



ENERGI TERBARUKAN

PENULIS :

Rianto Wibowo

Sarmidi

Apriansyah Zulatama

Iman Pradana A. Assagaf

Mochamad Choifin

Ifan Wiranto

Dibyo Setiawan

Budi Triyono

M. Syaiful

Mustopa Kamal

Alex Sandria Jaya Wardhana

Septiana Ambarwati



ENERGI TERBARUKAN

**Rianto Wibowo
Sarmidi
Apriansyah Zulatama
Iman Pradana A. Assagaf
Mochamad Choifin
Ifan Wiranto
Dibyو Setiawan
Budi Triyono
M. Syaiful
Mustopa Kamal
Alex Sandria Jaya Wardhana
Septiana Ambarwati**



GET PRESS INDONESIA

ENERGI TERBARUKAN

Penulis :

Rianto Wibowo
Sarmidi
Apriansyah Zulatama
Iman Pradana A. Assagaf
Mochamad Choifin
Ifan Wiranto
Dibyo Setiawan
Budi Triyono
M. Syaiful
Mustopa Kamal
Alex Sandria Jaya Wardhana
Septiana Ambarwati

ISBN : 978-623-125-253-1

Editor : Mila Sari, M.Si.

Penyunting: Yuliatrini Novita, M.Hum.

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

Penerbit: GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi:

Jl. Palarik RT 01 RW 06, Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tengah, Padang, Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id
email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Juni 2024

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

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan judul Energi Terbarukan dapat diselesaikan dengan kerjasama tim penulis. Energi Terbarukan merupakan buku yang berisikan bahasan mengenai konsep dasar energi terbarukan, pengguna energi, konsep energi, bahan bakar fosil, energi surya termal, energi surya photovoltaik, energi angin, energi air, biomassa, biogas, biofuel, energi panas bumi, dan konservasi energi.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur yang mudah dipahami.

Padang, Juni 2024
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR..... i
DAFTAR ISI ii
DAFTAR GAMBAR..... vi
DAFTAR TABEL viii
BAB 1 KONSEP DASAR ENERGI TERBARUKAN, PENGGUNA ENERGI..... 1
 1.1 Pendahuluan 1
 1.2 Konsep Energi Terbarukan 2
 1.3 Pengguna Energi 11
DAFTAR PUSTAKA..... 14
BAB 2 KONSEP ENERGI 15
 2.1 Energi..... 15
 2.1.1 Bentuk Energi 16
 2.1.2 Perubahan Energi 17
 2.1.3 Contoh Perubahan Energi 18
 2.1.4 Hukum Kekekalan Energi..... 19
 2.1.5 Efisiensi Energi..... 21
 2.1.6 Sistem Terisolasi..... 22
 2.1.7 Penggunaan Energi 23
 2.2 Sumber Energi..... 24
 2.2.1 Sumber Energi Tak Terbaharui 25
 2.2.1 Sumber Energi Terbarukan..... 26
 2.2.1 Penghematan Energi 27
DAFTAR PUSTAKA..... 30
BAB 3 BAHAN BAKAR FOSIL..... 31
 3.1 Pendahuluan 31
 3.2 Pembentukan Bahan Bakar Fosil..... 32
 3.3 Sejarah Penggunaan Bahan Bakar Fosil..... 33
 3.4 Penggunaan dan Aplikasi..... 36
 3.5 Dampak Lingkungan 37
 3.6 Tantangan dan Alternatif..... 38
DAFTAR PUSTAKA..... 40
BAB 4 ENERGI SURYA TERMAL..... 43
 4.1 Sel Surya 43
 4.2 Teknologi Termal Surya..... 46
 4.2.1 Pemanas Air tenaga surya..... 46

4.2.2 Kompor Tenaga Surya	48
4.2.4 <i>Solar Dryer</i>	50
4.2.5 Destilasi Air Energi Surya.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....	54
BAB 5 ENERGI SURYA PHOTOVOLTAIK.....	57
5.1 Pendahuluan	57
5.2 Dasar – Dasar Energi Surya.....	58
5.2.1 Prinsip Kerja Sel Surya	59
5.2.2 Komponen Sistem Fotovoltaik	60
5.2.3 Jenis-Jenis Panel Surya:.....	60
5.2.4 Karakteristik dan Efisiensi Panel Surya:	61
5.3 Material dan Pembuatan Panel Surya.....	62
5.3.1 Material Semikonduktor untuk Sel Surya.....	62
5.3.2 Proses Pembuatan Panel Surya.....	64
5.3.3 Jenis-jenis Panel Surya Berdasarkan Material	65
5.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	66
5.4.1 Teknologi dan Pengembangan PLTS.....	66
5.4.2 Jenis-jenis PLTS	67
DAFTAR PUSTAKA.....	71
BAB 6 ENERGI ANGIN	73
6.1 Kecepatan Angin dan Energi (Patel, 2006).....	74
6.1.1 Hubungan antara Daya dan Kecepatan Angin.....	75
6.1.2 Daya yang Diekstraksikan dari Angin.....	76
6.2 Turbin Angin	78
6.2.2 Prinsip Kerja Turbin Angin.....	83
6.3 Keunggulan dari Energi Angin.....	84
6.4 Ringkasan	86
DAFTAR PUSTAKA.....	87
BAB 7 ENERGI AIR	89
7.1 Jenis-Jenis Energi Air	89
7.1.1 Sistem Penyimpanan.....	91
7.1.2 Sistem Pengalihan	92
7.1.3 Sistem Penyimpanan Terpompa.....	92
7.2 Klasifikasi PLTA.....	93
7.2.1 Pembangkit Listrik Skala Kecil.....	93
7.2.2 Pembangkit Listrik Skala Menengah.....	95
7.2.3 Pembangkit Listrik Skala Besar	95
7.3 Pemanfaatan Energi Air.....	95
7.3.1 Turbin Air Berdasarkan Head dan Debit.....	95

7.3.3 Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro.....	96
7.3.4 Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.....	97
7.3.5 Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro.....	97
7.3.6 Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Air.....	98
7.4 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air	98
DAFTAR PUSTAKA.....	100
BAB 8 BIOMASSA	103
8.1 Pendahuluan	103
8.2 Struktur Biomassa	106
8.2.1 <i>Cellulose</i>	109
8.2.2 Hemicellulose.....	111
8.2.3 Lignin.....	112
8.3 Karakteristik Bahan Bakar Padat	113
8.3.1 Sifat Fisik dan Komposisi Kimia Biomassa	113
8.3.2 <i>Atomic Ratio</i>	114
8.4 Pemanfaatan Biomassa Sebagai Bahan Bakar Padat	117
8.3.1 Konversi Biochemical	118
8.3.2 Konversi Thermochemical.....	120
8.3.3 Studi Pemanfaatan Biomassa Sampah Kota atau Municipal Solid waste (MSW) Sebagai Bahan Bakar Padat.....	124
8.5 Penutup.....	126
DAFTAR PUSTAKA.....	127
BAB 9 BIOGAS	131
9.1 Pendahuluan	131
9.2 Biogas.....	133
9.2.1 Proses Biogas	134
9.3 Teknologi Pembuatan Biogas.....	136
9.3.1 <i>Fixed Dome Digester</i>	137
9.3.2 <i>Floating Drum Digester</i>	139
9.3.3 <i>Tubular Digester</i>	140
DAFTAR PUSTAKA.....	143
BAB 10 BIOFUEL	145
10.1 Pendahuluan	145
10.2 Pengertian dan Jenis Biofuel	146
10.2.1 Biodiesel	148
10.2.2 Bioetanol	151
10.2.3 Biogas	153
10.2.4 Biojet Fuel.....	154

10.3 Penyediaan Bahan Baku Biofuel	156
10.4 Pemanfaatan dan Keunggulan Biofuel	157
10.5 perkembangan Biofuel di Dunia	164
DAFTAR PUSTAKA.....	167
BAB 11 ENERGI PANAS BUMI.....	171
11.1 Pengenalan Energi Panas Bumi	171
11.2 Ekstraksi Energi Panas Bumi	176
11.3 Keunggulan dan Kendala Energi Panas Bumi	179
11.3.1 Keunggulan.....	180
11.3.2 Kendala	182
11.4 Inovasi dan Pengembangan Teknologi Panas Bumi	183
11.4.1 <i>Sistem Hot Dry Rock</i> (HDR).....	183
11.4.2 Reservoir Geotekanan (<i>Geopressed Reservoirs</i>).....	184
11.4.3 Energi Magma.....	185
11.5 Keberlanjutan dan Dampak Lingkungan.....	185
11.5.1 Keberlanjutan Energi Panas Bumi Sebagai Sumber Energi Terbarukan	185
11.5.2 Dampak Lingkungan dari Pengembangan dan Eksplorasi Energi Panas Bumi.....	186
DAFTAR PUSTAKA.....	188
BAB 12 KONSERVASI ENERGI	191
12.1 Pengertian Konservasi Energi	191
12.2 Regulasi Konservasi Energi	193
12.3 Sistem Manajemen Energi.....	195
12.3.1 Langkah Manajemen Energi	196
12.4 Perkembangan Konservasi Energi	196
12.4.1 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)	197
12.4.2 Penerapan Konservasi Energi di Industri	198
12.4.3 Program Konservasi Energi Pemerintah	198
12.5 Audit Energi.....	201
12.5.1 Lingkup Pelaksanaan Audit Energi	201
DAFTAR PUSTAKA.....	203
BIODATA PENULIS	204

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Skema PLTS	3
Gambar 1. 2 Turbin Angin	4
Gambar 1. 3 Skema PLTA.....	5
Gambar 1. 4 Skema PLT Biogas	7
Gambar 1. 5 Skema OWC.....	8
Gambar 1. 6 Skema PLT Pasang Surut	9
Gambar 1. 7 Skema PLT Panas Laut.....	10
Gambar 1. 8 Skema Pembangkit Listrik Panas Bumi	11
Gambar 4. 1 Skema Proses Pemanfaatan Energi Surya	45
Gambar 4. 2 Pemanas Air Tenaga Surya Sederhana.....	46
Gambar 4. 3 Prototipe Kompor Surya Sederhana Tipe	50
Gambar 4. 4 <i>Solar Dryer Parabolic Greenhouse</i>	51
Gambar 4. 5 Skema Alat Destilasi Energi Surya Dengan Kondensor Pasif	53
Gambar 6. 1. Efisiensi Rotor terhadap Rasio V_0/V	76
Gambar 6. 2. HAWT dan VAWT	77
Gambar 6. 3. Komponen-komponen Utama HAWT	79
Gambar 6. 4. Daerah Kerja Turbin Angin.....	81
Gambar 7. 1 Mekanisme Pembangkit dengan Sistem Penyimpanan	91
Gambar 7. 2 Mekanisme Pembangkit dengan Sistem Pengalihan	92
Gambar 7. 3 Pembangkit dengan Sistem Penyimpanan Terpompa	93
Gambar 7. 4 Kurva Pemilihan Jenis Turbin Air	96
Gambar 7. 5 Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro	96
Gambar 7. 6 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro	97
Gambar 7. 7 Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro	98
Gambar 7. 8 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air	99
Gambar 8. 1 Siklus Tumbuh Biomassa dengan Memanfaatkan Energi Matahari, Karbondioksida, dan Air Melalui Proses Fotosintesis.....	106
Gambar 8. 2 Komponen Penyusun Utama Biomassa Kayu.....	107
Gambar 8. 3 Struktur Makro dan Mikro Biomassa Kayu	108
Gambar 8. 4 Ikatan β -1,4-Glycosidic Pada Selulosa	109
Gambar 8. 5 Ikatan Hidrogen Antara Grup Hydroxyl dan Oksigen Pada Selulosa	110
Gambar 8. 6 Struktur Molekul Hemiselulosa, Xilan.....	111
Gambar 8. 7 Basis Untuk Menyatakan Komposisi Bahan Bakar Padat	113
Gambar 8. 8 Klasifikasi Bahan Bakar Padat Berdasarkan Rasio H/C dan O/C.....	115
Gambar 8. 9 Pola/Jalur Karbonisasi Biomassa.....	116

Gambar 9. 1 Proses Biogas	136
Gambar 9. 2 Teknologi <i>Fixed Dome</i>	138
Gambar 9. 3 Kelebihan dan Kekurangan <i>Fixed-Dome</i>	138
Gambar 9. 4 Teknologi <i>Floating Drum Digester</i>	139
Gambar 9. 5 Teknologi <i>Tipe Tubular</i>	141
Gambar 10. 1 Jenis Biofuel	148
Gambar 11. 1 Regulasi Direktorat Jenderal EBTKE untuk Panas Bumi.....	173
Gambar 11. 2 Ilustrasi Komponen Panas Bumi	176
Gambar 11. 3 Sistem <i>Hot Dry Rock</i>	184
Gambar 11. 4 <i>Geopressured Reservoirs</i>	185
Gambar 12. 1 Konsumsi Energi Minyak Bumi dan Produksinya	192
Gambar 12. 2 Regulasi Konservasi Energi	195
Gambar 12. 3 Program Konservasi Energi	199
Gambar 12. 4 Komponen dan Aktivitas Transisi Energi	200
Gambar 12. 5 Peta Jalan Transisi Energi Menuju <i>Net Zero Emission</i>	200

DAFTAR TABEL

Tabel 6. 1. Perbandingan Antara HAWT dan VAWT.....80

Tabel 7. 1 Kriteria Pemilihan Jenis Turbin Air Mengacu *Head*.....95

Tabel 8. 1 Klasifikasi Batubara Menurut Sistem Ranking ASTM (dmmf)..... 114

Tabel 8. 2 Teknologi Pengolahan Biomassa Menjadi Energi..... 117

Tabel 8. 3 Perbedaan Pirolisis, Karbonisasi, dan Torefaksi..... 122

Tabel 8. 4 Sifat Fisik dan Nilai Kalor (HHV) Komponen Sampah Kota..... 124

Tabel 9. 1 Potensi Energi Baru Terbarukan Di Indonesia..... 132

Tabel 9. 2 Nilai Produksi Biogas dan Gas Metana dari Berbagai
Jenis Sampah..... 133

Tabel 9. 3 Tipikal Komposisi Biogas..... 134

Tabel 9. 4 Kelebihan dan Kekurangan *Floating-Drum Digester* 140

Tabel 9. 5 Kelebihan dan Kekurangan Tipe *Tubular* 142

Tabel 10. 1 Bahan Baku Biofuel..... 147

Tabel 10. 2 Standar Mutu Bioetanol 152

Tabel 12. 1 Langkah Konservasi Energi 193

BAB 1

KONSEP DASAR ENERGI TERBARUKAN, PENGGUNA ENERGI

Oleh Rianto Wibowo

1.1 Pendahuluan

Energi merupakan kebutuhan utama bagi kehidupan manusia, dan energi yang dimanfaatkan tersebut berasal dari dua kelompok sumber energi utama yakni :

- Energi konvensional, yaitu energi yang didapatkan dari sumber yang hanya tersedia dalam jumlah terbatas di bumi dan tidak dapat diregenerasi. Sumber-sumber energi ini akan berakhir cepat atau lambat dan berbahaya bagi lingkungan.
- Energi terbarukan adalah energi yang dihasilkan dari sumber alami seperti matahari, angin, dan air dan dapat dihasilkan lagi dan lagi. Sumber akan selalu tersedia dan tidak merugikan lingkungan (Tim Contained Energy, 2014).

Sumber energi terbarukan berasal dari bumi (terrestrial), dan juga berasal dari luar bumi (ekstraterrestrial). Ragam jenis sumber energi terbarukan diantaranya adalah : energi aliran air, energi angin atau bayu, energi matahari atau surya, biomassa, energi gelombang laut, dan energi panas bumi.

Pengembangan Energi Terbarukan sangat penting, mengingat jika tetap bergantung pada sumber energi fosil maka

akan menimbulkan dampak yang serius bagi lingkungan dan masyarakat (Lubis, 2007). Beberapa ancaman serius tersebut adalah :

- 1) Makin berkurangnya minyak bumi yang dapat dimanfaatkan atau dieksplorasi
- 2) Kenaikan harga atau ketidakstabilan harga sebagai akibat peningkatan permintaan produksi minyak, dan
- 3) Penggunaan bahan bakar fosil akan meningkatkan polusi gas rumah kaca (terutama CO₂).

1.2 Konsep Energi Terbarukan

Energi terbarukan beragam jenisnya, dan dimasa akan datang akan menjadi sumber energi yang dapat memenuhi kebutuhan hidup manusia. Ragam energi terbarukan meliputi :

1. Energi Surya

Matahari merupakan benda yang menghasilkan pancaran radiasi secara sempurna atau disebut juga *black body*, pada temperatur rata-rata 5800 K. Besarnya jumlah energi rata-rata pancaran radiasi matahari yang sampai di permukaan bumi pada permukaan datar tiap detik disebut konstanta surya (*solar constant*), *G_{sc}*, dan besarnya nilai konstanta ini adalah 1367 W/m². Selanjutnya nilai total daya yang diterima dari sumber radiasi per satuan luas dinamakan irradiansi (Tarigan,2020).

Sel Surya atau *Solar Cell* merupakan potensi energi terbarukan yang belum banyak dimanfaatkan sebagai jawaban atas krisis minyak bumi (bahan bakar fosil). Solar cell adalah alat yang berfungsi mengubah energi cahaya matahari langsung menjadi energi listrik melalui *efek fotovoltaiik*. Penggunaan istilah solar sel digunakan untuk alat yang menangkap energi dari cahaya matahari secara spesifik, sementara *fotovoltaiik sel* digunakan ketika sumbernya tidak spesifik. Perakitan sel-sel surya digunakan untuk membuat panel surya, modul surya dan penguji *fotovoltaiik*. Bidang teknologi dan riset mengenai aplikasi solar sel dalam memproduksi energi listrik untuk penggunaan praktis disebut *Photovoltaics*.

Aplikasi alat pengumpul panas atau kolektor upaya meningkatkan pemanfaatan langsung energi matahari. Prinsip kerja Kolektor suhu mengumpulkan sinar matahari pada suatu tempat sehingga didapat suhu yang lebih tinggi. Material yang dapat digunakan sebagai sel surya yang terdiri dari rangkaian panel unsur semikonduktor, misalnya lapisan unsur silikon yang tipis (Thamrin : 2019).

Dapat disimpulkan bahwa energi panas matahari mempunyai potensi yang sangat besar, dan telah dimanfaatkan dalam berbagai bentuk pemanfaatan energi matahari sebagai sumber panas secara langsung, yakni : Pemanas air, Kompor matahari, Pengeringan, Distilasi air kotor, dan Pembangkit listrik. Salah satu pemanfaatan energi surya sebagai pembangkit listrik (PLTS) terlihat seperti pada gambar 1.1 berikut :



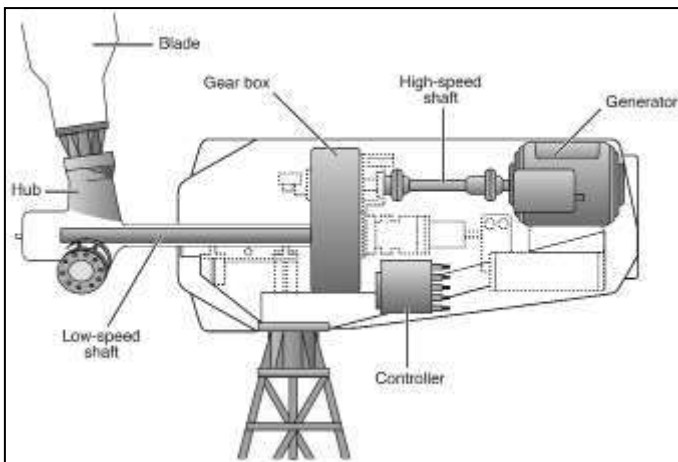
Gambar 1. 1 Skema PLTS (sumber : armand10dma.blogspot.com, 2011)

2. Energi Angin

Pada saat angin bertiup, angin membawa salah satu bentuk energi yaitu energi kinetik (gerakan) yang bisa melakukan suatu pekerjaan. Energi kinetik pada angin dapat digunakan untuk melakukan pekerjaan, sebagai contohnya perahu layar bergerak di air dengan memanfaatkan dorongan tenaga angin.

Tenaga angin juga bisa dimanfaatkan untuk menggerakkan baling-baling yang terpasang pada sebuah puncak menara, yang selanjutnya disebut dengan turbin angin yang akan menghasilkan energi mekanik atau dapat juga menjadi energi listrik (Tim Contained Energy, 2014).

Tenaga angin termasuk energi yang dapat diperbaharui dan tidak menghasilkan gas-gas rumah kaca dan penyebab polusi udara. Oleh sebab itu, perkembangan teknologi pembangkit listrik tenaga angin merupakan yang paling pesat akhir-akhir ini. Proses mekanisme pembangkitan energi listrik oleh energi angin terlihat seperti pada gambar 1.2.



Gambar 1. 2 Turbin Angin

(Sumber : sandlegenda.com, 2013)

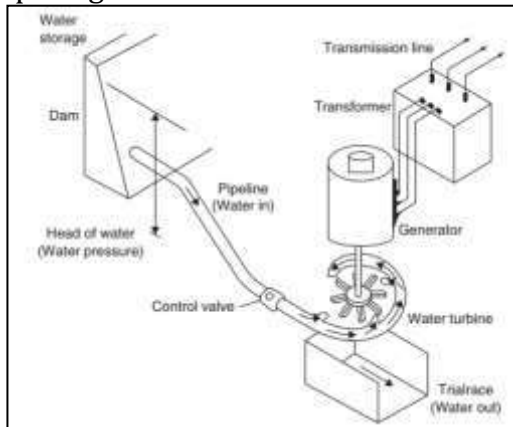
3. Energi Air

Benda saat berada pada ketinggian tertentu maka memiliki energi yang disebut energi potensial gravitasi, demikian pula air yang memiliki ketinggian tertentu akan mempunyai energi potensial gravitasi, dan saat mengalir ke posisi yang lebih rendah energi potensial berubah menjadi energi kinetik.

Energi kinetik pada air dapat dikonversi menjadi energi mekanik pada turbin, dan selanjutnya turbin menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik.

Energi yang dikonversi berasal dari energi potensial gravitasi dan energi kinetik maka sumber energi air merupakan sumber energi yang murah dan relatif mudah didapat. Pada prinsipnya energi yang dimiliki air dapat dimanfaatkan dan digunakan dalam wujud energi mekanis maupun energi listrik.

Awalnya kincir air yang digerakkan oleh aliran air dimanfaatkan untuk keperluan seperti penggilingan gandum, penggergajian kayu, mesin tekstil dan lain lain. Awal abad 19 turbin air banyak dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik untuk keperluan rumah tangga maupun industri. Mekanisme perubahan energi dari energi aliran air menjadi energi listrik dapat terlihat pada gambar 1.3 berikut :



Gambar 1. 3 Skema PLTA (Sumber : taufiqurrohman,2021)

4. Energi Biomassa

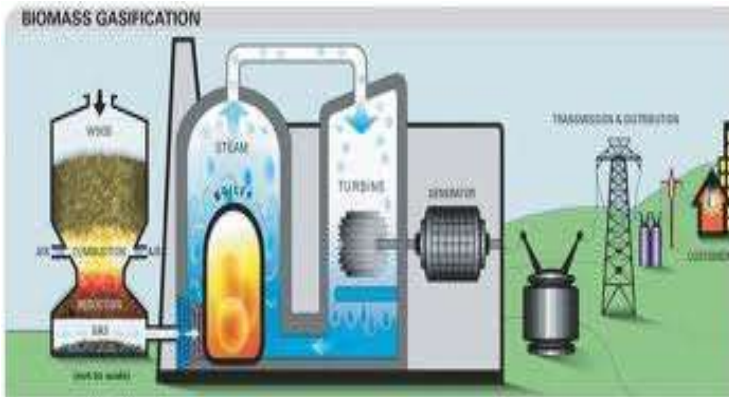
Biomassa merupakan salah satu sumber energi yang telah digunakan orang sejak dari jaman dahulu kala, yakni ketika orang telah membakar kayu untuk memasak makanan selama ribuan tahun. Biomassa adalah semua benda organik (misal: kayu, tanaman pangan, limbah hewan & manusia) dan bisa digunakan sebagai sumber energi untuk memasak, memanaskan dan pembangkit listrik. Sumber energi ini bersifat terbarukan karena pohon dan tanaman pangan akan selalu tumbuh dan akan selalu ada limbah tanaman.

Terdapat empat jenis biomassa yang dapat dikembangkan sebagai sumber energi terbarukan, yakni :

- a. Bahan bakar padat limbah organik : Kayu dan limbah pertanian yang dapat dibakar serta dapat digunakan untuk menghasilkan uap dan listrik.
- b. Bahan bakar padat limbah anorganik: Plastik dan beberapa limbah anorganik lainnya. Limbah ini dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dengan mekanisme yang sama seperti pada pembangkit listrik tenaga batubara, hanya saja bahan bakar tersebut bukan bahan bakar fosil tetapi sampah yang bisa dibakar.
- c. Bahan bakar gas sampah : sampah yang membusuk maka akan menghasilkan gas metan. Jika gas metan tersebut ditampung, maka bisa langsung dimanfaatkan untuk dibakar yang menghasilkan panas untuk penggunaan praktis atau digunakan pada pembangkit listrik untuk menghasilkan listrik.
- d. Bahan bakar hayati berbentuk cair: Bahan bakar ini bisa digunakan sebagai tambahan atau menggantikan bahan bakar konvensional untuk mesin. Bioethanol adalah alkohol yang dibuat melalui proses fermentasi gula yang terkandung pada tanaman pangan (contoh: tebu, ubi kayu atau jagung), dan digunakan sebagai tambahan untuk bensin. Biodiesel dibuat dari minyak sayur (misal: Minyak Sawit, *Jatropha Curcas*, Minyak Kelapa, atau Minyak Kedelai,

atau Limbah Minyak Sayur/WVO. Biodiesel bisa digunakan sendiri atau sebagai tambahan pada mesin diesel tanpa memodifikasi mesin.

Mekanisme pemanfaatan biomassa sebagai pembangkit listrik terlihat pada gambar berikut :



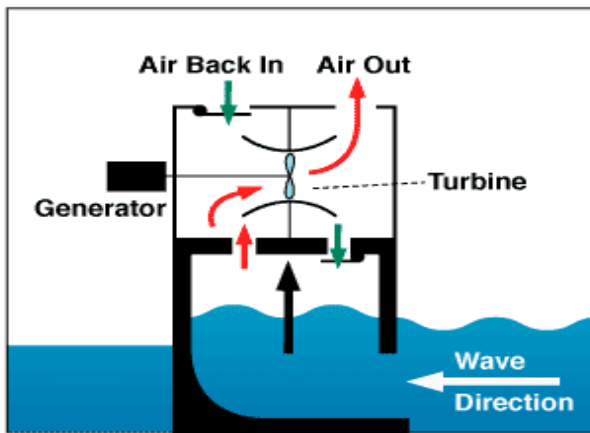
Gambar 1. 4 Skema PLT Biogas (Sumber : zhanaruminate.com)

5. Energi Laut

Energi laut (*ocean energy*) merupakan energi kinetik air laut yang dapat dikonversikan menjadi energi bentuk lain, terutama energi listrik melalui turbin dan generator. Secara garis besar energi yang berasal dari laut dapat dikategorikan menjadi tiga jenis, masing-masing:

a. energi ombak (*wave energy*)

Ombak terjadi oleh angin yang bertiup di permukaan laut. Ombak mempunyai sumber energi yang cukup besar namun diperlukan teknologi untuk mengubahnya menjadi listrik. Mekanisme perubahan energi ombak menjadi energi listrik, terlihat seperti pada gambar 1.5 berikut :



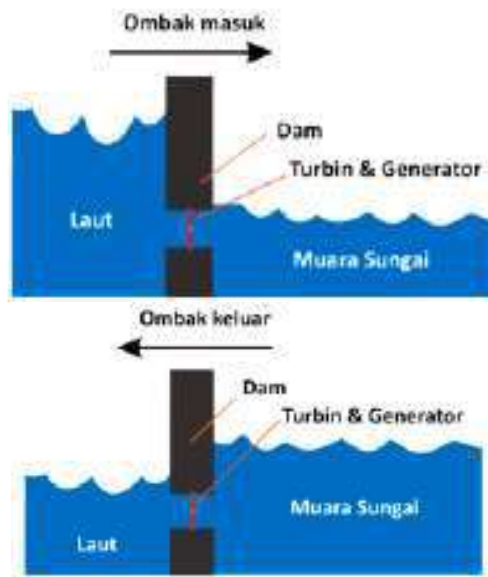
Gambar 1. 5 Skema OWC (Sumber : bagustris.com, 2015)

b. energi pasang surut (*tidal energy*)

Pasang surut menggerakkan air dalam jumlah besar setiap harinya dan pemanfaatannya dapat menghasilkan energi dalam jumlah yang cukup besar. Dalam sehari bisa terjadi hingga dua kali siklus pasang surut, oleh karena waktu siklus bisa diperkirakan (kurang lebih setiap 12,5 jam sekali) maka suplai listriknya pun relatif lebih dapat diandalkan daripada pembangkit listrik bertenaga ombak.

Kekurangan terbesar dari pembangkit listrik tenaga pasang surut adalah mereka hanya dapat menghasilkan listrik selama ombak mengalir masuk (pasang) ataupun mengalir keluar (surut), yang terjadi hanya selama kurang lebih 10 jam per harinya. Namun, karena waktu operasinya dapat diperkirakan, maka ketika PLTPs tidak aktif, dapat digunakan pembangkit listrik lainnya untuk sementara waktu hingga terjadi pasang surut lagi.

Mekanisme perubahan energi pasang surut laut menjadi energi listrik terlihat pada gambar berikut :



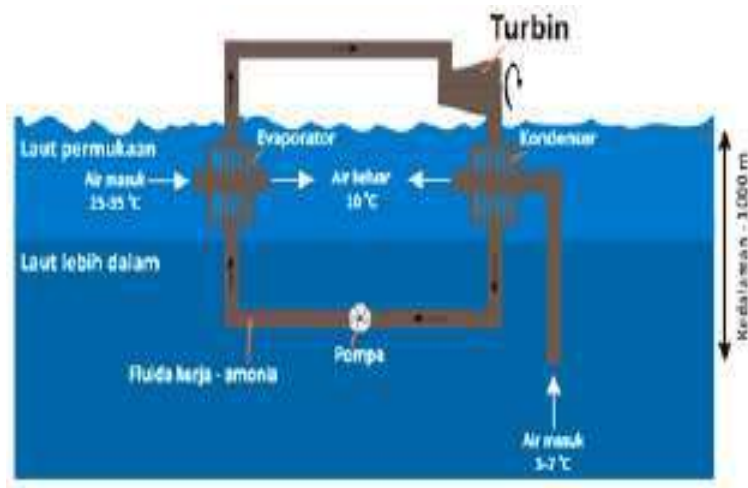
Gambar 1. 6 Skema PLT Pasang Surut (sumber : Tarigan,2020)

c. hasil konversi energi panas laut (*ocean thermal energy conversion*)

Secara alami terdapat perbedaan temperatur antara air di kedalaman dengan permukaan laut. Temperatur di permukaan laut pada umumnya lebih tinggi karena panas dari sinar matahari diserap sebagian oleh permukaan laut. Perbedaan ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit energi listrik yang disebut dengan konversi energi panas laut (*Ocean Thermal Energy Conversion* atau OTEC).

