfat, baterai asam timbal dianggap sebagai opsi yang terjangkau dan mampu menyimpan energi listrik dalam kapasitas yang besar. Namun, baterai ini kurang efisien dalam proses pengisian ulang energi sehingga memiliki masa pakai yang lebih singkat



Gambar 10.7: Baterai Asam Timbal (bing.com/images-diakses 2024)

2. Baterai Ion Litium

Merupakan suatu jenis baterai rechargeable (dapat diisi ulang) yang menggunakan teknologi ion litium sebagai bahan penyimpan energi. Baterai ini terdiri dari sel-sel elektrokimia yang menggunakan ion litium untuk perpindahan muatan listrik antara katoda dan anoda sel. Baterai ion litium menjadi pilihan yang sesuai untuk diintegrasikan dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) karena menawarkan tingkat efisiensi yang lebih baik dalam pengisian dan penggunaan energi dibandingkan dengan baterai asam timbal. Walaupun demikian, sangat penting untuk diingat bahwa harga baterai ini lebih tinggi daripada baterai asam timbal.



Gambar 10.8: Baterai Ion Litium (bing.com/images-diakses 2024)

3. Baterai Nikel Kadmium

Baterai Nikel Kadmium (NiCd) adalah jenis baterai isi ulang yang menggunakan nikel oksida hidrida sebagai katoda dan kadmium sebagai anoda. Baterai ini dikenal dengan keandalan dan daya tahan yang tinggi, serta mampu menangani beban yang berat. Namun, baterai NiCd memiliki kelemahan seperti efek memori, yang dapat membatasi kapasitas penyimpanannya jika tidak diisi ulang secara benar. Selain itu, kandungan kadmium dalam baterai ini juga menimbulkan kekhawatiran terkait dampak lingkungan, sehingga penggunaan NiCd telah berkurang seiring berkembangnya teknologi baterai yang lebih ramah lingkungan, seperti baterai ion litium.



Gambar 10.9: Baterai Nikel Kadmium (bing.com/images-diakses 2024)

4. Baterai Nikel Besi

Baterai nikel besi mempunyai banyak keunggulan, seperti ketahanan mereka terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim seperti suhu yang rendah dan kering, mereka juga tahan lama dan dapat diisi ulang hingga 5.000 kali. Namun, kekurangan dari baterai nikel besi ini hanya dapat menyimpan lebih banyak energi daripada baterai ion litium.



Gambar 10.10: Baterai Nikel Besi (bing.com/images-diakses 2024)

Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan kapasitas dan jenis baterai untuk sistem PLTS dan dampaknya pada umur baterai adalah: Depth of Discharge (DoD), jumlah siklus, efisiensi baterai, tingkat *discharge/charge*, dan temperatur.

DoD merupakan jumlah muatan atau energi yang dikeluarkan atau digunakan dari baterai. DoD dinyatakan sebagai persentase dari kapasitas nominal baterai.

Misalnya, DoD 80% berarti baterai telah melepaskan 80% dari kapasitas nominalnya yang mencapai 100%. Dalam situasi ini, baterai mempunyai muatan sekitar 20%, yang dikenal sebagai *State of Charge (SOC)*. Semakin besar nilai DoD suatu baterai, maka akan semakin pendek umur baterainya.

Dalam perhitungan, DoD baterai dibagi menjadi dua nilai, yakni DoD harian dan DoD maksimal. DoD harian adalah pembatasan rata-rata DoD yang tercapai dalam setiap siklus normal. Sedangkan DoD maksimal adalah nilai terbesar yang dapat dicapai oleh baterai, dan ketika mencapai titik tersebut, charge controller akan memutuskan hubungan antara baterai dan beban (cut-off). Biasanya, baterai dalam sistem PLTS direncanakan untuk memiliki DoD antara 25% hingga 30%, dengan tujuan meningkatkan umur baterai hingga sekitar 5 tahun.(Corio, D., et al. 2023)

10.4 Klasifikasi PLTS

Sistem PLTS dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis (Yakobus Kariongan,2022), yaitu:

10.4.1 Klasisifikasi Berdasarkan Sistem Pemasangan

Sistem PLTS dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Sistem PLTS Terpusat

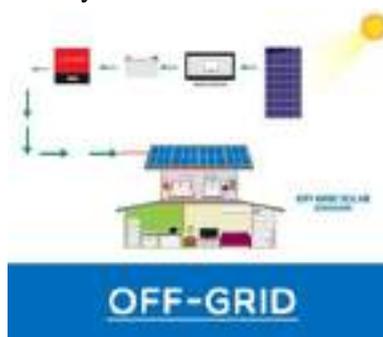
Sistem PLTS Terpusat mengacu pada suatu konfigurasi sistem tenaga surya yang memiliki pusat pengelolaan dan kontrol tunggal untuk seluruh komponen PLTS. Dalam sistem ini, semua panel surya dan perangkat terkait terhubung ke satu titik pusat, yang dapat mencakup inverter, baterai penyimpanan energi, dan sistem kontrol yang terintegrasi. Pendekatan terpusat ini memungkinkan pengawasan dan pengelolaan yang efisien terhadap produksi energi dan distribusi daya yang dihasilkan oleh panel surya.



Gambar 10.11: sistem PLTS Terpusat (bing.com/images-diakses 2024)

2. Sistem PLTS Tersebar (Off Grid)

Sistem ini juga dikenal sebagai Off-Grid PV System. Sistem PLTS Tersebar adalah sistem PLTS yang mandiri dan tidak terhubung dengan jaringan PLN. Sistem ini sesuai untuk daerah-daerah terpencil yang susah dijangkau oleh jaringan listrik PLN. Sistem PLTS Tersebar menggunakan baterai untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya.



Gambar 10.12: sistem PLTS Off-grid (bing.com/images-diakses 2024)

3. Sistem PLTS On-Grid

Sistem PLTS On-Grid merujuk pada susunan sistem tenaga surya yang terhubung secara langsung dengan jaringan listrik umum atau grid. Dalam konfigurasi ini, energi listrik yang dihasilkan panel surya secara otomatis dialirkan ke jaringan listrik karena system ini tidak

memiliki penyimpanan baterai, dan pengguna dapat menggunakan energi tersebut sesuai kebutuhan. Apabila produksi listrik dari panel surya melebihi konsumsi pengguna, kelebihan energi dapat disalurkan kembali ke grid, dan pengguna mungkin mendapatkan kredit listrik atau insentif dari penyedia listrik lokal.



Gambar 10.13: sistem PLTS ON-grid (bing.com/images-diakses 2024)

4. Sistem PLTS Hybrid

PLTS Hybrid adalah sistem kombinasi yang menggabungkan komponen dari dua atau lebih sumber energi berbeda. Secara khusus, PLTS Hybrid mencakup integrasi antara pembangkit listrik tenaga surya dengan sumber energi lainnya, seperti generator bahan bakar fosil atau baterai penyimpanan energi. PLTS Hybrid memungkinkan pemanfaatan optimal dari sumber energi yang beragam, mengoptimalkan ketersediaan energi dan membantu mengurangi ketergantungan pada sumber energi tunggal.



