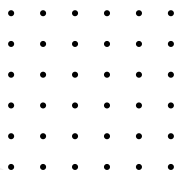


KONVERSI ENERGI



- ALDI CAHYA MUHAMMAD
- HADI SANTOSO
- YUDHA ARI PURNAMA
- DANIEL PARENDEN
- FATHAN MUBINA DEWADI
- RIYANI PRIMA DEWI
- BAMBANG WINARDI
- ZAIN LILLAHULHAQ



KONVERSI ENERGI

Aldi Cahya Muhammad

Hadi Santoso

Yudha Ari Purnama

Daniel Parenden

Fathan Mubina Dewadi

Riyani Prima Dewi

Bambang Winardi

Zain Lillahulhaq



PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

KONVERSI ENERGI

Penulis :

Aldi Cahya Muhammad
Hadi Santoso
Yudha Ari Purnama
Daniel Parenden
Fathan Mubina Dewadi
Riyani Prima Dewi
Bambang Winardi
Zain Lillahulhaq

ISBN : 978-623-198-048-9

Editor : Ari Yanto. M.Pd.

Penyunting : Tri Putri Wahyuni, S.Pd

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd

Penerbit : PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI Anggota
IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jl. Pasir Sebelah No. 30 RT 002 RW 001
Kelurahan Pasie Nan Tigo Kecamatan Koto Tangah
Padang Sumatera Barat
Website : www.globaleksekutifteknologi.co.id
Email : globaleksekutifteknologi@gmail.com

Cetakan pertama, 4 Februari 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Konversi Energi ini.

Buku Ini Membahas Pengantar konversi energy, Sumber - sumber energy, Mesin pembakaran dalam jenis compression ignition engine (diesel), Mesin pendingin, Mesin konversi energi non konvensional, Sistem pembangkit listrik energi panas bumi, Sistem pembangkit energi surya, Sistem pesawat pengkonversi energi angin.

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, 4 Februari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1 PENGANTAR KONVERSI ENERGI	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Konsep dan Bentuk Konversi Energi dan Energi.....	3
1.3 Konsep sistem tertutup dan terbuka	4
1.4 Transfer Energi dalam Kehidupan Sehari-hari.....	4
1.5 Teknologi Modern dan Konversi Energi.....	5
1.6 Jenis Konversi Energi	7
1.7 Evolusi Konversi Energi	8
1.8 Konversi Energi selama Revolusi Industri	8
1.9 Teknologi Konversi Energi	9
DAFTAR PUSTAKA.....	11
BAB 2 SUMBER - SUMBER ENERGI.....	13
2.1 Asal Sumber Energi.....	13
2.2 Sumber Non-Renewable Energy	15
2.2.1 Minyak Bumi	15
2.2.2 Batu Bara	17
2.2.3 Gas Bumi	17
2.2.4 Nuklir	18
2.3 Sumber Renewable Energy	19
2.3.1 Energi Angin	20
2.3.2 Energi Air.....	20
2.3.3 Energi Panas Bumi	21
2.3.4 Energi Biomassa dan Biofuel	22
2.3.5 Energi Surya.....	23
DAFTAR PUSTAKA.....	24

BAB 3 MESIN PEMBAKARAN DALAM JENIS	
COMPRESSION-IGNITION ENGINE (DIESEL)	25
3.1 Pengantar	25
3.2 Sejarah Mesin Diesel.....	26
3.3 Konsep Dasar Mesin Diesel	31
3.4 Kelebihan & Kekurangan Mesin Diesel	35
3.5 Bahan Bakar Diesel	38
DAFTAR PUSTAKA.....	42
BAB 4 MESIN PENDINGIN	45
4.1 Pendahuluan	45
4.2 Aplikasi Mesin Pendingin	47
4.2.1 Refrigerasi.....	48
4.2.2 Pengkondisian udara	49
4.3 Komponen Mesin Pendingin	52
4.3.1 Komponen utama	52
4.3.2 Komponen pendukung.....	57
DAFTAR PUSTAKA.....	62
BAB 5 MESIN KONVERSI ENERGI NON KONVENSIIONAL	63
5.1 Pendahuluan	63
5.2 Mesin Konversi Energi	64
5.3 Mesin Konversi Energi Non Konvensional.....	65
5.3.1 Turbin Gas.....	65
5.3.2 Reaktor Nuklir	66
5.3.3 Panel Surya.....	67
5.4 Peran Baterai untuk Pengembangan Energi	67
DAFTAR PUSTAKA.....	69
BAB 6 SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK ENERGI PANAS	
BUMI	75
6.1 Pendahuluan	75
6.2 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)	78
6.2.1 Siklus Uap Kering (<i>Dircet Dry Steam Cycle</i>)	79
6.2.2 Siklus Uap Hasil Pemisahan dan Penguapan (<i>Single Flash and Double Flash Steam</i>)	80

6.2.3 Pembangkit Biner (<i>Binary Cycle</i>)	82
6.2.4 <i>Combined Cycle</i> atau <i>Hybrid Cycle</i>	85
6.3 PLTP di Indonesia	86
DAFTAR PUSTAKA.....	89
BAB 7 SISTEM PEMBANGKIT ENERGI SURYA	91
7.1 Pendahuluan	91
7.2 Komponen Sistem Pembangkit Energi Surya.....	92
7.2.1 Sel surya	92
7.2.2 Modul dan array PV.....	93
7.2.3 <i>Fill Factor</i> (FF)	94
7.2.4 Jenis Panel Surya.....	95
7.2.5 Faktor Yang Berpengaruh Terhadap Performasi Panel Surya.....	96
7.2.6 <i>Solar Charge Controller</i> (SCC)	99
7.2.7 Inverter	100
7.2.8 Baterai	101
7.3 Jenis Pembangkit Energi Surya	102
7.4 Prinsip Kerja Pembangkit Energi Surya.....	105
DAFTAR PUSTAKA.....	107
BAB 8 SISTEM PESAWAT PENGONVERSI ENERGI ANGIN.....	109
8.1 Potensi Angin Di Indonesia.....	109
8.2 Jenis Turbin Angin	111
8.3 Persamaan Umum Turbin Angin	115
8.3.1 <i>Tip Speed Ratio</i> (TSR)	115
8.3.2 <i>Coefficient of power</i> (CP)	115
8.3.3 <i>Coefficient of torque</i> (CQ)	116
8.4 Benz Limit.....	116
8.5 Sistem Konversi Energi Angin	118
8.5.1 Sistem Transmisi pada turbin	118
8.5.2 Sistem Wiring diagram pada turbin.....	120
8.5.3 Sistem control pada turbin.....	121

DAFTAR PUSTAKA..... 124

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Asal sumber energi di bumi	13
Gambar 2.2 : Asal sumber energi dan sifatnya	14
Gambar 3.1 : Rudolf Christian Karl Diesel	26
Gambar 3.2 : Paten dan Mesin Prototipe Rudolf Diesel.....	27
Gambar 3.3 : Gagasan Ideal Proses Mesin Diesel	29
Gambar 3.4 : Mesin Diesel Modern	30
Gambar 3.5 : Siklus Mesin Diesel 4 Tak	33
Gambar 3.6 : Siklus Kerja Mesin Diesel.....	34
Gambar 3.7 : Konstruksi Mesin Diesel.....	36
Gambar 3.7 : Diagram Produksi Minyak Bumi	38
Gambar 4.1 : Gambaran sederhana siklus pendingin. 1: kondensor, 2: katup ekspansi, 3: evaporator, 4: kompresor	46
Gambar 4.2 : Contoh air conditioner	47
Gambar 4.3 : Instalasi Penyegar Udara Rumah.....	50
Gambar 4.4 : Beban Pendingin.....	51
Gambar 4.5 : Kompresor	53
Gambar 4.6 : Kondensor	54
Gambar 4.7 : Tangki penampung	55
Gambar 4.8 : Katup ekspansi.....	55
Gambar 4.9 : Evaporator	56
Gambar 4.10 : Akumulator	57
Gambar 4.11 : Oil separator	58
Gambar 4.12 : Filter drier	59
Gambar 4.13 : Indikator.....	60
Gambar 4.14 : Heat exchanger.....	60
Gambar 4.15 : Kran selenoid.....	61
Gambar 5.1 : Turbin Gas	63
Gambar 5.2 : Reaktor Nuklir.....	64
Gambar 5.3 : Panel Surya	67

Gambar 5.4 : Negara-negara Penghasil Lithium Terbesar di Dunia	68
Gambar 6.1 : Gambaran Lapisan Sistem Panas Bumi	76
Gambar 6.2 : Siklus Uap Kering	79
Gambar 6.3 : Siklus <i>Single Flash</i>	81
Gambar 6.4 : Siklus <i>double flash</i>	82
Gambar 6.5 : Siklus Binary Cycle	83
Gambar 6.6 : Siklus <i>combine-cycle</i>	86
Gambar 6.8 : Sebaran Instalasi PLTP di Dunia	87
Gambar 7.1 : Proses Kerja Sel Surya	93
Gambar 7.2 : Sketsa yang menunjukkan Sel dan Modul	94
Gambar 7.3 : Contoh jenis modul PV yang tersedia secara komersial: (a) amorf (b) monokristalin dan (c) polikristalin	96
Gambar 7.4 : Pengaruh iradiasi terhadap tegangan dan arus PV	97
Gambar 7.5 : Pengaruh temperatur terhadap produksi energi modul surya	98
Gambar 7.6 : Pengaruh <i>shading</i> terhadap modul surya	99
Gambar 7.7 : <i>Solar Charge Controller</i>	100
Gambar 7.8 : Inverter	101
Gambar 7.9 : Diagram PLTS Sistem Off Grid	103
Gambar 7.10 : Diagram PLTS On-grid	104
Gambar 7.11 : Contoh PLTS hybrid, PLTS-PLTD	105
Gambar 7.12 : Skema prinsip kerja pembangkit listrik tenaga surya	106
Gambar 8.1 : Klasifikasi Turbin Angin	111
Gambar 8.2 : Klasifikasi Turbin Angin VAWT (a) Darrieus (b) Savonius (c) H-rotor dan (d) HAWT	112
Gambar 8.3 : Perhitungan Betz Limit	117

Gambar 8.4 :	Power Coefficient pada berbagai macam Model Turbin	117
Gambar 8.5 :	Sistem transmisi daya pada turbin angin.....	119
Gambar 8.6 :	Wiring diagram turbin tanpa pembebanan	120
Gambar 8.7 :	Wiring diagram turbin tanpa pembebanan	121
Gambar 8.8 :	Kerusakan turbin akibat <i>over-speed</i>	122
Gambar 8.9 :	Defleksi pada sudu akibat <i>over-speed</i>	123

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 : Spesifikasi Minyak Solar di Indonesia.....	40
Tabel 4.1 : Kebutuhan Udara Luar untuk ventilasi.....	52
Tabel 5.1 : Negara Maju di Dunia Tahun 2022.....	61
Tabel 6.1 : Klasifikasi Panas Bumi Berdasarkan Suhu dan Pemanfaatannya	77
Tabel 6.2 : PLTP di Indonesia.....	87
Tabel 8.1 : Potensi angin di indonesia.....	110
Tabel 8.2 : Karakteristik Turbin HAWT dan VAWT.....	113

BAB 1

PENGANTAR KONVERSI ENERGI

Oleh Aldi Cahya Muhammad

1.1 Pendahuluan

Pemerintah mulai memfokuskan secara lebih sistematis terkait energi terbarukan. Penerapan energi terbarukan di Indonesia di bidang tenaga air, energi panas bumi, bio-energi, energi angin, energi surya, dan energi pasang surut. Dalam Cetak Biru Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025 (2005) menunjukkan bahwa ada pemanfaatan yang belum jelas dari sumber energi terbarukan: kapasitas terpasang hanya sebagian kecil dari potensi sumber energi terbarukan yang berbeda. Untuk *Micro Hydro Power* (MHP) ini adalah 18%, tetapi untuk energi terbarukan lain bahkan jauh lebih rendah, Untuk aplikasi biomassa ini hanya 0,6%. UU Energi Nomor 30 Tahun 2007 merupakan dasar hukum energi kebijakan pasokan Indonesia untuk melayani kebutuhan energi nasional, prioritas kebijakan pengembangan energi, kebijakan pemanfaatan sumber daya energi nasional dan saham energi nasional. Hukum menyatakan bahwa setiap warga negara Indonesia memiliki hak untuk mengakses sumber-sumber energi modern. Dalam Visi Energi 25/25 arah kebijakan energi nasional diuraikan. Kebijakan ini bertujuan untuk meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan menjadi 25% dari total pasokan energi pada tahun 2025.

Visi menunjukkan pergeseran dari konsentrasi pada pasokan energi fosil ke energi terbarukan, setidaknya di mana harga biaya energi fosil yang lebih tinggi. Oleh karena itu perlu dilakukan tindakan konversi energi terbarukan untuk pemenuhan

dan pemerataan energi di Indonesia. Modul konversi energi I ini akan memberi wawasan mengenai hal tersebut.

Konversi energi adalah transformasi dari satu bentuk energi ke bentuk lain. Lebih khusus lagi, istilah *konversi* energi mengacu pada proses di mana energi diubah menjadi bentuk yang berguna bagi manusia. Selama ratusan tahun, manusia telah menggunakan berbagai perangkat dan sistem untuk tujuan ini. Contoh yang akrab adalah kincir angin awal, yang mengubah energi kinetik (bergerak) angin menjadi energi mekanik untuk memompa air atau menggiling biji-bijian. Perpanjangan modern dan lebih kompleks dari ini adalah turbin angin, yang merupakan bagian dari sistem yang mengubah energi angin menjadi energi mekanik atau listrik melalui serangkaian langkah perantara.

Konservasi energi adalah prinsip bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dihancurkan. Itu hanya dapat dikonversi dari satu bentuk ke bentuk lain atau ditransfer dari satu objek ke objek lainnya. Transformasi energi berlaku untuk semua jenis energi seperti energi kinetik, energi potensial, energi cahaya, energi panas, energi suara, energi nuklir, energi potensial gravitasi dll. Transformasi ini akan terjadi lagi dan lagi sampai saat sumber daya itu ada di sana. Efek gesekan dan tekanan udara adalah faktor lain yang dapat mempengaruhi transformasi sampai batas tertentu. Dengan demikian, seluruh sistem, energi total tetap konstan tetapi hanya transformasi yang terjadi (Alfaris, 2022).

Energi dapat didefinisikan secara sederhana sebagai kapasitas untuk melakukan pekerjaan. Dalam fisika, pekerjaan dilakukan ketika gaya yang diterapkan pada suatu benda menggerakkannya agak jauh ke arah gaya. Perpindahan ini mungkin melibatkan pemindahan objek secara keseluruhan, atau dapat terjadi melalui rotasi bilah turbin atau gerakan tak terlihat dari partikel gas. Hukum kekekalan energi mencatat bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dihancurkan, meskipun dapat dikonversi dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Di antara banyak

bentuk energi adalah energi panas (panas), listrik, kimia, cahaya, nuklir, dan mekanik. Energi mekanik adalah jumlah energi potensial dan energi kinetik dalam suatu sistem.

Dalam rendisi paling dasar, konversi energi melibatkan perangkat yang mengubah input dari satu bentuk energi menjadi output dari bentuk energi yang berbeda yang dapat digunakan untuk melakukan pekerjaan. Mesin mobil, pemanas ruang, pengering rambut, tungku, dan reaktor nuklir adalah contoh perangkat konversi energi. Model konversi energi yang disederhanakan adalah sebagai berikut:

input energi → [perangkat konversi energi] → output energi

Perhatikan bahwa input energi sistem sama dengan output energi, sehingga mengikuti hukum kekekalan energi:

input energi = output energi

1.2 Konsep dan Bentuk Konversi Energi dan Energi

Energi sekaligus merupakan konsep yang sangat berguna dan sangat halus. Para ilmuwan membutuhkan waktu berabad-abad untuk mempelajari panas dan cahaya serta berbagai proses mekanis sebelum definisi dasar energi—kemampuan untuk melakukan pekerjaan—muncul. Konsep energi juga dapat dipahami melalui analisis berbagai bentuk energi dan bagaimana mereka dikonversi dari satu bentuk ke bentuk lainnya.

Apa itu energi?

Untuk memahami energi, konsep formal kerja, yang merupakan gaya yang bekerja dari kejauhan, harus dipahami. Seperti yang dikatakan Newton, setiap kali suatu benda berakselerasi, ada gaya yang terlibat, dan gaya harus bekerja dari jarak jauh.

Jadi, menurut hukum gerak pertama Newton, energi adalah apa yang memungkinkan akselerasi dan gaya beroperasi di tempat

pertama. Energi adalah konsep yang sangat mendasar dalam hal ini. Energi adalah karakteristik dari sistem fisik yang memberinya kemampuan untuk mengerahkan kekuatan itu dari jarak jauh.

Benda bergerak memiliki energi kinetik. Energi potensial dapat disimpan, seperti air di belakang bendungan atau mata air melingkar. Gelombang adalah bentuk energi lain, misalnya, gelombang suara, gelombang dalam air, atau gempa bumi.

Panas adalah bentuk energi yang berhubungan dengan energi kinetik atom individu. Cahaya adalah bentuk energi. Itu berasal dari Matahari dan menempuh jarak 300.000 kilometer per detik. Dan akhirnya, dalam keadaan khusus, massa itu sendiri adalah bentuk energi yang dapat melakukan pekerjaan.

1.3 Konsep sistem tertutup dan terbuka

Ketika kuantitas seperti massa tidak berubah, fisikawan menyebutnya sebagai hukum konservasi atau sistem tertutup. Sistem tertutup seperti kotak yang berisi materi dan energi. Dan jika itu adalah sistem tertutup, kotak itu ditutup. Tidak ada energi yang mengalir masuk atau keluar dari kotak.

Sistem terbuka adalah sistem di mana materi dan energi dapat mengalir masuk dan keluar. Itu akan berlaku untuk sebagian besar sistem dalam tubuh manusia, dan juga ekosistem. Dalam ekosistem, sinar matahari bisa masuk dan materi mengalir masuk dan keluar. Secara umum, sistem ini kadang-kadang sebagian terbuka dan kadang-kadang tertutup, tergantung pada bagaimana mereka didefinisikan. Tapi, hukum pertama termodinamika berkaitan dengan sistem tertutup (Alfaris, 2022).

1.4 Transfer Energi dalam Kehidupan Sehari-hari

Ada banyak cara berbeda untuk mengubah energi dalam kehidupan sehari-hari yang terjadi setiap saat. Salah satu yang lebih dramatis adalah naik roller coaster. Ini adalah cara yang bagus untuk berpikir tentang mentransfer energi dari satu bentuk

ke bentuk lainnya. Banyak energi potensial gravitasi, serta energi kinetik, ditransfer dari satu bentuk ke bentuk lain ketika roller coaster mulai mendaki sampai kembali ke posisi semula (Alfaris et.al, 2022).

Bola yang memantul adalah contoh bagus lainnya dari konversi energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Semakin elastis bola, semakin efisien konversi energi karena akan ada lebih banyak energi potensial gravitasi dan energi kinetik saat bola menyentuh lantai dan naik lebih tinggi dan lebih tinggi.

Contoh lain disediakan oleh Newton's Cradle yang terkenal, di mana ada peralihan gerakan konstan dari satu jenis ke jenis lainnya. Energi tampaknya terus-menerus ditransfer dari satu tempat ke tempat lain, dan secara bertahap saat bola-bola ini saling memukul, mereka juga sedikit memanaskan. Ada juga gesekan di berbagai bagian mesin, tetapi itu adalah contoh lain dari transfer energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya.

Mobil adalah contoh yang bagus dari transfer energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Mobil diisi dengan bensin, suatu bentuk energi potensial kimia. Energi itu diubah menjadi panas di mesin, membantu menggerakkan mesin. Panas diubah menjadi energi kinetik. Energi kinetik kemudian menggerakkan mobil. Itu juga dapat diubah menjadi energi listrik di generator, menyalakan radio. Itu bisa diubah menjadi energi cahaya saat lampu depan mobil dinyalakan, atau energi suara jika radio dinyalakan. Ada berbagai jenis transfer energi yang terjadi terus-menerus.

1.5 Teknologi Modern dan Konversi Energi

Salah satu tantangan terbesar dari teknologi modern adalah menemukan cara yang murah dan efisien untuk mengubah satu jenis energi ke yang lain. Pembangkit listrik mengubah batu bara menjadi energi kimia. Mereka mengubah air menjadi energi potensial gravitasi, angin menjadi energi kinetik, dan bahkan massa menjadi energi nuklir. Sebenarnya, tujuan dari konversi energi ini

adalah untuk menghasilkan listrik yang merupakan energi yang mahal. Itu sebabnya konversi energi harus dilakukan seefisien mungkin.

Peralatan modern dirancang untuk menghasilkan energi kinetik dalam suara, cahaya, dan panas dari listrik. Jadi itu hal lain, kami terus mencari cara untuk mengubah satu bentuk energi menjadi bentuk energi lainnya.

Energi dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Ada banyak cara untuk melakukan itu, tetapi apakah energi dilestarikan? Apakah jumlah total panas dan energi potensial dan energi kinetik konstan melalui semua transformasi yang berbeda ini?

Untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan ini, konsep energi harus diukur. Misalnya, berapa banyak energi panas yang terkandung dalam panci berisi air mendidih? Berapa banyak energi potensial gravitasi yang ada dalam berat tersuspensi? Berapa banyak energi dalam joule? Bagaimana itu bisa dihitung? Perhitungan ini membutuhkan cara berpikir dan pemahaman energi yang jauh lebih kuantitatif.

Energi hadir dalam berbagai bentuk di sekitar kita seperti listrik, kinetik, termal, potensial, dan berbagai bentuk lainnya. Ada juga energi dalam proses transfer dari satu tubuh ke tubuh lain yaitu panas dan kerja. Setelah energi ditransfer, energi selalu ditentukan sesuai dengan sifatnya. Oleh karena itu, Energi panas dapat dihasilkan dari perpindahan panas dan pekerjaan yang dilakukan dapat berbentuk energi mekanik (Lior, 2010).

Energi adalah kebutuhan mendasar dalam kehidupan kita sehari-hari. Sedemikian rupa, sehingga kualitas hidup dan bahkan rezekinya, tergantung pada ketersediaan energi. Oleh karena itu, sangat penting bagi kita untuk memiliki pemahaman konseptual tentang berbagai sumber energi, konversi energi dari satu bentuk ke bentuk lain dan implikasi dari konversi ini.

Konversi energi dari satu bentuk ke bentuk lain adalah fenomena yang terkenal. Hukum kekekalan energi bahkan memberi tahu kita bahwa satu-satunya hal yang terjadi dengan energi adalah transformasi dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Ini berarti bahwa kita dapat mengubah energi listrik menjadi energi panas dan energi cahaya, energi matahari dapat diubah menjadi energi kimia, energi potensial dapat diubah menjadi energi kinetik, Energi potensial gravitasi dapat diubah menjadi energi kinetik dll.

Konversi Energi didefinisikan sebagai proses di mana ada perubahan energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya seperti konversi energi nuklir menjadi energi panas, konversi energi cahaya menjadi panas, energi panas menjadi kerja dll.

1.6 Jenis Konversi Energi

Ada berbagai jenis energi dan sumber energi yang dapat dikonversi dari satu bentuk ke bentuk lain, yaitu :

- Energi cahaya dapat diubah menjadi energi panas.
- Energi listrik dapat diubah menjadi energi mekanik, energi cahaya, energi panas, dll.
- Energi kimia dapat diubah menjadi energi listrik.
- Energi panas dapat diubah menjadi energi panas.
- Energi mekanik dapat diubah menjadi energi listrik, energi potensial, dll.
- Energi nuklir dapat diubah menjadi energi cahaya dan energi panas
- Energi Matahari dapat diubah menjadi energi panas, energi kimia, dan energi listrik.
- Energi potensial gravitasi dapat diubah menjadi energi kinetik.

Beberapa contoh konversi energi adalah:

- Kendaraan yang bergerak adalah contoh energi kimia yang diubah menjadi energi kinetik.

- Listrik yang dihasilkan dengan air adalah contoh energi potensial yang diubah menjadi energi kinetik.
- Ketika merebus air dengan termos listrik, merupakan contoh energi listrik yang diubah menjadi energi panas.

1.7 Evolusi Konversi Energi

Bukti awal konversi energi pada peradaban manusia adalah ketika manusia purba menemukan penggunaan api. Mereka membakar tanaman kering, kayu, dan kotoran hewan serta menggunakan energi yang dihasilkan untuk memasak dan memanaskan. Berikutnya adalah penggunaan energi mekanik, yang memanfaatkan energi aliran air dan angin. Namun, pembangkitan energi mekanik ini melalui penemuan alat-alat sederhana terjadi jauh kemudian, kira-kira 2000 tahun setelah manusia menemukan penggunaan api.

Bukti paling awal dari mesin yang digunakan untuk menggiling biji-bijian adalah kincir air, yang kemudian juga digunakan untuk menggerakkan penggergajian dan pompa, menggerakkan palu miring untuk menempa besi, dll. Kincir air adalah sarana utama produksi tenaga mekanis, hanya disaingi sesekali oleh kincir angin. Oleh karena itu, banyak kota industri, terutama di Amerika awal, didirikan di lokasi yang menjamin aliran air sepanjang tahun.

Selain kincir air, kincir angin juga digunakan sebagai sumber tenaga untuk menggantikan otot hewan. Kincir angin digunakan di berbagai belahan dunia untuk mengubah energi angin menjadi energi mekanik untuk menggiling biji-bijian, memompa air, dan mengeringkan daerah dataran rendah.

1.8 Konversi Energi selama Revolusi Industri

Dengan pertumbuhan industri yang cepat sekitar pertengahan abad ke-18 (dan agak kemudian di berbagai negara lain), ada kebutuhan mendesak akan sumber kekuatan motif baru,

terutama yang independen dari lokasi geografis dan kondisi cuaca. Untuk memenuhi tuntutan industri, mesin uap dikembangkan sebagai perangkat pertama untuk mengubah energi panas menjadi energi mekanik.

Beberapa tahun kemudian, versi pompa uap yang lebih baik dan lebih efisien yang terdiri dari silinder yang dilengkapi dengan piston dikembangkan. Meskipun mesin semacam ini hanya mengubah sekitar satu persen dari energi panas dalam uap menjadi energi mekanik, mereka tetap tak tertandingi selama lebih dari 50 tahun.

Selanjutnya di tahun-tahun berikutnya, mesin Newcomen dimodifikasi dengan menambahkan kondensor terpisah untuk membuatnya tidak perlu memanaskan dan mendinginkan silinder dengan setiap langkah. Karena silinder dan piston tetap pada suhu uap saat mesin beroperasi, biaya bahan bakar turun sekitar 75 persen. Kemudian banyak perbaikan pada teknologi yang ada untuk konversi energi dilakukan yang melihat perkembangan banyak teknologi lainnya. Perangkat seperti mesin Stirling, mesin Pembakaran Internal, Generator & motor listrik, Perangkat konversi energi langsung, dan sekarang sumber energi terbarukan telah mengambil alih untuk memenuhi pasokan sumber energi alam yang semakin menipis.