Perbedaan temperatur antara permukaan yang hangat dengan air laut dalam yang dingin dibutuhkan minimal 25oC agar dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik. Teknologi OTEC biasanya memanfaatkan fluida kerja yang mudah menguap seperti misalnya amonia. Gambar 1.7 menunjukkan diagram sebuah sistem pembangkit listrik

tenaga panas laut dengan fluida kerja amonia siklus tertutup.

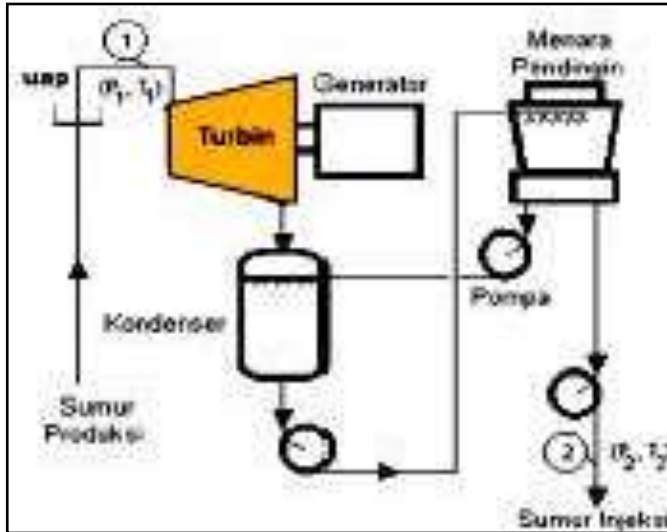


Gambar 1. 7 Skema PLT Panas Laut (Sumber : Tarigan, 2020)

6. energi panas bumi

Energi panas bumi merupakan energi panas yang bersumber dari dalam Bumi. Inti Bumi memiliki suhu yang panas, bahkan dapat melelehkan bebatuan. Suhu lapisan Bumi meningkat satu derajat Celsius setiap penurunan 30 hingga 50 m di bawah permukaan tanah. Suhu Bumi pada kisaran 3000 meter di bawah permukaan cukup panas untuk merebus air, sehingga saat air bawah tanah meresap mendekati bebatuan panas maka suhu air meningkat menjadi sangat panas atau bahkan berubah menjadi uap.

Enagi panas bumi bersifat terbarukan karena air yang diambil dari Bumi dimasukkan kembali secara terus-menerus ke dalam tanah setelah didinginkan di pembangkit listrik. Skema yang menunjukkan proses perubahan energi panas bumi menjadi energi listrik dalam sistem pembangkit listrik panas bumi terlihat seperti pada gambar 1.8



Gambar 1. 8 Skema Pembangkit Listrik Panas Bumi

(Sumber : Putra, 2015)

1.3 Pengguna Energi

Pengguna energi baik energi fosil maupun energi terbarukan di berbagai negara, seperti halnya di Indonesia dibedakan menurut sektor pengguna energi yang meliputi: sektor industri, sektor rumah tangga, sektor transportasi, sektor pertanian dan sektor lainnya. Energi yang dikonsumsi oleh pengguna energi disebut sebagai energi akhir (*Final Energy*).

1. Pengguna Energi Sektor Industri

Seiring dengan berkembangnya sektor industri menyebabkan terjadinya peningkatan konsumsi energi dalam proses produksi untuk menghasilkan suatu produk. Di Indonesia dalam rentang waktu 1990-2008, konsumsi energi sektor industri meningkat sebesar 5.57 persen per tahun dari 151.91 juta SBM menjadi 372.55 juta SBM. Jenis energi yang dikonsumsi oleh sektor industri meliputi energi batubara, BBM, biomas, gas dan listrik.

2. Pengguna Energi Sektor Rumah tangga

Energi sangat dibutuhkan oleh sektor rumah tangga untuk berbagai keperluan, diantaranya adalah penerangan, memasak, pemanasan/pendinginan ruangan, dan berbagai kegiatan rumah tangga yang lain. Energi yang dikonsumsi oleh rumah tangga meliputi: batubara, BBM, gas, biomassa dan listrik. Jenis energi batubara yang dikonsumsi oleh rumah tangga adalah briket batubara yang jumlahnya sangat kecil sekali, dan jenis BBM yang dikonsumsi adalah minyak tanah. Energi biomassa yang dikonsumsi oleh rumah tangga berupa kayu bakar, arang, biogas dan lainnya yang digunakan untuk memasak.

3. Pengguna Energi Sektor Transportasi

Sarana transportasi sangat diperlukan dalam rangka memobilisasi barang maupun orang dari suatu tempat ke tempat lain. Sehubungan dengan konsumsi energi, sektor transportasi yang dimaksud mencakup sarana transportasi yang digerakkan oleh mesin atau kendaraan bermotor. Terdapat tiga jenis energi yang dikonsumsi oleh sektor transportasi yaitu BBM, gas dan listrik.

4. Pengguna Energi Sektor Pertanian

Sektor pertanian merupakan salah satu sektor yang menghasilkan salah satu bentuk energi terbarukan yaitu energi biomassa. Energi biomassa adalah energi yang dihasilkan dari tumbuhan dan kotoran hewan, atau sisa dari hasil pengolahan industri seperti industri tebu. Bahan baku dari biomas yang dihasil oleh sektor pertanian sangat berlimpah. Energi biomassa diharapkan yang bakal dapat mengganti energi fosil yang semakin langka. Di sisi lain sektor pertanian merupakan sektor pengguna energi yang mengkonsumsi energi fosil paling rendah dibandingkan sektor-sektor yang lain (sektor industri, rumah tangga dan transportasi). Peran sebagai produsen dan pengguna energi fosil terkecil menjadikan sektor pertanian memiliki peranan yang sangat penting dalam penyediaan energi.

5. Pengguna Energi Sektor Lainnya

Sektor lainnya dalam pengelompokan pengguna energi adalah sektor-sektor lain yang tidak termasuk ke dalam sektor-sektor yang telah disebut pada bagian terdahulu. Sektor lain yang dimaksud adalah seperti sektor perdagangan, hotel dan restoran, komersial dan lain-lain. Sektor perdagangan, restoran dan hotel, serta komersial lainnya dimasukkan sebagai sektor lainnya karena sektor-sektor tersebut memiliki komposisi yang kecil sebagai pengguna energi. Sektor lainnya mengkonsumsi jenis energi BBM, gas, biomas dan listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Tim Contained Energy Indonesia. 2014. *Buku Panduan Energi yang Terbarukan*. Jakarta : Program Nasional Pemberdayaan Masyarakat, Kementrian Dalam Negeri RI
- Tarigan, E, 2020. *Energi Terbarukan*. Surabaya : Universitas Surabaya.
- Lubis, A, 2007. *Energi Terbarukan dalam Pembangunan Berkelanjutan* . Jurnal Teknik Lingkungan, 8(2), 155 -162.
- Elinur, dkk. Perkembangan konsumsi dan Penyediaan Energi pada Perekonomian Indonesia. Indonesian Journal of Agricultural Economics. (IJAE), 2(1) : 97 – 119.
- Thamrin, S, dkk. 2019. *TEnergi Baru dan Terbarukan* . Jakarta : Universitas Pertahanan.
- bagus.blogspot.com, *Pembangkit Listrik Gelombang Air Laut* .
<http://bagustris.blogspot.com/2015/01/student-note-pembangkit-listrik.html> (diakses : 12-3-2024).
- zhanaruminate.blogspot.com., *Pembangkit Listrik Tenaga Biogas*.
<http://zhanaruminate.blogspot.com/2014/10/pembangkit-listrik-tenaga-biogas.html> (diakses : 12/3/2024).
- sanfordlegenda.blogspot.com. *Pembangkitan listrik memanfaatkan tenaga angin*.
<http://sanfordlegenda.blogspot.com/2013/09/Pembangkit-listrik-memanfaatkan-tenaga-angin.html>. (diakses : 12/3/2024)
- taufiqurrokhman.wordpress.com, *Teknik Pembangkit Listrik*
<https://taufiqurrokhman.wordpress.com/tag/plta/> (diakses : 12/3/2024)
- armand10dma.com. *Pembangkit Listrik Tenaga Surya*,
<http://armand10dma.blogspot.com/2011/08/v-behaviorurldefaultvmlo.html> (diakses : 12/3/2024)

BAB 2

KONSEP ENERGI

Oleh Sarmidi

2.1 Energi

Energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha, yang dapat berupa energi, cahaya, mekanika, ilmu pengetahuan atau elektromagnetisme, sesuai dengan Peraturan Nomor 30 Tahun 2007. Kenyamanan, kewajaran, kemahiran yang adil, peningkatan nilai tambah, pemeliharaan, bantuan pemerintah daerah, perlindungan terhadap kehidupan kemampuan alam, keberagaman masyarakat, dan penggabungan dengan menitikberatkan pada kemampuan masyarakat sebagai aturan bagi pengelolaan dan penggunaan energi. Perkembangan saat ini dimungkinkan karena orang telah berhasil mengubah energi mulai dari satu struktur ke seluruh struktur, lalu ke struktur berikutnya dan kemudian menggunakannya untuk menjalankan bisnis. Manusia menggunakan energi untuk berbagai hal, misalnya untuk berjalan-jalan dan bersepeda, untuk menggerakkan kendaraan di sepanjang jalan dan perahu di atas air, untuk menyiapkan makanan di oven, untuk membuat es di dalam pendingin, untuk penerangan rumah dan tempat kerja, untuk mengantarkan barang, dan untuk mengirim penjelajah luar angkasa ke luar angkasa. Energi pada umumnya bersifat teoritis dan sulit untuk dibuktikan, meskipun faktanya kehadirannya dapat dirasakan. Energi dibutuhkan sepanjang

kehidupan sehari-hari, tanpa energi makhluk hidup tidak dapat berbuat apa-apa.

2.1.1 Bentuk Energi

Alam menyediakan banyak sekali sumber energi yang dapat dimanfaatkan oleh manusia. Angin, air, cahaya, minyak, bahkan suara mempunyai energi. jenis atau bentuk-bentuk energi yang bisa kamu ketahui, di antaranya sebagai berikut:

1. Energi Potensial: Energi yang dimiliki oleh sebuah objek karena posisi atau ketinggian relatifnya terhadap permukaan bumi atau titik referensi lainnya. Contohnya adalah energi potensial gravitasi.
2. Energi Kinetik: Energi yang dimiliki oleh sebuah objek karena geraknya. Contohnya adalah energi kinetik sebuah mobil yang bergerak.
3. Energi Mekanik: Gabungan antara energi potensial dan energi kinetik dari sebuah sistem. Ini adalah total energi yang dimiliki oleh sebuah benda karena posisi dan geraknya.
4. Energi Listrik: Energi yang dihasilkan oleh aliran muatan listrik. Ini bisa berasal dari sumber seperti baterai, generator listrik, atau panel surya.
5. Energi Panas: Energi yang terkait dengan gerakan atom dan molekul dalam sebuah benda. Ini mungkin berasal dari panas matahari, api, atau proses kimia.
6. Energi Kimia: Energi yang terkandung dalam ikatan kimia antara atom dalam sebuah zat. Ini dapat dilepaskan melalui reaksi kimia, seperti pembakaran bahan bakar.
7. Energi Cahaya: Bentuk energi elektromagnetik yang terlihat oleh mata manusia. Ini bisa berasal dari berbagai sumber seperti matahari, lampu, atau laser.
8. Energi Bunyi: Energi yang terkait dengan gelombang suara yang merambat melalui medium seperti udara, air, atau padat.

9. Energi Nuklir: Energi yang terkandung dalam inti atom. Reaksi nuklir seperti fisi atau fusi nuklir berpotensi melepaskannya.

2.1.2 Perubahan Energi

Pergeseran energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya disebut transisi energi. Hal ini sesuai dengan prinsip kekekalan energi, yang menyatakan bahwa energi dapat berubah bentuk tetapi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan. Istilah "perubahan energi" menggambarkan konversi energi antara berbagai bentuk. Menurut hukum kekekalan energi, jumlah total energi dalam sistem isolasi tidak pernah berubah; Artinya, energi hanya dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya dan tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan.

Dalam fisika, istilah "perubahan energi" menggambarkan bagaimana bentuk perubahan energi. Para ahli fisika mempelajari dan memahami perubahan energi sebagai bagian dari hukum kekekalan energi dan prinsip-prinsip termodinamika. Berikut adalah beberapa pandangan dari ahli fisika tentang perubahan energi:

1. Hukum Kekekalan Energi: Hukum kekekalan energi yang menyatakan bahwa energi yang terdapat dalam sebuah sistem terisolasi akan tetap konstan. Sehingga, energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, tapi dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk energi lain.
2. Prinsip Termodinamika: Perubahan energi juga dipahami dalam konteks prinsip-prinsip termodinamika, termasuk hukum pertama termodinamika yang berbicara tentang pelestarian energi dan hukum kedua termodinamika yang membahas konsep entropi dan arah perubahan energi dalam proses alami.
3. Transformasi Energi: Para ahli fisika mempelajari berbagai proses di mana energi berubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya, seperti konversi energi

panas menjadi energi mekanik dalam mesin, konversi energi listrik menjadi cahaya dalam lampu, atau konversi energi kinetik menjadi energi potensial dalam gerakan benda.

4. Efisiensi Energi: Penting bagi para ahli fisika untuk memahami efisiensi energi dalam perubahan energi. Mereka mempelajari faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi, seperti gesekan, kehilangan panas, dan proses konversi energi, dengan tujuan meningkatkan efisiensi dalam berbagai aplikasi teknologi.
5. Penerapan dalam Teknologi: Pengetahuan tentang perubahan energi digunakan dalam pengembangan teknologi yang lebih efisien, seperti pembangkit listrik, kendaraan ramah lingkungan, dan perangkat energi terbarukan, untuk memanfaatkan sumber daya energi secara lebih efisien dan akan tetap berkelanjutan.

2.1.3 Contoh Perubahan Energi

Misalnya, ketika sebuah bola dilempar ke atas saat mencapai titik tertinggi, energi kinetiknya berubah menjadi energi potensial gravitasi. Energi potensial gravitasi kembali menjadi energi kinetik ketika bola jatuh kembali. Selama proses ini, total energi (energi kinetik plus energi potensial) tetap konstan, meskipun bentuk energinya berubah. Ini adalah ilustrasi dari konsep kekekalan energi dan perubahan energi. Berikut ini contoh dalam berbagai kasus yang lain yaitu :

1. Boiling Air Panas: Ketika air dipanaskan, energi panas dari sumber pemanas (misalnya, kompor) diserap oleh molekul air. Ketika suhu mencapai titik didih, energi panas ini mengubah air menjadi uap air, sehingga energi panas menjadi energi kinetik molekul dalam uap.
2. Mobil Bergerak: Ketika mobil mulai bergerak, energi kimia dalam bahan bakar (seperti bensin) diubah menjadi energi kinetik oleh mesin mobil. Ketika mobil

- berhenti, energi kinetik mobil berubah kembali menjadi energi panas melalui gesekan ban dengan jalan.
3. **Pencahayaan Lampu:** Ketika lampu dinyalakan, energi listrik dari sumber daya (misalnya, listrik dari stopkontak) dikonversi menjadi energi cahaya dan energi panas oleh lampu.
 4. **Baterai Ponsel:** Ketika ponsel Anda digunakan, energi kimia yang terdapat dalam baterai dikonversi menjadi energi listrik. Energi listrik ini kemudian digunakan untuk mengoperasikan layar, prosesor, dan komponen lainnya di dalam ponsel.
 5. **Energi Angin:** Ketika angin bertiup, energi kinetik angin diubah menjadi energi mekanik oleh turbin angin. Turbin angin kemudian mengubah energi mekanik tersebut menjadi energi listrik melalui generator.

2.1.4 Hukum Kekekalan Energi

Energi yang terdapat di dalam sistem terisolasi akan tetap konstan, menurut hukum ini. Hal ini menunjukkan bahwa energi hanya dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya; itu tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan. Salah satu landasan fisika adalah hukum kekekalan energi, kadang-kadang disebut sebagai prinsip kekekalan energi atau hukum pertama termodinamika. Hal ini menyatakan bahwa energi total dalam suatu sistem yang terisolasi tetap konstan sepanjang waktu. Hal ini menyiratkan bahwa energi hanya dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya; itu tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan. Ide mendasar ini menjadi landasan bagi berbagai fenomena ilmu pengetahuan dan teknologi yang kita lihat sehari-hari. Hukum kekekalan energi, juga dikenal sebagai prinsip kekekalan energi atau hukum pertama termodinamika, adalah salah satu hukum fundamental

dalam fisika. Uraian hukum kekekalan energi dapat dibagi menjadi beberapa poin kunci:

1. **Energi Total Tetap Konstan:** Menurut hukum kekekalan energi, energi total yang terdapat dalam suatu sistem tertutup atau terisolasi tidak berubah seiring waktu yang berjalan. Energi keseluruhan sistem tetap konstan meskipun energi dapat berubah bentuk.
2. **Dilarang Penciptaan atau Pemusnahan Energi:** Menurut hukum ini, energi tidak dapat dihasilkan atau dihilangkan. Dengan kata lain, energi tidak bisa hilang begitu saja atau muncul begitu saja. Meskipun demikian, konversi energi memungkinkan terjadinya transformasi energi menjadi berbagai bentuk.
3. **Perubahan Energi:** Energi dapat berubah bentuk meskipun tingkat energi keseluruhan sistem tetap konstan. Energi kinetik misalnya dapat berubah menjadi energi potensial dan sebaliknya. Begitu pula energi panas bisa diubah menjadi energi mekanik atau energi listrik, dan sebagainya.
4. **Sistem Terisolasi:** Konsep hukum kekekalan energi berlaku khususnya untuk sistem yang terisolasi atau tertutup, di mana tidak ada energi yang masuk atau keluar dari sistem tersebut. Namun, dalam dunia nyata, sistem sering tidak sepenuhnya terisolasi, dan energi dapat masuk atau keluar dari sistem. Namun, prinsip hukum ini masih berlaku jika kita memperhitungkan energi yang masuk dan keluar dari sistem.

Hukum kekekalan energi memiliki implikasi yang luas dalam fisika dan ilmu pengetahuan lainnya. Ini membantu kita memahami bagaimana energi bekerja dalam berbagai sistem alam semesta, mulai dari pergerakan benda hingga proses kimia dan reaksi nuklir.

2.1.5 Efisiensi Energi

Efisiensi merujuk pada seberapa baik energi yang dimasukkan ke dalam sistem dikonversi menjadi energi yang berguna atau diinginkan. Efisiensi bisa dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti gesekan, kehilangan panas, dan proses konversi energi. Efisiensi energi juga merupakan ukuran seberapa baik suatu sistem atau proses mengkonversi energi yang dimasukkan ke dalamnya menjadi energi yang berguna atau diinginkan. Pada dasarnya, efisiensi energi menggambarkan seberapa sedikit energi yang hilang dalam proses konversi. Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi energi antara lain:

1. Gesekan: salah satu penyebab hal utama kehilangan energi dalam berbagai proses. Ketika dua permukaan bergerak satu sama lain, energi kinetik diubah menjadi energi panas karena gesekan antar permukaan tersebut.
2. Kehilangan Panas: Kehilangan panas terjadi ketika energi panas "bocor" dari sistem ke lingkungan sekitarnya. Misalnya, dalam proses pembangkitan listrik, bagian dari energi panas dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar akan hilang ke udara sekitar melalui pendinginan.
3. Proses Konversi Energi: Efisiensi juga dipengaruhi oleh seberapa efisien proses konversi energi itu sendiri sehingga dapat dirubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Proses konversi energi yang lebih efisien akan menghasilkan lebih sedikit energi yang terbuang.
4. Desain dan Teknologi: Desain sistem dan teknologi yang digunakan juga berperan dalam menentukan efisiensi energi. Penggunaan teknologi canggih dan perbaikan desain dapat meningkatkan efisiensi secara signifikan.

Dengan meningkatkan efisiensi energi menjadi suatu hal yang sangat penting untuk mengurangi konsumsi energi yang berlebih secara keseluruhan, mengurangi emisi efek

dari gas rumah kaca, dan sumber daya alam dapat dihemat secara signifikan. Oleh karena itu, banyak upaya dilakukan di berbagai sektor untuk meningkatkan efisiensi energi, baik melalui inovasi teknologi maupun perubahan perilaku.

2.1.6 Sistem Terisolasi

Konsep hukum kekekalan energi berlaku khususnya untuk sistem yang terisolasi atau tertutup, di mana tidak ada energi yang masuk atau keluar dari sistem tersebut. Namun, dalam dunia nyata, sistem sering tidak sepenuhnya terisolasi, dan energi dapat masuk atau keluar dari sistem. Namun, prinsip hukum ini masih berlaku jika kita memperhitungkan energi yang masuk dan keluar dari sistem. Sistem terisolasi merupakan konsep yang digunakan dalam fisika untuk mendefinisikan suatu sistem di mana tidak ada pertukaran energi atau materi dengan lingkungannya. Dalam sistem terisolasi, energi tidak dapat masuk atau keluar dari sistem tersebut.

Namun, dalam dunia nyata, sistem sering tidak sepenuhnya terisolasi. Misalnya, sistem fisik seperti ruang tertutup dalam praktiknya hampir tidak mungkin ditemukan. Dalam kasus seperti itu, kita sering harus memperhitungkan energi yang masuk atau keluar dari sistem ketika menganalisis perilaku sistem tersebut. Meskipun demikian, prinsip hukum kekekalan energi tetap berlaku. Ini berarti bahwa total energi dalam sistem dan lingkungannya tetap konstan, meskipun energi dapat berpindah antara sistem dan lingkungannya. Misalnya, ketika kita memperhitungkan energi yang masuk atau keluar dari sistem, kita masih akan menemukan bahwa total energi dalam sistem dan lingkungannya tetap konstan seiring waktu, sesuai dengan hukum kekekalan energi.

Dengan memahami konsep ini, kita dapat menggunakan prinsip hukum kekekalan energi untuk menganalisis berbagai sistem fisik dalam dunia nyata, meskipun sistem tersebut mungkin tidak sepenuhnya terisolasi.

2.1.7 Penggunaan Energi

Energi digunakan dalam berbagai aspek kehidupan sehari-hari, mulai dari transportasi, industri, hingga rumah tangga. Memahami cara menggunakan energi secara efisien dan bertanggung jawab sangat penting untuk keberlanjutan lingkungan dan ekonomi. Penggunaan energi merupakan aspek yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari dan memiliki dampak besar pada lingkungan dan ekonomi. Berikut adalah beberapa poin penting terkait penggunaan energi:

1. **Transportasi:** Transportasi adalah salah satu sektor terbesar pengguna energi, terutama dalam bentuk bahan bakar fosil seperti bensin dan solar. Memilih transportasi yang lebih efisien energi, seperti kendaraan listrik atau transportasi publik, dapat membantu mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi gas rumah kaca.
2. **Industri:** Industri menggunakan energi untuk berbagai keperluan, termasuk pemanasan, pendinginan, dan penggerak mesin. Memperkenalkan teknologi yang lebih efisien energi dan praktik produksi yang berkelanjutan dapat membantu mengurangi konsumsi energi dan dampak lingkungan industri.
3. **Rumah Tangga:** Rumah tangga menggunakan energi untuk penerangan, pemanas, pendingin udara, dan berbagai perangkat elektronik. Mengadopsi teknologi hemat energi seperti lampu LED, perangkat rumah tangga berlabel Energy Star, dan praktik efisiensi energi seperti isolasi termal dapat membantu mengurangi konsumsi energi rumah tangga.

4. Keberlanjutan Lingkungan: Penggunaan energi yang berlebihan dari sumber-sumber non-terbarukan seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam dapat menyebabkan kerusakan lingkungan, termasuk polusi udara, perubahan iklim, dan degradasi lahan. Sehingga mengganti ke sumber energi terbarukan dan dapat meningkatkan efisiensi energi merupakan langkah penting dalam menjaga keberlanjutan lingkungan.
5. Keberlanjutan Ekonomi: Penggunaan energi yang efisien juga berdampak pada keberlanjutan ekonomi, karena mengurangi biaya operasional dan meningkatkan daya saing. Investasi dalam energi terbarukan dan efisiensi energi juga dapat menciptakan lapangan kerja baru dan mendorong inovasi teknologi.

Dengan memahami pentingnya penggunaan energi yang efisien dan bertanggung jawab, kita dapat berperan dalam menjaga lingkungan, mengurangi emisi efek dari gas rumah kaca, dan memastikan keberlanjutan ekonomi yang inklusif.

2.2 Sumber Energi

Sumber energi ialah segala hal yang dapat menghasilkan energi dalam bentuk yang dapat digunakan untuk melakukan kerja atau menyediakan daya. Ini dapat berupa bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam, sumber energi terbarukan seperti matahari, angin, air, dan biomassa, serta sumber energi lainnya seperti nuklir. Sumber energi menjadi fundamental dalam memenuhi kebutuhan energi manusia, baik untuk pembangkit listrik, pemanasan, transportasi, industri, dan berbagai keperluan lainnya. Pemahaman dan pemanfaatan sumber energi yang efisien dan berkelanjutan menjadi semakin penting dalam menjaga ketersediaan energi yang memadai sambil meminimalkan dampak lingkungan.

Dalam konteks sumber energi, ada dua kategori utama:

1. **Sumber Energi Terbarukan:** Ini adalah sumber energi yang dapat diperbarui dalam waktu yang relatif singkat oleh alam, seperti matahari, angin, air, dan biomassa. Penggunaan sumber energi terbarukan dianggap lebih berkelanjutan karena mereka tidak habis terpakai dan tidak memberikan emisi gas rumah kaca yang signifikan.
2. **Sumber Energi Tak Terbaharui:** Ini adalah sumber energi yang berasal dari bahan-bahan yang terbentuk dalam waktu yang sangat lama dan tidak dapat diperbarui dalam skala waktu manusia, seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Penggunaan sumber energi tak terbaharui cenderung menyebabkan degradasi lingkungan dan ketergantungan yang berkelanjutan terhadap sumber daya yang terbatas.

2.2.1 Sumber Energi Tak Terbaharui

Sumber energi yang diklasifikasikan sebagai sumber energi tak terbarukan adalah sumber energi yang tidak dapat diperoleh kembali secara cepat oleh alam sehingga dapat dimanfaatkan oleh manusia. Hal ini berarti penggunaan sumber energi tak terbarukan akan mencegah sumber energi tersebut tergantikan atau diregenerasi dengan cepat. Sumber energi tak terbarukan misalnya:

1. **Minyak Bumi:** Salah satu sumber energi utama yang digunakan di seluruh dunia untuk transportasi, pembangkit listrik, dan penggunaan lainnya adalah minyak bumi. Itu dikeluarkan dalam bentuk cair dari interior bumi.
2. **Gas Alam:** Gas alam adalah sumber energi yang banyak digunakan untuk pembangkit listrik, pemanasan, dan aplikasi industri lainnya. Seperti minyak bumi, gas alam juga diekstraksi dari perut bumi dalam bentuk gas.
3. **Batubara:** Batubara yaitu sumber dari energi fosil yang paling melimpah di dunia. Ini digunakan untuk pembangkit listrik, industri, dan pemanasan rumah.

Batubara terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan yang terkubur dan mengalami proses pembatubaraan selama jutaan tahun.

Sumber energi tak terbarukan ini memiliki keterbatasan karena mereka tidak dapat diperbarui dalam waktu singkat, dan penggunaan berlebihan dapat menyebabkan penipisan sumber daya dan dampak lingkungan yang serius, termasuk polusi udara dan perubahan iklim. Oleh karena itu, ada dorongan besar untuk beralih ke sumber energi terbarukan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

2.2.1 Sumber Energi Terbarukan

Sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang dapat diisi ulang atau diperbarui secara alami dalam waktu singkat dengan tetap mempertahankan proses yang berkelanjutan. Hal ini berbeda dengan sumber energi tak terbarukan, yang tidak dapat diregenerasi dalam jangka waktu hidup manusia karena terbentuk dalam jangka waktu yang sangat lama.

Berikut ini adalah beberapa contoh sumber energi terbarukan:

1. Matahari: Sumber energi paling melimpah di planet ini adalah energi matahari. Radiasi matahari yang dihasilkan matahari dapat digunakan untuk keperluan pemanasan dan pendinginan atau diubah ke energi listrik dengan menggunakan panel tenaga surya.
2. Angin: Energi angin tercipta dari pergerakan udara di atmosfer bumi. Angin dapat menggerakkan turbin angin penghasil listrik. Fasilitas penghasil tenaga angin berkembang biak di banyak negara.
3. Air: Energi air terdapat pada air terjun, aliran sungai, dan pasang surut. Pembangkit listrik tenaga air menghasilkan energi listrik dengan menggunakan energi kinetik air untuk memutar turbin.

4. Biomassa: Biomassa merupakan materi organik yang dapat diubah menjadi energi melalui proses pembakaran atau fermentasi. Contoh biomassa termasuk kayu bakar, limbah pertanian dan juga limbah organik yang lain. Biomassa dapat digunakan untuk menghasilkan listrik, panas dan bahan bakar bio.
5. Panas Bumi: Panas bumi adalah panas yang dihasilkan oleh aktivitas geotermal di dalam bumi. Panas ini dapat diekstraksi dan digunakan untuk menghasilkan energi listrik melalui pembangkit listrik tenaga panas bumi.

Dalam Penggunaan sumber energi terbarukan menjadi penting dalam usaha mengurangi ketergantungan pada bahan bakar yang berasal dari fosil dan mengurangi emisi efek gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap pemanasan global. Oleh karena itu, fokus utama upaya menjaga kelestarian lingkungan hidup dan memenuhi kebutuhan energi manusia yang terus meningkat adalah pada pengembangan dan penerapan teknologi energi terbarukan.

2.2.1 Penghematan Energi

Penghematan energi adalah upaya untuk menggunakan energi secara efisien dan bertanggung jawab dengan tujuan mengurangi konsumsi energi tanpa mengorbankan kenyamanan atau kinerja. Penghematan energi memiliki banyak manfaat, termasuk mengurangi biaya energi, melindungi lingkungan, dan mengurangi ketergantungan pada sumber energi yang terbatas.

Berikut adalah beberapa cara untuk melakukan penghematan energi:

1. Pemakaian Peralatan Hemat Energi: Menggunakan peralatan elektronik dan peralatan rumah tangga yang dirasa hemat energi sehingga akan dapat mengurangi konsumsi energi secara signifikan. Pilih peralatan dengan label Energy Star atau rating energi yang cukup tinggi.