Gambar 10.14: Sistem PLTS Hybrid (bing.com/images-diakses 2024)

10.4.2 Klasifikasi Berdasarkan Teknologi Pemasangannya

1. PLTS Terpasang di Atap (Roof-Mounted):
 - a. PLTS Atap Rumah:
 - b. Panel surya dipasang di atap bangunan atau rumah.
 - c. Cocok untuk penggunaan rumah tangga dan komersial kecil.
 - d. PLTS Komersial Terpasang di Atap:
 - e. Panel surya dipasang di atap bangunan komersial.
 - f. Dapat mencakup bisnis kecil hingga besar.
 - g. PLTS Terpadu dalam Desain Bangunan:
 - h. Panel surya diintegrasikan ke dalam desain arsitektural bangunan, seperti atap transparan atau elemen bangunan lainnya.
 - i. Memberikan solusi yang estetis dan fungsional.



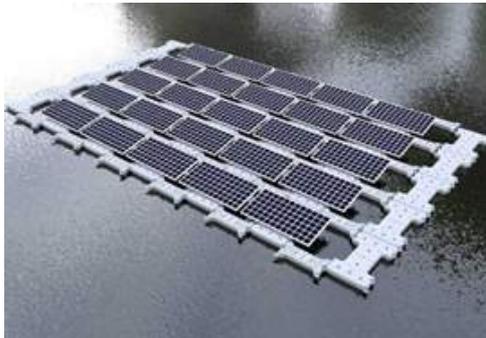
Gambar 10.15: PLTS Rooftop (bing.com/images-diakses 2024)

2. PLTS Terpisah (Ground-Mounted):
 - a. PLTS Terpisah di Lahan Terbuka:
 - b. Panel surya dipasang di tanah atau lahan terbuka dengan struktur penopang yang terpisah.
 - c. Cocok untuk instalasi besar dengan skala produksi yang tinggi.
 - d. PLTS Terpisah pada Struktur Landai:
 - e. Panel surya dipasang pada struktur terpisah yang dibangun di atas tanah.
 - f. Digunakan di area yang memiliki keterbatasan lahan atau untuk keperluan pertanian.



Gambar 10.16: PLTS Ground-Mounted (bing.com/images-diakses 2024)

3. PLTS Terapung di Air (Floating Solar Power Plants):
 - a. PLTS Terapung di Waduk atau Danau:
 - b. Panel surya dipasang di atas air pada waduk, danau, atau reservoir.
 - c. Memanfaatkan air sebagai pendingin dan meminimalkan penguapan.
 - d. PLTS Terapung di Laut (Offshore Floating Solar):
 - e. Panel surya dipasang di laut untuk memanfaatkan lautan yang luas sebagai lokasi pemasangan.
 - f. Cocok untuk aplikasi di wilayah pesisir.



Gambar 10.17: PLTS Floating (bing.com/images-diakses 2024)

Bab 11

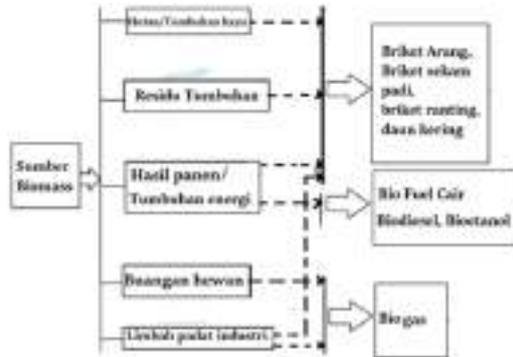
Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm)

11.1 Biomassa dan Potensi

Siklus Biomassa dimulai dari tanaman yang mendapatkan energi dari matahari untuk proses fotosintesis pada tumbuhan membentuk karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O) membentuk glukosa dan oksigen (O_2). Dari sinilah tumbuhan bertumbuh dan bereproduksi. Tumbuhan dikonsumsi oleh hewan dan makhluk hidup lain. Hasil tumbuhan, buangan/residu/limbah tumbuhan dan hewan ketika melalui proses pemanfaatan dapat menyebabkan munculnya karbon dioksida (CO_2) di udara yang kemudian diserap kembali oleh tumbuhan. Siklus ini dikatakan sebagai siklus Biomassa.

Oleh karenanya, Biomassa merupakan bahan organik yang bersumber dari organisme hidup seperti tumbuhan, hewan dan residu/ampas atau hasil buangan tumbuhan dan hewan. Biomassa yang diolah secara langsung ataupun tidak langsung dapat dimanfaatkan salah satunya untuk menghasilkan energi listrik. Oleh karena Biomassa memanfaatkan siklus karbon dioksida yang berada di udara, maka keberadaan Biomassa selalu tersedia di alam, membentuknya sebagai salah satu energi baru terbarukan pengganti bahan bakar fosil. Sumber Biomassa dan hasil pengolahannya dijelaskan pada

gambar 11.1, di mana terdapat perbedaan material yang dihasilkan pada masing-masing sumber.



Gambar 11.1: Sumber energi Biomassa dan material yang dihasilkan (Karna Wijaya 2011; Osman et al. 2023)

Sumber Biomassa berupa hasil hutan/tumbuhan kayu dan residunya, hasil panen serta tumbuhan energi yang dapat dibentuk membentuk briket arang, briket sekam padi, briket ranting dan daun kering. Semua material yang dihasilkan pada sumber Biomassa yang disebutkan diatas biasanya dimanfaatkan secara langsung melalui pembakaran (Combustion). Sedangkan bio fuel cair, dapat berupa bio diesel atau bio etanol dihasilkan dari hasil panen dan tumbuhan energi seperti tanaman jarak (*Jatropha*) untuk bio diesel dan tebu serta ubi untuk bahan bio etanol.

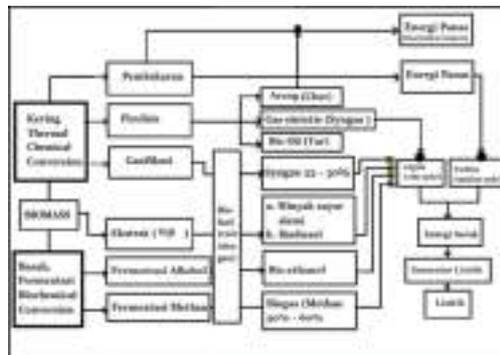
Material biogas berasal dari sumber Biomassa berupa buangan atau limbah makhluk hidup seperti hewan, limbah padat industri dan campurannya. Semua material keluaran hasil sumber Biomass pada gambar 11.1 baik langsung maupun tidak langsung memiliki nilai ekonomis yang menjanjikan. Briket dapat menghasilkan energi panas dan listrik, bio fuel cair dimanfaatkan untuk transportasi dan pembangkit listrik, biogas juga dimanfaatkan sebagai sumber panas dan pembangkit listrik.

Berdasarkan data dari lembaga penelitian ekonomi pertambangan dan energi bahwa potensi ekonomi biomass dari kelompok limbah di mana potensi untuk limbah padi sebesar 30,45%, jagung 5,36%, kayu 4,15 %, sampah kota 6,41%, kotoran sapi 1,66%, kelapa sawit 36,29%, tebu 14,02% dan karet 8,63% ((Nelly and Yana Syaifuddin 2023).

Indonesia sebagai negara agraris dengan areal pertanian, perkebunan dan hutan yang luas dan tersebar diseluruh provinsi di Indonesia membentukkannya sebagai sumber Biomassa mendukung pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT).

