

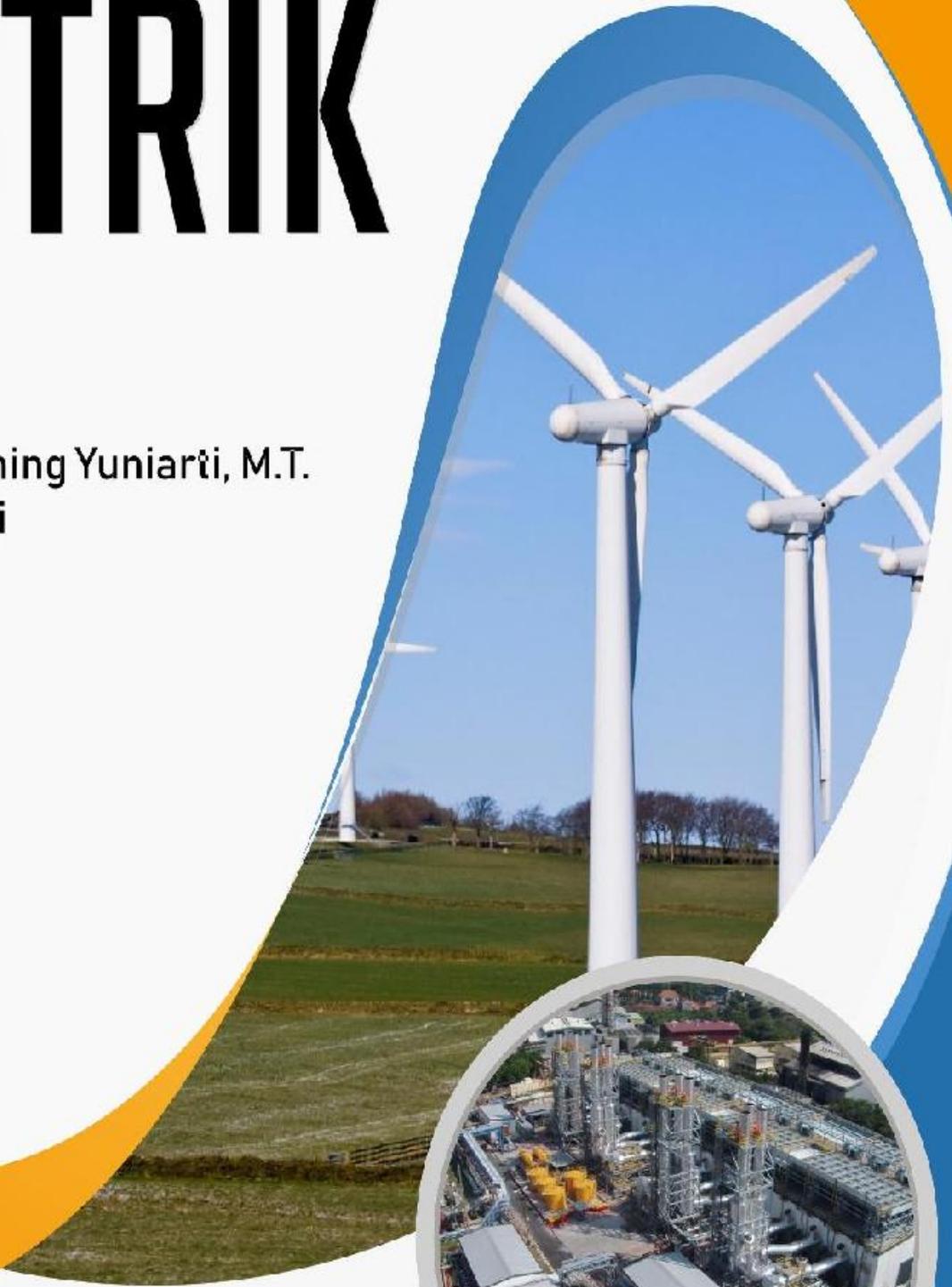


Modul Pembelajaran

PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK

Penyusun :

Dr. phil. Nurhening Yuniarti, M.T.
Ilham Wisnu Aji



2019

JURUSAN
PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
FT. UNY

Modul Pembelajaran

PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT., atas karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan modul pembelajaran ini. Modul pembelajaran ini dibuat secara ringkas dan lengkap dengan harapan dapat mempermudah pengguna modul dalam memahami materi pembelajaran pembangkit tenaga listrik.

Pembangkit tenaga listrik merupakan kumpulan dari beberapa komponen baik mekanis maupun elektrik yang dipadukan menjadi satu sehingga menjadi pembangkit tenaga listrik. Terdapat berbagai macam jenis pembangkit tenaga listrik yang ada pada saat ini yang terbagi menjadi dua yaitu pembangkit dengan energi terbarukan dan pembangkit dengan energi tidak terbarukan.

Modul pembelajaran yang disusun ini diharapkan selain mampu untuk membantu pengguna modul dalam memahami sistem pembangkit tenaga listrik, modul pembelajaran ini mampu memberikan variasi atau model pembelajaran bagi dosen atau guru pengampu mata pelajaran, agar Pengguna modul dapat menjadi lebih aktif dalam berdiskusi dan memiliki gambaran terkait sistem pembangkit tenaga listrik yang diajarkan dalam mata kuliah Pembangkit Tenaga Listrik.

Modul pembelajaran yang dikembangkan ini masih jauh dari sempurna, untuk itu diperlukan perbaikan secara berkelanjutan agar susunan materi maupun ini di dalam materi dapat menyesuaikan dengan perkembangan zaman. Kritik dan saran akan sangat membantu dalam proses pengembangan modul pembelajaran ini.

Yogyakarta 8 Februari 2019

Penulis

PENDAHULUAN

A. Deskripsi Judul

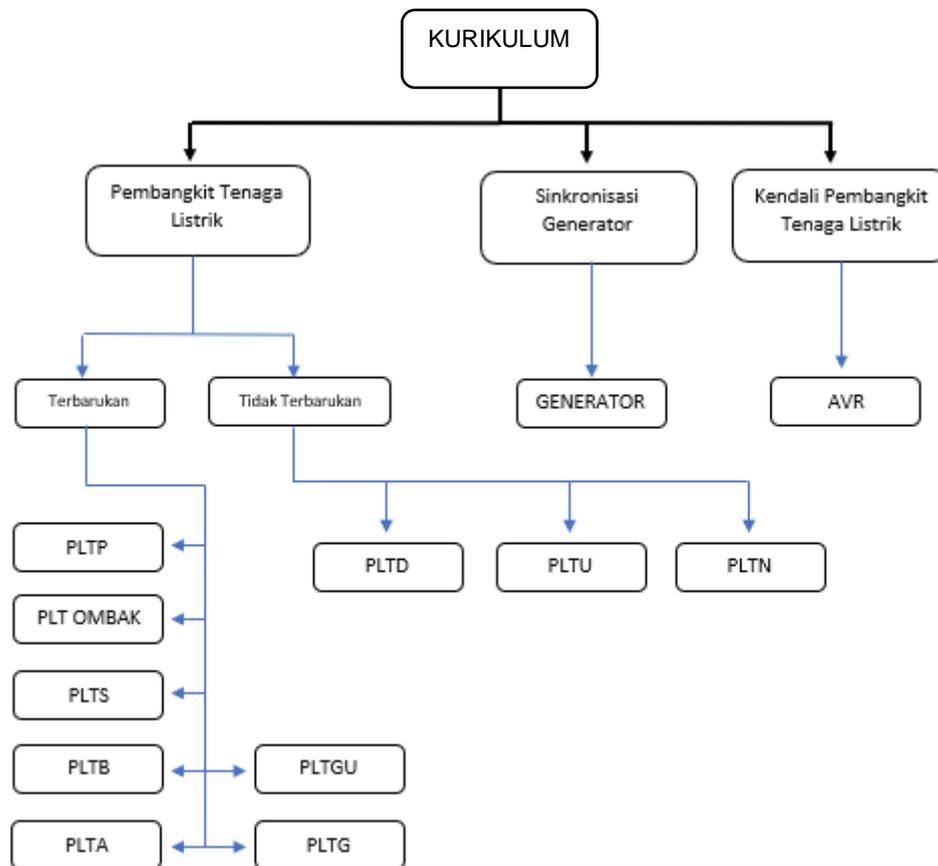
Modul pembelajaran Pembangkit Tenaga Listrik ini adalah modul yang berisikan deskripsi dan teori mengenai jenis-jenis pembangkit tenaga listrik serta bagian pembangkit tenaga listrik yaitu generator dan regulator tegangan, meliputi jenis pembangkit; (1) PLTA, (2) PLTU, (3) PLTB, (4) PLTN, (5) PLTD, (6) PLTS, (7) PLTG, (8) PLTGU, (9) PLTP, (10) PLTGL, (11) Generator, (12) AVR.

B. Petunjuk Penggunaan Modul

Berikut merupakan langkah-langkah yang harus dilakukan untuk mempelajari modul pembelajaran ini:

1. Bacalah dengan seksama uraian materi di dalam modul pembelajaran pada setiap bab-bab tersebut. Bila ditemukan materi yang kurang dimengerti atau kurang jelas maka pengguna dapat bertanya kepada dosen atau instruktur mata kuliah tersebut.
2. Pada bagian akhir dari materi terdapat soal latihan (evaluasi) untuk mengetahui tingkat keahaman pengguna modul terhadap materi yang dipelajari sebelumnya.
3. Jika pengguna modul belum menguasai materi pembelajaran, ulangi langkah pembelajaran dan jika diperlukan pengguna modul dapat bertanya kepada dosen atau instruktur yang mengampu mata kuliah tersebut.

PETA KEDUDUKAN MODUL



TUJUAN PEMBELAJARAN

Modul pembelajaran Pembangkit Tenaga Listrik ini adalah seperangkat bahan ajar berupa buku yang disajikan secara sistematis dengan tujuan agar peserta didik dapat belajar secara mandiri tanpa harus bertatap muka dengan tenaga pendidik. Di dalam modul pembelajaran ini terdapat uraian materi tentang jenis-jenis pembangkit tenaga listrik beserta dengan materi pendukungnya seperti sistem interkoneksi, biaya pembangkitan dan lain sebagainya.

Pada modul pembelajaran ini terdapat tes formatif yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat penguasaan materi pengguna modul pembelajaran ini. Dengan adanya modul pembelajaran ini diharapkan dapat mengakomodir tingkat kecepatan belajar pengguna yang bervariasi.

Pada mata kuliah Pembangkit Tenaga Listrik akan dipelajari mengenai prinsip kerja pembangkit tenaga listrik diantaranya:

- a. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)
- b. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)
- c. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)
- d. Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)
- e. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)
- f. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)
- g. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)
- h. Pembangkit Listrik Tenaga Ombak (PLTO)
- i. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)

Selain mempelajari materi mengenai pembangkit tenaga listrik juga disematkan materi mengenai:

- a. Instalasi Penunjang Tenaga Listrik
- b. *Automatic Voltage Regulator*
- c. *Generator Sinkron*
- d. Perencanaan Pembangkit Tenaga Listrik
- e. Klasifikasi Sumber Energi Listrik
- f. Sistem Interkoneksi Tenaga Listrik
- g. Manajemen Operasi Tenaga Listrik
- h. Peralatan Proteksi Tenaga Listrik
- i. Perhitungan Biaya Pembangkitan

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	1
PENDAHULUAN	2
PETA KEDUDUKAN MODUL	3
TUJUAN PEMBELAJARAN	4
DAFTAR ISI	5
DAFTAR GAMBAR.....	9
DAFTAR TABEL	12
BAB I PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK	13
1.1. Pendahuluan	13
1.2. Jenis Pembangkit Tenaga Listrik	14
1.3. Instalasi Penunjang Pembangkit Tenaga Listrik	15
1.4. Perencanaan Pembangkit Tenaga Listrik	15
1.5. Klasifikasi Sumber Energi Pembangkit Tenaga Listrik	16
1.6. Sistem Interkoneksi Tenaga Listrik	18
1.7. Manajemen Operasi Pembangkit Tenaga Listrik	19
1.8. Peralatan Kelistrikan Pembangkit Tenaga Listrik	21
1.9. Levelized Cost of Energy	24
BAB II PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR.....	26
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Air di Indonesia	26
2.2. Prinsip Kerja PLTA	27
2.3. Macam Daya yang Dihasilkan Pembangkit.....	28
2.4. Komponen PLTA.....	32
2.5. Rangkuman.....	37
2.6. Latihan Soal	38
2.7. Evaluasi	39
BAB III PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP.....	41
3.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap di Indonesia	41
3.2. Prinsip Kerja PLTU	42
3.3. Bagian-bagian PLTU	43
3.4. Rangkuman.....	49
3.5. Latihan Soal	50
3.6. EVALUASI	51

BAB IV PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU	53
4.1. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Indonesia	53
4.2. Prinsip Kerja PLTB	54
4.3. Jenis – Jenis Angin	55
4.4. Komponen PLTB.....	56
4.5. Rangkuman.....	61
4.6. Latihan Soal	62
4.7. EVALUASI	63
BAB V PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR	65
5.1. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir di Indonesia.....	65
5.2. Prinsip Kerja PLTN	66
5.3. Proses Kerja PLTN	66
5.4. Jenis-Jenis Reaktor	67
5.5. Bagian-bagian PLTN	71
5.6. Rangkuman.....	74
5.7. Latihan Soal	75
5.8. EVALUASI	76
BAB VI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA DIESEL.....	78
6.1. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel di Indonesia	78
6.2. Prinsip Kerja PLTD	79
6.3. Karakteristik Mesin Diesel.....	79
6.4. Komponen-Komponen PLTD.....	80
6.5. Rangkuman.....	84
6.6. Latihan Soal	85
6.7. EVALUASI	86
BAB VII PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA	88
7.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia	88
7.2. Prinsip Kerja PLTS	89
7.3. Struktur Panel Surya.....	92
7.4. Bagian-bagian PLTS.....	93
7.5. Rangkuman.....	96
7.6. Latihan Soal	97
7.7. EVALUASI	98
BAB VIII PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS.....	100
8.1. Pembangkit Listrik Tenaga Gas di Indonesia.....	100

8.2.	Prinsip Kerja PLTG	101
8.3.	Siklus Brayton	101
8.4.	Bagian-bagian PLTG	102
8.5.	Rangkuman.....	105
8.6.	Latihan Soal	106
8.7.	EVALUASI	107
BAB IX PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS DAN UAP.....		109
9.1.	Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap di Indonesia	109
9.2.	Prinsip Kerja PLTGU.....	110
9.3.	Proses pembangkitan PLTGU.....	111
9.4.	Komponen PLTGU	111
9.5.	Rangkuman.....	115
9.6.	Latihan Soal	116
9.7.	EVALUASI	117
BAB X PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI.....		119
10.1.	Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi di Indonesia	119
10.2.	Prinsip Kerja PLTP.....	120
10.3.	Klasifikasi PLTP	121
10.4.	Komponen PLTP	122
10.5.	Rangkuman	124
10.6.	Latihan Soal	125
10.7.	EVALUASI.....	126
BAB XI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT		128
11.1.	Pembangkit Listrik Tenaga Ombak di Indonesia	128
11.2.	Prinsip Kerja PLTGL.....	129
11.3.	Power Take-Off System	131
11.4.	Bagian-bagian PLTGL	131
11.5.	Rangkuman	134
11.6.	Latihan Soal	135
11.7.	EVALUASI.....	136
BAB XII GENERATOR ARUS BOLAK-BALIK SINKRON.....		138
12.1.	Pengertian Generator Sinkron	138
12.2.	Prinsip Kerja Generator	139
12.3.	Konstruksi Generator Arus Bolak-balik	139
12.4.	Eksitasi Generator	143

12.5.	Sinkronisasi Generator	143
12.6.	Ketentuan Sinkronisasi Generator	144
12.7.	Rangkuman	145
12.8.	Latihan Soal	146
12.9.	EVALUASI.....	147
BAB XIII AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR		149
13.1.	Pengertian Automatic Voltage Regulator	149
13.2.	Prinsip Kerja Automatic Voltage Regulator	149
13.3.	Bagian-bagian Automatic Voltage Regulator.....	150
13.4.	Rangkuman	153
13.5.	Latihan Soal.....	154
13.6.	EVALUASI.....	155
GLOSARIUM.....		157
KUNCI JAWABAN		160
DAFTAR PUSTAKA.....		162

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir	13
Gambar 2. Generator di dalam PLTA.....	14
Gambar 3. Sistem Interkoneksi	18
Gambar 4. Busbar	21
Gambar 5. Busbar Sistem Tunggal	22
Gambar 6. Busbar Sistem Ganda	22
Gambar 7. Pembangkit Listrik Tenaga Air Cirata	26
Gambar 8. Ilustrasi Prinsip Kerja PLTA.....	27
Gambar 9. PLTA <i>Run of River</i>	30
Gambar 10. PLTA <i>Reservoir</i>	30
Gambar 11. <i>Regulating Pond</i>	31
Gambar 12. <i>Pumped Storage</i>	31
Gambar 13. <i>Reservoir</i>	32
Gambar 14. <i>Penstock</i>	32
Gambar 15. Turbin	33
Gambar 16. Turbin Pelton	33
Gambar 17. Turbin Kaplan	34
Gambar 18. Turbin Francis.....	34
Gambar 19. Banki-Michell	34
Gambar 20. Turbin Turgo	35
Gambar 21. <i>Generator</i>	35
Gambar 22. <i>Transformator Step-Up</i>	36
Gambar 23. PLTU Paiton.....	41
Gambar 24. Ilustrasi Prinsip Kerja PLTU.....	42
Gambar 25. <i>Boiler</i>	43
Gambar 26. <i>Fire Tube Boiler</i>	44
Gambar 27. <i>Water Tube Boiler</i>	44
Gambar 28. <i>Packaged Tube Boiler</i>	44
Gambar 29. Turbin	45
Gambar 30. Kondensor	45
Gambar 31. <i>Generator</i>	46
Gambar 32. <i>Desalination Plant</i>	46
Gambar 33. <i>Demineralizer</i>	46
Gambar 34. <i>Chlorination Plant</i>	47
Gambar 35. <i>Coal Handling Unit</i>	47
Gambar 36. <i>Ash Handling Unit</i>	48
Gambar 37. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sidrap	53
Gambar 38. Ilustrasi Prinsip Kerja PLTB	54
Gambar 39. Turbin Angin Horizontal	56
Gambar 40. Turbin Angin Vertikal.....	57
Gambar 41. <i>Pitch Control</i>	57
Gambar 42. <i>Nacelle</i>	58
Gambar 43. <i>Shaft</i>	58
Gambar 44. <i>Gearbox</i>	59
Gambar 45. <i>Disc Brakes</i>	59

Gambar 46. <i>Generator</i>	59
Gambar 47. <i>Yaw Gear</i>	60
Gambar 48 – Akumulator	60
Gambar 49. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir	65
Gambar 50. Reaksi Fusi	66
Gambar 51. Reaksi Fisi	66
Gambar 52. Ilustrasi Sistem Kerja PLTU.....	66
Gambar 53. Ilustrasi Sistem Kerja PLTN.....	67
Gambar 54. Ilustrasi Sistem PWR	68
Gambar 55. Ilustrasi BWR	68
Gambar 56. Ilustrasi AGR	69
Gambar 57. Ilustrasi PHWR.....	70
Gambar 58. Ilustrasi HPTR.....	70
Gambar 59. <i>Uranium</i>	71
Gambar 60. Ilustrasi <i>Moderator</i>	71
Gambar 61. <i>Control Rods</i>	72
Gambar 62. <i>Radiator</i>	72
Gambar 63. <i>Pressure Vessel</i>	72
Gambar 64. <i>Steam Generator</i>	73
Gambar 65. PLTD Karimun Jawa	78
Gambar 66. Ilustrasi Prinsip Kerja PLTD.....	79
Gambar 67. <i>Diesel Fuel Tank</i>	81
Gambar 68. Tangki Sementara	81
Gambar 69. Fuel Injector	82
Gambar 70. <i>Fuel Pump</i>	82
Gambar 71. Diesel Engine.....	83
Gambar 72. Generator	83
Gambar 73. Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kupang	88
Gambar 74. Sistem Panel Surya	89
Gambar 75. Ilustrasi Photovoltaic	89
Gambar 76. <i>Direct Systems</i>	90
Gambar 77. Direct Solar Power Plant	90
Gambar 78. Concentrated Solar Panel	91
Gambar 79. Concentrated Solar Panel	91
Gambar 80. Panel Surya	92
Gambar 81. Panel <i>Monocrystalline</i>	93
Gambar 82. Panel <i>Multicrystalline</i>	94
Gambar 83. Panel <i>Ribbon Silicon</i>	94
Gambar 84. <i>Amorphous Silicon</i>	94
Gambar 85. <i>Solar Charge Controller</i>	95
Gambar 86. Baterai	95
Gambar 87. <i>Inverter</i>	95
Gambar 88. PLTG Gorontalo	100
Gambar 89. Ilustrasi Siklus Kerja PLTG	101
Gambar 90. Simbol Gas Metana	102
Gambar 91. Kompresor Udara	102
Gambar 92. <i>Fuel Pump</i>	103
Gambar 93. Ilustrasi <i>Combustion Chamber</i>	103

Gambar 94. Turbin	104
Gambar 95. PLTGU Muara Tawar	109
Gambar 96. Ilustrasi Siklus Kerja PLTGU	110
Gambar 97. Efisiensi PLTGU	110
Gambar 98. <i>Crank Motor</i>	111
Gambar 99. <i>Air Filter</i>	112
Gambar 100. <i>Air Compressor</i>	112
Gambar 101. <i>Combustion Chamber</i>	113
Gambar 102. Turbin	113
Gambar 103. <i>Heat Exchanger</i>	113
Gambar 104. <i>Condenser</i>	114
Gambar 105. PLTP Dieng	119
Gambar 106. Ilustrasi Prinsip Kerja PLTP	120
Gambar 107. Model <i>Single Flash</i>	121
Gambar 108. Model <i>Double Flash</i>	121
Gambar 109. <i>Geothermal Well</i>	122
Gambar 110. <i>Steam Separator</i>	122
Gambar 111. <i>Turbine</i>	123
Gambar 112. <i>Condenser</i>	123
Gambar 113. <i>Pump</i>	123
Gambar 114. PLTGL Parang Rancuk	128
Gambar 115. <i>Oscillating Water Coloumn</i>	129
Gambar 116. <i>Oscillating Body Converter</i>	130
Gambar 117. <i>Overtopping Device</i>	130
Gambar 118. <i>Power Take Off</i>	131
Gambar 119. <i>Hydraulic Piston</i>	131
Gambar 120. Turbin	132
Gambar 121. <i>Generator</i>	132
Gambar 122. <i>Sub-Marine Cable</i>	133
Gambar 123. <i>Generator</i>	138
Gambar 124. <i>Stator</i>	139
Gambar 125. <i>Stator</i>	140
Gambar 126. Rangka <i>Stator</i>	140
Gambar 127. Inti <i>Stator</i>	140
Gambar 128. Kumparan <i>Stator</i>	141
Gambar 129. <i>Salient Pole</i>	141
Gambar 130. <i>Rotor Cylinder</i>	142
Gambar 131. <i>Concetris Winding</i>	142
Gambar 132. <i>Wave Winding</i>	142
Gambar 133. <i>Brush Exication</i>	143
Gambar 134. <i>Brushless Exication</i>	143
Gambar 135. Diagram Kerja AVR	149
Gambar 136. <i>Rectifier</i>	150
Gambar 137. <i>Transformator</i>	150
Gambar 138. <i>Sensing Unit</i>	151
Gambar 139. <i>Comparator Unit Diagram</i>	151
Gambar 140. <i>Relay Circuit Diagram</i>	152

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Intensitas Hujan.....	28
Tabel 2. Klasifikasi PLTA Berdasarkan Kapasitas Pembangkitan	29
Tabel 3. Klasifikasi PLTA Berdasarkan Ketinggian <i>Head</i>	29
Tabel 4. Klasifikasi Angin	55

BAB I PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK

1.1. Pendahuluan

Proses pembangkitan tenaga listrik untuk skala besar umumnya dilakukan oleh suatu industri pembangkit tenaga listrik dengan berbagai macam sumber tenaga, seperti Air, Minyak Bumi, Matahari dan lain sebagainya. Di Indonesia terdapat banyak industri pembangkit tenaga listrik salah satunya adalah PT. Pembangkitan Jawa Bali (PJB). PT. PJB memiliki sembilan unit pembangkitan energi listrik dengan kapasitas keseluruhan sebesar 7.055 megawatt (MW). Selanjutnya, listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik akan disalurkan kepada pelanggan dengan menggunakan jaringan transmisi dan distribusi listrik. Proses penyaluran energi listrik di Indonesia dikelola sepenuhnya oleh PT. Perusahaan Listrik Negara Persero. (PLN).



Gambar 1. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir

1.2. Jenis Pembangkit Tenaga Listrik

Proses pembangkitan tenaga listrik jika ditinjau dari bahan bakarnya dapat dibagi menjadi dua, yaitu pembangkit tenaga listrik terbarukan dan pembangkit tenaga listrik tidak terbarukan. Jenis pembangkit listrik terbarukan di antaranya:

1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)
2. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)
3. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)
4. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)
5. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)
6. Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)

Sedangkan pembangkit listrik tidak terbarukan adalah:

1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)
2. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)
3. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)

Pembangkitan tenaga listrik skala besar menggunakan *generator* sinkron sebagai komponen yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik adalah tegangan bolak-balik (*alternating current*) dengan frekuensi dan tegangan yang disesuaikan pada setiap negara.



Gambar 2. Generator di dalam PLTA

(Sumber: *Windies*)

1.3. Instalasi Penunjang Pembangkit Tenaga Listrik

Pada pembangkit tenaga listrik terdapat beberapa instalasi untuk menunjang proses pembangkitan energi listrik di antaranya:

1. Instalasi energi *primer*, adalah instalasi yang digunakan sebagai suplai bahan bakar atau sumber energi pertama seperti instalasi bahan bakar dan instalasi air.
2. Instalasi penggerak *generator*, adalah instalasi yang berfungsi untuk mengubah energi *primer* menjadi energi mekanik untuk di *transfer* kepada *generator*. Penggerak *generator* dapat berupa turbin dan mesin *diesel* atau pun bensin.
3. Instalasi pendingin, di dalam proses pembangkitan dapat dipastikan komponen-komponen yang bergerak akan menghasilkan panas. Untuk membuang panas yang dihasilkan oleh komponen pembangkit maka diperlukan saluran pendingin yang berfungsi untuk mendinginkan komponen-komponen di dalam pembangkit tenaga listrik.
4. Instalasi listrik, secara garis besar instalasi listrik dapat dibagi menjadi tiga yaitu:
 - a. Instalasi listrik searah, instalasi ini digunakan sebagai instalasi sistem kontrol dari pembangkit tenaga listrik.
 - b. Instalasi listrik tegangan rendah, instalasi ini merupakan instalasi yang digunakan untuk penerangan maupun instalasi tenaga yang ada di dalam bangunan pembangkit tenaga listrik.
 - c. Instalasi tegangan menengah, tegangan menengah dihasilkan oleh *generator*. Umumnya tegangan *generator* adalah 9 kV hingga 11 kV.
 - d. Instalasi tegangan tinggi, instalasi ini merupakan instalasi terakhir yang menghubungkan tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit kepada jaringan transmisi PT. PLN Persero. Tegangan tinggi dihasilkan oleh *transformator step-up* yang mengubah tegangan rendah menjadi tegangan tinggi (20 atau 150 kV)

1.4. Perencanaan Pembangkit Tenaga Listrik

Dalam merencanakan sebuah pembangkit tenaga listrik, maka diperlukan perencanaan-perencanaan untuk menunjang efisiensi dan reliabilitas sebuah pembangkit tenaga listrik. Hal-hal yang diperhatikan dalam perencanaan instalasi tenaga listrik adalah:

- a. Prakiraan Beban (*Load Forecast*)
Perencanaan beban dilakukan untuk mengetahui kebutuhan kapasitas sebuah pembangkit tenaga listrik dengan rentang waktu 15 sampai dengan 20 tahun pembangkit beroperasi. Beban yang perkiraan diantaranya adalah beban puncak, beban harian dan beban tahunan.
- b. Perencanaan Pengembangan (*Generation Planning*)
Perencanaan pengembangan dilakukan untuk mengetahui berapa kapasitas yang dapat dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik, biaya produksi tenaga listrik, dan biaya investasi.
- c. Perencanaan Penyaluran (*Transmission Planning*)
Perencanaan penyaluran dilakukan untuk merencanakan jalur transmisi energi listrik dari satu tempat ke tempat yang lain. Hal yang direncanakan diantaranya lahan, rangkaian transmisi, konstruksi transmisi dan lain-lain.

- d. Perencanaan Sub-Transmisi (*Subtransmission Planning*)
Perencanaan sub-transmisi adalah perencanaan yang digunakan untuk merencanakan jaringan sub-transmisi atau transmisi sekunder pembangkit tenaga listrik.
- e. Perencanaan Distribusi (*Distribution Planning*)
Perencanaan distribusi dilakukan untuk mengetahui kapasitas penyaluran tenaga listrik saluran transmisi, kapasitas tegangan transmisi dan lain sebagainya.
- f. Perencanaan Operasi (*Operating Planning*)
Perencanaan operasi dilakukan untuk mengetahui proses kerja dari pembangkit tenaga listrik mulai dari bahan bakar hingga menjadi energi listrik.
- g. Suplai Bahan Bakar (*Fuel Supply Planning*)
Suplai bahan bakar digunakan untuk merencanakan kebutuhan bahan bakar atau sumber energi primer, ketersediaan bahan bakar, sistem pengiriman, dan lain-lain.
- h. Perencanaan Lingkungan (*Environment Planning*)
Perencanaan lingkungan digunakan sebagai langkah awal untuk menentukan dan mengambil keputusan terhadap faktor lingkungan. Faktor yang direncanakan antara lain adalah pengelolaan limbah dan AMDAL.
- i. Perencanaan Keuangan (*Financial Planning*)
Perencanaan Keuangan adalah langkah yang dilakukan untuk mengetahui nilai jual dari energi listrik yang dihasilkan dengan nilai bahan baku yang digunakan sehingga dapat tercapai profit atau keuntungan bagi perusahaan.
- j. Perencanaan dan Pengembangan (*Research and Development*)
Riset dan pengembangan terkait pengembangan sistem pembangkit, meliputi biaya, karakteristik, dan kelayakan alternatif sumber energi dan pengembangan teknologi, dan lain-lain.

1.5. Klasifikasi Sumber Energi Pembangkit Tenaga Listrik

Sumber energi merupakan segala sesuatu yang berada di lingkungan dan kemudian mampu untuk menghasilkan energi. Secara garis besar sumber energi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok yaitu:

- a. Energi terbarukan
Energi terbarukan merupakan energi yang secara kontinu dihasilkan dari berbagai sumber energi seperti matahari, angin, air, panas bumi, biomassa, energi ombak dan lain sebagainya. Keunggulan dari sumber energi terbarukan ini adalah sumber energinya tidak pernah habis dan sumber energi ini juga merupakan sumber energi yang bersih atau bebas dari polusi yang dihasilkan dari sumber energi konvensional sebelumnya. Jenis-jenis dari sumber energi terbarukan diantaranya adalah:
 - 1) Energi Matahari
Energi matahari merupakan sumber energi terbarukan yang memiliki potensial paling tinggi di antara sumber energi terbarukan lainnya, sumber energi matahari ini mampu memberikan energi yang bersih, aman dan dapat diandalkan. Saat ini harga atau biaya instalasi sumber energi matahari sudah jauh lebih murah daripada 10 tahun yang lalu, sehingga sumber energi ini dapat dibandingkan biaya pembangkitannya dengan jenis pembangkit yang masih menggunakan energi fosil. Energi matahari dapat diklasifikasikan menjadi dua tipe yaitu pasif dan aktif.