1.9 Teknologi Konversi Energi

Teknologi konversi energi mengacu pada sistem apa pun yang mengubah energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Energi datang dalam berbagai bentuk, termasuk panas, kerja dan gerak. Selain itu, energi potensial dapat berupa energi nuklir, kimia, elastis, gravitasi, atau radiasi (juga dikenal sebagai cahaya). Semua ini dapat diubah menjadi energi yang berguna, dengan salah satu bentuk yang paling umum dan serbaguna adalah listrik.

Tujuan utama pembangkit listrik adalah untuk mengambil bahan bakar seperti batu bara, gas alam maupun uranium, dan

mengubahnya menjadi listrik. Pembangkit listrik merupakan contoh sebagai teknologi konversi energi terbesar saat ini. Teknologi konversi lainnya termasuk mobil, baterai, pemanas, dan generator. Pembangkit listrik harus memanfaatkan banyak konversi energi untuk mencapai tujuan akhir yaitu listrik.

Sebagai contoh ialah pembangkit listrik batubara. Energi kimia disimpan dalam molekul hidrokarbon dalam batubara. Ketika batubara dibakar, energi kimia ini diubah menjadi panas (Energi kimia $\rightarrow$ Panas). Gas buang panas dari reaksi pembakaran digunakan untuk memanaskan air menjadi uap, yang bergerak melalui pipa pada tekanan dan kecepatan tinggi (Panas $\rightarrow$ Panas). Uap kemudian mengembang melalui turbin, menghasilkan energi gerak mekanis (Panas $\rightarrow$ Gerak). Gerakan turbin memutar generator listrik, yang menyebabkan listrik mengalir (Gerak $\rightarrow$ Listrik)

Faktanya ialah manusia itu sendiri, tubuh kita bisa disebut teknologi konversi yang sangat kompleks. Tubuh kita mengambil energi kimia dari makanan dan mengubahnya menjadi berbagai bentuk energi kimia yang diperlukan untuk beroperasi sebagai makhluk hidup. Tubuh kita kemudian dapat menggunakan energi ini untuk diubah menjadi banyak bentuk lain: Panas, gerakan, suara, energi potensial gravitasi, dan banyak lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfaris, L. 2022. 11.2 Epistemologi Matematika. *Filsafat Pendidikan Matematika*, 123. Bandung : Indie Press.
- Alfaris, Lulut. et.al. 2002. *Riset Operasi*. Padang : Global Eksekutif Teknologi.
- Alfaris, Lulut. et al. 2022. *Termodinamika: Tinjauan Teoritis dan Praktis*. Padang : Global Eksekutif Teknologi.
- Lior, N. 2010. Sustainable energy development: the present (2009) situation and possible paths to the future. *Energy*, 35(10), 3976-3994.

BAB 2

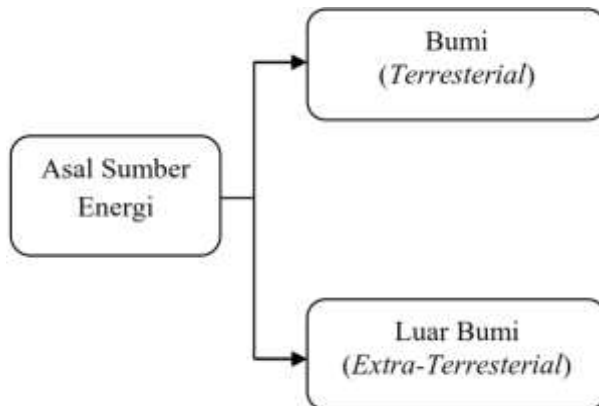
SUMBER - SUMBER ENERGI

Oleh Hadi Santoso

2.1 Asal Sumber Energi

Energi merupakan suatu kemampuan untuk melakukan suatu kerja (*work*). Jadi hasil dari konversi energi adalah usaha atau kerja. Energi perlu dikonversi agar menjadi suatu usaha atau kerja dikarenakan energi sendiri bersifat abstrak yang bisa dirasakan namun sulit dibuktikan keberadaannya. Hasil dari konversi energi dapat dimanfaatkan baik secara langsung maupun tidak langsung oleh manusia. Sumber energi yang dimanfaatkan oleh manusia saat ini melimpah disediakan oleh alam baik itu di daratan, di lautan, di udara, bahkan dari luar bumi.

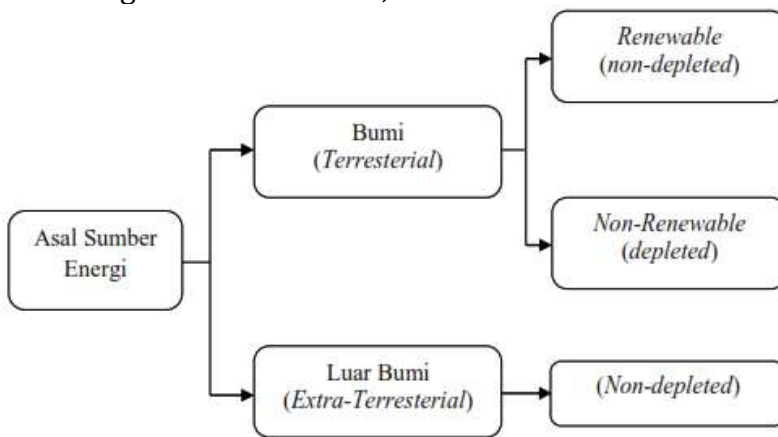
Hingga saat ini, energi yang dimanfaatkan oleh manusia memiliki sumber yang dapat diamati melalui gambar 2.1 berikut;



Gambar 2.1 : Asal sumber energi di bumi

Berdasarkan dari asal sumbernya maka, energi diklasifikasikan menjadi 2 (dua) yakni energi yang berasal dari bumi (terrestrial) dan yang berasal dari luar bumi (extraterrestrial). Energi yang berasal dari bumi misalnya panas bumi, minyak dan batu bara, angin dan air, dan lain sebagainya. Contoh energi dari luar bumi yang paling nyata adalah energi cahaya dari matahari.

Sumber energi dibagi lagi berdasarkan sifatnya, yakni berdasarkan gambar 2.2 berikut;



Gambar 2.2 : Asal sumber energi dan sifatnya

Energi yang bersumber dari bumi sendiri dapat dikategorikan menjadi;

a. *Renewable energy*

Renewable energy disebut pula *non-depleted* atau suatu sumber energi yang dapat diperbaharui kembali, Sumber energi yang dapat didaur ulang (*renewable energy*) dapat dicontohkan seperti seperti biomassa dan biogas.

b. *Non-renewable energy*

Non-renewable energy atau disebut juga dengan *depleted* yakni sumber energi yang tidak dapat diperbaharui

kembali. Sumber energi yang tidak dapat diperbaharui ini contohnya adalah minyak bumi, batubara dan gas alam yang tentu saja akan habis bila terus dieksploitasi oleh manusia.

Energi yang bersumber dari luar bumi yang dimanfaatkan oleh manusia adalah energi surya atau matahari. Cahaya matahari yang sampai ke bumi ini, selain dimanfaatkan oleh tumbuh-tumbuhan untuk tumbuh dan dapat dikonversi menjadi energi biomassa, dapat pula dimanfaatkan secara langsung dengan teknologi photovoltaic yang mengubah secara langsung menjadi energi listrik.

2.2 Sumber *Non-Renewable Energy*

Telah disebutkan diawal bahwa sumber energi tidak terbarukan atau yang disebut pula sebagai *non-renewable energy* yakni adalah sumber energi yang tidak dapat diperbaharui oleh alam atau tidak dapat diisi atau dibuat kembali oleh alam. Dalam istilah lain dapat disebut sebagai energi yang tidak dapat didaur ulang. Saat peradaban manusia mulai dibangun, hingga ke saat ini (Abad ke 21, tahun 2022), sumber-sumber *non-renewable energy* atau energi yang tak dapat diperbaharui merupakan energi yang paling banyak diekplorasi dan dieksploitasi oleh manusia sehingga banyak membantu kehidupan manusia dan perkembangan teknologi manusia hingga saat ini. Beberapa sumber *non-renewable energy* yang paling banyak dimanfaatkan adalah minyak bumi, batu bara, gas bumi hingga nuklir.

2.2.1 Minyak Bumi

Minyak bumi merupakan suatu zat cair yang licin serta mudah terbakar dikarenakan sebagian besar tersusun oleh senyawa-senyawa hidrokarbon (C_xH_y). Minyak bumi dipercaya merupakan hasil dari sisa-sisa binatang maupun tumbuhan

yang hidup di bumi jutaan tahun lampau yang mengendap dan memperoleh tekanan dari lempengan bumi hingga akhirnya larut secara alami dan perlahan berubah menjadi minyak bumi.

Minyak bumi untuk dapat dikonversi dengan baik menjadi energi lainnya oleh manusia akan diolah terlebih dahulu. Minyak bumi diolah hingga menjadi berbagai macam bahan bakar minyak sebagai penggerak mesin sebagai tujuan industri maupun mobilitas, ataupun berfungsi sebagai penggerak generator yang nantinya dapat dikonversi menjadi energi listrik.

Proses pengolahan yang dilakukan cukup panjang dan kompleks melibatkan reaksi-reaksi kimia dan proses fisika. Diawali dengan proses pemurnian untuk memisahkan fraksi-fraksi dan berbagai ketentuan jenis hasil produksi melalui berbagai proses destilasi. Selanjutnya adalah proses-proses perengkahan yang menghasilkan oktan lebih tinggi dan kandungan sulfur yang rendah. Proses yang panjang membuat minyak bumi nantinya menghasilkan berbagai jenis hasil produksi seperti *Diesel Fuel*, *Aviation Fuel*, *Kerosin*, *Fuel Oil*, *Lubricating Oil*, dan *Petroleum Wax*.

Salah satu hasil minyak bumi berupa *Diesel Fuel* biasanya dimanfaatkan sebagai bahan bakar oleh pembangkit listrik tenaga diesel yang nantinya menghasilkan putaran turbin pada generator yang selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik. Selain proses konversi energi listrik, pemanfaatan minyak bumi yang juga banyak digunakan oleh manusia adalah energi gerak yang memanfaatkan hasil olahan produksi minyak bumi pada kendaraan-kendaraan berbahan bakar dalam.

2.2.2 Batu Bara

Batubara merupakan suatu batuan sedimen yang berasal suatu material organik atau *organoclastic sedimentary rock*, yang kandungan utamanya adalah senyawa-senyawa hidrokarbon C_xH_y (karbon dan hidrogen) serta oksigen. Batubara saat ini adalah hasil akumulasi dari berbagai material organik yang telah mengendap di bawah lapisan tanah bumi dalam jumlah waktu yang sangat lama. Batubara yang saat ini manusia kenal merupakan bahan organik dari sisa-sisa tumbuhan yang terkubur di dasar tanah selama jutaan tahun yang lalu. Biasanya hasil dari sisa-sisa tumbuhan tersebut terpendam di dalam tanah akan mengalami tekanan dan pemanasan yang berulang-ulang hingga menjadi batu-bara.

Manfaat batu bara dalam aktivitas konversi energi adalah sebagai bahan bakar pembangkit listrik. Untuk menghasilkan energi listrik, batu bara akan dikonversikan menjadi uap panas sehingga nantinya dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan tenaga listrik dengan menggerakkan turbin generator listrik.

2.2.3 Gas Bumi

Kebutuhan Gas Bumi sebagai suplai energi primer khususnya di Indonesia berada pada peringkat ketiga setelah batubara dan minyak bumi. Jumlah kebutuhan energi primer dari gas bumi naik secara perlahan dari tahun ketahun. Gas bumi diharapkan dapat mengganti peran minyak bumi sebagai pemasok utama energi di dunia, khususnya di Indonesia.

Selain proses terjadinya minyak bumi di lapisan bawah tanah bumi, proses yang terjadi lainnya adalah adanya gas yang tersimpan di bawah permukaan bumi. Gas yang berada dibawah pori-pori batuan pada suatu penampungan yang mengalami tekanan dan suhu yang tinggi dalam waktu jutaan tahun akan menghasilkan gas bumi yang terdiri atas senyawa

yang kompleks yaitu Hidrogen (H) dan Karbon (C) atau senyawa hidrokarbon (C_xH_y).

Pada umumnya sebagai bahan bakar, gas bumi diolah dalam bentuk LNG yakni *Liquefied Natural Gas*. LNG dibuat dalam bentuk cair dengan tekanan atmosferik. Tujuan dibuat cair adalah agar mempermudah proses distribusinya. Gas bumi dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar di boiler, *furnace*, dan pembangkit listrik.

2.2.4 Nuklir

Energi nuklir merupakan pemanfaatan energi dari proses reaksi fusi atom yang menghasilkan energi yang sangat besar. Sumber energi nuklir dapat diperoleh dari hasil tambang berupa bahan uranium. Uranium adalah salah satu unsur kimia yang mudah ditemukan secara alami di alam ini, yang mana bobot dari atomnya merupakan salah satu yang terberat dari seluruh unsur-unsur kimia saat ini. Energi nuklir dapat dihasilkan melalui dua macam cara yakni pertama adalah dengan proses pembelahan inti atom atau reaksi fisi, dan yang kedua adalah dengan cara penggabungan beberapa inti atom yang dikenal dengan reaksi fusi.

Reaksi fisi dari suatu atom uranium dapat menghasilkan sebuah neutron yang lebih ringan, dimana neutron ini akan menumbuk (terserap) kembali oleh inti atom uranium yang selanjutnya dapat membentuk reaksi fisi berkelanjutan. Proses ini akan terus menerus terjadi dalam waktu yang relatif cepat hingga akhirnya membentuk reaksi berantai yang tak terkendali. Hal ini akhirnya mengakibatkan pelepasan energi yang sangat besar dalam waktu relatif singkat. Proses inilah yang diaplikasikan dalam proses ledakan dahsyat yang dikenal dengan bom atom. Tentu saja hal ini berbahaya, sehingga saat ini proses fisi tidak dikehendaki pada proses penggabungan atom uranium.

Hal yang berbeda terjadi bila proses dimanfaatkannya bukan sebagai bom atom, melainkan sebagai sumber energi. Hal ini dilakukan dengan cara memanfaatkan reaksi berantai yang terjadi dalam proses reaksi fisi yang terkendali pada sebuah wadah yang disebut reaktor nuklir. Reaksi fisi berantai yang terkendali ini berlangsung di dalam reaktor yang memiliki keamanan terjamin, sehingga energi yang nantinya dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai bentuk pembangkit listrik. Energi yang dihasilkan di dalam reaktor nuklir berupa kalor atau panas yang dihasilkan oleh batang-batang bahan bakar yang menghasilkan uap panas sehingga dapat memutarakan turbin hingga generatornya dapat menghasilkan energi listrik.

2.3 Sumber Renewable Energy

Telah disebutkan diatas bahwa *renewable Energy Source* atau sumber energi terbarukan merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui atau dapat diisi kembali oleh alam. Prosesnya pula dapat terjadi dalam proses waktu yang relatif singkat. Dalam istilah lain dapat dikatakan sebagai sumber energi yang dapat didaur ulang. Saat kondisi dunia saat ini yang mengalami penurunan sumber energi dari minyak bumi, batu bara dan gas alami, serta isu resiko bahaya bila terjadinya kebocoran pada reaktor nuklir maka energi terbarukan adalah solusinya.

Hingga saat ini manusia telah memiliki berbagai macam teknologi yang dapat memanfaatkan energi terbarukan baik yang bersumber dari bumi (*terresterial*), maupun yang bersumber dari luar bumi (*extra-terresterial*). Energi yang bersumber dari bumi misalnya air, angin, panas bumi, dan biomassa. Energi yang dapat diperbaharui yang sumbernya dari luar bumi adalah matahari (surya) yang memanfaatkan cahaya matahari untuk dikonversi menggunakan teknologi *photovoltaic*.

2.3.1 Energi Angin

Energi angin merupakan suatu energi yang bersumber dari udara yang bergerak. Angin atau udara yang bergerak ini terjadi akibat adanya perbedaan tekanan udara di permukaan bumi. Energi angin merupakan suatu energi yang pemanfaatannya melalui konversi menjadi suatu energi mekanik (gerak) dengan memutar baling-baling atau turbin. Dalam istilah lain, angin disebut pula sebagai bayu, sehingga pembangkit listriknya disebut dengan PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu).

Energi angin banyak diminati dikarenakan tidak menimbulkan polusi, sehingga banyak negara-negara membangun turbin angin sebagai sumber tenaga listrik utama maupun sebagai sumber energi listrik tambahan. Proses ini dimulai dengan memanfaatkan hembusan angin untuk memutar baling-baling yang disebut dengan turbin angin, sehingga nantinya akan memutar memutar generator yang dapat menghasilkan energi listrik.

Hingga saat ini beberapa negara maju di eropa (seperti belanda), yang menjadikan angin menjadi energi utama dalam menyuplai kebutuhan listrik warganya. Untuk di Indonesia sendiri, wilayah yang potensi anginnya telah dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu adalah di wilayah Sidrap (Kabupaten Sidenreng Rappang) dan di wilayah Tolo (Kabupaten Jeneponto). Keduanya merupakan wilayah yang berada di pulau Sulawesi.

2.3.2 Energi Air

Energi air adalah energi yang diperoleh dari air yang mengalir. Air yang mengalir memiliki energi yang dapat memutar turbin yang terhubung dengan generator. Generator yang bergerak tersebut akan mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Energi air biasanya dikembangkan pada

air terjun ataupun bendungan. Selain itu juga energi yang dihasilkan dari aliran air dapat pula bersumber dari mikrohidro dan pikohidro (aliran air yang debit airnya kecil).

Selain aliran dalam bentuk air terjun, aliran mikro dan piko hidro, Energi air itu dapat juga menggunakan energi mekanik pada ombak air laut dan tenaga ombak. Air pasang (naik) maupun surut (turun) dapat menggerakkan volume air laut yang jumlahnya sangat banyak. Proses ini terjadi di sepanjang garis pantai. Proses ini dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin yang didesain khusus pada kondisi gerakan air pada saat pasang dan surut. Desain tersebut mengakomodir perbedaan ketinggian air yang dibendung. Terdapat perbedaan air pasang yang ditahan di dalam bendungan dan air laut, dan air laut yang tertahan di belakang bendungan dapat mengalir melalui jalur yang terhubung dengan turbin. Air tadi akhirnya dapat memutar turbin dan generator hingga akhirnya dapat menghasilkan listrik.

Selain aliran dari air terjun, mikro dan piko hidro, serta pasang surut air laut, pemanfaatan sumber air sebagai energi dapat dilakukan pada ombak laut. Ombak laut yang terjadi merupakan hasil tiupan angin di atas permukaan laut. Ombak laut nantinya ditangkap dan dinaikkan ke suatu ruang bilik yang didesain sedemikian rupa sehingga dapat menggerakkan turbin dan generator untuk menghasilkan listrik.

2.3.3 Energi Panas Bumi

Energi panas bumi merupakan energi kalor (panas) yang berasal dari dalam Bumi. Bumi yang merupakan sebuah planet yang terdiri dari berbagai lapisan hingga ke inti bumi memiliki berbagai kondisi panas yang berbeda-beda. Pusat Bumi yang memiliki temperatur yang cukup panas hingga panasnya mampu melelehkan bebatuan didalam bumi. Temperatur bumi akan meningkat satu derajat Celsius setiap

mengalami penurunan 30 meter hingga 50 meter di bawah permukaan lapisan tanah. Temperatur Bumi pada kondisi 3000 meter di bawah permukaan tanah memiliki kondisi yang bahkan mampu mendidihkan air (100°C). Kondisi panas bumi yang berkontribusi pada panasnya bebatuan bahkan bisa mempengaruhi aliran air bawah tanah yang menyebabkan terjadinya uap panas. Uap panas dari panas bumi ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi yang dapat memutar turbin dan generator pada pembangkit tenaga panas bumi sehingga menghasilkan listrik.

2.3.4 Energi Biomassa dan *Biofuel*

Biomassa merupakan salah satu sumber energi yang bersumber dari alam yang sejak dahulu telah digunakan oleh manusia. Manusia sejak dari jaman dahulu telah mengenal api. Api berasal dari proses pembakaran kayu. Kayu merupakan salah satu bentuk sumber energi biomassa. Biomassa adalah semua benda organik. Selain kayu, sumber lain dari biomassa adalah hasil limbah manusia dan hewan. Limbah tersebut dapat dikonversikan menjadi gas (gasifikasi) yang dapat dimanfaatkan langsung untuk memasak maupun untuk uapnya dapat digunakan untuk memutar turbin dan generator yang menghasilkan listrik.

Selain itu pula biomassa dapat berupa bahan bakar hayati berbentuk cair, atau yang biasa disebut dengan *biofuel*. *Biofuel* merupakan bahan bakar dari bahan alami yang bisa digunakan sebagai tambahan atau menggantikan bahan bakar konvensional pada mesin. *Biofuel* yang paling dikenal adalah bioethanol, yang merupakan alkohol yang dihasilkan dari proses fermentasi gula pada kandungan berbagai tanaman seperti jagung dan ubi kayu. *Bioethanol* dapat dijadikan sebagai tambahan dari bahan bakar mesin pembakaran dalam. Selain bioethanol, terdapat pula *Biodiesel* yang terbuat dari bahan

dasar minyak tumbuhan seperti Minyak Sawit dan Minyak Kelapa. Biodiesel dapat digunakan sebagai bahan bakar utama maupun tambahan pada mesin diesel tanpa perlu adanya memodifikasi pada mesin.

2.3.5 Energi Surya

Energi surya adalah suatu energi yang bersumber dari matahari. Matahari merupakan sebuah bintang yang memiliki energi sangat besar hasil dari proses fisi hidrogen di dalam matahari. Energi tersebut memancar dalam bentuk cahaya dan kalor. Energi tersebut memancar ke bumi walaupun jarak matahari ke bumi adalah sekitar 150 juta kilometer.

Energi surya (solar energy) merupakan sumber energi yang memiliki sifat yang bersih dan bebas polusi, serta jumlahnya sangat melimpah. Matahari merupakan sumber extra-terrestrial energi yang dapat dimanfaatkan oleh manusia dengan cara dikonversi secara langsung maupun tidak langsung. Pemanfaatan energi surya secara langsung adalah dengan teknologi fotovoltaik. Sedangkan pemanfaatan energi surya secara tidak langsung adalah melalui pusat listrik tenaga termal surya.

Pada umumnya, saat ini matahari dimanfaatkan secara langsung sebagai sumber energi yang menghasilkan listrik secara langsung dengan menggunakan teknologi fotovoltaik. Sel Surya (yang disebut dengan sel 'fotovoltaik' dapat mengkonversi cahaya matahari dengan bantuan teknologi material semikonduktor. Saat ini berbagai negara didunia mulai memanfaatkan teknologi ini sebagai pengkonversi energi listrik tambahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar Lubis. 2007. *Energi Terbarukan Dalam Pembangunan Berkelanjutan*. J. Tek.Ling, Vol.8, No. 2, Hal. 155-162
- A. Pudjanarsa dan D. Nursuhud. 2013. *Mesin Konversi Energi*. Penerbit Andi Yogyakarta.
- Bayu Wiyantoko. 2016. *Modul Kuliah Kimia Petroleum. Program DIII Analisis Kimia*, FMIPA Universitas Islam Indonesia.
- L. H. S. Putro, 2020. *Perkembangan dan Program Energi Nuklir. Alternatif Energi Baru Yang Aman Dan Bersih?* Palembang. Rafah Press
- Tim. 2015. *Perkembangan Penyediaan dan Pemanfaatan Migas Batubara Energi Baru Terbarukan dan Listrik*. Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

BAB 3

MESIN PEMBAKARAN DALAM JENIS *COMPRESSION-IGNITION ENGINE* (DIESEL)

Oleh Yudha Ari Purnama

3.1 Pengantar

Pada kategori Mesin Pembakaran Dalam dikenal dua jenis mesin berdasarkan pemicu pembakarannya, yaitu *Spark-Ignition Engine* dan *Compression-Ignition Engine* (Sukoco & Arifin, 2008). Pada Bab 3 telah dibahas tentang Mesin Pembakaran Dalam Jenis *Spark Ignition Engine* atau disebut juga Mesin Otto atau di Indonesia lebih dikenal dengan nama Mesin Bensin. Maka pada Bab 4 ini akan dibahas tentang Mesin Pembakaran Dalam Jenis *Compression-Ignition* atau lebih dikenal dengan nama Mesin Diesel.

Mesin Diesel juga sering kali disebut *Self-Ignition Engine*, karena mesin diesel tidak memerlukan komponen khusus untuk memicu pembakaran di dalam ruang bakar. Namun, mesin diesel hanya memerlukan efek kompresi dari mesin diesel itu sendiri untuk memicu terjadinya pembakaran di dalam ruang bakar. Sebagai perbandingan terhadap mesin otto yang memerlukan komponen khusus berupa busi percik (*sparkplug*) sebagai pemicu pembakaran agar mampu memunculkan pembakaran di dalam ruang bakar.

3.2 Sejarah Mesin Diesel

Awal mula mesin diesel ditemukan adalah pada tahun 1897 oleh seorang insinyur berkebangsaan Jerman, Rudolf Christian Karl Diesel, atau lebih masyhur dengan nama Rudolf Diesel. Rudolf Diesel (1858-1913) yang lahir di Paris, Prancis, pada usia 14 tahun memutuskan bahwa dirinya hendak berkiprah sebagai insinyur. Sehingga, segera setelah lulus dari sekolahnya di Gewebsschule sebagai lulusan terbaik, Diesel melanjutkan pendidikannya di Munich Polytechnic dan berhasil menyelesaikan pendidikannya tersebut pada tahun 1880 sebagai lulusan terbaik (Sukoco & Arifin, 2008).

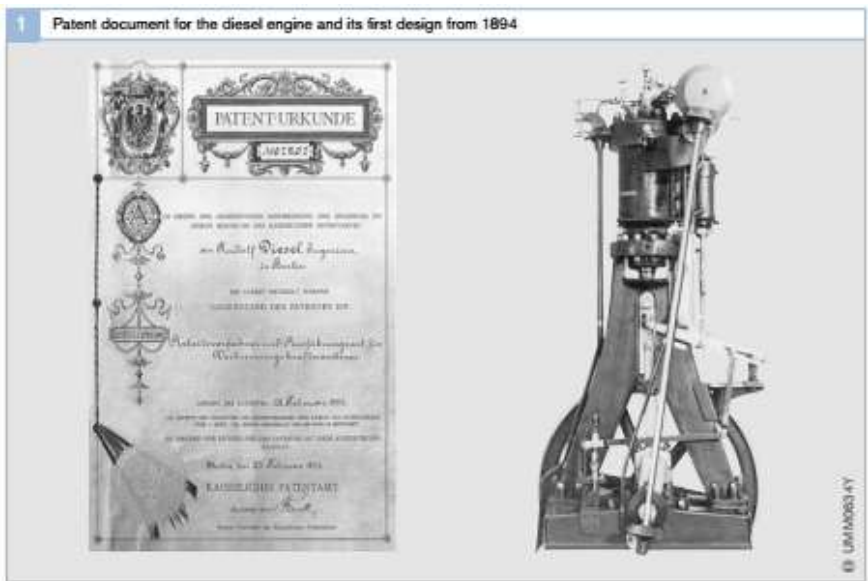


Gambar 3.1 : Rudolf Christian Karl Diesel

(Sumber: Dietsche, K.-H. 2014. History of the Diesel Engine [PDF File]. *Diesel Engine Management – Systems and Components*, 2, 2.)