11.2 Konversi Energi Biomassa

Biomassa dapat dikonversikan membentuk beberapa energi lain. Di antara energi yang dapat dihasilkan dari Biomassa yaitu energi panas, energi gerak dan energi listrik. Adapun konversi biomassa dijelaskan pada skema teknologi konversi energi Biomassa gambar 11.2 berikut:



Gambar 11.2: Skema Teknologi Konversi Energi dari sumber Biomassa (Fiala 2012)

Berdasarkan gambar 11.2, Biomassa dapat diolah dalam bentuk kering maupun basah. Keduanya diolah dengan cara yang berbeda untuk menghasilkan energi lain. Proses pengolahan biomassa kering merupakan proses pengolahan *Thermal Chemical*. Yaitu proses kimia dengan menerapkan proses perubahan suhu Biomassa. Terdapat 3 proses pada perubahan suhu ini yaitu melalui pembakaran langsung, pirolisis dan gasifikasi. Output pembakaran secara langsung berupa energi panas dapat dimanfaatkan secara langsung. Pemanfaatan secara langsung ini biasanya bersifat konvensional dan sudah jarang dilakukan. Pemanfaatan energi panas secara tidak langsung yaitu digunakan untuk menggerakkan turbin listrik dengan proses rankine cycle,

terdiri dari pompa, boiler, turbin dan kondensor. Energi yang dihasilkan berupa energi gerak yang menggerakkan generator untuk menghasilkan energi listrik.

Proses pirolisis pada konversi *Thermal Chemical* yaitu memanaskan bahan biomassa tanpa adanya oksigen (O_2) selama proses, pada suhu 400C-800C. Sehingga terbentuk 3 komponen yaitu arang (char), Gas Sintetis (syn gas), Bio Oil (Tar). Arang dan Bio Oil akan digunakan sebagai bahan mentah. Hanya gas sintetis (syn gas) yang dapat langsung digunakan pada engine (otto cycle) untuk menghasilkan energi gerak yang jika dihubungkan dengan generator listrik akan dibangkitkan tegangan listrik yang dimanfaatkan sebagai energi listrik.

Proses Gasifikasi pada konversi *Thermal Chemical* yaitu peristiwa oksidasi tidak lengkap dari Biomassa pada temperatur 900C-1000C untuk menghasilkan bio fuel (gas atau cair). Gas sintetis ini 22% sampai dengan 30% dapat digunakan pada engine (otto cycle) untuk menghasilkan energi gerak yang jika dihubungkan dengan generator listrik akan dibangkitkan tegangan listrik dan dimanfaatkan sebagai energi listrik.

Pada gambar 11.2, Bahan Biomassa dapat diubah membentuk bio fuel (solid atau gas). Khususnya untuk bahan Biomassa berupa biji tumbuhan. Proses ini menghasilkan minyak sayur murni dan bio diesel. Bahan yang dihasilkan tersebut dapat digunakan pada engine (otto cycle) untuk menghasilkan energi gerak yang jika dihubungkan dengan generator listrik akan dibangkitkan tegangan listrik dan dimanfaatkan sebagai energi listrik.

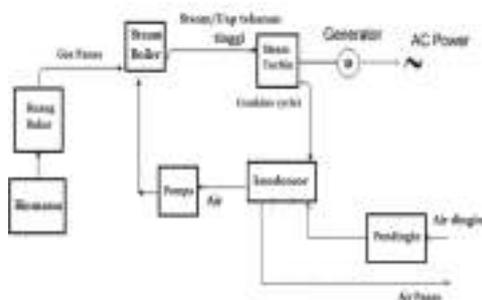
Proses pengolahan Biomassa basah merupakan proses pengolahan fermentasi Biochemical. Proses ini dibagi 2 (dua) macam yaitu pengolahan Fermentasi Alkohol dan Fermentasi metan. Dari proses ini dihasilkan bio fuel (solid atau gas). Pada fermentasi alkohol, bio fuel membentuk bio etanol, sementara fermentasi metan menghasilkan Biogas metan 50%-60%. Kedua bahan yang dihasilkan tersebut dapat digunakan pada engine (otto cycle) untuk menghasilkan energi gerak yang jika dihubungkan dengan generator listrik akan dibangkitkan tegangan listrik dan dimanfaatkan sebagai energi listrik.

11.3 Instalasi dan Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm)

Mengikuti alur skema energi pada gambar 11.2, dapat dinyatakan bahwa, sumber energi Biomassa dapat dikonversikan membentuk energi panas, energi gerak dan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan, menggunakan 2 (dua) macam jenis penggerak/turbin yaitu engine (otto cycle) dan Turbin (rankine cycle).

11.3.1 Pembangkit Listrik dengan Penggerak Turbin (rankine cycle)

Pembangkit Listrik dengan turbin jenis ini berasal dari proses pembakaran bahan Biomassa kering/Thermal Chemical.



Gambar 11.3: Instalasi PLTBm Proses pembakaran dengan penggerak Turbin (rankine cycle) ; (Abbas et al. 2020)

Bahan Biomassa dimasukkan dalam ruang bakar. Gas panas yang dihasilkan ruang bakar digunakan untuk memanaskan cairan yang dipompakan ke dalam Boiler. Boiler mengeluarkan steam/uap panas jenuh kering bertekanan tinggi yang digunakan untuk menggerakkan turbin uap dan dikenal dengan turbin rankine siklus (rankine cycle). Gerakan turbin yang seporos dengan generator menyebabkan generator ikut berputar. Perputaran generator dan pengaturan eksitasi generator akan membangkitkan tegangan listrik di terminal jangkar generator. Uap basah memasuki kondensor untuk diubah membentuk cairan.

Cairan panas dari kondensor akan disalurkan keluar untuk didinginkan. Cairan dingin dikembalikan ke kondensor untuk seterusnya mengubah uap dalam kondensor membentuk cair. Cairan ini kembali dipompakan ke dalam boiler. Siklus ini terus berlanjut selama bahan Biomassa sebagai sumber pembakarannya selalu tersedia.

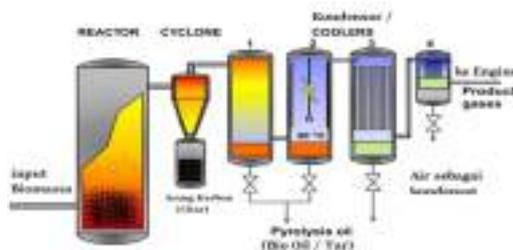
11.3.2 Pembangkit Listrik Biomassa terhubung ke penggerak Engine (Otto cycle)

Sebagaimana yang telah dijelaskan pada bagian 11.2 bahwa pembangkit energi listrik dengan bahan sumber berasal dari Biomassa terhubung ke penggerak engine (Otto Cycle) berasal dari:

1. Gas sintetis yang merupakan produk pirolisis suhu tinggi yang dilakukan pada biomassa, residu, dan limbah lainnya;
2. Gas sintetis 22%-30% yang berasal dari konversi bio fuel (cair atau gas) yang disebabkan proses gasifikasi bahan Biomassa;
3. Bio diesel yang berasal dari konversi bio fuel (cair atau gas) yang disebabkan proses ekstrak biji bahan Biomassa dari tumbuhan energi;
4. Bio etanol yang berasal dari konversi bio fuel (cair atau gas) yang disebabkan proses fermentasi alkohol pada bahan Biomassa yang dikenal dengan proses konversi fermentasi Biochemical basah;
5. Bio gas (metan 50%-60%) yang berasal dari konversi bio fuel (cair atau gas) yang disebabkan proses fermentasi gas metan pada bahan Biomassa yang dikenal dengan proses konversi fermentasi Biochemical basah

Pembangkit Listrik Sumber Bahan Gas Sintesis Proses Pirolisis Terhubung ke Penggerak Engine (Otto cycle)

Gas sintetis (syn gas) merupakan produk pirolisis suhu tinggi yang dilakukan pada biomassa, residu, dan limbah lainnya. Bahan Biomass yang berada dalam ruang reaktor diberikan pemanasan dengan 3 (tiga) tahapan suhu dan menghasilkan 3 (tiga) macam bahan keluaran yaitu Arang (Char), Bio oil (Tar) dan Gas sintetis (syn gas). Gas sintetis dapat langsung digunakan untuk menggerakkan engine (otto cycle). Proses pirolisis Biomassa digambarkan pada gambar 11.4.