2) Energi Angin

Angin umumnya dikendalikan oleh udara pada atmosfer, turbin angin adalah komponen yang digunakan untuk menangkap energi tersebut. Energi angin ini dapat dihasilkan baik pada kondisi cuaca berkabut maupun hujan. Lokasi penempatan turbin angin adalah faktor yang paling penting, yang akan mempengaruhi performa dari pembangkit. Turbin angin umumnya diletakkan pada ketinggian 30 meter di atas tanah. Kemudian untuk menghindari turbulensi, turbin angin diletakkan 5 sampai 15 kali lebar diameter turbin pada setiap titiknya dan turbin dapat bekerja dengan poros horizontal maupun vertikal.

3) Energi Biomassa

Biomassa merupakan energi yang dihasilkan oleh agrikultur atau pertanian. Energi ini terproduksi dari sisa limbah tanaman maupun hewan. Sumber energi biomassa adalah bahan organik dimana energi dari sinar matahari disimpan dalam ikatan kimia, ketika ikatan antara molekul karbon hidrogen dan oksigen terpisah karena pembakaran atau dekomposisi maka substansi ini akan melepaskan energi yang tersimpan

4) Energi Ombak

Laut menutupi 1/3 permukaan bumi dimana laut merupakan sumber energi terbarukan dengan potensi yang sangat besar dengan memanfaatkan pergerakan air di bagian pesisir pantai secara kinetik. Metode yang paling efisien adalah menggunakan kolom osilasi sehingga dapat memutar turbin angin dengan memanfaatkan pasang surutnya air laut.

5) Energi Panas Bumi

Energi panas bumi adalah energi yang dihasilkan dari panas yang terdapat pada inti bumi, energi ini adalah energi yang bersih dan terbarukan. Kendala yang ditemui dari sumber energi ini adalah tidak semua tempat mampu untuk dibangun sumber energi panas bumi selain itu juga rentan akan pergeseran tanah atau gempa bumi.

b. Energi Tidak Terbarukan

Energi tidak terbarukan merupakan jenis energi yang diperoleh dari sumber daya alam yang proses pembentukannya memerlukan waktu hingga jutaan tahun. Energi ini dikatakan tidak terbarukan karena apabila pengambilan atau eksploitasi sumber dayanya berlebihan maka untuk mengganti sumber daya alam dengan jumlah yang sama belum tentu terbentuk di jutaan tahun mendatang. Berikut ini adalah jenis-jenis sumber daya alam tidak terbarukan:

1) Batu Bara

Batu bara merupakan bahan bakar fosil yang berbentuk batuan sedimen yang dapat terbakar, batu bara terbentuk dari terdapat bahan organik terutama sisa-sisa tumbuhan dengan unsur utama yaitu karbon, hidrogen dan oksigen.

2) Minyak Bumi

Minyak bumi adalah bahan bakar fosil yang berbentuk cairan kental dengan warna hitam atau coklat gelap yang mudah terbakar. Minyak bumi terdiri dari campuran hidrokarbon yang kompleks. Minyak bumi adalah hasil dari dekomposisi materi organik seperti tumbuhan dan hewan.

3) Gas Alam

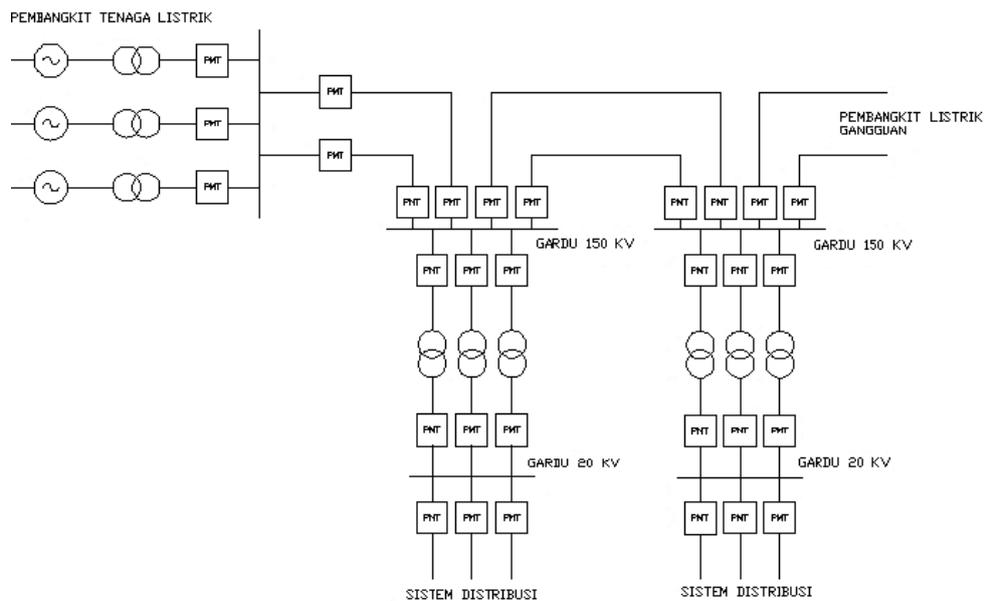
Gas alam memiliki nama lain yaitu gas bumi, adalah bahan bakar fosil yang berbentuk gas yang kandungan utamanya adalah metana. Gas metana dihasilkan dari pembusukan bahan-bahan organik oleh bakteri anaerobik. Metana adalah gas rumah kaca yang dapat menciptakan pemanasan global ketika terlepas ke atmosfer bebas.

4) Nuklir

Energi nuklir merupakan energi yang dihasilkan dari proses reaksi fisi dan reaksi fusi pada sebuah inti atom. Bahan utama dari bahan bakar nuklir adalah uranium dan plutonium, uranium dan plutonium merupakan hasil ekstraksi tambang bawah tanah, maka dari itu bahan bakar nuklir juga termasuk bahan bakar yang tidak terbarukan.

1.6. Sistem Interkoneksi Tenaga Listrik

Interkoneksi merupakan sebuah sistem yang digunakan untuk dapat meningkatkan efisiensi pembangkit tenaga listrik, selain untuk meningkatkan efisiensi juga untuk menjaga kontinuitas penyediaan tenaga listrik karena apabila satu pembangkit mengalami gangguan maka dapat di suplai dari pembangkit lain yang terhubung secara interkoneksi. Di Indonesia sistem interkoneksi digunakan pada jaringan kelistrikan Jawa Madura dan Bali atau disingkat (JAMALI) melalui saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET).



Gambar 3. Sistem Interkoneksi

Gambar diatas menunjukkan sistem interkoneksi dari beberapa pusat listrik (Pembangkit Tenaga Listrik) dengan dua buah gardu induk dan sistem distribusinya. Dalam pelaksanaan interkoneksi ini diperlukan koordinasi agar sistem interkoneksi dapat berlangsung dengan baik, koordinasi yang dimaksudkan diantaranya adalah;

- a. Koordinasi pemeliharaan
- b. Koordinasi pembagian beban
- c. Koordinasi frekuensi
- d. Koordinasi tegangan
- e. Koordinasi penanganan gangguan

Pada umumnya sistem koordinasi ini diatur oleh sistem terpadu yang di operasikan pada pusat pengatur beban, sistem ini disebut juga sebagai sistem *governor*.

1.7. Manajemen Operasi Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit tenaga listrik dan gardu induk dihubungkan dengan saluran transmisi agar tenaga listrik dapat mengalir sesuai dengan kebutuhan dan dapat membentuk sistem tenaga listrik. Pada setiap gardu induk sesungguhnya adalah pusat beban bagi suatu daerah pelanggan tertentu (rayon) dengan beban yang berubah-ubah setiap waktu sehingga daya yang dibangkitkan harus selalu berubah juga sesuai dengan beban yang berjalan.

Proses pembangkitan tenaga listrik pada pembangkit listrik *thermis* memerlukan biaya untuk bahan bakar yang tidak sedikit. Biaya bahan bakar dan faktor-faktor yang menyebabkan kerugian dalam jaringan adalah faktor yang harus diminimalisir, selain itu juga mutu tenaga listrik juga merupakan kendala terhadap biaya pembangkitan tenaga listrik yang se-ekonomis mungkin.

Biaya operasional merupakan bagian biaya yang paling besar pada pembangkit tenaga listrik, biaya operasional merupakan biaya yang meliputi:

- a. Biaya pembelian tenaga listrik
- b. Biaya pegawai
- c. Biaya bahan bakar dan material operasi
- d. Biaya lain-lain.

Dari keempat faktor diatas, biaya bahan bakar merupakan biaya yang terbesar. Pada pembangkit listrik yang dikelola oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) biaya bahan bakar adalah 60% dari biaya operasi keseluruhan.

Operasi sistem tenaga listrik mencakup aspek yang luas, khususnya adalah aspek biaya yang tidak sedikit serta menyangkut penyediaan listrik bagi konsumen. Oleh karena itu, operasi sistem tenaga listrik memerlukan manajemen yang optimal. Rencana operasi merupakan sebuah rencana bagaimana suatu sistem tenaga listrik akan dioperasikan dalam kurun waktu tertentu. Terdapat beberapa macam rencana operasi, yaitu:

- a. Rencana Tahunan
Masalah-masalah yang pada proses penyelesaiannya memerlukan waktu kira-kira satu tahun tercakup dalam rencana ini, misalnya adalah rencana pemeliharaan unit pembangkit yang memerlukan persiapan satu tahun sebelumnya. Rencana operasi tahunan juga meliputi perencanaan alokasi energi yang akan diproduksi dalam satu tahun dalam pembangkit listrik. Alokasi energi yang akan diproduksi berarti pula sebagai biaya bahan bakar yang merupakan biaya yang paling besar.
- b. Rencana Triwulan
Rencana triwulan merupakan upaya peninjauan kembali rencana tahunan dengan jangka waktu tiga bulan ke depan. Rencana triwulan merupakan langkah koreksi terhadap rencana operasi tahunan.
- c. Rencana Bulanan
Rencana bulanan merupakan upaya peninjauan rencana triwulan yang direncanakan dalam jangka waktu satu bulan ke depan menyangkut langkah-langkah operasional dalam sistem berbeda dengan rencana tahunan dan rencana triwulan yang lebih bersifat manajerial. Hal-hal yang tercakup dalam rencana operasi bulanan adalah:
 - 1. Peninjauan jam kerja unit-unit pembangkitan yang bersifat *peaking units* terutama dengan rencana pemeliharaannya.
 - 2. Peninjauan alokasi produksi pembangkit listrik yang kaitannya dengan bahan bakar dengan perusahaan penyuplai bahan bakar.
- d. Rencana Mingguan
Dalam rencana mingguan tidak terdapat lagi hal-hal yang bersifat manajerial karena masalah-masalah yang terjadi hanya diselesaikan dalam jangka waktu mingguan. Dalam rencana mingguan terdapat rencana mengenai langkah-langkah operasional yang akan dilaksanakan dalam jangka waktu satu minggu. Rencana operasi ini mencakup rencana jadwal operasi serta pembebanan unit-unit pembangkit dengan pertimbangan ekonomis dan memperlihatkan berbagai kendala operasional seperti beban minimum dan maksimum dari pembangkit.
- e. Rencana harian
Rencana operasi harian merupakan koreksi dari rencana operasi mingguan untuk disesuaikan dengan kondisi yang lebih baik dalam sistem tenaga listrik. Rencana harian dapat dikatakan juga sebagai rencana yang berjalan secara *realtime*.

1.8. Peralatan Kelistrikan Pembangkit Tenaga Listrik

Di dalam pembangkit tenaga listrik terdapat komponen-komponen pendukung kelistrikan yang berangsur mulai dari turbin atau *prime mover* hingga transformator yang menuju ke gardu induk, komponen tersebut diantaranya:

a. Generator

Generator merupakan komponen yang berfungsi untuk mengubah energi gerak atau energi mekanik menjadi energi listrik. Energi yang menggerakkan generator dapat bermacam-macam misalnya air ataupun angin. Generator bekerja berdasarkan hukum Faraday yang berbunyi "apabila suatu penghantar diputar di dalam sebuah medan magnet sehingga memotong garis-garis gaya magnet maka pada ujung penghantar tersebut akan muncul garis gaya listrik" yang memiliki satuan volt. Jenis generator yang digunakan pada sistem pembangkit tenaga listrik adalah generator jenis sinkron yang nilai penguatan tegangannya dapat diatur sesuai dengan penguatan eksitasinya.

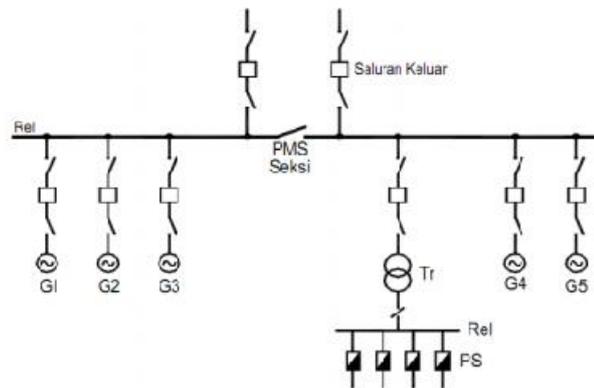
b. Sistem Busbar

Sistem *busbar* atau rel *busbar* adalah susunan konduktor yang berupa pelat tembaga maupun aluminium yang digunakan pada panel kelistrikan untuk mendistribusikan atau menghantarkan tegangan listrik sesuai dengan keperluan. Bentuk *busbar* umumnya adalah persegi panjang ataupun tabung dengan ukuran ketebalan yang cukup tebal yang digunakan untuk menghantarkan arus yang besar.

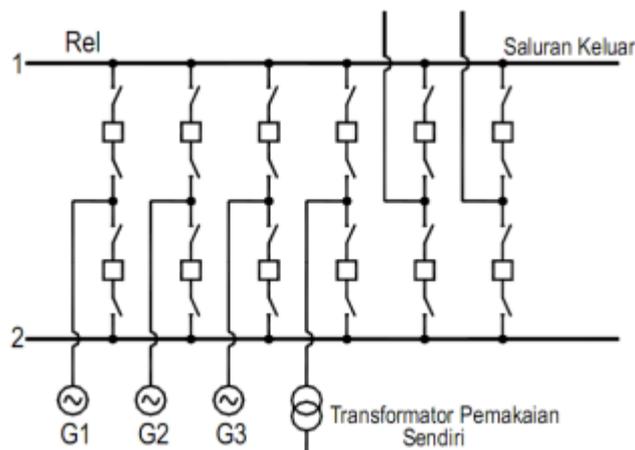


Gambar 4. Busbar

Sistem *busbar* memiliki keunggulan dibandingkan dengan sistem terminasi kabel yaitu mempermudah proses instalasi maupun perawatan dan perbaikan karena tidak memiliki isolasi yang tebal seperti kabel pada umumnya.



Gambar 5. Busbar Sistem Tunggal



Gambar 6. Busbar Sistem Ganda

c. Saklar

Saklar berfungsi untuk memutus rangkaian listrik dari sumber listrik. Semakin tinggi tegangan yang mengalir maka akan semakin sulit dalam proses pemutusan rangkaian listriknya. Hal ini disebabkan semakin tinggi tegangan yang digunakan, maka akan semakin tinggi tegangan transien yang terjadi sewaktu rangkaian diputus dari sumber listrik. Tegangan transien dapat menyalakan kembali arus listrik yang telah diputus.

Pada saat rangkaian listrik diputus oleh kontak-kotak saklar akan timbul busur listrik. Busur listrik dapat mengakibatkan kontak dari saklar teroksidasi sehingga mengurangi daya hantarnya sewaktu kontak-kotak terhubung kembali. Dalam rangkaian listrik dengan tegangan di atas 1,5 kV, saklar dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

- 1). Pemutus Tenaga (PMT), adalah saklar yang mampu memutuskan arus pada gangguan hubung singkat.
- 2). Pemutus Beban (PMB), adalah saklar yang hanya mampu memutuskan arus senilai dengan arus beban.

3). Pemisah (PMS), adalah saklar yang beroperasi pada saat rangkaian tidak berbeban.

d. Relai Pengaman

Gangguan dalam melaksanakan proses pembangkitan energi listrik, penyaluran dan distribusi energi listrik merupakan hal yang umum terjadi. Gangguan kebanyakan merupakan gangguan hubung singkat yang menimbulkan arus yang besar dan dapat merusak peralatan transmisi maupun distribusi. Untuk mengamankan gangguan tersebut diperlukan relai-relai pengaman, adapun jenis relainya adalah sebagai berikut:

- 1). Relai arus lebih
- 2). Relai diferensial
- 3). Relai gangguan hubung tanah
- 4). Relai rotor hubung tanah
- 5). Relai penguat hilang
- 6). Relai tegangan lebih
- 7). Relai arus urutan negatif
- 8). Relai suhu
- 9). Relai fluks berlebih

e. *Transformator*

Transformator atau trafo adalah komponen listrik yang berfungsi untuk mengubah nilai tegangan ke nilai tegangan yang lain, *transformator* bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik dan hanya dapat bekerja pada tegangan arus bolak-balik. *Transformator* yang digunakan pada pembangkit tenaga listrik umumnya adalah *transformator* jenis *step-up*. Nilai tegangan pembangkitan antara 9 kV hingga 12 kV kemudian dinaikkan menjadi 20 kV atau 150 kV yang di alirkan menuju gardu induk.

1.9. Levelized Cost of Energy

Dalam pembangkit tenaga listrik, sumber-sumber energi yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik akan menghasilkan perbedaan pada biaya pembangkitannya. Perhitungan biaya ini dapat dilakukan pada titik koneksi pada beban atau menuju jaringan listrik, satuan yang digunakan umumnya adalah biaya per *kilowatt-hour* (kWh) atau *megawatt-hour* (MWh). Perhitungan yang dilakukan termasuk modal awal pembangunan pembangkit tenaga listrik, tingkat diskon, biaya operasi, biaya bahan bakar dan biaya pemeliharaan.

Levelized Cost of Energy (LCOE) adalah perhitungan dari sumber energi yang memungkinkan untuk menghasilkan perbandingan metode yang berbeda dari pembangkitan tenaga listrik secara konsisten. LCOE adalah penghitungan nilai ekonomi dari total biaya investasi pembangunan dan mengoperasikan pembangkit selama masa penggunaannya dibagi dengan jumlah *output* energi dari pembangkit selama masa penggunaannya. LCOE juga dianggap sebagai harga minimum dimana listrik harus dijual untuk mencapai titik *Break Even Point* (BEP).

Pada saat perhitungan biaya, beberapa faktor biaya internal harus dipertimbangkan, biaya tersebut adalah biaya yang bukan termasuk harga jual sebenarnya karena dipengaruhi oleh faktor seperti subsidi dan pajak.

Dalam menghitung biaya modal, beberapa perhitungan internal harus dipertimbangkan dimana biaya ini sepenuhnya biaya penjualan dikarenakan biaya ini dapat terpengaruh oleh beberapa faktor diantaranya adalah subsidi dan pajak. Biaya modal (*Capital Cost*) cenderung rendah untuk pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil karena jenis-jenis peralatan yang digunakan adalah peralatan konvensional, berbeda dengan pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan seperti turbin angin, panel surya dan lain sebagainya.

LCOE adalah nilai bersih dari biaya pembangkitan selama peralatan pembangkit berfungsi. Hal ini sering digunakan untuk mengetahui harga rata-rata yang harus diterima oleh pembangkit tenaga listrik untuk mencapai titik impas (BEP) selama masa pakainya.

LCOE dapat dihitung secara kasar sebagai nilai bersih dari semua biaya selama masa digunakannya pembangkit tersebut dengan total energi yang dihasilkan, rumus untuk menghitung LCOE adalah sebagai berikut:

$$\text{LCOE} = \frac{\text{sum of costs over lifetime}}{\text{sum of electrical energy produced over lifetime}} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

Dimana :

I_t : Pengeluaran investasi

M_t : Biaya operasi dan pemeliharaan

F_t : Biaya bahan bakar

E_t : Energi listrik yang dihasilkan (Kapasitas)

- r : Diskon
- n : Masa penggunaan

Umumnya LCOE dihitung berdasarkan usia sebuah pembangkit tenaga listrik yang berkisar antara 20 hingga 40 tahun, dan kemudian diberikan dalam satuan mata uang per *kilowatt-hour* atau *megawatt-hour*, contoh USD/kWh atau Rp./kWh. Secara khusus faktor kapasitas adalah faktor paling signifikan dalam menentukan biaya LCOE.

BAB II PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Air di Indonesia

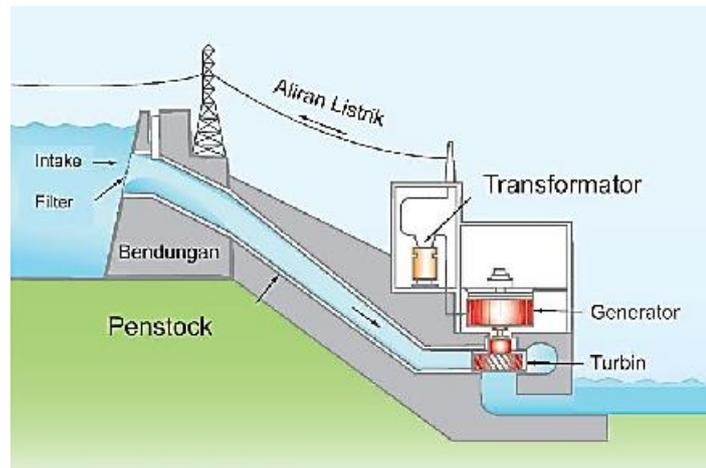
Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Cirata merupakan salah satu pembangkit listrik tenaga air yang terdapat di Indonesia, PLTA Cirata juga merupakan PLTA terbesar di Asia Tenggara dengan kapasitas pembangkitan sebesar 1.008 *megawatt* (MW). PLTA Cirata dibangun menggunakan desain *power house* yang berada di bawah tanah. PLTA ini dioperasikan oleh PT. Pembangkitan Jawa Bali (PJB) Persero. PT. PJB merupakan anak cabang usaha dari PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) Persero.



Gambar 7. Pembangkit Listrik Tenaga Air Cirata
(Sumber: Tri Indonesia)

2.2. Prinsip Kerja PLTA

Pembangkit listrik tenaga air merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi potensial dari jatuhnya air akibat gravitasi untuk membangkitkan energi listrik. pembangkit ini sering juga disebut sebagai pembangkit *hydroelectric*.



Gambar 8. Ilustrasi Prinsip Kerja PLTA

Prinsip kerja PLTA adalah memanfaatkan energi potensial yang dihasilkan oleh tekanan air, kemudian diubah menjadi energi mekanik oleh turbin. Ketika energi potensial di terima oleh turbin, energi potensial akan diubah menjadi energi mekanik oleh turbin. Kemudian energi mekanik disalurkan kepada generator melalui poros untuk menghasilkan energi listrik. besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh PLTA di pengaruhi oleh dua hal, yaitu:

1. Ketinggian Jatuh Air
Semakin tinggi air yang jatuh maka semakin besar energi potensial yang dihasilkan oleh air tersebut.
2. Jumlah Air Jatuh (Debit Air)
Semakin banyak air yang mengalir maka akan semakin cepat putaran turbin, semakin cepat putaran turbin maka akan semakin besar daya listrik yang dihasilkan.

Daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga air dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P \text{ (kW)} = 9,8 H \times Q$$

Dimana :

P = Tenaga yang dihasilkan (kW)

H = Tinggi jatuh air (m)

Q = Debit air (m³/detik)

Daya yang dikeluarkan oleh *generator* dapat diperoleh dari perkalian efisiensi turbin dan *generator* dengan daya yang dihasilkan secara teoritis. Daya yang dihasilkan adalah hasil dari perkalian dari tinggi jatuh dan debit air. Maka dari itu keberhasilan pembangkit tenaga listrik tergantung dari usaha untuk mendapatkan tinggi jatuh dan debit air yang efektif.

Curah Hujan

Hujan merupakan salah satu fenomena atmosferis yang terjadi melalui proses kondensasi, uap air yang terkumpul di dalam atmosfer kemudian membentuk kumpulan air yang disebut sebagai awan. Ketika butiran atau kumpulan air yang terdapat pada atmosfer memiliki massa yang terlalu berat maka akan terjadi hujan.

Pengukuran curah hujan dinyatakan dengan mengukur ketinggian air di dalam suatu tabung dengan satuan mm. untuk mengukur curah hujan digunakan alat ukur hujan (*rain gauge*).

Tabel 1. Intensitas Hujan

Derajat Hujan	Intensitas (mm/menit)	Kondisi
Sangat Lemah	< 0.02 mm	Tanah sedikit basah.
Lemah	0.02 – 0.05 mm	Tanah basah menyeluruh namun hujan tidak menggenang.
Normal	0.05 – 0.25mm	Terdapat genangan air sebagian di permukaan tanah.
Deras	0.25 – 1 mm	Terdapat genangan air di seluruh permukaan tanah.
Sangat Deras	>1 mm	Terdapat genangan di seluruh permukaan tanah, drainase meluap.

Debit Air

Debit air adalah nilai volume air yang mengalir melalui suatu penampang sungai tertentu per satuan waktu. Debit air dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya, curah hujan, kondisi geologis, temperatur atau suhu lingkungan, fauna dan lain sebagainya. Nilai debit air selalu berubah pada setiap musimnya, hal ini dikarenakan debit air dipengaruhi oleh nilai curah hujan, sedangkan nilai curah hujan juga fluktuatif pada setiap musim. Nilai curah hujan dan debit air bersifat konstan dan saling berhubungan.

Terdapat dua cara untuk mengukur nilai debit air sungai:

1. Kecepatan rata-rata dari aliran air sungai.
2. Pengamatan tinggi permukaan air.

2.3. Macam Daya yang Dihasilkan Pembangkit

Daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga air dapat digolongkan sebagai berikut:

- a. Daya maksimum, yaitu daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga air.

- b. Daya pasti (*firm output*), yaitu daya yang dibangkitkan selama 355 hari untuk pembangkit listrik tenaga air jenis aliran langsung dan 365 hari untuk pembangkit listrik tenaga air jenis bendungan (*Reservoir*).
- c. Daya puncak, yaitu daya yang dihasilkan pada jam-jam tertentu setiap harinya dalam 355 atau 365 hari dalam setahun. Umumnya daya puncak hanya terjadi 4 jam dalam sehari.
- d. Daya puncak khusus, yaitu daya yang dihasilkan setiap hari oleh pembangkit listrik tenaga air tanpa pembatasan jam operasi dalam musim hujan dikurangi dengan daya pasti.
- e. Daya penyediaan, yaitu daya yang dapat dibangkitkan dalam musim kemarau dengan menggunakan simpanan air didalam waduk yang dikumpulkan selama musim hujan dikurangi dengan daya pasti.

Klasifikasi PLTA Berdasarkan Daya dan Head

PLTA dapat di klasifikasikan berdasarkan daya yang dihasilkan, PLTA dapat diimplementasikan baik untuk kegunaan industri atau hanya kegunaan sebagai pembangkit kecil.

Tabel 2. Klasifikasi PLTA Berdasarkan Kapasitas Pembangkitan

No	Nama	Kapasitas Pembangkitan
1	PLTA <i>Picohydro</i>	< 0,5 KW
2	PLTA <i>Microhydro</i>	0,5 sampai 100 KW
3	PLTA <i>Minihydro</i>	100 sampai 1000 KW
4	PLTA <i>Skala Kecil</i>	1 sampai 10 MW
5	PLTA <i>Skala Besar</i>	>10 MW

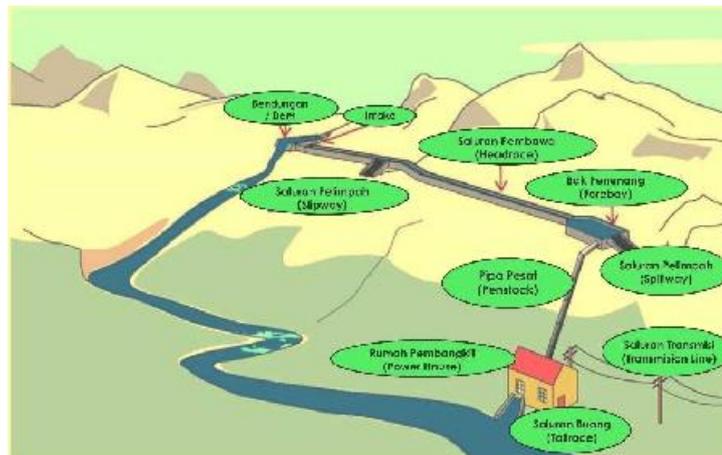
Tabel 3. Klasifikasi PLTA Berdasarkan Ketinggian *Head*

No	Nama	Ketinggian
1	<i>Head Rendah</i>	2 sampai 30 Meter
2	<i>Head Menengah</i>	30 sampai 100 Meter
3	<i>Head Tinggi</i>	>100 Meter

Klasifikasi PLTA Berdasarkan Desain

1. PLTA *Run of River*

Gambar di bawah mengilustrasikan skema pembangkit listrik tenaga air *run of river*, air diambil dari sungai dengan mengalihkannya melalui suatu saluran air. Sebelum air mengalir menuju turbin, air melewati tangki pengendapan dimana air diperlambat untuk mengendapkan kotoran atau endapan yang mengalir bersama air sebelumnya. Sebuah pipa tekanan atau disebut sebagai *penstock* mengalirkan air dari tangki pengendapan menuju turbin.



Gambar 9. PLTA *Run of River*

2. PLTA *Reservoir*

PLTA *Reservoir* (Waduk) merupakan jenis pembangkit listrik tenaga air yang memanfaatkan bendungan atau waduk untuk meningkatkan ketinggian air sehingga akan meningkatkan energi potensial yang dihasilkan oleh air itu sendiri.



Gambar 10. PLTA *Reservoir*
(Sumber: Pinterest)

PLTA *reservoir* memiliki keunggulan dibandingkan jenis *Run of River* karena debit air dapat diatur sesuai dengan kebutuhan serta ketika kemarau air dapat dipompakan kembali menuju waduk. PLTA jenis *Reservoir* terbagi menjadi dua jenis yaitu:

a. PLTA Kolam Pengatur (*Regulating Pond*)

PLTA jenis ini memanfaatkan area yang luas untuk mengatur jumlah debit air yang mengalir kepada turbin. PLTA dengan kolam pengatur ini merupakan jenis PLTA yang paling banyak digunakan di Indonesia.



Gambar 11. *Regulating Pond*
(Sumber : *ResearchGate*)

b. PLTA Pompa (*Pumped Storage*)

PLTA Pompa (*pumped storage*) merupakan jenis pembangkit listrik tenaga air yang memompakan kembali sisa air yang telah melewati turbin menuju dam atau *reservoir* untuk digunakan kembali. Proses pemompaan air ini biasanya dilakukan pada malam hari setelah melewati beban puncak (*Peak*). PLTA ini memiliki 2 saluran air yaitu saluran utama untuk mengalirkan air dari hulu ke hilir, dan saluran untuk memompa air dari hilir ke hulu.



Gambar 12. *Pumped Storage*

2.4. Komponen PLTA

Pembangkit Listrik Tenaga Air secara umum memiliki beberapa bagian yang digunakan di dalam proses pembangkitan tenaga listrik. Bagian-bagian tersebut di antaranya:

1. *Reservoir*

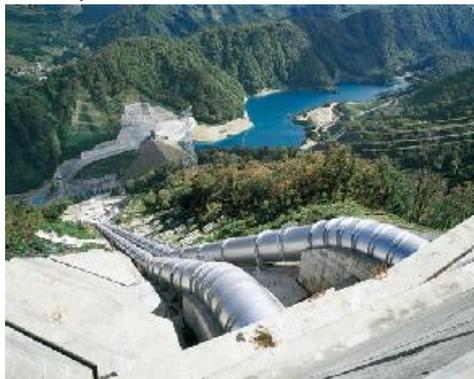
Reservoir ini berfungsi untuk menyimpan atau menaikkan tingkat permukaan air sehingga tinggi jatuh air dapat ditingkatkan yang akan berdampak pada besarnya energi potensial yang diterima oleh turbin.