Pada tahun 1897, Rudolf Diesel bekerjasama dengan Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (MAN) membuat prototipe pertama dari mesin diesel, yaitu sebuah mesin

pembakaran dalam yang mampu beroperasi dengan bahan bakar berat namun murah. *“In 1897, in cooperation with Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (MAN), Rudolf Diesel built the first working prototype of a combustion engine to be run on inexpensive heavy fuel oil”* (Dietsche, 2014). Namun karena bobot dan ukurannya yang sangat besar, yaitu 4,5 ton untuk beratnya dan 3 meter untuk tingginya, maka diputuskan mesin prototipe tersebut tidak sesuai digunakan sebagai mesin kendaraan darat.



Gambar 3.2 : Paten dan Mesin Prototipe Rudolf Diesel

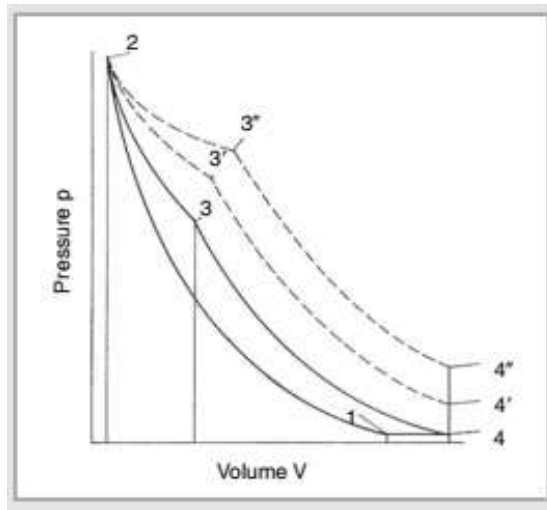
(Sumber: Dietsch, K.-H. 2014. History of the Diesel Engine [PDF File]. *Diesel Engine Management – Systems and Components*, 2, 2.)

Pada awalnya Rudolf Diesel memiliki gagasan untuk menciptakan mesin yang memiliki efisiensi yang lebih tinggi dari mesin uap dan mesin otto. Awal tahun 1863, mesin uap

ditemukan oleh seorang Perancis Bernama Etienne Lenoir, namun mesin uap tersebut tidak cocok untuk dipasang pada kendaraan berdimensi kecil atau kendaraan ringan. Kemudian Nikolas August Otto menciptakan mesin otto yang menggunakan pengapian induksi magnet yang mampu dipasang pada kendaraan ringan. Namun, efisiensi dari mesin otto tersebut sangatlah rendah, serta bahan bakar yang digunakan relatif mahal pada masa itu.

Bermula dari hal tersebut, Rudolf Diesel mulai menciptakan mesin dengan efisiensi lebih tinggi dari mesin uap dan mesin otto. Diesel menciptakan mesin gagasannya berdasarkan teori siklus isothermal milik Fisikawan Prancis Sadi Carnot, bahwa mesin yang diciptakan berdasarkan teori siklus isothermal mampu mencapai efisiensi lebih dari 90% (Dietsche, 2014). Ini artinya mesin tersebut mampu menghasilkan tenaga dan torsi yang besar dengan penggunaan bahan bakar, pergerakan komponen mesin, dan suhu kerja yang relatif rendah atau minimum. *"He -Diesel- believed isothermal combustion at a maximum of 800°C would enable him to keep the thermal load in the engine low enough that it would run without cooling"* (Mollengaur & Schreiner, 2010).

Namun, gagasan mesin tersebut hanyalah sekedar teori. Hal tersebut dikarenakan dari segi kelayakan dan kepraktisan mesin tersebut masih diragukan, walaupun akurasi perhitungan dari mesin tersebut telah diverifikasi keberhasilannya berulang kali. Gagasan Diesel tersebut mendapat pengakuan berupa paten dari Imperial Patent Office di Berlin, Jerman, dengan judul *"Operating Process and Type of Construction for Combustion Engines"* dan nomor paten DRP67207.



Gambar 3.3 : Gagasan Ideal Proses Mesin Diesel

(Sumber: Mollenhaur, K. & Schreiner, K. 2010. History and Fundamental Principles of the Diesel Engine [PDF File]. *Handbook of Diesel Engines*, 1, 4.)

Kondisi tersebut tidak berlangsung lama, Rudolf Diesel mencapai kesepakatan dengan sebuah perusahaan bernama Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (MAN) setuju untuk merealisasikan mesin gagasan Diesel. Namun dengan beberapa persetujuan, yaitu dengan menurunkan tekanan maksimal mesin yang awalnya 250 bar menjadi 90 bar, yang nanti diturunkan lagi menjadi 30 bar. Kemudian pada tahun 1893 hingga tahun 1897, setelah tiga kali percobaan, mesin gagasan Diesel telah berhasil diciptakan dan direalisasikan. Yaitu mesin yang mampu beroperasi hanya dengan memanfaatkan rasio kompresi dan kompresi udara yang kemudian dicampur dengan bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar. *"The principle of auto-ignition – i.e. injection of the fuel into the highly compressed and heated combustion air during compression – was confirmed in this engine"* (Dietsche, 2014).

Efisiensi mesin yang dicapai pada tes terakhir tersebut sebesar 26,2%, jauh mengalahkan efisiensi mesin otto saat itu yang hanya sebesar 3%.

Sejak saat itulah mesin gagasan Diesel mulai banyak dibuat dan digunakan untuk berbagai kebutuhan pada berbagai sektor dan bidang. Termasuk penggunaannya pada kendaraan darat pertama kali pada truk milik Benz pada tahun 1923. Serta terus dilakukan pengembangannya hingga mampu meningkatkan efisiensi mesin serta keramahannya terhadap lingkungan. Mesin gagasan Diesel tersebut nantinya hingga sekarang dinamakan Mesin Diesel sebagai penghormatan atas temuan dan gagasan brilian dari Rudolf Diesel.



Gambar 3.4 : Mesin Diesel Modern

(Sumber:

<https://otomotif.kompas.com/read/2020/12/31/182100115/mengenal-mesin-diesel-dan-bagaimana-cara-merawatnya>)

3.3 Konsep Dasar Mesin Diesel

Secara dasar, prinsip kerja mesin diesel tidaklah jauh berbeda dengan mesin otto/mesin bensin. Energi kimia yang berasal dari bahan bakar diubah menjadi energi panas melalui proses pembakaran yang kemudian diubah lagi menjadi energi mekanik yang dimanfaatkan untuk menggerakkan kendaraan melalui komponen-komponen di kendaraan tersebut. *“The diesel engine thus uses heat to release the chemical energy contained within the diesel fuel and convert it into mechanical force”* (Raatz & Grieshaber, 2014).

Hal yang membedakan adalah di mana mesin bensin memerlukan bantuan busi percik (*sparkplug*) untuk mampu memunculkan pembakaran. Sedangkan, mesin diesel hanya perlu memanfaatkan rasio kompresi mesin yang tinggi sehingga mampu menghasilkan udara berkompresi tinggi dicampur dengan bahan bakar yang disemprotkan ke dalam ruang bakar dengan tekanan dan suhu yang tinggi (Wahyudi & Daryanto, 2019).

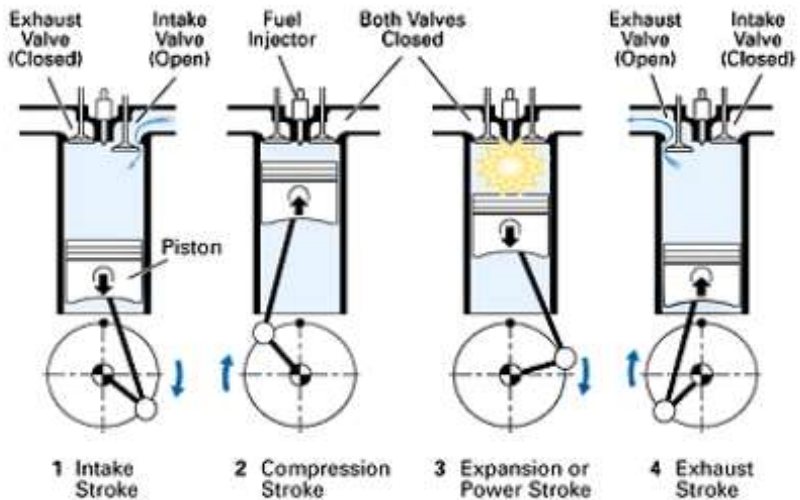
“The diesel engine is a compression-ignition engine in which the fuel and air are mixed inside the engine. The air required for combustion chamber. This generates high temperatures which are sufficient for the diesel fuel to spontaneously ignite when it is injected into the cylinder” (Raatz & Grieshaber, 2014).

Konsep pembakaran motor diesel adalah proses penyalaan udara berkompresi tinggi yang telah dicampur dengan gas bahan bakar pada tekanan yang tinggi. Campuran udara dan bahan bakar yang berkompresi tinggi terjadi pada ruang bakar mesin diesel yang memiliki rasio kompresi yang tinggi pula, yaitu sekitar 14-22 : 1, jika dibandingkan dengan rasio kompresi mesin bensin yang hanya berkisar 7-12 : 1. Sehingga campuran udara dan bahan bakar tersebut memiliki

tekanan dan suhu yang lebih tinggi daripada titik nyala, tekanan, dan suhu penyalaan bahan bakar tersebut (Wahyudi & Daryanto, 2019).

Efisiensi mesin yang mampu dicapai oleh mesin diesel bisa lebih dari 50%, terutama pada mesin berukuran besar dan beroperasi dengan pelan. Konsumsi bahan bakar dan emisi yang dihasilkan oleh mesin diesel pun cenderung rendah. Serta suhu kerja yang dihasilkan cukup rendah menjadikan mesin diesel lebih banyak digunakan pada berbagai macam sektor yang lebih luas jika dibandingkan dengan mesin bensin. Lackner, Schumacher, & Grieshaber (2014) menjelaskan "*The chief areas of use for diesel engine are: 1) fixed-installation engines; 2) cars and light commercial vehicles; 3) heavy goods vehicles; 4) construction and agriculture machinery; 5) railway locomotives; and 6) ships*". Selain itu dengan keutamaan mesin diesel tersebut, mesin diesel dapat dioperasikan dalam jangka waktu yang lama tanpa harus khawatir akan mengalami panas berlebih (*overheating*).

Secara siklus kerja, mesin diesel tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan mesin bensin, terutama pada jenis mesin 4 tak. Siklus kerja yang dimiliki cenderung serupa, yaitu: 1) Hisap; 2) Kompresi; 3) Pembakaran/Usaha; dan 4) Buang.



Gambar 3.5 : Siklus Mesin Diesel 4 Tak

(Sumber: <https://linasundaritermodinamika.blogspot.com/2015/04/siklus-diesel-tekanan-tetap.html>)

Mesin diesel 4 tak beroperasi dengan membutuhkan dua kali gerak putar *crankshaft* (poros engkol) dan empat kali gerak translasi piston dan *connecting rod* untuk menghasilkan satu kali tenaga. Secara ringkas siklus tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Langkah Hisap

Pada langkah hisap, katup masuk dalam keadaan terbuka dan katup buang dalam keadaan tertutup. Kemudian udara masuk ke dalam ruang bakar melalui katup masuk saat piston bergerak dari Titik Mati Atas (TMA) menuju Titik Mati Bawah (TMB).

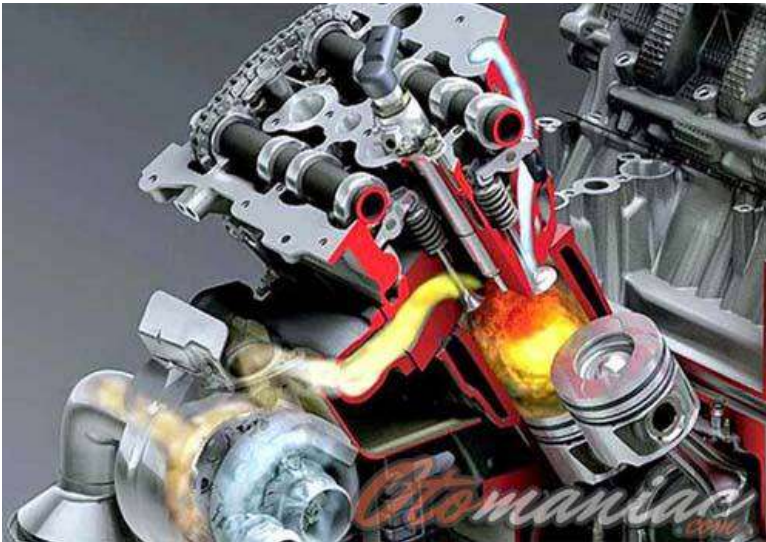
2. Langkah Kompresi

Pada langkah kompresi, kedua katup masuk dan katup buang dalam keadaan tertutup. Piston bergerak dari TMB

menuju TMA dan mengompresi udara yang berada di dalam ruang bakar. Hal tersebut menyebabkan naiknya tekanan dan suhu di dalam ruang bakar hingga melebihi titik nyala bahan bakar.

3. Langkah Pembakaran/Usaha

Pada akhir gerak piston menuju TMA, bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang bakar dengan tekanan yang tinggi. Posisi kedua katup masuk dan buang tetap dalam keadaan tertutup. Bahan bakar yang disemprotkan dengan tekanan tinggi bertemu dan bercampur dengan udara yang bertekanan dan bersuhu tinggi akan menyebabkan penyalan dan pembakaran secara spontan. Sehingga dihasilkan satu tenaga dari proses pembakaran tersebut.



Gambar 3.6 : Siklus Kerja Mesin Diesel

(Sumber: <https://www.otomaniac.com/cara-kerja-mobil-mesin-diesel/>)

4. Langkah Buang

Efek dari pembakaran tersebut timbullah ledakan untuk menghasilkan tenaga. Ledakan tersebut mengakibatkan piston terdorong menuju TMB, kemudian kembali naik menuju TMA untuk membuang gas sisa pembakaran melalui katup buang. Katup buang dalam keadaan terbuka.

3.4 Kelebihan & Kekurangan Mesin Diesel

Sebagai mesin yang memiliki efisiensi mesin, tenaga, dan kompresi yang lebih tinggi dari mesin bensin, mesin diesel bukanlah mesin yang tanpa cela. Berikut ini merupakan kelebihan dan kekurangan mesin diesel menurut penjabaran Wahyudi & Daryanto (2019):

1. Kelebihan

a. Usia Mesin Lebih Awet

Dikarenakan mesin diesel memiliki kompresi yang lebih tinggi dari mesin bensin, maka mesin diesel dibuat dari bahan dan material yang lebih kuat dan tahan panas daripada mesin bensin. Material yang lebih tahan panas menyebabkan panas yang terserap oleh dinding mesin menjadi jauh lebih sedikit disbanding mesin bensin, sehingga pembakaran menjadi lebih maksimal.

b. Menghasilkan Torsi yang Lebih Besar

Pada putaran rendah, mesin diesel menghasilkan torsi lebih besar daripada mesin bensin. Sebagai perbandingan, torsi mesin diesel empat silinder setara dengan torsi mesin bensin enam silinder. Itulah mengapa, mesin diesel lebih banyak digunakan pada kendaraan pengangkut atau kendaraan lintas alam seperti truk dan mobil dobel kabin

c. Irit dan Ekonomis

Konsumsi bahan bakar pada mesin diesel lebih sedikit daripada mesin bensin. Selain itu, harga bahan bakar diesel cenderung lebih murah daripada mesin bensin. Namun

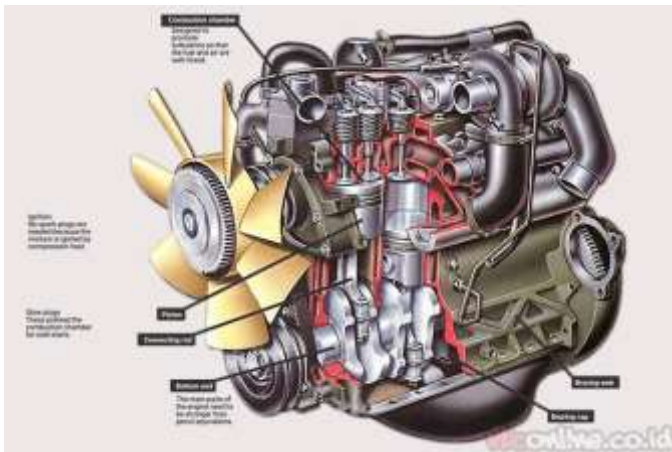
seiring meningkatnya kualitas dan variasi bahan bakar diesel, harga bahan bakar diesel modern menyamai bahkan cenderung lebih mahal daripada bahan bakar bensin.

d. Kompatibel dengan Variasi Bahan Bakar Alternatif

Penelitian dan uji coba terus dilakukan agar mesin diesel, terutama mesin diesel klasik, masih bisa menenggak bahan bakar yang murah. Mesin diesel diciptakan mampu menenggak berbagai macam bahan bakar alternatif. Saat ini telah diketahui berbagai bahan bakar alternatif mesin diesel, seperti biodiesel, *rapeseed oil*, *bioparaffins*, bahan bakar sintetis, dan *dimethyl ether* (Allgeler & Ullmann, 2014).

e. Lebih Ringkas secara Konstruksi

Jika dibandingkan dengan mesin bensin yang harus menggunakan busi percik (*sparkplug*) beserta dengan rangkaiannya, konstruksi mesin diesel terlihat lebih sederhana. Maka, perawatannya pun lebih murah dan mudah.



2. Kekurangan

a. Bising

Suara yang dihasilkan mesin diesel tidak hanya berasal dari sistem pembuangan, tetapi juga dihasilkan oleh gerak dan kerja mesin diesel dan komponen-komponennya itu sendiri. Suara tersebut dapat didengar dengan jelas bahkan tanpa bantuan alat apapun, sehingga menjadikan mesin diesel lebih berisik daripada mesin bensin.

b. Harga Lebih Mahal

Rasio kompresi yang tinggi dan bahan material mesin bensin yang lebih kuat mengakibatkan harga produksi mesin diesel juga lebih besar. Sehingga penjualan kendaraan bermesin diesel juga lebih mahal. Sebagai contoh harga terbaru mobil Toyota Innova Bensin termahal adalah Rp 433.500.000,-, sedangkan harga Toyota Innova Diesel termahal adalah Rp 453.700.000,-.

c. Akselerasi Lebih Pelan

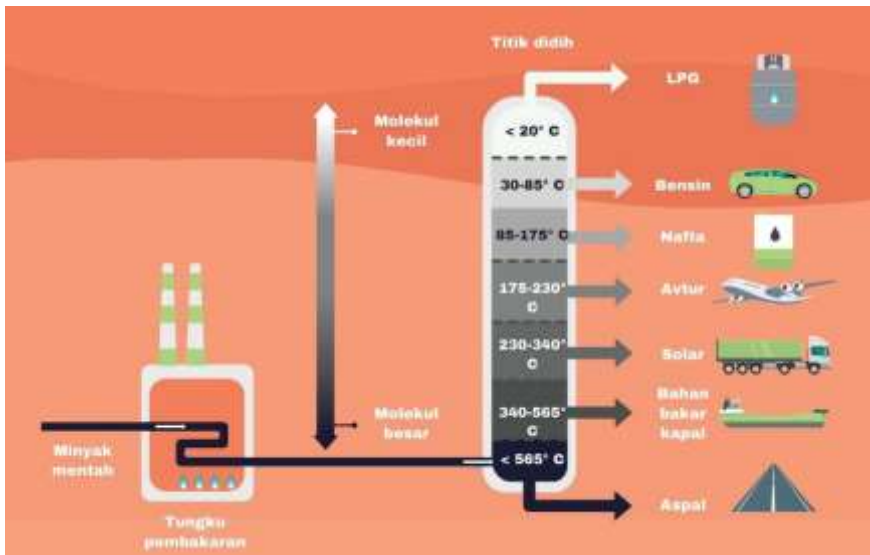
Sebagai kompensasi dari torsi mesin diesel yang besar, kendaraan bermesin diesel memiliki akselerasi yang lebih pelan daripada mesin bensin. Untuk mampu menghasilkan torsi yang besar, maka putaran mesin harus diturunkan sehingga dalam perihal akselerasi dan kecepatan, mesin diesel berada di bawah mesin bensin.

d. Perawatan Lebih Rutin

Perawatan mesin diesel harus diberi perhatian khusus, terutama pada komponen saringan bahan bakar dan pergantian oli mesin berkala. *Diesel engine runaway* merupakan permasalahan yang kerap terjadi mesin diesel yang tidak dirawat dengan baik.

3.5 Bahan Bakar Diesel

Bahan bakar yang digunakan untuk mesin diesel merupakan hasil dari salah satu produk pengolahan minyak bumi atau sering juga disebut dengan minyak mentah.



Gambar 3.7 : Diagram Produksi Minyak Bumi

(Sumber:

<https://www.kompas.com/skola/read/2021/02/16/141919569/diagram-gambar-produksi-minyak-bumi?page=all>)

Bahan bakar diesel di Indonesia dikenal dengan nama solar. Jika pada standar kualitas pada bahan bakar bensin disebut dengan oktana, maka standar kualitas pada bahan bakar solar disebut dengan cetana. Selain itu penamaan bahan bakar solar di Indonesia juga berbeda-beda jika dilihat dari nilai cetana yang dikandungnya. Penamaan variasi bahan bakar solar yang paling dikenal di masyarakat berasal dari BUMN Pertamina, yaitu Solar, Bio-solar, Dexlite, dan Pertamina Dex.

Kandungan yang dimiliki oleh solar secara keseluruhan merupakan hidrokarbon, dengan variasi senyawa seperti *benzine, pentane, hexane, toluene, propane*, dan *butane* (Sukoco & Arifin, 2008). Solar memiliki titik nyala yang lebih rendah daripada bensin, yaitu sekitar 180°C hingga 370°C, dan akan terbakar pada kisaran suhu 350°C. Titik nyala yang dimiliki bensin sebesar 500°C. Ullmann (2014) menyebutkan "*Diesel fuel ignites on average at approximately 350°C (lower limit 220°C), which is very early in comparison with gasoline (on average 500°C)*". Karena itulah solar dapat dengan mudah terbakar hanya dengan memanfaatkan kompresi pada mesin diesel.

Menurut Ullmann (2014), dalam menentukan kualitas bahan bakar diesel yang bagus maka hal-hal berikut harus diperhatikan: 1) tingkat cetana tinggi; 2) titik didih cenderung rendah; 3) penyebaran viskositas dan densitas kecil; 4) aroma senyawa rendah; dan 5) rendah sulfur. Selain itu terdapat karakteristik lain yang mampu menjaga usia mesin diesel dan komponennya lebih awet, yaitu: 1) pelumasan yang baik; 2) tidak mengandung air; dan 3) rendah polutan. Berikut ini adalah spesifikasi bahan bakar diesel/solar di Indonesia berdasarkan Surat Keputusan Dirjen Migas:

Tabel 3.1 : Spesifikasi Minyak Solar di Indonesia

No	Karakteristik	Unit	Batasan		Metode Uji	
			MIN	MAX	ASTM	IP
1	Angka Cetana		45	-	D-613	
2	Indeks Cetana		48	-	D-4737	
3	Berat Jenis pada 15°C	kg/m ³	815	870	D-1298	
4	Viskositas pada 40°C	mm ² /s	2	5	D-445	
5	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,35	D-1552	
6	Distilasi: T95	°C	-	370	D-86	
7	Titik Nyala	°C	60	-	D-93	
8	Titik Tuang	°C	-	18	D-97	
9	Karbon Residu	merit	-	Kelas I	D-4530	
10	Kandungan Air	mg/kg		500	D-1744	
11	<i>Biological Growth</i>					
12	Kandungan FAME	% v/v	-	10		
13	Kandungan Metanol dan Etanol	% v/v	Tak Terdeteksi		D-4815	
14	Korosi Bilah Tembaga	merit	-	Kelas I	D-130	
15	Kandungan Abu	% m/m	-	0,01	D-482	
16	Kandungan Sedimen	% m/m	-	0,01	D-473	

No	Karakteristik	Unit	Batasan		Metode Uji	
			MIN	MAX	ASTM	IP
17	Bilangan Asam Kuat	mgKOH/gr	-	0	D-664	
18	Bilangan Asam Total	mgKOH/gr	-	0,6	D-664	
19	Partikulat	mg/l	-	-	D-2276	
20	Penampilan Visual		Jernih & Terang			
21	Warna	No. ASTM	-	3	D-1500	

Sumber: Surat Keputusan Dirjen Migas 3675 K/24/DJM/2006

DAFTAR PUSTAKA

- Allgeler, T. & Ullmann, J., 2014. Fuels, Alternative Fuels. In: K. Reif, ed. *Diesel Engine Management - Systems and Components*. Friedrichshafen: Springer Vieweg.
- Anggraeni, D., 2019. *VTCOnline*. [Online] Available at: <https://vtconline.co.id/komponen-mesin-diesel/1204/> [Accessed 2022].
- Anon., 2014. *Kumpulan Materi Tentang Termodinamika*. [Online] Available at: <https://linasundaritermodinamika.blogspot.com/2015/04/siklus-diesel-tekanan-tetap.html> [Accessed 2022].
- Dananjaya, D., 2020. *Kompas.com*. [Online] Available at: <https://otomotif.kompas.com/read/2020/12/31/182100115/mengenal-mesin-diesel-dan-bagaimana-cara-merawatnya> [Accessed 2022].
- Dietsche, K.-H., 2014. History of the Diesel Engine. In: K. Reif, ed. *Diesel Engine Management - Systems and Components*. Friedrichshafen: Springer Vieweg.
- Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi, 2006. *Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Nomor: 3675 K/24/DJM/2006 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Solar yang Dipasarkan di Dalam Negeri*. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Lackner, J., Schumacher, H. & Grieshaber, H., 2014. Areas of use for Diesel Engine. In: K. Reif, ed. *Diesel Engine Management - Systems and Components*. Friedrichshafen: Springer Vieweg.

- Mollenhaur, K. & Schreiner, K., 2010. History and Fundamental Principles of the Diesel Engine. In: K. Mollenhaur & H. Tschöke, eds. *Handbook of Diesel Engines*. Berlin: Springer.
- Raatz, T. & Grieshaber, H., 2014. Basic Principle of the Diesel Engine. In: K. Reif, ed. *Diesel Engine Management - Systems and Components*. Friedrichshafen: Springer Vieweg.
- S. & Arifin, Z., 2008. *Teknologi Motor Diesel*. Bandung: Alfabeta.
- Setianto, F., 2019. *Otomaniac.com*. [Online] Available at: <https://www.otomaniac.com/cara-kerja-mobil-mesin-diesel/>[Accessed 2022].
- Ullmann, J., 2014. Fuels, Diesel Fuels. In: K. Reif, ed. *Diesel Engine Management - Systems and Components*. Friedrichshafen: Springer Vieweg.
- Utami, S. N., 2021. *Kompas.com*. [Online] Available at: <https://www.kompas.com/skola/read/2021/02/16/141919569/diagram-gambar-produksi-minyak-bumi?page=all>[Accessed 2022].
- Wahyudi, M. & D., 2009. *Teori dan Reparasi Mesin Diesel*. Yogyakarta: Penerbit Gava Media.