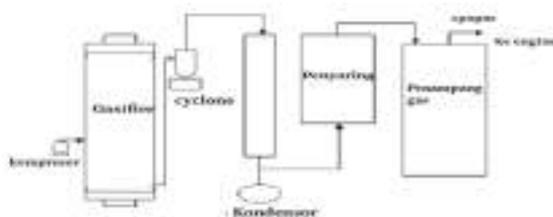


Gambar 11.4: Instalasi PLTBm proses pemanasan pirolisis gas sintetis terhubung ke penggerak engine (otto cycle), (Pandey et al. 2019)

Proses pirolisis ini terdiri dari Reaktor (ruang pemanasan) bahan Biomassa, Cyclone tempat pemisah bahan padat (arang), ruang penampung hasil pemanasan berupa Bio oil 2 (dua) tahap tanpa dan dengan pendingin kondensor, Kondensor 2 (dua) tahap hingga dihasilkan gas sintetis. Gas sintetis ini digunakan sebagai penggerak engine (otto cycle) dan menggerakkan generator listrik hingga dihasilkan tegangan listrik di terminal jangkar generator.

Pembangkit Listrik sumber bahan gas sintesis (syn gas 22%-30%) proses gasifikasi terhubung ke penggerak Engine (Otto cycle)

Terbentuknya syn gas pada proses gasifikasi mirip dengan metode pirolisis, namun memiliki perbedaan, di antaranya yaitu, suhu pemanasan pada gasifikasi lebih tinggi, dipengaruhi input udara dari luar dengan terkontrol. Pemanasan dilakukan dalam medium gasifikasi yang dinamakan gasifier. Proses gasifikasi sederhana untuk menghasilkan syn gas terdapat pada gambar 11.5.



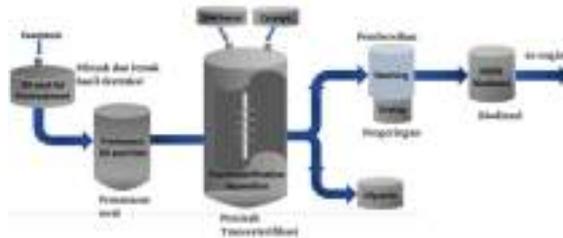
Gambar 11.5: Instalasi PLTBm proses gasifikasi gas sintetis terhubung ke penggerak engine (otto cycle), (Suhendi et al. 2017)

Bahan Biomassa berada dalam gasifier dengan pemanasan suhu tinggi. Keluaran hasil pemanasan ditampung pada cyclone. Gas panas didinginkan

oleh kondensor disaring dan dikumpulkan ke dalam penampung gas. Selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan engine (Otto cycle) dan sinkron dengan putaran generator untuk menghasilkan tegangan listrik.

Pembangkit Listrik sumber bahan bio diesel proses ekstrak biji tanaman energi, terhubung ke penggerak Engine (Otto cycle)

bio diesel berasal dari proses ekstraksi biji tanaman yang banyak mengandung minyak. Minyak hasil ekstraksi kemudian melalui serangkaian proses pembersihan dan pemisahan seperti digambarkan pada gambar 11.6.

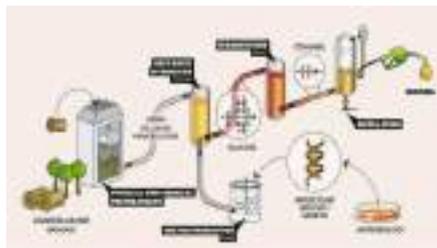


Gambar 11.6: Instalasi PLTBm proses ekstraksi biji tumbuhan – bio diesel, terhubung ke penggerak engine (otto cycle), (Gerveni et al. 2023)

Pada minyak dan lemak hasil ekstrak biji tanaman dilakukan pemanasan awal. Keluaran hasil pemanasan ini dipisahkan secara transesterifikasi dengan bantuan masukan metanol dan katalis. Keluaran dari pemisah transesterifikasi ini membentuk gliserin dan bio diesel. bio diesel dibersihkan di ruang pembersih. Keluaran bio diesel menggerakkan engine (otto cycle) dan kopelan ke generator pembangkit listrik untuk kemudian membangkitkan tegangan listrik.

Pembangkit Listrik sumber bahan bio etanol proses fermentasi alkohol, terhubung ke penggerak Engine (Otto cycle)

Bahan bio etanol yang berasal dari Biomassa merupakan hasil dari proses fermentasi alkohol konversi basah Fermentasi Bio chemical.



Gambar 11.7: Instalasi PLTBm proses fermentasi alkohol– bio etanol, terhubung ke penggerak engine (otto cycle), (Rifki Alfaridzi 2023a)

Bahan baku Biomassa dipersiapkan untuk dapat diolah lebih lanjut, dengan cara dihaluskan atau dirajang kecil. Kemudian dilakukan proses hidrolisis di mana bahan ini dicampur dengan air dan dipanaskan. Hasilnya berupa glukosa dan kemudian dicampur dengan ragi atau jamur atau mikroorganisme tertentu. Mikroorganisme ini merubah glukosa membentuk etanol. Setelah melalui proses penyaringan dan pemurnian dengan proses destilasi, dihasilkan bio etanol. Dapat digunakan untuk menggerakkan engine (otto cycle) dan generator untuk pembangkitan tegangan listrik.

Pembangkit Listrik sumber bahan Biogas (metan 50%-60%) proses fermentasi metan, terhubung ke penggerak Engine (Otto cycle)

Merupakan proses penghasil gas metan secara fermentasi bahan organik oleh mikroorganisme dalam lingkungan anaerob (tanpa udara). Bahan organik tersebut dapat berupa limbah pertanian, limbah makanan, sampah organik, atau kotoran hewan diuraikan oleh bakteri anaerobik dalam kondisi yang tidak mengandung oksigen.



Gambar 11.8: Instalasi PLTBm proses fermentasi metan– biogas, terhubung ke penggerak engine (otto cycle), (Rifki Alfaridzi 2023b)

Bahan organik yang telah dihaluskan dimasukkan dalam digester anaerob, yaitu suatu tangki pengumpul bahan organik kedap udara. di dalam tangki ini, bakteri anaerobik mendegradasi bahan organik membentuk gas metan CH_4 dan karbon dioksida CO_2 . Gas metan selain digunakan sebagai sumber bahan bakar, juga dapat digunakan untuk menggerakkan engine (otto cycle) yang ikut memutar generator pembangkit tegangan listrik.