Gambar 13. *Reservoir*
(Sumber: Wikipedia)

2. *Penstock*

Komponen ini berfungsi untuk mengarahkan aliran air dari bendungan menuju turbin. *Penstock* umumnya dapat dikonstruksikan dari baja ataupun menggunakan beton sebagai bahan dasarnya.



Gambar 14. *Penstock*
(Sumber : Wikipedia)

3. Turbin

Turbin *impuls* dan turbin reaksi adalah jenis turbin yang bekerja karena aliran air, salah satu contohnya adalah turbin jenis pelton. Turbin pelton merupakan turbin yang terdiri dari suatu rangkaian sudu-sudu yang diputar oleh aliran air. Air dipancarkan dari alat yang bernama *nozzle*. Turbin pelton merupakan salah satu jenis turbin air yang paling efisien dan turbin pelton sesuai untuk digunakan untuk pembangkit dengan *head* yang tinggi.



Gambar 15. Turbin
(Sumber: Zotloeterer)

Selain turbin pelton terdapat dua jenis turbin lagi yaitu turbin kaplan dan francis. Turbin kaplan merupakan turbin yang berjenis baling-baling atau *propeler*. Turbin kaplan umumnya digunakan pada kondisi *head* yang rendah namun dengan debit air yang tinggi. Selanjutnya adalah turbin francis. Turbin francis merupakan jenis turbin tekanan lebih. Turbin jenis francis digunakan pada ketinggian *head* sedang.

a. Turbin Pelton

Turbin pelton adalah jenis turbin *impulse*. Turbin ini ditemukan oleh Lester Allan Pelton pada tahun 1870. Turbin Pelton prinsip kerjanya adalah mengkonversi daya fluida dari air menjadi daya poros untuk memutar *generator* listrik. Turbin Pelton digunakan pada PLTA ataupun PLTMH dengan ketinggian *head* 50 hingga 1300 meter.



Gambar 16. Turbin Pelton

b. Turbin Kaplan

Turbin Kaplan merupakan turbin jenis baling-baling yang sudut kemiringan baling-balingnya dapat diatur. Turbin ini dikembangkan oleh Viktor Kaplan pada tahun 1913. Turbin Kaplan dapat digunakan pada PLTA atau PLTMH dengan ketinggian *head* dari 2 hingga 40 meter dengan kecepatan putaran 50 hingga 430 rpm.



Gambar 17. Turbin Kaplan
(Sumber: Global Hydro Energy)

c. Turbin Francis

Turbin Francis adalah turbin air yang dikembangkan oleh James B. Francis. Turbin ini adalah turbin jenis reaksi yang menggabungkan antara konsep aliran radial dan aksial. Turbin ini dapat digunakan pada PLTA atau PLTMH dengan ketinggian *head* 10 hingga 350 meter dengan kecepatan putaran 75 hingga 1000 rpm.



Gambar 18. Turbin Francis
(Sumber: Pinterest)

d. Turbin Banki-Michell

Turbin Banki-Michell sering juga disebut *Cross-Flow Turbine* adalah turbin air yang dikembangkan oleh Anthony Michell pada tahun 1903. Berbeda dengan turbin lainnya, pada turbin jenis ini air secara langsung melintasi bilah turbin. Turbin ini dapat digunakan pada PLTA atau PLTMH dengan ketinggian *head* 3 hingga 250 meter.



Gambar 19. Banki-Michell
(Sumber: Researchgate)

e. Turbin Turgo

Turbin Turgo adalah jenis turbin *impulse* yang dikembangkan oleh Gilkes pada tahun 1919. Energi potensial yang dihasilkan oleh air akan dikonversi menjadi energi kinetik oleh turbin ini. Turbin jenis ini merupakan turbin yang paling efisien dibandingkan turbin lainnya. Turbin ini dapat digunakan oleh PLTA atau PLTMH dengan ketinggian *head* 50 hingga 250 meter.



Gambar 20. Turbin Turgo
(Sumber: Hartvigsen Hydro)

4. *Generator*

Generator berfungsi untuk mengubah energi mekanik yang disalurkan oleh turbin menjadi energi listrik. Tegangan yang dihasilkan adalah tegangan bolak-balik dengan besar nilai tegangan dan nilai frekuensi yang disesuaikan dengan spesifikasi ketenagalistrikan di setiap negara.



Gambar 21. *Generator*
(Sumber: Saneca)

5. *Transformator*

Berfungsi untuk menaikkan tegangan yang dihasilkan oleh *generator*. Umumnya tegangan yang dihasilkan oleh *generator* 6,3 kilovolt (kV) hingga 11 kilovolt (kV) kemudian dinaikkan menjadi 20 kV atau 150 kV.



Gambar 22. *Transformator Step-Up*
(Sumber: Wikimedia)



2.5. Rangkuman

1. PLTA adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi potensial dari air sebagai bahan bakarnya.
2. Energi listrik yang dihasilkan oleh PLTA bergantung pada dua faktor yaitu tinggi jatuh air dan debit air.
3. Terdapat lima macam daya yang dihasilkan oleh pembangkit yaitu daya maksimum, daya pasti, daya puncak, daya puncak khusus dan daya penyediaan.
4. Terdapat dua jenis konstruksi PLTA yaitu *Run of River* dan *Reservoir*.
5. Pada PLTA jenis reservoir terbagi menjadi dua jenis konstruksi yaitu *Regulating Pond* (Kolam Pengatur/Waduk) dan *Pumped Storage*.
6. PLTA jenis *Pumped Storage* prinsip kerjanya adalah membangkitkan energi listrik ketika dibutuhkan dan mengembalikan air yang pada awalnya digunakan untuk pembangkitan menuju kolam penampungan kembali ketika pembangkit tidak dipergunakan.
7. PLTA jenis *Run of River* tidak memanfaatkan waduk atau bendungan untuk meningkatkan tekanan airnya. Melainkan air dilairkan menuju ke tempat yang lebih rendah untuk mendapat tekanan air yang optimal.
8. Terdapat lima jenis turbin yang dapat digunakan pada PLTA diantaranya adalah Turbin Turgo, Turbin Banki-Michell, Turbin Francis, Turbin Kaplan dan Turbin Pelton.
9. Tegangan yang dihasilkan oleh PLTA berkisar antara 6,3 kV sampai dengan 11 kV (*Kilo Volt*). Tegangan ini kemudian dinaikkan menjadi 20 atau 150 kV oleh *transformator Step Up*.
10. PLTS jenis *Pumped Storage* memiliki kelebihan dapat mengolah air yang telah digunakan untuk pembangkitan untuk digunakan kembali.



2.6. Latihan Soal

Pertanyaan :

1. Nama lain dari turbin *Cross-Flow Turbine* adalah...
Jawaban :
2. Jenis PLTA yang menghasilkan tenaga listrik lebih dari 10 MW adalah...
Jawaban :
3. Jenis *transformator* yang berfungsi untuk menurunkan tegangan adalah...
Jawaban :
4. PLTA yang menggunakan waduk untuk memperbesar tekanan air adalah PLTA jenis...
Jawaban :
5. Komponen yang berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan adalah...
Jawaban :

Kunci Jawaban :

1. Turbin Banki-Michell
2. PLTA Skala Besar
3. *Transformator Step-Down*
4. PLTA *Reservoir*
5. *Transformator*



2.7. Evaluasi

1. Berikut adalah salah satu pembangkit energi listrik yang menggunakan energi terbarukan sebagai bahan bakarnya, kecuali ...
 - a. PLTS
 - b. PLTA
 - c. PLTN
 - d. PLTB
 - e. PLTD
2. Besarnya energi listrik yang dapat dihasilkan oleh PLTA bergantung kepada ...
 - a. Curah Hujan
 - b. Putaran Angin
 - c. Tinggi Jatuh Air
 - d. Besar Debit Air
 - e. Berat Jenis Air
3. Jenis PLTA yang memanfaatkan aliran air sungai untuk membangkitkan energi listrik adalah PLTA ...
 - a. *PLTA Reservoir*
 - b. *PLTA Run of River*
 - c. *PLTA Pumped Storage*
 - d. *PLTA Run by River*
 - e. *PLTA Hybrid*
4. PLTA yang memanfaatkan tekanan air yang diperkuat atau ditinggikan adalah jenis PLTA ...
 - a. *PLTA Reservoir*
 - b. *PLTA Run of River*
 - c. *PLTA Pumped Storage*
 - d. *PLTA Run by River*
 - e. *PLTA Hybrid*
5. Turbin kaplan umumnya digunakan pada ketinggian *head* antara ...
 - a. 2 hingga 40 Meter
 - b. 12 hingga 45 Meter
 - c. 2 hingga 20 Meter
 - d. 50 hingga 100 Meter
 - e. 55 hingga 80 Meter
6. Jenis turbin yang paling efisien adalah turbin ...
 - a. Turbin Turgo
 - b. Turbin Kaplan
 - c. Turbin Banki-Michell
 - d. Turbin Pelton
 - e. Turbin Francis

7. Turbin turgo dapat digunakan pada *head* dengan ketinggian antara ...
 - a. 2 hingga 40 Meter
 - b. 12 hingga 45 Meter
 - c. 2 hingga 20 Meter
 - d. 50 hingga 250 Meter
 - e. 55 hingga 80 Meter
8. Jenis turbin yang derajat atau sudut kemiringan sudu-sudunya dapat diatur adalah turbin ...
 - a. Turbin Turgo
 - b. Turbin Kaplan
 - c. Turbin Banki-Michell
 - d. Turbin Pelton
 - e. Turbin Francis
9. Jenis turbin yang beroperasi pada kecepatan antara 40 hingga 430 rpm adalah turbin ...
 - a. Turbin Turgo
 - b. Turbin Kaplan
 - c. Turbin Banki-Michell
 - d. Turbin Pelton
 - e. Turbin Francis
10. Komponen yang berfungsi untuk menaikkan tegangan pembangkit tenaga listrik adalah ...
 - a. *Capacitor Bank*
 - b. *Transformator*
 - c. *Valve*
 - d. *Generator*
 - e. Turbin

BAB III PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP

3.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap di Indonesia

PLTU Paiton merupakan salah satu industri pembangkit tenaga listrik di Indonesia yang dimiliki oleh PT. Paiton *Energy* yang dalam operasi pembangkitannya dikelola oleh PT. Pembangkitan Jawa Bali (PJB). PLTU Paiton terletak di Kecamatan Paiton, Probolinggo, Jawa timur dengan kapasitas pembangkitan sebesar 800 megawatt (MW). Dalam operasinya PLTU ini tidak menggunakan bahan bakar minyak sebagai sumber energi utamanya, sumber energi utama yang digunakan adalah batu bara.

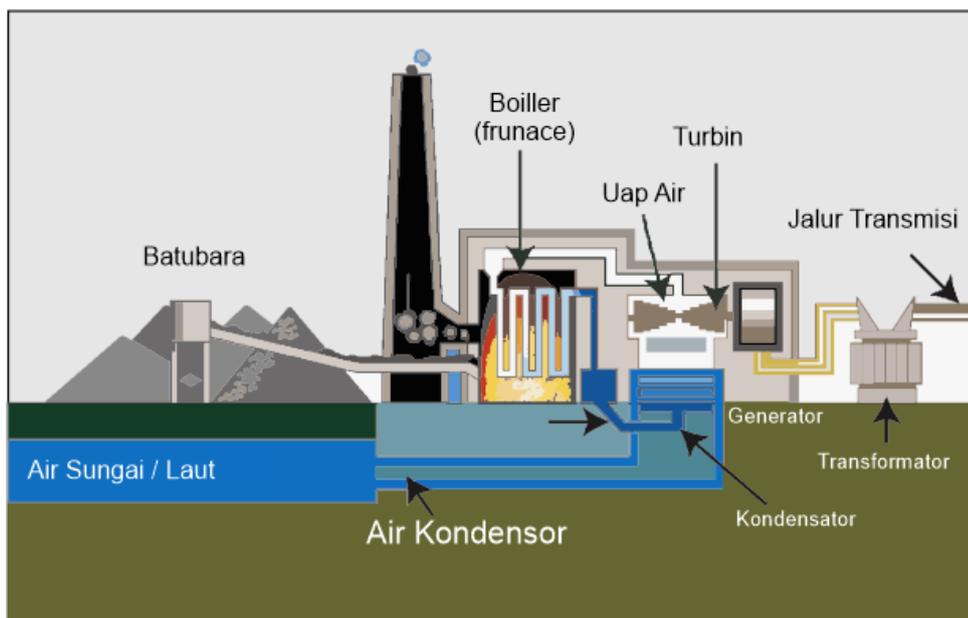


Gambar 23. PLTU Paiton
(Sumber: Wikipedia)

3.2. Prinsip Kerja PLTU

Pembangkit listrik tenaga uap adalah pembangkit listrik yang menggunakan energi kinetik dari uap air untuk menghasilkan energi listrik. PLTU menggunakan siklus Rankine di dalam proses operasinya. Siklus Rankine adalah siklus termodinamika yang mengubah panas menjadi kerja. PLTU memiliki 3 siklus konversi energi dalam operasinya, yaitu:

1. Konversi energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas dalam bentuk uap bertemperatur dan bertekanan tinggi.
2. Konversi energi panas menjadi energi mekanik untuk memutar generator.
3. Konversi energi mekanik menjadi energi listrik.



Gambar 24. Ilustrasi Prinsip Kerja PLTU

PLTU bekerja dengan siklus air tertutup (*closed loop*). Siklus tertutup adalah siklus air yang digunakan secara berulang-ulang. siklus kerja dari PLTU jika dideskripsikan adalah sebagai berikut:

1. Air dimasukkan ke dalam *boiler*.
2. Campuran antara bahan bakar dan udara akan memanaskan air di dalam *boiler* hingga menjadi uap.
3. Uap yang dihasilkan oleh *boiler* masuk ke dalam sudu-sudu turbin kemudian memutar turbin. Turbin memiliki satu poros dengan generator, sehingga dengan berputarnya turbin maka generator sudah menghasilkan energi listrik.
4. Uap yang telah melewati turbin kemudian didinginkan di dalam kondensator, tujuan untuk mendinginkan uap adalah agar uap berubah wujud kembali menjadi air. Proses kondensasi dibantu oleh aliran air baik dari *cooling tower* maupun air yang bisa didapatkan secara langsung dari lingkungan seperti laut.

5. Setelah uap air berubah menjadi cair, air akan di sirkulasi kembali ke dalam *boiler* dengan bantuan pompa air.

Terdapat beberapa jenis bahan bakar yang dapat digunakan untuk memanaskan air di dalam *boiler*, diantaranya:

1. Gas (*Liquid Petroleum Gas, Hydrogen, Biogas*).
2. *Biomass*.
3. *Geothermal* (Panas Bumi).
4. Nuklir.

3.3. Bagian-bagian PLTU

Sistem Pembangkit tenaga listrik tenaga uap memiliki beberapa komponen utama dan komponen pendukung, yaitu:

1. *Boiler*

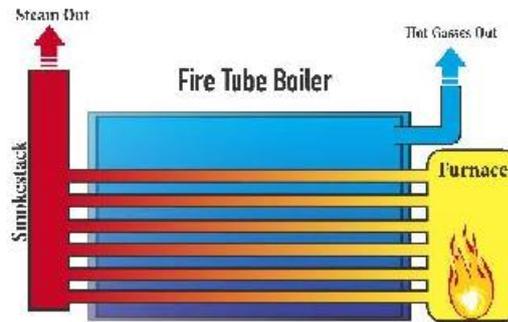
Boiler atau penguap adalah sebuah alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan uap. Uap dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar seperti batu bara. Didalam *boiler* terdapat dua sistem diantaranya adalah sistem air dan sistem bahan bakar. Sistem air atau uap terdiri dari dua katup yaitu sistem air masuk (*water-inlet*) dan uap air keluar (*steam-outlet*). Sistem *water-inlet* mengatur jumlah komposisi air yang masuk kemudian *steam outlet* mengatur jumlah uap air yang keluar. Berikut ini adalah beberapa jenis boiler yang terdapat pada PLTU;



Gambar 25. *Boiler*
(Sumber: General Electric)

- a. *Fire Tube Boiler*

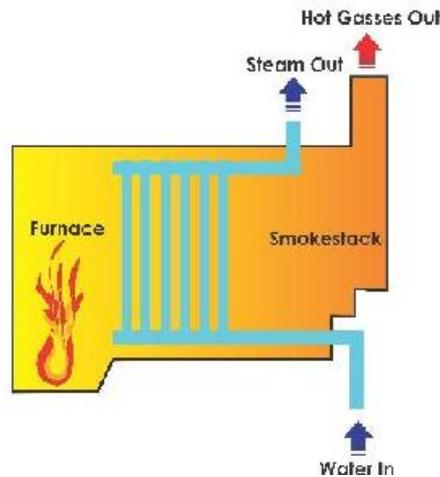
Prinsip kerja dari *fire tube boiler* adalah memanfaatkan induksi *thermal* atau panas hasil pembakaran bahan bakar pada dinding *boiler* untuk menciptakan uap. Selain digunakan pada pembangkit, *boiler* jenis ini sering digunakan pada lokomotif uap.



Gambar 26. Fire Tube Boiler

b. *Water Tube Boiler*

Water tube boiler adalah jenis *boiler* yang menyirkulasikan air didalam tabung, air dipanaskan secara eksternal oleh pembakaran bahan bakar. Berbeda dengan *fire tube boiler* yang menyirkulasikan gas panas hasil pembakaran.



Gambar 27. Water Tube Boiler

c. *Packaged Tube Boiler*

Packaged tube boiler merupakan jenis *boiler* yang digunakan pada pembangkit energi listrik skala kecil. Ukuran jenis *boiler* ini memungkinkan *boiler* untuk dapat dipindahkan atau dipasang pada lokasi-lokasi yang kecil.



Gambar 28. Packaged Tube Boiler
(Sumber: Perry Videx)

2. Turbin

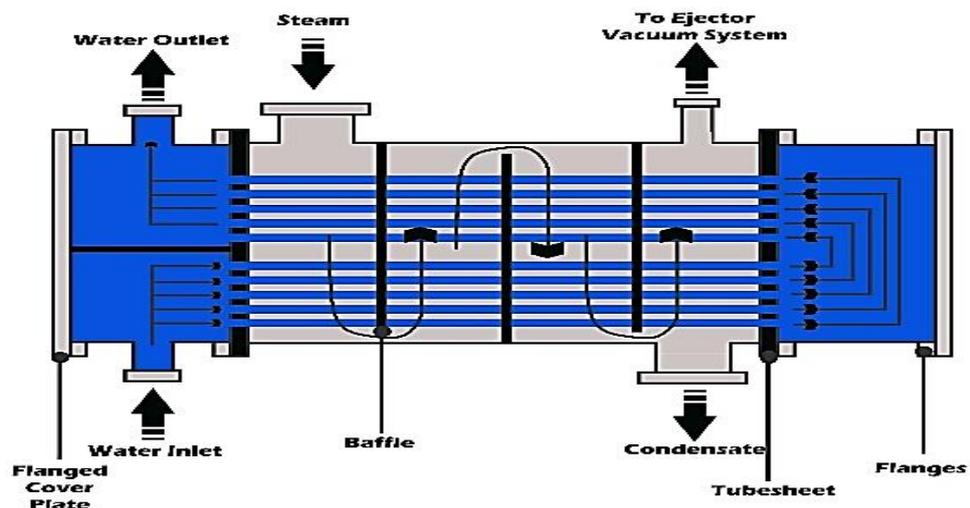
Turbin uap merupakan komponen di dalam sistem PLTU yang mengubah energi panas menjadi energi gerak. Uap air yang sebelumnya telah dipanaskan oleh *boiler* menjadi bertekanan, tekanan itulah yang dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin. Turbin memiliki baling-baling yang di desain untuk dapat menerima tekanan uap air kemudian menghasilkan energi mekanik.



Gambar 29. Turbin
(Sumber: Siemens)

3. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk mengkondensasi sisa uap air yang telah melewati turbin untuk diubah menjadi cair untuk disirkulasikan kembali ke dalam sistem. Kondensor dibantu oleh cairan pendingin dalam proses kerjanya seperti air, gas hidrogen dan lain sebagainya.



Gambar 30. Kondensor

4. Generator

Generator adalah komponen yang membangkitkan energi listrik dengan mengubah energi mekanik. *Generator* yang digunakan dalam sistem pembangkit adalah *generator* arus bolak-balik dengan tegangan dan frekuensi yang disesuaikan di setiap negaranya. Sebagai contoh Jerman memiliki spesifikasi tegangan 220V/60 Hz, dan Indonesia memiliki spesifikasi tegangan 220V/50Hz.



Gambar 31. *Generator*
(Sumber: Saneca)

5. *Desalination Plant*

Desalination Plant adalah komponen pendukung pembangkit listrik tenaga air, fungsi utama dari bagian ini adalah mengubah air laut menjadi air tawar menggunakan metode penyulingan. Hal ini ditujukan untuk menghilangkan sifat korosif dari air laut. Air hasil desalinasi kemudian digunakan sebagai air pendingin kondensor.



Gambar 32. *Desalination Plant*
(Sumber: Utilities Middle East)

6. *Demineralizer*

Demineralizer berfungsi untuk menghilangkan kandungan mineral di dalam air. Sebagai fluida dalam sistem pembangkitan air disyaratkan untuk terbebas dari mineral seperti besi dan sebagainya. Air yang mengandung mineral memiliki tingkat konduktivitas yang tinggi sehingga berisiko menyebabkan kegagalan sistem kelistrikan maupun korosi di dalam sistem fluida.



Gambar 33. *Demineralizer*
(Sumber: Research Gate)

7. *Chlorination Plant*

Unit ini berfungsi untuk menghasilkan senyawa kimia natrium *hipochlorit* (NaOCl) yang difungsikan untuk memanipulasi kesadaran mikroorganismen laut. Hal ini ditujukan untuk meminimalisir risiko perkembangbiakan mikroorganismen di dalam saluran pipa.



Gambar 34. *Chlorination Plant*

(Sumber: Halmar)

8. *Coal Handling Unit*

Coal Handling Unit atau unit pengolahan batu bara adalah unit yang bertanggung jawab atas distribusi batu bara di dalam pembangkit tenaga listrik uap. Unit pengolahan batu bara bekerja mulai dari kedatangan batu bara, penghancuran batu bara dan *feeding* batu bara ke dalam *boiler*.



Gambar 35. *Coal Handling Unit*

(Sumber: Ducon)

9. *Ash Handling Unit*

Ash Handling Unit atau unit pengolahan abu merupakan unit yang bertanggung jawab atas sisa bahan bakar hasil dari pembakaran. Didalam *ash handling unit* terdapat komponen tambahan yaitu *filter* untuk memfiltrasi sisa abu pembakaran sehingga tidak mencemari lingkungan.

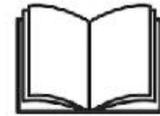


Gambar 36. *Ash Handling Unit*
(Sumber: LGM Industries)



3.4. Rangkuman

1. Pembangkit listrik tenaga uap merupakan jenis pembangkit listrik konvensional yang menggunakan bahan bakar batu bara atau tidak terbarukan.
2. Pembangkit listrik tenaga uap memanfaatkan panas yang dihasilkan dari pembakaran batu bara hingga memanaskan air hingga menjadi uap didalam *boiler*.
3. Siklus yang digunakan adalah siklus tertutup (*close loop*) yaitu fluida yang digunakan selalu digunakan secara berulang-ulang.
4. Fluida yang digunakan dalam hal ini adalah air.
5. Bahan yang digunakan untuk mendinginkan uap air diantaranya adalah air laut, gas hidrogen, refrigerasi dan sebagainya.
6. Terdapat tiga jenis boiler yaitu *Fire tube boiler*, *Packaged boiler* dan *Water tube boiler*.
7. *Desalination plant* merupakan perangkat pembangkit yang berfungsi untuk menetralkan kadar garam pada air laut yang akan digunakan sebagai media pendingin uap air.
8. *Chlorination plant* adalah perangkat yang digunakan untuk memberikan kandungan klorin pada media pendingin, hal ini ditujukan untuk mematikan mikroorganisme yang dapat tumbuh dan menyumbat saluran pendinginan uap air.
9. *Coal handling unit* adalah bagian pembangkit yang bertanggung jawab untuk mensuplai batu bara kedalam *boiler*. Batu bara yang disuplai ke dalam *boiler* adalah batu bara yang sudah berbentuk abu atau ash.
10. *Ash handling unit* merupakan bagian yang berfungsi untuk mengontrol abu sisa pembakaran batu bara.



3.5. Latihan Soal

Pertanyaan :

1. Komponen yang berfungsi sebagai penyalur tenaga dari turbin menuju generator adalah...
Jawaban :
2. Jenis pendingin yang digunakan untuk mendinginkan sisa uap air pada PLTU adalah...
Jawaban :
3. Jenis *boiler* yang mempunyai kemudahan dalam hal mobilitas adalah *boiler*...
Jawaban :
4. Komponen yang berfungsi untuk me-minimalisir kemungkinan terjadinya korosi pada sistem fluida PLTU adalah...
Jawaban :
5. Jenis sistem yang digunakan pada PLTU adalah...
Jawaban :

Kunci Jawaban :

1. Poros / As.
2. Air Laut
3. *Packaged Tube Boiler*
4. *Demineralizing Unit*
5. *Close Loop*



3.6. EVALUASI

1. Siklus yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap adalah...
 - a. Hidrologi
 - b. Kinetik
 - c. Aestetik
 - d. Carnot
 - e. Rankine
2. Komponen pembangkit listrik tenaga air yang berfungsi untuk memanaskan air menjadi uap adalah...
 - a. *Transformator*
 - b. *Filter*
 - c. Turbin
 - d. *Boiler*
 - e. Kondensor
3. Komponen pembangkit listrik tenaga air yang berfungsi untuk mendinginkan uap air menjadi cairan adalah ...
 - a. *Transformator*
 - b. *Filter*
 - c. *Kondensor*
 - d. Turbin
 - e. *Boiler*
4. Salah satu jenis boiler yang dapat digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap adalah ...
 - a. *Fire tube boiler*
 - b. *Air tube boiler*
 - c. *Air packaged boiler*
 - d. *Steam boiler*
 - e. *Turbine boiler*
5. Dalam proses pendinginan uap air, kondensor dibantu dengan fluida pendingin yaitu....
 - a. Hidrogen
 - b. Air radiator
 - c. *Refrigerant*
 - d. Udara
 - e. *Peltier*
6. Komponen bantu pada pembangkit listrik tenaga uap yang berfungsi untuk menghilangkan kadar garam dari air laut adalah...
 - a. *Ash plant*
 - b. *Desalination plant*
 - c. *Demineralizer*
 - d. *Kondensor*
 - e. *Konveyor*

7. Komponen bantu pada pembangkit listrik tenaga uap yang berfungsi untuk menghilangkan mineral dari air laut adalah ...
 - a. *Ash plant*
 - b. *Desalination plant*
 - c. *Demineralizer*
 - d. *Kondensor*
 - e. *Konveyor*
8. *Chlorination plant* pada pembangkit listrik tenaga uap ditujukan untuk ...
 - a. Menghilangkan garam
 - b. Menghilangkan alga atau tumbuhan yang dapat tumbuh
 - c. Menghilangkan air
 - d. Menghilangkan uap air
 - e. Memfilter abu batu bara
9. Komponen pembangkit listrik tenaga uap yang berfungsi untuk mengatur supply bahan bakar adalah...
 - a. *Konveyor*
 - b. *Kompensator*
 - c. *Chlorination plant*
 - d. *Coal handling unit*
 - e. *Ash handling unit*
10. Komponen pembangkit listrik tenaga uap yang berfungsi untuk mengatur sisa hasil pembakaran adalah ...
 - a. *Konveyor*
 - b. *Kompensator*
 - c. *Chlorination plant*
 - d. *Coal handling unit*
 - e. *Ash handling unit*

BAB IV PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU

4.1. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Indonesia

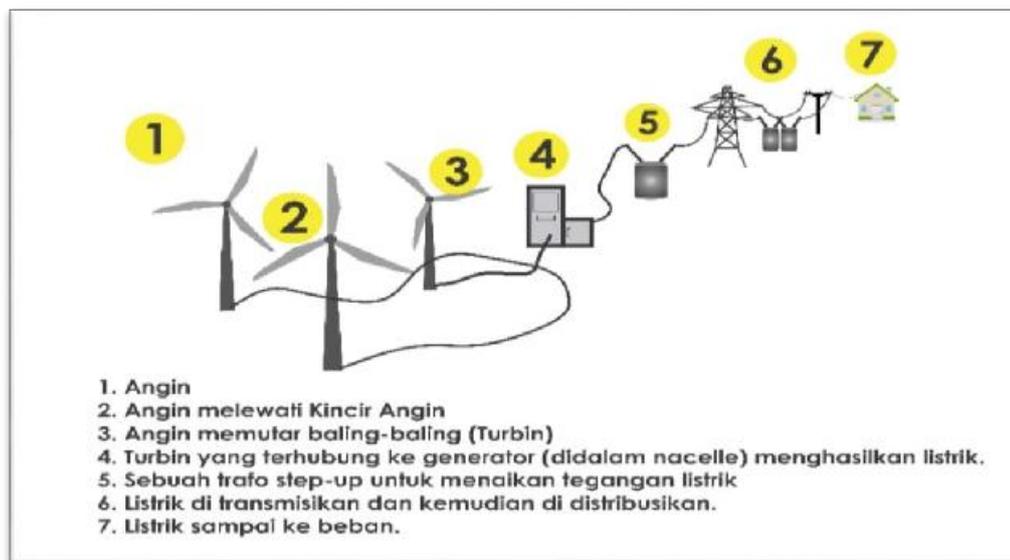
PLTB Sidrap merupakan pembangkit tenaga listrik pertama di Indonesia yang menggunakan energi baru terbarukan (EBT). PLTB Sidrap terletak di desa Mattirotasi, Kecamatan Watang Pulum, Kabupaten Sidrap, Sulawesi Selatan. Jumlah kincir angin yang ada adalah 30 unit dengan total daya listrik yang dibangkitkan sebesar 75 megawatt (MW).



Gambar 37. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sidrap
(Sumber: Sulselsatu)

4.2. Prinsip Kerja PLTB

PLTB merupakan pembangkit tenaga listrik yang mengubah energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik dengan bantuan bilah kincir angin, kemudian energi mekanik diubah kembali menjadi energi listrik oleh *generator* di dalam PLTB. Kriteria dari PLTB yang harus dipenuhi adalah kecepatan angin dan kestabilan angin. Umumnya tingkat kecepatan angin yang ideal bagi PLTB adalah 2 hingga 17 m/s dan stabil. Efisiensi yang bisa dihasilkan oleh PLTB adalah 59,3%.



Gambar 38. Ilustrasi Prinsip Kerja PLTB

Berikut adalah tabel kecepatan angin dengan tinggi alat ukur 10 meter dari permukaan tanah;

Tabel 4. Klasifikasi Angin

Kelas	Kecepatan m/s	Indikator
1	0,00 – 0,02	Tidak ada atau tidak terasa
2	0,3 – 1,5	Angin tenang , asap lurus ke atas
3	1,6 – 3,3	Asap mengikuti arah angin
4	3,4 – 5,4	Wajah merasakan angin, daun bergoyang
5	5,5 – 7,8	Ranting pohon bergoyang
6	8,8 – 10,7	Ranting pohon besar bergoyang
7	10,8 – 13,8	Air lumpang berombak kecil
8	13,9 – 17,1	Ujung pohon melengkung
9	17,2 – 20,7	Mematahkan ranting pohon
10	20,8 – 24,4	Rumah roboh
11	24,5 – 28,4	Menimbulkan kerusakan
12	28,5 – 32,6	Menimbulkan kerusakan parah
13	32,7 – 36,9	Tornado

4.3. Jenis – Jenis Angin

Angin merupakan gerakan udara yang mendatar dan sejajar dengan permukaan bumi yang terjadi dikarenakan perbedaan tekanan udara dari satu tempat ke tempat lainnya. Terdapat berbagai jenis angin diantaranya:

1. Angin Tetap

Angin tetap adalah angin yang memiliki arah hembusan yang sama pada setiap waktunya. Angin tetap terdiri atas dua jenis yaitu angin pasat dan angin anti-pasat. Angin pasat merupakan angin yang bergerak dari daerah subtropis menuju daerah tropis dan angin pasat adalah sebaliknya.