BAB 4

MESIN PENDINGIN

Oleh Daniel Parenden

4.1 Pendahuluan

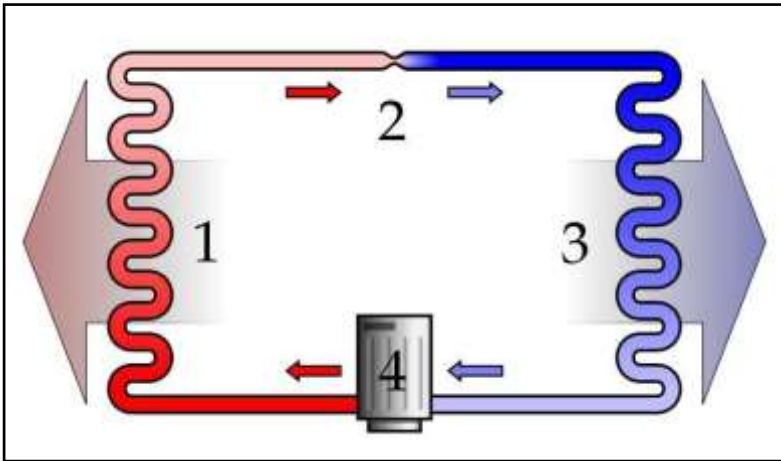
Definisi ilmu pendingin adalah ilmu yang mempelajari proses transformasi panas di bawah suhu atmosfer. Sedangkan pendingin adalah suatu mesin atau alat dimana refrigeran disirkulasikan melalui sistem sedemikian rupa sehingga terjadi perubahan panas dan tekanan sesuai dengan yang dikehendaki (Subagyo, 2017).

Mesin pendingin (refrigerator) merupakan adalah suatu peralatan yang dipergunakan untuk menyerap panas dari dalam ruangan ke luar sehingga suhu benda/ruang menjadi turun dibandingkan dengan suhu sekitar untuk menciptakan suhu yang diinginkan (Gunawan, Tanujaya and Aziz, 2014).

Refrigerasi adalah sistem yang digunakan untuk mengatur suhu di bawah suhu lingkungan di berbagai bidang seperti konstruksi, transportasi dan penyimpanan makanan dan minuman (Subagyo, 2017).

Hingga tahun 1990, refrigeran yang umum digunakan adalah *chlorofluorocarbon* (CFC) dengan merk Freon. Pada tahun 1995, produksi CFC dihentikan karena menyebabkan menipisnya lapisan ozon, setelah pelarangan penggunaan CFC, amonia menjadi lebih banyak digunakan, diikuti oleh propana dan butana yang kurang korosif, dan isobutana yang digunakan secara luas saat ini.

Cairan lain yang digunakan sebagai refrigeran adalah karbon dioksida, helium, hidrogen dan nitrogen, dan umumnya dipergunakan dalam industri yang menggunakan teknologi refrigerasi (Subagyo, 2017).

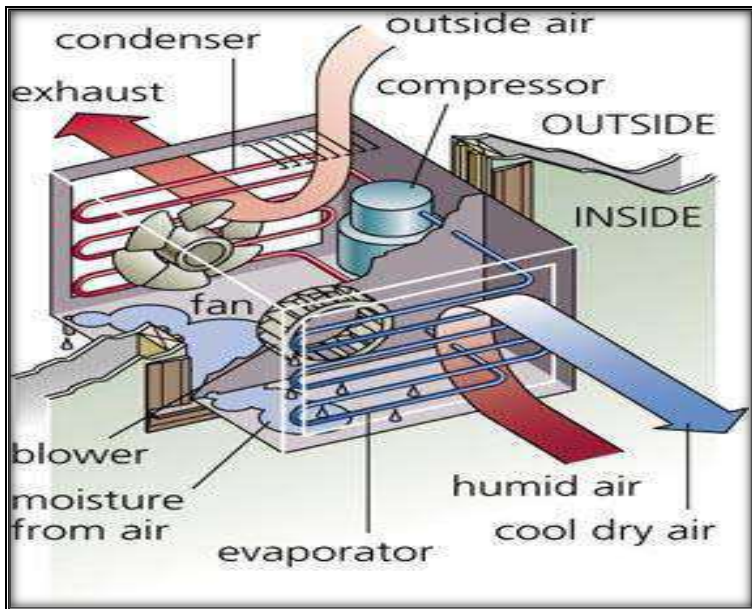


Gambar 4.1 : Gambaran sederhana siklus pendingin. 1: kondensor, 2: katup ekspansi, 3: evaporator, 4: kompresor.
(Subagyo, 2017)

Pendinginan dicapai dengan terus menyerap panas pada suhu rendah, yang seringkali dapat dicapai dengan terus menerus menguapkan cairan. Uap yang terbentuk umumnya dapat kembali ke bentuk cair aslinya dengan dua cara. Biasanya, uap hanya dikompresi dan kemudian dipadatkan (dengan sirip seperti di lemari es). Alternatifnya, dapat diserap ke dalam cairan volatil lainnya, dan kemudian diuapkan di bawah tekanan tinggi.

Penyejuk udara yang juga dikenal sebagai *Air Conditione* (AC), adalah perangkat atau sistem yang dirancang untuk mengontrol suhu di suatu area melalui sirkuit pendingin.

Penyejuk udara berfungsi sebagai kulkas dan pompa panas. Alat ini berguna untuk menjamin kenyamanan di dalam ruangan atau kendaraan.



Gambar 4.2 : Contoh air conditioner(Subagyo, 2017)

4.2 Aplikasi Mesin Pendingin

Pendinginan adalah suatu proses ekstraksi panas dari suatu benda atau ruangan yang memiliki suhu lebih rendah dari lingkungan alaminya. Dahulu bangsa Romawi dan Cina menggunakan es dan salju sebagai penyejuk udara di musim panas. Sedangkan orang Mesir meletakkan tangki air di atas atap pada malam hari untuk mendinginkannya. Di sini menunjukkan bahwa upaya untuk mendinginkan bahan atau udara telah dilakukan sejak zaman dahulu. Peradaban yang makin pesat berkembang membuat teknologi pendinginan semakin maju (Subagyo, 2017).

Dalam bidang refegerasi ada dua bidang utama yang saling berkaitan satu sama lain, yaitu refrigerasi dan pengkondisian udara. Aplikasi pendinginan dapat ditemukan

di berbagai bidang, seperti dibidang industri untuk memberikan suhu dan kelembaban yang nyaman bagi pekerja. Beberapa sistem dirancang untuk mencapai kondisi udara yang hampir bebas debu (ruangan steril), misalnya di industri elektronik. Industri percetakan membutuhkan udara dengan tingkat kelembaban tertentu agar kertas tidak menggumpal dan tinta cepat kering. Kelembaban yang tinggi juga dapat menyebabkan korsleting. Saat ini, di perkantoran maupun di perumahan sudah umum menggunakan AC untuk menambah kenyamanan dalam ruangan.

4.2.1 Refrigerasi

Refrigerasi adalah suatu proses di mana panas dihilangkan dari suatu zat atau produk sehingga suhunya lebih rendah dari suhu sekitar. Panas adalah salah satu bentuk energi, jadi menghilangkan panas dari suatu benda seperti menghilangkan beberapa molekulnya. Saat panas di sekitar refrigeran diserap, refrigeran menguap, sehingga suhu di sekitar refrigeran menurun. Hal ini dapat terjadi karena penguapan membutuhkan panas. AC mengambil panas dari udara. Untuk menyerap panas dari udara, udara harus bersentuhan dengan zat atau material yang bersuhu lebih rendah(Tampubolon, 2005).

Refrigerasi memanfaatkan sifat termal (termal) refrigeran ketika material berubah bentuk dari cair menjadi gas atau uap atau sebaliknya dari gas menjadi cair.

Suatu mesin refrigerasi akan memiliki tiga sistem terpisah yaitu (Tampubolon, 2005):

1. Sistem refrigerasi.
2. Sumber daya.
3. Sistem kontrol.

4.2.2 Pengkondisian udara

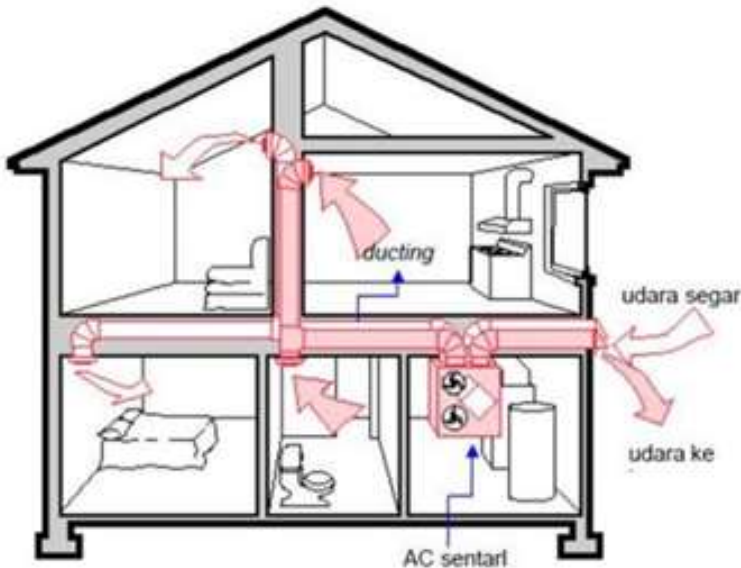
Pengkondisian udara adalah proses untuk mengatur suhu dan kelembaban udara sesuai dengan kebutuhan tertentu. Selain itu, kemurnian, kecepatan, dan distribusi udara di ruangan ber-AC juga menjadi faktor penting.

Pengkondisian udara adalah teknologi yang memindahkan panas dari atau ke ruangan untuk mencapai suhu dan kelembaban yang diinginkan. Mesin yang dapat melakukan transfer adalah heat pump (pompa panas).

Ada dua jenis pompa panas tergantung pada apakah panas diperlukan atau tidak. Mesin pompa panas yang menyerap panas dari suhu ruangan dan kemudian melepaskannya ke lingkungan disebut mesin pendingin. Pada saat yang sama, mesin pompa panas yang menyerap panas dari lingkungan untuk memanaskan ruangan disebut pompa panas.

Tujuan perpindahan panas dari satu area ke area lain adalah untuk mengatur suhu dan kelembaban udara yang benar demi kenyamanan atau tujuan lain seperti pengawetan dan pengeringan.

Misalnya di ruangan kelas proses belajar mengajar, pada cuaca yang panas atau kering, ruangan biasanya terasa hangat selama proses belajar mengajar. Beban pendinginan dihasilkan dari suhu sekitar, radiasi matahari, siswa dan guru. Beban pendinginan terbesar berasal dari pemanasan radiasi matahari. Dengan menganalisa beban pendinginan maka dapat dibuat suatu rancangan sistem yang mengatur udara di dalam ruangan kelas agar nyaman untuk proses belajar mengajar (Rokhman, 2017).



Gambar 4.3 : Instalasi Penyegar Udara Rumah (Rokhman, 2017).

1. Beban Pemanasan dan Pendinginan

Sebelum mengkondisikan suatu ruangan, terlebih dahulu kita harus mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi sifat-sifat udara dalam ruangan tersebut, terutama dua indikator penting yaitu suhu udara dan kelembaban.

Di daerah dengan iklim subtropis pada saat musim dingin, kondisi cuaca bisa ekstrem, dengan suhu di bawah nol dan cenderung udara kering atau lembap. Oleh karena itu, dalam iklim subtropis, AC dalam ruangan cenderung memanaskan dan meningkatkan kelembaban di musim dingin dan membuat kondisinya nyaman. Oleh karena itu, semua faktor yang mempengaruhi proses pemanasan disebut sebagai beban pemanasan. Misalnya kondisi

ruangan yaitu model ventilasi, lampu terpasang, model jendela dan kondisi lainnya.

Saat menghitung beban pemanasan, beban panas, perpindahan panas, dan beban panas penetrasi udara (infiltrasi) harus diperhitungkan. Saat menghitung beban pendinginan, faktor terpenting adalah beban sumber internal (lampu dan manusia) dan beban panas dari matahari.



Gambar 4.4 : Beban Pendingin (Rokhman, 2017)

2. Kualitas Udara

Setiap makhluk hidup pasti membutuhkan udara untuk hidup, kita manusia juga udara sangat penting, dari bangun tidur hingga tertidur kembali kita selalu berinteraksi dengan udara disekitar kita terutama saat bernafas (Rokhman, 2017).

Oleh karena itu, sangat penting untuk selalu menjaga kualitas udara. Salah satu pilihan dalam teknik pengkondisian udara adalah dengan pemasangan ventilasi di dalam ruangan. Fungsi ventilasi bertujuan untuk menyegarkan kondisi sekitar dengan udara segar. Model ventilasi disesuaikan dengan kebutuhan dari ruangan yang akan dikondisikan. Untuk ruangan dengan tingkat pengotoran tinggi harus dibedakan dengan ventilasi dengan pengotoran rendah. Perlu diperhatikan juga bahwa ventilasi sangat berpengaruh terhadap beban pengkondisian untuk penghangatan atau pendinginan.

Tabel 4.1 : Kebutuhan Udara Luar untuk ventilasi

Kegunaan Ruang	Perkiraan pengguna per 100 m ² luas lantai	Kebutuhan udara luar per orang , L/dtk	
		Merokok	Tidak Merokok
Kantor	7	10	2.5
Ruang Pertemuan	60	17.5	3.5
Loby	30	7.5	2.5

Sumber (Rokhman, 2017)

4.3 Komponen Mesin Pendingin

Berdasarkan pengoperasian dan penggunaan sistem mesin pendingin, terdiri dari komponen utama dan komponen pendukung (Basuki, 2015).

4.3.1 Komponen utama

Yang dimaksud dengan komponen utama atau pokok adalah komponen atau alat yang harus ada pada mesin pendingin yang terdiri dari (Basuki, 2015) :

1. Kompresor

Kompresor adalah alat yang sangat penting dalam mesin pendingin yang digunakan untuk memampatkan uap refrigeran (bahan pendingin)



Gambar 4.5 : Kompresor (Basuki, 2015).

Kompresor digolongkan berdasarkan :

- 1) Berdasarkan cara kerjanya kompresor terbagi atas :
 - a. Kompresor torak (reciprocating)
 - b. Kompresor rotary
- 2) Berdasarkan konstruksinya kompresor terbagi atas :
 - a. Kompresor tertutup
 - b. Kompresor semi hermetik
 - c. Kompresor hermetik
 - d. Kompresor terbuka
- 3) Berdasarkan penggunaannya kompresor terbagi atas :
 - a. Kompresor *single stage*
 - b. Kompresor *two stage*

2. Kondensor

Kondensor adalah alat untuk mengembunkan atau mengubah uap refrigeran bertekanan tinggi menjadi refrigeran cair bertekanan tinggi (Basuki, 2015) .



Gambar 4.6 : Kondensor (Basuki, 2015).

Berdasarkan media pendinginnya kondensor di golongan atas :

- 1) Kondensor air
 - a. Kondensor *shell and tube*
 - b. Kondensor *tube and tube*
 - c. Kondensor *shell and coil*
- 2) Kondensor udara
- 3) Kondensor air dan udara (*evaporative*)

3. Tangki penampung

Tangki penampung atau reservoir adalah suatu alat yang digunakan untuk menampung refrigeran cair bertekanan tinggi dari kondensor (Basuki, 2015).



Gambar 4.7 : Tangki penampung (Basuki, 2015).

Penggolongan Tangki Penampungan berdasarkan bentuknya:

- 1) Tangki penampung horisontal
- 2) Tangki penampung vertikal

4. Katup ekspansi

Katup ekspansi adalah alat yang digunakan untuk menambah atau mengurangi tekanan refrigerant (Basuki, 2015).

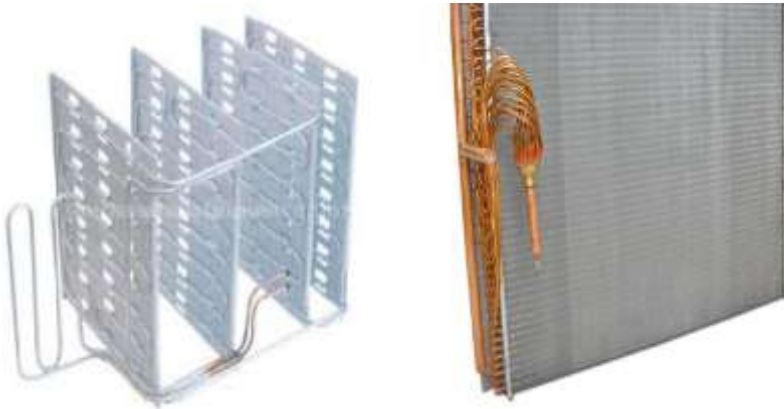


Gambar 4.8 : Katup ekspansi (Basuki, 2015)

- 1) Penggolongan Katup ekspansi berdasarkan kerjanya:
- 2) Katup ekspansi manual
- 3) Katup ekspansi thermostatic
 - a. Eksternal
 - b. Internal
- 4) Katup ekspansi automatic
- 5) Katup ekspansi float
- 6) Ekspansi kapiler

5. Evaporator

Evaporator adalah alat yang digunakan untuk menguapkan atau mengubah refrigeran cair bertekanan rendah menjadi uap refrigeran bertekanan rendah (Basuki, 2015).



Gambar 4.9 : Evaporator (Basuki, 2015)

Penggolongan Evaporator dibedakan berdasarkan bentuknya :

- 1) *Evaporator bare*
- 2) *Evaporator plate*
- 3) *Evaporator finned* (air blast evaporator)

Penggolongan Evaporator dibedakan berdasarkan penempatannya :

- 1) Evaporator sistem basah
- 2) Evaporator sistem kering

6. Akumulator (khusus untuk mesin pendingin sistem evaporator basah)

Akumulator adalah alat yang digunakan untuk memisahkan uap dan cairan bahan pendingin bertekanan rendah (Basuki, 2015).



Gambar 4.10 : Akumulator (Basuki, 2015)

4.3.2 Komponen pendukung

Bagian pendukung berarti bagian atau alat yang digunakan untuk mendukung operasi mesin pendingin dan karenanya tidak selalu ada atau digunakan di dalam mesin pendingin. Jenis peralatan bantu yang digunakan tergantung pada kapasitas pendinginan mesin dan jenis bahan pendingin (Basuki, 2015).

Adapun jenis alat bantu dan kegunaannya adalah sebagai berikut :

1. Oil separator

Oil separator adalah alat yang digunakan untuk memisahkan minyak pelumas dari uap refrigeran bertekanan tinggi, alat ini terletak di saluran uap refrigeran bertekanan tinggi atau di saluran antara kompresor dan kondensor.

Jenis alat ini ada 2 macam yaitu :

- 1) Oil separator yang dilengkapi dengan saluran pembuangan minyak pelumas, ini digunakan pada mesin pendingin dengan bahan refrigeran jenis amonia
- 2) Oil separator yang dilengkapi dengan saluran pengembalian minyak pelumas ke kompresor ini digunakan pada mesin pendingin dengan bahan refrigeran jenis halogen



Gambar 4.11 : Oil separator (Basuki, 2015)

2. Filter drier

Filter drier adalah alat yang digunakan untuk mengeringkan cairan refrigeran dari kandungan air, alat ini dipasang pada saluran cairan refrigeran bertekanan tinggi atau pada saluran antara tangki penampung sampai katup ekspansi. Didalam filter drier terdapat bahan pengering dissicant salah satu jenisnya adalah silica gel. Filter drier

ini digunakan khusus untuk mesin pendingin dengan refrigeran halogen.



Gambar 4.12 : Filter drier (Basuki, 2015)

3. Indikator

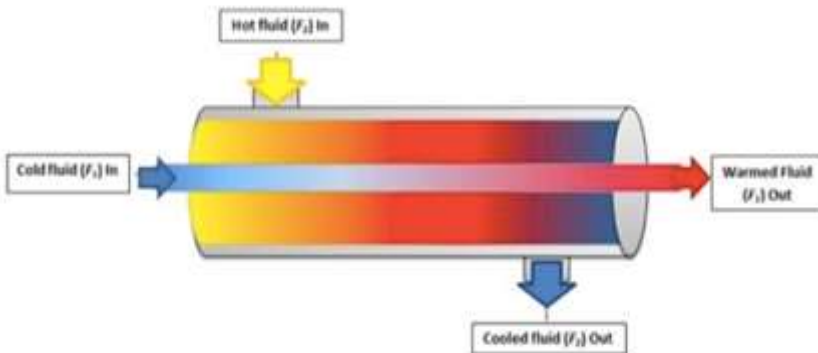
Indikator adalah alat yang digunakan untuk melihat ada tidaknya cairan refrigeran bertekanan tinggi yang mengalir ke katup ekspansi, alat ini ditempatkan pada saluran cairan refrigeran bertekanan tinggi atau antara tangki penampung sampai katup ekspansi atau dapat juga pada saluran setelah filter drier, oleh karena itu alat ini juga dapat untuk mendeteksi masih baik dan tidaknya filter drier.



Gambar 4.13 : Indikator (Basuki, 2015)

4. *Heat exchanger*

Heat exchanger adalah alat penukar panas untuk menambah kapasitas mesin pendingin, alat ini hanyalah merupakan tempat persinggungan saluran cairan refrigeran bertekanan tinggi dari tangki penampung dengan saluran uap refrigeran bertekanan rendah dari evaporator. Alat ini digunakan untuk mesin pendingin sistem evaporator kering



Gambar 4.14 : Heat exchanger (Basuki, 2015)

5. Kran selenoid

Kran selenoid adalah alat yang digerakkan dengan ada dan tidaknya aliran listrik, kran ini pada umumnya dipasang pada saluran cairan refrigeran bertekanan tinggi atau sebelum katup ekspansi dan selain itu dapat pula dipasang pada bagian mesin pendingin lainnya seperti saluran by pass, saluran unload dan lain – lain.



Gambar 4.15 : Kran selenoid (Basuki, 2015)

DAFTAR PUSTAKA

- Basuki, R. 2015. *Komponen mesin pendingin*. Available at: <https://adoc.pub/download/komponen-mesin-pendingin.html>.
- Gunawan, T., Tanujaya, H. and Aziz, A. 2014. 'Uji Eksperimental Mesin Pendingin Berpendingin Air Dengan Menggunakan Refrigeran R22 Dan Refrigeran R407C', *Poros*, 12(2), p. 165. doi: 10.24912/poros.v12i2.570.
- Rokhman, T. 2017. 'Taufiqur Rokhman Share Your Knowledge and Make Your Life More Meaningful Category Material Teknik Sifat -sifat Logam', pp. 1–13.
- Subagyo, R. 2017. 'Mesin Pendingin dan Pemanas', pp. 14–15.
- Tampubolon, D. 2005. 'Pemahaman tentang sistem refrigerasi', *Teknik SIMETRIKA*, 4(1), pp. 314–318.

BAB 5

MESIN KONVERSI ENERGI NON KONVENSIONAL

Oleh Fathan Mubina Dewadi

5.1 Pendahuluan

Perkembangan konversi energi dari masa ke masa sudah tak luput lagi terutama di negara berkembang. Negara berkembang butuh asupan energi terbarukan lebih banyak daripada negara maju dengan alasan negara maju sudah siap dengan peralatan teknologi yang mutakhir (Dewadi, Dahlan, & Maulana, *Frame e-Bike Optimization Capacity 48V*, 2019). Berikut akan dijelaskan pada tabel 1.

Tabel 5.1 : Negara Maju di Dunia Tahun 2022 (Yusuf, 2022)

No	Daftar Negara	Jumlah PDB Nominal	Luas Wilayah	Jumlah Penduduk
1	Liechtenstein	USD 166.022	160 km ²	38.557
2	Monaco	USD 165.421	2,2 km ²	38.400
3	Luxembourg	USD 106.806	2,57 km ²	613.896
4	Swiss	USD 80.101	41,29 km ²	8.586.550
5	Norwegia	USD 75.295	385,21 km ²	5.312.300

Alasan terkuat liechtenstein menjadi nomor 1 dalam hal kemajuan adalah karena 85% telah mengimpor lebih dari kebutuhan energi serta negara ini miskin akan sumber energi. Namun pada dasarnya negara ini didominasi oleh perkembangan manufaktur logam, elektronik dan lain sebagainya (Farahdiansari, Dewadi, & Rahdiana, 2021). Kemungkinan terbesar negara ini memiliki mesin konversi

energi non konvensional namun pada dasarnya tidak dieksplor dan untuk kepentingan pribadi. Pada dasarnya penerapan mesin konversi energi tidak harus di perusahaan konversi energi, hal lainnya bisa juga diterapkan di Industri manufaktur (Abbas, et al., 2020).

Monako menjadi negara kedua setelah dijelaskan pada tabel 5.1 karena sebelumnya diabad ke-19, monako cukup bagus industri perkeretaapian (Murtalim, Analisis Unjuk Kerja Eco Racing sebagai Suplemen Penghemat Bahan Bakar, 2020). Maka dari itu dengan awal perkembangan transportasi yang bagus, sekarang ini monako merambah ke Industri pariwisata. Kereta api merupakan mesin konversi energi konvensional yang merupakan cikal bakal mesin konversi energi non konvensional dalam bidang transportasi (Wibowo, Sukarno, Nursanti, & Dewadi, 2022).

5.2 Mesin Konversi Energi

Mesin konversi energi sangat penting dalam menjalankan sebuah industri yang ada di Indonesia khususnya mengenai energi baru dan terbarukan. Karena dengan adanya mesin konversi energi, perubahan transisi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi menjadi memadai (Dewadi, Efisiensi Pada Sepeda Listrik Dengan Dinamo Sepeda Sebagai Generator, 2021).

Jenis-jenis mesin konversi energi berdasarkan cara perolehan energi panasnya yaitu motor pembakaran dalam dan motor pembakaran luar. Motor pembakaran dalam contohnya yaitu mesin bensin, mesin diesel dan mesin jet sedangkan contoh motor pembakaran luar yaitu kompresor, motor listrik, panel suya, dan pendingin (Dimyati, et al., 2021). Mesin bensin merupakan mesin yang dimana memerlukan udara yang dicampur dengan bensin sehingga mesin dapat bekerja. Secara umum, mesin bensin menggunakan busi sebagai alat pemercik

bunga api agar terjadi ledakan yang akhirnya menggerakkan engkol (Wibowo & Dewadi, Design Pressure Reduction System (PRS) untuk Compressed Natural Gas (CNG) Kapasitas 30 Nm³/h dalam Sisi Teknis dan Ekonomis, 2022).

Mesin diesel merupakan mesin dengan pembakaran dalam dengan prinsip penyalan tidak menggunakan busi melainkan perlu kompresi. Pada dasarnya, mesin diesel tidak jauh berbeda dengan mesin bensin dimana pada prosesnya terdiri dari 2 tak dan 4 tak (Dewadi, Klasifikasi Perpindahan Panas, 2022). Selain dari mesin diesel dan mesin bensin, terdapat mesin jet yang merupakan salah satu contoh mesin pembakaran dalam. Mesin jet merupakan mesin yang menghirup udara sebagai proses untuk mempercepat aliran udara dan massa sehingga mendapat dorongan kearah yang berlawanan (Sukarman, Dewadi, Supriyanto, Sunandar, & Karyadi, 2021).