Daftar Pustaka

- A. Mulyono et al., (2018) "RANCANG BANGUN DAN UJI PERFORMANSI TURBIN AIR JENIS KAPLAN SEKALA MIKROHIDRO," Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin, vol. 7, no. 2, Dec. 2018, doi: 10.24127/TRB.V7I2.817.
- Abbas, T., Issa, M. and Ilinca, A. (2020). Biomass Cogeneration Technologies: A Review. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems* 10(01), pp. 1–15. doi: 10.4236/jsbs.2020.101001.
- Agung, A.I. (2013) 'Potensi Sumber Energi Alternatif Dalam Mendukung Kelistrikan Nasional', 2.
- AIDIL SYAH, P. A. (2023). ANALISIS MENURUNYA PERFORMA EMERGENCY GENERATOR PADA SAAT BLACK OUT DI ATAS KAPAL MV. ANGGREK LAUT, pipmakassar.ac.id
- Andriansah, A.K. And Haryudo, S.I. (2020) 'Sistem Pengaturan Beban Generator Satu Fasa Secara Otomatis Berbasis Arduino Uno', *Jurnal Teknik Elektro*, 09.
- Apriandi, R. And Mursadin, A. (2016) 'Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan Performance Test Pltu Pt. Indocement P-12 Tarjun', *Scientific Journal Of Mechanical Engineering Kinematika*, 1(1), Pp. 37–46. Available At: <https://doi.org/10.20527/SjmeKinematika.V1i1.26>.
- Arinaldo, Deon, Erina Mursanti, and Fabby Tumiwa. (2019). "Implikasi Paris Agreement Terhadap Masa Depan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Batubara Di Indonesia." *Accelerating Low-Carbon Energy Transition* 96(3): 445.
- Arismunandar, Wiranto. (2000). *Turbin Gas dan Motor Propulsi*, Dirjen Dikti Depdiknas.

- Aslimeri, A. (2019). Hibrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 5(1.1), 163. <https://doi.org/10.24036/jtev.v5i1.1.107374>
- Azhari, M., & Corio, D. (2022). Sistem monitoring horizontal axial wind turbine (HAWT) Berbasis Internet Of Things. *Elektron : Jurnal Ilmiah*, 13–20. <https://doi.org/10.30630/eji.14.1.272>
- Basuki, C. A., Nugroho, I. A., & Winardi, I. B. (2008). Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap. Semarang.
- Bathie, Wiliam W. (1995). *Fundamental of Gas Turbines*, Second Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Berek, N. C. (2023). Mengembangkan termoelektrik generator (TEG) Dengan Menggunakan panas hasil Pembakaran Sebagai Pembangkit listrik rumah pada Daerah Tak Terjangkau. Center for Open Science. <http://dx.doi.org/10.31219/osf.io/vsfdq>
- Boyce, Maherwan P.(1987). *Gas Turbine Engineering Hand Book*, Second Edition Publising Company.
- Cahyadi, D., Hermawan. “Analisis Efisiensi Turbin Generator QFSN-300-2-20B UNIT 10 dan 20 PT”. PJB UBJOM PLTU Rembang
- Charles Francis Brush. (1884). *Scientific American*, 18(457supp), 7287–7287. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican10041884-7287asupp>
- Corio, D., Arwinda S, R., Liguna, E., Azhari, M., Kananda, K., & Istiphara, S. (2022). Rancang Bangun Turbin Angin Axial Flux Permanent Magnet Generator Aplikasi pada Daerah Berkecepatan Angin Rendah. *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, 9(1), 8–18. <https://doi.org/10.33019/jurnalecotipe.v9i1.2658>
- D. Nugroho, A. Suprajitno, dan Gunawan (2017) *VOLUME*, and J. Reayasa Elekrika, “Desain Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Air Terjun Kedung Kayang,” *Jurnal Reayasa Elekrika*, vol. 13, no. 3, pp. 161–171, Dec. 2017, doi: 10.17529/JRE.V13I3.8554.
- D. P. D Suparyawan, I. N. S Kumara, W. G. Ariastina, and J. (2022) Panglima Besar Sudirman Denpasar, “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Mikrohidro Di Desa Sambangan Kabupaten Buleleng Bali,” *Majalah*

- Ilmiah Teknologi Elektro, vol. 12, no. 2, 2013, Accessed: Dec. 07, 2022. [Online]. Available: <https://ojs.unud.ac.id/index.php/jte/article/view/15546>
- DEN. (2020). Bauran Energi Nasional. Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi. 2020. Rencana Strategis 2020-2024.
- Donalek, Peter J. (2020). "Pumped Storage Hydro: Then and Now." IEEE Power and Energy Magazine 18(5): 49–57. ESDM, Kementrian. 2017. RUEN.
- Duratun, S., Rosady, N., & Dwiyantoro, A. (2014). ReDesign Lube Oil Cooler Pada Turbin Gas Dengan Analisa Termodinamika Dan Perpindahan Panas. 3(2), 164– 168.
- Electric, S. (2018). Premium using EcoStruxure TM Control Expert.
- Ellony Pratama, R., Atmam, And Usaha Situmeang (2019) 'Studi Pengaruh Penguatan Medan Terhadap Tegangan Keluaran Generator Sinkron Satu Phasa', Sainetin, 3(2), Pp. 69–76. Available At: <https://doi.org/10.31849/Sainetin.V3i2.3289>.
- Ermawati, T., Negara, S.D. And Lipi Press (Eds) (2014) Pengembangan Industri Energi Alternatif: Studi Kasus Energi Panas Bumi Indonesia. Cetakan Pertama. Menteng, Jakarta: Lipi Press.
- Farhan, M. (2021) 'Pengaruh Pembebanan Terhadap Arus Eksitasi Generator Unit 2 Pltmh Curug', Jurnal Simetrik, 11(1), Pp. 398–403. Available At: <https://doi.org/10.31959/Js.V11i1.653>.
- Fiala, M. (2012). Energia da Biomasse Agricole. Maggioli editore.
- G. Jurnal, O. (2015) : Desmiwarman, and V. R. Yandri, "Pemilihan Tipe Generator yang Cocok untuk PLTMH Desa PEMILIHAN TIPE GENERATOR YANG COCOK UNTUK PLTMH DESA GUO, KECAMATAN KURANJI, KOTA PADANG," Teknik Elektro ITP, vol. 4, no. 1, 2015.
- Gautami, S., & Astuti, F. N. (2023). PERSEPSI MASYARAKAT MENGENAI PLTS ATAP SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN DI WILAYAH KOTA PEKANBARU. JSMI: JURNAL SENPLING MULTIDISIPLIN INDONESIA, 1(2), 90-100. pelantarpres.co.id