2. Pengaturan Suhu: Mengatur suhu rumah atau kantor agar lebih efisien dapat mengurangi penggunaan pemanas dan pendingin udara. Gunakan termostat pintar atau termostat programabel untuk mengatur suhu secara otomatis saat tidak ada orang di rumah.
3. Penggunaan Cahaya: Matikan lampu atau perangkat pencahayaan saat tidak digunakan, dan manfaatkan cahaya alami sebanyak mungkin. Pergunakanlah lampu-lampu untuk penerangan dengan lampu model LED sehingga lebih hemat.
4. Isolasi dan Penutup: Pastikan rumah atau bangunan terisolasi dengan baik untuk mencegah kebocoran udara, yang dapat mengurangi kebutuhan pemanasan dan pendinginan. Gunakan penutup jendela, tirai, atau penutup pintu untuk menjaga suhu ruangan.
5. Penggunaan Air: Mengurangi konsumsi air panas dengan menggunakan shower pendek dan memperbaiki keran yang bocor dapat membantu menghemat energi yang digunakan untuk memanaskan air.
6. Transportasi: Akan lebih baik menggunakan transportasi umum, contohnya bersepeda, atau berjalan kaki jika memungkinkan, kemudian gunakan transportasi umum seperti Bus atau kereta api atau pilih kendaraan yang lebih efisien bahan bakarnya seperti mobil hybrid atau kendaraan listrik.
7. Rutinitas Harian: Kecilkan kebutuhan energi dengan mengatur rutinitas harian, seperti mematikan peralatan elektronik saat tidak digunakan, mematikan komputer atau televisi saat tidak dipakai, dan menggunakan charger untuk pengisian daya yang hemat energi.
8. Edukasi dan Kesadaran: Pentingnya penghematan energi dan langkah-langkah yang dapat diambil untuk mengurangi konsumsi energi sehingga akan tercipta perubahan yang berkelanjutan dan akan menjadi lebih baik lagi.

Dengan menerapkan praktik-praktik penghematan energi ini dalam kehidupan sehari-hari, kita dapat mengurangi jejak energi kita, menghemat uang, dan berkontribusi pada pelestarian lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Petrecca, G. 2014. *Energy Conversion and Management: Principles and Applications*. Swiss: Springer International Publishing
- Sekretaris Jendral Dewan Energi Nasional. 2016. "Outlook Energi Indonesia". Jakarta
- Sutarno. (2013). *Sumber Daya Energi*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Undang-Undang No 30 Tahun 2007 tentang Energi.

BAB 3

BAHAN BAKAR FOSIL

Oleh Apriansyah Zulatama

3.1 Pendahuluan

Bahan bakar fosil telah lama menjadi tulang punggung perekonomian dan pembangunan global, memberikan energi yang mendukung revolusi industri dan pertumbuhan ekonomi yang pesat. Namun, dengan keberlanjutan sumber daya alam yang semakin memprihatinkan dan dampak lingkungan yang semakin terasa, pertanyaan tentang masa depan bahan bakar fosil semakin mendesak untuk dijawab. Dalam bab ini, kita akan menjelajahi peran yang dimainkan oleh bahan bakar fosil dalam evolusi energi manusia, tantangan lingkungan yang dihadapinya, dan relevansinya dalam konteks energi terbarukan.

Pada akhir abad ke-18, revolusi industri yang dipicu oleh penggunaan batu bara sebagai bahan bakar mengubah lanskap ekonomi dan sosial dunia. Kemudian, revolusi minyak bumi pada awal abad ke-20 mempercepat pertumbuhan industri dan mobilitas manusia secara global. Begitu juga dengan gas alam yang semakin diandalkan sebagai sumber energi yang bersih dan efisien. Pemanfaatan bahan bakar fosil untuk penggunaan bahan bakar kendaraan bermotor bensin telah mengalami eksplorasi yang panjang sejak lama (Moch Dima R, dkk, 2023).

Namun, semakin terbukanya mata terhadap dampak lingkungan dari penggunaan bahan bakar fosil telah menimbulkan kekhawatiran besar. Polusi udara yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar fosil telah mengarah pada masalah kesehatan publik yang serius, sementara emisi gas rumah kaca yang tinggi menyumbang secara signifikan terhadap perubahan iklim global yang semakin merusak. Salah satu penyumbang terbesar penggunaan sumber bahan bakar fosil di Indonesia adalah sepeda motor, yang berdampak signifikan terhadap lingkungan dan kesehatan manusia (Ferdian, 2023).

Dalam konteks ini, penting bagi kita untuk memahami peran bahan bakar fosil dalam sejarah energi manusia, serta mengenali tantangan dan konsekuensi lingkungan yang dihadapinya. Namun, demikian juga pentingnya untuk melihat ke depan, mencari solusi yang inovatif dan berkelanjutan untuk mengurangi ketergantungan kita pada bahan bakar fosil dan beralih menuju sumber energi yang lebih ramah lingkungan.

3.2 Pembentukan Bahan Bakar Fosil

Pembentukan Bahan Bakar Fosil merupakan proses alami yang memakan waktu ribuan hingga jutaan tahun, yang melibatkan serangkaian peristiwa geologis kompleks (Lelya dkk, 2023). Proses ini mengubah sisa-sisa organik menjadi tiga jenis bahan bakar fosil utama: batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Proses dimulai dengan penumpukan sisa-sisa organik dari tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme di dasar lautan atau rawa-rawa (Speight, 2016). Tekanan dan panas yang terjadi di bawah lapisan tanah menyebabkan dekomposisi lambat bahan organik ini (Gary, J. H, 2001). Dalam kondisi yang hampir tanpa oksigen, sisa-sisa organik mulai mengalami transformasi menjadi senyawa karbon kompleks. Tekanan dan panas yang terus-menerus dari lapisan tanah yang menumpuk di atasnya menyebabkan perubahan lebih lanjut dalam komposisi kimia

bahan organik (Speight, J. G., 2014). Proses ini dikenal sebagai diagenesis, di mana sisa-sisa organik mengalami kompresi menjadi materi padat yang lebih padat. Di bawah tekanan yang meningkat, karbon dari sisa-sisa organik berubah menjadi hidrokarbon yang kaya energi.

Seiring berjalannya waktu, tekanan dan panas yang berkepanjangan dari lapisan tanah yang semakin dalam menyebabkan perubahan lanjutan dalam struktur molekul hidrokarbon. Molekul ini kemudian berkumpul bersama-sama membentuk deposit besar yang dikenal sebagai batu bara, minyak bumi, atau gas alam tergantung pada kondisi geologis lokal dan komposisi kimia awal bahan organik. Pemahaman akan proses pembentukan ini sangat penting untuk menghargai nilai bahan bakar fosil. Proses alami yang memakan waktu ribuan hingga jutaan tahun ini menghasilkan sumber daya energi yang berharga bagi manusia (Lelya dkk, 2023). Namun, pemahaman ini juga memperjelas bahwa bahan bakar fosil adalah sumber daya alam terbatas yang tidak dapat diperbaharui dengan cepat, dan pemanfaatannya harus dikelola secara bijaksana untuk menjaga keberlanjutan lingkungan dan ekonomi. Melalui pemahaman yang lebih baik tentang proses pembentukan bahan bakar fosil, kita dapat lebih menghargai keberlimpahan alam dan mendorong pengembangan sumber energi alternatif yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

3.3 Sejarah Penggunaan Bahan Bakar Fosil

Sejarah Penggunaan Bahan Bakar Fosil adalah kisah panjang perjalanan manusia dalam memanfaatkan sumber energi yang berasal dari batu bara, minyak bumi, dan gas alam (Lelya dkk, 2023). Sejarah penggunaan bahan bakar fosil telah menjadi inti dari evolusi industri dan perkembangan manusia selama beberapa abad terakhir. Penggunaan bahan bakar fosil

dimulai pada abad ke-18 dengan penggunaan batu bara sebagai sumber energi utama selama Revolusi Industri (Lelya dkk, 2023). Batu bara digunakan untuk menggerakkan mesin uap di pabrik-pabrik dan kereta api, mengubah paradigma produksi manusia. Revolusi ini mengubah pola hidup manusia, mempercepat urbanisasi, dan meningkatkan produktivitas industri secara signifikan.

Pada awal abad ke-20, penemuan dan eksploitasi ladang minyak bumi yang besar membawa era baru dalam penggunaan energi. Minyak bumi menjadi sumber energi utama untuk transportasi, industri, dan keperluan domestik. Kehadirannya memberikan kemudahan mobilitas yang belum pernah terjadi sebelumnya, mengubah pola perdagangan global, dan memengaruhi politik internasional secara signifikan. Sementara itu, gas alam juga mulai diakui sebagai sumber energi yang penting. Meskipun penggunaannya pada awalnya terbatas, gas alam semakin populer karena sifatnya yang bersih, efisien, dan fleksibel dalam berbagai aplikasi.

Penggunaan batu bara sebagai sumber energi dapat ditelusuri kembali ke zaman kuno. Di masa lalu, batu bara digunakan secara terbatas sebagai bahan bakar untuk pemanasan dan keperluan industri. Namun, pada abad ke-18, revolusi industri di Inggris membawa perubahan dramatis dalam penggunaan batu bara. Batu bara menjadi bahan bakar utama bagi mesin uap, yang menggerakkan berbagai industri seperti pertambangan, manufaktur, dan transportasi. Kekayaan sumber daya alam Indonesia, seperti minyak bumi, gas, timah, batubara, dan lain-lain, telah menarik perhatian bangsa asing, terutama pada tahun 1917 di mana bangsa Belanda secara khusus berusaha mengumpulkan data tentang endapan mineral dan batubara di Indonesia. Data tersebut kemudian dipublikasikan dalam *Jaarboek van het Mijnwezen in Nederlandsch Indie* sebagai bagian dari seri *Verslagen en*

Mededeelingen Betreffende Indische Delfstoffen en hare Toepassingen (Tama, 2021).

Revolusi industri yang dimulai pada abad ke-18 di Inggris menjadi titik balik dalam sejarah penggunaan bahan bakar fosil. Penggunaan batu bara dalam mesin uap mengubah cara produksi dilakukan secara radikal, meningkatkan efisiensi dan produktivitas industri (Lelya dkk, 2023). Proses pembuatan baja, tekstil, transportasi, dan berbagai sektor lainnya mengalami transformasi yang signifikan berkat kemajuan teknologi yang didorong oleh penggunaan bahan bakar fosil.

Pada awal abad ke-20, penemuan dan eksploitasi ladang minyak bumi yang besar di berbagai belahan dunia memicu pergeseran signifikan dalam lanskap energi dunia. Minyak bumi, dengan keunggulan mobilitas dan kemudahan transportasinya, menjadi bahan bakar utama dalam industri transportasi, termasuk untuk kendaraan bermotor dan pesawat terbang (Franky, 2023). Di samping itu, penggunaan gas alam juga meningkat sebagai sumber energi bersih dan efisien, terutama dalam pembangkit listrik dan pemanas rumah.

Perkembangan ini menandai peran penting bahan bakar fosil dalam mempercepat pertumbuhan ekonomi global. Namun, penggunaan berlebihan dan tidak terkontrol dari bahan bakar fosil juga telah menyebabkan masalah lingkungan serius, termasuk polusi udara, pemanasan global, dan perubahan iklim (Moch Dima R, dkk, 2023). Oleh karena itu, sementara bahan bakar fosil telah memberikan kontribusi besar terhadap kemajuan manusia, tantangan besar juga harus diatasi untuk memastikan keberlanjutan dan kelangsungan hidup planet ini.

3.4 Penggunaan dan Aplikasi

Penggunaan bahan bakar fosil telah meluas di berbagai sektor, menjadikannya tulang punggung aktivitas manusia modern. Berikut adalah gambaran aplikasi utama dari batu bara, minyak bumi, dan gas alam dalam berbagai bidang. Batu bara, minyak bumi, dan gas alam digunakan sebagai bahan bakar utama dalam berbagai proses industri, termasuk produksi baja, semen, kimia, dan banyak lagi. Proses-proses ini memerlukan energi yang besar, yang secara efisien diberikan oleh bahan bakar fosil (Tama, 2021).

Minyak bumi adalah komponen utama bahan bakar untuk kendaraan bermotor seperti mobil, truk, dan pesawat terbang. Sifatnya yang mudah dibawa dan energi yang padat membuatnya menjadi pilihan utama dalam transportasi modern (Franky, 2023). Meskipun ada upaya untuk mengembangkan kendaraan listrik dan bahan bakar alternatif lainnya, minyak bumi masih mendominasi sebagian besar transportasi di dunia.

Bahan bakar fosil juga banyak digunakan dalam pembangkit listrik. Batu bara, minyak bumi, dan gas alam sering digunakan sebagai bahan bakar dalam pembangkit listrik tenaga termal, yang menghasilkan listrik dengan memanaskan air untuk menghasilkan uap yang kemudian digunakan untuk memutar turbin (Hariana, 2020). Pembangkit listrik ini menyediakan listrik yang andal dan stabil untuk kebutuhan industri, komersial, dan rumah tangga.

Meskipun bahan bakar fosil menyediakan kekuatan dan kemampuan yang tak terbantahkan dalam memenuhi kebutuhan energi manusia, penggunaannya juga memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Polusi udara, emisi gas rumah kaca, dan degradasi lingkungan adalah beberapa contoh dampak negatif yang terkait dengan penggunaan bahan bakar fosil. Oleh karena itu, sementara bahan bakar fosil masih berperan sebagai sumber energi utama,

penting bagi kita untuk terus mencari alternatif yang lebih bersih dan berkelanjutan.

3.5 Dampak Lingkungan

Penggunaan bahan bakar fosil telah memberikan keuntungan besar dalam hal energi, industri, dan mobilitas manusia. Namun, keberadaannya juga membawa dampak serius terhadap lingkungan, yang semakin terasa di era modern ini. Penggunaan bahan bakar fosil secara massal yang dimulai selama Revolusi Industri abad ke-18 telah menyebabkan peningkatan emisi karbon secara drastis, (Roberto, 2024).

Pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan emisi gas beracun dan partikel-partikel halus yang mencemari udara. Gas seperti sulfur dioksida (SO_2) dan nitrogen oksida (NO_x) bereaksi dengan udara untuk membentuk hujan asam, yang merusak tanaman, hutan, dan infrastruktur. Partikel-partikel halus dapat menyebabkan masalah kesehatan serius, termasuk penyakit pernapasan, asma, dan penyakit kardiovaskular. Emisi gas rumah kaca dari pembakaran bahan bakar fosil, terutama karbon dioksida (CO_2), menyebabkan pemanasan global dan perubahan iklim yang tidak diinginkan. Akibatnya, suhu bumi meningkat, mengakibatkan cuaca ekstrem yang lebih sering terjadi, pencairan es kutub yang lebih cepat, dan kenaikan permukaan laut yang mengancam pulau-pulau kecil dan daerah pesisir. Proses ekstraksi, pengolahan, dan pembakaran bahan bakar fosil dapat menyebabkan pencemaran air dan air tanah. Limbah padat dan cair dari pertambangan dan pabrik-pabrik sering mengandung zat-zat beracun seperti merkuri, timbal, dan arsenik, yang dapat meracuni sumber air dan memengaruhi kesehatan manusia serta keberlangsungan ekosistem air. Eksploitasi bahan bakar fosil sering kali menyebabkan kerusakan langsung terhadap habitat alami dan ekosistem. Deforestasi untuk ekspansi tambang batu bara, pengeboran

minyak bumi di lautan yang rentan, dan penggunaan lahan yang besar untuk infrastruktur energi dapat mengancam keanekaragaman hayati dan menyebabkan kerusakan lingkungan yang parah.

3.6 Tantangan dan Alternatif

Meskipun bahan bakar fosil telah lama menjadi tulang punggung energi global, penggunaannya juga menimbulkan tantangan besar terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Untuk mengatasi tantangan ini, alternatif yang lebih bersih dan berkelanjutan perlu dipertimbangkan. Peningkatan polusi udara, pemanasan global, dan kerusakan lingkungan adalah tantangan utama yang dihadapi oleh penggunaan bahan bakar fosil. Dampak ini mengancam kesehatan manusia, keberlanjutan ekosistem, dan stabilitas iklim global. Tantangan ekonomi juga timbul dari ketergantungan pada bahan bakar fosil, termasuk fluktuasi harga minyak bumi, ketidakstabilan pasar energi, dan ketergantungan pada impor energi. Di samping itu, dampak sosial seperti kesenjangan ekonomi, ketidaksetaraan akses energi, dan konflik atas sumber daya juga menjadi masalah serius.

Untuk mengatasi tantangan ini, berbagai alternatif energi bersih telah diusulkan dan dikembangkan:

1. **Energi Terbarukan:** Matahari, angin, air, dan biomassa adalah sumber energi terbarukan yang tidak hanya bersih, tetapi juga tak terbatas. Pembangkit listrik tenaga surya, turbin angin, dan pembangkit listrik hidroelektrik adalah beberapa contohnya. Investasi dalam teknologi dan infrastruktur energi terbarukan dapat membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Pemanfaatan energi matahari sebagai bahan bakar terbarukan akan memberikan manfaat signifikan bagi lingkungan dengan mengurangi emisi gas rumah kaca dan polusi udara, karena

matahari merupakan sumber energi terbarukan yang tidak akan habis, (Moch Dima R, dkk, 2023).

2. Efisiensi Energi: Meningkatkan efisiensi penggunaan energi adalah langkah penting lainnya dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Penelitian dan pengembangan teknologi efisiensi energi, seperti mobil listrik, peralatan rumah tangga yang lebih efisien, dan bangunan yang ramah lingkungan, dapat membantu mengurangi konsumsi energi dan emisi karbon.
3. Energi Nuklir: Energi nuklir, meskipun kontroversial, juga merupakan alternatif potensial untuk bahan bakar fosil. Pembangkit listrik tenaga nuklir menggunakan reaksi nuklir untuk menghasilkan energi tanpa emisi gas rumah kaca. Namun, tantangan dalam hal pengelolaan limbah radioaktif dan keamanan nuklir perlu diperhatikan.
4. Penelitian dan Inovasi: Penelitian dan inovasi terus diperlukan untuk mengembangkan alternatif energi yang lebih efisien, murah, dan ramah lingkungan. Investasi dalam teknologi penyimpanan energi, pengembangan bahan bakar bio, dan peningkatan infrastruktur energi dapat membantu mempercepat transisi menuju masyarakat yang lebih berkelanjutan.

Dengan menghadapi tantangan yang kompleks dari penggunaan bahan bakar fosil dan menggali potensi alternatif yang lebih bersih dan berkelanjutan, kita dapat menciptakan masa depan energi yang lebih hijau, sehat, dan berkelanjutan bagi planet kita dan generasi mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Franky Butar butar dkk. (2023). Penghantar Hukum Minyak dan Gas Bumi. Surabaya. Penerbit: Airlangga University Press.
- Gary, J. H., & Handwerk, G. E. (2001). "Petroleum Refining: Technology and Economics". CRC Press.
- Hariana Hariana, Hanafi Prida Putra, Fairuz Milkiy Kuswa. (2020). Pemilihan Batubara Kalimantan Untuk Pltu Dengan Pc Boiler Menggunakan Tinjauan Potensi Slagging Dan Fouling. NCIET, vol 01 No 01. <https://doi.org/10.32497/nciet.v1i1.28>
- F. G. Delasta, R. Ismail, and M. Muchammad. 2023. "Pengujian Konversi Sepeda Motor Berbahan Bakar Bensin Dengan Transmisi Cvt Menjadi Bertenaga Listrik," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 11, no. 3, pp. 219-222. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/40591>
- Lelya Hilda, Rosimah Lubis, Syarifuddin, Luthfiah Sri Nada dan Ghifari Raihan Arafah. 2023. Renewable Energy: Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar. Yogyakarta. Penerbit: Samudra Biru.
- Moch Dimas Rezaa, Yushardib, Sudarti. 2023. Penggunaan Energi Matahari Sebagai Bahan Bakar Terbarukan Guna Menaggulangi Kelangkaan Bahan Bakar Fosil Bensin. *JPST : Jurnal Pendidikan, Sains dan Teknologi*, 2 (4). <https://doi.org/10.47233/jpst.v2i2.1332>
- Roberto B. T. Omenu dan Satriawan Adinugroho. 2023. Dampak Penggunaan Bahan Bakar Fosil Terhadap Emisi Karbon Dengan Pajak Karbon Sebagai Pemoderasi. *JRAK: Jurnal Riseet Akuntansi dan Keuangan*, 20 (01). <https://ejournalfb.ukdw.ac.id/index.php/jrak/article/view/76/104>
- Speight, J. G. (2014). "Natural Gas: A Basic Handbook". Gulf Professional Publishing

- Speight, J. G. (2016). "The Chemistry and Technology of Coal". CRC Press.
- Tama Masyuri dkk, 2021. Sejarah Penambangan Batubara Bukit Asam di Tanjung Enim. *HISTORIA: Jurnal Program Studi Pendidikan Sejarah Volume 9 (1)*. DOI : 10.24127/hj.v9i1.2672

BAB 4

ENERGI SURYA TERMAL

Oleh Iman Pradana A. Assagaf

4.1 Sel Surya

Saat ini, minat terhadap sumber energi terbarukan terus meningkat. Energi terbarukan merujuk pada sumber daya energi yang dapat diperbaharui dan biasanya tidak berbasis fosil. Salah satu contohnya adalah energi surya, yang tidak hanya mudah diperoleh tetapi juga ramah lingkungan. Seiring dengan perkembangan teknologi yang pesat, peneliti terus berupaya merancang alat baru atau meningkatkan yang sudah ada untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi surya. Dua teknologi yang umumnya digunakan untuk mengkonversi potensi energi surya adalah energi surya termal, yang memanfaatkan panas matahari, dan energi surya fotovoltaik, yang mengubahnya menjadi energi listrik. (Aldiyanto 2021)

Panel surya, juga dikenal sebagai sel surya fotovoltaik, merupakan alat yang mampu mengubah energi matahari langsung menjadi energi listrik. Panel surya memegang peran penting dalam memanfaatkan potensi besar sinar matahari yang mencapai bumi. Selain digunakan untuk menghasilkan listrik, energi matahari juga dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan panas melalui sistem thermal surya. Dengan perkembangan ilmu

pengetahuan dan teknologi yang terus berlanjut, jenis-jenis teknologi panel surya juga terus berkembang melalui inovasi.

Panel surya yang umumnya tersedia di pasaran saat ini menggunakan material silikon dan umumnya mengadopsi struktur dan prinsip kerja dari generasi pertama (silikon) dan kedua (lapisan tipis) panel surya. Prinsip kerja panel surya mirip dengan dioda semikonduktor, di mana cahaya matahari yang jatuh ke panel surya akan diserap oleh bahan semikonduktor, melepaskan elektron. Jika elektron-elektron ini dapat bergerak ke arah yang berlawanan, medan listrik akan terbentuk, menghasilkan arus listrik. Elektron-elektron ini kemudian dialirkan ke saluran listrik untuk digunakan dalam perangkat listrik.

Untuk memaksimalkan efisiensi panel surya, penyesuaian terhadap posisi matahari perlu dilakukan. Sebagai contoh, panel surya harus diarahkan ke matahari secara optimal menggunakan motor yang dikendalikan oleh sistem pelacak surya, sehingga cahaya matahari yang diterima oleh panel surya sama baiknya dari sensor yang menghadap ke arah timur maupun barat. Hal ini akan memastikan bahwa listrik yang dihasilkan oleh panel surya mencapai puncak optimalnya. (Arief Suardi Nur Chairat 2020)

Sel surya merupakan sebuah perangkat elektronika yang mampu mengubah energi surya menjadi energi listrik dalam bentuk arus searah (DC). Modul surya, yang juga dikenal sebagai fotovoltaiik, adalah sekelompok sel surya yang disusun secara seri dan paralel untuk meningkatkan tegangan dan arus yang dihasilkan, sehingga mencukupi untuk kebutuhan daya sistem beban. Agar memperoleh output energi listrik maksimum, permukaan modul surya harus selalu menghadap matahari. Di Indonesia, optimalisasi energi listrik dapat dicapai dengan mengatur sudut kemiringan modul surya sesuai dengan lintang lokasi PLTS tersebut. Sebagai contoh, di daerah yang berada di

utara khatulistiwa, modul surya sebaiknya dihadapkan ke arah Selatan, dan sebaliknya.

Selanjutnya, energi listrik yang dihasilkan disimpan dalam baterai. Baterai berfungsi sebagai penyimpan energi listrik secara kimiawi pada siang hari dan sebagai sumber daya listrik pada malam hari. Untuk menjaga keseimbangan energi dalam baterai, diperlukan alat pengatur elektronik yang disebut Battery Charge Regulator. Alat ini berperan dalam mengatur tegangan maksimum dan minimum dari baterai serta memberikan perlindungan terhadap sistem, termasuk proteksi terhadap overcharge akibat sinar matahari yang berlebihan, overdischarge akibat penggunaan beban berlebihan, mencegah arus balik ke modul surya, melindungi terjadinya hubung singkat pada beban listrik, dan sebagai interkoneksi dari komponen-komponen lainnya. (Samsulrizal 2021)



Gambar 4. 1 Skema Proses Pemanfaatan Energi Surya
(Sumber : (Samsulrizal 2021))

4.2 Teknologi Termal Surya

Teknologi termal surya dapat digunakan untuk memanaskan air, memanaskan ruangan, mendinginkan ruangan, dan menghasilkan panas.

4.2.1 Pemanas Air tenaga surya

Pemanas air tenaga surya adalah sistem yang menggunakan energi matahari sebagai sumber pemanas. Kelebihannya termasuk penggunaan energi yang dapat diambil dari alam dan ramah lingkungan. Namun, ada beberapa kekurangan seperti harga yang tinggi, pemasangan yang rumit terutama karena dipasang di atas genteng, dan ketergantungan pada kondisi cuaca serta kapasitas air yang terbatas. Secara definisi, pemanas air tenaga surya adalah sistem yang menghasilkan energi panas dengan memanfaatkan radiasi sinar matahari. Ketika cahaya matahari mengenai pemanas air tenaga surya, sebagian diserap dan dikonversi menjadi energi panas yang kemudian dipindahkan ke fluida yang mengalir di dalam pipa-pipa pemanas air (Rahmat Subarkah 2011).



Gambar 4. 2 Pemanas Air Tenaga Surya Sederhana
(Sumber : (Renaldo Maxillion Parinussa 2016))

Pembuatan Pemanas Air Tenaga Surya Sederhana:

1. Menetapkan ukuran yang tepat untuk pompa yang akan digunakan dalam mengalirkan air.
2. Menyusun perhitungan untuk menentukan panjang dan jalur pipa yang akan digunakan di dalam kolektor surya.
3. Membuat desain kolektor surya yang diinginkan menggunakan perangkat lunak SolidWorks.
4. Membeli berbagai bahan seperti seng bergelombang, kaca, glasswool, karung goni, pipa besi, pipa PVC, aksesoris pipa PVC, cat hitam, dan benang.
5. Memotong seng sesuai dengan dimensi yang diperlukan.
6. Membuat casing luar dari bahan papan kayu sesuai dengan gambar dan dimensi yang telah ditetapkan.
7. Memotong dan mengelas pipa agar menjadi satu kesatuan sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan.
8. Melakukan pengecatan pada plat bergelombang dan pipa menggunakan warna hitam untuk meningkatkan penyerapan panas.
9. Tahap perakitan:
 - Menyusun glass wool di bagian bawah casing.
 - Meletakkan plat bergelombang di atas glasswool.
 - Memasukkan pipa ke dalam lubang samping casing dan menyanggarkan pada batasan casing yang sudah dibuat.
 - Menutup bagian atas casing dengan kaca.
10. Mengatur rangkaian pipa di luar kolektor surya menggunakan pipa PVC dan aksesoris perpipaan lainnya.

11. Melapisi drum penampung air dengan karung goni dan membuat lubang di bagian bawah drum agar pipa PVC dapat dimasukkan melalui lubang tersebut.
12. Menghubungkan instalasi perpipaan antara pipa besi dan pipa PVC, lalu menghubungkannya dengan pompa yang berada di dalam drum penampung air.
13. Melakukan pengujian untuk memastikan kemampuan pompa dalam mengalirkan air hingga keluar dari instalasi pipa yang telah dibuat. (Renaldo Maxillion Parinussa 2016)

4.2.2 Kompor Tenaga Surya

Kompor tenaga surya memanfaatkan konsep pemantulan dan konsentrasi sinar matahari untuk menghasilkan panas yang diperlukan untuk memasak. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi efektivitas dan efisiensi kompor surya adalah sebagai berikut:

- a. Refleksivitas material kolektor: Material yang digunakan sebagai kolektor harus memiliki kemampuan reflektif yang tinggi untuk memastikan sebanyak mungkin radiasi matahari dapat dipantulkan dan dikonsentrasikan pada titik api. Material seperti cermin atau aluminium yang dipoles sangat efektif untuk tujuan ini.
- b. Luas permukaan kolektor: Semakin besar luas permukaan kolektor, semakin banyak radiasi matahari yang dapat ditangkap dan dikonsentrasikan. Ini meningkatkan jumlah energi termal yang dihasilkan dan mempercepat proses pemanasan.
- c. Bentuk geometrik dan letak titik api dari kolektor: Desain geometrik kolektor mempengaruhi bagaimana radiasi dipantulkan dan difokuskan pada titik api. Kolektor parabola, misalnya, sangat efisien dalam

mengarahkan sinar matahari ke satu titik fokus, yang menghasilkan suhu yang sangat tinggi di titik tersebut.

- d. Arah normal permukaan kolektor terhadap sinar matahari yang datang: Arah kolektor relatif terhadap matahari sangat penting. Kolektor harus diarahkan sedemikian rupa sehingga sinar matahari jatuh tegak lurus pada permukaan kolektor untuk efisiensi maksimal. Penggunaan mekanisme pelacak matahari (*solar tracker*) dapat meningkatkan efektivitas kolektor dengan menjaga orientasi yang optimal sepanjang hari.
- e. Sifat benda hitam dari panci atau alat memasak: Panci atau alat memasak sebaiknya memiliki warna gelap dan material yang dapat menyerap panas dengan baik. Warna gelap menyerap lebih banyak energi radiasi daripada yang terpantul, mempercepat proses pemanasan.
- f. Besarnya kehilangan energi kalor ke sekitarnya: Kehilangan panas ke lingkungan dapat mengurangi efisiensi kompor surya. Ini bisa diatasi dengan isolasi yang baik atau penggunaan penutup yang dapat meminimalkan kehilangan panas.

Dengan mempertimbangkan faktor-faktor ini dalam desain dan penggunaan kompor surya, dapat meningkatkan kinerja dan menjadikan kompor surya sebagai alternatif yang praktis dan berkelanjutan untuk memasak menggunakan energi terbarukan. (Taufik Arief 2021)



Gambar 4. 3 Prototipe Kompor Surya Sederhana Tipe Setengah Bola
(Sumber : (Taufik Arief 2021))

4.2.4 Solar Dryer

Solar dryer adalah alat pengering yang populer di kalangan industri rumahan karena ekonomis dan tidak memerlukan listrik, meskipun beberapa model dilengkapi dengan kipas untuk membantu mendistribusikan udara panas dari kolektor surya. Alat ini sangat direkomendasikan untuk skala industri kecil karena hemat biaya dan higienis, di mana bahan pangan ditempatkan dalam ruangan tertutup sehingga terlindung dari kontaminasi seperti debu, asap kendaraan, dan hewan pengganggu.