5.3 Mesin Konversi Energi Non Konvensional

Turbin gas, reaktor nuklir, panel surya dan turbin uap masuk dalam kategori mesin konversi energi non konvensional karena sudah modern dalam pengaplikasiannya. Turbin gas sebagai kincir yang dimana nanti akan memutar generator yang secara umum 1 poros dengan generator (Nanda, Supriyanto, Dewadi, Jati, & Kurniawan, 2022).

5.3.1 Turbin Gas

Turbin gas memiliki komponen yang hampir sama seperti turbin uap pada umumnya. Hanya saja perbedaan ukuran dan diameter inilah yang menjadikan turbin gas ini sebagai komponen mesin konversi energi. Turbin gas memiliki ruang yang lebih mampat dibanding turbin uap (Dewadi, Perancangan Mesin Roll Pelat Dengan Penggerak Motor Listrik Ac 1 Fasa Kapasitas Daya Listrik 180 W, 2016) akan dijelaskan pada gambar 5.1.



Gambar 5.1 : Turbin Gas (Prismono, 2023)

5.3.2 Reaktor Nuklir

Reaktor nuklir merupakan piranti dalam proses fisi yang dimana berbentuk tabung dengan dipanaskan berguna untuk memanaskan air sehingga membentuk uap. Reaktor dipanaskan oleh uranium sehingga proses pembentukan listrik dari nuklir kurang lebih mirip seperti proses pada PLTU (Raja Ma'arof, Saputra, Dewadi, & Noor, 2021). Berikut akan dijelaskan mengenai reaktor nuklir yang akan dijelaskan pada gambar 5.2.



Gambar 5.2 :Reaktor Nuklir (Biantoro, 2023)

5.3.3 Panel Surya

Panel surya merupakan sebuah panel dengan secara umum berbentuk papan untuk menangkap sinar matahari dengan intensitas cahaya sebagai sumber energi yang diubah menjadi energi listrik (Mulyadi & Dewadi, 2021). Lalu listrik tersebut disimpan di dalam baterai, berikut akan dipaparkan pada gambar 5.3.

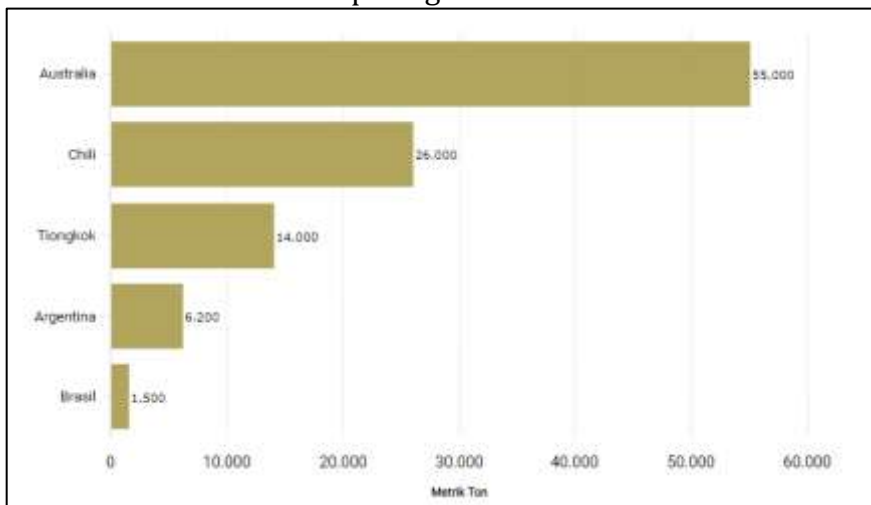


Gambar 5.3 : Panel Surya (ETICON, 2021)

5.4 Peran Baterai untuk Pengembangan Energi

Baterai dalam jangka panjang dan dalam terobosan masa depan akan selalu menjadi komponen yang paling diutamakan terlebih dalam mengatasi krisis energi. Energi listrik harus disimpan didalam baterai agar sumber pengisian energi listrik tidak harus sampai kerumah-rumah atau tempat-tempat tertentu, namun cukup dengan baterai sebagai pengelola energi listrik maka akan mudah didistribusikan listrik yang berasal dari baterai (Khoirudin, *et al.*, 2021). Baterai dari jaman ke jaman harus selalu berkembang dalam inovasi agar tuntutan dalam kebutuhan yang banyak makin

terjawab dengan teknologi yang semakin canggih. Baterai pada kendaraan listrik yaitu sepeda motor listrik dengan metode *swap charging* sehingga menghasilkan energi yang ramah lingkungan dengan sistem yang cukup efisien dalam penggunaannya (Murtalim, Dewadi, Amir, & Sigalingging, 2021). Berikut akan dipaparkan negara-negara penghasil lithium terbesar di dunia pada gambar 5.4.



Gambar 5.4 : Negara-negara Penghasil Lithium Terbesar di Dunia (Rizaty, 2022)

Alasan lithium sebagai bahan baku yang baik untuk penggunaan baterai karena secara bobot, lithium cenderung ringan dan juga sebagai penghasil energi yang baik. Bobot inilah yang mengakibatkan lithium sebagai cikal bakal material terpenting dalam energi terbarukan. Lithium nantinya akan terus dikaji lagi karena saat ini baru terdapat 2 jenis lithium yang secara umum digunakan pada kebutuhan elektronis yaitu lithium ion dan lithium polimer.

DAFTAR PUSTAKA

- Farahdiansari, A. P., Dewadi, F. M., & Rahdiana, N. 2021. Analisis Unjuk Kerja BBM dengan Eco-Racing sebagai Campuran BBM yang Ekonomis. *JTMMX*, II(1), 1-5.
- Wibowo, C., Sukarno, S., Nursanti, Y. B., & Dewadi, F. M. 2022. Kebutuhan Perguruan Tinggi di Wonogiri sebagai Bagian dari Pengembangan Sumber Daya Manusia. *VISIONER : Jurnal Penelitian Komunikasi dan Sosial Politik*, IV(1), 20-27.
- Kumpulan Materi Tentang Termodinamika. 2014. Abgerufen am 2022 von <https://linasundaritermodinamika.blogspot.com/2015/04/siklus-diesel-tekanan-tetap.html>
- Abbas, A., Prayitno, P., Butarbutar, F., Nurkim, N., Prumanto, D., Dewadi, F. M., et al. 2020. Implementation of clustering unsupervised learning using KMeans mapping techniques. Medan: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.
- Allgeler, T., & Ullmann, J. 2014. Fuels, Alternative Fuels. In K. Reif (Hrsg.), *Diesel Engine Management - Systems and Components*. Friedrichshafen: Springer Vieweg.
- Anggraeni, D. 2019. *VTOnline*. Abgerufen am 2022 von <https://vtconline.co.id/komponen-mesin-diesel/1204/>
- Biantoro, B. 2023. *Merdeka.com*. Abgerufen am 12. Oktober 2016 von <https://www.merdeka.com/teknologi/hebat-china-kembangkan-reaktor-nuklir-terkecil-di-dunia.html>
- Dananjaya, D. 2020. *Kompas.com*. Abgerufen am 2022 von <https://otomotif.kompas.com/read/2020/12/31/182100115/mengenal-mesin-diesel-dan-bagaimana-cara-merawatnya>

- Dewadi, F. M. 2016. *Perancangan Mesin Roll Pelat Dengan Penggerak Motor Listrik Ac 1 Fasa Kapasitas Daya Listrik 180 W*. Jakarta: Institut Sains dan Teknologi Al-Kamal.
- Dewadi, F. M. 2021. Efisiensi Pada Sepeda Listrik Dengan Dinamo Sepeda Sebagai Generator. *Praxis : Jurnal Sains, Teknologi, Masyarakat dan Jejaring*, IV(1), 13-23.
- Dewadi, F. M. 2022. Klasifikasi Perpindahan Panas. In R. Pido (Hrsg.), *Perpindahan Panas: Dasar dan Praktisi dari Perspektif Akademisi dan Praktisi* (S. 1-8). Bandung: Indie Press.
- Dewadi, F. M., Dahlan, D., & Maulana, E. 2019. Frame e-Bike Optimization Capacity 48V. *JOJAPS*, XIV, 129-138.
- Dietsche, K.-H. 2014. History of the Diesel Engine. In K. Reif (Hrsg.), *Diesel Engine Management - Systems and Components*. Friedrichshafen: Springer Vieweg.
- Dimiyati, D., Ashiedieque, A. D., Khoirudin, Sukarman, Dewadi, F. M., Rahdiana, N., et al. 2021. Evaluasi Kekuatan Resistance Spot Welding Pada Proses Tailor Welded Blankss Menggunakan Mill-Steel Beda Ketebalan. *Borobudur Engineering Research (BENR)*, I(1), 96-107.
- Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bum. 2006. *Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Nomor: 3675 K/24/DJM/2006 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Solar yang Dipasarkan di Dalam Negeri*. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- ETICON. 2021. *eticon.co.id*. Abgerufen am 2. September 2021 von <https://eticon.co.id/mengenal-panel-surya/>
- Khoirudin, Sukarman, Murtalim, Dewadi, F. M., Rahdiana, N., Rais, A., et al. 2021. A Report on Metal Forming Technology Transfer from Expert to Industry for Improving Production Efficiency. *Mechanical Engineering for Society and Industry*, I(2), 96-103.

- Lackner, J., Schumacher, H., & Grieshaber, H. 2014. Areas of use for Diesel Engine. In K. Reif (Hrsg.), *Diesel Engine Management - Systems and Components*. Friedrichshafen: Springer Vieweg.
- Meliyani, R., Riyana, M., Parkhurst, H., Rahmah, H., Purnama, P. M., Sulistyono, E., et al. 2022. *Patentnr. 000409479*. Indonesia.
- Mollenhaur, K., & Schreiner, K. 2010. History and Fundamental Principles of the Diesel Engine. In K. Mollenhaur, & H. Tschoeke (Hrsg.), *Handbook of Diesel Engines*. Berlin: Springer.
- Mulyadi, D., & Dewadi, F. M. 2021. Analisis Rancangan Sel Surya untuk Kebutuhan Cadangan Energi Listrik di Kolam Wilayah Graha Raya Bintaro, Tangerang Selatan. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, II(1), 6-12.
- Murtalim. 2020. Analisis Unjuk Kerja Eco Racing sebagai Suplemen Penghemat Bahan Bakar. Malang: Universitas Widyagama Malang.
- Murtalim, Dewadi, F. M., Amir, & Sigalingging, W. S. 2021. Pengaruh Parameter Temperatur Quenching terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Rear Hub Spindles. *Buana Ilmu*, V(2), 101-118.
- Nanda, R. A., Supriyanto, A., Dewadi, F. M., Jati, R. R., & Kurniawan, L. A. 2022. Perancangan dan Perakitan Elektronika Mikrokontroler berbasis IOT untuk Studi Pengukuran Sistem HVAC. *JTMMX*, VII(1), 43-55.
- Prismono. 2023. *Perominer*. Abgerufen am 2. Maret 2021 von <https://petrominer.com/ini-turbin-gas-berbahan-bakar-amonia-pertama-di-dunia/>
- Raatz, T., & Grieshaber, H. 2014. Basic Principle of the Diesel Engine. In K. Reif (Hrsg.), *Diesel Engine Management - Systems and Components*. Friedrichshafen: Springer Vieweg.

- Raja Ma'arof, R. A., Saputra, O. A., Dewadi, F. M., & Noor, A. 2021. *Engaging Students: Blending Class Activities with Industry-linked Teaching Approach in Occupational Safety and Health Course Delivery*. Kuala Lumpur: Universiti Kuala Lumpur.
- Rizaty, M. A. 2022. *databooks*. Abgerufen am 15. 02 2022 von <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/02/15/daftar-negara-produsen-litium-terbesar-di-skala-global>
- Setianto, F. 2019. *Otomaniac.com*. Abgerufen am 2022 von <https://www.otomaniac.com/cara-kerja-mobil-mesin-diesel/>
- Sukarman, Dewadi, F. M., Supriyanto, A., Sunandar, & Karyadi. 2021. Pengaruh Penahanan Suhu Reaktor pada Pengujian LDPE dengan Debit Air 46 L/Min. *JTMMX*, II(1), 19-27.
- Sukoco, & Arifin, Z. 2008. *Teknologi Motor Diesel*. Bandung: Alfabeta.
- Ullmann, J. 2014. Fuels, Diesel Fuels. In K. Reif (Hrsg.), *Diesel Engine Management - Systems and Components*. Friedrichshafen: Springer Vieweg.
- Utami, S. N. 2021. *Kompas.com*. Abgerufen am 2022 von <https://www.kompas.com/skola/read/2021/02/16/141919569/diagram-gambar-produksi-minyak-bumi?page=all>
- Wahyudi, M., & Daryanto. 2009. *Teori dan Reparasi Mesin Diesel*. Yogyakarta: Penerbit Gava Media.
- Wibowo, C., & Dewadi, F. M. 2022. Design Pressure Reduction System (PRS) untuk Compressed Natural Gas (CNG) Kapasitas 30 Nm³/h dalam Sisi Teknis dan Ekonomis. *TEKINFO: Jurnal Penelitian Teknik dan Informatika*, II(2), 60-65.

Yusuf, M. Y. 2022. *IDX Channel*. Abgerufen am 6. 6 2022 von <https://www.idxchannel.com/economics/negara-paling-maju-di-dunia-2022-masih-didominasi-negara-eropa>

BAB 6

SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK ENERGI PANAS BUMI

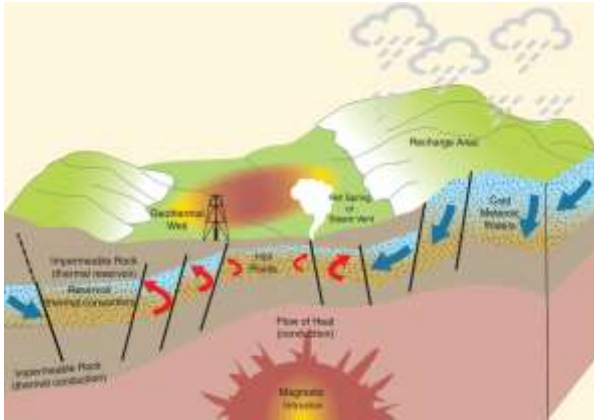
Oleh Riyani Prima Dewi

6.1 Pendahuluan

Panas bumi atau yang disebut juga energi *geothermal* tersimpan di dalam bumi yang merupakan hasil dari peluruhan bahan radioaktif di inti bumi. Hasil panas bumi yang terbaik biasanya berada dekat dengan daerah vulkanik aktif yang lebih sering ditemukan dekat dengan batas lempeng tektonik. Di Indonesia, panas bumi dijelaskan dan diatur penggunaannya dalam UU No. 27 Tahun 2003 Tentang Panas Bumi. Definisi dari sumber daya panas bumi yang dijelaskan dalam UU tersebut yakni seluruh material panas dan atau sumber energi yang terkandung didalamnya yang tidak dapat dipisahkan dalam sistem panas bumi, yang meliputi air panas, uap panas, batuan, mineral, dan gas lainnya. Untuk memanfaatkan panas bumi harus dilakukan proses penambangan terlebih dahulu yang kemudian energinya dapat digunakan untuk pembangkitan listrik atau pemanfaatan langsung lainnya.

Gambar 6.1 menunjukkan gambaran sistem panas bumi dari lapisan bawah sampai lapisan bagian atas, dengan penjelasan gambar sebagai berikut:

- a. Intrusi magmatik (juga disebut benda panas, di mana magma panas masuk sangat jauh ke dalam kerak bumi) sering disebabkan oleh lempeng tektonik.



Gambar 6.1 : Gambaran Lapisan Sistem Panas Bumi
(sumber: Dickson and Fanelli, 2004)

- b. Reservoir panas bumi merupakan tempat terperangkapnya uap dan atau air panas dalam kondisi tekanan tinggi dibawah lapisan batuan yang rapat dan tidak permeabel dan dipanaskan oleh intrusi magmatik di bawahnya.
- c. Sumur panas bumi memasuki reservoir panas bumi dan mengakses uap panas atau fluida, kemudian mentransfernya melalui pipa ke pembangkit listrik, setelah itu fluida biasanya dikembalikan ke reservoir.
- d. Air tawar atau presipitasi berasal dari daerah resapan seperti danau, sungai atau laut dan menyediakan air meteorik dingin, yang perlahan-lahan merembes melalui tanah ke lapisan yang lebih rendah melalui retakan dan patahan di bebatuan.

Tabel 6.1 : Klasifikasi Panas Bumi Berdasarkan Suhu dan Pemanfaatannya

Klasifikasi Panas Bumi Berdasarkan Suhu	Lokasi Geografis	Pemanfaatan
Tinggi ($>200\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Umumnya berada di sekitar area vulkanik, dekat lempeng tektonik	Pembangkit Listrik dengan teknologi konvensional, <i>flash</i> , <i>double flash</i> atau siklus uap kering
Menengah ($150\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $200\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Umumnya di area dengan jenis geologi sedimen	Pembangkit Listrik dengan teknologi Binary, misalnya ORC atau Kalina <i>Technology</i>
Rendah ($<150\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Umum dijumpai disebagian besar negara karena dapat ditemukan di kedalaman sekitar 5 km	Pemanfaatan langsung (misal penghangat) bergantung pada lokasi

Sumber: Magnus Gehringer and Victor Loksha, 2012.

Pemanfaatan sumber panas bumi memperhatikan beberapa faktor dari karakteristik panas bumi itu sendiri. Faktor-faktor tersebut diantaranya jenis kandungan fluida, laju aliran, suhu, komposisi kimia, tekanan fluida, dan kedalaman reservoir panas bumi. Suhnya pun bervariasi mulai dari 50°C sampai 350°C yang biasanya diklasifikasikan menjadi tiga yakni tipe suhu tinggi, menengah, dan rendah. Jenis fluidanya juga bervariasi dan dapat berupa uap panas, campuran uap dan air, dan atau hanya air panas saja. Pada Tabel 9.1 dijelaskan contoh

klasifikasi panas bumi berdasarkan suhu disertai dengan lokasi pada umumnya ditemukan sumber panas bumi tersebut sekaligus contoh pemanfaatannya.

6.2 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

Pembangkit listrik yang memanfaatkan panas bumi sebagai sumbernya disebut dengan istilah Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi atau PLTP. Panas bumi dapat digunakan sebagai sumber pembangkit tenaga listrik dengan memanfaatkan uap panas bertemperatur tinggi sebagai penggerak turbin uap. Konsep kerja pembangkitan listrik PLTP sebenarnya serupa dengan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan bumi sebagai boiler alam raksasa yang menghasilkan uap panas.

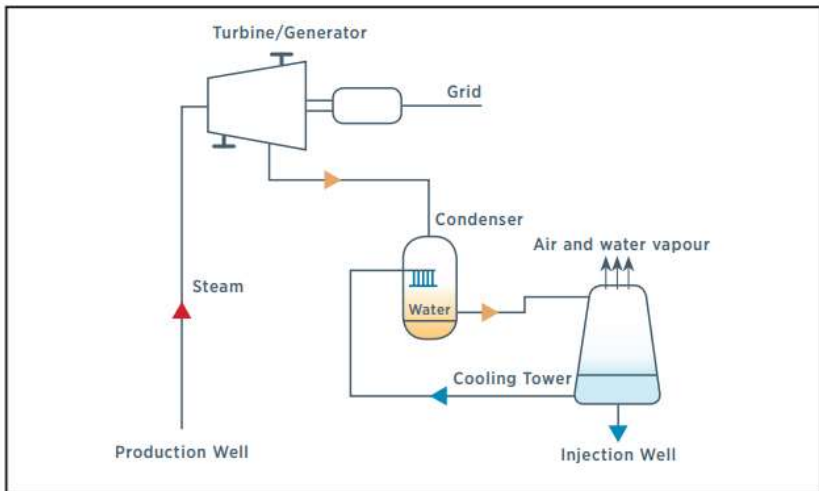
Dalam memutuskan penggunaan panas bumi sebagai pembangkit tenaga listrik, ada beberapa faktor yang umumnya dipertimbangkan yakni tingginya temperatur fluida, cadangan sumberdaya yang cukup besar untuk keberlangsungan produksi sekitar 25 – 30 tahun, pH fluida harus mendekati netral agar laju korosi relatif rendah sehingga peralatan produksi tidak mudah rusak, reservoir tidak lebih dari 3 km, dan sumber panas bumi diusahakan terletak di daerah yang mudah terjangkau.

PLTP pada dasarnya sama seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Pada PLTU, uap dihasilkan dari boiler sedangkan pada PLTP uap dihasilkan langsung dari reservoir panas bumi. Fluida yang dihasilkan oleh reservoir dapat berupa fasa uap atau fasa campuran. Saat fasa uap yang dihasilkan, maka uap dapat secara langsung dialirkan ke turbin. Turbin berputar akibat adanya perbedaan tekanan uap yang selanjutnya memutarakan generator yang mengonversi energi gerak menjadi energi listrik. Akan tetapi, tidak menutup kemungkinan juga di kepala sumur yang dihasilkan berupa fasa campuran yaitu fasa air dan uap. Fasa campuran ini tidak dapat dialirkan langsung ke turbin, maka fluida harus dilarikan terlebih dahulu ke dalam

separator sehingga fase uap akan terisahkan dari fase cairnya. Fase uap yang dihasilkan dari separator ini kemudian dialirkan ke turbin untuk memutar generator dan menghasilkan listrik.

Sejauh ini terdapat 4 jenis sistem pembangkit listrik tenaga panas bumi yang umum diterapkan di lapangan diantaranya *Direct Dry Steam*, *Double Flash Steam*, *Binary Cycle*, dan *Combine Cycle*, atau *Hybrid Cycle*.

6.2.1 Siklus Uap Kering (*Direct Dry Steam Cycle*)



Gambar 6.2 : Siklus Uap Kering

(sumber: IRENA, 2017c)

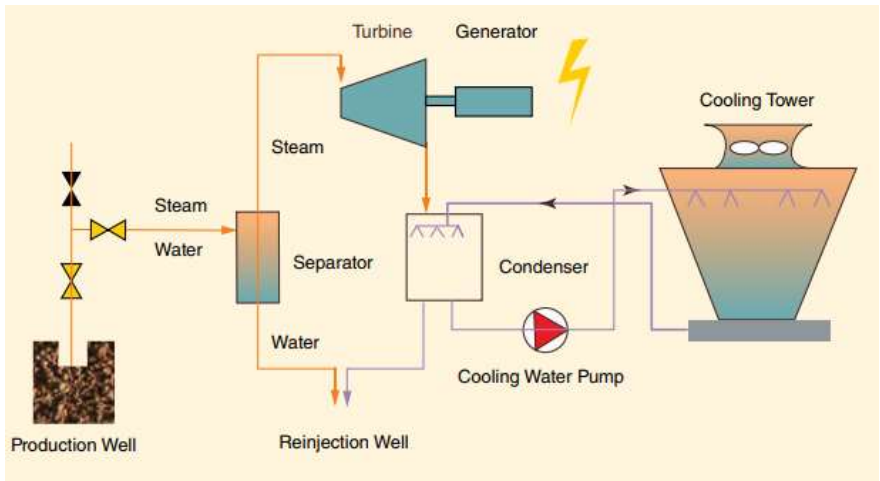
Pembangkit listrik jenis *direct dry steam cycle* memanfaatkan langsung uap dari panas bumi yang dialirkan langsung ke turbin uap. Dengan cara seperti ini peran boiler untuk menghasilkan uap panas tergantikan oleh bumi. Output yang dihasilkan panas bumi berupa uap murni dan tidak mengandung air. Siklus *direct dry steam cycle* merupakan jenis pembangkit listrik yang pertama digunakan di Italia. Dalam siklus ini, perangkat konversi adalah turbin uap yang dirancang untuk secara langsung menggunakan fluida bertekanan rendah

dan bervolume tinggi yang dihasilkan di lapangan uap. Pembangkit uap kering umumnya menggunakan turbin kondensasi. Kondensat diinjeksikan kembali (siklus tertutup) atau diuapkan di menara pendingin basah (IEA-ETSAP, 2010) seperti yang ditampilkan oleh Gambar 9.2. Pembangkit listrik tenaga panas bumi jenis ini menggunakan uap dengan suhu 150 °C atau lebih tinggi, dan umumnya uap yang masuk ke turbin harus kering minimal 99,995% (DiPippo, 2015) untuk menghindari kerak dan/atau erosi komponen turbin atau pipa. Pembangkit uap kering langsung berukuran mulai dari 8 MW hingga 140 MW (S&P Global Platts, 2016).

6.2.2 Siklus Uap Hasil Pemisahan dan Penguapan (*Single Flash and Double Flash Steam*)

Penmbangkit tipe ini umumnya dibangun dalam ukuran 25 hingga 60 MW. "Unit kondensasi" (juga disebut siklus uap konvensional) adalah teknologi standar yang digunakan untuk menghasilkan tenaga dari fluida atau uap dengan suhu di atas 200 °C. Pada Gambar 9.3, aliran fluida suhu tinggi ditunjukkan dengan warna merah dan aliran air pendingin dengan warna biru. Versi paling umum dari unit kondensasi adalah pembangkit uap *flash* tunggal, biasanya merupakan pilihan paling ekonomis untuk sumber daya yang didominasi cairan dengan entalpi tinggi. Campuran air panas atau uap cair yang berasal dari kepala sumur dialirkan ke separator, dimana uap dipisahkan dari cairannya.

Uap diekspansi melalui turbin dan kemudian biasanya diinjeksikan kembali, bersama dengan air garam yang dipisahkan, kembali ke reservoir. Air garam dapat, bagaimanapun, digunakan oleh "unit dasar" atau dalam aplikasi lain, seperti pemanasan, pendinginan, atau penggunaan ganda. Sistem pembangkit ini mirip dengan pembangkit uap kering; akan tetapi, pada siklus ini uap merupakan hasil dari proses *flashing* atau pemisahan.

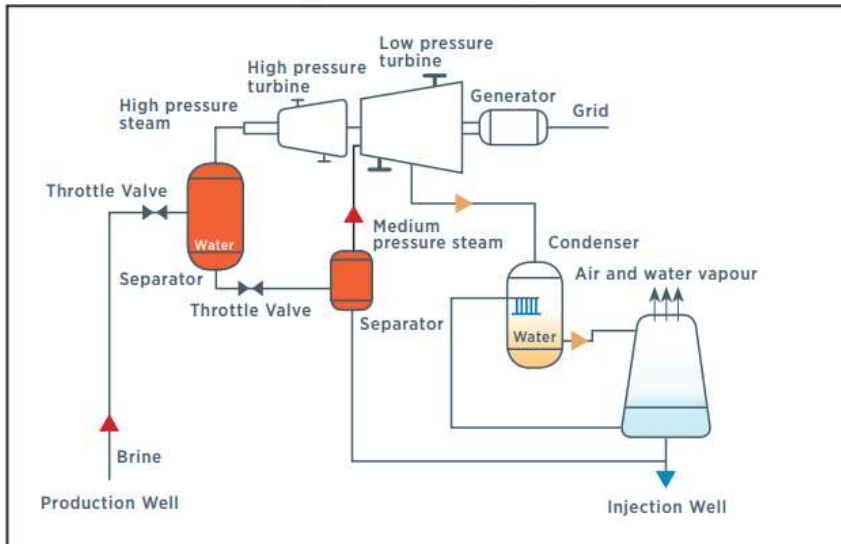


Gambar 6.3 : Siklus *Single Flash*
(sumber: Dickson and Fanelli, 2004)

Siklus *steam flash* ganda (*double flash*) berbeda dari siklus *flash* tunggal di mana air panas dilewatkan melalui pemisah berturut-turut, masing-masing pada tekanan selanjutnya lebih rendah. Uap diarahkan ke turbin masuk ganda di mana uap pada tekanan yang berbeda mengalir ke bagian turbin yang berbeda. Hal ini meningkatkan efisiensi siklus secara keseluruhan dan memanfaatkan sumber daya panas bumi dengan lebih baik, tetapi pada keseluruhan peningkatan biaya modal. Keputusan apakah pembangkit listrik kilat ganda layak atau tidak dengan biaya tambahan dan kompleksitas hanya dapat didasarkan pada evaluasi ekonomi menyeluruh dari biaya pengembangan dan pemeliharaan pasokan fluida panas bumi, biaya pembangkit listrik, dan nilai listrik untuk dijual (Bloomquist dan Knapp 2002). Siklus *double flash* ditunjukkan oleh Gambar 6.4.