2. Angin Musim

Sesuai dengan namanya, angin musim adalah angin yang berhembus dengan interval waktu tertentu atau hanya pada musim-musim tertentu. Angin musim bergerak berlawanan arah pada setiap periodenya. Pada umumnya di Indonesia angin musim terjadi sebanyak 2 kali dalam setahun pada musim pertama adalah angin kering dan setengah tahun berikutnya adalah angin basah.

3. Angin Darat dan Laut

Angin darat adalah angin yang bertiup dari darat menuju lautan sedangkan angin laut adalah keterbaliknya. Jenis angin ini umumnya dimanfaatkan oleh nelayan tradisional pada jaman dahulu.

4. Angin Lembah

Angin lembah adalah angin yang bergerak dari lembah menuju ke puncak gunung. Umumnya angin ini bergerak pada siang hari

5. Angin Fohn

Angin Fohn merupakan angin yang sesuai dengan jenis hujan. Angin ini terjadi dikarenakan adanya gerakan udara yang naik ke pegunungan hingga lebih dari 200 meter.

4.4. Komponen PLTB

Sistem pembangkit listrik tenaga bayu memiliki beberapa komponen utama dan komponen pendukung, sebagai berikut:

1. Turbin Angin

Turbin angin adalah alat yang dapat memanfaatkan energi kinetik dari angin dan kemudian mengubah energi kinetik menjadi energi mekanik. Jenis turbin angin terbagi menjadi dua yaitu:

a. Turbin angin *horizontal*

Turbin angin jenis ini memiliki ciri-ciri yaitu poros dan generator listrik berada pada puncak menara. Keunggulan turbin jenis ini adalah karena turbin diletakkan pada ketinggian lebih dari 15 meter, maka paparan angin akan lebih besar.



Gambar 39. Turbin Angin Horizontal
(Sumber: Wikipedia)

b. Turbin angin vertikal

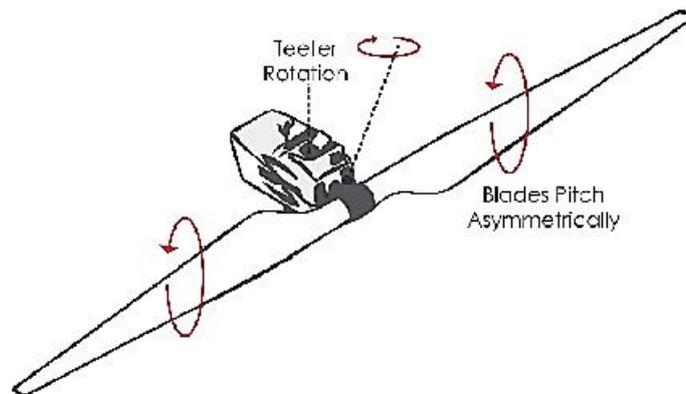
Turbin angin jenis ini memiliki ciri-ciri poros dan generator disusun berdiri atau tegak lurus. Keunggulan turbin jenis ini adalah turbin dapat menerima angin yang arah hembusannya bervariasi.



Gambar 40. Turbin Angin Vertikal
(Sumber: Wikipedia)

2. *Pitch Control*

Komponen ini adalah komponen motor yang berfungsi untuk mengatur sudut derajat dari bilah-bilah turbin. Sehingga memungkinkan turbin untuk mendapatkan kualitas dan kekuatan angin yang paling baik.



Gambar 41. *Pitch Control*

3. *Nacelle*

Nacelle adalah komponen pelindung atau rumah bagi seluruh komponen yang ada didalam turbin dan generator PLTB. Di dalam *nacelle* terdapat beberapa komponen yaitu;

- a. *Gearbox*.
- b. *Generator*.
- c. *Low and High Speed Shaft*, dan lain sebagainya.



Gambar 42. *Nacelle*
(Sumber: Expert Herald)

4. *Shaft*

Shaft atau poros merupakan komponen mekanik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga mekanik dari satu tempat ke tempat yang lain. Di dalam PLTB poros terbagi menjadi dua yaitu poros utama dan poros sekunder. Poros utama digunakan untuk menyalurkan energi mekanik dari turbin menuju *gearbox* atau transmisi. Poros kedua digunakan untuk menyalurkan energi mekanik dari *gearbox* atau transmisi menuju generator.



Gambar 43. *Shaft*
(Sumber: Centa Power)

5. *Gearbox*

Gearbox atau transmisi merupakan komponen mekanik yang berfungsi untuk mengubah kecepatan putaran baik dari tinggi menuju putaran lambat maupun sebaliknya dengan satuan rasio sebagai contoh 1:50. Pada PLTB jenis transmisi yang diperlukan adalah mengubah kecepatan rendah menuju kecepatan tinggi yaitu dengan rasio 90:1. Putaran pada turbin rata-rata hanya 20 rpm sedangkan generator membutuhkan minimal 1500 rpm untuk mencapai tegangan nominalnya.



Gambar 44. *Gearbox*
(Sumber: Research)

6. *Brakes*

Komponen *Brakes* atau rem berfungsi untuk memelankan atau menghentikan laju putaran turbin jika diperlukan. Jenis rem yang digunakan adalah cakram. Keuntungan rem cakram adalah panas akibat gesekan kampas mudah terbang karena piringan cakram secara langsung terekspos dengan udara lingkungan. Berbeda dengan rem tromol yang tertutup oleh pelindung besi.



Gambar 45. *Disc Brakes*
(Sumber: Pelican Parts)

7. *Generator*

Generator adalah komponen PLTB yang mengubah energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin menjadi energi listrik. *Generator* yang digunakan adalah generator arus bolak-balik jenis sinkron yang tegangannya disesuaikan dengan spesifikasi tegangan setiap negara.



Gambar 46. *Generator*
(Sumber: CCME)

8. *Yaw*

Yaw Gear merupakan komponen yang dapat mengubah arah dari turbin PLTB sesuai dengan arah angin yang tersedia. *Yaw Gear* berfungsi untuk memaksimalkan potensi udara yang bisa didapat oleh PLTB.



Gambar 47. *Yaw Gear*
(Sumber: Kluber)

9. Akumulator

Akumulator merupakan peralatan penyimpan energi listrik. Selain untuk menyimpan energi listrik, akumulator juga berfungsi sebagai penstabil tegangan. Pada pembangkit listrik tenaga bayu, akumulator berfungsi untuk menyimpan energi listrik dikarenakan angin yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik tidak selalu tersedia selama 24 jam. Maka dari itu diperlukan akumulator untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan selama pembangkit bekerja.

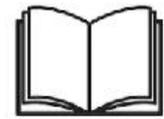


Gambar 48 – Akumulator
(Sumber: Storage Battery Systems LLC)



4.5. Rangkuman

1. Pembangkit listrik tenaga bayu merupakan salah satu pembangkit tenaga listrik yang menggunakan energi terbarukan sebagai bahan bakarnya.
2. PLTB bekerja dengan prinsip merubah energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik dengan menggunakan turbin dan kemudian dirubah kembali menjadi energi listrik oleh generator.
3. Terdapat dua jenis turbin didalam pembangkit listrik tenaga bayu, yaitu; (a) turbin horizontal, (b) turbin vertikal.
4. Kelebihan dari turbin horizontal adalah turbin jenis ini memiliki daya penerimaan angin yang lebih baik daripada jenis vertikal.
5. Turbin jenis vertikal memiliki keunggulan mampu memanfaatkan angin dari segala penjuru arah dengan mudah berbeda dengan turbin horizontal yang harus disesuaikan dengan bantuan *yaw*.
6. *Gearbox* digunakan untuk merubah rasio percepatan yang dihasilkan oleh turbin sehingga didapatkan kecepatan yang optimal untuk menggerakkan generator.
7. *Shaft* merupakan poros yang digunakan untuk menyalurkan putaran turbin menuju gearbox atau generator.
8. *Nacelle* adalah komponen yang digunakan sebagai pelindung komponen didalamnya, meliputi poros atau *shaft*, *generator* dan *gearbox*.
9. Piringan cakram digunakan sebagai media untuk memperlambat putaran turbin. Komponen ini digunakan umumnya ketika terjadi aliran angin yang terlalu tinggi.
10. *Battery* digunakan sebagai media penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh *generator*.



4.6. Latihan Soal

Pertanyaan :

1. Komponen yang berfungsi sebagai penyalur tenaga dari turbin menuju generator adalah...
Jawaban :
2. Jenis turbin angin yang mampu menangkap angin dari segala arah adalah turbin jenis...
Jawaban :
3. Jenis angin yang bergerak sesuai dengan hujan adalah angin...
Jawaban :
4. Komponen yang berfungsi untuk mengubah sudut kemiringan dari bilah turbin adalah...
Jawaban :
5. Komponen yang berfungsi untuk menghentikan putaran turbin angin adalah...
Jawaban :

Kunci Jawaban :

1. Poros / As.
2. Vertikal
3. Angin Fohn
4. *Pitch Control*
5. *Brakes*



4.7. EVALUASI

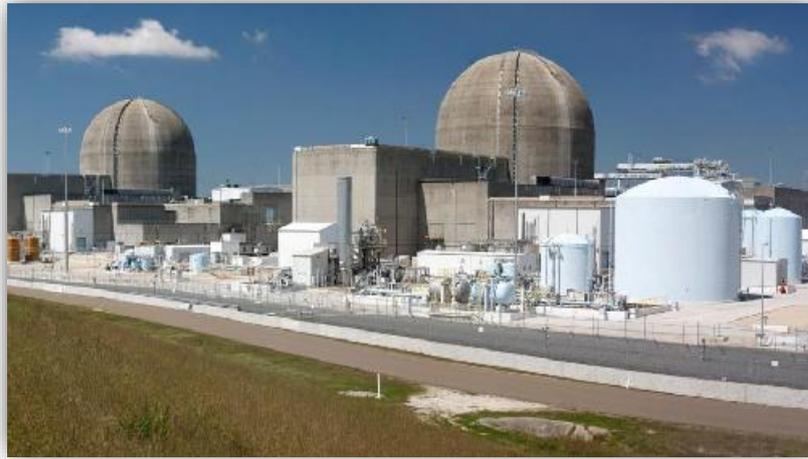
1. Energi apa yang dimanfaatkan oleh pembangkit listrik tenaga bayu untuk membangkitkan listrik...
 - a. Mekanik
 - b. Kinetik
 - c. Aestetik
 - d. Gerak
 - e. Potensial
2. Nilai efisiensi dari pembangkit listrik tenaga bayu sebesar...
 - a. 15,7 %
 - b. 59,3 %
 - c. 80 %
 - d. 58,6 %
 - e. 55,4 %
3. Kecepatan angin yang ideal untuk pembangkit listrik tenaga bayu adalah sebesar ...
 - a. 1,5 – 2 m/s
 - b. 2 – 11 m/s
 - c. 15 – 21 m/s
 - d. 10 – 22 m/s
 - e. 40 – 60 m/s
4. Angin yang bersifat bersiklus atau berulang-ulang dalam setiap tahunnya adalah angin ...
 - a. Angin tetap
 - b. Angin muson
 - c. Angin laut
 - d. Angin darat
 - e. Angin fohn
5. Turbin angin yang memiliki ciri-ciri generator berada pada puncak menara adalah....
 - a. Horizontal
 - b. Vertikal
 - c. Vortex
 - d. Hydra
 - e. Kombinasi
6. Komponen yang digunakan sebagai pengatur sudut kemiringan baling-baling pada pembangkit listrik tenaga bayu adalah...
 - a. *Pitch control*
 - b. *Nacelle*
 - c. *Gearbox*
 - d. *Shaft*
 - e. *Bearing*

7. Komponen yang digunakan untuk melindungi seluruh bagian dari pembangkit listrik tenaga bayu adalah ...
 - a. *Pitch control*
 - b. *Nacelle*
 - c. *Gearbox*
 - d. *Shaft*
 - e. *Bearing*
8. Komponen yang digunakan untuk mengubah momentum putaran atau jumlah putaran pada pembangkit listrik tenaga bayu adalah ...
 - a. *Pitch control*
 - b. *Nacelle*
 - c. *Gearbox*
 - d. *Shaft*
 - e. *Bearing*
9. Komponen yang digunakan untuk memutar arah baling-baling pada pembangkit listrik tenaga bayu adalah ...
 - a. *Pitch control*
 - b. *Nacelle*
 - c. *Gearbox*
 - d. *Yaw*
 - e. *Shaft*
10. Komponen yang digunakan untuk membatasi kecepatan putaran turbin pada pembangkit listrik tenaga bayu adalah ...
 - a. *Disc brake*
 - b. *Kompensator*
 - c. *Generator*
 - d. *Load*
 - e. *Bearing*

BAB V PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR

5.1. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir di Indonesia

Hingga tahun 2018, Indonesia belum memiliki pembangkit listrik tenaga nuklir yang dapat digunakan secara umum. Potensi PLTN di Indonesia sudah di teliti oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Lokasi yang paling memungkinkan untuk dibangunnya PLTN adalah Bangka Belitung dengan kapasitas pembangkitan 10.000 MW. Daerah lain yang berpotensi untuk dibangunnya PLTN adalah Jepara dengan alasan area tersebut merupakan area yang minim terjadi gempa mengingat Indonesia adalah negara yang termasuk di dalam *Ring of Fire*.

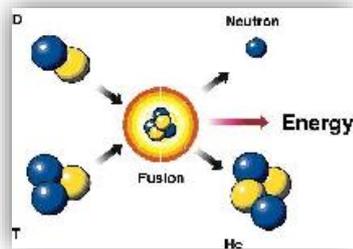


Gambar 49. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir
(Sumber: IAEA)

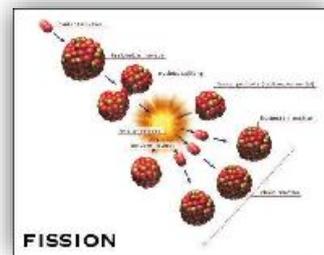
5.2. Prinsip Kerja PLTN

Prinsip kerja dari PLTN adalah memanfaatkan reaksi fisi dan fusi (pembelahan inti dan penggabungan) nuklir. Reaksi fusi adalah proses penggabungan dua inti atom membentuk sebuah inti atom yang lebih besar untuk melepaskan energi. Reaksi fusi nuklir merupakan reaksi yang menyebabkan bintang bersinar maupun bom hidrogen meledak. Sedangkan reaksi fisi adalah proses pembelahan inti atom diakibatkan oleh inti atom lain yang bertabrakan. Reaksi ini melepaskan energi dalam bentuk panas.

Bahan bakar yang digunakan dalam proses fusi dan fisi adalah *uranium*, *plutonium* dan *thorium* dengan simbol di dalam kimia U-235 atau U-238, P-239, dan TH90. Bahan bakar kimia untuk PLTN didapatkan dengan cara penambangan. Penambangan dapat dilakukan secara terbuka (*open pit*) maupun tertutup. Energi yang dihasilkan oleh bahan bakar PLTN seperti satu kilogram uranium setara dengan 2,4 juta kilogram batu bara.



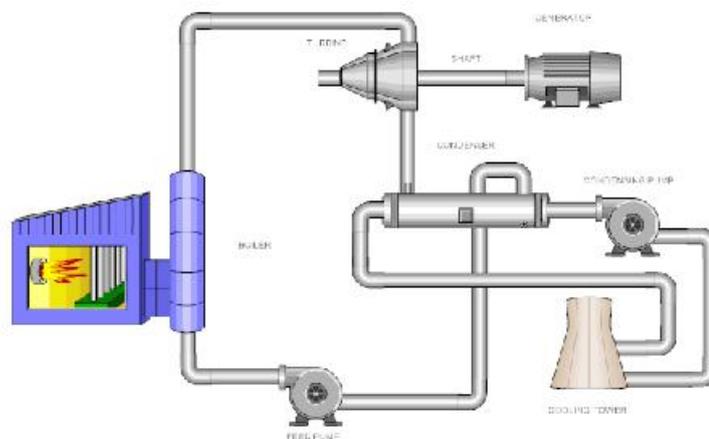
Gambar 50. Reaksi Fusi
(Sumber: Nuclear Technology)



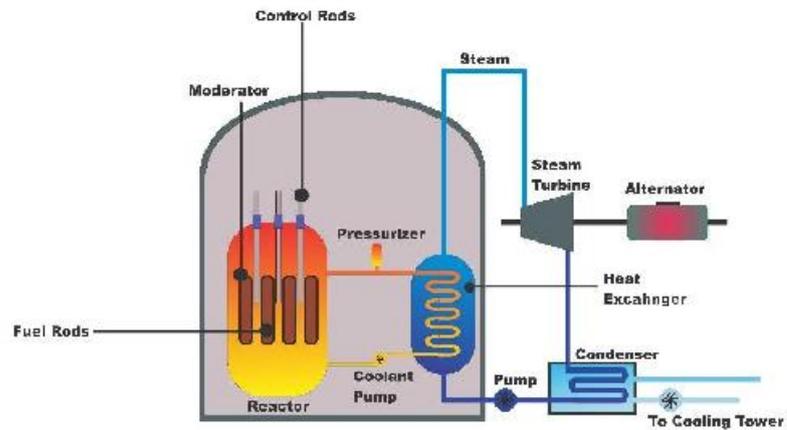
Gambar 51. Reaksi Fisi
(Sumber: Nuclear Technology)

5.3. Proses Kerja PLTN

Proses kerja PLTN hampir sama dengan proses kerja PLTU, perbedaan hanya pada proses pemanasan fluida sistemnya saja pada *boiler*. Jika di dalam PLTU pemanas air disebut *boiler*, pemanas air pada PLTN disebut sebagai Reaktor.



Gambar 52. Ilustrasi Sistem Kerja PLTU



Gambar 53. Ilustrasi Sistem Kerja PLTN

5.4. Jenis-Jenis Reaktor

1. *Pressurized Water Reactor* (PWR)

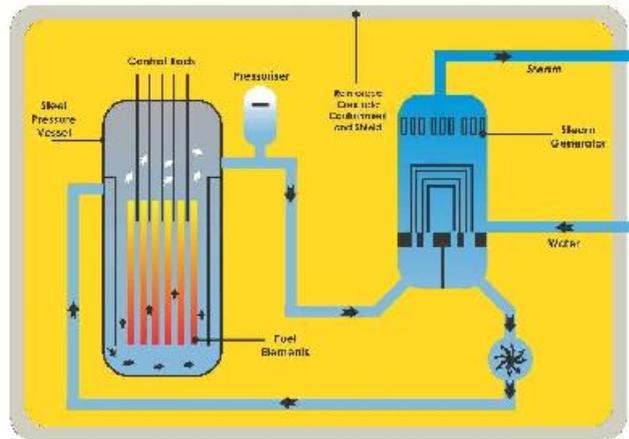
Reaktor PWR merupakan jenis reaktor yang paling banyak digunakan di seluruh dunia di antara jenis reaktor lainnya. Di dalam reaktor, fluida yang digunakan adalah air yang bertekanan tinggi yang disemurkan ke dalam inti reaktor yang panas diakibatkan oleh reaksi fisi dan fusi dari nuklir. Fluida yang berubah menjadi uap dialirkan menuju unit *steam generator* dimana unit ini akan memanaskan air hingga menjadi uap kemudian dialirkan menuju turbin. Fluida ketika memasuki reaktor bersuhu sekitar 275°C kemudian dipanaskan hingga bersuhu 315°C dengan tekanan uap air berkisar antara 2248 Psi. Tingkat efisiensi dari reaktor jenis ini adalah 34%.

Keunggulan Reaktor PWR

- Memiliki tingkat kestabilan sistem yang tinggi.
- Memiliki dua siklus yaitu siklus di dalam reaktor dan di dalam *steam generator*.

Kelemahan Reaktor PWR

- Tekanan air pendingin harus bertekanan tinggi.
- Biaya investasi cukup mahal karena harus menggunakan komponen yang tahan tekanan tinggi.
- Air pendingin menjadi korosif karena bertekanan tinggi.



Gambar 54. Ilustrasi Sistem PWR

2. *Boiling Water Reactor*

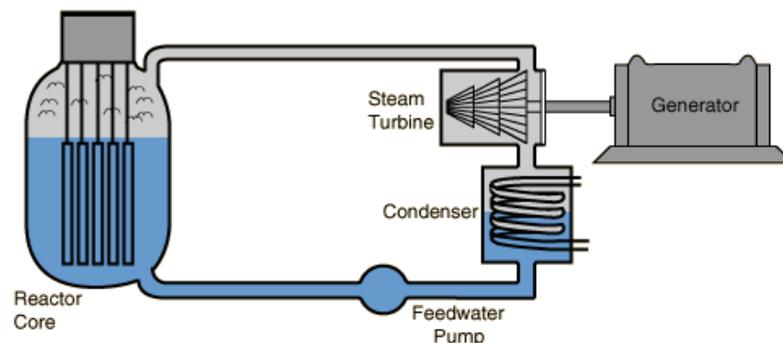
BWR merupakan jenis reaktor kedua yang paling banyak digunakan untuk PLTN di seluruh dunia. Perbedaan antara BWR dengan PWR adalah pada desainnya. Dalam reaktor BWR, inti reaktor akan memanaskan air hingga berubah menjadi uap dan menggerakkan turbin sedangkan di dalam sistem PWR reaktor tidak mengubah air menjadi uap melainkan memanaskan air saja karena proses perubahan air menjadi uap terjadi di *steam generator*. BWR menggunakan air yang di destilasi dengan sistem *closed loop*. Tekanan air dikontrol pada tekanan 1100 Psi dengan suhu 285°C.

Keunggulan Reaktor BWR

- Reaktor BWR hanya memiliki satu siklus dibandingkan dengan PWR.
- Nilai investasi lebih rendah dibanding PWR.
- Tekanan uap pada saat beroperasi hanya 1100 Psi.

Kekurangan Reaktor BWR

- Membentuk kandungan radioaktif pada turbin.



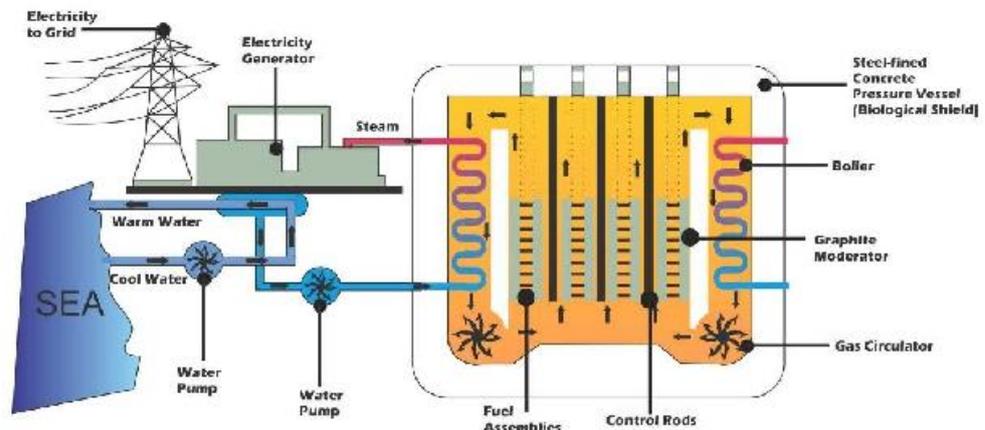
Gambar 55. Ilustrasi BWR

3. *Advanced Gas Cooled Reactor*

AGR adalah jenis reaktor yang dikembangkan dan di gunakan di Inggris. Tingkat efisiensi reaktor ini adalah 40,7 %. Jenis moderator yang digunakan adalah *graphite* dan *carbon dioxide* sebagai sistem pendinginnya. Pada awalnya bahan bakar yang digunakan adalah *beryllium* namun dikarenakan *beryllium* tidak stabil untuk digunakan kemudian digunakan bahan bakar lain yaitu uranium.

Keunggulan AGR

- Memiliki efisiensi yang tinggi
- Kapasitas pembangkitan energi listrik yang tinggi.
- Tidak menimbulkan korosi atau karat.
- Moderator jenis *graphite* lebih stabil pada suhu yang tinggi.
- Gas karbon dioksida mengurangi kemungkinan terjadinya kebakaran.



Gambar 56. Ilustrasi AGR

4. *Pressurized Heavy Water Reactor*

Reaktor PHWR merupakan reaktor yang menggunakan uranium sebagai bahan bakarnya. Jenis pendingin dan moderator yang digunakan adalah *Heavy Water* atau *deuterium oxide* (D₂O). *Heavy Water* adalah air yang memiliki isotop hidrogen lebih banyak dari air biasa sehingga memiliki suhu didih yang lebih tinggi daripada air biasa. Suhu yang lebih tinggi ditujukan untuk meningkatkan tingkat efisiensi reaktor.

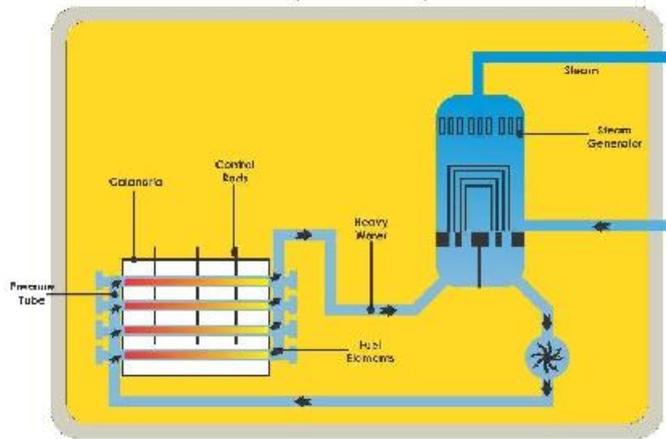
Keunggulan Reaktor PHWR

- Memiliki efisiensi yang lebih tinggi.
- Dapat menggunakan uranium murni yang tidak diperkaya.
- Daya yang dihasilkan lebih besar.

Kelemahan Reaktor PHWR

- Harga *Heavy Water* yang relatif mahal.
- Menggunakan bahan bakar lebih banyak daripada reaktor lain.

- c. *Heavy Water* yang dipanaskan memiliki tingkat korosifitas yang tinggi.



Gambar 57. Ilustrasi PHWR

5. *High Power Channel Type Reactor*

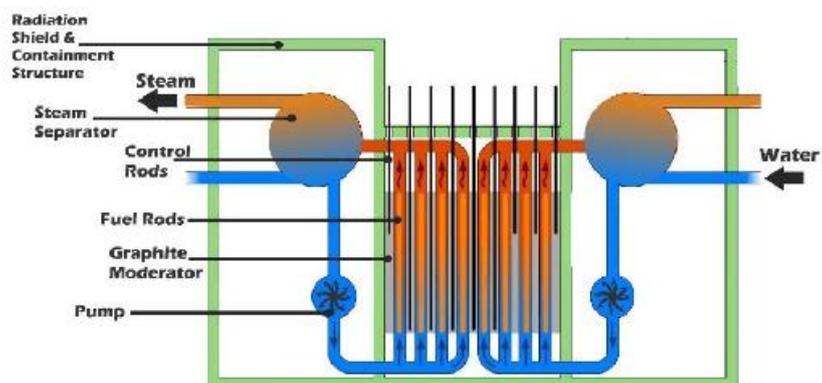
Reaktor ini adalah reaktor yang dibuat dan dikembangkan di Rusia. HPTR merupakan reaktor tertua yang masih digunakan untuk PLTN komersial salah satunya digunakan di *Chernobyl*. Reaktor dibuat menggunakan beton yang diperkuat kemudian moderator yang digunakan terbuat dari *graphite*. reaktor ini menggunakan air sebagai media pendingin. Bahan bakar yang digunakan adalah uranium yang diperkaya.

Keunggulan Reaktor RBMK

- a. Hanya membutuhkan bahan bakar uranium yang sedikit diperkaya.
- b. Dapat mengganti bahan bakar selama reaktor beroperasi.

Kelemahan Reaktor RBMK

- a. Temperatur *graphite* yang sangat tinggi menyebabkan reaktor memiliki kemungkinan untuk meledak yang tinggi.



Gambar 58. Ilustrasi HPTR

5.5. Bagian-bagian PLTN

1. Bahan Bakar

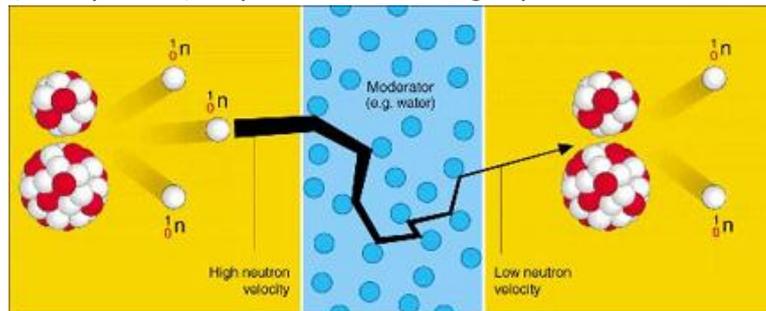
Bahan bakar yang paling umum digunakan oleh pembangkit listrik tenaga nuklir adalah uranium, selain itu juga menggunakan *thorium* dan *plutonium*. Perbandingan energi yang dihasilkan antara *uranium* dengan batu bara adalah 1 kilogram *uranium* setara dengan 2,4 juta kilogram batu bara.



Gambar 59. *Uranium*
(Sumber: ResearchGate)

2. Moderator

Moderator merupakan komponen yang digunakan untuk memperlambat kecepatan *neutron* di dalam reaktor selama proses fisi dengan cara menyerap energi *neutron* namun tidak menyerap *neutron*. *Moderator* biasanya dibuat dari *Graphite*, *Heavy Water*, *Beryllium* dan lain sebagainya.



Gambar 60. Ilustrasi *Moderator*

3. Control Rods

Komponen ini dibuat untuk menyerap neutron, dibuat dari *cadmium*, *hafnium*, boron, *silver* dan *indium*. *Control rods* umumnya dibuat di dalam satu rangkaian yang terdiri dari 20 atau lebih *control rods*.



Gambar 61. *Control Rods*
(Sumber: Energy Education)

4. *Coolant*

Coolant merupakan media transfer panas yang dapat berupa cairan maupun gas. Di dalam pembangkit listrik tenaga nuklir *coolant* berfungsi untuk membantu proses perpindahan panas yang diakibatkan oleh reaksi fisi di dalam reaktor sehingga bejana reaktor tidak meleleh karena panas yang dihasilkan.



Gambar 62. *Radiator*
(Sumber: Indiamart)

5. *Pressure Vessel*

Pressure vessel adalah sebuah tempat untuk memwadahi gas atau cairan pada tekanan yang lebih tinggi dari lingkungan sekitarnya. Komponen ini dibuat dari *stainless steel* atau baja anti karat dan diperkuat lagi dengan kawat melingkar untuk menambah perlindungan dari tekanan didalam tabung.



Gambar 63. *Pressure Vessel*
(Sumber: Glapwell Contracting Services)

6. *Steam Generator*

Steam generator hanya digunakan pada reaktor jenis *pressurized water reactor* dan *pressurized heavy water reactor* dimana *steam generator* berada pada siklus yang berbeda dengan inti reaktor. Komponen ini berfungsi untuk memanaskan air hingga menjadi uap air yang bertekanan tinggi.