Cara kerja *solar dryer* melibatkan aliran udara yang melewati kolektor surya, di mana udara dipanaskan dan kemudian dialirkan melalui ruangan dimana bahan pangan berada. Udara panas ini mengambil kelembapan dari bahan pangan dan membawanya keluar melalui ventilasi. Alat ini umumnya mengandalkan perbedaan tekanan dan suhu udara untuk memindahkan udara panas tanpa memerlukan bantuan blower. Proses ini memfasilitasi transfer panas ke

permukaan bahan pangan, memungkinkan kelembapan di dalam bahan pangan menguap.

Keuntungan dari *solar dryer* termasuk desain yang sederhana dan mudah dibuat, penggunaan yang tidak memerlukan listrik, biaya pembuatan yang rendah, serta perlindungan bahan pangan dari kontaminasi udara luar. Namun, *solar dryer* memiliki keterbatasan seperti ketergantungan pada kondisi cahaya matahari yang dapat mempengaruhi suhu pengeringan dan durasi proses pengeringan. Meskipun demikian, banyak pengguna telah mengatasi tantangan ini dengan menggunakan blower tambahan atau menambahkan kolektor surya untuk mempercepat proses pengeringan. (Frets Jonas Rieuwpassa 2019, Aziz 2008)



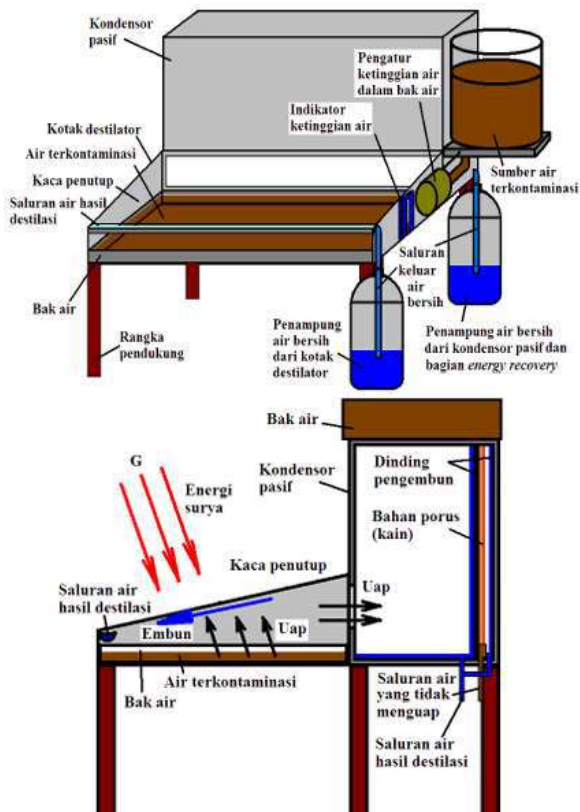
Gambar 4. 4 *Solar Dryer Parabolic Greenhouse*
(Sumber : (Q A M O Arifianti1 2018))

4.2.5 Destilasi Air Energi Surya

Prinsip kerja destilasi energi surya didasarkan pada pemanfaatan panas matahari untuk menghasilkan proses penyulingan air, dengan tujuan mengubah air yang tidak layak konsumsi menjadi air bersih yang aman untuk diminum. Berikut adalah langkah-langkah dasar dari prinsip kerja destilasi energi surya:

- a. **Penyerapan Panas:** Panel atau kolektor surya menyerap panas dari sinar matahari. Permukaan kolektor biasanya berwarna hitam untuk meningkatkan penyerapan panas.
- b. **Pemanasan Air:** Air yang akan didistilasi diletakkan dalam wadah yang berada di dekat atau di bawah kolektor surya. Panas yang terserap oleh kolektor akan dipindahkan ke air, meningkatkan suhu air hingga mencapai titik didih.
- c. **Penguapan:** Ketika air mencapai titik didih, air mulai menguap. Uap air ini mengandung sedikit atau tanpa kontaminan karena kontaminan umumnya tidak menguap pada suhu yang sama dengan air.
- d. **Kondensasi:** Uap air yang terbentuk kemudian dialihkan ke area yang lebih dingin di dalam sistem destilasi. Ini bisa berupa tabung kondensor yang terletak di tempat yang terlindung dari sinar matahari langsung atau memiliki sistem pendingin. Di sini, uap air mendingin dan berubah kembali menjadi cairan (kondensasi).
- e. **Pengumpulan Air Bersih:** Air yang telah dikondensasikan dikumpulkan dalam wadah yang bersih. Air ini sekarang bebas dari kontaminan dan aman untuk dikonsumsi.

Destilasi energi surya merupakan metode yang efektif dan ramah lingkungan untuk mendapatkan air bersih, terutama di daerah yang memiliki akses terbatas terhadap sumber air bersih dan memiliki banyak sinar matahari. Proses ini tidak memerlukan bahan bakar atau listrik, sehingga sangat sesuai untuk daerah terpencil atau untuk situasi darurat di mana infrastruktur mungkin tidak tersedia. (Ahmad Fikri Ramadhan 2022)



Gambar 4. 5 Skema Alat Destilasi Energi Surya Dengan Kondensor Pasif
(Sumber : (I Gusti Ketut Puja 2016))

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Fikri Ramadhan, Lathifa Putri Afisna, Ajeng Maharani, Nabila Ramadhanty, Rabin Isak, Wulan Ningsih. 2022. "STUDI EKSPERIMEN ALAT DESTILASI TENAGA SURYA DI KELURAHAN WAY HUWI." *Vortex* 93-97.
- Aldiyanto, Adib Satono, Kadek Edy Susanto³, Wandu Haryansa, Rival Kahfi Gama, La Hasanudin, Aminur. 2021. "Rancang Bangun Alat Pembangkit Uap Menggunakan Energi Surya." *PISTON: Jurnal Teknologi* 1-10.
- Arief Suardi Nur Chairat, Jasnid Eddy, Vendi Antono, Sahlan⁴, Nofirman, Michiel Martin Rumondor. 2020. "osialisasi Pemanfaatan Tenaga Surya Sebagai Sumber Energi Listrik Di Desa Ciherang Pondok, Kabupaten Bogor ." *Terang: Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat Menerangi Negeri* 109-116.
- Aziz, Azridjal. 2008. "Analisis Pengering Surya (Solar Dryer) Jenis Pemanasan Langsung dengan Penyimpan Panas Berubah Fasa Menggunakan Rak Bertingkat." *Seminar Nasional Teknik Kimia Oleo & Petrokimia Indonesia*. Riau: Universitas Riau. 1-5.
- Frets Jonas Rieuwpassa, Stevy Imelda Murniarti Wodi, Eko Cahyono, Rolando. 2019. "Rancangan Bangun dan Pengujian Alat Pengering Solar Dryer Sederhana." *Jurnal Fishtech* 48-57.
- I Gusti Ketut Puja, Sudi Mungkasi dan FA Rusdi Sambada. 2016. "Destilasi air energy surya dengan energy recovery menggunakan metode kapilaritas ." *Jurnal Energi dan Manufaktur* 186-192.

- Q A M O Arifianti¹, M R Abidin, E F Nugrahani, K K Ummatin. 2018. "RANCANG BANGUN SOLAR DRYER UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS REFUSE DERIVED FUELS (RDF) SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF DI KILN BURNER INDUSTRI SEMEN." *Jurnal Rekayasa Mesin* 211-220.
- Rahmat Subarkah, Belyamin. 2011. "PEMANAS AIR ENERGI SURYA DENGAN SEL SURYA SEBAGAI ABSORBER ." *POLITEKNOLOGI* 225-231.
- Renaldo Maxillion Parinussa, Joko Sarsetiyanto. 2016. "RANCANG BANGUN ALAT PEMANAS AIR TENAGA SURYA SEDERHANA." *TUGAS AKHIR –PROGRAM STUDI DIPLOMA III JURUSAN TEKNIK MESIN Fakultas Teknologi Industri* 1-51.
- Samsulrizal, kartika Treszya Mauriraya, Miftahul Fikri, Nurmiati Pasra, Christiono. 2021. *Pengenalan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Jakarta Barat: Institut Teknologi PLN.
- Taufik Arief, Subriyer Nasir, Nukman, YB Ningsih, Eva Oktinasari, Yunita bayuningsih. 2021. "Pengembangan Dan Modifikasi Kompor Surya Sederhana Berbasis Energi Matahari (Solar Energy) Tipe Bulat Dan Parabola Untuk Kebutuhan Memasak (Solar Cooker) Pada Rumah Tangga Dan Sekolah." *Jurnal Pengabdian : community* 20-27.

BAB 5

ENERGI SURYA PHOTOVOLTAIK

Oleh Mochamad Choifin

5.1 Pendahuluan

Krisis energi terjadi ketika pasokan energi yang tersedia tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan konsumen, yang dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti peningkatan permintaan energi, penurunan pasokan energi konvensional, atau kegagalan infrastruktur energi (Harahap, 2020). Salah satu solusi untuk mengatasi krisis energi adalah dengan beralih ke sumber energi terbarukan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Energi surya fotovoltaik (PV) merupakan energi yang dihasilkan oleh konversi langsung sinar matahari menjadi listrik menggunakan sel surya fotovoltaik. Potensi energi surya fotovoltaik sangat besar karena sinar matahari yang mencapai Bumi setiap hari jauh melebihi kebutuhan energi manusia. Sel surya fotovoltaik telah berkembang pesat dalam beberapa dekade terakhir dan menjadi salah satu teknologi energi terbarukan yang paling banyak digunakan di seluruh dunia. Indonesia memiliki potensi yang sangat besar untuk pengembangan energi surya, terutama di daerah-daerah yang memiliki sinar matahari yang cukup intens. Pemerintah Indonesia telah mengambil langkah-langkah untuk mendorong penggunaan energi surya melalui kebijakan dan insentif seperti

tarif feed-in, insentif pajak, dan regulasi yang mendukung pengembangan proyek energi surya. Namun, perkembangan energi surya di Indonesia masih menghadapi beberapa tantangan seperti masalah regulasi, infrastruktur, dan ketersediaan sumber daya manusia yang terampil. Energi surya adalah sumber energi yang bersifat terbarukan dan bersih karena tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca atau polusi udara. Konversi energi matahari menjadi listrik melalui teknologi sel surya fotovoltaik sangat penting karena memungkinkan kita untuk menghasilkan listrik secara mandiri dan ramah lingkungan. Penggunaan energi surya juga dapat membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang terbatas dan bermanfaat dalam mengurangi emisi gas rumah kaca yang menyebabkan perubahan iklim. Selain itu, energi surya juga dapat menjadi solusi untuk mengatasi krisis energi dengan menyediakan pasokan energi yang bersifat terbarukan dan berkelanjutan.

5.2 Dasar – Dasar Energi Surya

Sel surya, atau sel fotovoltaik, beroperasi berdasarkan efek fotovoltaik, di mana cahaya matahari diubah menjadi listrik secara langsung. Prosesnya terjadi di dalam sel surya, yang biasanya terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon. Ketika foton cahaya matahari mengenai sel surya, mereka merangsang elektron dalam bahan semikonduktor, menyebabkan elektron bergerak dan menciptakan arus listrik. Ini dikenal sebagai efek fotovoltaik. Arus listrik yang dihasilkan oleh sel-sel ini kemudian dapat digunakan untuk mengalimentasi perangkat listrik atau disimpan dalam baterai. Energi surya fotovoltaik (PV) adalah teknologi yang memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan listrik

secara langsung melalui proses konversi foton menjadi electron (Utami Putri, 2022). Teknologi ini ramah lingkungan, berkelanjutan, dan semakin populer sebagai sumber energi alternatif.

5.2.1 Prinsip Kerja Sel Surya

Sel surya atau fotovoltaiik (PV), adalah komponen dasar sistem PV yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Berikut prinsip kerjanya :

Prinsip Kerja Sel Surya

Sel surya, atau fotovoltaiik (PV), adalah komponen dasar sistem fotovoltaiik (PV) yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik (Tonadi and Wiranto, 2024). Berikut prinsip kerjanya:

1. **Penyerapan Cahaya terjadi** ketika cahaya matahari mengenai sel surya, foton (partikel energi cahaya) diserap oleh material semikonduktor, umumnya silikon.
2. **Pembangkitan muatan terjadi karena** foton yang diserap memberikan energi yang cukup bagi elektron dalam material semikonduktor untuk terlepas dari atomnya dan bergerak bebas.
3. **Aliran Listrik terjadi pada saat** elektron bebas ini kemudian mengalir melalui sel surya, menghasilkan arus listrik searah (DC).
4. **Konversi arus Listrik searah (DC) adalah** arus Listrik searah (DC) dari sel surya kemudian diubah menjadi arus bolak-balik (AC) yang dapat digunakan untuk kebutuhan rumah tangga atau industri melalui inverter.

5.2.2 Komponen Sistem Fotovoltaik

Sistem fotovoltaik (PV) terdiri dari beberapa komponen utama yaitu:

1. **Panel Surya** terdiri dari modul-modul sel surya yang tersusun rapi.
2. **Inverter adalah** mengubah arus listrik searah (DC) dari panel surya menjadi arus bolak balik (AC).
3. **Kontroler Pengisian Daya (Charge Controller) adalah alat yang dapat** mengatur aliran arus dan tegangan dari panel surya ke baterai untuk mencegah pengisian daya berlebih.
4. **Baterai (Opsional) digunakan untuk** menyimpan energi listrik yang dihasilkan panel surya untuk digunakan saat panel tidak menghasilkan listrik, seperti pada malam hari atau cuaca mendung.
5. **Struktur Penyangga digunakan untuk** menopang panel surya agar terpasang dengan aman dan kokoh.
6. **Kabel dan Konektor digunakajn untuk** menghubungkan semua komponen sistem fotovoltaik (PV).

5.2.3 Jenis-Jenis Panel Surya:

- a. Monokristalin (*Monocrystalline*):
 - Terbuat dari silikon yang diiris tipis-tipis.
 - Efisiensi tinggi (15-20%).
 - Awet dan tahan lama.
- b. Polikristalin (*Polycrystalline*):
 - Terbuat dari kristal silikon polikristalin.
 - Efisiensi sedang (12-16%).
 - Lebih terjangkau daripada monokristalin.

- c. Thin Film Photovoltaic:
 - Terbuat dari lapisan tipis bahan semikonduktor.
 - Efisiensi rendah (8-12%).
 - Memerlukan lebih banyak luas permukaan untuk menghasilkan daya yang sama

5.2.4 Karakteristik dan Efisiensi Panel Surya:

Karakteristik panel surya meliputi :

- a. Efisiensi merupakan ukuran seberapa efisien panel surya dalam mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Ini berkisar dari sekitar 15% hingga lebih dari 20% untuk panel surya komersial saat ini.
- b. Daya Maksimum merupakan daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh panel surya dalam kondisi standar, diukur dalam watt-peak (Wp).
- c. Umur Layanan adalah panel surya umumnya memiliki umur layanan yang panjang, sering kali lebih dari 25 tahun, namun efisiensinya dapat menurun seiring waktu.
- d. Toleransi Terhadap Suhu dan Cahaya adalah panel surya memiliki toleransi terhadap perubahan suhu dan intensitas cahaya matahari yang dapat mempengaruhi kinerjanya.
- e. Tipe Sel Surya: Jenis material semikonduktor yang digunakan dalam panel surya.
- f. Ketahanan: Kemampuan panel surya untuk menahan kondisi cuaca ekstrem.
- g. Efisiensi panel surya merupakan faktor penting yang menentukan jumlah energi listrik yang dihasilkan. Panel surya dengan efisiensi tinggi akan menghasilkan lebih banyak listrik dengan ukuran yang sama dibandingkan panel surya dengan efisiensi rendah.

5.3 Material dan Pembuatan Panel Surya

5.3.1 Material Semikonduktor untuk Sel Surya

Material semikonduktor merupakan komponen utama dalam sel surya yang bertanggung jawab atas konversi energi cahaya matahari menjadi energi Listrik (Prayogi, 2022). Berikut beberapa material semikonduktor yang umum digunakan:

1. **Silikon (Si) adalah** bahan utama yang digunakan dalam sel surya. Sel surya terbuat dari lapisan semikonduktor silikon yang mampu menangkap sinar matahari dan menghasilkan arus listrik ketika terpapar oleh cahaya. Silikon memiliki efisiensi tinggi dan tahan lama. Material semikonduktor paling umum digunakan karena kelimpahannya, biaya yang relatif murah, dan efisiensi yang tinggi. Silikon terbagi menjadi dua jenis:
 - a. **Silikon Monokristalin (c-Si):** Dibuat dari kristal silikon tunggal, menghasilkan efisiensi tinggi (hingga 22%) dan daya tahan lama, namun dengan harga yang lebih mahal.
 - b. **Silikon Polikristalin (mc-Si):** Dibuat dari silikon yang dibentuk menjadi banyak kristal kecil, lebih murah daripada silikon monokristalin, namun dengan efisiensi yang sedikit lebih rendah (hingga 17%).
2. **Polisilikon (*Polycrystalline Silicon*)** adalah polisilikon terbuat dari batang silikon yang kemudian dicairkan dan dibentuk menjadi wafer. Meskipun lebih hemat biaya daripada monokristalin, efisiensinya sedikit lebih rendah.

3. **Cadmium Telluride (CdTe)** adalah material semikonduktor tipis dan fleksibel, menawarkan efisiensi yang cukup tinggi (hingga 16%) dan biaya yang relatif murah, namun dengan potensi bahaya lingkungan terkait dengan kadmium.
4. **Copper Indium Gallium Selenide (CIGS)** adalah material semikonduktor tipis dan fleksibel lainnya, menawarkan efisiensi yang tinggi (hingga 20%) dan daya tahan lama, namun dengan biaya yang lebih mahal dibandingkan CdTe.
5. **Silicon Amorphous (a-Si):** Material semikonduktor non-kristalin yang dapat dibuat dalam bentuk tipis dan fleksibel, menawarkan efisiensi yang lebih rendah (hingga 13%) namun dengan biaya yang sangat murah dan mudah diproduksi.

Pemilihan material semikonduktor untuk sel surya tergantung pada beberapa faktor, seperti:

1. Efisiensi: Kemampuan material untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik.
2. Biaya: Harga material dan proses manufakturnya.
3. Ketersediaan: Kelimpahan material di alam.
4. Dampak lingkungan: Potensi bahaya lingkungan yang terkait dengan material.
5. Ketahanan: Kemampuan material untuk menahan kondisi cuaca ekstrem dan degradasi selama bertahun-tahun.

5. 3.2 Proses Pembuatan Panel Surya

Proses Pembuatan Panel Surya

Proses pembuatan panel surya umumnya terdiri dari beberapa tahap berikut:

1. **Pembuatan Wafer Silikon.** Silikon mentah dimurnikan dan dibentuk menjadi wafer tipis.
2. **Doping.** Wafer silikon didoping dengan elemen lain, seperti boron atau fosfor, untuk menciptakan semikonduktor tipe-n atau tipe-p.
3. **Pembuatan Junction PN.** Junction PN dibuat antara dua jenis semikonduktor yang berbeda, memungkinkan aliran elektron saat terkena cahaya matahari.
4. **Deposisi Lapisan Anti-Refleksi.** Lapisan anti-refleksi diterapkan pada permukaan panel surya untuk meminimalkan refleksi cahaya dan meningkatkan penyerapan.
5. **Pembuatan Elektroda.** Elektroda logam, seperti aluminium atau perak, dicetak pada permukaan panel surya untuk mengalirkan arus listrik.
6. **Enkapsulasi.** Panel surya dilapisi dengan bahan enkapsulasi, seperti kaca atau plastik, untuk melindungi panel dari kerusakan akibat cuaca dan lingkungan.
7. **Pembuatan Rangka.** Rangka dibuat untuk menopang panel surya dan memastikan pemasangan yang aman.
8. **Pengujian Kualitas.** Panel surya diuji untuk memastikan mereka memenuhi standar kinerja dan kualitas.

5.3.3 Jenis-jenis Panel Surya Berdasarkan Material

➤ **Panel Surya Monokristalin**

- a. Terbuat dari silikon kristalin dengan struktur kristal tunggal yang sangat teratur.
- b. Biasanya memiliki warna hitam atau biru tua.
- c. Efisiensi tinggi dan umumnya lebih mahal dibandingkan dengan panel surya lainnya.

➤ **Panel Surya Polikristalin**

- a. Terbuat dari silikon kristalin dengan struktur kristal yang terdiri dari butiran kristal yang tumpang tindih.
- b. Biasanya memiliki warna biru atau biru keabuan.
- c. Harganya lebih terjangkau daripada panel monokristalin, namun efisiensinya sedikit lebih rendah.

➤ **Panel Surya Thin-Film**

- a. Terbuat dari bahan semikonduktor tipis seperti silikon amorf, CdTe (Telurida Kadmium), atau CIS/CIGS (Kobal-Indium-Selenida/Gallen-Indium-Selenida).
- b. Lebih fleksibel, ringan, dan murah untuk diproduksi daripada panel kristalin.
- c. Efisiensinya cenderung lebih rendah, namun dapat lebih cocok untuk aplikasi yang membutuhkan fleksibilitas.

5.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

5. 4.1 Teknologi dan Pengembangan PLTS

- a. Penurunan Harga Modul Surya: Harga modul surya mengalami penurunan signifikan dari sekitar US\$ 4,12/W pada tahun 2008 menjadi US\$ 0,17/W pada tahun 2020. PLTS saat ini menjadi sumber listrik termurah di banyak negara, termasuk Indonesia.
- b. PLTS Terapung Cirata: PLTS Terapung Cirata di Waduk Cirata, Jawa Barat, memiliki total kapasitas terpasang 192 MWp dan merupakan PLTS terapung terbesar di Indonesia dan Asia Tenggara. Proyek ini merupakan hasil kolaborasi antara Indonesia dan Uni Emirat Arab (UEA)
- c. Perovskite Solar Cells (PSC): PSC adalah teknologi yang menjanjikan bagi PLTS. PSC memiliki efisiensi penyerapan energi tinggi di atas 20%. Indonesia, sebagai produsen timah terbesar kedua, berpotensi mengembangkan PSC (Prayogi, Silviana and Zainuddin, 2023)
- d. Ekonomis dan Prospek PLTS di Indonesia: Manfaat Lingkungan: PLTS mengurangi pemanasan global dan menggantikan pembangkit konvensional bahan bakar fosil. Selain itu, PLTS juga memberikan keuntungan ekonomi bagi Indonesia dengan menciptakan lapangan kerja baru dan mengurangi ketergantungan pada impor energi fosil
- e. Potensi Pasar Besar: Potensi teknis rooftop PV di bangunan rumah mencapai 655 GW, dan terdapat potensi Floating Photovoltaic (FPV) dari lebih dari 1800 badan air di Indonesia. Kajian menunjukkan bahwa kapasitas PLTS di Indonesia dapat mencapai 65-

115 GW pada tahun 2030 dan 340-1492 GW pada tahun 2050 (Prasetyo *et al.*, 2024)

5. 4.2 Jenis-jenis PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dikategorikan berdasarkan skala dan cara pemanfaatannya:

➤ **PLTS Atap (*Rooftop Solar PV*)**

- a. Dipasang di atas atap bangunan, umumnya untuk kebutuhan rumah tangga atau komersial kecil.
- b. Kapasitasnya bervariasi, mulai dari beberapa kilowatt-peak (kWp) hingga puluhan kWp.
- c. Kelebihan: mudah dipasang, hemat lahan, dan dapat mengurangi tagihan listrik.
- d. Kekurangan: membutuhkan investasi awal yang cukup besar, dan produksinya tergantung pada intensitas sinar matahari di lokasi.

➤ **PLTS Terpusat (*Utility-Scale Solar PV*)**

- a. Dibangun di lahan luas, menghasilkan listrik dalam skala besar untuk didistribusikan ke jaringan listrik.
- b. Kapasitasnya bisa mencapai ratusan megawatt (MW).
- c. Kelebihan: menghasilkan energi yang lebih besar dan stabil, dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca.
- d. Kekurangan: membutuhkan lahan yang luas, dan investasinya lebih besar dibandingkan PLTS Atap.

➤ **PLTS Off-Grid**

- a. Sistem PLTS yang tidak terhubung ke jaringan listrik PLN.
- b. Umumnya digunakan di daerah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik.
- c. Kapasitasnya bervariasi, dan baterainya digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan.
- d. Kelebihan: dapat menyediakan listrik di daerah yang tidak terjangkau jaringan listrik, dan lebih mandiri dari fluktuasi harga listrik PLN.
- e. Kekurangan: investasinya lebih mahal dibandingkan PLTS Atap, dan memerlukan perawatan baterai secara berkala.

➤ **PLTS Hibrida**

- a. Kombinasi PLTS dan sumber energi lain, seperti generator diesel atau baterai.
- b. Digunakan untuk mengatasi intermittensi energi surya, sehingga pasokan listrik lebih stabil.
- c. Cocok untuk daerah dengan intensitas sinar matahari yang tidak konsisten.
- d. Kelebihan: pasokan listrik lebih stabil, dan emisi gas rumah kaca lebih rendah.
- e. Kekurangan: investasinya lebih mahal dibandingkan PLTS Atap atau PLTS Off-Grid.

➤ **Teknologi dan Pengembangan PLTS**

Teknologi PLTS terus berkembang dengan pesat, dengan fokus pada peningkatan efisiensi, penurunan biaya, dan pengembangan material baru (Anggara and Saputra, 2023). Berikut beberapa contoh kemajuan teknologi PLTS (Energi *et al.*, 2024).

- a. Panel surya: Efisiensi panel surya terus meningkat, memungkinkan panel surya menghasilkan lebih banyak energi listrik dengan ukuran yang sama.
- b. Inverter: Inverter yang lebih efisien dan terjangkau sedang dikembangkan untuk mengubah arus DC dari panel surya menjadi arus AC yang dapat digunakan oleh rumah tangga dan industri.
- c. Baterai: Teknologi baterai baru, seperti baterai lithium-ion, memungkinkan penyimpanan energi listrik yang lebih lama dan dengan biaya yang lebih murah.
- d. Sistem pelacakan matahari: Sistem pelacakan matahari memungkinkan panel surya untuk mengikuti posisi matahari, sehingga meningkatkan penyerapan sinar matahari dan menghasilkan lebih banyak energi.

Pengembangan teknologi PLTS ini diharapkan dapat mempercepat adopsi PLTS di seluruh dunia, termasuk di Indonesia.

➤ **Ekonomis dan Prospek PLTS di Indonesia**

PLTS menawarkan beberapa keuntungan ekonomis di Indonesia, antara lain (Riko, 2014)

- a. Biaya energi yang lebih rendah: Harga panel surya terus menurun, dan biaya operasi PLTS relatif rendah dibandingkan pembangkit listrik konvensional.
- b. Pengurangan emisi gas rumah kaca: PLTS merupakan sumber energi terbarukan yang tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca, sehingga

dapat membantu mengurangi polusi udara dan perubahan iklim.

- c. Penciptaan lapangan kerja: Industri PLTS dapat menciptakan lapangan kerja di bidang manufaktur, instalasi, dan pemeliharaan.

Prospek PLTS di Indonesia sangat menjanjikan, dengan beberapa faktor pendukung seperti (Effendi, 2023)

- a. Potensi sinar matahari yang tinggi: Indonesia memiliki potensi sinar matahari yang melimpah, dengan rata-rata 4,8 jam penyinaran per hari.
- b. Kebutuhan energi yang terus meningkat: Kebutuhan energi Indonesia terus meningkat, dan PLTS dapat menjadi sumber energi alternatif yang ramah lingkungan.
- c. Dukungan pemerintah: Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan berbagai kebijakan untuk mendukung pengembangan PLTS, seperti pemberian insentif dan kemudahan perizinan.

Meskipun demikian, masih terdapat beberapa tantangan yang perlu diatasi, seperti:

- a. Biaya awal yang masih relatif tinggi: Biaya awal investasi PLTS masih tergolong tinggi dibandingkan pembangkit listrik konvensional.
- b. Kesadaran masyarakat: Kesadaran masyarakat tentang manfaat PLTS masih perlu ditingkatkan.
- c. Infrastruktur: Infrastruktur kelistrikan di beberapa daerah masih perlu diperkuat untuk mendukung penggunaan PLTS.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggara, M. and Saputra, W. (2023) 'Analisis Kinerja Sel Surya Monocrystalline dan Polycrystalline di Kabupaten Sumbawa NTB', *Jurnal Flywheel*, 14(1), pp. 7–12. Available at: <https://doi.org/10.36040/flywheel.v14i1.6521>.
- Effendi, R. (2023) 'Analisis Penggunaan Energi Surya Fotovoltaik Sebagai Sumber Energi Alternatif', *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 6(4), pp. 1298–1302. Available at: <https://doi.org/10.31004/jutin.v6i4.20634>.
- Energi, S. *et al.* (2024) 'The Bio-Rights Scheme in The Use of The Sun as a Renewable New Energy Promotes The Availability of Sustainable Electricity Energy Sources Skema Bio-Rights dalam Pemanfaatan Matahari Sebagai Energi Baru Terbarukan Penunjang Ketersediaan Sumber Energi Listrik Berkelanjutan', 4(1), pp. 65–81.
- Harahap, P. (2020) 'Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Yang Dihasilkan Dari Berbagai Jenis Sel Surya', *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, 2(2), pp. 73–80. Available at: <https://doi.org/10.30596/rele.v2i2.4420>.
- Prasetyo, S.D. *et al.* (2024) 'Mechanical Xplore (JTMMX) Photovoltaic Performance based on Radiation Intensity Examination using Experimental Study and Thermal Simulation', 4(2), pp. 86–97.
- Prayogi, S. (2022) 'Analisis Efisiensi Sel Surya a-Si: H Berdasarkan Penyusun Lapisan Aktif', 6(2), pp. 33–39. Available at: <https://rbaet.ub.ac.id/index.php/rbaet/article/view/2919/52>.

- Prayogi, S., Silviana, F. and Zainuddin, Z. (2023) 'Peningkatan Performa Sel Surya Dengan Sistem Peredam Panas', *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 5(2), pp. 143–147. Available at: <https://doi.org/10.37905/jjeeee.v5i2.18802>.
- Riko, J.H. (2014) 'Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Energi Terbarukan', *Academia.edu*, 06(02), pp. 136–142. Available at: http://www.academia.edu/9106342/Pembangkit_Listrik_Tenaga_Surya_PLTS_Energi_Terbarukan.
- Tonadi, E. and Wiranto, B. (2024) 'Performance analysis of solar photovoltaic thermal (PV / T) dryer for drying moringa leaf', 5(1), pp. 90–96. Available at: <https://doi.org/10.37373/jttm.v5i1.777>.
- Utami Putri, N. (2022) 'Rancang Bangun Perangkat Hama Serangga Pada Padi Dengan Sumber Sel Surya (Studi Kasus: Rama Otama 1, Seputih Raman, Lampung Tengah, Lampung)', *Electrician*, 16(1), pp. 123–128. Available at: <https://doi.org/10.23960/elc.v16n1.2265>.