- Gendut Suprayitno, A.E.F., Arief Daryanto, (2015a) 'Pengembangan Energi Panas Bumi Yang Berkelanjutan', *Semesta Teknika*, 17(1), Pp. 68–82. Available At: <https://doi.org/10.18196/St.V17i1.412>.
- Gendut Suprayitno, A.E.F., Arief Daryanto, (2015b) 'Pengembangan Energi Panas Bumi Yang Berkelanjutan', *Semesta Teknika*, 17(1), Pp. 68–82. Available At: <https://doi.org/10.18196/St.V17i1.412>.
- Gerveni, M., Irwin, S. and Hubbs, T. (2023). bio diesel and Renewable Diesel: What's the Difference?
- Ghassemi, A. (2015) 'Energy And The Environment', *Renewable Energy*, Second Edition, P. 490.
- H. P. Dewanto, D. A. Himawanto, and S. I. Cahyono, (2017) "Pembuatan dan pengujian turbin propeller dalam pengembangan teknologi pembangkit listrik tenaga air piko hidro (PLTA-PH) dengan variasi debit aliran," *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, vol. 12, no. 2, pp. 54–62, Mar. 2017, doi: 10.36289/JTMI.V12I2.72.
- Hakim, A.F., Sholihah, F. And Ismawati, R. (2022) 'Potensi Dan Pemanfaatan Energi Panas Bumi Di Indonesia'.
- Harahap, R. & Siahaan, S. (2023). Studi Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid (Panel Surya dan Diesel Generator) pada Kapal Nelayan di Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Belawan. *Buletin Utama Teknik.uisu.ac.id*
- Harsoyo, Budi, Ardila Yananto, Ibnu Athoillah, and Ari Nugroho. (2015). "Rekomendasi Pengelolaan Sumber Daya Air Waduk/ Danau Plta Di Indonesia Melalui Pemanfaatan Teknologi Modifikasi Cuaca." *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca* 16(2): 47.
- Idral, A. And Mansoer, W.R. (2015) 'Geothermal Resources Development In Indonesia, A History'.
- Ihsan, M. (2023). SINKRONISASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA DIESEL DENGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP DI PT. INDOMAS MITRA TEKNIK. [Circle Archive.circle-archive.com](https://circle-archive.com)
- Ikechukwu, I.C. (2021) 'Geothermal Energy: A Review', *International Journal Of Engineering Research*, 10(03).

- Imam Kholiq. (2015). "Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Substitusi BBM." *Jurnal IPTEK* 19(No 2): 75–91.
- Indonesia And Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, Dan Panas Bumi (Indonesia) (Eds) (2017) *Potensi Panas Bumi Indonesia*. Edisi Pertama. Menteng, Jakarta: Direktorat Panas Bumi, Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, Konservasi Energi, Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral.
- Institute for Essential Services Reform (IESR). (2019). "Laporan Status Energi Bersih Indonesia: Potensi, Kapasitas Terpasang, Dan Rencana Pembangunan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan 2019."
- Ion, Florian, Tiberiu Petrescu, and Relly Victoria Petrescu. (2015). "HYDROPOWER AND PUMPED-STORAGE." (November).
- K. Jamlay, L. Sule, D. Hasan Teknik Mesin, P. Amamapare Timika, and J. C. Heatubun Kwamki Baru Timika Mimika Papua, (2016) "ANALISIS PERILAKU ALIRAN TERHADAP KINERJA RODA AIR ARUS BAWAH UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK SKALA PIKOHIDRO," *Dinamika Teknik Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 2502–1729, Jun. 2016, doi: 10.29303/dtm.v6i1.25.
- Karna Wijaya. (2011). *bio fuel dari Biomassa*. Pusat Studi Energi Universitas Gajah Mada
- Kulshresta, S.K. (1989). "Termodinakika Terpakai, Teknik Uap dan Panas". Universitas Indonesia: Jakarta
- Kusuma, G.A., Mangindaan, G. And Pakiding, M. (2017) 'Analisa Efisiensi Thermal Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Lahendong Unit 5 Dan 6 Di Tompasso'.
- Lubis, A. (2007) 'Energi Terbarukan Dalam Pembangunan Berkelanjutan'.
- M. A. Rusdiono, (2017) "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Di Saluran Primer Sindupraja Kabupaten Majalengka Provinsi Jawa Barat," Dec. 2017.
- Martua, M., Setiawan, D. And Yuvendius, H. (2021) 'Studi Karakteristik Luar Dan Efisiensi Generator Dc Penguat Terpisah Terhadap Perubahan Beban Dengan Menggunakan Metode Fuzzy Logic', *Jurnal Karya*

- Ilmiah Multidisiplin (Jurkim), 1(1), Pp. 22–36. Available At: <https://doi.org/10.31849/Jurkim.V1i1.7888>.
- Meilani, H. And Wuryandani, D. (2010a) 'Potensi Panas Bumi Sebagai Energi Alternatif Pengganti Bahan Bakar Fosil Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Di Indonesia', 1(1).
- Murniati, M. E. (2022). Analisis potensi Energi Angin Sebagai Pembangkit Energi Listrik Tenaga Angin Di daerah Banyuwangi Kota Menggunakan database online-bmkg. *JURNAL SURYA ENERGY*, 6(1). <https://doi.org/10.32502/jse.v6i1.3364>
- Nelly and Yana Syaifuddin. (2023). 1. *Jurnal Serambi Engineering VIII*(3), pp. 6487–6492.
- Nelson, V. (2019). Vertical axis wind turbines. In *Innovative Wind Turbines* (pp. 63–90). CRC Press. <http://dx.doi.org/10.1201/9781003010883-4>
- Nugroho, A. A. (2014). Analisa Pengaruh Kualitas Batubara Terhadap Biaya Pembangkitan. 7, 23.
- Prayitno, I. (1988). Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG) dan Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU).
- Nugroho, A.D. Et Al. (2023) 'Kebijakan Dekarbonisasi Sistem Energi Indonesia Pada Sektor Energi Terbarukan', *Cakrawala*, 17(2), Pp. 109–125. Available At: <https://doi.org/10.32781/Cakrawala.V17i2.539>.
- Osman, A.I. et al. (2023). Materials, fuels, upgrading, economy, and life cycle assessment of the pyrolysis of algal and lignocellulosic biomass: a review. *Environmental Chemistry Letters* 21(3), pp. 1419–1476. doi: 10.1007/s10311-023-01573-7.
- Pandey, D.S., Katsaros, G., Lindfors, C., Leahy, J.J. and Tassou, S.A. (2019). Fast pyrolysis of poultry litter in a bubbling fluidised bed reactor: Energy and nutrient recovery. *Sustainability (Switzerland)* 11(9). doi: 10.3390/su11092533.
- PERATURAN PEMERINTAH KEPUBLIK INDONESIA. NOMOR 70 TAHUN (2009.) TENTANG. KONSERVASI ENERGI.
- Purwanto, I. (1988). No Title Uranium Umum Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) Batu Bara.