Temperatur fluida turun jika tekanan diturunkan, sehingga pembangkit listrik flash bekerja paling baik dengan temperatur sumur lebih besar dari 180°C. Pembangkit *flash*

bervariasi dalam ukuran tergantung pada apakah pembangkit listrik tunggal (0,2-80 MW), ganda (2-110 MW) atau tiga (60-150 MW) (S&P Global Platts, 2016).



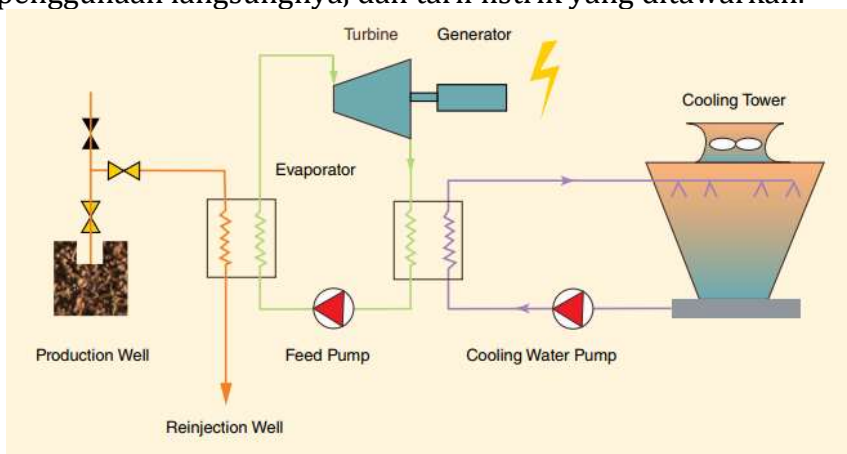
Gambar 6.4 : Siklus *double flash*
(sumber: IRENA, 2017c)

6.2.3 Pembangkit Biner (*Binary Cycle*)

Pembangkit biner memanfaatkan fluida kerja sekunder, biasanya fluida organik (biasanya n-entane) dengan titik didih rendah dan tekanan uap tinggi pada suhu rendah dibandingkan dengan uap. Fluida sekunder dioperasikan melalui siklus Rankine konvensional: fluida panas bumi menghasilkan panas ke fluida sekunder melalui penukar panas, dimana fluida sekunder dipanaskan dan diuapkan. Uap yang dihasilkan menggerakkan turbin, kemudian didinginkan dan dikondensasi, dan siklus dimulai lagi.

Teknologi pembangkit biner adalah cara yang hemat biaya dan andal untuk mengubah energi yang tersedia dari

ladang panas bumi yang didominasi cairan dengan suhu hingga 200 °C menjadi listrik. Dengan memilih fluida sekunder yang sesuai, sistem biner dapat dirancang untuk memanfaatkan fluida panas bumi dengan suhu jauh di bawah 100 °C. Namun, suhu rendah seperti itu akan sangat berdampak pada kelayakan finansial proyek, tergantung pada lokasinya, opsi penggunaan langsungnya, dan tarif listrik yang ditawarkan.



Gambar 6.5 : Siklus Binary Cycle

(sumber: Dickson and Fanelli, 2004)

Dibandingkan dengan Siklus Rankine Organik (ORC) yang dijelaskan sebelumnya, sistem biner lain, siklus Kalina, menggunakan campuran air-amonia sebagai fluida kerja sekunder. Teknologi ini dikembangkan pada 1990an dan digunakan secara komersial, terutama di Islandia dan Jepang. Siklus *binary cycle* atau *Kalina cycle* ditunjukkan oleh Gambar 9.5.

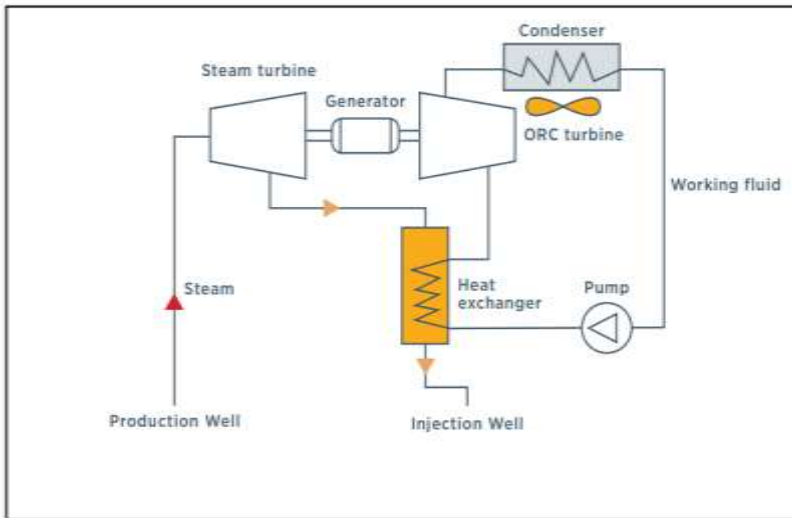
Pembangkit listrik biner biasanya digunakan sebagai unit *bottoming*. Dalam aplikasi ini, pembangkit biner menggunakan cairan limbah yang berasal dari separator serta panas sisa dari pembangkit listrik utama. Misalnya, uap dengan suhu 250°C yang digunakan oleh pembangkit listrik utama (biasanya pembangkit

uap (*flash*) konvensional) dapat, tergantung pada kimia fluida, memiliki suhu saat meninggalkan turbin 120°C hingga 170°C setelah ekspansi. Alih-alih mengembunkan uap ini melalui pendingin udara atau menara pendingin, uap ini dapat digunakan secara efisien untuk menghasilkan lebih banyak daya oleh unit dasar dan dengan demikian meningkatkan efisiensi dan ekonomi keseluruhan dari seluruh unit pembangkit listrik. Namun, unit terbawah menambah secara signifikan total biaya proyek. Biaya ini mempengaruhi biaya pembangkitan listrik per kwh dan mungkin mengurangi margin antara biaya pembangkitan dan tarif listrik yang dibayarkan oleh *off-taker* atau perusahaan utilitas. Pengurangan yang dihasilkan dalam laba operasi adalah alasan mengapa pengembang proyek tidak menggunakan unit terbawah dalam banyak kasus. Di sisi lain, dari sudut pandang negara, memproduksi 10 hingga 20 persen lebih banyak listrik dari sumber daya yang sama bisa sangat ekonomis, karena pemasangan beberapa unit dasar dapat dengan mudah menggantikan pembangunan pembangkit listrik yang sama sekali baru dalam hal output. Selain itu, karena potensi masing-masing reservoir panas bumi yang terbatas untuk produksi uap, ada baiknya mempertimbangkan untuk menggunakan sumber daya seefisien mungkin dan mengevaluasi nilai insentif kebijakan khusus untuk memastikan bahwa keekonomian dan keuangan proyek-proyek tersebut cocok.

Unit biner dapat diproduksi dalam ukuran yang sangat kecil (0,1 hingga 5 MW), bahkan sebagai unit modul kontainer. Pembangkit bergerak kecil tidak hanya dapat mengurangi risiko yang melekat pada pengeboran sumur baru tetapi juga membantu memenuhi kebutuhan energi di daerah terpencil.

6.2.4 Combined Cycle atau Hybrid Cycle

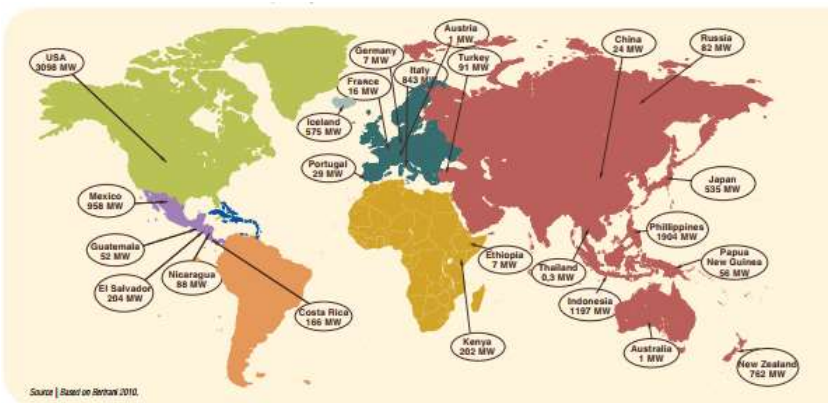
Beberapa pembangkit panas bumi menggunakan siklus gabungan yang menambahkan siklus Rankine tradisional untuk menghasilkan listrik dari apa yang sebaliknya akan menjadi limbah panas dari siklus biner (IEA-ETSAP, 2010) (Gambar 6.6). Menggunakan dua siklus memberikan efisiensi listrik yang relatif tinggi (DiPippo, 1999; Thain, 2009). Ukuran khas pembangkit siklus gabungan berkisar dari beberapa MW hingga 10 MWe (Lund, 1999; DiPippo, 1999). Pembangkit listrik tenaga panas bumi hibrida menggunakan dasar yang sama dengan pembangkit listrik tenaga panas bumi yang berdiri sendiri tetapi menggabungkan sumber panas yang berbeda ke dalam prosesnya; misalnya, panas dari pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) pemusatan. Panas ini ditambahkan ke air panas bumi, meningkatkan suhu dan output daya. Proyek Stillwater di AS, yang dioperasikan oleh ENEL Global Renewable Energies, telah meluncurkan sistem hibrida tersebut; menggabungkan PLTS dengan sistem biner (DiMarzo *et al.*, 2015). Dua sistem hibrida lain yang sedang dipelajari oleh ENEL meliputi: tanaman hibrida dengan biomassa di Italia, yang meningkatkan suhu air garam, mirip dengan sistem CSP (ENEL, 2016a); dan pembangkit listrik tenaga air hibrida di Cove Fort, Utah, yang menggunakan aliran air injeksi ulang untuk menghasilkan listrik, memberikan manfaat tambahan berupa peningkatan kontrol injeksi ulang, sehingga mengurangi potensi kerusakan dan dengan demikian biaya pemeliharaan (ENEL, 2016b).



Gambar 6.6 : Siklus *combine-cycle*
(sumber: IRENA, 2017c)

6.3 PLTP di Indonesia

Berdasarkan data dari Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP, 2012) sampai tahun 2010 sebaran pengguna PLTP di dunia ditunjukkan oleh Gambar 9.7. Indonesia termasuk negara yang sudah memanfaatkan energi panas bumi untuk membangkitkan listrik. Dengan kekayaan sumber energi panas yang mencapai sekitar 28 GW, Indonesia termasuk negara dengan energi panas bumi terbesar di dunia. Berdasarkan data dari Direktorat Panas Bumi, Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi Indonesia memiliki 13 PLTP yang tersebar di 13 Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP). Total daya terpasang adalah sebesar 1.948,5 MW. Sebaran WKP dan PLTP di Indonesia ditunjukkan pada Tabel 6.2.



Gambar 6.8 : Sebaran Instalasi PLTP di Dunia
(sumber: Bertrani, 2010)

Tabel 6.2 : PLTP di Indonesia

No.	PLTP	WKP, Lokasi	Kapasitas
1.	PLTP Sibayak	Sibayak- Sinabung, Sumatera Utara	12 MW
2.	PLTP Ulubelu	Waypanas, Lampung	220 MW
3.	PLTP Salak	Cibeureum - Parabakti, Jawa Barat	377 MW
4.	PLTP Sarulla	Sibual-buali, Sumatera Utara	330 MW
5.	PLTP Kamojang	Kamojang - Darajat, Jawa Barat	235 MW
6.	PLTP Patuha	Pangalengan, Jawa Barat	55 MW
7.	PLTP Wayang Windu	Pangalengan, Jawa Barat	227 MW
8.	PLTP Darajat	Kamojang - Darajat, Jawa Barat	270 MW
9.	PLTP Dieng	Dataran Tinggi Dieng, Jawa Tengah	60 MW
10.	PLTP Karaha	Karaha Bodas, Jawa Barat	30 MW

No.	PLTP	WKP, Lokasi	Kapasitas
11.	PLTP Matalako	Matalako, NTT	2,5 MW
12.	PLTP Ulumbu	Ulumbu, NTT	10 MW
13.	PLTP Lahendong	Lahendong - Tompasso, Sulawesi Utara	120 MW

DAFTAR PUSTAKA

- Bertani, R. 2010. "World Geothermal Generation in 2010." Proceedings from WGC 2010, Bali. Retrieved from http://www.wgc2010.org/pdf/WGC2010_Daily_News_1stEdition.pdf
- Bloomquist, R.G., and G. Knapp. 2002. Economics and Financing. Washington State University Energy Program. Olympia, Washington: UNESCO.
- Dickson, M.H., and M. Fanelli. 2004. What is geothermal energy? Pisa, Italy.
- DiMarzo, G. et al. 2015. "The Stillwater Triple Hybrid Power Plant: Integrating Geothermal, Solar Photovoltaic and Solar Thermal Power Generation", Proceedings World Geothermal Congress, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015, <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2015/38001.pdf>.
- DiPippo, R. 1999. "Small Geothermal Power Plants: Design, Performance and Economics", GHC Bulletin, June 1999, pp. 1-8, <http://geothermalcommunities.eu/assets/elearning/7.10.art1.pdf>.
- Enel. 2016a. "Geothermal 2.0: Innovation and Environment", Enel Green Power, 20 January 2016, <https://www.enelgreenpower.com/en/media/news/d201610-geothermal-20-innovation-and-environment.html>.
- Enel. 2016b. "Enel begins operations at world's first commercial geothermal-hydro hybrid power plant", Enel Green Power, 6 December 2016, <https://www.enelgreenpower.com/en/media/press/d201612-enel-beginsoperations-at-worlds-first-commercial-geothermal-hydro-hybrid-power-plant.html>.

- IEA-ETSAP (International Energy Agency - Energy Technology Systems Analysis Programme). 2010. Technology Brief E07 Geothermal Heat and Power, IEA ETSAP, https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/E07-geoth_energy-GS-gct_ADfinal_gs.pdf.
- Lund, J. W. 1999. "Small geothermal power project examples", GHC Bulletin, June 1999, <http://www.oit.edu/docs/default-source/geoheat-center-documents/quarterly-bulletin/vol-20/20-2/20-2-art2.pdf?sfvrsn=4>.
- S&P Global Platts. 2016. "UDI World Electric Power Plants Data Base", <https://www.platts.com/products/world-electric-power-plants-database>.
- Thain, I. 2009. "Review of Carbon Emission Factors in Draft Stationary Engine and Industrial Process Regulations: Using Geothermal Fluid", Geothermal & Energy Technical Services Ltd, Taupo, New Zealand, 12 May 2009, <http://www.climatechange.govt.nz/consultation/draft-regulations-seip/review-carbon-emissionfactors.pdf>.

BAB 7

SISTEM PEMBANGKIT ENERGI SURYA

Oleh Bambang Winardi

7.1 Pendahuluan

Sumber energi konvensional dan tidak terbarukan seperti batu bara, bensin, solar, dan lain lain semakin berkurang bahkan akan segera habis karena konsumsi yang besar oleh beberapa negara. (ABB, 2010) Energi surya, yang berlimpah di alam dan bebas biaya, dianggap yang terbaik dan paling populer. Energi surya diperoleh melalui penggunaan sel surya. Sel surya mengubah sinar matahari menjadi energi listrik, berdasarkan prinsip efek fotovoltaiik.

Sistem pembangkit energi surya merupakan adalah salah satu pembangkit yang memanfaatkan energi terbarukan yang menggunakan panel surya untuk mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik. Konversi fotovoltaiik adalah konversi langsung sinar matahari menjadi listrik tanpa mesin panas. Mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan instalasi PLTS adalah cara yang paling dikenal untuk memanfaatkan energi matahari. (AR Tupe, 2013)

Sistem PLTS tidak menghasilkan kebisingan, tidak ada bagian yang bergerak dan tidak memancarkan polutan ke dalam lingkungan. (Bhatia and Gupta, 2018)

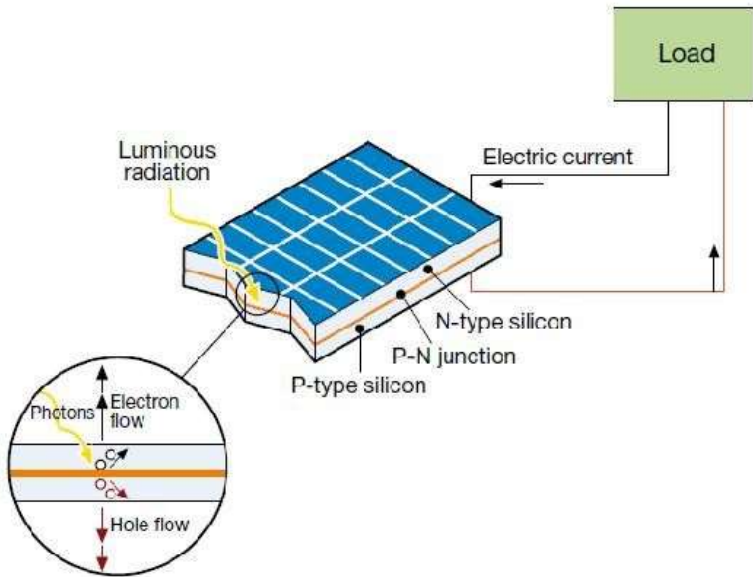
7.2 Komponen Sistem Pembangkit Energi Surya

Meskipun modul PV menghasilkan daya saat terkena sinar matahari, sejumlah komponen lainnya yang terdiri komponen utama maupun komponen pendukung diperlukan untuk melakukan, mengendalikan, mengubah, mendistribusikan, dan menyimpan energi yang dihasilkan oleh array. diantaranya adalah: (Mulyana, 2017)(Sugirianta, Agung and Made, 2019)

7.2.1 Sel surya

Sistem fotovoltaiik menggunakan sel untuk mengubah sinar matahari menjadi listrik. Jumlah listrik yang dihasilkan sel surya bergantung pada ukurannya efisiensi konversi, dan intensitas sumber cahaya. Sebuah sel surya menghasilkan 0,5 volt listrik. Bagian terpenting dari sel PV adalah lapisan semikonduktor, di mana arus listrik tercipta. (Bhatia and Gupta, 2018)

Cara kerja sel surya ditunjukkan di bawah ini, mengambil sel silikon kristal sebagai contoh. Silikon yang sangat murni dengan kualitas kristal yang tinggi diperlukan untuk membuat sel surya.(Earthscan, 2008)



Gambar 7.1 : Proses Kerja Sel Surya
 Sumber: (ABB Solutions, 2010)

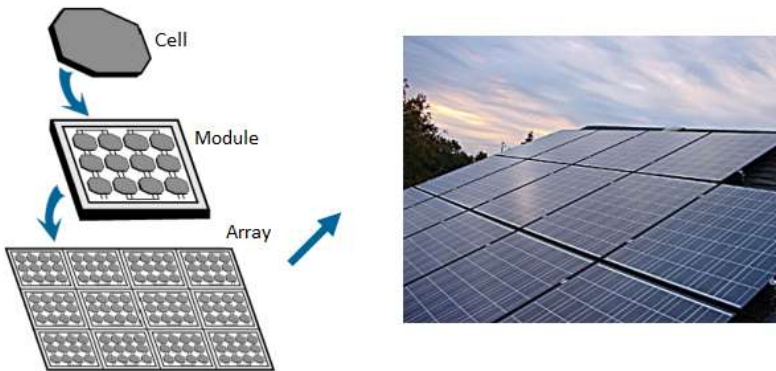
7.2.2 Modul dan array PV

Modul surya terdiri dari beberapa gabungan beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri dan atau parallel untuk meningkatkan keluaran tegangan atau arus. Ini juga meningkatkan daya output. Ketika sejumlah modul terhubung secara seri, itu disebut string PV.

Dalam hubungan seri, terminal negatif dari satu modul dihubungkan ke terminal positif dari modul berikutnya. Dalam koneksi seri, tegangan bertambah dan arus tetap konstan. (Bhatia, 2018)

$$V_{\text{Total}} = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

$$I_{\text{Total}} = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$



Gambar 7.2 : Sketsa yang menunjukkan Sel dan Modul
 Sumber : (Bhatia, 2018)

Pada saat membuat desain pembangkit energi surya wajib memahami karakteristik dari panel surya berdasarkan parameter terukur sebagai berikut:(Sugirianta, Agung and Made, 2019)

- Peak voltage* (V_{mp}), merupakan tegangan maksimum .
- Open voltage* (V_{oc}), merupakan tegangan maksimum pada saat hubung terbuka dan saat tidak adanya arus (current)..
- Peak current* (I_{mp}), merupakan besar arus yang mengalir pada saat sistem ada beban.
- Short circuit current* (I_{sc}) adalah merupakan keluaran arus dari panel surya pada saat short circuit.

7.2.3 Fill Factor (FF)

Fill Factor (FF) adalah rasio keluaran daya maksimum (P_{max}) terhadap hasil rangkaian terbuka tegangan kali arus hubung singkat, ($V_{oc} \times I_{sc}$). Hubungannya adalah: .

$$Fill\ Factor = V_m I_m / V_{oc} I_{sc}$$

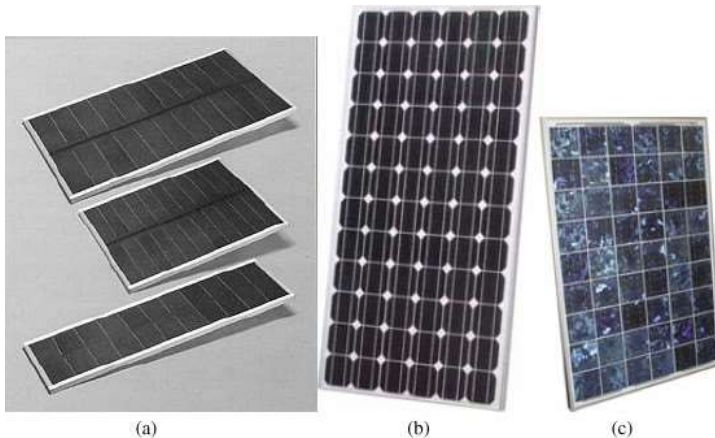
$$V_m I_m = Fill\ Factor \times V_{oc} I_{sc}$$

Fill Factor (FF) memberikan gambaran tentang kualitas larik. Semakin dekat FF ke 1 kesatuan), semakin lebih banyak daya yang dapat disediakan oleh array. Nilai tipikal adalah antara 0,7 dan 0,8. (Bhatia, 2018)

7.2.4 Jenis Panel Surya

Panel surya diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama;

- Panel Surya monokristalin
Panel surya monocrystalline adalah jenis panel yang paling berkembang dan sangat efisien. Efisiensi panel monocrystalline terbaru mencapai hingga 20%. Panel jenis ini memiliki keluaran daya yang tinggi dibandingkan dengan panel polikristalin. Tetapi harga jenis panel ini tinggi. (Zobaa and Bansal, 2019)
- Panel Surya Polikristalin
Panel polikristalin menggunakan silikon cair. Proses ini lebih cepat dan lebih murah dibandingkan dengan panel monocrystalline. Bentuk sel surya adalah persegi panjang dengan sudut tajam. Umumnya, panel ini terlihat berwarna biru karena kotoran yang ditambahkan ke silikon. Efisiensi panel jenis ini sedikit lebih rendah dibandingkan dengan panel monocrystalline. Efisiensinya sekitar 15%. Dan umur panel ini juga lebih pendek dibandingkan dengan panel monocrystalline. (Bhatia, 2018)
- Panel Surya Film Tipis amorf
Keuntungan utama dari panel ini adalah panel yang fleksibel. Seperti namanya, panel film tipis, panel ini kira-kira 350 kali lebih tipis dibandingkan dengan panel monocrystalline dan polycrystalline. Panel ini tidak cocok untuk aplikasi perumahan. Umur panel ini pendek dibandingkan dengan panel monocrystalline dan polycrystalline. (Bhatia, 2018)



Gambar 7.3 : Contoh jenis modul PV yang tersedia secara komersial: (a) amorf (b) monokristalin dan (c) polikristalin.
 Sumber: : (Zobaa and Bansal, 2019)

7.2.5 Faktor Yang Berpengaruh Terhadap Performasi Panel Surya

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi performasi pada suatu PLTS dalam memproduksi energi listrik, adalah sebagai berikut: (Sugirianta, Agung and Made, 2019)

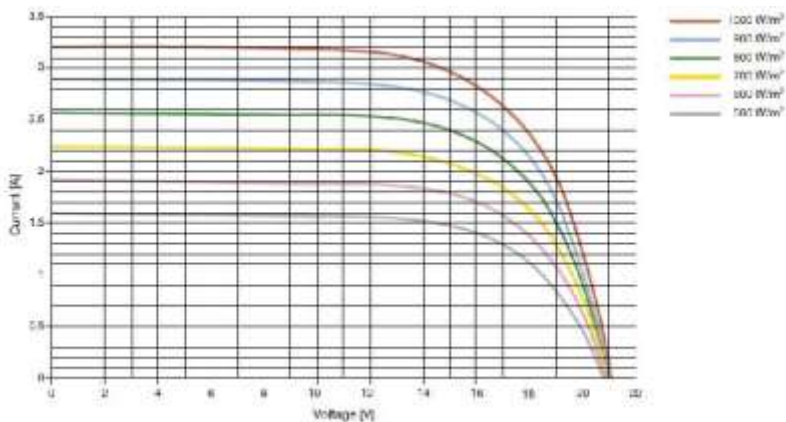
a. Iradiasi (*Irradiance*)

Pada hari tertentu radiasi matahari bervariasi terus menerus dari matahari terbit sampai terbenam dan tergantung pada tutupan awan, posisi matahari.