BAB 6

ENERGI ANGIN

Oleh Ifan Wiranto

Angin adalah udara atmosfer yang bergerak. Angin ada di mana-mana dan merupakan salah satu elemen fisik dasar lingkungan kita. Tergantung pada kecepatan udara yang bergerak, angin mungkin terasa ringan dan halus, diam dan tidak terlihat dengan mata telanjang. Atau, bisa juga menjadi kuat dan kekuatannya destruktif, bertiup kencang dan terlihat akibat puing-puing kasar yang dibawanya. Kecepatan gerak udara menentukan kekuatan angin dan berhubungan langsung dengan besar energi angin, yaitu energi kinetiknya.

Sebenarnya, sumber energi terbarukan yang terkandung dalam sumber daya angin di bumi adalah matahari. Angin global disebabkan oleh perbedaan tekanan di seluruh permukaan bumi akibat ketidakrataan pemanasan bumi oleh radiasi matahari. Misalnya saja jumlah radiasi matahari yang diserap pada permukaan bumi lebih besar di daerah khatulistiwa (ekuator) dibandingkan di daerah kutub. Dalam model aliran sederhana, udara naik di ekuator dan turun di daerah kutub. Sirkulasi atmosfer yang dihasilkan dari pemanasan yang tidak merata sangat dipengaruhi oleh efek perputaran bumi (dengan kecepatan sekitar 1670 kilometer per jam di ekuator, menurun menjadi nol di kutub). Selain itu, variasi spasial dalam perpindahan panas ke atmosfer bumi menciptakan variasi dalam bidang tekanan atmosfer yang menyebabkan udara berpindah dari tekanan tinggi ke rendah. Selain tekanan udara dan gaya

gravitasi, inersia udara, rotasi bumi, dan gesekan dengan permukaan bumi (mengakibatkan turbulensi), juga mempengaruhi gerakan angin atmosfer . Pengaruh masing-masing kekuatan tersebut pada sistem angin atmosfer berbeda-beda tergantung pada skala gerakan yang dipertimbangkan.

Energi kinetik angin merupakan sumber energi terbarukan yang menjanjikan dan potensi yang signifikan di banyak belahan dunia. Energi yang dapat ditangkap oleh turbin angin sangat bergantung pada kecepatan angin rata-rata setempat. Daerah yang biasanya menyajikan potensi yang paling menarik terletak di dekat pantai, daerah pedalaman dengan medan terbuka atau di dataran tinggi tepi badan air. Beberapa daerah pegunungan juga mempunyai potensi yang bagus. Daerah-daerah yang terisolasi yang memiliki potensi energi angin yang cukup baik, dapat dibangun pembangkit listrik tenaga angin lokal untuk memenuhi kebutuhan energi listrik daerah tersebut. Tenaga angin merupakan teknologi yang telah terbukti dan hemat biaya serta diharapkan menjadi teknologi yang paling mutakhir sebagai sumber listrik yang penting di tahun-tahun mendatang.

6.1 Kecepatan Angin dan Energi (Patel, 2006)

Turbin angin menangkap energi kinetik yang dihasilkan oleh angin dalam sebuah rotor yang terdiri dari dua atau lebih banyak sudu yang digabungkan secara mekanis ke generator listrik. Turbin terpasang di atas menara tinggi untuk meningkatkan penangkapan energi angin. Beberapa turbin angin dipasang di satu lokasi untuk membangun ladang angin untuk mendapatkan kapasitas pembangkit listrik yang diinginkan. Penentuan lokasi dengan angin kencang yang stabil akan menghasilkan lebih banyak energi sepanjang tahun.

6.1.1 Hubungan antara Daya dan Kecepatan Angin

Energi kinetik dalam udara bermassa m yang bergerak dengan kecepatan V diberikan sebagai berikut (dalam satuan Joule):

$$\text{Energi kinetik} = \frac{1}{2}mV^2 \quad (6.1)$$

Daya pada udara yang bergerak adalah laju aliran energi kinetik per detik (dalam satuan Watt):

$$\text{Daya} = \frac{1}{2}(\text{aliran massa per detik})V^2 \quad (6.2)$$

Jika,

P = Daya mekanik dalam udara yang bergerak (Watt)

ρ = Kerapatan udara (kg/m^3)

A = Luas sapuan sudu rotor (m^2)

V = Kecepatan udara (m/det.)

maka laju aliran udara dalam meterkubik per detik adalah AV , laju aliran massa udara dalam kilogram per detik adalah ρAV , dan tenaga mekanik yang berasal dari angin diberikan oleh (dalam Watt):

$$P = \frac{1}{2}(\rho AV)V^2 = \frac{1}{2}\rho AV^3 \quad (6.3)$$

Daya angin spesifik dinyatakan dalam Watt per meter persegi luas yang disapu oleh sudu-sudu yang berputar, disebut juga sebagai kerapatan daya, dan diberikan oleh ekspresi berikut (dalam Watt per meter persegi area sapuan rotor):

$$\text{Daya spesifik} = \frac{1}{2}\rho V^3 \quad (6.4)$$

Ini adalah daya angin dari hulu (sebelum melewati sudu). Daya ini bervariasi secara linear dengan kerapatan udara yang menyapu sudu dan dengan volume kecepatan angin. Sudunya tidak bisa mengekstrak semua tenaga angin dari hulu, karena sebagian daya angin meninggalkan hilir yang terus bergerak dengan kecepatan berkurang.

6.1.2 Daya yang Diekstraksikan dari Angin

Daya aktual yang diekstraksi oleh sudu-sudu rotor merupakan selisih antara daya angin hulu dan hilir. Dengan menggunakan Persamaan 6.2, persamaan ini diberikan sebagai berikut (dalam satuan Watt):

$$P_0 = \frac{1}{2} (\text{aliran massa per detik}) \{V^2 - V_0^2\} \quad (6.5)$$

Dimana,

P_0 = daya mekanik yang diekstraksi oleh rotor, yaitu daya keluaran turbin,

V = kecepatan angin hulu pada pintu masuk sudu-sudu rotor, dan

V_0 = kecepatan angin hilir pada saat keluar dari sudu-sudu rotor.

Secara makroskopis, kecepatan udara tidak kontinyu dari V ke V_0 pada bidang sudu rotor tersebut, dengan rata-rata $\frac{1}{2}(V + V_0)$. Mengalikan kerapatan udara dengan kecepatan rata-rata, oleh karena itu, memberikan laju aliran massa udara melalui sudu yang berputar, sebagai berikut:

$$\text{Laju aliran massa} = \rho A \frac{V+V_0}{2} \quad (6.6)$$

Oleh karena itu, tenaga mekanik yang diekstraksi oleh rotor, yang menggerakkan generator, adalah

$$P_0 = \frac{1}{2} \left[\rho A \frac{V+V_0}{2} \right] [V^2 - V_0^2] \quad (6.7)$$

Ekspresi sebelumnya disusun ulang secara aljabar dalam bentuk berikut:

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho A V^3 \frac{\left[1 + \frac{V_0}{V}\right] \left[1 - \left(\frac{V_0}{V}\right)^2\right]}{2} \quad (6.8)$$

Daya yang dihasilkan oleh sudu biasanya dinyatakan dalam faktor tenaga angin hulu dalam Watt sebagai berikut:

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho A V^3 C_p \quad (6.9)$$

Dimana,

$$C_p = \frac{\left[1 + \frac{V_0}{V}\right] \left[1 - \left(\frac{V_0}{V}\right)^2\right]}{2} \quad (6.10)$$

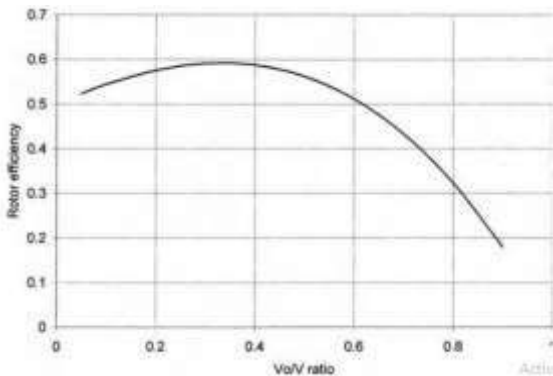
Membandingkan Persamaan (6.3) dan Persamaan (6.9), kita dapat mengatakan bahwa C_p adalah faktor dari tenaga angin hulu yang diekstraksi oleh sudu rotor dan diumpankan ke generator listrik. Sisa tenaga dihamburkan oleh angin hilir. Faktor C_p disebut koefisien daya rotor atau efisiensi rotor.

Untuk kecepatan angin hulu yang diberikan, persamaan (3.10) dengan jelas menunjukkan nilai C_p bergantung pada rasio kecepatan angin hilir terhadap hulu (V_0/V). Sebuah plot daya vs. (V_0/V) menunjukkan bahwa C_p adalah fungsi bernilai maksimum tunggal (Gambar 6.1.). Ini memiliki nilai maksimum 0,59 ketika rasio V_0/V adalah sepertiga. Maksimal daya diekstraksi dari energi angin pada rasio kecepatan tersebut, yaitu saat angin hilir kecepatannya sama dengan sepertiga kecepatan hulu. Dalam kondisi ini (dalam Watt):

$$P_{max} = \frac{1}{2} \rho A V^3 \times 0.59 \quad (6.11)$$

Secara teoritis, nilai maksimum C_p adalah 0,59. Secara praktis desain, C_p maksimum yang dapat dicapai berkisar antara 0,4 dan 0,5 untuk turbin dua sudu modern berkecepatan tinggi, dan antara 0,2 dan 0,4 untuk turbin kecepatan rendah dengan lebih banyak sudu. Jika kita mengambil 0,5 sebagai efisiensi rotor maksimum praktis, maka maksimum keluaran daya turbin angin menjadi sebagai berikut (dalam Watt per meter persegi luas sapuan);

$$P_{max} = \frac{1}{4} \rho A V^3 \quad (6.12)$$

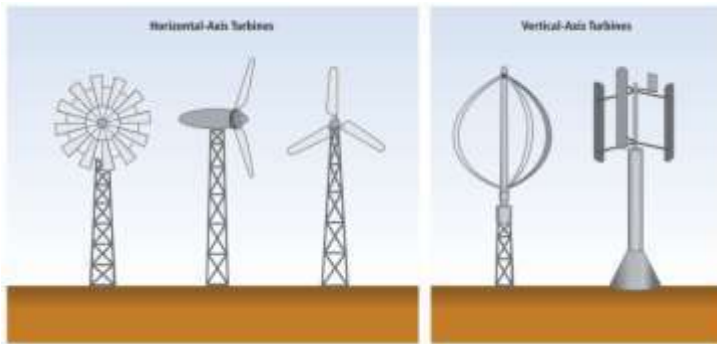


Gambar 6. 1. Efisiensi Rotor terhadap Rasio V_0/V

6.2 Turbin Angin

Turbin angin adalah mesin berputar yang mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik. Jika energi mekanik kemudian diubah menjadi listrik, maka mesin tersebut disebut generator angin (*wind generator*). Ada dua jenis turbin angin berdasarkan sumbu putaran turbin yaitu turbin angin sumbu vertikal (Vertical Axis Wind Turbine/VAWT) dan turbin

angin sumbu horizontal (Horizontal Axis Wind Turbine/HAWT), lihat Gambar 6.2.



Gambar 6. 2. HAWT dan VAWT (Sumber: Wiser, dkk., 2011)

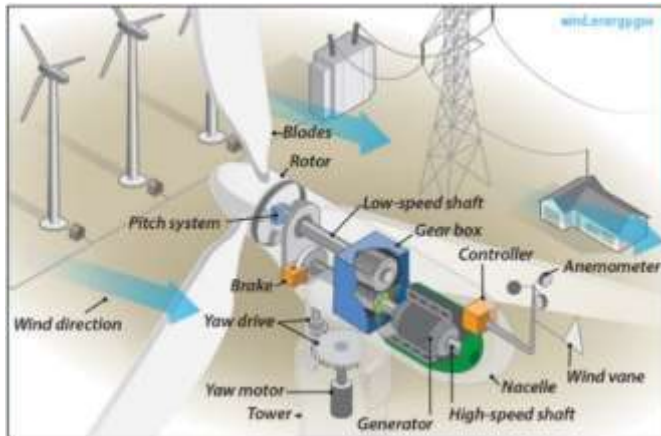
Secara umum HAWT memiliki keunggulan yaitu memiliki menara yang tinggi memungkinkan memiliki akses ke angin yang lebih kuat, memiliki efisiensi yang tinggi karena sudu selalu berputar tegak lurus terhadap arah angin, mendapat energi yang maksimal. Namun HAWT memiliki kekurangan yaitu, dibutuhkan konstruksi menara yang kuat untuk menopang sudu, gearbox dan generator. HAWT juga memerlukan mekanisme kontrol tambahan untuk memutar sudunya agar selalu berhadapan dengan arah angin. VAWT memiliki keunggulan yaitu dapat ditempatkan lebih dekat dengan tanah, sehingga memudahkan pemeliharaan bagian yang bergerak. VAWT memiliki kekurangan yaitu hambatan tambahan yang terjadi ketika sudu-sudu berputar mengikuti angin, sehingga efisiensinya rendah. Oleh karena itu VAWT tidak umum digunakan. Pada Tabel 6.1. memperlihatkan beberapa perbandingan antara HAWT dan VAWT.

Tabel 6. 1. Perbandingan Antara HAWT dan VAWT (Sumber: Hidayat, 2011)

Karakteristik	HAWT	VAWT
Orientasi Rotor	Horizontal	Vertikal
Bobot	Lebih Berat	Lebih Ringan
Arah Angin	Arah Angin Tertentu	Semua Arah Angin
Rentang Kecepatan Angin	6-25 m/s	2-65 m/s
Dampak Lingkungan	Peluang lebih tinggi untuk terkena tabrakan burung	Peluang kecil untuk terkena tabrakan burung
Tingkat Nois	Lebih Tinggi	Lebih Rendah
Fungsi Starting	Starting sendiri dengan torsi starting tinggi	Tidak starting sendiri dengan torsi starting rendah
Biaya dan Konstruksi	Lebih Tinggi	Lebih Rendah
Daya Dihasilkan	Lebih Tinggi	Lebih Rendah

6.2.1. Komponen-komponen Utama Turbin Angin

Gambar 6.3., memperlihatkan komponen-komponen utama dari HAWT yang digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik.



Gambar 6. 3. Komponen-komponen Utama HAWT (Sumber: <https://energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work>)

Berikut beberapa penjelasan komponen penting dari turbin angin;

Rotor

Kesatuan antara baling-baling (sudu) dengan *hub* pada sebuah turbin angin biasa disebut sebagai rotor. Rotor akan mengubah energi kinetik yang berasal dari angin menjadi energi mekanik. Sebagian besar turbin angin saat ini terdiri dari rotor yang mempunyai tiga baling- baling. Rotor dengan tiga baling-baling ini akan menghasilkan daya keluaran yang sama bila dibandingkan dengan rotor dengan satu dan dua baling-baling, tetapi mempunyai kecepatan putaran yang lebih rendah. Dengan kecepatan putaran yang lebih rendah, rotor dengan tiga baling-baling akan lebih sedikit menerima gangguan dari pada jenis yang lainnya.

Mekanisme Putaran Sudu (Pitch System)

Baling-baling (sudu) berputar di sumbu tegak lurusnya dengan sudut tertentu sehingga baling-baling dapat berhadapan dengan arah angin secara paralel maupun tegak lurus. Sudut yang dibentuk oleh baling-baling ini disebut sebagai *pitch angle*.

Bantang Penggerak Kecepatan Rendah (Low-speed Shaft)

Bagian ini menghubungkan *hub* dari rotor dengan roda gigi. Pada turbin angin dengan daya 1000 kW bagian ini berputar cukup lambat, sekitar 19 sampai 30 putaran per menit (rpm). Karena generator membutuhkan putaran sekitar 1200 sampai 1800 rpm, maka turbin angin dilengkapi dengan sistem roda gigi untuk meningkatkan kecepatan putar sehingga generator dapat menghasilkan listrik yang efisien.

Roda Gigi (Gear Box)

Roda gigi berfungsi untuk menaikkan putaran dari batang penggerak kecepatan rendah sebesar hampir 50 kali lipat. Saat ini terdapat beberapa turbin angin yang tidak menggunakan roda gigi karena sudah terdapat generator yang dapat bekerja dengan kecepatan rendah.

Batang Penggerak Kecepatan Tinggi (High-speed Shaft)

Batang penggerak kecepatan tinggi akan berputar dengan kecepatan sekitar 1500 rpm untuk menggerakkan generator.

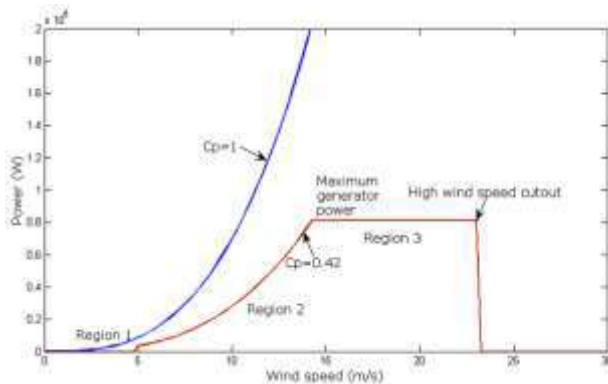
Generator

Generator, biasanya generator induksi, akan merubah energi mekanik yang berasal dari baling-baling turbin angin menjadi energi listrik. Didalamnya terdapat koil yang berputar dalam medan magnet sehingga akan menghasilkan listrik. Generator dapat menghasilkan arus bolak-balik (AC) maupun arus searah (DC), dalam tulisan ini digunakan generator AC.

Fungsi dari turbin angin sepenuhnya bergantung kepada angin, ketika angin berhembus dengan kecepatan diatas kecepatan minimum untuk dapat menggerakkan baling-baling, maka angin akan menghasilkan torsi di rotor turbin angin. Torsi ini kemudian dikirimkan ke roda-roda gigi melalui batang penggerak kecepatan rendah, dan setelah melewati roda-roda gigi akan menggerakkan generator.

6.2.2 Prinsip Kerja Turbin Angin

Tujuan utama dari turbin angin adalah mengubah energi yang berasal dari angin menjadi energi listrik. Daya yang dapat dihasilkan oleh angin tergantung dari kecepatan angin, seperti pada persamaan (6.11). Agar kinerja dari turbin angin menjadi efisien dan untuk mencegah kerusakan dari turbin angin, misalnya ketika kecepatan angin sangat besar, maka daya yang dihasilkan dari turbin angin ini harus dibatasi. Salah satu caranya adalah dengan membagi daerah kerja dari turbin angin, seperti tampak pada Gambar 6.4.



Gambar 6. 4. Daerah Kerja Turbin Angin

Daerah 1 adalah daerah dimana kecepatan angin dibawah kecepatan operasional dari turbin angin. Jika kecepatan angin lebih rendah dari batas yang ditetapkan, biasanya sekitar 5 m/s,

maka kecepatan ini tidak dapat digunakan untuk memutar turbin karena energi yang dibutuhkan lebih besar daripada energi yang dihasilkan oleh angin.

Daerah 2 meliputi daerah dimana kecepatan angin mulai dari kecepatan minimal operasi sampai dengan kecepatan maksimum. Saat angin berada dalam kecepatan maksimum, daya yang diberikan ke generator masih berada dalam batas aman. Kecepatan angin maksimum biasanya sekitar 14 m/s. Dalam daerah ini, daya yang diberikan ke generator dikontrol melalui pengaturan torsi yang diberikan ke generator.

Daerah 3 dimulai dari kecepatan angin maksimal yang masih aman untuk generator sampai dengan kecepatan *cutt off*, sekitar 25 m/s. Dalam daerah ini, *pitch angle* dari baling-baling diatur sehingga turbin tetap akan menghasilkan daya maksimal tanpa melebihi batas yang telah ditentukan.

6.3 Keunggulan dari Energi Angin

Munculnya kembali angin sebagai sumber energi dunia yang signifikan menjadi salah satu di antaranya perkembangan penting pada akhir abad ke-20. Untuk memahami hal ini, perlu diperhatikan lima faktor utama. Pertama, munculnya kesadaran akan terbatasnya cadangan bahan bakar fosil di bumi serta dampak buruk dari pembakaran bahan bakar tersebut untuk energi telah membuat banyak orang memperhatikan angin sebagai alternatif. Kedua, ada potensi. Angin ada dimana-mana di bumi, dan di dalam beberapa tempat dengan kepadatan energi yang cukup besar. Angin telah banyak digunakan di masa lalu untuk tenaga mekanik dan transportasi. Tentu saja, masih mungkin untuk menggunakannya lagi. Ketiga, ada kapasitas teknologi. Secara khusus, telah terjadi perkembangan di bidang lain, yang bila diterapkan pada turbin angin, dapat merevolusi cara penggunaannya. Keempat, visi tentang cara baru

memanfaatkan angin sebagai sumber energi, dan kelima, kemauan politik untuk mewujudkannya (Manwell, dkk., 2009).

Beberapa keunggulan dari energi angin adalah:

- Energi angin memiliki biaya yang kompetitif dengan sumber bahan bakar lainnya;
- Energi angin adalah sumber energi terbarukan yang tidak ada habisnya. Energi angin berlimpah dan mudah didapat, serta memanfaatkan energi tersebut tidak menghabiskan sumber daya alam kita. Dataran yang luas dan daerah lepas pantai memiliki energi angin yang sangat besar yang belum dimanfaatkan potensi;
- Sebagian besar pembangkit listrik membutuhkan air untuk beroperasi, angin tidak membutuhkan air untuk menghasilkan listrik;
- Listrik yang dihasilkan oleh turbin angin tidak mencemari air yang kita minum atau udara yang kita hirup. Pemanfaatan energi angin mengakibatkan berkurangnya kabut asap, berkurangnya hujan asam, dan berkurangnya emisi gas rumah kaca. Karena ini adalah energi bersih, energi angin mengurangi biaya layanan kesehatan dan lingkungan yang terkait dengan polusi udara.

6.4 Ringkasan

Energi kinetik angin merupakan sumber energi terbarukan yang menjanjikan dan potensi yang signifikan di banyak belahan dunia. Daerah-daerah yang memiliki potensi energi angin adalah daerah terletak di dekat pantai, daerah pedalaman dengan medan terbuka atau di dataran tinggi tepi badan air. Energi angin merupakan sumber energi terbarukan yang memiliki beberapa keunggulan di antaranya: energi angin berlimpah dan mudah didapat, serta merupakan energi bersih dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Hidayat, T. 2022. *Wind Power in Indonesia: Potential, challenges, and current technology overview*. In H. Ardiansyah, & P. Ekadewi (Eds.), *Indonesia post-pandemic outlook: Strategy towards net-zero emissions by 2060 from the renewables and carbon-neutral energy perspectives* (109–132). BRIN Publishing.
- Manwell, J.F., McGowan, J.G., Roger, A.L. 2009. *Wind Energy Explained Theory, Design and Application Second Edition*. West Sussex: John Wiley and Sons, Ltd.
- Patel, M.R, 2006. *Wind and Solar Power Systems Design, analysis and Operation 2nd ed*. Boca Raton: CRC Press..
- Wiser, R., Z. Yang, M. Hand, O. Hohmeyer, D. Infield, P. H. Jensen, V. Nikolaev, M. O'Malley, G. Sinden, A. Zervos, 2011: *Wind Energy*. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

BAB 7

ENERGI AIR

Oleh Dibyo Setiawan

7.1 Jenis-Jenis Energi Air

Energi air adalah energi konversi aliran air yang memutar turbin. Sumber energi dari aliran air ini paling sering digunakan di Indonesia dengan memanfaatkan aliran air sungai (*Renewable Energy Indonesia*, 2022). Energi menjadi hal yang penting bagi kehidupan manusia. Dalam bab ini, akan dibahas tentang energi air atau energi air sebagai alternatif energi bersih, manfaat dan keuntungan dari penggunaan energi air, serta beberapa tantangan yang perlu dihadapi dalam pengembangan energi air. Energi air bekerja dari respon aliran dari air. Energi ini dihasilkan melalui sistem pembangkit yang menggunakan mekanikal turbin air dalam menggerakkan generator listrik. Dengan demikian, energi hidro merupakan alternatif energi bersih berpotensi untuk dapat dilakukan pengembangan.

Salah satu keuntungan dari energi air adalah mereduksi emisi gas rumah kaca yang berpengaruh terhadap adanya perubahan iklim. Selain itu, energi air merupakan energi yang dapat diperbaharui dan tidak terbatas. Hal ini membuat energi air menjadi alternatif energi yang sangat menjanjikan di masa depan.

Manfaat dan keuntungan penggunaan energi air sebagai alternatif energy bersih:

1. Ramah Lingkungan

Energi air merupakan salah satu alternatif energi bersih yang tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca. Energi air juga tidak menghasilkan limbah berbahaya dan tidak memerlukan bahan bakar fosil untuk menghasilkan energy. Oleh karena itu, energy hydro merupakan sumber energy yang sangat ramah lingkungan.

2. Biaya Rendah

Meskipun biaya investasi untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga air cukup besar, namun biaya operasionalnya sangat rendah. Hal ini dikarenakan energy hydro tidak memerlukan bahan bakar dan tidak memerlukan biaya perawatan yang besar.

3. Stabilitas Energi

Energy hidro memiliki stabilitas dan keandalan yang tinggi karena sumber energinya berasal dari aliran air yang stabil dan terus-menerus. Hal ini membuat energy hydro menjadi salah satu alternatif energy bersih yang paling diandalkan dalam memenuhi kebutuhan energy. Meskipun energy hidro memiliki banyak keuntungan, namun pengembangannya juga memiliki beberapa tantangan yang perlu dihadapi, antara lain:

1. Dampak Lingkungan

Meskipun energy hydro dianggap sebagai energy bersih, namun pengembangannya juga dapat berdampak negatif terhadap lingkungan seperti perubahan ekosistem sungai, penurunan kualitas air, dan kerusakan habitat satwa liar. Oleh karena itu, pengembangan energy hidro harus dilakukan dengan hati-hati dan memperhatikan dampak lingkungan yang mungkin terjadi.

2. Biaya Investasi yang Besar

Biaya konstruksi pembangkit listrik tenaga air tidak kecil, terutama konstruksi sipil bendungan dan infrastruktur pendukungnya. Hal ini menjadi salah satu tantangan dalam pengembangan energy hidro (PT. Reja Aton Energi, 2024). Berikut merupakan jenis-jenis mekanisme pembangkit listrik tenaga air:

7.1.1 Sistem Penyimpanan

Jenis pembangkit listrik tenaga air dengan mekanisme penampungan. Tampung air digunakan untuk mekanisme pembangkit tenaga air skala besar, ciri khasnya yaitu adanya konstruksi sipil bendungan sebagai fungsi reservoir penyimpanan air sungai. Air yang ditampung dapat dimanfaatkan untuk mengalirkan air melalui turbin sehingga dapat berputar, selanjutnya dapat mengaktifasikan generator untuk memproduksi energi listrik. Fungsi lainnya yaitu kebutuhan air baku, pengairan pertanian pengendalian banjir, rekreasi, dan kebutuhan lingkungan dan kualitas air lainnya.



Gambar 7. 1 Mekanisme Pembangkit dengan Sistem Penyimpanan

Sumber : (Water Power Technologies Office, 2020)

7.1.2 Sistem Pengalihan

Mekanisme pembangkit dengan sistem pengalihan, terkadang disebut “run-of-river”, mendistribusikan sebagian aliran air ke sungai melalui drainase dan pipa pesat bertujuan untuk menghasilkan energi. Pipa pesat dimana saluran tertutup yang dapat mendistribusikan aliran air yang dapat diatur menuju unit turbin. Pengalihan hanya memerlukan konstruksi bendung, tidak seperti mekanisme penyimpanan yang menggunakan konstruksi bendungan.



Gambar 7. 2 Mekanisme Pembangkit dengan Sistem Pengalihan

Sumber : (Water Power Technologies Office, 2020)

7.1.3 Sistem Penyimpanan Terpompa

Jenis selanjutnya disebut mekanisme pembangkit listrik tenaga air dengan penyimpanan terpompa, atau PSH, dapat beroperasi serupa dengan baterai raksasa. PSH atau unit *storage system* energi listrik yang dihasilkan oleh sumber tenaga lain, seperti tenaga surya, angin, dan nuklir yang di gunakan saat diperlukan. Storage sistem beroperasi dengan memompa air dari kolam tampungan di ketinggian yang lebih rendah ke reservoir di ketinggian yang lebih tinggi. Ketika kebutuhan listrik rendah, PSH atau unit *storage system* energi listrik memompa air dari kolam tampungan bawah ke kolam tampungan atas. Saat kebutuhan listrik meningkat, maka air distribusikan ke

kolam tampungan bawah untuk mengoperasikan turbin sehingga dapat mengkonversi energi listrik.



Gambar 7. 3 Pembangkit dengan Sistem Penyimpanan Terpompa

Sumber : (Water Power Technologies Office, 2020)

7.2 Klasifikasi PLTA

Klasifikasi berdasarkan nama dan istilah terdapat tiga klasifikasi: Pembangkit listrik dengan sumber tenaga air berskala kecil, menengah dan besar (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Berikut rincian klasifikasi dimaksud:

7.2.1 Pembangkit Listrik Skala Kecil

Sistem pembangkit dengan sumber tenaga air, memanfaatkan daya hidrolik air dengan daya listrik terbangkit hingga 10 MW. Pembangkit ini dapat menggunakan 1 buah turbin, 2 buah turbin atau lebih yang dihubungkan secara paralel baik yang identik maupun berlainan yang ditempatkan dalam satu rumah pembangkit. Sistem tersebut ini menggunakan skema *run off river* dengan tinggi konstruksi bendung sampai dengan 15 m diukur dari elevasi tapak sampai elevasi mercu konstruksi bendung. Pembangkit listrik tenaga air skala kecil ini terbagi beberapa, antara lain:

➤ Pembangkit listrik tenaga pikohidro

Pembangkit yang memanfaatkan daya hidrolik air dengan daya listrik terbangkit sampai dengan 5 kW. Pembangkit ini dinamakan Pikohidro

➤ Pembangkit listrik tenaga mikrohidro

Pembangkit memanfaatkan daya hidrolik air dengan daya listrik yang dibangkitkan mulai lebih dari 5 kW sampai dengan 1 MW. Skema atau layout sistem pembangkit adalah *run off river* namun tidak menggunakan tandon air atau waduk. Pembangkit ini dinamakan Mikrohidro. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro ini terbagi menjadi 4 (empat):

➤ Pembangkit listrik tenaga mikrohidro kelas A

PLTMH kelas A memanfaatkan daya hidrolik air dengan daya listrik yang dibangkitkan saat komisioning 5 kW - 100 kW.