- Purwawadi.M.Dhandang, Perpindahan Panas Dasar. Jakarta, (2003) .Incropera Frank P. & David P. Dewitt, Fundametal Of Heat And Masstransfer, John Wiley & Son, Inc. New York, 2002.
- Pusat Pendidikan dan Pelatihan PLN. (2011). Modul Pelatihan Pembangkit listrik Tenaga Gas dan Uap, 1-32.
- R. A. Subekti, A. Susatyo, and H. Sudibyoy, (2007) “Tulisan DIPA KAPLAN 2007 - Seminar IPT”.
- R. Hadiyanto, F. Bakri, and J. Fisika, (2013) “Rancang Bangun Prototipe Portable Mikro Hydro Menggunakan Turbin Tipe Cross Flow,” PROSIDING SEMINAR NASIONAL FISIKA (E-JOURNAL), vol. 2, pp. 19–25, Oct., doi: 10.21009/03.
- Ramadhan, R. (2023). Analisis Load Flow pada Kilang dan Utilitas PPSDM MIGAS. Jurnal Nasional Pengelolaan Energi MigasZoom, 5(1), 1-10.esdm.go.id
- Rifki Alfaridzi. (2023a). bio etanol : Bahan Bakar Ramah Lingkungan yang menjanjikan.Shasolo.com
- Rifki Alfaridzi. (2023b). Biogas: Solusi Energi Ramah Lingkungan untuk Masa Depan.Shasolo.com
- Schnitzer, Valentin. (2011). “Manual on Microhydro Power Construction in Indonesia (Ministry of Energy and Natural Resources).” Panduan Singkat - Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).
- Sekretariat Jendral Dewan Energi Nasional. (2019). “Laporan Kajian Penelaahan Neraca Energi Nasional.” Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- setiawan, H. agus. (2023). EVALUASI POTENSI ENERGI ANGIN DAN PEMILIHAN LOKASI OPTIMAL UNTUK PEMASANGAN TURBIN ANGIN SKALA KECIL2. Center for Open Science. <http://dx.doi.org/10.31219/osf.io/h3am2>
- Setiawan, S., & Pendahuluan, B. A. B. (2016). Dan Temperatur Gas Buang Pada Pltd Pulo Panjang Banten. 05(2), 71–76.
- Setyaningrum, R. A., & Corio, D. (2022). Rancang Bangun Bilah Berbahan Expanded Polystyrene (EPS) Foam untuk Kecepatan Angin Rendah

- pada Produk Horizontal Axial Wind Turbine. PROtek : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, 9(2), 73. <https://doi.org/10.33387/protk.v9i2.3960>
- Siagian, P. Et Al. (2023) Buku-Referensi-Energi-Baru-Terbarukan-Sebagai-Energi-Alternatif.Pdf. (Yayasan Kita Menulis, 1). Available At: Kitamenulis.Id.
- Simanjuntak, O.T., dan Ir. S. Amien. 2015. “Studi Keandalan (Reliability) Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Labuan Angin Sibolga” . Vol. 10, No. 26. Sugiharto, A. “Tinjauan Teknis Pengoprasian dan Pemeliharaan Boiler”. Dalam Forum Teknologi. Vol. 06, No.2.
- Subargadi, & Tarigan, G. M. (1998). Pembangkit Listrik Tenaga Uap, Minyak dan Gas. Jakarta.
- Sudarto, Yudi. (2011). ”Kajian teoritik perhitungan efisiensi PLTU unit I kapasitas 400 MW di Paiton”. Fakultas Teknik, Universitas Kristen Petra
- Suhendi, E., Paradise, G.U. and Priandana, I. (2017). PENGARUH LAJU ALIR UDARA DAN WAKTU PROSES GASIFIKASI TERHADAP GAS PRODUCER LIMBAH TANGKAI DAUN TEMBAKAU MENGGUNAKAN GASIFIER TIPE DOWNDRAFT. Jurnal Bahan Alam Terbarukan 5(2), pp. 45–53. doi: 10.15294/jbat.v5i2.6054.
- Suyamto, H. (2009). Perbandingan Perhitungan Efisiensi Antara PLTU Konvensional Dan PLTN. In Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir. Jakarta.
- Syahputra, R., (2016), “Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik”, LP3M UMY, Yogyakarta.
- Syaifuddin, P. A., Setyowidodo, I., Si, M., & T, A. A. M. (2019). Artikel Pengaruh Penggunaan Oil Cooler Pada Temperature Engine: Dibimbing Oleh : Universitas Nusantara PGRI Kediri Tahun 2019.
- Syam, S., & Kurniati, S. (2022). ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU MENGGUNAKAN TURBIN SAVONIUS. Center for Open Science. <http://dx.doi.org/10.31219/osf.io/rejtw>
- Twidell, J. And Weir, A.D. (2006) Renewable Energy Resources. 2nd Ed. London ; New York: Taylor & Francis.
- Wartsilla,(2013) Unit BBM dan proses Gas Alam. Jakarta

-
- Widyaningsih, Grita Anindarini. (2017). “Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional.” *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia* 4(1): 139
- Y. Prabowo, S. B, N. Nazori, and G. Gata, (2018) “Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pmlth) Pada Saluran Irigasi Gunung Bunder Pamijahan Bogor,” *Jurnal Ilmiah FIFO*, vol. 10, no. 1, pp. 41–52, Jun. 2018, doi: 10.22441/FIFO.2018.V10I1.005.
- Y. Putro, (2015) “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Sungai Atei Desa Tumbang Atei Kecamatan Sanamang Mantikai Kabupaten Katingan Provinsi Kalimantan Tengah,,” Apr. 2015.

Biodata Penulis



Dr. Ir. Ritnawati, ST., MT. Lahir di Kota Samarinda Kalimantan Timur pada tanggal 24 Maret 1979. Menyelesaikan studi pada pada Program Studi Teknik Pertambangan tahun 2003 di UVRI Makassar. Tahun 2008, melanjutkan studi di Universitas Hasanuddin (Unhas) pada Program Studi Teknik Sipil di tahun 2010. Kemudian melanjutkan studi Program Doktor Teknik Sipil pada tahun 2013 di Universitas Hasanuddin (Unhas) dan telah meraih

Gelar Doktor pada tahun 2019. Telah menyelesaikan Program Profesi Insinyur (PPI) di UNHAS sejak tahun 2020. Saat ini bertugas sebagai Dosen bidang Teknik Keairan dan Lingkungan pada Prodi Teknik Sipil Universitas Fajar sejak tahun 2022. Aktif dalam berbagai kegiatan penelitian dan kegiatan akademik baik pada jurnal ilmiah nasional maupun internasional terakreditasi dari tahun 2008-sekarang.

email: ritnawati.nn@gmail.com HP/wa: 085255350257.



Rizki Wahyu Pratama lahir di Bukittinggi, Sumatera Barat, Indonesia pada tahun 1986. Ia memperoleh gelar Sarjana Teknik dan Magister Teknik dalam bidang Teknik Elektro dari Universitas Andalas dan Institut Teknologi Bandung, Indonesia, pada tahun 2011 dan 2014, masing-masing. Sejak tahun 2019, ia menjadi dosen di Universitas Andalas, Indonesia. Minat penelitiannya adalah energi listrik dan aplikasi tegangan tinggi.



Ir. Irwan Syarif., S.Pd., M.T Lahir di Belawa Wajo tanggal 3 juli 1988. Anak ke 2 dari 4 bersaudara. Menyelesaikan S1 Jurusan Pendidikan Teknik Elektro UNM tahun 2011, S2 di Program Magister di Jurusan Teknik Elektro Program Pasca Sarjana UNHAS (PPS) tahun 2014, Pendidikan profesi Insinyur (PPI) UNHAS tahun 2020, Aktivitas saat ini adalah sebagai salah satu dosen tetap juga sebagai Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas

Patria Artha Makassar pada Fakultas Teknik & Informatika tro. Penulis juga aktif di Badan Akreditasi Nasional Pendidikan dasar menengah (BANPDM) Sulawesi Selatan.



Penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Fajar. Penulis menyelesaikan Studi S1 - Sarjana Teknik (S.T.) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (Unhas) pada Tahun 2005 Konsentrasi Konversi Energi dan melanjutkan Studi S2 - Magister Teknik (M.T.) Program Strata Magister (S2) Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (Unhas) Tahun 2012 dengan Konsentrasi Konversi Energi dan menyelesaikan Program Profesi Insinyur (Ir) Universitas Hasanuddin Tahun 2022 serta mendapat gelar Insinyur Profesional Madya (IPM) dari Persatuan Insinyur Indonesia (PII) BK Teknik Mesin pada januari 2023. Bergabung menjadi Dosen Yayasan Pendidikan Fajar dan aktif mengajar pada Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Fajar sejak Tahun 2010 – sekarang. Mengampuh berberapa mata kuliah yaitu mesin-mesin fluida, perancangan mesin dan lainnya



Rosihan Aminuddin. Saat ini sedang menyelesaikan Program Doktor Program Pascasarjana UNM dengan topik disertasi Model Pelatihan Berbasis Inquiry Berkarakter High Order Thinking Skill (Hots) Pada Bidang Keahlian Kelistrikan Di Perguruan Tinggi Vokasi. Sebelumnya mengikuti Pendidikan Program S1 dan S2 di UNM Makassar. Ia adalah dosen tetap Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika Universitas Patria Artha.

Mengampu mata kuliah konsep teknologi ,Microprocessor dan Desain Teknik Pengaturan. Selama ini terlibat aktif sebagai dosen pembimbing mahasiswa sikripsi dan lainnya.

E-mail: rosihanaminuddin@patria-artha.ac.id



Dr. Erdawaty, ST., MT. adalah anak ke empat dari pasangan Alm.A.M.noer Ar. Amd dan Almarhumah A.Suryati. Penulis lahir di Ujung Pandang , 21 April 1978 Penulis menikah dengan Kapten Czi Sirajuddin tahun 2009 dan Penulis telah memiliki 3 Putra 1 Putri yaitu Muh. Al-Aqsha, Muh. Mulya Al-siraj , Muh. Rafay Al-Siraj dan Aisyah Humaerah.

Penulis menyelesaikan studinya S1–Sarjana Teknik (S.T) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia (UMI) tahun 2002, S2 –Magister Teknik (M.T) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Univeristas Hasanuddin (Unhas) tahun 2011, S3–Program Doktor (Dr) Program Studi Ilmu Teknik sipil Fakultas Teknik Universitas

Hasanuddin (UNHAS) Tahun 2021. Bergabung jadi Dosen Tetap pada Universitas Fajar sejak tahun 2015 -sekarang. Penulis mengampuh mata kuliah Mekanika Tanah dan Pondasi. Penulis sangat tertarik tentang penelitian mengenai Studi Eksprimental Kapasitas Dukung Kolom Beton Granular Asphalt Buton Aktivasi Alkalin Pada tanah Lunak. Penulis telah menulis beberapa jurnal nasional dan internasional dan buku. HP/wa: 082187648701

E-mail: rafayerdawaty@gmail.com



Sarman, ST., M.T., lahir di Bone – bone pada tanggal 27 April 1977 merupakan anak ke lima dari delapan bersaudara. Pada Tahun 1996, Penulis menyelesaikan pendidikan menengah atas pada STM Negeri Baubau. Selanjutnya melanjutkan S1 pada Universitas Dayanu Ikhsanuddin pada program studi Teknik Mesin dan menyelesaikan studi pada tahun 2008. Pada tahun 2013 melanjutkan pendidikan magister Universitas Hasanudin Makassar dengan mengambil Jurusan Teknik Mesin dengan konsentrasi pada Konversi Energi dan dapat menyelesaikan studi pada tahun 2015. Setelah menyelesaikan Studi Magister kembali mengabdikan diri pada Unidayan dan baru di tahun 2017 , dan resmi menjadi salah satu tenaga pengajar di Universitas Dayanu Ikhsanudin baubau (Unidayan) khususnya pada program studi teknik Pertambangan Fakultas Teknik dan mengampuh mata kuliah Teknik Tenaga Listrik, Mekanika Fluida dan Termodinamika. Penulis juga aktif melakukan penelitian terkait Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi dan terlibat aktif di Asosiasi dan Pertemuan Ilmiah Teknik Pertambangan, dan Persatuan Insinyur Indonesia (PII) dalam meningkatkan mutu pendidikan Mahasiswa Teknik Pertambangan.

Email : sarmanahama@gmail.com



Rahmi Berlianti. Saat ini merupakan dosen tetap Program Studi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Padang. Sebelumnya Ia mengikuti Pendidikan Program S2 di Institut Sains Teknologi Nasional Jakarta.

Mengampu mata kuliah Praktek Perancangan Listrik, Instalasi Listrik, Programmable Logic Control, Praktek Sistem Proteksi, dan Ilmu Bahan Listrik. Selain itu Ia juga aktif dalam melakukan penelitian dan pengabdian masyarakat didalam ataupun diluar

kampus.

E-mail: rahmiberlianti@gmail.com , rahmiberlianti@pnp.ac.id



Berlianti. Saat ini merupakan dosen tetap Politeknik Negeri Padang. Ia mengajar diprodi D3 Teknik Listrik. Sebelumnya mengikuti Pendidikan Program S1 di Universitas Brawijaya, Malang, prodi Energi Elektrik dan S2 di STEI ITB Bandung.

Mengampu mata kuliah Rangkaian Listrik, Sistem Proteksi, Mesin Arus Searah dan Bolak-Balik, Transformator serta Elektronika Daya. Selama ini telah melaksanakan kegiatan pengabdian masyarakat dan penelitian dibidang Energi Baru Terbarukan (EBT) diantaranya PLTMH dan Tenaga Surya. Telah menulis beberapa modul praktek untuk kegiatan praktek mahasiswa Politeknik Negeri Padang diantaranya adalah Modul Praktek Transformator, Modul Praktek Mesin Arus Searah dan Bolak-Balik. Menghasilkan beberapa Karya prosiding nasional dibidang pemanfaatan tenaga surya sebagai energi baru terbarukan.

E-mail: berlianti@pnp.ac.id; berliantii@yahoo.com

PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK

Instalasi dan Prinsip Kerja

Buku ini merupakan pengantar yang berfungsi untuk memberikan penjelasan rinci dan lengkap tentang pembangkit listrik. Dalam pengantar yang sangat informatif ini, pembaca akan diperkenalkan dengan berbagai konsep dasar tentang bagaimana pembangkit listrik bekerja dan bagaimana pentingnya peran mereka dalam melayani kebutuhan energi masyarakat modern.

Selain itu, akan diuraikan pula mengenai berbagai jenis pembangkit listrik hingga pembangkit nuklir yang semuanya memiliki peran penting dalam menyokong stabilitas energi dunia. Buku ini juga bertujuan untuk memberikan wawasan mendalam tentang tantangan dan keuntungan yang terkait dengan penggunaan energi terbarukan serta menggali potensi inovasi di bidang pembangkit listrik.

Buku ini membahas tentang:

- Bab 1 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)
- Bab 2 Pembangkit Listrik Tenaga Air
- Bab 3 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu
- Bab 4 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)
- Bab 5 Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)
- Bab 6 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro
- Bab 7 Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)
- Bab 8 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi
- Bab 9 Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro
- Bab 10 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)
- Bab 11 Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm)



YAYASAN KITA MENULIS
press@kitamenulis.id
www.kitamenulis.id