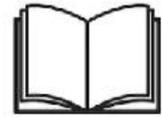


Gambar 64. *Steam Generator*
(Sumber: Power Engineering)

5.6. Rangkuman



1. Prinsip kerja pembangkit listrik tenaga nuklir adalah dengan memanfaatkan reaksi fisi dan fusi nuklir untuk mendapatkan energi panas, yang kemudian energi panas ini dimanfaatkan untuk menghasilkan uap air bertekanan dengan bantuan *boiler*.
2. Perbandingan konsumsi bahan bakar antara pembangkit listrik tenaga nuklir dengan pembangkit listrik tenaga uap adalah 1 kilogram *uranium* setara dengan 2.4 juta ton batu bara. Sehingga dapat dikatakan efisiensi pembangkit listrik tenaga nuklir sangat besar jika ditinjau dari bahan bakarnya.
3. Bahan bakar yang digunakan oleh PLTN adalah Uranium, Plutonium dan Thorium. U-238, P-239 dan TH90.
4. Terdapat 5 jenis reaktor yaitu *pressurized water reactor*, *boiling water reactor*, *advanced gas cooled reactor*, *pressurized heavy water reactor* dan *high power channel type reactor*.
5. Jenis reaktor yang paling banyak digunakan adalah reaktor jenis *pressurized water reactor*.
6. *Heavy water* adalah air yang memiliki nilai isotop hidrogen lebih banyak daripada air pada umumnya.
7. *Moderator pada umumnya dibuat dari bahan graphite dan beryllium*
8. *Control rod* adalah komponen yang berfungsi untuk menyerap neutron. konstruksinya dibuat dari bahan *cadmium*, *hafnium* dan *boron*
9. *Coolant* merupakan komponen yang berfungsi untuk membantu proses pendinginan reaktor yang diakibatkan oleh reaksi fusi dan fisi nuklir yang dapat berisiko melelehkan konstruksi reaktor.
10. *Steam generator* adalah komponen yang berfungsi untuk menguapkan air atau memanaskan air sehingga berubah menjadi uap bertekanan.



5.7. Latihan Soal

Pertanyaan :

1. Jenis *boiler* yang memiliki prinsip kerja menyemburkan air bertekanan kedalam inti reaktor adalah...
Jawaban :
2. Jenis *boiler* yang menggunakan air destilasi adalah *boiler* jenis...
Jawaban :
3. Jenis *moderator* yang digunakan pada *Advanced Gas Reactor* adalah...
Jawaban :
4. Rumus kimia dari *Heavy Water* adalah...
Jawaban :
5. Fungsi dari *steam generator* adalah...
Jawaban :

Kunci Jawaban :

1. *Pressurized Water Reactor*
2. *Boiling Water Reactor*
3. *Graphite*
4. D₂O
5. Menghasilkan uap air bertekanan tinggi.



5.8. EVALUASI

1. Reaksi penggabungan dua inti atom untuk membentuk inti atom yang lebih besar adalah...
 - a. Fusi
 - b. Fisi
 - c. Sintesis
 - d. Dekomposisi
 - e. Reduksi
2. Reaksi pembelahan inti atom yang disebabkan oleh inti atom lain yang bertabrakan adalah ...
 - a. Fusi
 - b. Fisi
 - c. Sintesis
 - d. Dekomposisi
 - e. Reduksi
3. Salah satu jenis bahan bakar untuk pembangkit listrik tenaga nuklir adalah
 - a. U-235
 - b. NP-93
 - c. PA-91
 - d. AC-89
 - e. FR-87
4. Terdapat lima jenis reaktor pada pembangkit listrik tenaga nuklir, jenis reaktor yang dikembangkan dan digunakan di Rusia adalah ...
 - a. *Pressurized Water Reactor*
 - b. *Boiling Water Reactor*
 - c. *Advanced Gas Cooled Reactor*
 - d. *Pressurized Heavy Water Reactor*
 - e. *High Power Channel Type Reactor*
5. Jenis reaktor yang menggunakan *deuterium oxide* sebagai moderatornya adalah reaktor...
 - a. *Pressurized Water Reactor*
 - b. *Boiling Water Reactor*
 - c. *Advanced Gas Cooled Reactor*
 - d. *Pressurized Heavy Water Reactor*
 - e. *High Power Channel Type Reactor*
6. *Moderator* merupakan komponen yang digunakan untuk memperlambat laju dari neutron didalam sebuah reaktor. *Moderator* dibuat dengan bahan. Kecuali ...
 - a. Graphite
 - b. Heavy Water
 - c. Beryllium
 - d. Boron
 - e. Uranium

7. Komponen yang digunakan untuk menyerap neutron adalah...
 - a. *Reactor*
 - b. *Moderator*
 - c. *Control Rod*
 - d. *Coolant*
 - e. *Pressure Vessel*
8. Komponen yang digunakan sebagai pemanas air pada reaktor jenis PWR dan PHWR adalah ...
 - a. *Reactor*
 - b. *Moderator*
 - c. *Steam Generator*
 - d. *Control Rod*
 - e. *Pressure Vessel*
9. Bahan yang digunakan dalam pembuatan *pressure vessel* adalah ...
 - a. Stainless Steel
 - b. Alumunium
 - c. Tembaga
 - d. Baja Beton
 - e. Besi Laminasi
10. Bahan yang berfungsi untuk menjaga suhu komponen-komponen atau sistem pembangkit tenaga listrik tenaga nuklir adalah...
 - a. *Reactor*
 - b. *Steam Generator*
 - c. *Pressure Vessel*
 - d. *Coolant*
 - e. *Moderator*

BAB VI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA DIESEL

6.1. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel di Indonesia

Pembangkit listrik tenaga diesel merupakan jenis pembangkit tenaga listrik yang menggunakan bahan bakar solar atau *diesel* sebagai bahan bakar penggerak utamanya yaitu mesin *diesel*. PLTD memiliki kapasitas yang sangat kecil jika dibandingkan dengan pembangkit listrik lain yang berada di Indonesia. PLTD Karimunjawa ini hanya menghasilkan 4,4 megawatt (MW) dari 2 mesin *generator*. Umumnya PLTD digunakan pada daerah-daerah atau pulau terpencil dimana tidak memungkinkan untuk dibangun infrastruktur antar daerah atau antar pulau.

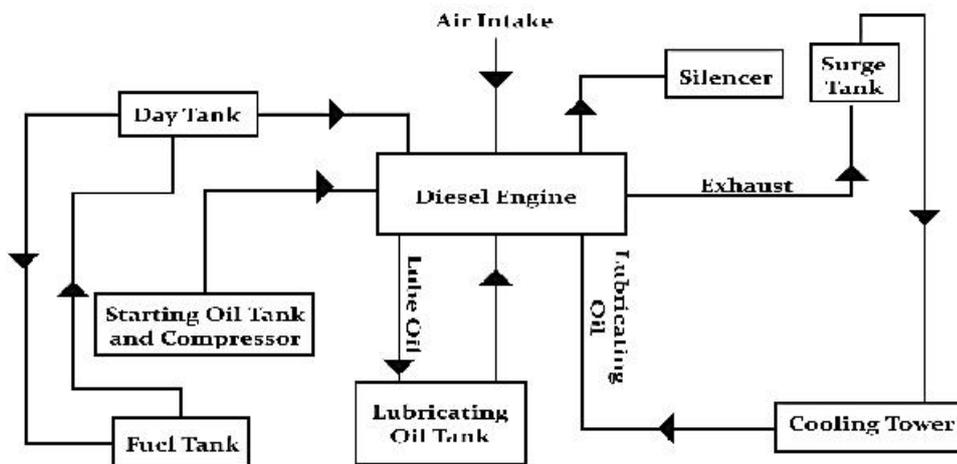


Gambar 65. PLTD Karimun Jawa
(Sumber: Detik)

6.2. Prinsip Kerja PLTD

PLTD bekerja dengan memanfaatkan energi mekanik dari mesin *diesel* menjadi energi listrik menggunakan *generator*. Siklus kerja dari PLTD adalah bahan bakar dari tangki penampungan dialirkan menuju *injector* dengan bantuan *fuel pump*. *Injector* menyemburkan bahan bakar menjadi kabut menuju ruang bakar atau *combustion chamber*. Kemudian bahan bakar akan meledak karena tekanan piston yang selanjutnya menjadi energi mekanik. Sisa gas hasil pembakaran selanjutnya dibuang melalui sistem pembuangan atau *exhaust system*.

PLTD menggunakan prinsip Hukum Charles dalam proses kerjanya, yaitu ketika udara ditekan atau di kompresi maka suhunya akan meningkat. Tingkat kompresi mesin *diesel* antara 15:1 hingga 22:1. Tingkat kompresi ini lebih tinggi dibandingkan mesin bensin yang hanya berkisar 1:8 hingga 1:12. Efisiensi yang dihasilkan oleh mesin *diesel* sebesar 45%.



Gambar 66. Ilustrasi Prinsip Kerja PLTD

6.3. Karakteristik Mesin Diesel

1. Torsi yang dihasilkan besar. Hal ini dikarenakan bahan bakar *diesel* meledak pada tekanan yang sangat tinggi didalam *combustion chamber*.
2. Getaran, getaran diakibatkan oleh proses pergerakan komponen didalam mesin *diesel* seperti noken as, piston, *rocker arm* dan lain sebagainya.
3. Putaran mesin cenderung lebih rendah. Hal ini dikarenakan mesin *diesel* ditujukan untuk mesin bertenaga tinggi dalam hal ini adalah torsi. Mesin *diesel* hanya membutuhkan 1500 rpm. untuk mencapai torsi yang maksimal berbeda dengan mesin bensin yang mengharuskan putaran mesin sebesar 5000 hingga 6000 rpm. untuk mencapai torsi yang sama.

6.4. Komponen-Komponen PLTD

1. Bahan Bakar

Bahan bakar *diesel* yang ada di Indonesia dikategorikan menjadi beberapa jenis. Dan dari setiap jenis bahan bakar *diesel* juga memiliki tingkatan kualitas bahan bakar. Kualitas bahan bakar solar ditandai dengan kandungan *cetane* yang tinggi dan kandungan sulfur yang rendah didalam bahan bakar. Bahan bakar *diesel* yang ada di Indonesia diantaranya adalah:

a. *High Speed Diesel* (HSD)

HSD merupakan bahan bakar *diesel* yang paling mudah untuk dibeli di Indonesia sering disebut sebagai bio solar atau biodiesel. HSD di formulasikan untuk digunakan pada mesin *diesel* yang beroperasi dengan kecepatan > 1000 rpm. dengan standar emisi minimal EURO 2. HSD merupakan bahan bakar *diesel* kualitas yang baik dengan kandungan *cetane* sebesar 48 dan sulfur 0,35 % m/m.

b. Pertamina Dex. (Pertadex)

Pertadex merupakan salah satu bagian dari HSD namun memiliki kualitas terbaik dengan kandungan *cetane* 58 dan sulfur 0,05 % m/m. Bahan bakar ini umumnya digunakan untuk mesin *diesel* yang beroperasi dengan kecepatan > 2000 rpm.

c. *Marine Fuel Oil* (MFO)

MFO sering juga disebut *Marine Diesel Fuel* merupakan bahan bakar *diesel* kualitas nomor dua. Bahan bakar ini diformulasikan untuk mesin *diesel* yang beroperasi pada kecepatan 300 sampai 1000 rpm. Kandungan *cetane* di dalam IDO adalah 35 dengan tingkat sulfur 1,5 % m/m.

d. *Fuel Oil* (FO)

Fuel Oil adalah bahan bakar *diesel* kualitas nomor tiga. Bahan bakar ini diformulasikan untuk digunakan pada mesin *diesel* yang beroperasi pada putaran < 300 rpm dengan kandungan *cetane* 41,57 dan sulfur 3,5 % m/m.

2. Tangki Bahan Bakar Utama

Tangki bahan bakar digunakan sebagai tempat penampungan bahan bakar mesin *diesel*. Didalam PLTD tangki bahan bakar dapat disimpan didalam tanah maupun di permukaan tanah.



Gambar 67. *Diesel Fuel Tank*
(Sumber: NCH Europe)

3. Tangki Bahan Bakar Sementara

Tangki ini difungsikan sebagai tangki bahan bakar sementara yang umumnya berada di dekat mesin *diesel*. Hal ini ditujukan sebagai indikator ketersediaan bahan bakar serta agar pada saat menyalakan mesin, pompa bahan bakar lebih mudah untuk mendapatkan bahan bakar sehingga mempermudah proses penyalakan mesin *diesel*.



Gambar 68. Tangki Sementara
(Sumber: commtank)

4. *Injector* Bahan Bakar

Injector bahan bakar memiliki fungsi untuk mengabutkan bahan bakar dari bentuknya yang cair dan bertekanan menjadi butiran-butiran kecil untuk mempermudah proses pembakaran bahan bakar. Selain untuk mempermudah proses pembakaran, *injector* juga membantu meningkatkan efisiensi dari mesin *diesel* karena bahan bakar dapat terkompresi dengan sempurna.



Gambar 69. Fuel Injector
(Sumber: Eurodiesel)

5. Pompa Bahan Bakar

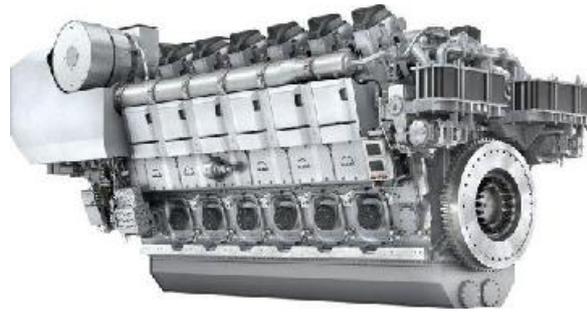
Pompa bahan bakar berfungsi untuk memompa bahan bakar *diesel* menuju *injector*. Bahan bakar dipompa dari tangki penampungan sementara. Pompa bahan bakar dapat dijalankan oleh putaran mesin itu sendiri ataupun dengan bantuan motor listrik.



Gambar 70. Fuel Pump
(Sumber: Autoparts)

6. Mesin *Diesel*

Mesin *diesel* merupakan penggerak utama atau *prime mover* dari PLTD. Mesin *diesel* mengonversi energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanik. Proses perubahan terjadi di dalam *combustion chamber* yang kemudian energi mekanik hasil pembakaran akan diterima oleh noken as dan diteruskan dengan satu poros menuju generator.



Gambar 71. Diesel Engine
(Sumber: Manchester)

7. Generator

Generator adalah sebuah alat yang mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Generator terdiri dari dua bagian yaitu bagian bergerak (rotor) dan bagian diam (stator) didalam sebuah generator.



Gambar 72. Generator
(Sumber: Guangdong Honny Power-Tech .Ltd)



6.5. Rangkuman

1. Pembangkit listrik tenaga diesel merupakan salah satu pembangkit tenaga listrik konvensional yang menggunakan bahan bakar minyak sebagai bahan bakarnya.
2. Pembangkit listrik tenaga diesel bekerja dengan memanfaatkan energi mekanik dari hasil ledakan bahan bakar *diesel* didalam ruang bakar.
3. Jenis bahan bakar untuk pembangkit listrik tenaga *diesel* ditentukan oleh kecepatan nominal mesin *diesel* itu sendiri. Untuk mesin *diesel* dengan kecepatan lebih dari 1500 rpm. maka bahan bakar *diesel* yang digunakan minimum adalah pertadex.
4. Umumnya pembangkit listrik jenis ini berada pada daerah yang tidak terjangkau oleh saluran transmisi listrik seperti pada pulau-pulau atau umumnya pembangkit jenis ini digunakan di industri sebagai pembangkit listrik cadangan apabila listrik utama dari PLN padam.
5. Terdapat dua tangki bahan bakar pada sistem pembangkit listrik tenaga diesel yaitu tangki utama (*Day Tank*) dan tangki sementara.
6. Prinsip kerja dari mesin diesel adalah kompresi, berbeda dengan mesin bensin dimana bahan bakar di bakar oleh lonjakan arus dari busi, mesin diesel memampatkan bahan bakar hingga bertekanan tinggi (Panas) dan kemudian terbakar.
7. Torsi yang dihasilkan oleh mesin diesel lebih besar dibandingkan dengan mesin bensin, namun mesin diesel memiliki putaran yang lebih rendah dibandingkan mesin bensin.
8. *Injector* merupakan komponen yang berfungsi untuk menyemburkan bahan bakar dalam bentuk butiran butiran kecil. Sehingga proses kompresi dapat maksimal.
9. *Fuel pump* adalah komponen yang berfungsi untuk mendorong bahan bakar diesel menuju *injector* pada tekanan yang tinggi.
10. Bahan bakar diesel dapat dikatakan bersih atau memiliki kualitas yang baik apabila nilai cetane pada bahan bakar tinggi dan nilai sulfur yang rendah.



6.6. Latihan Soal

Pertanyaan :

1. Prinsip kerja terbakarnya bahan bakar pada sistem PLTD adalah...
Jawaban :
2. Kompresi pada mesin diesel berkisar antara...
Jawaban :
3. Nilai Efisiensi pada mesin diesel adalah...
Jawaban :
4. Kandungan bahan bakar diesel yang memiliki nilai cetane 58 adalah bahan bakar diesel jenis...
Jawaban :
5. Komponen yang berfungsi untuk menyemburkan bahan bakar pada bentuk yang lebih kecil (butiran) adalah...
Jawaban :

Jawaban :

1. Kompresi bahan bakar dengan udara yang terjadi dalam ruang bakar.
2. 15:1 hingga 22:1
3. 45 %
4. PertaDex
5. *Injector*



6.7. EVALUASI

1. Hukum yang menyatakan bahwa ketika suatu bahan bakar atau udara dimampatkan atau di kompresi maka akan menyebabkan suhu meningkat adalah...
 - a. Charles
 - b. Proust
 - c. Avogadro
 - d. Kirchoff
 - e. Dalton
2. Komponen yang berfungsi sebagai pendorong bahan bakar menuju injektor dan kemudian menuju ruang bakar adalah ...
 - a. *Filter*
 - b. *Storage Tank*
 - c. *Cooler*
 - d. *Fuel Pump*
 - e. *Turbodiesel*
3. Tingkat kompresi mesin diesel adalah ...
 - a. 2:1
 - b. 5:1
 - c. 8:1
 - d. 12:1
 - e. 15:1
4. Bahan bakar dapat diklasifikasikan berdasarkan kualitasnya dengan menggunakan parameter ...
 - a. Viskositas
 - b. Cetane
 - c. Kandungan air
 - d. Asam
 - e. Sulfur
5. Bahan bakar diesel terdiri dari beberapa jenis, jenis bahan bakar pertadex umumnya digunakan pada diesel dengan kecepatan putaran....
 - a. 100 – 150 rpm
 - b. 200 – 300 rpm
 - c. 350 – 500 rpm
 - d. 1500 rpm
 - e. > 1500 rpm
6. Jenis bahan bakar diesel dengan kualitas terakhir adalah ...
 - a. Bio Solar
 - b. Pertadex
 - c. Marine Fuel Oil
 - d. Fuel Oil
 - e. High Speed Diesel

7. Komponen pembangkit listrik tenaga diesel yang berfungsi untuk membantu indikator ketersediaan bahan bakar adalah...
 - a. Tangki Pendam
 - b. Tangki Sementara
 - c. Injektor
 - d. *Coolant*
 - e. *Fuel Pump*
8. komponen pembangkit listrik tenaga diesel yang berfungsi untuk mengabutkan bahan bakar adalah ...
 - a. *Rocker Arm*
 - b. *Injektor*
 - c. *Noken As*
 - d. *Piston*
 - e. *Oil Filter*
9. Bahan bakar diesel yang memiliki kandungan sulfur 0,05% adalah ...
 - a. *Marine Fuel Oil*
 - b. *Fuel Oil*
 - c. *High Speed Diesel*
 - d. *Pertadex*
 - e. *Pertalite*
10. Bahan bakar yang memiliki kandungan cetane 41,57 adalah...
 - a. *Marine Fuel Oil*
 - b. *Fuel Oil*
 - c. *High Speed Diesel*
 - d. *Pertadex*
 - e. *Pertalite*

BAB VII PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA

7.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia

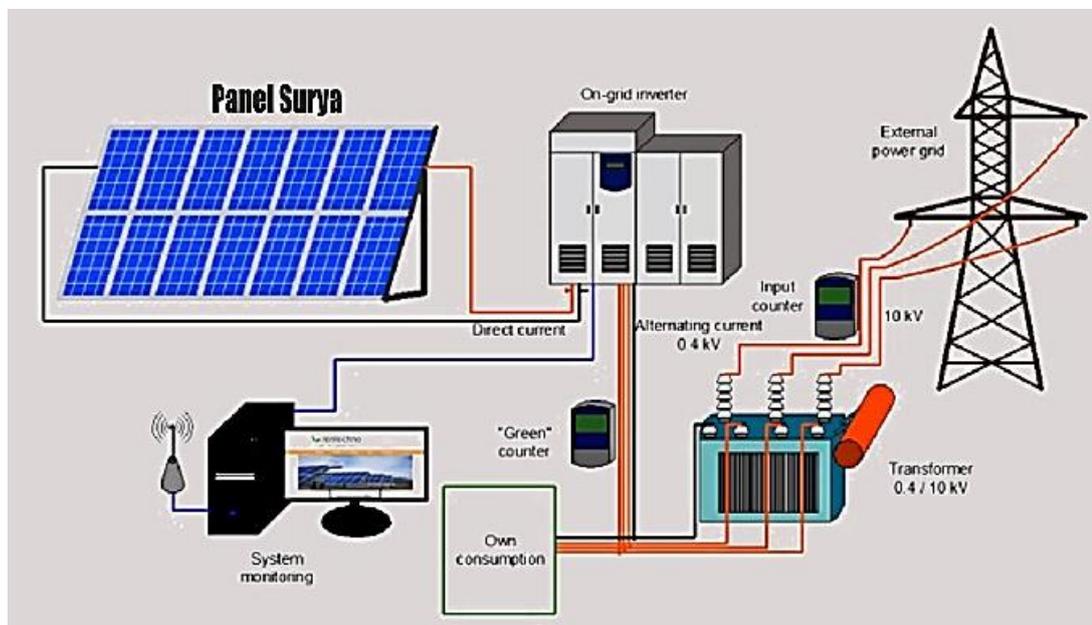
PLTS merupakan salah satu pembangkit tenaga listrik yang menggunakan energi terbarukan sebagai bahan bakarnya. PLTS Kupang merupakan salah satu PLTS yang berada di Indonesia dengan kapasitas pembangkitan 5 Mega Watt (MW). PLTS ini dimiliki oleh PT. Lembaga Elektronik Nasional (LEN) untuk mengatasi permasalahan kurangnya pasokan tenaga listrik di daerah tersebut.



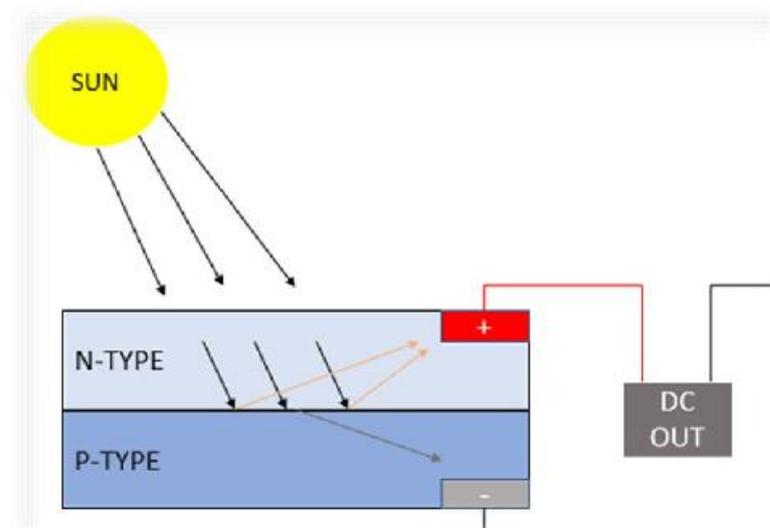
Gambar 73. Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kupang
(Sumber: Detik)

7.2. Prinsip Kerja PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah pembangkit listrik berkategori energi terbarukan yaitu tidak menggunakan bahan bakar fosil sebagai bahan bakar utamanya. PLTS memanfaatkan sinar matahari sebagai bahan utama untuk membangkitkan energi listrik.



Gambar 74. Sistem Panel Surya
(Sumber: Digital Trends)



Gambar 75. Ilustrasi Photovoltaic

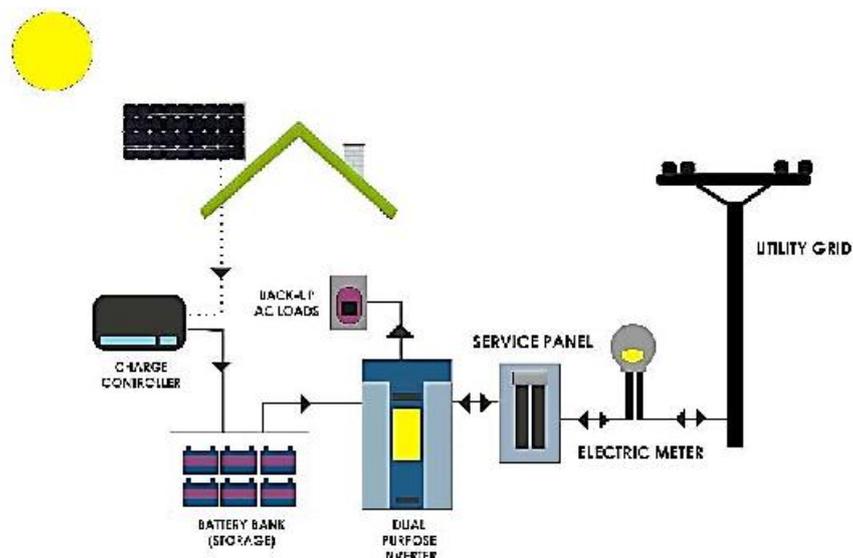
Jika ditinjau dari jenisnya maka terdapat 2 jenis PLTS, yaitu:

1. *Direct* (langsung)

PLTS *Direct* merupakan PLTS yang langsung dapat menghasilkan energi dengan mengonversi cahaya menjadi energi listrik menggunakan komponen semikonduktor didalamnya. Sebuah modul panel surya biasanya disebut sebagai *Photovoltaic* atau *Solar Cell*.



Gambar 76. *Direct Systems*
(Sumber: Solar Generator Guide)



Gambar 77. *Direct Solar Power Plant*
(Sumber: Pinterest)

Alur kerja dari PLTS *Direct* dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Panel surya menerima cahaya matahari dan membangkitkan tenaga listrik DC.

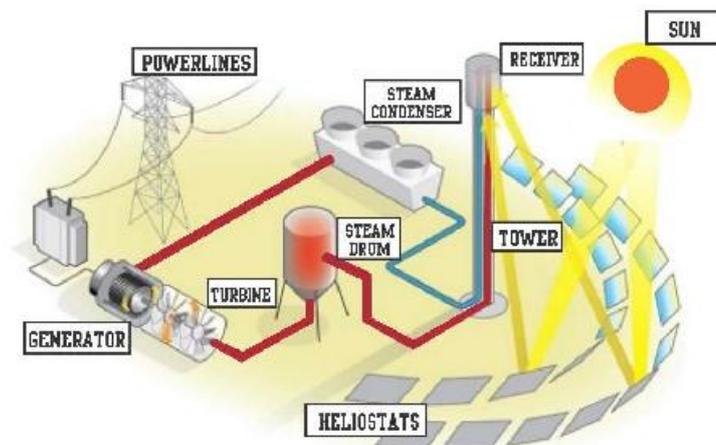
2. *Charge controller* berfungsi untuk mengatur arus dan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya kemudian digunakan untuk mengisi *accu* atau *battery*.
3. *Accu* atau *battery* berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya.
4. *Inverter* berfungsi untuk mengubah tegangan searah menjadi bolak-balik dengan spesifikasi tegangan tertentu.

2. *Indirect* (tidak langsung)

PLTS *Indirect* merupakan PLTS yang menggunakan komponen bantu yaitu lensa atau cermin untuk memfokuskan cahaya matahari menuju *concentrator*. Proses pembangkitan energi listrik hampir sama dengan PLTU yaitu memanfaatkan uap air bertekanan untuk memutar turbin. Apabila pada PLTU disebut *boiler*, di dalam PLTS disebut sebagai *concentrator*.



Gambar 78. Concentrated Solar Panel
(Sumber: Heliocsp)



Gambar 79. Concentrated Solar Panel

Alur kerja dari PLTS *Indirect* dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Cermin atau lensa menerima cahaya matahari kemudian memantulkan cahaya kepada reseptor.
2. *Concentrator* menerima cahaya matahari yang kemudian memanaskan air di dalam reseptor hingga menjadi uap bertekanan.
3. Turbin menerima energi kinetik dari uap air kemudian mengubah energi tersebut menjadi energi mekanik.
4. *Generator* berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.
5. Kondensor berfungsi untuk mendinginkan sisa uap air yang telah melewati turbin hingga menjadi cair kembali kemudian air disirkulasikan kembali.

Efek Photovoltaic

Proses perubahan cahaya matahari menjadi energi listrik adalah menggunakan prinsip efek *photovoltaic*. Efek *photovoltaic* pertama kali ditemukan oleh Henri Becquerel di tahun 1839. Energi matahari atau cahaya matahari terdiri atas foton cahaya. ketika foton tersebut mengenai permukaan sel *photovoltaic*, foton yang diserap oleh sel *photovoltaic* kemudian membangkitkan energi listrik dengan bantuan semikonduktor tipe p dan n.

7.3. Struktur Panel Surya



Gambar 80. Panel Surya
(Sumber: Luminous India)

1. *Cover Glass*
Komponen ini berfungsi sebagai pelindung sel panel *photovoltaic*, sehingga sel *photovoltaic* tidak terkena kontak dari luar seperti debu, air, dan sebagainya. Bahan yang digunakan dapat berupa kaca maupun *acrylic* yang berwarna transparan.
2. *Laminating* (Perekat)
Komponen ini berfungsi untuk melekatkan pelindung dengan lapisan anti *reflective* di bawahnya.

3. *Antireflective* (Pelapis Anti Reflektif)
Komponen ini berfungsi untuk mencegah sinar matahari memantul kembali setelah mengenai permukaan panel. Sehingga sinar matahari secara efektif dapat terserap oleh sel *photovoltaic*.
4. *N-Type Semiconductor*
Komponen ini merupakan jenis semikonduktor yang diberikan campuran bahan lain seperti arsenik, fosfor dan antimoni.
5. *P-Type Semiconductor*
Komponen ini merupakan jenis semikonduktor yang diberikan campuran bahan lain seperti galium, indium dan boron.
6. *Back Contact*
Komponen ini adalah komponen yang melindungi bagian belakang sel *photovoltaic*. Umumnya komponen ini dibuat dari bahan yang cukup kuat seperti plastik, PVC dan aluminium.

7.4. Bagian-bagian PLTS

1. Panel Surya

Saat ini tersedia berbagai macam jenis panel surya di pasaran. Pemilihan beberapa jenis panel surya tersebut didasarkan oleh kebutuhan dari pengguna. Berikut merupakan jenis-jenis panel surya yang tersedia dipasaran:

a. *Monocrystalline Silicon*

Panel surya jenis ini merupakan panel surya yang memiliki efisiensi paling tinggi di kelasnya yaitu sebesar 15.1 %. Panel surya ini juga merupakan panel surya yang paling umum digunakan.



Gambar 81. Panel *Monocrystalline*
(Sumber: Solar Reviews)

b. *Multicrystalline Silicon*

Panel surya jenis *Multicrystalline* memiliki efisiensi yang sedikit lebih rendah dari panel surya *Monocrystalline* yaitu 14.9 %.