➤ Pembangkit listrik tenaga mikrohidro kelas B

PLTMH kelas B adalah pembangkit memanfaatkan daya hidrolik air dengan daya listrik yang dibangkitkan saat komisioning 100 kW - 200 kW.

➤ Pembangkit listrik tenaga mikrohidro kelas C

PLTMH kelas C memanfaatkan daya hidrolik air dengan daya listrik yang dibangkitkan saat komisioning 200 kW - 600 kW.

➤ Pembangkit listrik tenaga mikrohidro kelas D

PLTMH kelas D adalah pembangkit memanfaatkan daya hidrolik air dengan daya listrik yang dibangkitkan saat komisioning 600 kW sampai dengan 1 MW.

➤ Pembangkit listrik tenaga minihidro

PLTM memanfaatkan daya hidrolik air dengan daya listrik yang dibangkitkan 1 MW - 10 MW. Pembangkit ini juga dapat dinamakan Minihidro.

7.2.2 Pembangkit Listrik Skala Menengah

Pembangkit listrik tenaga air skala menengah adalah pembangkit yang memanfaatkan energi hidrolik air dengan skala daya listrik terbangkit lebih besar daripada 10 MW sampai dengan 50 MW.

7.2.3 Pembangkit Listrik Skala Besar

Pembangkit listrik tenaga air skala besar adalah yang memanfaatkan energi hidrolik air dengan skala daya listrik terbangkit lebih dari 50 MW.

7.3 Pemanfaatan Energi Air

7.3.1 Turbin Air Berdasarkan Head dan Debit

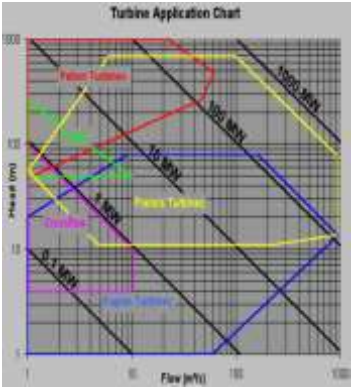
Pemilihan jenis turbin untuk PLTMH terlebih dahulu harus diketahui *head* dan besarnya debit (Ahadunnisa et al., 2015). Selanjutnya dilakukan pemilihan jenis turbin air yang digunakan. Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan menggunakan tabel kriteria menacu *head* dan gambar kurva turbin.

Tabel 7. 1 Kriteria Pemilihan Jenis Turbin Air Mengacu *Head*

Jenis Turbin	Variasi <i>Head</i> (m)
Kaplan atau Propeller	$1 < H < 20$
Francis	$10 < H < 350$
Pelton	$50 < H < 1000$

Jenis Turbin	Variasi Head (m)
Crossflow	$6 < H < 100$
Turgo	$50 < H < 250$

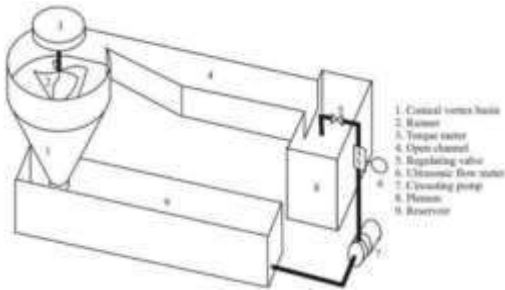
Sumber: (Kusnadi et al., 2018)



Gambar 7. 4 Kurva Pemilihan Jenis Turbin Air
Sumber : (Kusnadi et al., 2018)

7.3.3 Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro

Pikohidro adalah salah satu opsi pembangkit listrik berskala kecil dengan tinggi jatuh air maksimal 4 meter sehingga cocok untuk daerah di sekitar aliran sungai (V. N. Setiawan, 2020).



Gambar 7. 5 Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro
Sumber : (Haryadi et al., 2024)

7.3.4 Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Turbin *Cross Flow*/Turbin *Banki-Michell*/Turbine *Ossberger* ditemukan oleh Anthony Michell, Donat Banki, dan Ilmuwan Jerman Fritz Ossberger. Masing-masing telah merupakan pemegang *patent* atas jenis turbin tersebut. Turbin *Cross Flow* berputar dengan aliran yang mengalir secara melintang atau memotong (silang). Turbin cross flow didesain untuk operasi debit air lebih besar namun head lebih rendah. Sistem pembangkit dengan turbin dimaksud memiliki headnya < 100 m (Dimas, 2022).



Gambar 7. 6 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro
Sumber : (D. Setiawan, 2023)

7.3.5 Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) merupakan energi terbarukan. Minihidro. Untuk menerapkan teknologi pengolahan minihidro menjadi sumber energi terbarukan, perlu dilakukan kajian konsultansi perencanaan yang sistematis dan terperinci untuk kelaikan saat tahap konstruksi fisik pembangkit listrik tenaga minihidro. (Sipayung, 2019).



Gambar 7. 7 Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro
Sumber : (andritz hydro, 2019)

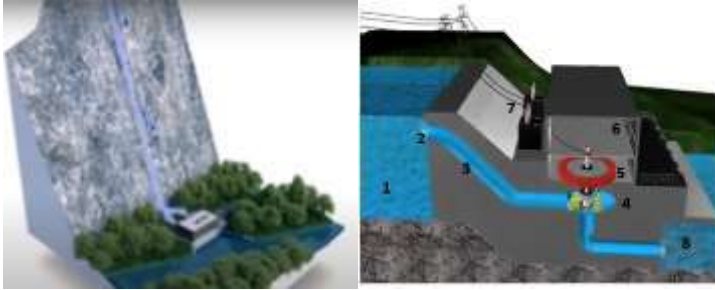
7.3.6 Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Air

Meskipun definisinya berbeda-beda, SNI 8396:2019 mendefinisikan pembangkit listrik tenaga air besar sebagai fasilitas yang mempunyai kapasitas lebih besar daripada 50 MW (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Proyek pembangkit berskala besar dengan sumber aliran air memainkan peran penting dalam perekonomian banyak negara. Di satu sisi, proyek ini menyalurkan sejumlah besar energi listrik ke dalam jaringan listrik. Di sisi lain, infrastruktur mereka juga mendukung pasokan air, irigasi, navigasi, dan pengendalian banjir, menciptakan bisnis lokal, lapangan kerja, dan meningkatkan penghidupan. Proyek pembangkit berskala besar dengan sumber aliran air yang besar membutuhkan investasi di bidang transportasi, pendidikan dan layanan kesehatan, serta pariwisata dan rekreasi, meningkatkan pertumbuhan ekonomi dan menciptakan peluang perdagangan (Andritz Hydro, 2019).

7.4 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) memiliki prinsip kerja mengkonversi tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu untuk memutar turbin, turbin yang berputar terintegrasi dengan generator menghasilkan energi listrik (Artono Arismunandar, 2004). Selanjutnya ada yang mengutarakan bahwa Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) diperoleh dari adanya energi potensial

air yang di konversi menjadi energi mekanik dengan turbin dan energi tersebut yang selanjutnya diubah untuk menjadi energi listrik oleh generator (*Renewable Energy Indonesia*, 2022).



Gambar 7. 8 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air
Sumber : (andritz hydro, 2019)

Berdasarkan gambar tersebut diatas dapat di urai rincian bagian-bagian yang dapat di katakan sistem pembangkit listrik tenaga air (Artono Arismunandar, 2004):

1. Dam/*Reservoir*;
2. *Intake* & saringan;
3. Pipa pesat (*penstock*);
4. Turbin air;
5. Generator listrik;
6. *Power house*;
7. Trafo/gardu;
8. Saluran buang air.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahadunnisa, R., Anwar, N., & Margini, N. F. (2015). Studi Optimasi Pemanfaatan Waduk Way Apu Di Provinsi Maluku Untuk Jaringan Irigasi, Kebutuhan Air Baku, Dan Potensi Plta. *Jurnal Hidroteknik*, 1(2), 51. <https://doi.org/10.12962/jh.v1i2.1667>
- andritz hydro. (2019). *ANDRITZ Hydro turbine animation - Francis* (p. 1). <https://www.youtube.com/watch?v=qp3J1eRtKn0&t=19s>
- Andritz Hydro. (2019). Large hydropower solutions. *Andritz Engineered Succes*, 1(1), 1. <https://www.andritz.com/resource/blob/33066/28ecc2bdf39febb5e05a8d80134a71ee/hy-large-hydro-data.pdf>
- Artono Arismunandar. (2004). *Teknik Tenaga Listrik I* (Anggota IKAPI (ed.); Jilid I). PT Pradnya Paramita. https://id.m.wikipedia.org/wiki/Teknik_listrik
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air. *Sni 8396:2019*, 11. <http://sispk.bsn.go.id/SNI/DetailSNI/12551>
- Dimas. (2022). *Jenis Turbin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*. Anakteknik.Co.Id. <https://www.anakteknik.co.id/dimas2000/articles/yuk-kenali-jenis-turbin-pada-pembangkit-listrik-tenaga-mikrohidro-pltmh>
- Haryadi, Sugianto, Prasetyo, & Setiawan, D. (2024). Experimental and Numerical Study on Conical Gravitational Water Vortex Turbine with 3D Runner. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 2(2), 1–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.37934/arfmts.114.2.114>

- Kusnadi, K., Mulyono, A., Pakki, G., & Gunarko, G. (2018). Rancang Bangun Dan Uji Performansi Turbin Air Jenis Kaplan Sekala Mikrohidro. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 7(2).
<https://doi.org/10.24127/trb.v7i2.817>
- PT. Reja Aton Energi. (2024). *Energi Terbarukan*. Atonergi.
www.atonergi.com
- Renewable Energy Indonesia. (2022). *Energi air*.
<https://renewableenergy.id/energi-air/>
- Setiawan, D. (2023). Pelatihan Perencanaan dan Pengujian Performa Turbin Crossflow Offgrid pada Pelatihan Perencanaan PLTMH Program ISED di Laboratorium Hidro Hycom. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat ..., January* 2024.
<https://doi.org/10.34128/mediteg.v8i2.164>
- Setiawan, V. N. (2020). *PLN Produksi Listrik dari Pembangkit Pikohidro dengan Air Limpahan*. Katadata.Co.Id.
https://katadata.co.id/berita/energi/5f14620c8cc49/pln-produksi-listrik-dari-pembangkit-pikohidro-dengan-air-limpahan#google_vignette
- Sipayung, H. P. (2019). *Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (OLTM) di Sungai Berkail Kecamatan Bahorok Kabupaten Langkat*. Universitas Sumatera Utara.
<https://repository.usu.ac.id/handle/123456789/15952>
- Water Power Technologies Office. (2020). *Types of Hydropower Plants*. Energy Efficiency & Renewable Energ.
<https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-plants>

BAB 8

BIOMASSA

Oleh Budi Triyono

8.1 Pendahuluan

Biomassa merupakan semua material organik yang berasal dari tumbuhan atau hewan yang didefinisikan menurut Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Perubahan Iklim (UNFCCC, 2005) adalah material organik (*biodegradable*) non-fosil yang berasal dari tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme yang mencakup juga beberapa produk turunan, produk sampingan, limbah pertanian, residu kehutanan, serta limbah organik non-fosil yang dapat terbiodegradasi dari limbah industri dan perkotaan. Biomassa juga mencakup produk gas dan produk cairan yang didapatkan dari penguraian bahan organik non-fosil dan dapat terbiodegradasi.

Biomassa terus-menerus terbentuk/dihasilkan melalui interaksi tumbuhan dan hewan dengan CO₂, udara, air, tanah, dan sinar matahari. Setelah suatu organisme mati, mikroorganisme akan menguraikan atau memecah biomassa menjadi bagian-bagian penyusun dasar seperti H₂O, CO₂, dan energi potensialnya. Karena karbon dioksida yang dilepaskan melalui aksi mikroorganisme atau pembakaran biomassa telah diserap oleh biomassa di masa lalu, maka biomassa dikategorikan sebagai sumber energi terbarukan dan

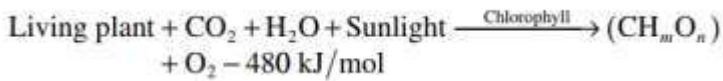
berkelanjutan. Selain itu, pembakaran biomassa secara total tidak meningkatkan total jumlah CO₂ di bumi sehingga disebut *greenhouse gas neutral* atau *GHG Neutral*.

Biomassa mencakup semua spesies makhluk hidup dan baru saja mati yang dapat digunakan sebagai bahan bakar atau produksi bahan kimia. Material organik yang selama jutaan tahun telah diubah oleh proses geologi menjadi bahan seperti batu bara atau minyak bumi tidak termasuk sebagai biomassa. Biomassa berasal dari sumber botani (spesies tumbuhan) atau biologis (kotoran dan bangkai hewan), atau berasal dari kombinasi keduanya. Sumber biomassa yang umum adalah:

1. Pertanian dan perkebunan : biji-bijian pangan, jerami, sekam padi, ampas tebu, cangkang sawit, tandan kelapa sawit, batang jagung, kulit biji, kulit kacang, dan lain-lain.
2. Hutan : pepohonan, sisa kayu, kayu atau kulit kayu, serbuk gergaji, tebangan, dan sisa penggilingan kayu, rerumputan, dan lain-lain.
3. Sampah Kota : bahan bakar yang dihasilkan dari pengolahan sampah (RDF), sampah kertas bekas, sisa makanan, *sewage sludge*, serta daun-daun dan ranting pohon.
4. Biologis dan mikroorganisme: kotoran hewan, spesies perairan, limbah biologis, dan lain-lain.

Biomassa tumbuhan terbentuk melalui proses yang mengonversi karbondioksida (CO₂) di atmosfer menjadi karbohidrat dengan memanfaatkan energi fotosintesis matahari dengan adanya air dan klorofil pada daun. Beberapa spesies biologis tumbuh dengan mengonsumsi spesies tumbuhan atau spesies biologis lainnya. Tumbuhan menyerap energi matahari dalam proses yang disebut fotosintesis seperti ditunjukkan oleh Gambar 8.1. Di hadapan sinar matahari (panjang gelombang tertentu), tumbuhan hijau memecah air untuk memperoleh elektron dan proton yang selanjutnya digunakan untuk mengubah CO₂ menjadi glukosa (CH_mO_n) dan melepaskan O₂.

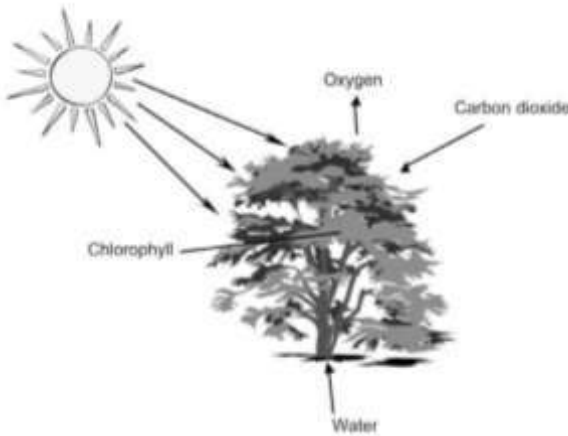
Proses fotosintesis dapat direpresentasikan dengan persamaan berikut (Hodge, 2010):



Setiap 1 mol CO₂ yang dikonversi menjadi karbohidrat atau glukosa dalam biomassa, maka dilepaskan 1 mol oksigen. Oksigen ini berasal dari air yang diambil tanaman dari tanah atau atmosfer (Klass, 1998). Klorofil pada daun berfungsi sebagai katalis dalam penyerapan karbondioksida dari atmosfer yang berperan dalam pertumbuhan tanaman. Kandungan energi kimia pada tumbuhan kemudian diteruskan ke hewan dan manusia yang menjadikan tumbuhan sebagai makanan. Kotoran manusia dan hewan juga masih termasuk biomassa.

Beberapa faktor penting yang mempengaruhi pertumbuhan biomassa adalah:

1. Kondisi tumbuhan hidup
2. Spektrum radiasi matahari tampak
3. Karbon dioksida
4. Air
5. Klorofil (berfungsi sebagai katalis)



Gambar 8. 1 Siklus Tumbuh Biomassa dengan Memanfaatkan Energi Matahari, Karbondioksida, dan Air Melalui Proses Fotosintesis

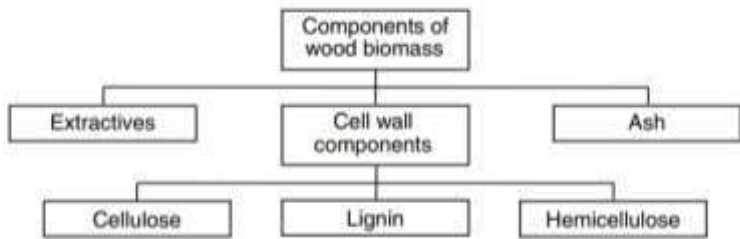
(Sumber: Basu, 2013)

8.2 Struktur Biomassa

Kayu dan residunya merupakan sumber daya biomassa yang paling dominan. Biomassa merupakan campuran kompleks bahan organik yaitu karbohidrat, lemak, dan protein, serta sejumlah kecil mineral (natrium, fosfor, kalsium, dan zat besi). Komponen utama biomassa tumbuhan adalah zat ekstraktif, komponen serat atau dinding sel, dan abu seperti ditunjukkan Gambar 8.2.

Zat Ekstraktif terdapat dalam jaringan tumbuhan atau hewan yang dapat dipisahkan melalui perlakuan berturut-turut dengan pelarut dan diperoleh kembali melalui penguapan larutan. Yang termasuk zat ekstraktif adalah pati, minyak, protein, gula, dan lain sebagainya. Dinding sel (*cell wall*) memberikan kekuatan struktural pada tanaman, memungkinkannya berdiri dengan tegak di atas tanah tanpa penyangga. Dinding sel yang khas tersusun dari karbohidrat dan lignin. Karbohidrat sebagian besar berupa serat selulosa dan hemiselulosa yang memberi kekuatan pada struktur tanaman,

sementara lignin menyatukan serat. Komposisi selulosa, hemiselulosa, dan lignin ini bervariasi menurut jenis tanaman. Beberapa tumbuhan, seperti padi, jagung, kedelai, dan umbi-umbian, juga menyimpan pati (polimer karbohidrat lain) dan lemak sebagai sumber energi, terutama pada biji dan akar. Abu merupakan komponen anorganik dari biomassa.

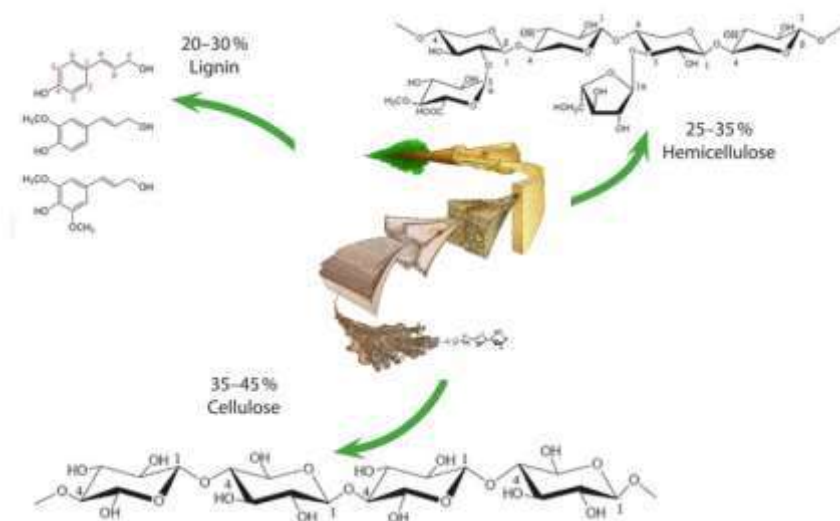


Gambar 8. 2 Komponen Penyusun Utama Biomassa Kayu

(Sumber: Basu, 2013)

Komposisi polimer pada dinding sel dan komponen biomassa lainnya sangat bervariasi, namun pada dasarnya tersusun dari tiga polimer utama, yaitu: selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Bergman et al., 2005). Batang tanaman sebagian besar terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Batang tumbuhan mempunyai dua fungsi: (1) menopang tumbuhan secara fisik sehingga daun menerima sinar matahari yang diperlukan untuk fotosintesis, dan (2) menyediakan saluran bagi tanah ke daun, dan mengangkut unsur hara (gula dan turunannya) untuk pertumbuhan batang (Pang, 2018). Struktur makro dan mikro, serta struktur kimia khas batang suatu kayu digambarkan pada Gambar 8.3.

Kayu dan biomassa lignoselulosa lainnya memiliki struktur kimia kompleks yang didominasi oleh selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Komposisinya tergantung pada jenis biomassa. Untuk kayu, kandungan selulosa sekitar 35–45 %, 25–35 % hemiselulosa, dan 20–30 % lignin (Arkkola, 2019).



Gambar 8.3 Struktur Makro dan Mikro Biomassa Kayu

(Sumber: Arkkola, 2019; Harrington, 2002)

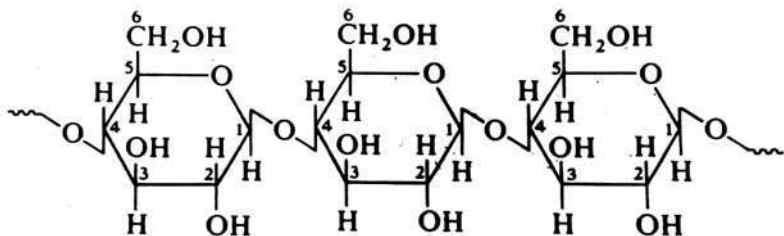
Biomassa juga mengandung pati, protein, dan komponen organik dan anorganik lainnya. Jumlah komponen organik lainnya sangat bervariasi tergantung pada spesies, namun ada juga komponen organik yang bernilai tinggi, seperti gliserida (contoh representatif termasuk minyak lobak, minyak sawit, serta minyak nabati lainnya) dan sukrosa dalam tebu dan bit gula. Contoh lainnya adalah alkaloid, pigmen, terpen, dan lilin. Meskipun jumlahnya sedikit, namun memiliki nilai tambah yang sangat tinggi sebagai bahan farmasi.

Unsur logam primer antara lain Ca, K, P, Mg, Si, Al, Fe, dan Na. Zat dan jumlahnya berbeda-beda menurut jenis bahan bakunya (Singh et al., 2016). Biomassa juga mengandung zat anorganik (abu) yang jumlahnya relatif cukup besar jika dibandingkan dengan bahan bakar padat konvensional yaitu batubara.

8.2.1 Cellulose

Selulosa adalah senyawa organik paling umum di Bumi, merupakan komponen struktural utama penyusun dinding sel biomassa. Jumlah kandungannya bervariasi dari 90% (berdasarkan berat) pada kapas, hingga 33% pada sebagian besar tanaman lainnya. Selulosa adalah polimer rantai panjang dengan tingkat polimerisasi tinggi (hingga 10.000) dan berat molekul besar (hingga 500.000). Selulosa memiliki struktur kristal ribuan unit yang terdiri dari banyak molekul glukosa. Struktur ini memberikan kekuatan tinggi, sehingga memungkinkannya menjadi struktur kerangka sebagian besar biomassa terestrial (Klass, 1998). Selulosa terutama tersusun dari d-glukosa, yang terbuat dari enam karbon atau gula heksosa.

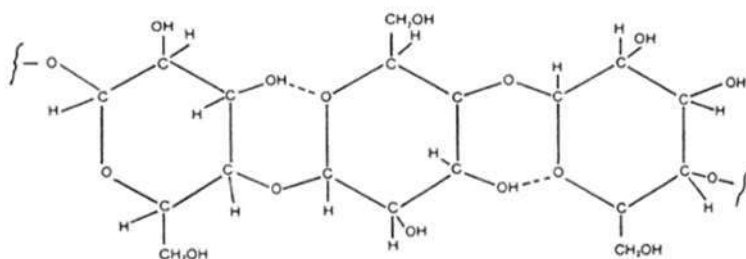
Tanaman biasanya terdiri dari 30–50% selulosa dalam keadaan basis kering. Selulosa adalah polisakarida rantai lurus yang terdiri dari residu glukosa yang terhubung dengan ikatan β -1,4-glikosidik seperti yang lebih rinci ditunjukkan pada Gambar 8.4, dengan ratusan hingga ribuan unit berulang glukosa. Rumus molekulnya adalah $(C_6H_{12}O_6)_n$. Gugus hidroksil pada unit glukosa mempunyai ikatan hidrogen dengan unit oksigen pada rantai polimer yang sama atau berdekatan, sehingga kelompok rantai tersebut membentuk mikrofibril dengan kekakuan dan kristalinitas tinggi.



Gambar 8. 4 Ikatan β -1,4-Glycosidic Pada Selulosa

(Sumber: Cowd and Firman, 1991)

Gambar 8.5 mengilustrasikan ikatan hidrogen antara gugus hidroksil dan oksigen. Namun, mikrofibril dibentuk oleh mikrokristal yang dihubungkan dan dikelilingi oleh rantai selulosa amorf dengan panjang yang bervariasi. Bagian amorf dari polimer selulosa sering kali berada dalam formasi kumparan acak.



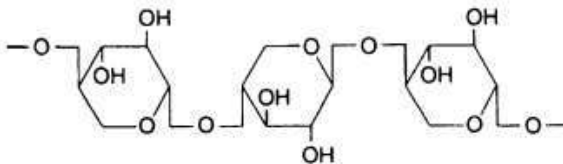
Gambar 8. 5 Ikatan Hidrogen Antara Grup Hydroxyl dan Oksigen Pada Selulosa

(Sumber: Basu, 2013)

Bagian amorf selulosa dapat dihidrolisis menjadi oligomer 4-13 derajat polimerisasi (DP) menggunakan proses hidrolisis atau dikenal sebagai *hydrothermal carbonizatuin* (HTC) pada suhu serendah 100 °C, tetapi suhu yang lebih tinggi dari 150 °C diperlukan untuk memecah oligomer selulosa amorf menjadi komponen monomernya. Bagian selulosa kristal kurang reaktif dalam kondisi HTC, karena ikatan hidrogen intra dan antarmolekulnya yang kuat, sehingga diperlukan suhu di atas 180 °C untuk memulai dekomposisi menjadi monomer glukosa. Dengan peningkatan suhu reaksi dan waktu reaksi yang singkat, DP oligomer bervariasi dari 1 (monomer) hingga maksimal 23 pada 230 °C, 25 pada 250 °C, dan 28 pada 270 °C, menunjukkan bahwa ikatan glikosidik diserang secara acak pada permukaan selulosa. Pada suhu di atas 300 °C, monomer glukosa terurai sempurna dalam waktu 5 detik (Coronella et al., 2014).

8.2.2 Hemicellulose

Polimer hemicelulosa merupakan penyusun lain dari dinding sel tanaman. Gambar 8.6 menunjukkan susunan molekul molekul hemicelulosa yang khas, xilan. Meskipun memiliki struktur kristalin yang kuat dan tahan terhadap hidrolisis, pada hemicelulosa terdapat struktur amorf yang acak dengan kekuatan yang kecil. Hemicelulosa merupakan sekelompok karbohidrat berstruktur rantai yang bercabang dengan tingkat polimerisasi yang lebih rendah (Klass, 1998).



Gambar 8. 6 Struktur Molekul Hemicelulosa, Xilan

(Sumber: Basu, 2013)

Komposisi dan struktur hemicelulosa bervariasi diantara biomassa yang berbeda, namun umumnya hemicelulosa mengandung beberapa residu gula sederhana seperti d-xilosa (yang paling umum), d-glukosa, d-galaktosa, l-arabinosa, asam d-glukuronat, dan d-mannosa. Hemicelulosa umumnya berisi 50 hingga 200 unit dalam struktur bercabangnya. Polimer hemicelulosa cenderung akan menghasilkan lebih banyak gas dengan lebih sedikit tar, jika dibandingkan selulosa (Milne, 2002). Polimer hemicelulosa ini larut dalam larutan basa lemah dan mudah dihidrolisis oleh asam atau basa encer.

Kandungan hemicelulosa dalam biomassa adalah berkisar 20-40% (Saha, 2003). Rantai polimer hemicelulosa memiliki cabang pendek, amorf, dan terdiri dari beberapa kemungkinan unit monosakarida, termasuk pentosa (xilosa dan arabinosa) dan heksosa (glukosa, manosa, dan

galaktosa). Derajat polimerisasi (DP) hemiselulosa bervariasi antara 50–200. Xilan sering digunakan sebagai model senyawa hemiselulosa yang terdiri dari xilosa dengan 1-4 ikatan. Rumus molekul rata-rata adalah $(C_5H_8O_4)_n$ (Singh et al., 2016). Hemiselulosa memiliki kristalinitas yang rendah karena sifatnya yang bercabang sehingga memungkinkan larut dalam air dan umumnya lebih reaktif dibandingkan selulosa. Ikatan eter heterosiklik hemiselulosa rentan terhadap reaksi hidrolisis yang dikatalisis oleh ion hidronium, yang diproduksi dalam kondisi HTC (Garrote et al., 1999). Hemiselulosa mudah larut dan terhidrolisis dalam air pada suhu di atas sekitar 180 °C (Toor et al., 2014). Suhu kurang dari 230 °C dan waktu reaksi yang relatif singkat diperlukan untuk menghidrolisis hemiselulosa (Coronella et al., 2014).

8.2.3 Lignin

Lignin adalah salah satu polimer organik paling melimpah di bumi (hanya dilampaui oleh selulosa) yang merupakan unsur penting ketiga dari dinding sel biomassa kayu. Lignin berupa polimer fenilpropana yang sangat bercabang, merupakan bagian integral dari dinding sel sekunder tanaman. Penyusun utama lignin adalah polimer tiga dimensi dari 4-propenil fenol, 4-propenil-2-metoksi fenol, dan 4-propenil-2,5-dimetoksil fenol (Diebold dan Bridgwater, 1997).

Lignin adalah bahan penyemen atau perekat serat selulosa, menyatukan sel-sel yang berdekatan dengan unit monomer yang dominan dalam polimer berupa cincin benzena. Peran lignin mirip dengan lem pada kotak karton, yang dibuat dengan merekatkan kertas melalui cara khusus. Lamela tengah, yang terutama terdiri dari lignin, merekatkan sel-sel yang berdekatan atau trakeid. Lignin sangat sulit larut bahkan dalam asam sulfat (Klass, 1998).

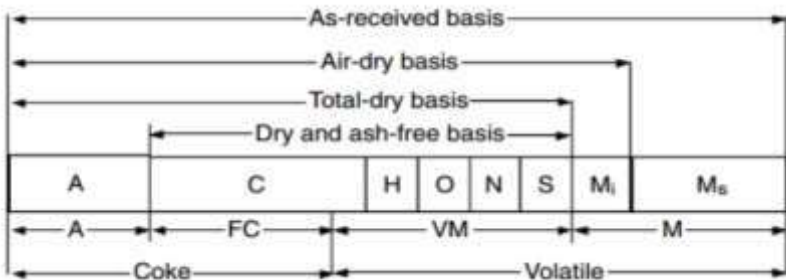
Kayu keras pada umumnya mengandung 18 hingga 25% lignin, sedangkan kayu lunak mengandung 25 hingga 35% (berat kering).