Penyinaran maksimum tersedia pada waktu yang didefinisikan sebagai titik tengah, dalam waktu, antara matahari terbit dan terbenam. Total daya pancaran matahari yang terjadi pada satuan luas permukaan miring (Watt/m^2) disebut penyinaran matahari total. (AR Tupe, 2013)

Pengaruh faktor iradiasi terhadap produksi energi listrik pada panel surya terlihat pada gambar 4, terlihat fungsi a d a n y a iradiasi terhadap kurva karakteristik

tegangan (V) dan arus (I). (Sugirianta, Agung and Made, 2019)



Gambar 7.4 : Pengaruh iradiasi terhadap tegangan dan arus PV

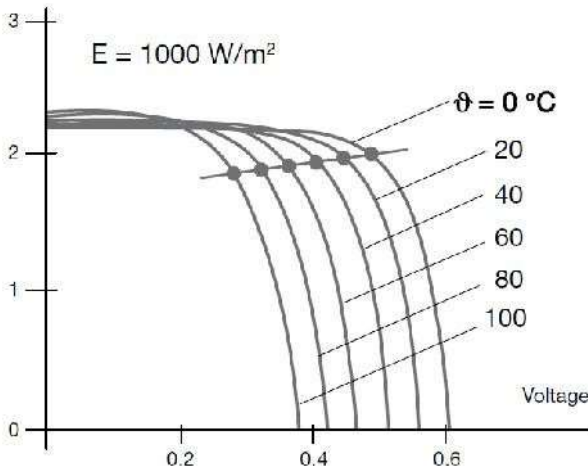
Sumber: (ABB Solutions, 2010)

Rasio daya maksimum dengan produk luas dan radiasi dinyatakan sebagaipersentase.

$$\eta = \frac{\text{Maximum power}}{\text{Area} \times \text{irradiance}} \times 100\%$$

b. Temperatur Panel Surya.

Efisiensi sel surya sangat dipengaruhi oleh suhu. Sel surya tidak dapat beroperasi secara efisien pada suhu yang lebih tinggi. Dan efisiensi sel surya tinggi dengan suhu yang lebih rendah.

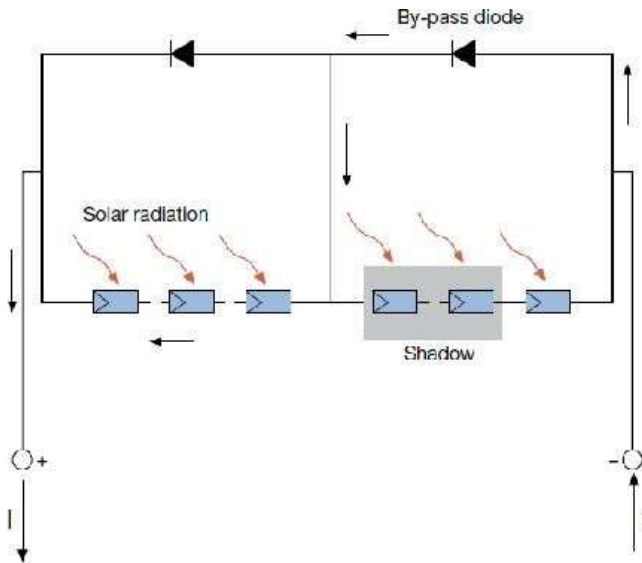


Gambar 7.5 : Pengaruh temperatur terhadap produksi energi modul surya

Sumber: (ABB Solutions, 2010)

c. Bayangan (*Shading*)

Shading terjadi bila salah satu atau lebih sel surya pada panel surya tertutup sinar matahari, Shading bias terjadi bila panel surya dibayangi atau terhalangi oleh rumah, pohon, daun yang jatuh dan lain lain. Pada kasus ini, sel surya yang tertutup bayangan akan berhenti produksi energi listrik . (Sugirianta, Agung and Made, 2019)



Gambar 7.6 : Pengaruh *shading* terhadap modul surya
 Sumber: (ABB Solutions, 2010)

7.2.6 Solar Charge Controller (SCC)

Solar Charge Controller (SCC) berfungsi untuk mengatur arus pengisian yang masuk ke baterai dan juga mengontrol keluaran arus dari baterai menuju ke beban (*discharging*). Fungsi utamanya adalah mencegah baterai dari pengisian yang berlebihan dan juga mengendalikan proses discharge. Yang perlu diperhatikan dalam menggunakan charge controller ini adalah besarnya tegangan dan daya yang dikeluarkan modul surya yang dapat diterima oleh baterai. (Safitri, Rihayat and Riskina, 2019)

Peralatan ini juga menunjukkan status pengisian baterai seperti baterai kurang terisi, diisi daya berlebih, atau kondisi habis. Beberapa sakelar dan MCB juga disediakan untuk pemutusan pengisian daya secara manual. Tampilan depan dari SCC ditunjukkan pada Gbr.7.7.(AR Tupe, 2013)



Gambar 7.7 : Solar Charge Controller

Sumber : (Jadhav T, 2020)

7.2.7 Inverter

Inverter adalah perangkat listrik yang mengubah arus searah (DC) ke *alternating current*(AC);. Peratan ini biasanya digunakan untuk memasok listrik AC dari sumber DC seperti panel surya atau baterai. jika beban membutuhkan arus listrik bolak-balik. Tegangan masukan DC pada inverter biasanya disebut dengan tegangan sistem yang bernilai 12 V, 24 V atau 48 V.

Terdapat beberapa jenis inverter dari segi operasional outputnya yaitu Inverter off grid dan inverter on-grid, yaitu: (Safitri, Rihayat and Riskina, 2019)

- a. Pada PLTS *Off-rid*, Inverter ini dimaksudkan untuk beroperasi secara terisolasi dari jaringan distribusi listrik dan memerlukan baterai untuk pengoperasiannya dan harus mampu beroprasi dengan tegangan AC yang konstan dan tuntutan beban (*load demand*) yang dipikul.
- b. Pada PLTS *On - Grid*, Inverter ini beroperasi secara berpasangan dengan jaringan distribusi listrik dan oleh

karena itu harus mampu menghasilkan tegangan dan arus sinusoidal yang hampir sempurna. pada waktu yang sama. Inverter ini menggunakan tegangan utilitas sebagai referensi untuk menyediakan arus yang tersedia dari PV, dan tidak dapat beroperasi sebagai sebuah grid. (Sugirianta, Agung and Made, 2019)



Gambar 7.8 : Inverter

Sumber : (Jadhav T, 2020)

7.2.8 Baterai

Energi yang dihasilkan oleh modul surya tidak selalu sesuai dengan energi yang dibutuhkan beban. Sebuah array PV yang tidak terhubung ke jaringan perlu menyimpan kelebihan energi yang dihasilkan oleh sel surya ke baterai. Pada siang hari, PV mengisi daya baterai yang nantinya baterai memasok daya ke beban kapan pun saat dibutuhkan. Satuan kapasitas energi yang disimpan pada baterai adalah *ampere hour* (Ah), yang artinya arus maksimum yang dapat dikuras pada baterai selama satu jam. (AR Tupe, 2013)(Sugirianta, Agung and Made, 2019)

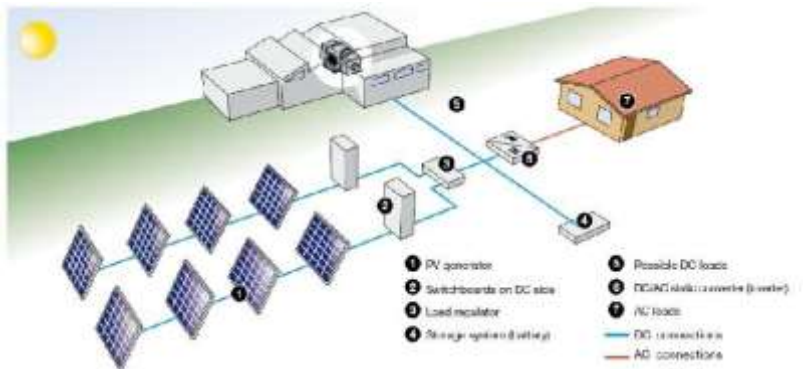
Baterai untuk system PLTS berbeda dengan baterai untuk automotif. Baterai untuk sistem PLTS berjenis *deep cycle battery*. Karakteristik baterai Deep cycle mempunyai kemampuan pengeluaran secara terus menerus dan mempunyai pelat elektroda yang lebih tebal untuk mendapatkan jumlah total energi yang lebih besar. Pada proses *discharge*, baterai tidak disarankan untuk dikuras sampai titik maksimumnya supaya baterai dapat bertahan lebih lama (*life time*), Batas pengosongan pada baterai disebut dengan *depth of discharge (DOD)*, yang dinyatakan dengan satuan persen, biasanya ditentukan sebesar 80%. (Bhatia and Gupta, 2018)(Safitri, Rihayat and Riskina, 2019)

7.3 Jenis Pembangkit Energi Surya

Sistem Pembangkit energy surya secara umum dapat dibagi menjadi tiga kelompok dasar:(Bhatia and Gupta, 2018)

1. Sistem Offgrid

Sistem fotovoltaik yang tidak terhubung ke jaringan, sistem berdiri sendiri. Sistem ini digunakan di daerah pedesaan di mana tidak ada jaringan listrik dan infrastruktur. Sistem terhubung ke reservoir energi (baterai) dengan kontrol atas pengisian dan pengosongan. Inverter juga dapat digunakan untuk menyediakan arus bolak-balik untuk peralatan dan peralatan listrik standar. Sistem Off-Grid ditunjukkan pada Gambar. 7.9. (ABB Solutions, 2010)(Earthscan, 2008)

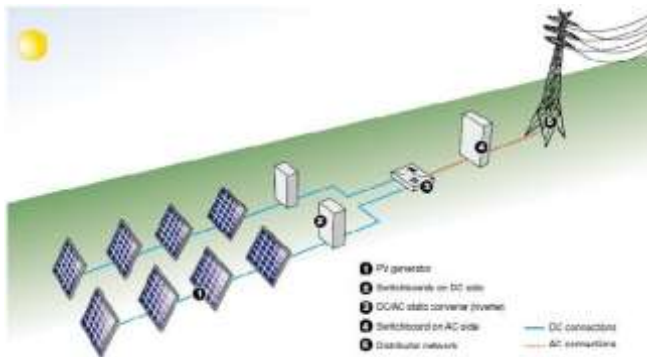


Gambar 7.9 : Diagram PLTS Sistem Off Grid

Sumber: (Sugirianta, Agung and Made, 2019)

2. Sistem **On-Grid**

Sistem fotovoltaik yang terhubung ke jaringan listrik umum (*on-grid*). Komponen utama sistem PV adalah modul fotovoltaik, inverter, peralatan pelindung dan instalasi. Modul fotovoltaik mengubah energi matahari menjadi arus DC, sedangkan inverter menyesuaikan dengan jaringan publik. Hal ini memungkinkan sistem fotovoltaik untuk mengirimkan listrik ke jaringan. Tegangan keluaran inverter harus sesuai dengan Peraturan pada tegangan standar untuk jaringan distribusi listrik tegangan rendah dan peralatan listrik. Ukuran standar tegangan nominal adalah 220 V, hingga 380 V antara konduktor fasa dan netral, dengan frekuensi nominal jaringan 50 Hz, dan, dalam kondisi normal, perbedaannya tidak boleh lebih dari $\pm 10\%$ dari nilai nominal. (Bhatia and Gupta, 2018) (Earthscan, 2008)

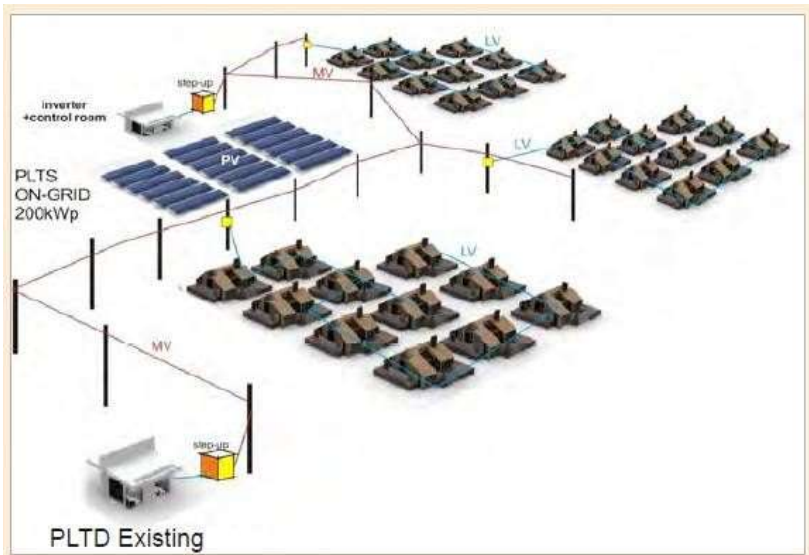


Gambar 7.10 : Diagram PLTS On-grid

Sumber: (Sugirianta, Agung and Made, 2019)

3. Sistem hibrid

Sistem fotovoltaik surya dapat dikombinasikan dengan sumber energi lain, seperti sebagai generator biomassa, turbin angin, generator diesel, semua untuk memastikan pasokan listrik yang cukup dan konstan, karena diketahui bahwa semua energi terbarukan termasuk sistem fotovoltaik, tidak konstan dalam produksi energi. Artinya, bila tidak ada Matahari, sistem tidak menghasilkan listrik, meskipun kebutuhan energi konstan, dan karena itu harus dipenuhi dari sumber lain. Sistem hybrid dapat dihubungkan ke jaringan, mandiri atau sebagai jaringan pendukung. Dalam jenis sistem seperti itu, tujuan utamanya adalah untuk keandalan ke dalam sistem secara keseluruhan dengan cara yang terjangkau dengan menambahkan satu atau lebih sumber energi. (Mohanty *et al.*, 2016)



Gambar 7.11 : Contoh PLTS hybrid, PLTS-PLTD

Sumber: (Sugirianta, Agung and Made, 2019)

7.4 Prinsip Kerja Pembangkit Energi Surya

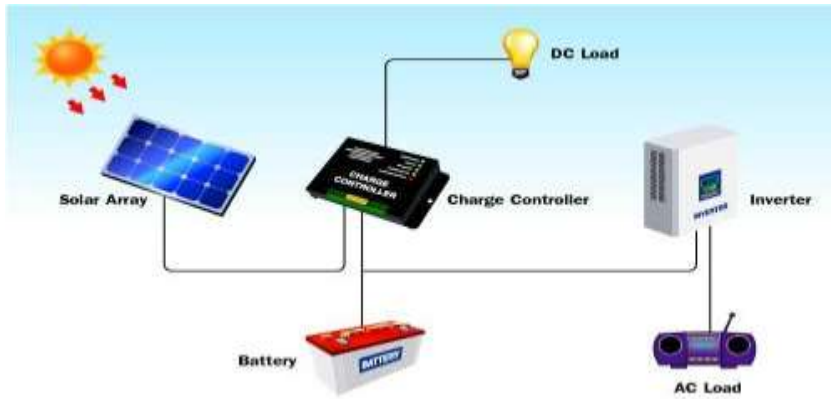
Prinsip kerja secara umum untuk PLTS adalah sebagai berikut :

Dalam sistem PLTS, energi matahari langsung diubah menjadi tenaga listrik, Beberapa panel surya disusun secara seri dan paralel untuk menghasilkan tegangan dan arus yang lebih besar. Panel surya tersebut pada siang hari akan menyerap energi matahari dan menghasilkan energi listrik DC atau searah. Selanjutnya energy listrik tersebut di salurkan ke solar charge controller yang akan digunakan untuk mengisi baterai. Baterai dimanfaatkan untuk suplai beban pada malam hari saat tidak ada sinar matahari.

Apabila beban yang akan berupa beban DC, maka untuk memenuhi bena DC tersebut bias langsung disalurkan langsung dari baterai, akan tetapi bila akan memenuhi beban

AC, maka listrik DC dari baterai harus dirubah dulu menjadi listrik AC dengan menggunakan peralatan inverter.

Dalam sistem ini, daya disuplai ke beban tanpa menggunakan jaringan umum atau koneksi ke sistem lain mana pun dan beroperasi secara otonom dan mandiri.



Gambar 7.12 : Skema prinsip kerja pembangkit listrik tenaga surya. (Sumber: (Sugirianta, Agung and Made, 2019)

DAFTAR PUSTAKA

- ABB Solutions. 2010. *Technical Application Papers No.10. Photovoltaic plants, Technical Application Papers.*
- AR Tupe. 2013. *Handbook on Installation and Maintenance Of Solar Panel.* India: Camtech.
- Bhatia, A. 2018. 'Design and Sizing of Solar Photovoltaic Systems', *Continuing Education and Development, Inc.*
- Bhatia, S. and Gupta, R. 2018. 'Textbook of Renewable Energy', *Journal of Chemical Information and Modeling.*
- Earthscan (2008) *Planning and Installing Photovoltaic Systems.*
- Jadhav T. 2020. 'Solar PV Handbook, Design, Installation and Maintenance', in.
- Mohanty, P. et al. 2016. *PV system design for off-grid applications, Green Energy and Technology.*
- Mulyana, R. 2017. *Panduan Pengoprasian dan Pemeliharaan PLTS Off-Grid.* Jakarta.
- Safitri, N., Rihayat, T. and Riskina, S. 2019. *Teknologi Photovoltaic, Yayasan Puga Aceh Riset.* Aceh.
- Sugirianta, Agung and Made. 2019. *Buku Ajar Pembangkit Listrik Tenaga Surya.* Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali.
- Zobaa, A. and Bansal, R. 2019. *Handbook Of Renewable Energi technology.* Singapore.

BAB 8

SISTEM PESAWAT PENGKONVERSI ENERGI ANGIN

Oleh Zain Lillahulhaq

8.1 Potensi Angin Di Indonesia

Energi angin merupakan salah satu sumber non-renewable energy yang banyak dimanfaatkan untuk mengurangi konsumsi energi fosil. Pada awalnya sumber energi angin banyak dikembangkan di Eropa seperti Denmark, Perancis dan Belanda. Model wind turbin yang pertama kali dikembangkan adalah Windmill. Penggunaan turbin windmill awalnya bertujuan untuk mengkonversi energi angin menjadi energi gerak agar dimanfaatkan di bidang pertanian. Namun model turbin windmill sulit untuk dikendalikan putarannya. Di tahun 90-an Turbin angin biasanya dioperasikan di daerah yang luas dan memiliki kecepatan angin diatas 10 m/s (Fleming and Probert, 1984). Saat ini turbin angin dapat beroperasi pada skala besar secara optimum pada kecepatan angin 7-8 m/s. Sedangkan untuk skala kecil turbin angin mulai menghasilkan listrik pada daerah dengan kecepatan 3-4 m/s (Islam, Mekhilef and Saidur, 2013).

Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang terletak di garis khatulistiwa. Potensi angin yang melintasi Indonesia terdiri dari angin muson Timur dan Barat. Perubahan musim di bumi bagian utara dan selatan menimbulkan perbedaan temperatur dan menyebabkan angin Muson bertiup. Di Indonesia angin muson yang bertiup membawa perubahan musim, kecepatan angin, hingga ketinggian gelombang laut.

Daerah indonesia bagian tengah khususnya Nusa Tenggara dan Sulawesi banyak terpengaruh pergerakan angin Muson(Silva and Murdolelono, 2008).

Tabel 8.1 : Potensi angin di indonesia

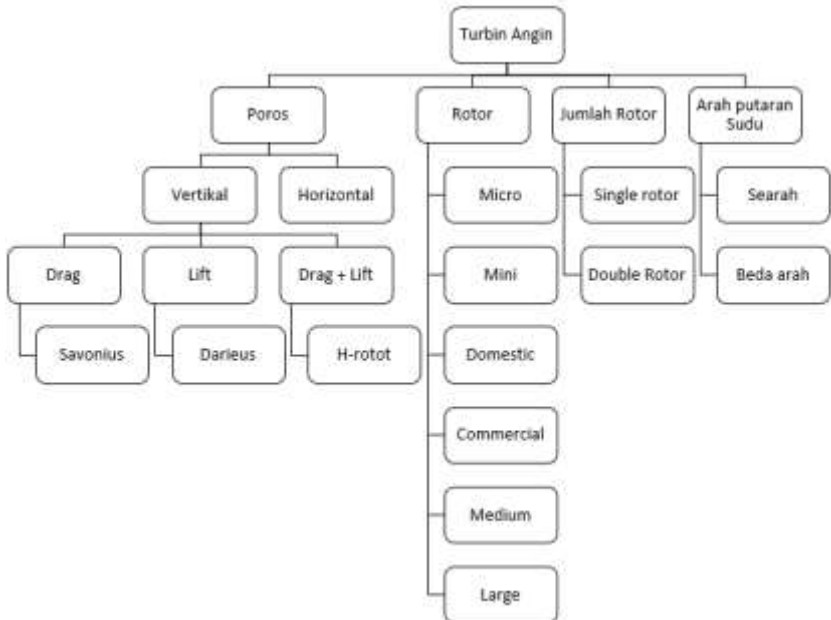
Kategori	Kecepatan	Daerah
Rendah	3 – 4 m/s	Maluku, Papua, Sumba, Mentawai, Bengkulu, Jambi, Nusa Tenggara , Sulawesi Utara dan Selatan, Sumatera Utara, Jawa Tengah, Maluku, DIY, Lampung, Kalimantan
Sedang	4 – 5 m/s	Jawa tengah dan timur, DIY, Bali, Bengkulu, Nusa Tenggara, Sulawesi
Tinggi	> 5 m/s	Banten, DKI, Jawa Tengah dan Barat, DIY, Nusa Tenggara, Maluku, Sulawesi,

Sumber:(Martosaputro and Murti, 2014)

Indonesia memiliki potensi energi angin yang dapat dikonversi menjadi listrik hingga 9.29 GW. Namun hingga saat ini potensi angin yang dimanfaatkan sebesar 1.6 MW (Martosaputro and Murti, 2014). Berdasar PP No. 79, 2014 Pemerintah menargetkan pemanfaatan energi terbarukan meningkat hingga 23% diakhir tahun 2025(Irawan, Bow and Kusumanto, 2021). Penggunaan energi angin saat ini baru mencapai 5% dibandingkan dengan potensi energi terbarukan lain di indonesia. Pengembangan energi angin dalam skala besar perlu mempertimbangkan kecepatan angin, populasi, konsumsi listrik dan potensi bencana di lokasi yang akan digunakan. Pemilihan jenis turbin angin menjadi sangat penting untuk mendapatkan pasokan energi yang sustainable.

8.2 Jenis Turbin Angin

Turbin angin memiliki berbagai macam bentuk yang berbeda-beda. Setiap model turbin mampu menghasilkan daya yang berbeda dan bekerja pada kecepatan putar yang berbeda. Berdasarkan porosnya turbin angin diklasifikasikan menjadi poros vertical (VAWT) dan horizontal (HAWT).

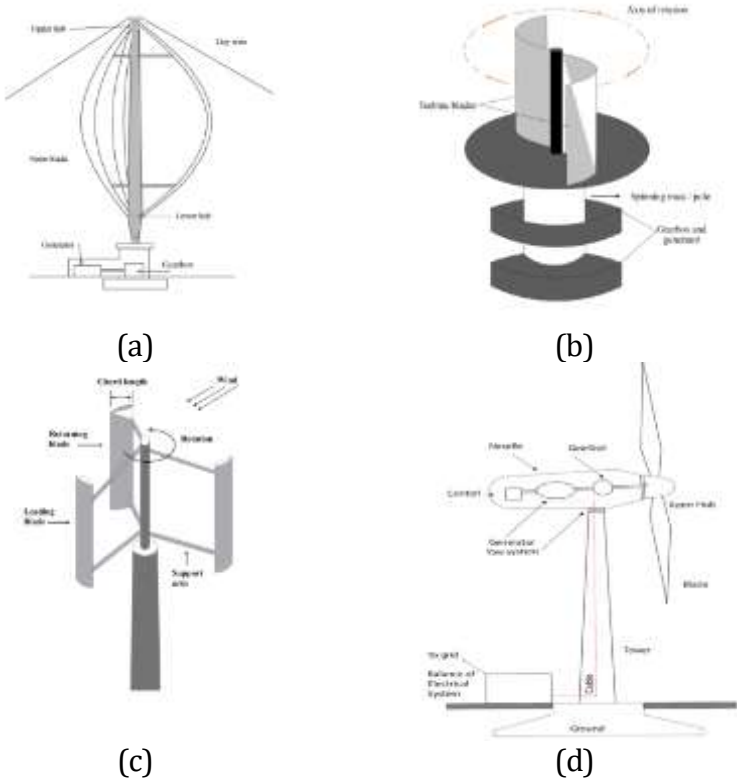


Gambar 8.1 : Klasifikasi Turbin Angin

Sumber : (Kumar, Raahemifar and Fung, 2018)

Turbin angin HAWT pada umumnya memiliki sudu dengan bentuk airfoil. Turbin ini berputar akibat gaya lift yang dihasilkan oleh airfoil. Turbin VAWT diklasifikasikan menjadi turbin Savonius, Darieus dan h-rotor. Turbin Savonius memiliki bentuk semi lingkaran. Sedangkan turbin Darieus dan H-Rotor memiliki sudu dengan bentuk airfoil. Bentuk sudu pada turbin angin menimbulkan gaya aerodinamis yang menyebabkan

putaran turbin saat kecepatan angin tertentu. Turbin VAWT dan HAWT masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan seperti yang ditunjukkan pada table 2.



Gambar 8.2 : Klasifikasi Turbin Angin VAWT (a) Darrieus (b) Savonius (c) H-rotor dan (d) HAWT
 Sumber : (Tasneem *et al*, 2020)

Tabel 8.2 : Karakteristik Turbin HAWT dan VAWT

Jenis Turbin	Kondisi
HAWT	
Kelebihan	• Efisiensi tinggi • Dapat digunakan pada kondisi offshore dan onshore
Kekurangan	• Hanya beroperasi pada kecepatan angin tinggi arah angin tertentu • Dapat mengalami kerusakan saat turbulent • Tidak terdapat proses self-starting
VAWT (lift) : Darieus	
Kelebihan	• Koefisien Lift tinggi • Menghasilkan noise lebih rendah • Tidak terlalu terpengaruh turbulensi aliran dan bending stress
Kekurangan	• Kemampuan self-starting rendah dan membutuhkan daya dari eksternal • Cost produksi rendah
VAWT (Drag) : Savonius	
Kelebihan	• Titik cut-in rendah • Turbin mampu berputar sendiri akibat dorongan angin (Self strating) • Tidak menghasilkan noise • Tidak membutuhkan tower penyangga yang tinggi • Reliability tinggi
Kekurangan	• Effiseinsi rendah • Torsi yang dihasilkan tergantung sudut sudu (Blade angle)

Jenis Turbin	Kondisi
H-rotor	
Kelebihan	• Efisiensi tinggi
Kekurangan	• Kecepatan self-starting tinggi • Biaya manufaktur tinggi

Sumber:(Martosaputro and Murti, 2014)

Turbin angin VAWT dikenal mampu berputar dengan sendiri akibat dorongan angin. Kondisi ini dikenal dengan proses self-starting. Sebaliknya turbin HAWT tidak mampu berputar sendiri diawal proses starting. Turbin HAWT tidak dapat melakukan proses self starting walaupun diterpa angin dengan kecepatan tinggi. Saat akan mulai berputar, turbin HAWT memerlukan pasokan daya dari luar terlebih dahulu (*external energy*).

Setelah melewati proses starting, tubin akan berputar terus menerus dan menghasilkan listrik. Kondisi kecepatan angin saat turbin mulai menghasilkan energi listrik disebut dengan kondisi cut-in. Turbin angin diharapkan memiliki titik cut-in yang rendah untuk dapat diaplikasikan pada kecepatan angin rendah.