Gambar 82. Panel *Multicrystalline*
(Sumber: Solar Reviews)

c. *Ribbon Silicon*

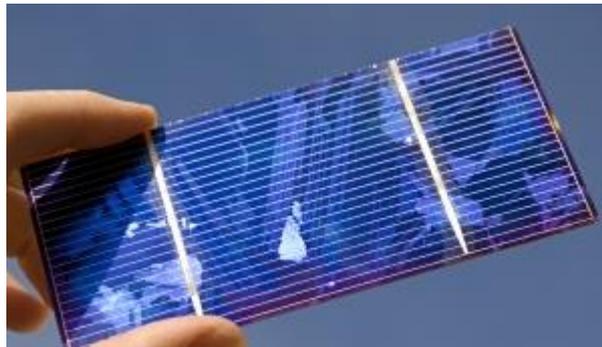
Panel surya ini merupakan pengganti panel surya sebelumnya yang berjenis *polycrystalline*. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi 13 hingga 14%.



Gambar 83. Panel *Ribbon Silicon*
(Sumber: Solar Town)

d. *Amorphous Silicon*

Panel surya jenis ini memiliki tingkat efisiensi yang rendah 4 – 6%. Namun teknologi dari panel surya ini merupakan yang paling ramah lingkungan karena tidak menggunakan *cadmium* atau asam.



Gambar 84. *Amorphous Silicon*
(Sumber: Phys.info)

2. Solar Charge Controller

Komponen ini berfungsi sebagai kontrol arus dan tegangan yang akan di alirkan menuju baterai. Tegangan yang dihasilkan oleh panel surya adalah fluktuatif bergantung kepada intensitas cahaya yang mengenai permukaan panel surya sehingga diperlukan komponen ini untuk menjaga kestabilan tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya.



Gambar 85. Solar Charge Controller
(Sumber: IVC)

3. Battery

Komponen ini digunakan sebagai penyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Panel surya tidak dapat menghasilkan energi listrik pada malam hari, oleh karena itu diperlukan *battery* atau akumulator sebagai alat untuk menyimpan energi listrik.



Gambar 86. Baterai
(Sumber: Climate Technology Research)

4. Inverter

Inverter berfungsi untuk mengubah tegangan DC yang dihasilkan oleh panel surya menjadi tegangan AC sehingga dapat dipergunakan untuk mensuplai peralatan yang ada pada rumah tangga.

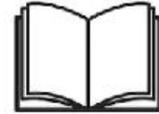


Gambar 87. Inverter
(Sumber: 4WD Supacetre)



7.5. Rangkuman

1. Pembangkit listrik tenaga surya merupakan salah satu pembangkit tenaga listrik energi terbarukan yang menggunakan cahaya matahari sebagai bahan bakarnya.
2. Pembangkit listrik tenaga surya bekerja memanfaatkan panas matahari (*concentrated solar panel*) atau cahaya matahari (*photovoltaic*) kemudian merubah energi tersebut menjadi panas atau energi listrik.
3. Keunggulan utama dari pembangkit listrik tenaga surya adalah sumber energinya tidak akan pernah habis.
4. Namun jenis pembangkit ini juga memiliki kelemahan yaitu tidak dapat berfungsi pada malam hari, sehingga diperlukan peralatan penyimpanan energi listrik (*battery*) agar listrik dapat digunakan 24 jam.
5. Lapisan anti reflektif berfungsi untuk mencegah sinar matahari memantul setelah mengenai permukaan panel.
6. N-Type Semiconductor adalah semikonduktor yang terbuat dari campuran bahan seperti arsenik, fosfor dan antimoni.
7. P-Type Semiconductor adalah jenis semikonduktor yang terbuat dari campuran galium, indium dan boron.
8. Jenis panel surya yang memiliki nilai efisiensi paling tinggi adalah *monocrystalline silicon*.
9. Nilai efisiensi panel surya *monocrystalline* adalah 15,1 %
10. Panel surya yang memiliki efisiensi paling rendah adalah panel jenis ribbon silicon.



7.6. Latihan Soal

Pertanyaan :

1. jenis panel surya yang langsung mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik adalah jenis...

Jawaban :

2. jenis tegangan yang dihasilkan oleh panel surya adalah tegangan...

Jawaban :

3. untuk mengontrol pengisian baterai atau akumulator digunakan komponen tambahan yaitu ...

Jawaban :

4. Komponen yang digunakan untuk mengurangi refleksi matahari yang mengenai permukaan panel surya adalah komponen...

Jawaban :

5. alat yang digunakan untuk merubah tegangan yang dihasilkan oleh panel surya menjadi tegangan AC adalah ...

Jawaban :

Jawaban :

1. *Direct*
2. *Direct Current*
3. *Solar Charge Controller*
4. Lapisan anti reflektif
5. *Inverter*



7.7. EVALUASI

1. Pembangkit listrik tenaga surya yang paling mudah untuk diimplementasikan adalah...
 - a. *Direct*
 - b. *Indirect*
 - c. *Semi Direct*
 - d. *Semi Indirect*
 - e. *Campuran*
2. Komponen yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga surya jenis langsung adalah ...
 - a. Cermin
 - b. Rotator
 - c. Reseptor
 - d. *Photovoltaic*
 - e. Turbin
3. Proses perubahan foton dari cahaya matahari menjadi energi listrik adalah...
 - a. Efek photovoltaic
 - b. Efek kapasitansi
 - c. Efek pemanasan
 - d. Efek respirasi
 - e. Efek fotonisasi
4. Jenis pembangkit tenaga listrik tenaga surya yang memanfaatkan panas dari sinar matahari untuk menggerakkan turbin uap air adalah...
 - a. *Direct*
 - b. *Indirect*
 - c. *Semi Indirect*
 - d. *Semi Direct*
 - e. *Campuran*
5. Komponen utama yang digunakan untuk memanaskan air pada pembangkit listrik tenaga surya jenis tidak langsung adalah....
 - a. *Concentrator*
 - b. *Rotator*
 - c. *Turbin*
 - d. *Battery*
 - e. *Charge controller*
6. Lapisan yang berfungsi untuk menjaga cahaya matahari agar tidak memantul kembali adalah ...
 - a. *Cover glass*
 - b. *Back panel*
 - c. *Laminating*
 - d. *Antireflective*
 - e. *Semikonduktor*

7. Material yang digunakan dalam pembuatan komponen semikonduktor tipe n, Kecuali ...
- Arsenik
 - Fosfor
 - Antimon
 - Germanium
 - Semua jawaban salah
8. Material yang digunakan dalam pembuatan semikonduktor tipe p, Kecuali ...
- Galium
 - Indium
 - Boron
 - Magnesium
 - Semua jawaban salah
9. Jenis panel surya yang memiliki efisiensi tertinggi adalah...
- Monocrystalline
 - Multicrystalline
 - Ribbon silicon
 - Amorphous silicon
 - Polycrystalline silicon
10. Komponen yang berfungsi untuk mengatur arus pengisian dan tegangan pengisian akumulator adalah...
- Battery*
 - Capacitor*
 - Variable resistor*
 - Solar charge controller*
 - Inverter*

BAB VIII PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS

8.1. Pembangkit Listrik Tenaga Gas di Indonesia

PLTG Gorontalo adalah salah satu pembangkit tenaga listrik yang memanfaatkan gas sebagai bahan bakar utamanya. PLTG Gorontalo memiliki kapasitas pembangkitan sebesar 100 megawatt (MW), dihasilkan oleh 4 generator yang masing-masing berkapasitas 25 MW.

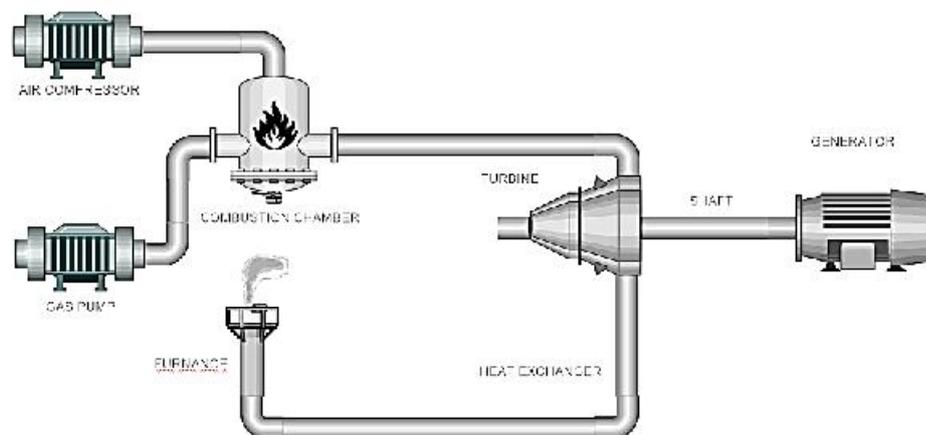


Gambar 88. PLTG Gorontalo
(Sumber: Kompas)

8.2. Prinsip Kerja PLTG

PLTG adalah pembangkit tenaga listrik yang mengonversi energi kinetik yang dihasilkan oleh gas untuk menghasilkan energi mekanik pada turbin dan kemudian di konversi lagi oleh generator menjadi energi listrik. Siklus kerja dari PLTG adalah sebagai berikut:

1. Udara dari lingkungan diserap oleh kompresor dengan bantuan *filter* agar udara yang masuk adalah udara yang bersih dari debu maupun kotoran lainnya.
2. Udara kemudian di tekan oleh kompresor bersamaan dengan bahan bakar gas.
3. Di dalam *combustion chamber* campuran udara dan gas dibakar dalam tekanan yang tinggi sehingga gas buang dari *combustion chamber* memiliki tekanan tinggi yang dapat memutar turbin.
4. Turbin mengubah energi kinetik dari gas menjadi energi mekanik selanjutnya turbin akan memutar generator.
5. *Generator* menghasilkan energi listrik dari berputarnya turbin.
6. Sisa gas bakar dibuang secara langsung ke lingkungan.



Gambar 89. Ilustrasi Siklus Kerja PLTG

8.3. Siklus Brayton

Siklus brayton adalah konsep dasar atau konsep ideal untuk setiap mesin turbin gas. Saat ini siklus brayton digunakan untuk mesin turbin gas dimana di implementasikan pada proses kompresi dan ekspansi. Terdapat dua macam jenis siklus brayton yaitu siklus terbuka dan siklus tertutup.

1. Siklus Brayton Terbuka

Pertama kali, udara bebas pada lingkungan dihisap oleh kompresor, dan dalam kompresor ini temperatur dan tekanan udara akan meningkat yang menghasilkan proses kompresi. Kemudian tekanan udara yang dihasilkan oleh kompresor dialirkan menuju ruang bakar dan bercampur atau terbakar

bersama bahan bakar. Selanjutnya gas buang yang dihasilkan oleh pembakaran udara dan bahan bakar akan dialirkan menuju turbin gas untuk memutar turbin dan menggerakkan generator dan sisa gas hasil pembakaran dibuang ke lingkungan.

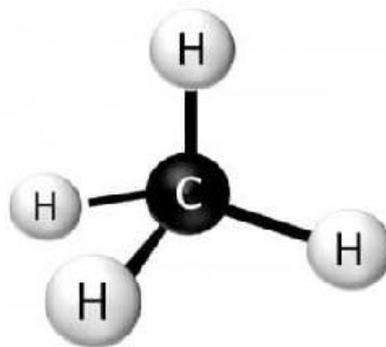
2. Siklus Brayton Tertutup

Pada siklus brayton tertutup proses kompresi dan ekspansi sama dengan siklus brayton terbuka, bagian yang dirubah adalah ruang bakar. Ruang bakar digantikan oleh penyalur panas (*heat exchanger*) dimana penyalur panas ini berfungsi untuk meningkatkan temperatur udara yang terkompresi, sumber panas pada siklus brayton tertutup ini menggunakan sumber panas eksternal.

8.4. Bagian-bagian PLTG

1. Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan di dalam proses pembakaran adalah bahan bakar fosil berbentuk gas yang bernama gas metana dengan rumus kimia CH_4 . Gas metana merupakan salah satu gas yang terkategori dalam *hidrokarbon*. Hasil dari pembakaran satu meter kubik gas alam setara dengan 10,6 kWh. Gas metana terdiri dari 4 atom hidrogen dan 1 atom karbon.



Gambar 90. Simbol Gas Metana

2. Kompresor

Kompresor berfungsi untuk menghisap udara dari lingkungan untuk dimasukkan ke dalam ruang pembakaran. Dengan naiknya tekanan udara maka suhu udara di dalam ruang pembakaran akan naik sehingga menyebabkan panas.



Gambar 91. Kompresor Udara
(Sumber: Barber-Nichols)

3. Pompa Bahan Bakar

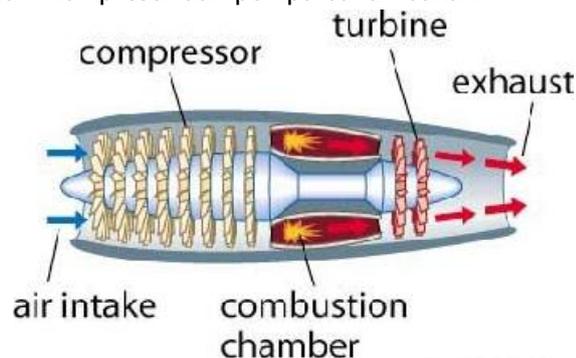
Pompa Bahan Bakar bekerja dengan prinsip sama seperti kompresor udara sebelumnya, yaitu untuk menghisap gas bahan bakar dari dalam penampungan dan mendorong gas tersebut menuju ruang pembakaran dengan tekanan tinggi.



Gambar 92. *Fuel Pump*
(Sumber: Power Technology)

4. Ruang Bakar

Ruang bakar merupakan tempat terjadinya pembakaran antara udara dengan bahan bakar. Bahan bakar dapat terbakar apabila terdapat tiga unsur api yaitu bahan bakar, udara dan panas. Panas dihasilkan oleh udara dan bahan bakar yang dipompa sebelumnya di dalam kompresor dan pompa bahan bakar.



Gambar 93. Ilustrasi *Combustion Chamber*
(Sumber: America Heritage Dictionary)

5. Turbin

Turbin adalah komponen yang mengubah energi kinetik yang dihasilkan oleh gas buang dari ruang bakar menjadi energi mekanik. Pada turbin terdapat bilah-bilah besi yang dapat menerima gas buang sehingga turbin dapat berputar

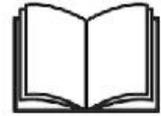


Gambar 94. Turbin
(Sumber: Siemens)



8.5. Rangkuman

1. Pembangkit listrik tenaga gas merupakan salah satu pembangkit tenaga listrik yang menggunakan energi terbarukan sebagai bahan bakarnya.
2. Bahan bakar utama pembangkit listrik tenaga gas adalah gas metana, baik yang berbentuk cair maupun yang berbentuk gas.
3. Pembangkit listrik tenaga gas merubah energi kimia yang dihasilkan oleh ledakan bahan bakar menjadi energi mekanik dengan bantuan turbin yang kemudian oleh generator dirubah menjadi energi listrik.
4. Pembangkit listrik tenaga gas memiliki kelemahan yaitu efisiensi *thermal* yang rendah jika dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga uap.
5. Siklus yang digunakan pada sistem pembangkit listrik tenaga gas adalah siklus brayton baik siklus brayton terbuka maupun siklus brayton tertutup.
6. Perbedaan antara siklus brayton terbuka dan siklus brayton tertutup adalah pada sumber panasnya.
7. Gas metana memiliki rumus kimia yaitu CH_4
8. Kompresor memiliki fungsi yaitu untuk menghisap udara di lingkungan dan mendorong udara tersebut menuju ruang bakar.
9. Pompa bahan bakar berfungsi untuk mendorong bahan bakar menuju ruang pembakaran.
10. Terjadinya pembakaran didalam pembangkit listrik tenaga gas hampir sama dengan pembangkit listrik tenaga diesel, yaitu dengan kompresi atau pemampatan antara udara dan bahan bakar.



8.6. Latihan Soal

Pertanyaan :

1. Siklus yang digunakan pada sistem pembangkit listrik tenaga gas adalah siklus...
Jawaban :
2. Siklus yang memanfaatkan sumber panas eksternal adalah siklus...
Jawaban :
3. Komponen yang berfungsi untuk memampatkan udara didalam ruang bakar adalah...
Jawaban :
4. Terjadinya pembakaran di dalam ruang bakar adalah karena terjadinya...
Jawaban :
5. Bahan bakar yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga gas adalah...
Jawaban :

Jawaban :

1. Brayton
2. Brayton Tertutup
3. Kompresor
4. Kompresi
5. Metana / CH₄



8.7. EVALUASI

1. Energi yang dimanfaatkan oleh pembangkit listrik tenaga gas adalah...
 - a. Kinetik
 - b. Mekanik
 - c. Potensial
 - d. Elektromekanik
 - e. Kalor
2. komponen pembangkit listrik tenaga gas yang berfungsi untuk menyaring udara yang akan masuk kedalam ruang pembakaran adalah ...
 - a. *Filter*
 - b. *Kompressor*
 - c. *Reseptor*
 - d. *Fuel pump*
 - e. *Combustion chamber*
3. Prinsip pembakaran pada pembangkit listrik tenaga gas hampir sama dengan pembangkit listrik tenaga diesel yaitu memanfaatkan...
 - a. Tekanan udara sekitar
 - b. Kompresi ruang bakar
 - c. Tekanan udara
 - d. Tekanan bahan bakar
 - e. Semua benar
4. Bahan bakar yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga gas adalah...
 - a. Cr
 - b. Ge
 - c. Kr
 - d. Xe
 - e. CH₄
5. Berikut ini adalah bahan bakar hidrokarbon, kecuali....
 - a. Metana
 - b. Butana
 - c. Propana
 - d. Pentana
 - e. Refrigeran
6. Komponen pembangkit listrik tenaga gas yang berfungsi untuk menekan bahan bakar adalah ...
 - a. Kompresor udara
 - b. *Combustion chamber*
 - c. *Fuel pump*
 - d. Filter
 - e. Turbin

7. Komponen yang digunakan untuk menyalurkan energi mekanik dari turbin menuju generator adalah ...
 - a. Poros
 - b. *Gearbox*
 - c. *Coupling*
 - d. *Brakes*
 - e. Jawaban b dan c betul
8. Material yang digunakan dalam pembuatan semikonduktor tipe p, Kecuali ...
 - a. Galium
 - b. Indium
 - c. Boron
 - d. Magnesium
 - e. Semua jawaban salah
9. Unsur utama pada bahan bakar hidrokarbon adalah...
 - a. Hidrogen
 - b. Karbondioksida
 - c. Karbonmonoksida
 - d. Polymer
 - e. Gas
10. Komponen yang berfungsi untuk memadatkan udara atau mengompresi udara adalah...
 - a. Kompresor udara
 - b. *Discharge compressor*
 - c. *Variable compressor*
 - d. *Fuel compressor*
 - e. *Turbine compressor*

BAB IX PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS DAN UAP

9.1. Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap di Indonesia

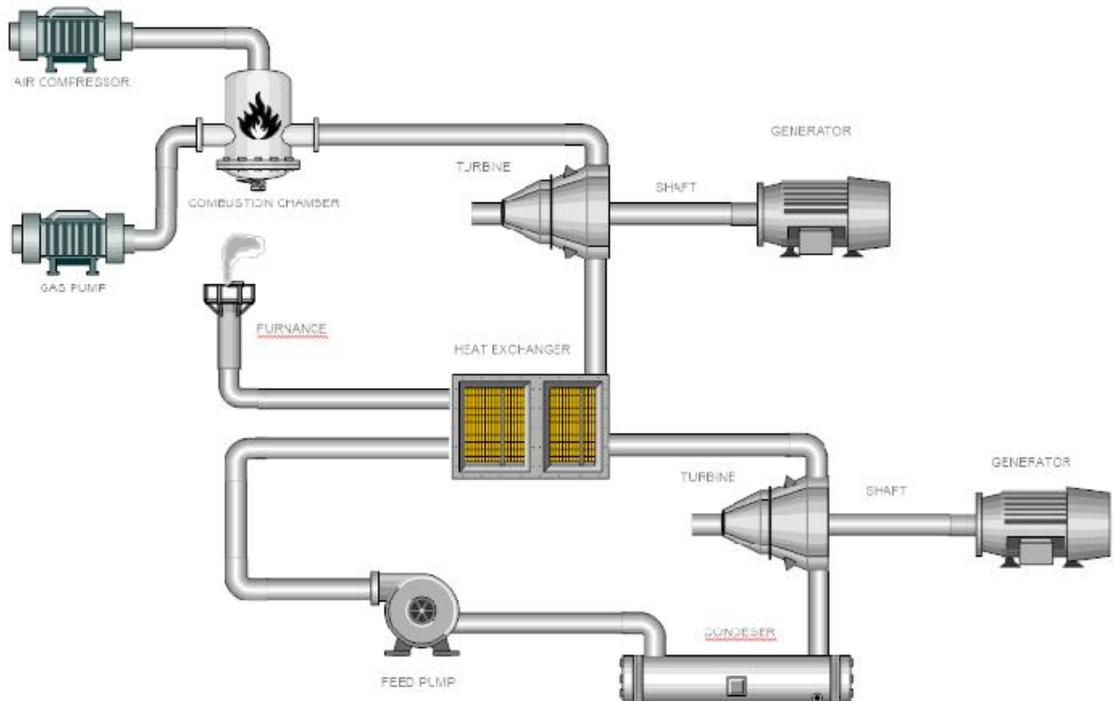
PLTGU Muara Tawar adalah salah satu pembangkit tenaga gas dan uap yang ada di Indonesia. Kapasitas pembangkitan PLTGU ini adalah 500 Mega Watt (MW). Pembangkit ini berlokasi di Desa Segara Jaya, Kecamatan Tarumajaya, Kabupaten Bekasi.



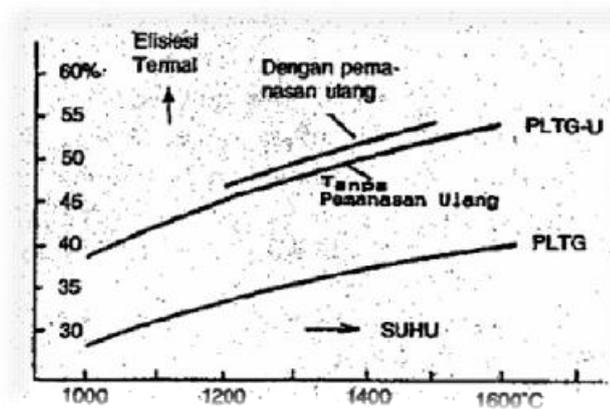
Gambar 95. PLTGU Muara Tawar
(Sumber: Tribunnews)

9.2. Prinsip Kerja PLTGU

PLTGU merupakan gabungan antara PLTG dan PLTU. PLTGU memanfaatkan sisa gas buang dari turbin yang sebelumnya langsung dibuang kepada lingkungan. Sisa gas buang ini dimanfaatkan kembali untuk memanaskan air hingga menjadi uap di dalam *boiler* sehingga dapat meningkatkan efisiensi pembangkit.



Gambar 96. Ilustrasi Siklus Kerja PLTGU



Gambar 97. Efisiensi PLTGU
(Sumber: PTPP)

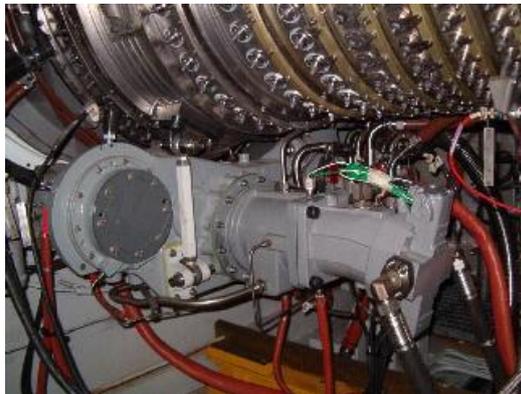
9.3. Proses pembangkitan PLTGU

1. Udara dan bahan bakar dimampatkan oleh kompresor dan pompa bahan bakar di dalam ruang bakar.
2. Selanjutnya setelah campuran gas dan udara bercampur dan terbakar maka akan menghasilkan gas buang bertekanan tinggi. Tekanan gas yang tinggi ini kemudian mengalir menuju turbin gas dan menghasilkan energi listrik dengan bantuan generator.
3. Setelah gas buang melewati turbin, sisa gas buang ini sebelum dibuang ke lingkungan dimanfaatkan kembali oleh *boiler* pada untuk membuat uap air bertekanan tinggi.
4. Selanjutnya uap air bertekanan tinggi akan mengalir menuju turbin uap sehingga menghasilkan energi listrik dengan bantuan generator.

9.4. Komponen PLTGU

1. *Cranking Motor*

Cranking motor atau motor starter merupakan mesin yang digunakan untuk membantu memutar mesin pertama kali (*Starting*). Motor ini dapat dioperasikan dengan tegangan DC maupun AC sesuai dengan spesifikasi motor tersebut.



Gambar 98. *Crank Motor*

2. *Air Filter*

Air filter atau filter udara adalah komponen yang terbuat dari material *fiber* yang digunakan sebagai pemurni udara yang didapatkan dari lingkungan. Air filter akan menyaring partikel *solid* seperti daun, debu dan abu sehingga tidak memasuki ruang pembakaran.



Gambar 99. *Air Filter*
(Sumber: TMR Research)

3. *Air Compressor*

Air compressor atau pemadat udara merupakan komponen yang berfungsi untuk menghisap udara dari lingkungan dan kemudian memadatkan udara tersebut sehingga menjadi bertekanan. Terdapat tiga jenis kompresor yaitu:

- a. *Low Pressure Compressor*, memiliki nilai tekanan 150 Psi atau kurang pada sisi buangnya.
- b. *Medium Pressure Compressor*, memiliki nilai tekanan 151 hingga 1,000 Psi pada sisi buangnya, dan
- c. *High Pressure Compressor*, memiliki nilai tekanan lebih dari 1000 Psi pada sisi buangnya.



Gambar 100. *Air Compressor*

4. *Combustion Chamber*

Combustion chamber atau ruang bakar merupakan tempat dimana gas dan udara dimampatkan dan meledak. Proses terjadinya ledakan adalah karena gas bahan bakar dan udara bertemu di ruang bakar kemudian karena udara bertekanan maka udara tersebut bersifat panas sehingga terjadi ledakan bahan bakar.



Gambar 101. *Combustion Chamber*
(Sumber: Intech)

5. Turbin

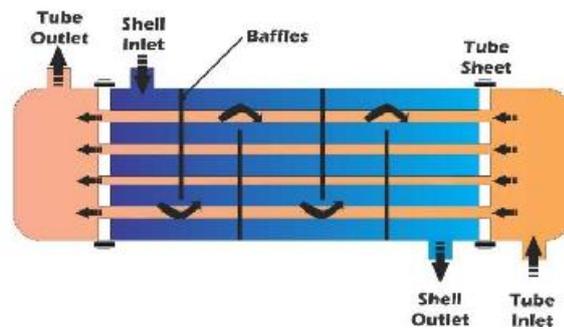
Di dalam PLTGU terdapat dua jenis turbin yaitu turbin gas dan turbin uap. Turbin mengubah energi kinetik dari gas buang bertekanan dan uap air bertekanan menjadi energi mekanik melalui bilah-bilah turbin.



Gambar 102. Turbin
(Sumber: Power Magazine)

6. *Heat Exchanger*

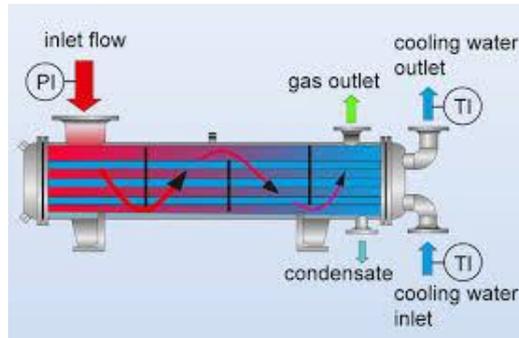
Heat exchanger atau komponen pemindah kalor merupakan komponen yang berfungsi untuk mentransfer panas dari satu media ke media yang lain. Pada PLTGU panas dari sisa gas buang kemudian di transfer menuju air yang mengalir di dalam *heat exchanger* hingga menjadi uap dan kemudian memutar turbin uap.



Gambar 103. *Heat Exchanger*

7. *Condenser*

Condenser atau kondensor merupakan alat yang berfungsi untuk mengkondensasi uap yang telah mengalir melewati turbin hingga menjadi butiran air kembali. Media pendingin kondensor dapat berupa gas maupun cairan.



Gambar 104. *Condenser*
(Sumber: Alfa Laval)



9.5. Rangkuman

1. Pembangkit listrik tenaga gas dan uap merupakan jenis pembangkit yang menggunakan energi terbarukan sebagai bahan bakarnya.
2. Pembangkit ini adalah pengembangan dari pembangkit listrik tenaga gas, dimana pada pembangkit tersebut setelah gas bertekanan melewati turbin maka gas akan langsung dibuang.
3. Pada pembangkit ini gas buang tersebut dimanfaatkan kembali untuk memanaskan *boiler* sehingga efisiensi pembangkitan semakin tinggi.
4. Pembangkit listrik tenaga gas dan uap memiliki dua buah turbin yaitu turbin gas dan turbin uap yang keduanya berfungsi sama untuk menyalurkan energi mekanik kepada *generator* untuk diubah menjadi energi listrik.
5. Pada proses *starting*, diperlukan bantuan *cranking motor* untuk memutar turbin pada awalnya. Turbin harus berputar sebelum ada gas maupun uap yang akan dialirkan.
6. *Filter* udara merupakan komponen utama yang berfungsi untuk menyaring udara dari partikel-partikel debu yang dapat membuat kerak didalam ruang bakar.
7. Kompresor udara digunakan untuk memampatkan udara didalam ruang bakar sehingga menimbulkan panas. Panas tersebut akan bercampur dengan bahan bakar yang menghasilkan ledakan atau *combustion*.
8. *Heat exchanger* merupakan komponen yang berfungsi untuk menukar sisa gas buang yang masih panas untuk memanaskan air menjadi uap air dan memutar turbin sekunder.
9. Komponen yang berfungsi untuk mendinginkan uap air hingga menjadi cair kembali adalah kondensator
10. Media pendingin kondensator dapat berupa gas maupun cairan.