8.3 Karakteristik Bahan Bakar Padat

Klasifikasi merupakan cara penting untuk menilai sifat bahan bakar. Bahan bakar yang termasuk dalam kelompok tertentu mempunyai perilaku serupa tanpa memandang jenis atau asal usulnya. Jadi, jika ada biomassa baru yang akan dipertimbangkan untuk gasifikasi atau konversi termokimia lainnya, kita dapat memeriksa klasifikasinya terlebih dahulu dan kemudian dari sifat biomassa kelompok tersebut maka kita akan dapat menyimpulkan potensi dan proses konversi yang paling sesuai.

8.3.1 Sifat Fisik dan Komposisi Kimia Biomassa

Potensi bahan bakar padat dapat dilihat dari nilai kalor, sifat fisik dan komposisi kimianya. Sifat fisik terdiri dari *fixed carbon* (FC), zat terbang atau *volatile matter* (VM), kadar air atau *moisture* (M) dan abu atau *ash* (A). Kadar air terdiri dari kadar air permukaan (M_s) dan kadar air inheren (M_i). Unsur kimia utamanya adalah karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), Nitrogen (N) dan Sulfur (S).



Gambar 8. 7 Basis Untuk Menyatakan Komposisi Bahan Bakar Padat

Penyajian komposisi bahan bakar dapat dinyatakan dengan as receiver (AR), air kering basis (ADB) dan kering basis (DB) seperti dijelaskan pada Gambar 8.7.

Batubara merupakan bahan bakar padat konvensional yang paling banyak digunakan saat ini. Karakteristik bahan bakar padat alternatif umumnya dibandingkan dengan batu bara. Menurut ASTM, batubara diklasifikasikan menjadi antrasit, bitumen, subbituminus dan lignit seperti ditunjukkan pada Tabel 8.1.

Tabel 8. 1 Klasifikasi Batubara Menurut Sistem Ranking ASTM (dmmf)

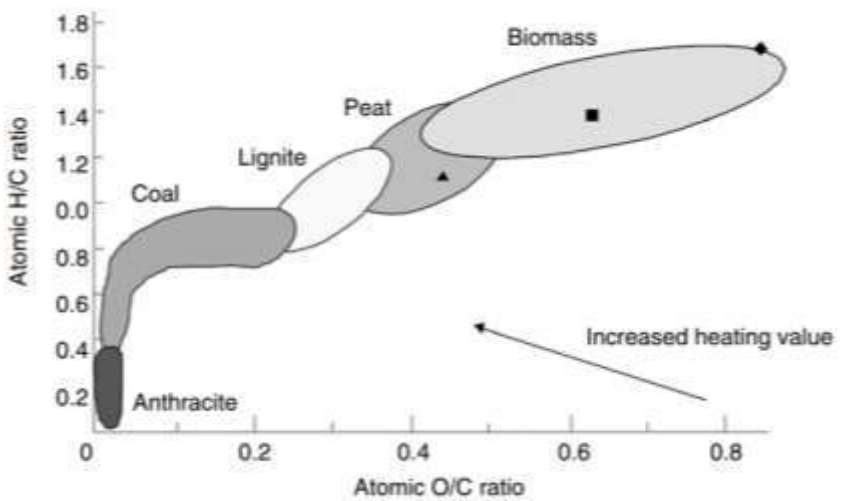
Grup Batubara	Karbon Tetap (%)	Zat Terbang (%)	Nilai Kalor (HHV)	
			MJ/kg	kcal/kg
Meta-anthracite	> 98	< 2		
Anthracite	92 - 98	02 - 08		
Semi-anthracite	86 - 92	08 - 14		
Low volatile	78 - 86	14 - 22		
Medium volatile	69 - 78	22 - 31		
High volatile A	< 69	> 31	> 32.6	> 7,786.4
High volatile B			30.2 - 30.6	7,213.2 - 7,786.4
High volatile C			26.7 - 30.2	6,377.2 - 7,213.2
Sub-bituminous A			24.4 - 26.7	5,827.8 - 6,377.2
Sub-bituminous B			22.1 - 24.4	5,278.5 - 5,827.5
Sub-bituminous C			19.3 - 22.1	4,609.7 - 5,278.5
Lignite A			14.7 - 19.3	3,511.0 - 4,609.7
Lignite B			< 14.7	< 3,511.0

(Sumber: Speight, 2014)

8.3.2 Atomic Ratio

Klasifikasi berdasarkan rasio atomik atau *atomic ratio* membantu kita memahami kandungan nilai kalor suatu bahan bakar, antara lain. Misalnya, semakin tinggi nilai kalor (HHV) suatu biomassa berkorelasi baik dengan rasio oksigen terhadap karbon (O/C), yang berkurang dari 38 menjadi sekitar 15 MJ/kg sementara rasio O/C meningkat

dari 0,1 menjadi 0,7. Ketika rasio hidrogen terhadap karbon (H/C) meningkat, nilai kalor efektif bahan bakar berkurang. Rasio atom didasarkan pada kandungan hidrogen, oksigen, dan karbon dalam bahan bakar. Gambar 8.8 memplot rasio atom (H/C) terhadap (O/C) pada *dry ash free basis* untuk semua bahan bakar, mulai dari antrasit yang kaya karbon hingga biomassa kayu yang kekurangan karbon. Plot ini, yang dikenal sebagai Diagram Van Krevelen, menunjukkan bahwa biomassa memiliki rasio H/C dan O/C yang jauh lebih tinggi dibandingkan bahan bakar fosil. Untuk sejumlah besar biomassa, rasio H/C dapat dinyatakan sebagai fungsi linier dari rasio (O/C) (Jones et al., 2006).

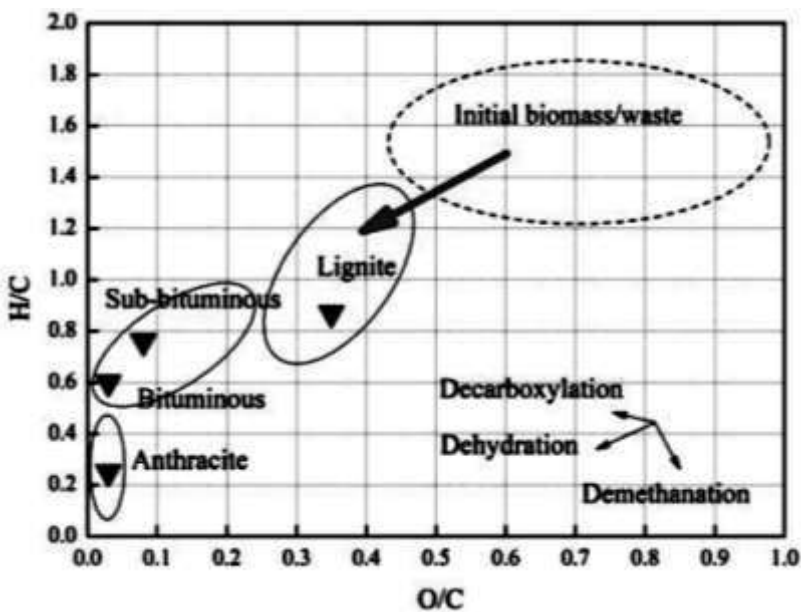


Gambar 8. 8 Klasifikasi Bahan Bakar Padat Berdasarkan Rasio H/C dan O/C

(Sumber: Basu, 2013)

Biomassa tanaman segar seperti daun memiliki nilai kalor yang sangat rendah karena rasio H/C dan O/C yang tinggi. Rasio atom suatu bahan bakar menurun seiring bertambahnya usia geologisnya, yang berarti semakin tua bahan bakar tersebut, semakin tinggi kandungan energinya.

Antrasit, misalnya, bahan bakar fosil yang terbentuk secara geologis selama ribuan tahun, memiliki nilai kalor yang sangat tinggi. Rasio H/C yang lebih rendah menghasilkan panas yang lebih tinggi, namun intensitas karbon atau emisi CO₂ dari pembakarannya tinggi. Di antara semua bahan bakar hidrokarbon, biomassa memiliki kandungan oksigen tertinggi. Sayangnya, oksigen tidak memberikan kontribusi yang berguna terhadap nilai kalor dan menyulitkan transformasi biomassa menjadi bahan bakar cair. Kandungan oksigen dan hidrogen yang tinggi pada biomassa menghasilkan hasil volatil dan cair yang tinggi. Oksigen yang tinggi menghabiskan sebagian hidrogen dalam biomassa, menghasilkan air yang kurang bermanfaat, sehingga kandungan H/C yang tinggi tidak menghasilkan hasil gas yang tinggi.



Gambar 8. 9 Pola/Jalur Karbonisasi Biomassa
(Sumber: Areeprasert et al., 2015)

Dari segi komposisi kimianya, persamaan bahan bakar padat alternatif dengan batubara dapat dipetakan dengan menggunakan diagram Van Krevelen seperti terlihat pada Gambar II.10. Biomassa/limbah umumnya memiliki rasio O/C dan H/C yang lebih tinggi dibandingkan batubara. Proses torefaksi atau karbonisasi mengurangi kandungan O dan H sehingga menghasilkan produk yang lebih mendekati karakteristik batubara.

8.4 Pemanfaatan Biomassa Sebagai Bahan Bakar Padat

Tabel 8.2 mengilustrasikan teknologi limbah menjadi energi saat ini dan produk akhirnya: termokimia, biokimia, dan kimia. Termokimia mengubah limbah menjadi panas, tenaga, bahan bakar padat (char), bahan bakar cair (aerosol), dan bahan bakar gas (hidrogen, metana, syngas). Biokimia mengubah limbah menjadi listrik, bahan bakar cair (etanol, biodiesel), dan bahan bakar gas (hidrogen, metana). Penjelasan singkat mengenai metode biokimia dan termokimia konversi biomassa atau sampah padat disajikan pada bagian ini.

Tabel 8. 2 Teknologi Pengolahan Biomassa Menjadi Energi

Merode <i>Waste to Energy</i>		Proses	Produk
<i>Thermo-chemical</i>	<i>Incineration</i>	Membakar biomassa pada suhu di atas 1000 °C	Panas, <i>Power</i> , CHP
		<i>Co-firing</i> dengan batubara	
		Menggunakan <i>pre-treated biomass</i> sebagai <i>refuse derived fuel (RDF)</i>	
	<i>Thermal-gasification</i>	Konvensional: diproses pada suhu 750 °C	Hidrogen, metana,

Merode Waste to Energy		Proses	Produk
		Busur plasma : diproses dengan melewati biomassa menjadi kerabat pada suhu 4000-7000 °C	syngas
	Pirolisis	Suhu 300-800 °C tidak adanya oksigen dengan laju pemanasan tinggi	Arang, gas, aerosal, syngas
Bio-chemical	Fermentasi	Fermentasi gelap: Sampah organik diolah dengan bakteri tanpa adanya sumber cahaya	Etanol, hidrogen, biodiesel
		Fermentasi foto: Biomassa diolah dengan bakteri dengan adanya cahaya	
	Anaerobic digestion	Proses konversi dilakukan oleh mikroorganisme tanpa adanya oksigen	Gas metana
	Landfill dengan penangkapan gas	Ekstraksi dari lokasi landfill yang ada, melalui proses dekomposisi alami	Gas Metana
	Microbial fuel cell	Reaksi katalitik mikroorganisme dan bakteri alami untuk mengubah kandungan energi kimia biomassa	Power
Chemical	Esterification	Reaksi asam dan alkohol menghasilkan ester	Etanol, Biodiesel

(Sumber: World Energy Council, 2016)

8.3.1 Konversi Biochemical

Dalam konversi biokimia, molekul biomassa dipecah oleh bakteri atau enzim menjadi molekul yang lebih kecil. Proses konversi ini jauh lebih lambat dibandingkan proses

konversi termokimia, namun proses ini tidak memerlukan banyak energi eksternal (Basu, 2013). Dua cara utama untuk konversi biokimia adalah *digestion* atau pencernaan (anaerobik, aerobik) dan Fermentasi.

Pencernaan aerobik atau dikenal dengan proses pengomposan juga merupakan penguraian biokimia biomassa, menggunakan berbagai jenis mikroorganisme yang mengambil oksigen dari udara, menghasilkan karbondioksida, panas, dan padatan. Degradasi aerobik terjadi dengan adanya oksigen. Karena degradasi aerobik terjadi jauh lebih cepat dibandingkan pencernaan anaerobik, proses aerobik lazim dan dominan bila oksigen bebas tersedia. Kecepatan dekomposisi yang cepat disebabkan oleh siklus reproduksi bakteri aerob yang lebih pendek dibandingkan dengan mikroorganisme anaerobik. Yang terakhir ini menyisakan sebagian energi yang tidak terpakai, yang kemudian dilepaskan dalam bentuk biogas (Vögeli dkk., 2014).

Produk utama pencernaan anaerobik adalah metana, karbon dioksida, dan residu padat. Bakteri mengakses oksigen dari biomassa itu sendiri, bukan dari udara sekitarnya (Basu, 2013). Beberapa bahan organik, seperti lignin, tetap tidak tercerna, begitu pula dengan inklusi non-organik dalam limbah (Monnet, 2003). Pencernaan yang dihasilkan secara anaerobik lebih mudah terganggu dibandingkan proses yang terjadi di dalam tumpukan kompos. Perubahan kondisi sekitar, bahan baku, atau kadar zat penghambat toksik dapat dengan mudah mengganggu atau menghentikan proses anaerobik (Vögeli et al., 2014).

Dalam fermentasi, sebagian biomassa dikonversi menjadi gula dengan menggunakan asam atau enzim. Produk gula tersebut selanjutnya diubah menjadi etanol atau bahan kimia lainnya dengan bantuan ragi. Lignin tidak

diubah dan dibiarkan terbakar atau diubah secara termokimia menjadi bahan kimia. Produk luaran proses fermentasi berbentuk cairan (Basu, 2013).

8.3.2 Konversi Thermochemical

Konversi sumber energi panas biomassa atau limbah padat menggunakan jalur termokimia secara umum dapat dilakukan melalui lima cara yaitu (1) pembakaran langsung, (2) gasifikasi, (3) pencairan atau likuifaksi atau pirolisis, (4) karbonisasi, dan (5) torefaksi (Basu, 2013). Perbedaan antara pirolisis (pencairan), karbonisasi dan torefaksi ditunjukkan secara singkat pada Tabel 8.3.

Pembakaran merupakan reaksi eksotermik antara oksigen dan hidrokarbon yang menghasilkan energi panas. Hidrokarbon bereaksi dengan oksigen berubah menjadi dua senyawa stabil utama: H_2O dan CO_2 . Panas yang dikeluarkan merupakan sumber konsumsi energi terbesar manusia saat ini. Temperatur tertentu diperlukan untuk menyuplai energi aktivasi yang diperlukan untuk pembakaran yang dikenal sebagai temperatur penyalaan. Kandungan air yang berlebihan pada bahan baku akan mengganggu proses pembakaran langsung dan mengurangi pembentukan panas bersih sehingga proses ini tidak sesuai untuk bahan baku biomassa yang basah.

Gasifikasi adalah proses yang mengubah bahan karbon berbasis bahan bakar organik atau fosil menjadi karbon monoksida, hidrogen, dan karbon dioksida. Hal ini dicapai dengan mereaksikan bahan hidrokarbon pada suhu tinggi (lebih dari $700\text{ }^{\circ}C$) dengan jumlah oksigen yang terkontrol untuk mencegah terjadinya pembakaran. Campuran gas yang dihasilkan disebut syngas. Keuntungan dari gasifikasi adalah penggunaan syngas (gas sintesis H_2/CO) berpotensi lebih efisien dibandingkan pembakaran langsung bahan bakar asli karena dapat dibakar pada suhu

yang lebih tinggi. Syngas dapat dibakar langsung di mesin gas, digunakan untuk memproduksi metanol dan hidrogen, atau diubah melalui proses Fischer-Tropsch menjadi bahan bakar cair sintetis.

Likuifaksi atau **Pirolisis** adalah proses termokimia untuk mengubah bahan organik menjadi bahan bakar bio-cair. Tujuan utama dari setiap proses pencairan adalah untuk menghasilkan produk cair dengan peningkatan rasio hidrogen terhadap karbon, kandungan heteroatom (sulfur, nitrogen, dan oksigen) yang berkurang, dan kandungan anorganik yang minimal. Hal ini dicapai dengan berbagai metode, yang secara umum dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori utama: pirolisis, pencairan langsung, dan pencairan tidak langsung. Dalam pirolisis, biomassa dipanaskan untuk menghasilkan gas dan cairan/tar sambil meninggalkan arang. Cairan/tar dikondensasikan dan diolah lebih lanjut untuk menghasilkan bahan bakar cair konvensional. Dalam pencairan langsung, bubuk biomassa dicampur dengan pelarut dan, biasanya, katalis, dan dipanaskan di bawah tekanan dalam atmosfer hidrogen untuk menghasilkan produk berbentuk gas dan cair. Dalam pencairan tidak langsung, biomassa terlebih dahulu digasifikasi untuk menghasilkan syngas, yang kemudian diubah dengan adanya katalis pada suhu dan tekanan yang sesuai menjadi produk cair.

Karbonisasi adalah proses termokimia untuk mengubah bahan organik menjadi arang. Karbonisasi adalah pirolisis ringan, diperoleh melalui eliminasi air dan zat-zat yang mudah menguap dari bahan organik karena aksi panas dalam kondisi terbatas atau tidak adanya oksigen. Temperatur karbonisasi lebih dari 300 °C dan sebagian besar dilakukan pada temperatur 400-500 °C dengan laju pemanasan rendah sehingga menghasilkan arang karbon tetap tinggi.

Torefaksi sebenarnya hampir sama dengan proses karbonisasi. Torefaksi adalah karbonisasi ringan, dilakukan pada suhu lebih rendah dari 300 °C dalam kondisi terbatas atau tidak adanya oksigen. Perlakuan awal termal ini meningkatkan kepadatan energi bahan bakunya, mengurangi rasio oksigen terhadap karbon (O/C), dan mengurangi sifat higroskopisnya. Selama proses ini, biomassa mengering dan mengalami devolatilisasi sebagian, sehingga mengurangi massanya sekaligus mempertahankan sebagian besar kandungan energinya. Proses torefaksi menghilangkan H₂O dan CO₂ dari bahan baku organik. Akibatnya, rasio O/C dan H/C bahan baku berkurang. Torefaksi juga meningkatkan kandungan karbon relatif bahan baku. Karakteristik produk torefaksi bergantung pada suhu torefaksi, waktu, dan jenis bahan baku.

Tabel 8. 3 Perbedaan Pirolisis, Karbonisasi, dan Torefaksi

<i>Heating Temp (°C)</i>	<i>Proses Yang Terjadi</i>	<i>Heating Rate</i>	<i>Proses</i>	<i>Produk</i>
20-110	Biomassa dipanaskan terlebih dahulu dan mendekati suhu 100 °C, kelembapan mulai menguap	<i>Low/fast</i>	<i>Drying/penge ringan</i>	<i>Bone dry wood</i>
110-200	Pemanasan lebih lanjut akan menghilangkan sisa-sisa kelembapan dan memulai sedikit dekomposisi	<i>Low/fast</i>	<i>Preheating/P ostdrying</i>	<i>Preheated dry wood</i>
200-270	Biomassa terurai melepaskan zat-zat yang mudah menguap (misalnya asam asetat,	<i>Low/fast</i>	<i>Torrefaction</i>	<i>Mildly torrefied wood</i>

<i>Heating Temp (°C)</i>	<i>Proses Yang Terjadi</i>	<i>Heating Rate</i>	<i>Proses</i>	<i>Produk</i>
	metanol, CO, dan CO ₂)			
270-300	Dekomposisi eksotermik mulai melepaskan <i>condensable</i> dan <i>noncondensable vapors</i>	<i>Low/fast</i>	<i>Torrefaction</i>	<i>Severely torrefied wood</i>
300-400	Struktur biomassa terus mengalami kerusakan. Pelepasan tar mulai mendominasi	<i>Low</i>	<i>Low temperature carbonization</i>	<i>Low fixed carbon charcoal</i>
		<i>High</i>	<i>Pyrolysis</i>	<i>Liquid</i>
400-500	Sisa tar dari arang dilepaskan	<i>Low</i>	<i>Carbonization</i>	<i>High fixed carbon charcoal</i>
		<i>High</i>	<i>Pyrolysis</i>	<i>Liquid</i>
> 500	Karbonisasi selesai		<i>High temperature carbonization</i>	<i>Tar-free charcoal</i>
			<i>Pyrolysis</i>	<i>Liquid, higher gas yield</i>

(Sumber: Basu, 2013)

8.3.3 Studi Pemanfaatan Biomassa Sampah Kota atau Municipal Solid waste (MSW) Sebagai Bahan Bakar Padat

Pada studi ini dilakukan uji proksimat (sifat fisik) dan nilai kalor untuk mengetahui sifat-sifatnya pada lima komponen sampah yang paling banyak ditemukan pada survei lapangan, yaitu: sampah dedaunan, sisa makanan, sisa sayuran, sisa buah-buahan, dan sampah plastik non-daur ulang. Daun mahoni digunakan sebagai perwakilan sampah dedaunan. Beras digunakan sebagai representasi dari sebagian besar sisa makanan di Indonesia. Batang daun singkong dipilih sebagai sampel limbah sayuran berdasarkan limbah sayuran yang paling banyak ditemukan dalam survei. Kulit pisang digunakan sebagai representasi limbah buah. Plastik kemasan mie instan digunakan sebagai representasi dari sampah plastik non-daur ulang.

Hasil uji proksimat dan nilai kalor memberikan data kadar air, sifat fisik, dan nilai kalor masing-masing komponen sampah seperti terlihat pada Tabel 8.4. Selain itu terdapat pula beberapa perhitungan untuk memprediksi karakteristik sampah organik (Organic mixed MSW) dan sampah campuran organik-plastik (Non-recycled mixed MSW) sebagai bahan bakar padat.

Tabel 8. 4 Sifat Fisik dan Nilai Kalor (HHV) Komponen Sampah Kota

No	Komponen MSW	Fraksi Massa (%)	Sifat Fisik (%) – dry based			Moisture (%)		Nilai Kalor (HHV) (MJ/kg)		
			VM	FC	Ash	M _i	M _T	DB	ADB	AR
1	Sampah Dedaunan	34,7	73,2	17,9	8,9	12,3	40,7	19,6	17,2	11,6
2	Sisa makanan	23,3	84,2	15,1	0,6	8,5	65,0	18,0	16,5	6,3
3	Sampah Sayuran	14,3	77,1	13,7	9,2	11,5	88,3	18,3	16,2	2,1
4	Sampah buah	11,0	73,4	14,6	12,0	9,9	83,5	18,4	16,6	3,0
5	Non-Recycled Plastic (PP) ^{a)}	16,7	99,3	0,0	0,7	0,4	1,7	45,8	45,6	45,0

No	Komponen MSW	Fraksi Massa (%)	Sifat Fisik (%) – dry based			Moisture (%)		Nilai Kalor (HHV) (MJ/kg)		
			VM	FC	Ash	M _i	M _T	DB	ADB	AR
6	Organics Mixed MSW ^{b)}	83,3	76,9	15,9	7,1	10,8	61,3	18,8	16,7	7,3
7	Non-Recycled Mixed MSW ^{b)}	100,0	80,7	13,3	6,0	9,1	51,4	23,3	21,2	11,3
8	Batubara Indonesia ^{c)}	-	47,1	46,4	6,5	16,3	34,4	27,1	23,2	17,5
9	Batubara Sub-bituminous C (Speight, 2014)	-						19,33 - 22,1 (dried basis)		

Keterangan:

a) Data dari hasil penelitian (Pasek et al., 2013)

b) Hasil perhitungan

c) Sample batubara diperoleh dari *coal yard* salah satu pembangkit di Indonesia

DB = *dried basis*, ADB = *air dried basis*, AR = *as received*

(Sumber: Triyono et al., 2017)

Kadar air sampah organik sangat besar yaitu 61,3%, walaupun dimasukkan dengan sampah plastik pun kadar airnya masih cukup besar yaitu 51,4% sehingga perlu dilakukan proses pengeringan sebelum dapat dijadikan bahan bakar. Jika proses *pre-treatment* hanya dilakukan dengan proses pengeringan air permukaan maka nilai kalor campuran sampah organik sebesar 16,74 MJ/kg jauh lebih rendah dibandingkan Batubara Indonesia sebesar 23,24 MJ/kg dan C sub-bituminus sebesar 19,33-22,1 MJ/ kg. Penambahan sampah plastik meningkatkan nilai kalor menjadi 21,17 MJ/kg serupa dengan batubara sub-bituminus C.

Kadar abu sampah organik lebih tinggi 7,1% dibandingkan kadar abu batubara sebesar 6,5%, namun kadar abu sampah campuran lebih sedikit sekitar 6,0%. Hal ini menunjukkan bahwa sampah plastik memberikan kontribusi positif terhadap penurunan kadar abu, sedangkan sampah organik memberikan kontribusi negatif terutama dari komponen sampah sisa buah-buahan dan sayuran. Sifat bahan bakar padat dari campuran sampah

non-daur ulang kaya akan kandungan zat mudah menguap (*volatile matter*) sebesar 80,7% dan kandungan karbon tetap yang rendah sebesar 13,3% sehingga tidak dapat digunakan langsung sebagai pengganti batubara karena akan menghasilkan karakteristik pembakaran yang berbeda. Beberapa upaya yang dapat dilakukan adalah dengan memodifikasi sistem pembakaran, melakukan *blending* untuk *co-firing* dengan komposisi tertentu, atau melakukan *pre-treatment* untuk meningkatkan kandungan *fixed carbon*-nya melalui proses karbonisasi atau torefaksi.

8.5 Penutup

Cadangan energi fosil yang kian terbatas dan pemakaian energi fosil yang masif menjadi salah satu percepatan terjadinya pemanasan global. Biomassa merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang akan selalu ada selama keseimbangan alam berjalan sebagaimana mestinya. Pemanfaatan secara optimal sumber energi biomassa sebagai sumber energi terbarukan dapat menjadi salah satu solusi dalam mengantisipasi permasalahan energi dan lingkungan tersebut.

Pemanfaatan limbah biomassa menjadi sumber energi merupakan langkah bijak untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dan menjaga keseimbangan lingkungan. Sampah kota merupakan salah satu limbah biomassa yang saat ini masih menjadi permasalahan pelik, terutama di kota-kota besar di Indonesia. Padahal, sampah kota ini sebenarnya merupakan sumber energi biomassa terbarukan yang akan selalu timbul atau tersedia selama ada kehidupan manusia. Pengelolaan dan pemanfaatan sampah kota dan limbah biomassa lainnya secara tepat, selain dapat menyelesaikan permasalahan lingkungan, juga dapat menjadi salah satu sumber energi terbarukan karena ketersediaannya yang terjamin selalu tersedia selama ada kehidupan manusia.

DAFTAR PUSTAKA

- Areeprasert, C., Ma, D., Prayoga, P., and Yoshikawa, K. (2015): A review on pilot-scale applications of hydrothermal treatment for upgrading waste materials, *International Journal of Environmental Science and Development*, **7**(6), 425–430. <https://doi.org/10.7763/ijesd.2016.v7.813>
- Arkkola, H. (2019): Towards a circular economy with multiple-product biorefineries, retrieved 17 July 2019, from internet: <https://www.elomatic.com/en/elomatic/expert-articles/towards-a-circular-economy-with-multiple-product-biorefineries.html>.
- Basu, P. (2013): *Biomass gasification and pyrolysis - Practical design and theory* (Second), Academic Press, Academic Press,.
- Bergman, P.C.A., Boersma, A.R., Kiel, J.H.A., Prins, M.J., Ptasiński, K.J., Janssen, F.J.J.G., 2005. Torrefaction for entrained-flow gasification of biomass. Energy Research Centre of The Netherlands, ECN Report ECN-C-05-067.
- Coronella, C. J., Lynam, J. G., Reza, M. T., and Uddin, and M. H. (2014): Hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass, 275–311 in *Application of Hydrothermal Reactions to Biomass Conversion*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-54458-3>
- Cowd, M. A., and Firman, H. (1991): *Kimia polimer*, Penerbit ITB, Bandung.
- Diebold, J.P., Milne, T.A., Czernik, S., Osamaa, A., Bridgwater, A.V., Cuevas, A., Gust, S., Huffman, D., Piskorz, J., 1997. Proposed specification for various grades of pyrolysis oils. In: Bridgwater, A.V., Boocock, D.G.B. (Eds.), *Developments in Thermochemical Biomass Conversion*. Blackie Academic & Professional

- Garrote, G., Domínguez, H., and Parajó, J. C. (1999): Hydrothermal processing of lignocellulosic materials, *Holz Als Roh- Und Werkstoff*, **57**(3), 191–202. <https://doi.org/10.1007/s001070050039>
- Jones, J.M., Nawaz, M., Darvell, L.I., Ross, A.B., Pourkashanian, M., Williams, A., 2006. Towards biomass classification for energy applications. In: Bridgwater, A.V., Boocock, D.G.B. (Eds.), *Science in Thermal and Chemical Biomass Conversion*, vol. 1. CPL Press, pp. 331–339
- Harrington, J. J. (2002): *Hierarchical modelling of softwood hygro-elastic properties*, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- Hodge, B.K., 2010. Biomass (Chapter 12). *Alternative Energy Systems & Applications*. Wiley, pp. 296–329.
- Klass, D.L., 1998. Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals. Academic Press, pp. 30, 276–277, 233, 239.
- Milne, T., 2002. Pyrolysis: the thermal behaviour of biomass below 600 °C (Chapter 5). In: Reed, T.B. (Ed.), *Encyclopedia of Biomass Thermal Conversion*, 3rd ed. Biomass Energy Foundation Press, pp. II-96–131
- Monnet, F. (2003): *An introduction to anaerobic digestion of organic wastes*, Remade Soctland.
- Pang, S. (2018): Advances in thermochemical conversion of woody biomass to energy, fuels and chemicals, *Biotechnology Advances*, **37**(4), 589–597. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.11.004>
- Singh, A., Rawat, K. S., Nautiyal, O. P., and Chavdal, T. V. (2016): Biomass to fuel: Conversion techniques, 155–194 in *Energy resources: Development, Harvesting and Management*.
- Speight, J. G. (2014): *The chemistry and technology of coal*, CRC Press.