Turbin yang berputar akan dihubungkan dengan generator untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik. Semakin tinggi kecepatan angin menghasilkan putaran turbin yang semakin tinggi. Namun pada kecepatan angin yang terlalu tinggi performa turbin terkadang akan mengalami gangguan. Pada turbin HAWT, kecepatan angin yang tinggi akan menyebabkan bending pada sudu. Kondisi ini dapat menyebabkan sudu yang berputar rawan menabrak tower penyangga saat berputar. Kecepatan angin tinggi yang mulai menyebabkan kerusakan, menyebabkan turbin perlu dihentikan putarannya (*cut-off*).

8.3 Persamaan Umum Turbin Angin

8.3.1 Tip Speed Ratio (TSR)

Tip Speed Ratio merupakan bilangan tidak berdimensi yang membandingkan kecepatan linier rotor dengan kecepatan angin (freestream).

$$TSR = \frac{V_{rotor}}{V_{\infty}} \quad (8.1)$$

$$TSR = \frac{\omega \cdot d}{V_{\infty}} \quad (8.2)$$

Dimana :

ω = kecepatan sudut turbin (rad/s)

d = diameter *blade* (m)

V_{∞} = kecepatan *angin* (m/s)

8.3.2 Coefficient of power (C_p)

Coefficient power merupakan perbandingan antara daya putaran turbin dengan daya yang terdapat pada angin. *Coefficient power* merupakan bilangan tidak berdimensi tidak memiliki satuan. Nilai *Coefficient power* dapat digunakana untuk menyatakan efisiensi performa turbin. Menurut Betz's limit, nilai maksimum C_p yang dicapai turbin Savonius berkisar hingga 59.3%.

$$C_p = \frac{P_{actual}}{P_{wind}} \quad (8.3)$$

$$C_p = \frac{T \cdot \omega}{\frac{1}{2} m v^2} \quad (8.4)$$

$$C_p = \frac{T \cdot \omega}{\frac{1}{2} \rho A_s v^3} \quad (8.5)$$

Nilai A_s merupakan luas permukaan penampang turbin yang tersapu oleh angin.

$$A_s = D \cdot H \quad (8.6)$$

Sehingga :

$$C_p = \frac{T \cdot \omega}{\frac{1}{2} \rho \cdot D \cdot H \cdot v^3} \quad (8.7)$$

Dimana :

C_p = *coefficient of power*

P_{actual}	= Daya yang dihasilkan <i>wind turbine</i>	(watt)
P_{wind}	= Daya angin	(watt)
T	= torsi	(Nm)
m	= massa	(kg)
v	= kecepatan angin	(m/s)
ρ	= massa jenis udara	(kg/m ³)
A_s	= luas daerah sapuan angin	(m ³)
D	= diameter rotor	(m)
H	= tinggi rotor	(m)

8.3.3 Coefficient of torque (C_q)

Torsi diartikan sebagai gaya tegak lurus yang bekerja pada benda dengan jarak tertentu dari pusat massa. Koefisien torsi dapat dinyatakan pada persamaan :

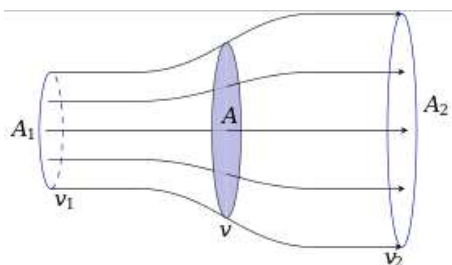
$$C_q = \frac{T_{\text{actual}}}{T_{\text{wind}}} \quad (8.8)$$

$$C_q = \frac{T_{\text{actual}}}{\frac{1}{4}\rho \cdot A_s \cdot d \cdot v^2} \quad (8.9)$$

Dimana : C_q = coefficient of torque
 T_{actual} = Torsi *wind turbine* (Nm)
 T_{wind} = Torsi angin (Nm)

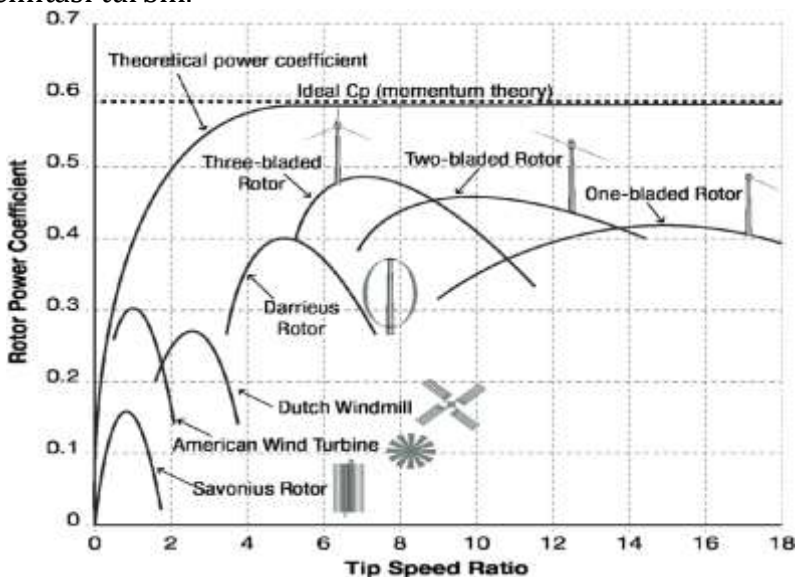
8.4 Betz Limit

Betz Limit / Betz's Law merupakan Analisa matematis yang dilakukan untuk mengetahui berapa daya maksimum yang mampu ditangkap oleh model turbin angin. Analisa Betz's Law dilakukan berdasar hukum konservasi massa dan momentum dari aliran freestream. Berdasarkan perhitungan Betz's Law sebuah turbin hanya mampu menangkap energi kinetik angin tidak lebih dari 16/27 (59.3%). Efisiensi yang didapat merupakan perbandingan antara energi kinetik dari angin dan putaran turbin. Analisa Betz's limit terlepas dari kehilangan energi saat proses transmisi daya. (Huleihil *et al*, 2012)



Gambar 8.3 : Perhitungan Betz Limit
Sumber : (Kumar, Raahemifar and Fung, 2018)

Perhitungan Benz's limit didasarkan pada aliran fluida yang melalui penampang dari sebuah disk tipis seperti yang ditunjukkan gambar 8.3. Penampang A merupakan daerah datangnya aliran angin. Sedangkan penampang A2 merupakan daerah yang terpengaruh secondary flow aliran fluida yang melintasi turbin.



Gambar 8.4: Power Coefficient pada berbagai macam Model Turbin. Sumber : (Ebrahimpour *et al.*, 2019)

Perbedaan bentuk dan desain turbin menyebabkan perubahan potensi daya yang dapat ditangkap oleh turbin. Persamaan Benz's limit digunakan untuk menentukan Koefisien Daya (C_p) yang mungkin dihasilkan oleh masing-masing jenis turbin. Turbin HAWT 3 sudu menghasilkan C_p yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin lain. Sedangkan turbin savonius merupakan turbin yang dapat berputar pada kecepatan angin rendah namun menghasilkan C_p yang lebih rendah dibandingkan dengan desain turbin lain.

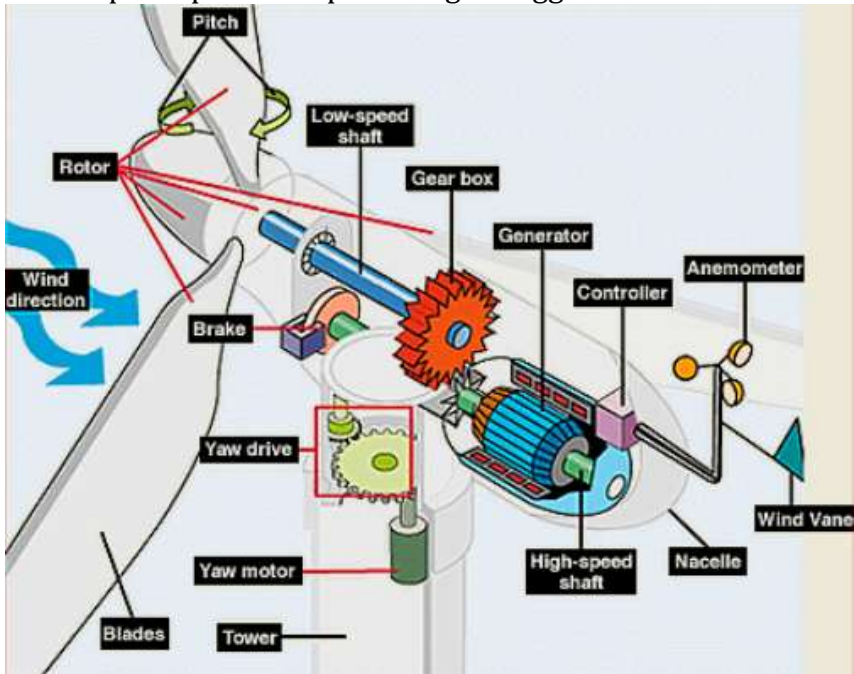
8.5 Sistem Konversi Energi Angin

8.5.1 Sistem Transmisi pada turbin

Turbin angin menggunakan system transmisi gear untuk mengkonversi energi kinetik putaran turbin menjadi energi listrik. Sistem transmisi energi putaran turbin dijelaskan melalui gambar 8.5. Adapun bagian yang berperan dalam system transmisi energi meliputi :

1. *Blades* (sudu) : merupakan permukaan turbin yang terbuat dari airfoil dan mengalami gaya aerodinamis akibat aliran fluida yang melintas diantaranya.
2. Rotor : merupakan bagian turbin yang berputar dan terhubung dengan Blades. Rotor merupakan permukaan yang dipasang blades dan terhubung dengan shaft (poros)
3. *Low speed shaft* : merupakan poros yang terhubung dengan rotor turbin. Poros ini berputar akibat energi kinetik dari putaran blades yang ada di rotor. Lowspeed shaft menghubungkan rotor dan gearbox.
4. *Gear Box* : merupakan gear yang mentransmisikan putaran dari rotor turbin ke generator.
5. Generator : merubah energi kinetik turbin menjadi energi listrik.
6. *High speed shaft* : poros generator yang dihubungkan dengan gear.

7. Anemometer : bertujuan untuk mengetahui kecepatan hembusan angin.
8. Brake : sistem pengereman turbin untuk mencegah turbin berputar pada kecepatan angin tinggi



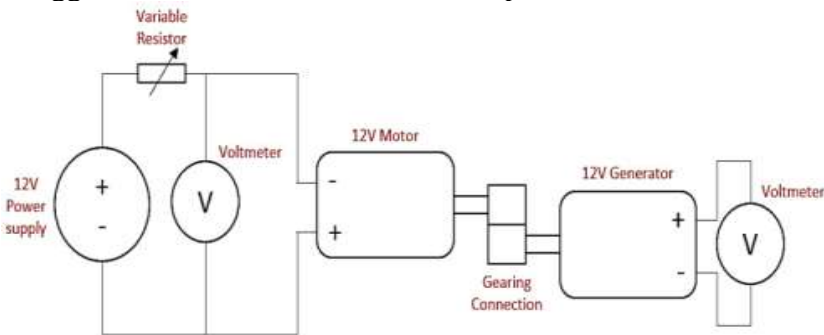
Gambar 8.5 : Sistem transmisi daya pada turbin angin
 Sumber : (Dang and Rashid, 2009)

9. Yaw drive : system transmisi gear yang digunakan untuk menggerakkan turbin ke bagian kanan dan kiri untuk menyesuaikan dengan arah datangnya angin
10. Yaw motor : motor listrik yang digunakan untuk menggerakkan yaw drive
11. Pitch : sudut sudu turbin
12. Nacelle : Lapisan pembungkus system transmisi turbin
13. Wind vane : menentukan arah angin

14. Controller : mengatur turbin secara otomatis.

8.5.2 Sistem Wiring diagram pada turbin

Di tingkat laboratorium, penelitian turbin angin dapat dilakukan dengan menghitung daya turbin secara mekanis dengan menggunakan torsi turbin. Namun sebenarnya output daya yang seharusnya diukur adalah daya listrik turbin. Perhitungan daya turbin dapat dilakukan dengan menggunakan voltmeter dan resistor pada turbin.



Gambar 8.6 : Wiring diagram turbin tanpa pembebanan
Sumber : (Johari, Jalil and Shariff, 2018)

Turbin pada kondisi pembebanan apabila daya listrik yang dihasilkan langsung digunakan misalnya untuk menyalakan lampu. Kondisi itu disebut dengan loading condition. Sedangkan saat daya listrik yang dihasilkan oleh turbin belum dimanfaatkan, berarti turbin berada pada kondisi un-loading (with-out loading). Saat turbin berada pada kondisi loading maka proses pengukuran daya dilakukan dengan menggunakan voltmeter, resistor variabel dan ampermeter.

Daya listrik dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

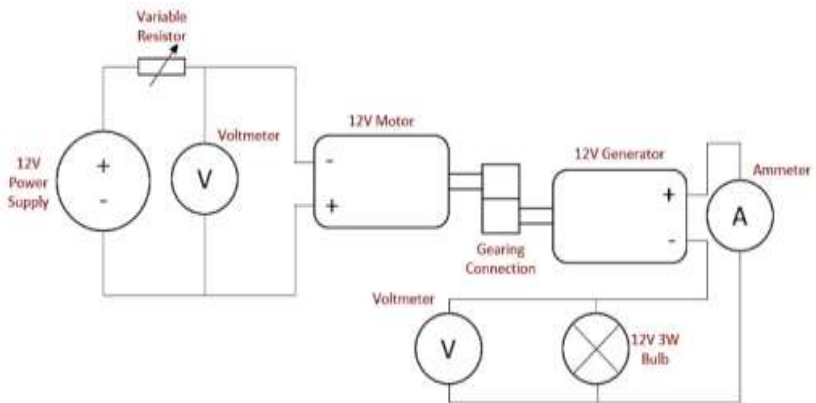
$$P = V \cdot I \quad (8.10)$$

Dimana : P = Daya listrik (watt)

V = Tegangan Listrik (Volt)

I = Arus listrik (ampere)

Wiring diagram rangkaian listrik untuk pengujian daya listrik yang dihasilkan oleh turbin ditunjukkan pada gambar 8.6 dan 8.7.



Gambar 8.7 : Wiring diagram turbin tanpa pembebanan
Sumber : (Johari, Jalil and Shariff, 2018)

8.5.3 Sistem control pada turbin

Turbin angin dapat menghasilkan daya listrik yang besar saat dioperasikan di daerah dengan kecepatan angin yang tinggi. Namun pada beberapa kasus kecepatan angin yang tinggi dapat merusak struktur turbin. Gaya lift yang muncul pada turbin dapat menyebabkan sudu turbin patah atau bahkan merobohkan tower penyangga.



Gambar 8.8 : Kerusakan turbin akibat over-speed

Sumber : (Exelon: *Mechanical failure led to turbine collapse* / *Wind Energy News*, no date)

Untuk mencegah kerusakan turbin akibat kecepatan angin yang terlalu tinggi (*over-speeding*), turbin angin dilengkapi dengan sistem brake (pengereman). Sistem brake pada turbin angin diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Pitch Control

Mikrokontroler turbin dilengkapi dengan alat dan sensor untuk memantau keluaran daya turbin. Sekali ini output daya tercapai, mikrokontroler akan mengubah sudut Pitch sudu agar tidak sejajar dengan angin. Pitch Control dilakukan untuk mengurangi putaran turbin . Dengan demikian daya yang dihasilkan oleh turbin akan lebih stabil dan tidak mengalami over-speeding.

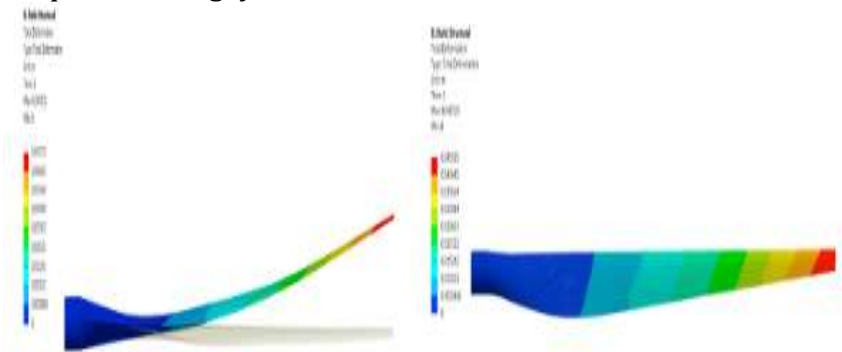
2. Passive Stall Control

Sistem brake dengan model passive stall control merupakan sistem pengurangan putaran turbin pada fix blade. Desain dan sudut pitch blade dirancang agar mengalami stall pada kecepatan tertentu. Sehingga saat angin bertiup terlalu kencang dan sangat turbulent, turbin secara otomatis akan mengalami penurunan gaya lift.

Penurunan daya lift menyebabkan turbin akan mengalami penurunan kecepatan putar.

3. Active Stall Control

Sistem pengereman ini dilakukan dengan mengubah sudut pitch agar berada pada posisi stall. Kondisi stall merupakan kondisi saat peningkatan sudut antara fluida yang menerpa airfoil dan leading edge airfoil yang menyebabkan penurunan gaya lift.



Gambar 8.9 : Defleksi pada sudu akibad over-speed

Sumber : (Mouhsine *et al.*, 2018)

DAFTAR PUSTAKA

- Dang, T. and Rashid, M.H. 2009. 'Introduction, history, and theory of wind power', *41st North American Power Symposium, NAPS 2009* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1109/NAPS.2009.5484084>.
- Ebrahimpour, M. *et al.* 2019. 'Numerical Investigation of the Savonius Vertical Axis Wind Turbine and Evaluation of the Effect of the Overlap Parameter in Both Horizontal and Vertical Directions on Its Performance', *Symmetry 2019, Vol. 11, Page 821, 11(6)*, p. 821. Available at: <https://doi.org/10.3390/SYM11060821>.
- Exelon: Mechanical failure led to turbine collapse | Wind Energy News* (no date). Available at: <https://www.wind-watch.org/news/2016/05/07/exelon-mechanical-failure-led-to-turbine-collapse/> (Accessed: 16 November 2022).
- Fleming, P.D. and Probert, S.D. 1984. 'The evolution of wind-turbines: An historical review', *Applied Energy*, 18(3), pp. 163–177. Available at: [https://doi.org/10.1016/0306-2619\(84\)90007-2](https://doi.org/10.1016/0306-2619(84)90007-2).
- Huleihil, M. *et al.* 2012. 'Wind Turbine Power: The Betz Limit and Beyond', *Advances in Wind Power* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.5772/52580>.
- Irawan, O., Bow, Y. and Kusumanto, R.D. 2021. 'Simulation and Performance Test Giromill Type Wind Turbine; Case Study Muara Enim, South Sumatra, Indonesia', *International Journal of Research in Vocational Studies (IJRVOCAS)*, 1(2), pp. 11–18. Available at: <https://doi.org/10.53893/IJRVOCAS.V1I2.10>.
- Islam, M.R., Mekhilef, S. and Saidur, R. 2013. 'Progress and recent trends of wind energy technology', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, pp. 456–468. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2013.01.007>.

- Johari, M.K., Jalil, M.A.A. and Shariff, M.F.M. 2018. 'Comparison of horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine (VAWT)', *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, 7(4), pp. 74–80. Available at: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.13.21333>.
- Kumar, R., Raahemifar, K. and Fung, A.S. 2018. 'A critical review of vertical axis wind turbines for urban applications', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89, pp. 281–291. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2018.03.033>.
- Martosaputro, S. and Murti, N. 2014. 'Blowing the Wind Energy in Indonesia', *Energy Procedia*, 47, pp. 273–282. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2014.01.225>.
- Mouhsine, S. el *et al.* 2018. 'Aerodynamics and structural analysis of wind turbine blade', *Procedia Manufacturing*, 22, pp. 747–756. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2018.03.107>.
- Silva, H. da and Murdolelono, B. 2008. 'Feasibility of OPV Srikandi Maize for overcoming productivity and food security problems in East Nusa Tenggara, Indonesia', *Proceeding of The 10th Asian Regional Maize Workshop, Makassar, Indonesia*, p. 597. Available at: https://ei-ado.aciar.gov.au/sites/default/files/DaSilva-Murdolelono.2010.FeasibilityOPVSrikandiMaizeOvercomingProductivityFoodSecurityProblemsNTT_AIAT.pdf (Accessed: 15 November 2022).
- Tasneem, Z. *et al.* 2020. 'An analytical review on the evaluation of wind resource and wind turbine for urban application: Prospect and challenges', *Developments in the Built Environment*, 4, p. 100033. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.DIBE.2020.100033>.

BIODATA PENULIS



Aldi Cahya Muhammad, B.Sc.Engg., M.Sc.Engg.
Engineer di PT. Radiant Group Jakarta

Pendidikan menengah lulus dari SMAN 1 Genteng Banyuwangi tahun 2013. Penulis melanjutkan studi dan lulus program Bachelors dan Masters of Science in Electrical and Electronic Engineering di salah satu universitas Organisasi Kerjasama Islam (OKI), Islamic University of Technology (IUT), Dhaka, Bangladesh lulus tahun 2019.

Karir pertama dimulai sebagai Bangladesh Business Manager di salah satu perusahaan Jepang, A-Wing Group. Setelah itu melanjutkan karir di perusahaan Radiant Group, Jakarta.

Beberapa research interest penulis antara lain Artificial Intelligence and Renewable energy. Penulis pernah mendapat penghargaan sebagai Best Paper di The 7th Indonesia International Geothermal Convention and Exhibition (IIGCE) 2019. Buku lain yang pernah ditulis diantaranya *Riset Operasi*.
Email Penulis: *aldicahyamu@gmail.com*

BIODATA PENULIS



Hadi Santoso, S.Pd., M.Si

Dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Borneo Tarakan

Penulis lahir di Bunyu, Kabupaten Bulungan pada tanggal 13 Juli 1989. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Fisika di Universitas Mulawarman (Samarinda) dan S2 pada Jurusan Fisika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (Surabaya). Penulis menekuni bidang Fisika Instrumentasi dan melakukan berbagai penelitian terkait dengan Instrumentasi dan Sistem Kontrol serta Energi Terbarukan. Untuk menghubungi penulis dapat melalui hadisantoso@borneo.ac.id

BIODATA PENULIS



Yudha Ari Purnama, M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan Vokasional Teknologi Otomotif Fakultas Pendidikan Teknik IKIP PGRI Kalimantan Timur

Penulis lahir di Samarinda, 16 November 1991. Penulis merupakan lulusan Jurusan Teknik Mekanik Otomotif, SMK N 6 Samarinda, kemudian melanjutkan ke pendidikan tinggi di Program Studi S1 Pendidikan Teknik Otomotif, Universitas Negeri Malang. Kemudian penulis melanjutkan pendidikannya di Program Studi S2 Pendidikan Teknologi & Kejuruan, Konsentrasi Diklat Kejuruan, Universitas Negeri Yogyakarta.

Penulis merupakan dosen tetap di Program Studi Pendidikan Vokasional Teknologi Otomotif, Fakultas Pendidikan Teknik, IKIP PGRI Kalimantan Timur sejak tahun 2020. Penulis saat ini juga menjabat sebagai Kepala Laboratorium Program Studi Pendidikan Vokasional Teknologi Otomotif “Sasana Didaktika”. Penulis juga terdaftar sebagai anggota Asosiasi Dosen & Guru Vokasi Indonesia (ADGVI) sejak tahun 2021.

BIODATA PENULIS



Ir. Daniel Parenden, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Musamus Merauke

Penulis lahir di Lombongan tanggal 13 Desember 1973. Penulis adalah dosen tetap (PNS) pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Musamus Merauke. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin di Universitas Kristen Indonesia Paulus di Makassar (1992 – 1999) dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Mesin bidang Konversi Energi di Universitas Hasanuddin di Makassar (2017 – 2010), dan Pendidikan Profesi Insinyur di Universitas Muslim Indonesia di Makassar (2022). Penulis mengajar Mata Kuliah Termodinamika Teknik, Perpindahan Panas dan Teknik Pendingin.

BIODATA PENULIS



Fathan Mubina Dewadi

Dosen Universitas Buana Perjuangan Karawang

Fathan Mubina Dewadi merupakan pria yang berusia 30 tahun sudah tertarik dengan bidang Pendidikan tinggi sejak tahun 2015. Sejak lulus jurusan Teknik mesin program pascasarjana Universitas Pancasila. Kini penulis sedang bekerja sebagai dosen tetap program studi Teknik mesin di Universitas Buana Perjuangan Karawang. Kini kesibukan penulis ialah lebih menghabiskan waktu untuk mengajar dan menulis. Karya-karya yang telah dibuat dimuat di media *online*, jurnal nasional, jurnal internasional dan jurnal nasional bereputasi. Sudah lebih dari 15 karya yang telah dibuat dan sedang proses untuk pembuatan buku dan bab buku. Penulis juga aktif dalam kegiatan prosiding, penelitian dan pengabdian kepada masyarakat. Jurnal yang telah ditulis bekerjasama dengan para pakar di luar negara dan dalam negri. Anak pertama dari 3 bersaudara ini sering melakukan penelitian kecil dan melakukan eksperimen di ruangan pribadi.

BIODATA PENULIS



Riyani Prima Dewi, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Listrik
Jurusan Teknik Elektronika Politeknik Negeri Cilacap

Penulis lahir di Brebes tanggal 8 Mei 1995. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektronika Politeknik Negeri Cilacap. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Tenaga Listrik di Institut Teknologi Bandung pada tahun 2017 dan meraih beasiswa *fastrack* pada tahun yang sama sehingga berkesempatan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Elektro di Institut Teknologi Bandung selama 1 tahun dan lulus pada tahun 2018. Pada tahun 2019 penulis diangkat menjadi Pegawai Negeri Sipil di bawah naungan Kemenristekdikbud sampai saat ini. Penulis mulai menekuni bidang menulis sejak mahasiswa dibidang-bidang kelistrikan dan *renewable energy*.

BIODATA PENULIS



Ir. Bambang Winardi, M.Kom.

Dosen Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Penulis lahir di Banyuwangi tanggal 16 Juni 1961. Penulis adalah dosen tetap pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Elektro dan melanjutkan S2 pada Jurusan Sistem Informasi. Penulis menekuni bidang Menulis.

Berperan serta aktif dalam international conference yang didukung oleh IEEE, ICITACEE - International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (diselenggarakan tiap tahun, dipublikasikan di IEEE Explore dan terindex Scopus).

Penulis dapat dihubungi di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Jl. Prof. Soedarto, S.H., Kampus Tembalang, Semarang, Telepon/Fax (024) 7460057.
Alamat e-mail: bambang.winardi@elektro.undip.ac.id

BIODATA PENULIS



Zain Lillahulhaq, ST., MT.

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri

Penulis merupakan dosen di Program studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri (FTI). Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Penulis menekuni bidang Rekayasa Konversi Energy. Beberapa penelitian yang dilakukan oleh penulis berhubungan dengan renewable energy pada turbin angin dan air. Untuk mengikuti perkembangan zaman penulis juga menerbitkan beberapa jurnal tentang simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD) .