9.6. Latihan Soal

Pertanyaan :

1. Bahan bakar utama PLTGU adalah ...
Jawaban :
2. Komponen yang berfungsi untuk memutar turbin pertama kali adalah...
Jawaban :
3. Komponen yang berfungsi untuk menukar panas adalah...
Jawaban :
4. Media yang dapat digunakan untuk mendinginkan kondensor adalah...
Jawaban :
5. *High pressure compressor* memiliki nilai tekanan sebesar...
Jawaban :

Jawaban :

1. Metana (Gas/Cair)
2. *Cranking Motor*
3. *Heat Exchanger*
4. Gas / Cairan.
5. lebih dari 1000 Psi.



9.7. EVALUASI

1. Energi yang dimanfaatkan oleh pembangkit listrik tenaga gas dan uap adalah...
 - a. Kinetik
 - b. Mekanik
 - c. Potensial
 - d. Elektromekanik
 - e. Kalor
2. Komponen yang berfungsi sebagai penyalur panas pada pembangkit listrik tenaga gas dan uap adalah...
 - a. *Heat exchanger*
 - b. *Heat separator*
 - c. *Air filter*
 - d. *Condenser*
 - e. *Turbin*
3. Tujuan pemanfaatan gas buang menjadi *boiler* atau pemanas air adalah untuk...
 - a. Meningkatkan biaya investasi
 - b. Meningkatkan biaya perawatan
 - c. Meningkatkan efisiensi pembangkit
 - d. Mempermudah perbaikan
 - e. Mengurangi limbah
4. Material yang digunakan pada komponen filter udara adalah...
 - a. Fiber
 - b. Kertas
 - c. Spons
 - d. Kawat kasa
 - e. Plat besi
5. Ada tiga jenis kompresor yang terdapat pada pembangkit tenaga listrik. Kompresor dengan nilai tekanan sebesar 800 psi disebut sebagai
 - a. *Pico Pressure Compressor*
 - b. *Medium pressure compressor*
 - c. *High pressure compressor*
 - d. *Low pressure compressor*
 - e. *Mega pressure compressor*
6. Komponen pembangkit listrik tenaga gas yang berfungsi untuk menekan bahan bakar adalah ...
 - a. Kompresor udara
 - b. *Combustion chamber*
 - c. *Fuel pump*
 - d. *Filter*
 - e. *Turbin*

7. Komponen yang digunakan untuk menyalurkan energi mekanik dari turbin menuju generator adalah ...
 - a. Poros
 - b. *Gearbox*
 - c. *Coupling*
 - d. *Brakes*
 - e. Rotor
8. *Condenser* merupakan komponen pembangkit listrik tenaga gas dan uap yang berfungsi untuk ...
 - a. Mengalirkan uap panas
 - b. Mendinginkan uap panas
 - c. Memanaskan air
 - d. Mendinginkan komponen pembangkit
 - e. Menyalurkan panas
9. Jenis kompresor yang memiliki tekanan kerja 140 psi disebut juga sebagai...
 - a. *Pico Pressure Compressor*
 - b. *Medium pressure compressor*
 - c. *High pressure compressor*
 - d. *Low pressure compressor*
 - e. *Mega pressure compressor*
10. Komponen yang berfungsi sebagai tempat pembakaran gas dan udara adalah...
 - a. *Combustion chamber*
 - b. *Turbin*
 - c. *Heat exchanger*
 - d. *Compressor*
 - e. *Shaft*

BAB X PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI

10.1. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi di Indonesia

PLTP Dieng merupakan salah satu dari 17 PLTP yang ada di Indonesia. PLTP ini memiliki kapasitas pembangkitan sebesar 44 Mega Watt (MW). PLTP merupakan salah satu usaha di sektor energi terbarukan. Energi terbarukan adalah energi yang dapat diperbaharui dan tidak akan pernah habis berbeda dengan pembangkit konvensional yang masih menggunakan bahan bakar fosil. PLTP Dieng dikelola oleh PT. Geo Dipa Energi (Persero), salah satu perusahaan BUMN sektor energi panas bumi.



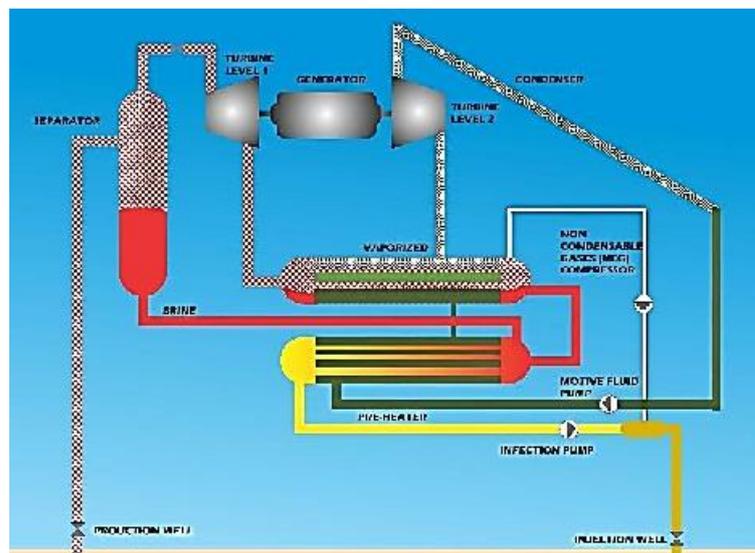
Gambar 105. PLTP Dieng
(Sumber: Geomagz)

10.2. Prinsip Kerja PLTP

PLTP dan PLTU memiliki prinsip kerja yang sama. Yang membedakan adalah proses pemanasan air (*boiling*) di dalam pembangkit tersebut. Dalam proses pemanasan air, PLTP memanfaatkan panas yang berada di dalam bumi dengan kedalaman 1200 meter hingga 3000 meter dari permukaan tanah. Temperatur air yang dihasilkan oleh panas bumi ini berkisar antara 200 hingga 320°C.

Proses kerja PLTP jika dijabarkan yaitu:

1. Injeksi air dari permukaan ke dalam bumi.
2. Setelah air menguap di dalam bumi maka uap air akan mengalir menuju *steam separator*, pada kondisi uap air yang naik tidak hanya berbentuk uap saja melainkan juga ada sedikit uap air yang masih berbentuk air. Uap air kemudian dipisahkan dan air yang telah terpisah dengan uap diinjeksikan lagi ke dalam bumi.
3. Uap air yang telah melewati *steam separator* kemudian mengalir kepada turbin dimana turbin akan mengubah energi kinetik uap air menjadi mekanik yang kemudian akan menggerakkan generator dan menghasilkan energi listrik.
4. Uap air yang telah melewati turbin akan masuk ke dalam *condenser* untuk didinginkan dan diubah menjadi air kembali.
5. Air diinjeksikan kembali ke dalam bumi.

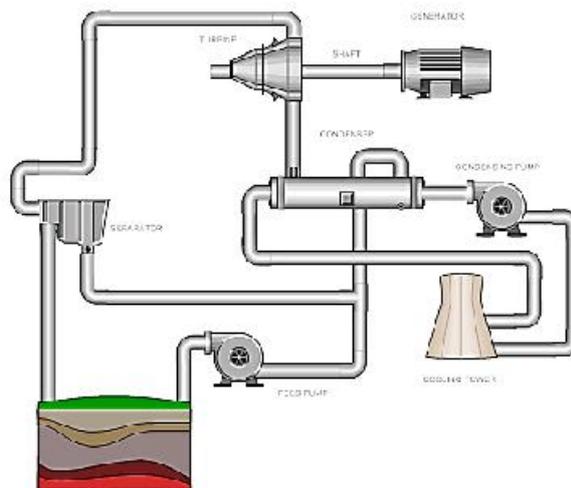


Gambar 106. Ilustrasi Prinsip Kerja PLTP

10.3. Klasifikasi PLTP

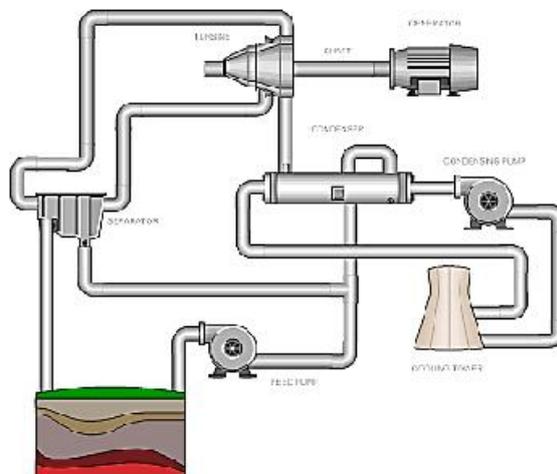
Terdapat 2 jenis siklus kerja dari PLTP ini. Yang membedakan diantara keduanya adalah jika pada siklus *single flash* hanya terjadi satu kali penekanan turbin menggunakan uap air, pada *double flash* terjadi dua kali penekanan turbin menggunakan uap air. Sehingga efisiensi sistem *double flash* lebih tinggi daripada *single flash*. Seperti pada gambar berikut:

1. Single Flash



Gambar 107. Model *Single Flash*

2. Double Flash

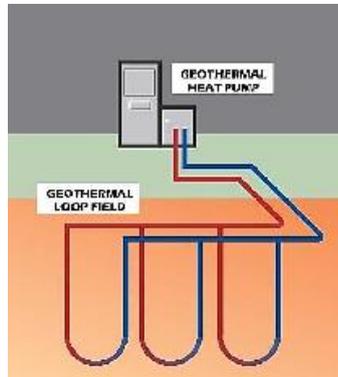


Gambar 108. Model *Double Flash*

10.4. Komponen PLTP

1. *Geothermal Well*

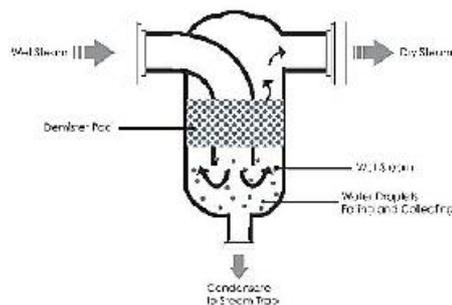
Geothermal Well atau sumur injeksi adalah komponen utama dalam memanaskan air. Kedalaman sumur injeksi berkisar antara 1,2 hingga 3 km di bawah tanah.



Gambar 109. *Geothermal Well*

2. *Steam Separator*

Steam separator sering juga disebut *moisture separator* adalah sebuah komponen yang memisahkan antara butiran air dengan uap air. Butiran air yang lebih berat daripada uap air akan jatuh karena gravitasi. Sehingga hanya uap air saja yang masuk ke dalam turbin



Gambar 110. *Steam Separator*

3. Turbin

Turbin adalah peralatan mekanik yang menyerap energi kinetik yang dihasilkan oleh uap air dan mengubah energi tersebut menjadi energi mekanik.



Gambar 111. *Turbine*
(Sumber: Power Technology)

4. *Condenser*

Condenser digunakan untuk mendinginkan uap air sehingga akan berubah menjadi cair. Hal ini dikarenakan air akan diinjeksikan lagi ke dalam sumur di dalam bumi. Media yang dapat digunakan untuk pendinginan dapat berupa air maupun gas pendingin.



Gambar 112. *Condenser*
(Sumber: Tube Tech Ltd.)

5. *Pump*

Pompa digunakan untuk memompa air yang bersirkulasi ke dalam sumur injeksi.



Gambar 113. *Pump*
(Sumber: atom.belta.by)



10.5. Rangkuman

1. Pembangkit listrik tenaga panas bumi merupakan salah satu pembangkit tenaga listrik yang menggunakan energi terbarukan sebagai bahan bakarnya.
2. Pembangkit listrik tenaga panas bumi memanfaatkan panas bumi sebagai pemanas air yang digunakan untuk menggerakkan turbin.
3. Terdapat dua jenis desain siklus kerja yaitu *single flash* dan *double flash*. Sistem *double flash* meningkatkan efisiensi pembangkit karena turbin ditiup sebanyak dua kali oleh uap air bertekanan.
4. Pemanfaatan panas bumi dilakukan dengan cara menginjeksikan air ke dalam permukaan bumi, sehingga air yang telah dilewatkan sumur injeksi akan menjadi uap air.
5. Kedalaman sumur injeksi berkisar antara 1200 hingga 3000 meter.
6. Temperatur di dalam permukaan bumi berkisar antara 200 hingga 320 derajat Celsius.
7. Sistem *dual flash* memiliki efisiensi yang lebih tinggi karena uap air digunakan sebanyak dua kali dibandingkan dengan sistem *single flash*.
8. *Steam separator* digunakan untuk memisahkan antara air dengan uap air.
9. Fluida yang diinjeksikan ke dalam sumur injeksi harus berbentuk cair sehingga diperlukan komponen bantu yaitu *condenser* untuk mendinginkan uap air sehingga menjadi cair kembali.
10. Pompa digunakan untuk menyirkulasikan fluida di dalam sistem.



10.6. Latihan Soal

Pertanyaan :

1. Sistem PLTP terdiri dari dua jenis, jenis sistem yang memiliki efisiensi tertinggi adalah...
Jawaban :
2. Bagian yang berfungsi untuk menyerap panas dari permukaan bumi dan kemudian menguapkan air adalah...
Jawaban :
3. Kedalaman *geothermal well* minimum adalah pada kedalaman...
Jawaban :
4. Komponen yang berfungsi untuk memisahkan uap air dengan air yang berbentuk cairan adalah...
Jawaban :
5. Untuk mendinginkan uap air, maka diperlukan komponen yang bernama...
Jawaban :

Kunci Jawaban :

1. *Double Flash*
2. *Injection Well*
3. 1 Kilometer
4. *Steam Separator*
5. Kondensor



10.7. EVALUASI

1. Pembangkit listrik tenaga panas bumi memanfaatkan panas yang dihasilkan secara alami oleh bumi sebagai pemanas airnya. Temperatur air setelah melewati sumber panas bumi adalah...
 - a. 200 – 320 °C
 - b. 80 – 100 °C
 - c. 110 – 150 °C
 - d. > 500 °C
 - e. > 1000 °C
2. Tempat dimasukkannya air ke dalam permukaan bumi disebut sebagai...
 - a. *Geothermal well*
 - b. *Injection well*
 - c. *Steam well*
 - d. *Boiling well*
 - e. Semua jawaban salah
3. Jenis pembangkit listrik tenaga panas bumi dapat dibagi menjadi dua, salah satunya adalah...
 - a. *Single Flash*
 - b. *Triple Flash*
 - c. *Mixed Flash*
 - d. *Combined Flash*
 - e. *Steam Flash*
4. Fungsi separator dalam sistem pembangkit listrik tenaga panas bumi adalah...
 - a. Memisahkan air bersih dan air kotor
 - b. Memisahkan gas dan uap air
 - c. Memisahkan uap air dan butiran air
 - d. Mengalirkan uap air menuju permukaan bumi
 - e. Mengalirkan air menuju turbin
5. Fungsi *feed pump* pada pembangkit listrik tenaga panas bumi adalah...
 - a. Memompa uap air menuju permukaan bumi
 - b. Menyaring air
 - c. Memompa gas menuju permukaan bumi
 - d. Memompa air menuju permukaan bumi
 - e. Semua jawaban benar
6. Fungsi *cooling tower* pada pembangkit listrik tenaga panas bumi adalah ...
 - a. Membuang air
 - b. Mendinginkan turbin
 - c. Mendinginkan separator
 - d. Mendinginkan suhu sekitar pembangkit
 - e. Membuang kalor dari kondensor

7. Komponen yang digunakan untuk menyalurkan energi mekanik dari turbin menuju generator adalah ...
 - a. Poros
 - b. *Gearbox*
 - c. *Coupling*
 - d. *Brakes*
 - e. Jawaban b dan c betul
8. *Condenser* merupakan komponen pembangkit listrik tenaga gas dan uap yang berfungsi untuk ...
 - a. Mengalirkan uap panas
 - b. Mendinginkan uap panas
 - c. Memanaskan air
 - d. Mendinginkan komponen pembangkit
 - e. Menyalurkan panas
9. Keunggulan sistem pembangkit listrik tenaga panas bumi *double flash* adalah...
 - a. Efisiensi lebih baik
 - b. Penggunaan bahan bakar lebih banyak
 - c. Penggunaan air lebih banyak
 - d. Biaya perawatan lebih murah
 - e. Pengoperasian lebih mudah
10. Butiran air dari hasil pemisahan pada separator akan disirkulasikan kembali ke dalam permukaan bumi dengan bantuan...
 - a. *Feed pump*
 - b. *Cooling pump*
 - c. *Circulating pump*
 - d. *Recirculating pump*
 - e. *Condesation pump*

BAB XI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT

11.1. Pembangkit Listrik Tenaga Ombak di Indonesia

Hingga saat ini (2018) Indonesia belum memiliki PLTGL yang dimanfaatkan untuk kebutuhan komersial. Terdapat salah satu PLTGL yang berlokasi di Parang Rancuk, Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta yang dikelola oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi DIY. Jenis *wave energy converter* yang digunakan adalah jenis *oscillating water column*. PLTGL ini menghasilkan energi listrik sebesar 3500 watt arus searah (*direct current*).



Gambar 114. PLTGL Parang Rancuk
(Sumber: Pinterest)

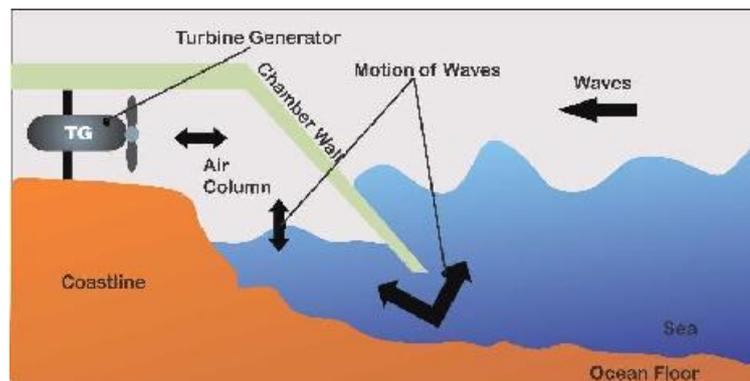
11.2. Prinsip Kerja PLTGL

Wave energy converter (WEC) merupakan sebuah komponen yang menangkap energi yang terdapat pada gelombang laut untuk menghasilkan energi listrik. Menggunakan energi ombak sebagai penghasil energi listrik bukanlah sebuah fenomena yang baru, peneliti sudah meneliti potensi ombak sebagai penghasil energi listrik sejak 1970.

Terdapat berbagai macam jenis WEC pada saat ini. Setiap jenis WEC juga memiliki karakteristik tersendiri dalam proses penyerapan energi ombak serta penempatan WEC itu sendiri. Jenis jenis PLTGL sebagai berikut:

1. *Oscillating Water Column*

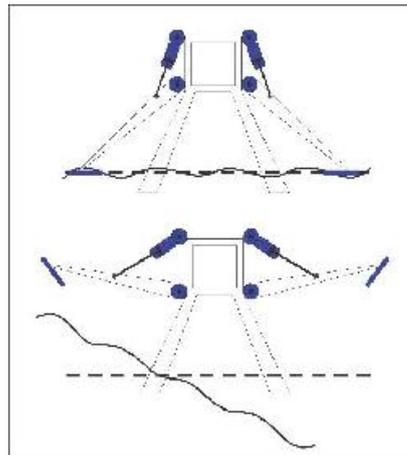
Oscillating water column (OWC) adalah salah satu jenis *wave energy converter* yang memanfaatkan energi dari osilasi gelombang air laut di dalam sebuah terowongan yang disebabkan oleh gelombang air laut. OWC merupakan jenis *wave energy converter* dengan desain terowongan yang setengah terbenam sehingga terdapat sebuah rongga udara didalam terowongan. Gelombang air laut memaksa rongga udara untuk bekerja seperti *piston* dengan bergerak naik dan turun. Udara yang mengalir disalurkan melalui *power take off* (PTO), PTO merupakan sebuah sistem yang mengubah aliran udara menjadi energi. Turbin yang digunakan adalah turbin dengan jenis *bi-directional*. Turbin jenis *bi-directional* (dua arah) merupakan turbin yang selalu berputar ke arah yang sama meskipun arah aliran udaranya berbeda.



Gambar 115. *Oscillating Water Column*

2. *Oscillating Body Converter*

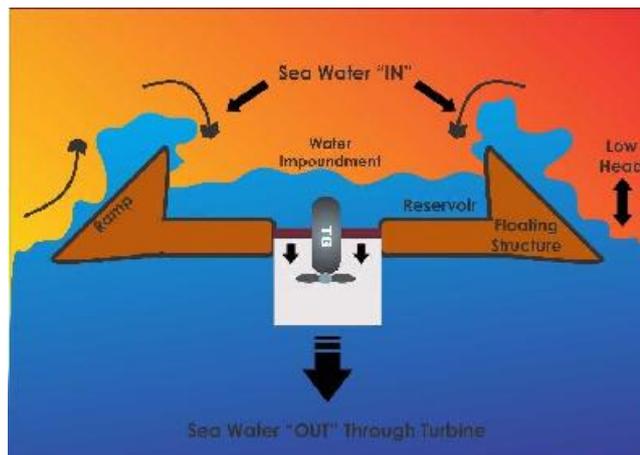
Oscillating body converter (OBC) adalah salah satu jenis *wave energy converter* yang memiliki desain terapung berbeda dengan OWC yang memiliki desain setengah terbenam. OWC memanfaatkan gelombang air laut untuk menggerakkan *generator* yang berada pada poros OWC. Seperti pada ilustrasi diatas, ketika gelombang air laut meningkat maka pelampung akan menyesuaikan ketinggian gelombang air laut. Hal ini kemudian dimanfaatkan dengan meletakkan *generator* pada poros pelampung OBC.



Gambar 116. *Oscillating Body Converter*

3. *Overtopping Device*

Jenis terakhir dari *wave energy converter* adalah jenis *overtopping device*. *Waves energy converter* jenis ini menangkap gelombang air laut yang melewati reservoir kemudian melepaskan air laut yang terperangkap ke dalam reservoir melalui turbin. Energi potensial yang dihasilkan oleh air laut kemudian diubah menjadi energi listrik oleh *generator*.



Gambar 117. *Overtopping Device*

11.3. Power Take-Off System

Terdapat berbagai macam sistem PTO yang dapat digunakan untuk mengonversi energi gelombang air laut menjadi energi listrik, seperti turbin, sistem hidrolik, *generator* linier, dan *generator* mekanis. *Oscillating waves converter* menggunakan turbin udara untuk mengubah energi kinetik yang dihasilkan oleh pasang surutnya gelombang air laut menjadi energi listrik. Sementara *oscillating body converter* dan *overtopping device* menggunakan PTO jenis hidrolik.

Penentuan jenis PTO yang digunakan harus disesuaikan dengan jenis *wave energy converter* yang digunakan. Energi yang dihasilkan oleh gelombang air laut bersifat acak dan sangat bervariasi. Turbin jenis udara mampu mencapai efisiensi 50-60% sedangkan efisiensi turbin hidrolik 70-90%.



Gambar 118. *Power Take Off*
(Sumber: The Engineer)

11.4. Bagian-bagian PLTGL

1. *Hydraulic Piston (Suspension)*

Hydraulic piston berfungsi sebagai suspensi bagi komponen-komponen didalam PLTGL. Komponen *hydraulic piston* ini digunakan untuk menjaga kedudukan *generator* agar posisinya atau kedatarannya tidak terpengaruh meskipun terkena gelombang air laut.



Gambar 119. *Hydraulic Piston*
(Sumber: Indiamart)

2. Turbin

Turbin berfungsi sebagai komponen yang menyerap energi kinetik *oscillating water converter* ataupun energi potensial *oscillating body converter* dan *overtopping device* menjadi energi mekanik.



Gambar 120. Turbin
(Sumber: Steam Engineering)

3. Generator

Generator berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Perbedaan jenis generator pada PLTGL dengan pembangkit tenaga listrik lainnya adalah pada konstruksi pelindungnya. Pada PLTGL *generator* didesain untuk mampu bertahan pada kondisi yang korosif.



Gambar 121. *Generator*
(Sumber: DIY Trade)

4. Kabel Bawah Laut

Kabel listrik bawah laut adalah kabel transmisi utama energi listrik yang berada di bawah permukaan air. Kabel ini terdiri dari lapisan isolasi pelindung seperti PVC, XLPE, *stainless steel* dan lain sebagainya.



Gambar 122. *Sub-Marine Cable*
(Sumber: subsea)



11.5. Rangkuman

1. Pembangkit listrik tenaga gelombang laut adalah salah satu jenis pembangkit energi listrik yang menggunakan energi terbarukan sebagai bahan bakarnya.
2. Pembangkit ini memanfaatkan gerakan pada gelombang air laut sebagai pembangkit energi listrik.
3. Terdapat tiga jenis desain pada pembangkit ini, yaitu ; (1) *oscillating water column*, (2) *oscillating body column*, (3) *overtopping device*.
4. Jenis pembangkit ini cukup sulit untuk diimplementasikan karena sulitnya proses perawatan, komposisi komponen pembangkit yang harus tahan terhadap korosi.
5. *Oscillating water column* adalah jenis pembangkit tenaga listrik ombak yang memanfaatkan ombak untuk menggerakkan udara didalam terowongan (*column*) kemudian memutar generator menggunakan turbin udara
6. *Oscillating body converter* adalah jenis pembangkit listrik tenaga ombak yang memanfaatkan ombak untuk menggerakkan generator yang berada pada sendi OWC.
7. *Overtopping device* adalah jenis plt ombak yang memerangkap ombak kedalam *reservoir*. Kemudian air yang terperangkap di dalam *reservoir* akan mengalir ke bawah dan menggerakkan turbin *generator*.
8. Turbin jenis udara mampu mencapai efisiensi 50% hingga 60% sedangkan turbin hidrolik mencapai 70% hingga 90%.
9. Kabel yang digunakan adalah kabel berisolasi khusus yang mampu menahan air agar tidak menyentuh konduktor maupun membuat isolasi tersebut korosif.
10. Umumnya *generator* dipasang suspensi hidrolik agar *generator* kedudukannya tetap meskipun terpengaruh ombak laut.



11.6. Latihan Soal

Pertanyaan :

1. Jenis Pembangkit Listrik Tenaga Ombak yang memanfaatkan ruangan berongga adalah jenis...
Jawaban :
2. *Oscillating Water Coloumn* memanfaatkan udara yang disalurkan melalui sistem...
Jawaban :
3. Sistem *Power Take-Off* menggunakan turbin jenis...
Jawaban :
4. Jenis PLT Ombak yang memanfaatkan gerakan mekanis pada persendian dan dimanfaatkan untuk menggerakkan *generator* adalah jenis...
Jawaban :
5. Komponen yang berfungsi untuk menjaga posisi *generator* meskipun terkena gerakan ombak adalah...
Jawaban :

Jawaban :

1. *Oscillating Water Coloumn*
2. *Power-Take Off*
3. *Bi-Directional*
4. *Oscillating Body Converter*
5. Suspensi Hidrolik



11.7. EVALUASI

1. Pembangkit listrik tenaga gelombang laut menggunakan sebuah alat untuk mengonversi energi dari gelombang laut menjadi energi yang dapat dirubah menjadi energi listrik. Komponen tersebut dinamakan...
 - a. *Wave circulator*
 - b. *Wave receptor*
 - c. *Wave converter*
 - d. *Moving energy converter*
 - e. *Wave energy converter*
2. Jenis dari *wave energy converter* yang memanfaatkan kolom kosong atau berongga adalah...
 - a. *Oscillating wave converter*
 - b. *Oscillating body converter*
 - c. *Overtopping device*
 - d. *Air coloumn converter*
 - e. *Moving water converter*
3. Jenis dari *wave energy converter* yang secara langsung memanfaatkan gelombang laut untuk menggerakkan generator adalah...
 - a. *Oscillating wave converter*
 - b. *Oscillating body converter*
 - c. *Overtopping device*
 - d. *Air coloumn converter*
 - e. *Moving water converter*
4. Jenis dari *wave energy converter* yang menggunakan turbin air adalah...
 - a. *Oscillating wave converter*
 - b. *Oscillating body converter*
 - c. *Overtopping device*
 - d. *Air coloumn converter*
 - e. *Moving water converter*
5. Jenis *power take off* yang digunakan pada *wave energy converter* jenis *oscillating wave converter* adalah....
 - a. Udara
 - b. Hidraulis
 - c. Inier
 - d. Mekanis
 - e. Semua jawaban benar
6. Fungsi komponen piston hidrolik pada pembangkit listrik tenaga gelombang laut adalah ...
 - a. Menstabilkan gelombang laut
 - b. Menjaga kedataran gelombang laut
 - c. Menjaga generator agar tetap pada posisinya
 - d. Menjaga ketinggian gelombang laut
 - e. Melindungi generator dari korosi

7. Jenis *power take off* yang memiliki efisiensi 50 sampai 60 % adalah ...
 - a. Udara
 - b. Hidrolik
 - c. Linier
 - d. Mekanis
 - e. Semua jawaban benar
8. *Power take off* jenis turbin hidrolik mampu mencapai efisiensi sebesar ...
 - a. 85 %
 - b. 10 %
 - c. 25 %
 - d. 55 %
 - e. 60 %
9. Jenis *wave energy converter* yang memiliki reservoir adalah...
 - a. *Oscillating wave converter*
 - b. *Oscillating body converter*
 - c. *Overtopping device*
 - d. *Air column converter*
 - e. Semua jawaban benar
10. Kelemahan pembangkit listrik tenaga gelombang laut salah satunya adalah...
 - a. Biaya sumber daya manusia mahal
 - b. Biaya bahan bakar mahal
 - c. Potensi pembangkitan rendah
 - d. Gelombang laut sulit dicapai
 - e. Belum adanya teknologi

BAB XII GENERATOR ARUS BOLAK-BALIK SINKRON

12.1. Pengertian Generator Sinkron

Generator sinkron adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengonversi energi mekanik menjadi energi listrik dengan arus bolak-balik. *Generator* arus bolak-balik dapat juga disebut sebagai *alternator*. Jenis *generator* yang digunakan pada pembangkit tenaga listrik adalah jenis *generator* sinkron. *Generator* disebut sebagai *generator* sinkron karena putaran rotor sama dengan putaran magnet pada stator. *Generator* sinkron dapat dijumpai pada pembangkit tenaga listrik dengan kapasitas daya yang besar misal, PLTA, PLTU dan lain-lain.

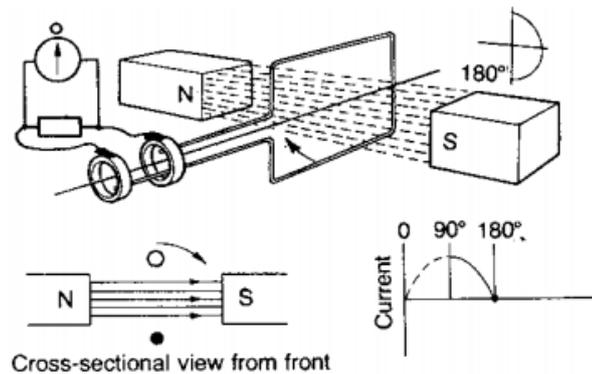


Gambar 123. *Generator*
(Sumber: Cleveland)

12.2. Prinsip Kerja Generator

Prinsip kerja *generator* sinkron adalah berdasarkan induksi elektromagnetik. Ketika rotor diputar oleh penggerak mula (*prime mover*) maka kutub-kutub magnet yang berada pada rotor akan berputar. Berdasarkan hukum Faraday, apabila suatu lilitan penghantar diputar memotong garis gaya magnet yang diam maka pada penghantar tersebut akan muncul gaya gerak listrik.

Gaya gerak listrik yang dibangkitkan adalah tegangan bolak-balik seperti yang terlihat pada gambar berikut ini.



Gambar 124. *Stator*
(Sumber: Illiana Industrial)

Untuk menentukan arah arus dan tegangan yang timbul pada penghantar dapat menggunakan kaidah tangan kanan atau hukum Fleming. Jempol atau ibu jari akan menunjukkan arah gerak atau putaran, jari telunjuk akan menunjukkan arah medan magnet dan jari tengah menunjukkan arah arus dan tegangan.

12.3. Konstruksi Generator Arus Bolak-balik

Generator arus bolak-balik memiliki konstruksi yang terdiri dari dua bagian utama, yaitu: (1) *stator*, yaitu bagian diam atau statis yang berfungsi untuk membangkitkan tegangan dan arus bolak-balik, (2) *rotor*, yaitu bagian bergerak yang menghasilkan medan magnet kemudian menginduksikan ke *stator*, dan (3) belitan jangkar.

1. *Stator*

Stator merupakan bagian dari generator yang terbuat dari besi atau baja yang berfungsi untuk melindungi bagian didalam *generator*. Inti stator terbuat dari bahan *ferromagnetic* atau besi ferit yang disusun berlapis lapis.



Gambar 125. Stator
(Sumber: Illiana Industrial)

Komponen di dalam stator diantaranya:

a. Rangka stator

Rangka stator merupakan kerangka atau rumah yang menyangga inti dari *generator*.



Gambar 126. Rangka Stator

b. Inti *Stator*

Inti stator terbuat dari bahan *ferromagnetic* khusus yang dipasang pada kerangka stator. Bahan *ferromagnetic* merupakan bahan yang dapat ditarik dengan sangat kuat oleh magnet.



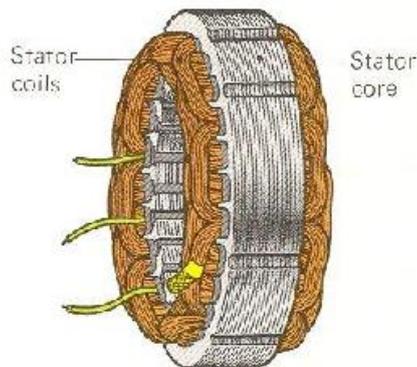
Gambar 127. Inti *Stator*
(Sumber: Alibaba)

c. Alur

Alur merupakan tempat meletakkan kumparan stator atau lilitan *stator*. Terdapat 3 jenis macam dari alur stator yaitu: (1) terbuka, (2) setengah terbuka, dan (3) tertutup.

d. Kumparan *Stator*

Kumparan atau lilitan stator umumnya terbuat dari tembaga atau aluminium. Kumparan *stator* adalah tempat terjadinya gaya gerak listrik induksi.



Gambar 128. Kumparan Stator
(Sumber: Servis Dinamo)

2. Rotor

Rotor merupakan komponen *generator* yang berputar. Konstruksi rotor dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu:

a. Rotor *Salient Pole*

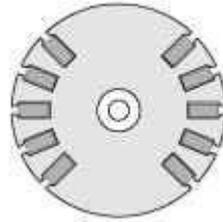
Rotor *salient pole* atau rotor kutub menonjol merupakan jenis rotor yang digunakan untuk *generator* dengan putaran yang rendah (120-400 rpm.). kutub-kutub pada *rotor salient pole* diberi lapisan laminasi untuk mengurangi panas yang ditimbulkan oleh arus Eddy. Belitan medannya dihubung seri, ketika belitan medan ini di suplai oleh eksiter maka kutub yang berdekatan akan menjadi kutub yang berlawanan.



Gambar 129. *Salient Pole*

b. Rotor *Cylinder*

Rotor *cylinder* merupakan rotor yang digunakan pada generator dengan kecepatan putaran yang tinggi (1500 - 3000 rpm.). rotor dengan konstruksi ini memiliki keseimbangan mekanis yang lebih baik daripada rotor *salient pole*. Rugi-rugi udara didalam rotor ini lebih kecil daripada rotor *salient pole*.



Gambar 130. *Rotor Cylinder*

3. Belitan Jangkar

Belitan jangkar atau lilitan jangkar merupakan belitan yang diletakkan pada alur *stator*. Jenis jenis belitan jangkar adalah sebagai berikut:

a. *Concentris*

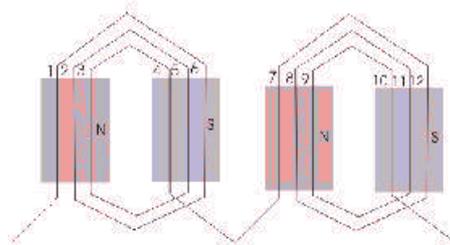
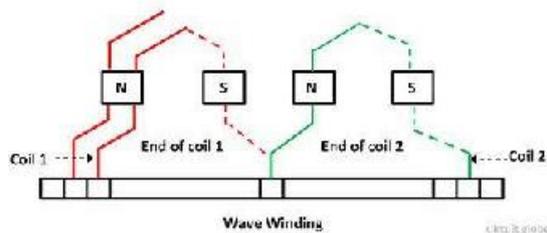


Fig - 6

Gambar 131. *Concetris Winding*

b. *Wave*

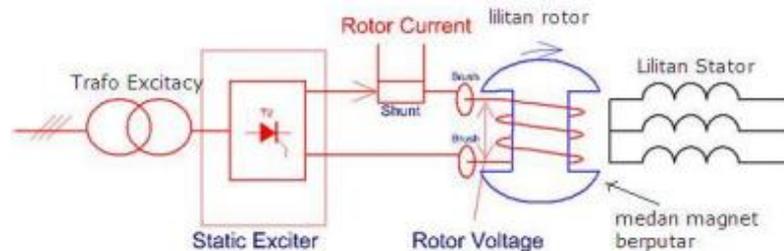


Gambar 132. *Wave Winding*

12.4. Eksitasi Generator

1. Eksitasi Menggunakan Sikat (*Brush Excitation*)

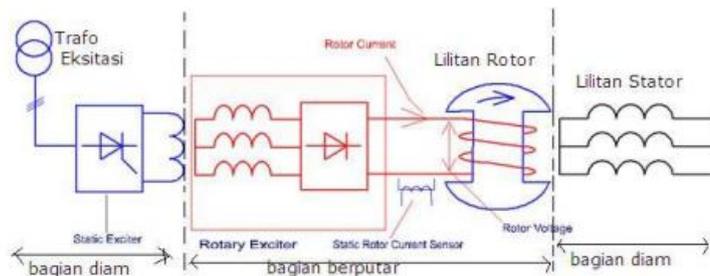
Pada sistem eksitasi yang menggunakan sikat, sumber tegangan yang digunakan adalah tegangan searah (*direct current*) atau sumber tegangan bolak-balik yang di searahkan menggunakan *rectifier*. Untuk mengalirkan arus eksitasi digunakan komponen bantu yaitu *slip ring* dan sikat arang.



Gambar 133. *Brush Excitation*
(Sumber: Portalgaruda)

2. Eksitasi Tanpa Sikat (*Brushless Excitation*)

Sistem eksitasi tanpa sikat dilakukan oleh dua *generator* penguat, yaitu *generator* penguat pertama (*pilot exciter*) dan *generator* penguat kedua (*main exciter*).



Gambar 134. *Brushless Excitation*
(Sumber: Portalgaruda)

12.5. Sinkronisasi Generator

Sinkronisasi generator dilakukan apabila beban dari pengguna melebihi kapasitas pembangkitan generator tersebut yang dapat mengakibatkan generator berhenti bekerja ataupun kerusakan generator. Pada permasalahan ini diperlukan generator lain untuk mengatasi kelebihan beban pada satu generator. Hal ini dinamakan sinkronisasi atau paralel generator.

12.6. Ketentuan Sinkronisasi Generator

1. Tegangan

Di dalam proses sinkronisasi generator, diperlukan kesetaraan atau kesamaan tegangan antara kedua generator. Hal ini ditujukan agar generator dapat bekerja secara seimbang, karena jika salah satu generator memiliki tegangan keluaran yang lebih rendah dari generator lainnya maka generator tersebut akan menjadi beban.

2. Frekuensi

Frekuensi antara kedua generator harus sama. Untuk menyamakan frekuensi generator maka putaran generator harus diatur.

3. Urutan fase dan Sudut Fasa

Urutan fase dan sudut fase pada generator yang akan diparalelkan harus sama. Sinkronisasi generator dengan sudut fase yang sama dapat diartikan bahwa kedua fase dari generator memiliki sudut yang sama atau berhimpit.



12.7. Rangkuman

1. *Generator* merupakan komponen mekanik yang merubah energi mekanik menjadi energi listrik.
2. Prinsip kerja *generator* adalah dengan hukum faraday yang menyatakan bahwa apabila suatu lilitan penghantar diputar memotong garis gaya magnet yang diam maka pada penghantar tersebut akan muncul gaya gerak listrik.
3. komponen-komponen *generator* diantaranya adalah: (1) stator, (2) rotor, (3) belitan jangkar.
4. Sistem eksitasi *generator* dapat dibedakan menjadi dua yaitu eksitasi menggunakan sikat dan eksitasi yang tidak menggunakan sikat.
5. Inti stator terbuat dari bahan *ferromagnetik* atau besi ferit yang disusun berlapis-lapis.
6. Terdapat tiga jenis alur pada generator yaitu alur terbuka, setengah terbuka dan alur tertutup.
7. Kumputan didalam *generator* umumnya terbuat dari tembaga dan aluminium.
8. Terdapat dua jenis konstruksi rotor yaitu rotor *salient pole* dan rotor *cylinder*.
9. Terdapat dua jenis konstruksi belitan jangkar yaitu konsentris dan ombak.
10. Dalam sinkronisasi *generator* terdapat tiga hal yang perlu diperhatikan yaitu tegangan, sudut fase dan frekuensi.



12.8. Latihan Soal

Pertanyaan :

1. *Generator* bekerja dengan memanfaatkan hukum...
Jawaban :
2. kaidah tangan kanan atau hukum *flemming* digunakan untuk menunjukkan arah...
Jawaban :
3. Inti dari stator disusun menggunakan bahan dengan jenis...
Jawaban :
4. Kumputan stator dapat disusun menggunakan bahan jenis...
Jawaban :
5. Jenis rotor yang digunakan pada *generator* dengan kecepatan lebih dari 2000 Rpm. adalah...
Jawaban :

Jawaban :

1. Hukum Faraday
2. Arus dan Tegangan
3. Ferromagnetik
4. Alumunium dan Tembaga
5. Rotor Cylinder



12.9. EVALUASI

1. *Generator* merupakan sebuah komponen yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, generator sering juga disebut sebagai...
 - a. *Alternator*
 - b. Akumulator
 - c. Separator
 - d. Komparator
 - e. Kondensor
2. *Generator* bekerja berdasarkan prinsip hukum...
 - a. Borg
 - b. Fleming
 - c. Lenz
 - d. Savart
 - e. Faraday
3. Untuk menentukan arah arus dan tegangan maka digunakan prinsip hukum...
 - a. Borg
 - b. Fleming
 - c. Lenz
 - d. Savart
 - e. Faraday
4. Bagian yang diam pada sebuah generator disebut...
 - a. Rotor
 - b. Alur magnet
 - c. Stator
 - d. Belitan jangkar
 - e. Bearing
5. *Generator* yang memiliki konstruksi rotor jenis *salient pole* umumnya memiliki kecepatan putaran sebesar....
 - a. 50 – 100 rpm
 - b. 100 – 500 rpm
 - c. 500 – 1000 rpm
 - d. 1000 – 1500 rpm
 - e. Lebih dari 1500 rpm
6. *Generator* yang memiliki konstruksi rotor jenis *cylinder* umumnya memiliki kecepatan putaran sebesar ...
 - a. 50 – 100 rpm
 - b. 100 – 500 rpm
 - c. 500 – 1000 rpm
 - d. 1000 – 1500 rpm
 - e. Lebih dari 1500 rpm

7. Keuntungan rotor jenis *cylinder* adalah ...
 - a. Hemat ruang
 - b. Keseimbangan lebih baik
 - c. Mudah diperbaiki
 - d. Tidak menimbulkan suara
 - e. Semua jawaban benar
8. Fungsi lapisan laminasi pada rotor jenis *salient pole* adalah untuk...
 - a. Sebagai hiasan
 - b. Sebagai isolator
 - c. Sebagai pengurang panas
 - d. Untuk memperbesar arus
 - e. Untuk memperbesar tegangan
9. Jenis lilitan yang digunakan didalam *generator* selain terbuat dari tembaga biasanya adalah...
 - a. Emas
 - b. Stainless steel
 - c. Magnesium
 - d. Alumunium
 - e. Kaca
10. Berikut ini adalah jenis jenis alur stator, kecuali...
 - a. Terbuka
 - b. Setengah terbuka
 - c. Tertutup
 - d. Terbalik
 - e. Setengah tertutup

BAB XIII AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR

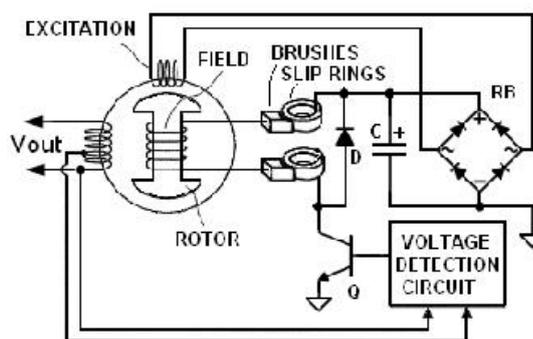
13.1. Pengertian Automatic Voltage Regulator

Tegangan keluaran *generator* yang konstan merupakan hal yang penting untuk diperhatikan. Tegangan yang dihasilkan oleh *generator* dapat berubah dikarenakan beberapa faktor, yaitu kecepatan putaran *generator*, beban *generator*, faktor daya, perubahan temperatur, dan lain sebagainya. Maka dari itu diperlukan sebuah alat yang mampu mengontrol tegangan yang dihasilkan oleh *generator* meskipun *generator* tersebut mengalami beberapa gangguan seperti yang telah disebutkan sebelumnya.

Alat yang digunakan untuk mengatur tegangan yang dihasilkan oleh *generator* disebut *automatic voltage regulator* (AVR) atau kontrol tegangan otomatis. AVR merupakan perkembangan dari kontrol tegangan manual yang menggunakan *voltmeter*, *amperemeter*, *frekuensi* meter yang membutuhkan manusia sebagai penentu perlu atau tidaknya tegangan keluaran *generator* untuk diperbaiki.

13.2. Prinsip Kerja Automatic Voltage Regulator

Automatic voltage regulator bekerja dengan mengatur arus penguatan (eksitasi) pada eksiter. Apabila tegangan yang dihasilkan oleh *generator* menurun dari nilai tegangan nominal maka AVR akan memperbesar nilai penguatan arus pada eksiter. Dan sebaliknya apabila tegangan yang dihasilkan oleh *generator* melebihi nilai tegangan nominal maka AVR akan memperkecil nilai penguatan arus pada eksiter.



Gambar 135. Diagram Kerja AVR
(Sumber: Portable Generator)

13.3. Bagian-bagian Automatic Voltage Regulator

1. *Rectifier*

Rectifier atau penyearah merupakan peralatan listrik yang berfungsi untuk menyearahkan arus listrik bolak-balik (*alternating current*) menjadi searah (*direct current*).



Gambar 136. *Rectifier*
(Sumber: Ebay)

2. *Step Down Transformer*

Step down transformer atau *transformator* penurun tegangan adalah komponen yang berfungsi menurunkan tegangan pada sisi primer sehingga tegangan yang keluar dari sisi sekunder *transformator* lebih rendah dari primer *transformator*.



Gambar 137. *Transformator*

3. *Sensing unit*

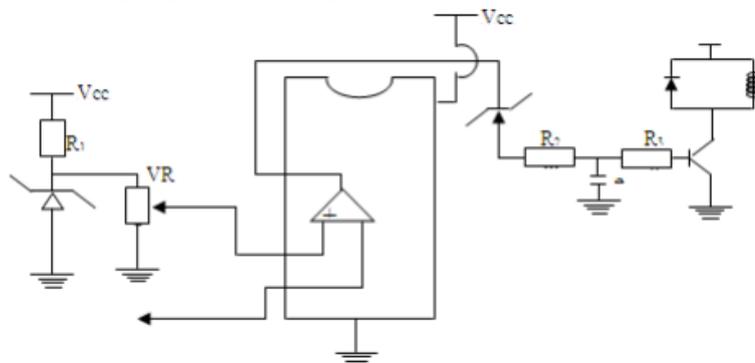
Sensing unit atau unit sensor merupakan komponen yang penting didalam sebuah AVR. *Sensing unit* di buat dengan memanfaatkan komponen elektronika sebagai sensornya. *Sensing unit* akan memberikan nilai atau sinyal kepada unit kontrol atau komparator ketika terjadi penurunan atau kenaikan tegangan.



Gambar 138. *Sensing Unit*
(Sumber: Electrical Diagram)

4. *Comparator circuit*

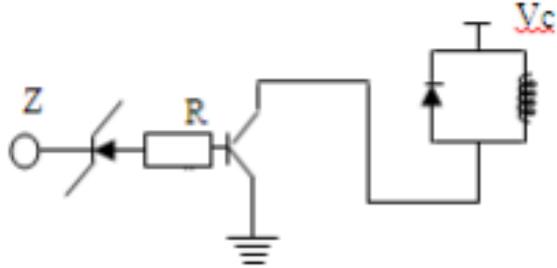
Comparator circuit umumnya di desain menggunakan *integrated circuit* (IC) sebagai kontrolnya seperti LM 324. Komparator berfungsi untuk menerima dan mengontrol nilai atau sinyal yang diberikan oleh beberapa komponen yang lain seperti variabel *resistor*, *dioda zener*, kapasitor, *transistor*, dan lain sebagainya. Komparator memiliki tugas untuk menentukan perlu atau tidaknya perbaikan tegangan pada tegangan keluaran *generator*.



Gambar 139. *Comparator Unit Diagram*
(Sumber: electrical diagram)

5. *Relay Circuit*

Komponen ini berfungsi sebagai *switch* atau saklar dengan kontrol melalui komparator.



Gambar 140. *Relay Circuit Diagram*
(Sumber: electrical diagram)



13.4. Rangkuman

1. *Automatic voltage regulator* adalah komponen bantu *generator*.
2. AVR adalah komponen yang berfungsi sebagai sensor tegangan dan frekuensi dari tegangan keluaran sebuah *generator*.
3. Ketika nilai tegangan keluaran *generator* tidak sesuai dengan *setting point* maka AVR akan mengatur nilai penguatan eksitasi *generator* tersebut. Sehingga dengan digunakannya AVR pada *generator*, tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *generator* akan stabil pada *setting point* yang ditentukan.
4. AVR mampu untuk mengontrol beberapa parameter utama dalam jaringan kelistrikan yaitu tegangan dan frekuensi *generator*.
5. Dalam proses kerjanya, *automatic voltage regulator* menggunakan sistem kelistrikan *direct current*.
6. *Sensing unit* adalah bagian yang bekerja untuk melakukan pemantauan terhadap parameter-parameter yang telah di *setting* sebelumnya.
7. Rangkaian komparator adalah komponen yang berfungsi untuk melakukan perbandingan antara *setting point* dengan hasil pembacaan *sensing unit*.
8. *Relay* bekerja dengan perintah dari *automatic voltage regulator*.
9. *Transformer step down* digunakan untuk menurunkan tegangan yang akan masuk kedalam rangkaian *automatic voltage regulator*.
10. Komponen-komponen elektris didalam *automatic voltage regulator* diantaranya adalah *intergrated circuit*, dioda, dioda zener, kapasitor, transistor dll.



13.5. Latihan Soal

Pertanyaan :

1. *Automatic voltage regulator* berfungsi untuk mengatur parameter utama yaitu tegangan dan ...
Jawaban :
2. *Automatic voltage regulator* bekerja menggunakan tegangan...
Jawaban :
3. Komponen *Automatic voltage regulator* yang berfungsi untuk memantau nilai tegangan dan frekuensi adalah...
Jawaban :
4. Rangkaian yang berfungsi untuk membandingkan nilai *setting point* dengan nilai pembacaan atau pemantauan adalah...
Jawaban :
5. Komponen yang bekerja sebagai saklar dalam *Automatic voltage regulator* adalah...
Jawaban :

Jawaban :

1. Frekuensi
2. *Direct Current*
3. *Sensing Unit*
4. Komparator
5. *Relay*



13.6. EVALUASI

1. Berikut ini adalah faktor yang mempengaruhi tegangan keluaran *generator*, kecuali...
 - a. Kecepatan putaran *generator*
 - b. Beban *generator*
 - c. Faktor daya beban
 - d. Temperatur lingkungan
 - e. Jumlah bahan bakar
2. Parameter yang diukur oleh *automatic voltage regulator* adalah...
 - a. Suhu lingkungan
 - b. Tekanan pelumas
 - c. Sisa bahan bakar
 - d. Tegangan *generator*
 - e. Temperatur *generator*
3. Untuk mengubah atau memodifikasi tegangan keluaran sebuah *generator* maka parameter yang dirubah adalah...
 - a. Suhu lingkungan
 - b. Putaran *generator*
 - c. Jumlah bahan bakar
 - d. Tegangan eksitasi
 - e. Beban generator
4. Apabila tegangan sebuah *generator* meningkat melebihi *setting point* maka langkah yang harus dilakukan adalah...
 - a. Menurunkan penguatan eksitasi
 - b. Menurunkan kecepatan putaran *generator*
 - c. Merubah belitan jangkar
 - d. Menambahkan beban *generator*
 - e. Mengurangi beban *generator*
5. Komponen yang berfungsi untuk menyearahkan tegangan disebut sebagai...
 - a. *Rectifier*
 - b. *Dioda*
 - c. Relay
 - d. Kapasitor
 - e. *Inverter*
6. Komponen yang berfungsi untuk menurunkan tegangan disebut sebagai...
 - a. *Transformator*
 - b. *Regulator*
 - c. *Komparator*
 - d. *Step up transformator*
 - e. *Step down transformator*

7. Komponen yang berfungsi untuk mendeteksi terjadinya gangguan pada tegangan keluaran generator adalah ...
 - a. *Voltage detector unit*
 - b. *Receptor unit*
 - c. *Control unit*
 - d. *Sensing unit*
 - e. Semua jawaban benar
8. Komparator adalah unit yang berfungsi untuk...
 - a. Mendeteksi gangguan
 - b. Unit kontrol atau pengatur
 - c. Mendeteksi perubahan tegangan
 - d. Membedakan tegangan
 - e. Membandingkan tegangan
9. Komponen yang berfungsi sebagai saklar elektro-mekanis adalah...
 - a. *Relay*
 - b. Kontaktor
 - c. *Timer*
 - d. SPDT
 - e. TPDT
10. Komponen yang berfungsi sebagai saklar elektronis adalah ...
 - a. LED
 - b. Resistor
 - c. Diode
 - d. Thyristor
 - e. Transistor

GLOSARIUM

Generator adalah perangkat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik untuk digunakan dalam rangkaian eksternal.

Power House adalah sebutan untuk fasilitas pembangkitan listrik.

Energi Potensial energi potensial adalah energi yang dimiliki oleh suatu objek karena posisinya relatif terhadap objek lain, tekanan di dalam dirinya, muatan listriknya, atau faktor lainnya

Energi Mekanik energi mekanik adalah jumlah energi potensial dan energi kinetik. Ini adalah energi yang terkait dengan gerakan dan posisi suatu objek.

Energi Kinetik atau energi gerak adalah energi yang dimiliki oleh sebuah benda karena gerakannya

Turbin Turbin adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari aliran fluida.

Polusi adalah masuknya makhluk hidup, zat, energi maupun materi ke dalam lingkungan sehingga menyebabkan lingkungan kurang atau tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya.

Relokasi adalah upaya pemindahan sebagian atau seluruh aktivitas berikut sarana dan prasarana penunjang aktivitas dari satu tempat ke tempat lain

Investasi adalah suatu istilah dengan beberapa pengertian yang berhubungan dengan keuangan dan ekonomi.

Ekosistem adalah suatu sistem ekologi yang terbentuk oleh hubungan timbal balik tak terpisahkan antara makhluk hidup dengan lingkungannya

Reservoir adalah suatu tempat untuk menampung atau mengakumulasi baik air maupun hal lainnya.

Hulu sungai atau kepala sungai adalah bagian sungai yang letaknya paling jauh dari muara, tempat suatu sungai bermula,

Hilir adalah daerah tempat aliran sungai berakhir.

Sudu-Sudu merupakan salah satu bagian dari turbin angin yang memiliki fungsi menerima energi kinetik dari angin dan merubahnya menjadi energi gerak (mekanik)

Konversi adalah perubahan dari satu hal menuju hal yang lain.

Frekuensi adalah ukuran jumlah putaran ulang per peristiwa dalam satuan detik dengan satuan Hz.

Closed Loop adalah sistem kontrol yang sinyal keluarannya mempunyai pengaruh langsung terhadap aksi pengontrolan, atau disebut sebagai sistem kontrol berumpan balik.

Kondensasi atau pengembunan adalah perubahan wujud benda ke wujud yang lebih padat, seperti gas (atau uap) menjadi cairan.

Sirkulasi adalah perputaran sebuah fluida baik gas maupun cairan dalam sebuah saluran yang terbuka maupun tertutup

Kontinuitas adalah keberlangsungan secara berkelanjutan dan terus menerus.

Komposisi adalah campuran atau rangkaian dari beberapa unsur menjadi satu.

Fluida adalah komponen baik berbentuk gas ataupun cairan yang berfungsi sebagai medium yang bersirkulasi didalam suatu sistem pembangkit tenaga listrik.

Korosif adalah sifat suatu substansi yang dapat menyebabkan benda lain hancur atau memperoleh dampak negatif.

Desalinasi atau desalinization adalah proses yang menghilangkan kadar garam berlebih dalam air.

Konduktivitas listrik adalah ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik.

Mikroorganisme adalah makhluk hidup yang sangat kecil dan hanya dapat dilihat dengan mikroskop.

Senyawa adalah zat kimia murni yang terdiri dari dua atau beberapa unsur yang dapat dipecah-pecah lagi menjadi unsur-unsur pembentuknya dengan reaksi kimia tersebut.

Distribusi adalah salah satu aspek dari penyaluran atau pemindahan suatu hal dari satu tempat ke tempat yang lain.

Efisiensi adalah penggunaan sumber daya secara minimum guna pencapaian hasil yang optimum.

Bahan Bakar Fosil adalah sumber daya alam yang mengandung hidrokarbon seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam.

Konstan adalah: tetap tidak berubah; terus-menerus.

Poros adalah suatu bagian stasioner yang berputar, biasanya berpenampang bulat dimana terpasang elemen-elemen seperti roda gigi (gear). Poros bisa menerima beban lenturan, beban tarikan, beban tekan atau beban puntiran yang bekerja sendiri-sendiri atau berupa gabungan satu dengan lainnya

Reaksi Fusi adalah sebuah reaksi dimana dua inti atom bergabung membentuk satu atau lebih inti atom yang lebih besar

Reaksi Fisi adalah reaksi nuklir saat nukleus atom terbagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil (nuklir yang lebih ringan), yang sering kali menghasilkan foton dan neutron bebas (dalam bentuk sinar gamma), dan melepaskan energi yang sangat besar.

Atom adalah suatu satuan dasar materi, yang terdiri atas inti atom serta awan elektron bermuatan negatif yang mengelilinginya.

Neutron adalah partikel subatomik yang tidak bermuatan (netral) dan memiliki massa $940 \text{ MeV}/c^2$ ($1.6749 \times 10^{-27} \text{ kg}$, sedikit lebih berat dari proton).

Graphite adalah salah satu bentuk karbon.

Heavy Water adalah air di mana hidrogen dalam molekul sebagian atau seluruhnya diganti oleh isotop deuterium, digunakan terutama sebagai moderator dalam reaktor nuklir.

Beryllium Berilium adalah unsur kimia dengan simbol Be dan nomor atom 4. Ini adalah elemen yang relatif langka di alam semesta, biasanya terjadi sebagai produk dari spallation inti atom yang lebih besar yang telah bertabrakan dengan sinar kosmik.

Kompresi Adalah proses pemampatan gas sehingga tekanannya lebih tinggi dari pada tekanan semula.

Foton adalah partikel elementer dalam fenomena elektromagnetik. Biasanya foton dianggap sebagai pembawa radiasi elektromagnetik, seperti cahaya, gelombang radio, dan Sinar-X.

Semikonduktor adalah sebuah bahan dengan konduktivitas listrik yang berada di antara insulator (isolator) dan konduktor.

Acrylic merupakan plastik yang bentuknya menyerupai kaca.

Intensitas adalah istilah yang banyak digunakan untuk merujuk ke Penggunaan harian Kekuatan. Amplitudo.

Garis Gaya Magnet adalah garis – garis imajiner yang menunjukkan pola garis – garis lengkung yang terbentuk di sekeliling magnet.

Laminasi Laminasi adalah teknik pembuatan material dalam berbagai lapisan, sehingga material komposit mencapai peningkatan kekuatan, stabilitas, insulasi suara, penampilan atau properti lainnya dari penggunaan material yang berbeda.

KUNCI JAWABAN

BAB II PLTA

1. A	2. C	3. E	4. E	5. A
6. A	7. C	8. B	9. B	10. B

BAB III PLTU

1. A	2. C	3. E	4. E	5. A
6. A	7. C	8. B	9. B	10. B

BAB IV PLTB

1. A	2. B	3. B	4. A	5. A
6. A	7. B	8. C	9. D	10. A

BAB V PLTN

1. A	2. B	3. A	4. E	5. D
6. E	7. C	8. C	9. A	10. D

BAB VI PLTD

1. A	2. D	3. E	4. B	5. E
6. D	7. B	8. B	9. D	10. B

BAB VII PLTS

1. A	2. D	3. A	4. B	5. A
6. D	7. D	8. D	9. A	10. D

BAB VIII PLTG

1. A	2. A	3. B	4. E	5. E
6. C	7. A	8. E	9. D	10. B

BAB IX PLTGU

1. A	2. A	3. C	4. A	5. B
6. C	7. A	8. B	9. D	10. A

BAB X PLTP

1. A	2. A	3. A	4. C	5. D
6. E	7. A	8. B	9. A	10. A

BAB XI PLTGL

1. E	2. A	3. B	4. C	5. A
6. C	7. A	8. A	9. C	10. C

BAB XII GENERATOR SINKRON

1. A	2. E	3. B	4. C	5. B
6. E	7. B	8. C	9. C	10. D

BAB XIII GENERATOR SINKRON

1. E	2. D	3. D	4. A	5. A
6. E	7. D	8. B	9. A	10. E

DAFTAR PUSTAKA

Ebook - Geothermal Communities. "Geothermal Systems and Technologies". Diakses pada tanggal 10 Mei 2018 di <http://geothermalcommunities.eu>

Ebook - U.S. Department Of Energy "Geothermal Technologies Program 2010 Peer Review" Diakses pada tanggal 10 Mei 2018 di <https://energy.gov/sites/prod/files/2014.html>

Ebook – United Nations University "Geothermal Power Plants" Diakses pada tanggal 10 Mei 2018 di <https://orkustofnun.is/gogn/unu-gtp-sc/UNU-GTP-SC-12-33.pdf>

Ebook – Price Water House Coopers "Solar Power : Generation and Transmission" Diakses pada tanggal 11 Mei 2018 di <https://www.pwc.com/gx/en/sustainability/assets/pwc-solar-power-citations.pdf>

Ebook – USNRC Technical Training Centre "Nuclear Power for Electrical Generation" Diakses pada tanggal 12 Mei 2018 di <https://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/students/for-educators/01.pdf>

Ebook – Bhaba Atomic Research Centre "Pressurized Heavy Water Reactor" Diakses pada tanggal 12 Mei 2018 di http://pbnc2014.org/plan_present/Banerjee_WBLewisLecture_2014Aug25_PBNC2014_final.pdf

Soelaiman. (2004). *Pembangkitan Energi Elektrik*. Bandung: Lab Konversi Energi Elektrik Jurusan Teknik Elektro ITB.

Kadir, Abdul. (2010). *Pembangkit Tenaga Listrik*. Jakarta: UI Press

Wartiningsih, Tri. (2014). *Pembangkit Tenaga Listrik*. Yogyakarta:Graha Ilmu.

Modul pembelajaran Pembangkit Tenaga Listrik ini adalah salah satu jenis bahan ajar yang merangkum materi ajar mengenai jenis-jenis pembangkit tenaga listrik beserta dengan sistem yang ada di dalam pembangkit tenaga listrik yang dirangkum dari berbagai buku dan sumber belajar lainnya yang kemudian dijadikan satu di dalam modul pembelajaran ini.

Dengan adanya modul pembelajaran ini, pengguna modul dapat belajar secara mandiri tanpa harus didampingi oleh tenaga pendidik, sehingga proses pembelajaran dapat berlangsung secara fleksibel.

Di dalam modul pembelajaran ini ter-rangkum beberapa jenis pembangkit diantaranya:

1. Pembangkit Listrik Tenaga Air
2. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir
3. Pembangkit Listrik Tenaga Gas
4. Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap
5. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut
6. Pembangkit Listrik Tenaga Uap
7. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi
8. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu
9. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel
10. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Selain materi mengenai pembangkit tenaga listrik juga disematkan materi tentang:

1. Automatic Voltage Regulator
2. Generator Sinkron