- Toor, S. S., Rosendahl, L. A., Hoffmann, J., Pedersen, T. H., Nielsen, R. P., and Sjøgaard, E. G. (2014): Hydrothermal liquefaction of biomass, 189–217 in *Application of hydrothermal Reaction to Biomass Conversion*.
- Triyono, B., Prawisudha, P., Pasek, A. D., and Mardiyati (2017): Study on utilization of Indonesian non-recycled municipal solid waste as renewable solid fuel, *International Conference on Thermal Science and Technology (ICTST)*, 020004. <https://doi.org/10.1063/1.5046588>
- UNFCCC, 2005. Clarifications of definition of biomass and consideration of changes in carbon pools due to a CDM project activity, EB-20, Appendix 8, July.
- Vögeli, Y., Riu, C., Gallardo, A., Diener, S., and Zurbrügg, C. (2014): *Anaerobic digestion of biowaste in developing countries, Sandec: Department of Water and Sanitation in Developing Countries*.
- World Energy Council (2016): World energy resources waste to energy 2016, *Waste-To-Energy*, retrieved from internet: <https://www.worldenergy.org/wp->

BAB 9

BIOGAS

Oleh M. Syaiful

9.1 Pendahuluan

Indonesia memiliki potensi yang signifikan di sektor energi, mencakup energi terbarukan dan sumber energi fosil. Energi adalah kebutuhan penting dalam kehidupan sehari-hari, berasal dari beberapa sumber seperti energi surya, minyak, gas alam, dan kayu. Energi ini digunakan untuk fungsi rumah tangga seperti memasak dan pencahayaan. Kekurangan minyak adalah masalah serius, terutama mengingat kenaikan harga minyak global yang substansial.

Prioritaskan penghematan energi dan bahan bakar harus dilaksanakan sejak lama, mengingat sifat yang terbatas dari sumber bahan bakar fosil dan meningkatnya permintaan yang terus-menerus, yang menyebabkan fluktuasi yang tidak dapat diprediksi dalam harga dan ketersediaan. Mencari sumber energi alternatif yang dapat diperbarui adalah cara untuk mengurangi penggunaan bahan bakar minyak dan sumber energi yang tidak dapat diperbarui.

Tabel 9. 1 Potensi Energi Baru Terbarukan Di Indonesia

No	Energi Terbarukan	Pemanfaatan (%)	Potensi (MW)	Kapasitas Terpasang (MW)
1	Matahari	0,04 %	207.898 MW	78.5 MW
2	Angin	0,01 %	60.647 MW	21 MW
3	Air	6,4 %	75.091 MW	4.826 MW
4	Panas Bumi	4,9 %	29.544 MW	1.438,5 MW
5	Bioenergi	5,1 %	32.654 MW	1.671 MW

Sumber:Kementerian ESDM 2020

Bioenergi adalah jenis energi berkelanjutan yang diperoleh dari organisme hidup. Ada dua kategori utama bioenergi: bioenergy konvensional, yang dikenal dan secara tradisional digunakan di daerah pedesaan, seperti pemanfaatan kayu. Sebaliknya, bioenergi modern menyediakan berbagai macam aplikasi inovatif dan berbagai bentuk. bioenergi modern mencakup beberapa bentuk seperti bioetanol, biodiesel, biogas, dan biomassa.

Biogas adalah bentuk energi terbarukan yang telah digunakan secara luas di daerah-daerah tertentu di Indonesia. Biogas biasanya dihasilkan oleh pengolahan limbah peternakan seperti limbah ternak, limbah pertanian seperti kotoran, dan penolakan organik. Komposisi biogas bervariasi tergantung pada sumber limbah, sering terdiri dari sekitar 50% - 70% metana (CH₄), 25% - 50% karbon dioksida (CO₂), 1% - 5% hidrogen (H₂), 0,3% - 3% nitrogen (N₂), dan jejak hidrogen sulfida (H₂S). Sebagai ilustrasi, sisa cair yang diproduksi oleh sektor tapioca memiliki potensi untuk menghasilkan bio-gas dengan kandungan metana 58,8% CH₄, menjadikannya sumber energi alternatif yang layak. (Isdiyanto, 2010).

9.2 Biogas

Biogas adalah gas yang dihasilkan oleh dekomposisi anaerob materi organik oleh mikroorganisme. Komponen utama biogas terdiri dari gas metana (CH₄), karbon dioksida (CO₂), nitrogen (N₂), oksigen (O₂), hidrogen (H₂), dan sulfur (H₂S). Bio-gas terbentuk dari decomposisi substrat di bawah kondisi anaeroba. (CO₂). (The Andersons Centre, 2010). Biogas dihasilkan melalui pencernaan anaerobik oleh bakteri yang ditemukan dalam biomassa dalam kondisi yang kurang oksigen, seperti yang dijelaskan oleh Arthur Wellinger pada tahun 2013.

Biogas dihasilkan melalui dekomposisi anaerob substrat organik termasuk sampah organik, limbah rumah tangga, dan limbah industri. Biogas dapat berfungsi sebagai sumber energi terbarukan dan digunakan dalam berbagai cara, termasuk sebagai pembangkit listrik, kendaraan bahan bakar, dan penggantian gas alam. Proses biologis anaeroba yang bertanggung jawab untuk produksi biogas melibatkan banyak bakteri yang menggunakan jalur metabolik yang berbeda untuk memecah materi organik.

Tabel 9. 2 Nilai Produksi Biogas dan Gas Metana dari Berbagai Jenis Sampah

No	Jenis Sampah	Nilai Produksi Biogas (m ³ / ton sampah)	Kandungan Gas Metana	Nilai Produksi Metana (m ³ / ton sampah)
1	Sampah kebun (daun-daun)	23	60	14
2	Rumput	34	60	20
3	Sampah Kertas	112	60	67
4	Sampah Makanan	144	60	86
5	Lemak dan Minyak	390	60	234

Sumber: Environment Canada, 2013

Biogas mengandung hidrogen sulfida, nitrogen, amonia, dan hidrogen, tetapi dalam proporsi yang lebih kecil. Biasanya, tingkat hidrogensulfida dalam biogas jatuh antara 200 dan 4.000 bagian per juta (ppm), dengan konsentrasi setinggi 100 ppm yang menimbulkan risiko bagi kesehatan manusia. (*Occupational Safety and Health Administration*, 2005). Secara rinci, tipikal komposisi biogas dapat dilihat pada Tabel 9.3.

Tabel 9. 3 Tipikal Komposisi Biogas

No	Komponen Penyusun	Simbol	Konsentrasi
1	Metana	CH ₄	50-70 %
2	Karbondioksida	CO ₂	35-40 %
3	Air	H ₂ O	2(20°C)-7(40°C)
4	Hidrogen Sulfida	H ₂ S	20-20000 ppm (2%)
5	Nitrogen	N ₂	<2 %
6	Oksigen	O ₂	<2 %
7	Hidrogen	H ₂	<1 %
8	Amonia	NH ₃	<0,05%

Sumber: Vogeli, et al, 2014

9.2.1 Proses Biogas

Biogas dapat dihasilkan melalui dekomposisi bahan organik, yang mengalami degradasi yang cepat. Ini termasuk bahan-bahan organik seperti buah-buahan yang rusak, sayuran, sisa-sisa hewan, limbah dari ternak, dan sampah rumah tangga.

Biogas diproduksi oleh proses fermentasi, yang melibatkan pemecahan senyawa organik oleh mikroorganisme (bakteri) dalam tidak adanya oksigen,

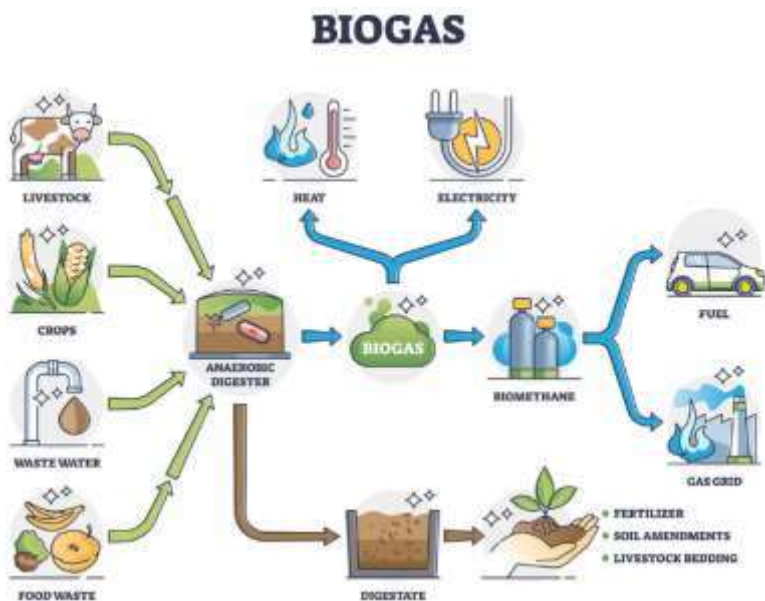
mengakibatkan penyerapan energi. (kondisi anaerobik). contoh sehari-hari fermentasi termasuk produksi miso dari kacang kedelai dan penciptaan pita dari kacang. Ekstrak lembu disimpan dalam wadah, seperti tabung yang dikenal sebagai digester atau tangki pencernaan. Generasi gas dalam tangki pembuangan dapat difasilitasi oleh beberapa bakteri, termasuk bakteri fermentatif dan bakteri metana.

Proses terjadinya gas metana membutuhkan beberapa persyaratan, yaitu:

1. Pastikan pengadukan dilakukan secara teratur dan merata.
2. Pertimbangkan pH dan keasaman. Jika pH tangki terlalu rendah, yaitu di bawah 5, maka kotoran hewan atau sampah organik harus ditambahkan ke dalam tangki tanpa dicampur dengan air. Jika pH lebih tinggi, yaitu di atas 8, maka disarankan untuk menambahkan kapur untuk mengurangi kadar keasaman yang tinggi.
3. Suhu ideal adalah 35 derajat Celcius.
4. Perbandingan karbon-nitrogen (C:N) harus sesuai dengan standar.
5. Perhatikan tingkat racun dalam kotoran ternak atau sampah organik.
6. Pastikan bahwa apa yang ada di dalam tangki tidak mengandung zat yang dapat membunuh bakteri, seperti air deterjen atau sabun.

Setelah memasukkan bahan organik seperti limbah hewan atau limbah organik ke dalam tangki digester, proses generasi gas akan terjadi dalam jangka waktu 2-5 hari, tergantung pada parameter yang telah ditentukan sebelumnya. Proses pembentukan biogas akan dimulai ketika gas awal diproduksi dan akan terus berlangsung selama 50 hari, dengan waktu puncaknya diperkirakan sekitar hari ke-35.

Peningkatan suhu akan secara langsung berkorelasi dengan peningkatan produksi biogas, karena meningkatkan efisiensi bakteri dalam memecah bahan organik, seperti sisa-sisa hewan atau limbah organik.



Gambar 9. 1 Proses Biogas
(Sumber :<https://mandiriweb.com/mengenal-biogas-pemanfaatannya-dan-cara-pembuatannya/>)

9.3 Teknologi Pembuatan Biogas

Beberapa negara telah menerapkan berbagai metode konstruksi untuk reaktor biogas, menggunakan berbagai bahan. Dari teknologi canggih hingga teknologi pencernaan anaerobik dasar. Digestasi anaerobik adalah dekomposisi terkontrol dari bahan organik yang mudah rusak dalam tidak adanya oksigen, difasilitasi oleh berbagai macam mikroba. (Ricci & Confalonieri, 2016). berikut adalah beberapa teknologi pencernaan anaerobik yang digunakan:

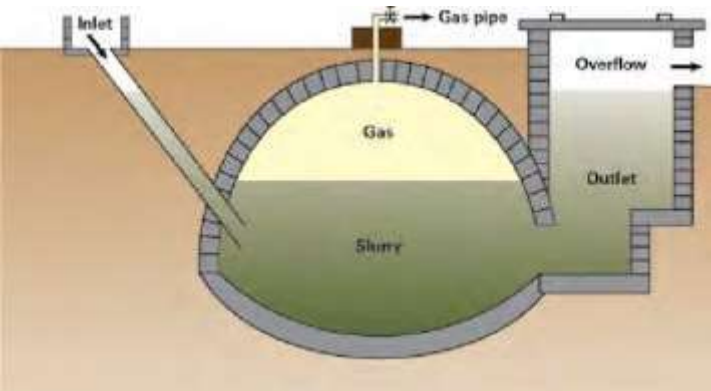
1. *Fixed dome digester*

2. *Fluating drum digester*
3. *Tubular digester*

9.3.1 Fixed Dome Digester

Digester tipe fixed dome terdiri dari struktur kubah yang tertutup yang memiliki ruang gas yang tetap (tidak dapat dipindahkan), inlet untuk memasukkan bahan bakar organik, dan tangki untuk menampung digester. Teknologi biogas yang umum digunakan dalam skala kecil di Afrika sub-Sahara (SSA) adalah desain dome tetap. Prinsip penguraian anaerobik monomaterial basah (WAD) adalah dasar dari desain ini. Di bagian atas reaktor, gas yang dihasilkan oleh digester disimpan. Ketika katup gas keluar let tertutup, produksi gas meningkat dan tekanan gas di dalam digester meningkatkan proses pencernaan. Ketika katup gas digunakan, tekanan gas dan jumlah slurry yang proporsional mengalir kembali ke dalam digester dari tangki penyangga. Bergantung pada jumlah gas yang diproduksi dan digunakan, tekanan gas dalam desain ini berubah secara terus-menerus. Pabrik semacam itu biasanya dibangun di bawah tanah untuk melindungi digester dari suhu yang rendah pada malam hari dan selama musim dingin (Werner, 1989). Jenis digester ini dapat menghambat penggunaan gas karena tekanan gas yang berubah-ubah.

Oleh karena itu, faktor-faktor yang mempengaruhi proses penguraian anaerobik kotoran sapi, seperti pH, suhu, dan waktu fermentasi, harus dipantau. Ini karena faktor-faktor ini akan mempengaruhi produksi biogas dan dampaknya terhadap lingkungan. Konsentrasi gas metana juga cenderung meningkat dengan waktu fermentasi yang lebih lama.



Gambar 9. 2 Teknologi *Fixed Dome*
(Sumber :Nzila, et al, 2012)

Tabel 9.4 memberikan ringkasan kelebihan dan keterbatasan tipe fixed-dome.

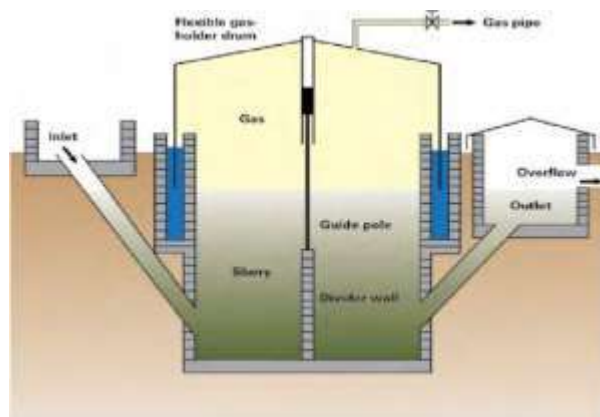
Tabel 9. 4. Kelebihan dan Kekurangan *Fixed-Dome*

No	Kelebihan	Kekurangan
1	Biaya konstruksi relatif rendah	Diperlukan tenaga ahli untuk memastikan bahwa konstruksi kedap gas
2	Memiliki <i>life-span</i> yang panjang jika dikonstruksi dan dipelihara dengan baik, yaitu sekitar 20 tahun	Tekanan gas berfluktuasi bergantung pada volume gas yang tersimpan
3	Konstruksi bawah tanah menghemat area yang digunakan dan menjaga dari fluktuasi temperatur	Adanya potensi kebocoran gas
4	Jenis teknologi sangat sederhana, tidak menggunakan peralatan mekanis yang bergerak	
5	Potensi timbulnya bau sangat kecil	

Sumber: Vogeli, et al, 2014

9.3.2 Floating Drum Digester

Gambar 9.3 menunjukkan bahwa model digester ini biasanya dibangun di bawah permukaan tanah, tetapi bagian atas silinder berfungsi sebagai ruang penyimpanan gas yang dapat mengapung sesuai dengan volume gas yang disimpan. Seiring dengan jumlah gas yang diproduksi, biogas akan terakumulasi di dalam drum gas yang naik-turun. Oleh karena itu, ketinggian drum gas ini berfungsi sebagai petunjuk visual untuk mengukur jumlah gas yang ada di dalam drum. Dimensi digester floating drum ini bervariasi dari 1 hingga 50 m³. Tempat gas biasanya terbuat dari logam dan dilapisi dengan cat minyak, cat sintetis atau cat aspal untuk melindunginya dari korosi. Penghapusan karat secara teratur sangat penting untuk memastikan penggunaan yang berkelanjutan, dan lapisan penutup harus diterapkan setiap tahun. Sumur utama - Penampung gas logam diperkirakan dapat bertahan antara 3–5 tahun di daerah lembab, atau 8–12 tahun di iklim kering. Alternatif yang cocok untuk baja kelas standar adalah serat kaca yang diperkuat plastik atau lembaran logam galvanis (Nzila, 2012).



Gambar 9.3 Teknologi Floating Drum Digester
(Sumber :Nzila, et al, 2012)

Tabel 9.5 menampilkan ringkasan kelebihan dan kekurangan Floating Drum Digester.

Tabel 9. 5 Kelebihan dan Kekurangan *Floating-Drum Digester*

No	Kelebihan	Kekurangan
1	Operasional sederhana dan mudah	Biaya material tinggi jika konstruksi terbuat dari drum baja
2	Volume gas yang tertampung terlihat dengan jelas	Memiliki <i>life-span</i> lebih pendek dari fixed-dome karena adanya potensi korosi, yaitu 5-15 tahun
3	Tekanan gas konstan	
4	Konstruksi mudah karena desain yang sederhana	
5	Kesalahan konstruksi tidak menyebabkan masalah besar terhadap operasional dan produksi biogas	

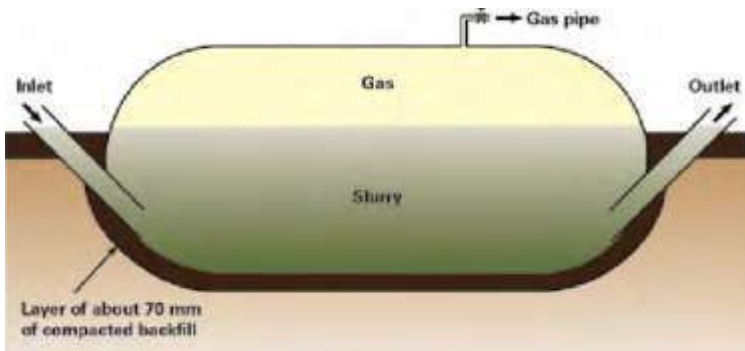
Sumber: Vogeli, et al, 2014

9.3.3 Tubular Digester

Instalasi biogas, dalam bentuk struktur tabung, terdiri dari wadah longitudinal tertutup panas yang mengintegrasikan digester dan penyimpanan gas menjadi satu unit menggunakan kantong plastik atau karet yang tahan terhadap kondisi cuaca. Gas ini terkandung di bagian atas balon, dengan saluran masuk dan keluar langsung

terpasang ke permukaan balon. Karena desain yang berkepanjangan, tidak ada arus pendek yang diamati di digester.

Namun, kurangnya mixer dalam digester membatasi campuran aktif, mengakibatkan bahan mengalir melalui reaktor dalam mode plug-flow. Untuk meningkatkan tekanan gas, penting untuk menempatkan beban pada balon dengan hati-hati untuk mencegah kemungkinan kerusakan. Keuntungan dari digester khusus ini adalah kemampuannya untuk dibangun dengan harga yang relatif murah, mengikuti spesifikasi yang telah ditetapkan. Selain itu, instalasi bawah tanah yang dangkal membuatnya cocok untuk daerah dengan tingkat air tanah yang tinggi. Balon plastik rapuh dan rentan terhadap kerusakan mekanis, dengan umur sekitar 2 hingga 5 tahun. (Nzila, 2012).



Gambar 9. 4 Teknologi Tipe Tubular

(Sumber :Nzila, et al, 2012)

Tabel 9.6 menampilkan ringkasan kelebihan dan kekurangan Tubular Digester.

Tabel 9. 6 Kelebihan dan Kekurangan Tipe *Tubular*

No	Kelebihan	Kekurangan
1	Biaya kontruksi rendah	<i>Life span</i> yang rendah, hanyak 2-5 tahun
2	Mudah ditransportasikan	Sangat rentan terhadap kerusakan
3	Konstruksi sangat mudah	Material digester seringkali tidak dapat dibuat dari bahan-bahan lokal
4	Pada iklim tropis, temperatur mesofilik dengan mudah dapat tercapai	Tekanan gas rendah, sehingga membutuhkan tambahan berat
5	Pengosongan dan pemeliharaan digester sederhana	<i>Scum</i> yang terbentuk dipermukaan digester selama proses tidak dapat disisihkan
6	Konstruksi bawah tanah hanya sedikit, sehingga cocok untuk diterapkan pada daerah dengan muka air tanah yang cukup tinggi	Akumulasi lumpur didalam digester tidak dapat dibersihkan secara periodik

Sumber: Vogeli, et al, 2014

DAFTAR PUSTAKA

- Environment Canada, 2013. *Technical Document on Municipal Solid Waste Organics Processing*, 2013: Public Works and Government Services of Canada.
- ESDM – Kebijakan Energi Nasional 2020.
- Isdiyanto, Rochman, and Udin Hasanudin. etc. 2010. Rekayasa dan uji kinerja reactor biogas sistem *colar* pada pengolahan limbah cair industry tapioca. Ketenagalistrikan Dan Energi Terbarukan. Applied KETJURNAK Volume 9, Halaman 14 – 26.
- Nzila. C. 2012. Multi Criterca Sustainability Assesment of Biogas Production in Kenya. Applied Energy Volume 93, pages 496-506.
- Occupational Safety and Health Administration, 2005. *Hydrogen Sulfide (H₂S)*, s.l.: OSHA Fact Sheet.
- Ricci, M. & Confalonieri, A., 2016. *Technical Guidance on the Operation of Organic Waste Treatment Plants*, s.l.: International Solid Waste Association.
- The Andersons Centre, 2010. *A Detailed Economic Assessment of Anaerobic Digestion Technology and Its Suitability to UK Farming adn Waste Systems*, Leicester: The Andersons Centre.
- Vögeli, Y., Lohri, C. R., Gallardo, A., Diener, S., & Zurbrügg, C. 2014. Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries, 2014: Eawag-Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.
- Wellinger, Arthur, Jerry D. Murphy, and David Baxter. 2013. The biogas handbook: science, production and applications. Woodhead publishing. UK.
- Werner, Uli, Ulrich Stöhr, and Nicolai Hees. 1989. Biogas plants in animal husbandry. The devtsches zentrum fur entwicklung stechnologien.

BAB 10

BIOFUEL

Oleh Mustopa Kamal

10.1 Pendahuluan

Perdebatan masalah energi alternatif sedang menjadi perbincangan internasional, kondisi ini lebih diperparah lagi oleh adanya peningkatan produksi otomotif yang begitu drastis kenaikannya, serta adanya pertambahan jumlah dan jenis industri besar demi memenuhi kebutuhan manusia. Krisis bahan bakar minyak (BBBM) yang berasal dari fosil di Indonesia dekade belakangan ini telah mengganggu kehidupan sosial, dimana harga bahan pokok bagi kebutuhan hidup manusia terus melonjak naik (Sinuhaji, 2019).

Instruksi Presiden RI Nomor 1 Tahun 2006 adalah mengenai implementasi dari penetapan kebijakan pemerintah Indonesia dalam rangka menyelesaikan persoalan krisis energi global. Instruksi ini mengatur penyediaan dan pemanfaatan biofuel atau bahan bakar nabati (BBN) di seluruh negeri sebagai sumber energi terbarukan. Mengingat bahwa energi dan sumber daya minyak bumi tidak dapat diperbaharui, ada kebutuhan akan sumber daya nabati sebagai penggantinya. Pemanfaatan sumber daya nabati dapat mengatasi masalah penurunan emisi gas buang dan perlindungan lingkungan serta mencegah kekurangan energi. (Sugiyono, 2014).

Sesungguhnya, Rudolf Christian Karl Diesel, seorang Jerman yang juga penemu mesin diesel pada tahun 1893, menemukan Biofuel pada tahun 1910. Dia pertama kali menggunakan minyak kacang dan ganja sebagai bahan bakar untuk mobil diesel yang dia desain. Dua tahun kemudian (1912), pernyataan yang paling bersejarah di dunia tentang masa depan mesin yang menggunakan bahan bakar nabati, yang sekarang disebut biofuel (Kussuryani Chairil, 2009). Bahan bakar nabati dalam hal ini merujuk pada biofuel merupakan hasil olahan berbagai bahan organik bahan bakar yang dibuat dari bahan-bahan organik dan nabati. Karena dibuat dari tanaman dan turunannya, biofuel lebih ramah lingkungan saat digunakan dan diproses.

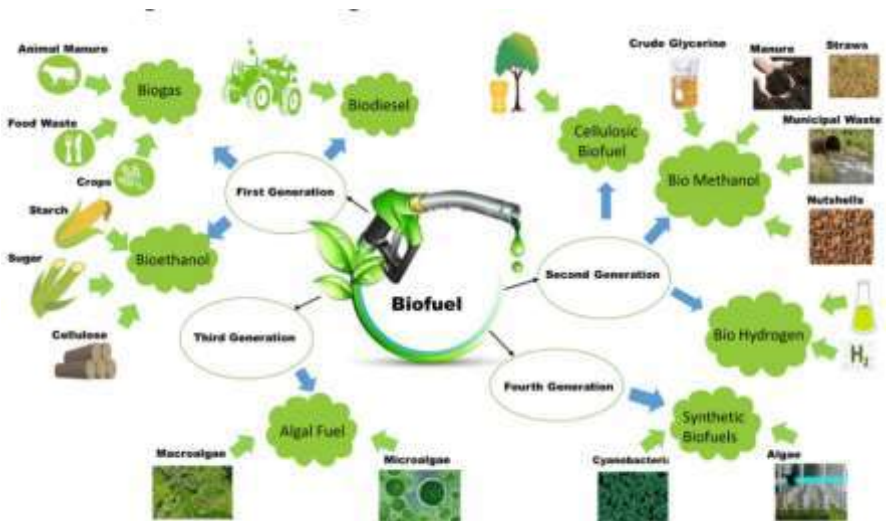
Indonesia memiliki potensi ekonomi yang sangat besar dalam hal penggunaan bahan bakar nabati di hulu dan hilir, sehingga kebijakan yang berkaitan dengan bahan bakar hayati dapat membantu tujuan ketiga PBB yaitu pembangunan berkelanjutan dan keuntungan utama. Menurut Badan Pusat Statistik, 2023 produksi kelapa sawit Indonesia pada tahun 2022 sebanyak 46,82 juta ton. Luas perkebunan kelapa sawit Indonesia sebesar 15,34 juta hektar di 26 provinsi, menjadikan Indonesia salah satu negara produsen kelapa sawit terbesar di dunia. Oleh karena itu, biofuel, atau bahan bakar alternatif, harus tersedia untuk digunakan sebagai pencampur atau sebagai pengganti bahan bakar fosil sesuai dengan tuntutan lingkungan.

10.2 Pengertian dan Jenis Biofuel

Menurut (Lubad and Paramita W, 2022) Bahan bakar yang digunakan pada dunia industri selama ini berasal dari hasil pemfosilan senyawa hidrokarbon dengan rumus kimia $C_2(H_2O)$, senyawa-senyawa tersebut berasal dari termasuk fitoplankton yang telah lama tertimbun di bumi. Mayoritas bahan bakar fosil tercipta 325 juta tahun yang lalu, pada era Karbon dan Paleozoikum. Setelah tanaman mati, tekanan, panas, dan kekurangan oksigen mengubah karbohidrat menjadi molekul hidrokarbon, yang memiliki rumus kimia umum C_4H_5 . Oleh karena itu, senyawa karbon membentuk semua bahan bakar

fosil. Bahan bakar fosil yang berupa minyak bumi, batubara dan gas alam merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui atau *non-renewable*. Peningkatan penggunaan bahan bakar fosil yang berlangsung secara masif dan tak ada hentinya dari waktu ke waktu, menyebabkan cadangan minyak bumi yang ada pada alam akan habis, oleh karena itu pengembangan bahan bakar alternatif (Biofuel) sangat diperlukan.

Kata Bio dalam hal ini diambil dari sifat produksinya yang bahan dasarnya adalah senyawa-senyawa dalam makhluk hidup, sedangkan kata Fuel merupakan bahasa Inggris yang apabila diterjemahkan kedalam bahasa Indonesia menjadi bahan bakar. Menurut Sulistyono,(2015) biofuel juga disebut sebagai bahan bakar yang terutama terdiri dari unsur nabati. Hal tersebut menandakan bahwa bahan bakar fosil bukan asal bahan bakar tersebut melainkan dari tanaman yang diproses melalui proses yang membutuhkan waktu yang lama untuk menghasilkan komposisi dan kandungan yang sebanding dengan bahan bakar fosil, Seperti gambar dibawah ini.



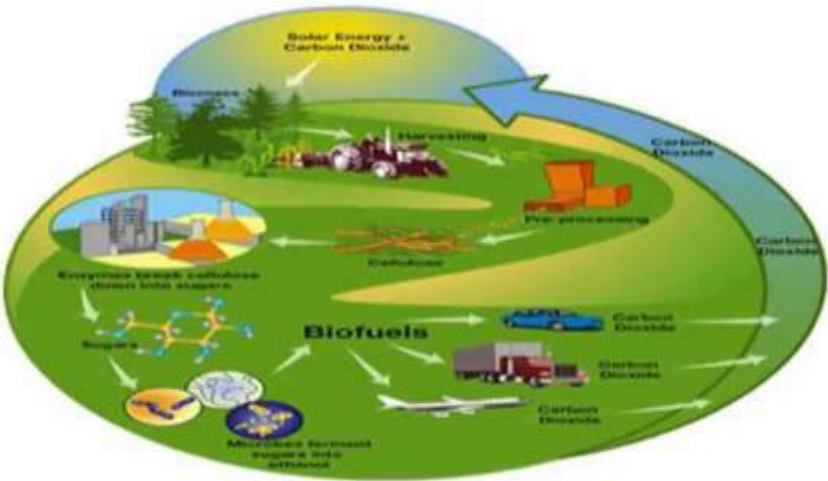
Gambar 10. 1. Bahan Baku Biofuel

Sumber; (Alfaridzi, 2023)

Penggunaan biofuel akan meluas keberbagai macam mesin, diantaranya mesin kendaraan bermotor (otomotif), mesin konstruksi (alat berat dan sejenisnya) dan mesin pesawat terbang (*jet* maupun *propeller*). Jenis mesin dengan kapasitas tertentu dapat menurunkan emisi gas karbon di udara dengan memanfaatkan dan memanfaatkan biofuel dibandingkan penggunaan bahan bakar fosil yang tidak ramah lingkungan. Pengembangan bahan bakar biofuel untuk berperan sebagai substitusi maupun alternatif bahan bakar lainnya dibedakan berdasarkan jenis bahan baku dan juga bentuknya. Beberapa jenis biofuel yang umum digunakan yakni sebagai berikut;

10.2.1 Biodiesel

Biodiesel adalah salah satu produk utama dari biofuel. Biodiesel dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar mesin pembakaran kompresi pada kendaraan diesel. Biodiesel dibuat dengan methanolysis dan ethanolysis lemak atau minyak lemak. Biodiesel dibuat dari berbagai bahan, seperti kacang, jagung, minyak nyamplung, minyak kelapa sawit, minyak pohon jarak pagar, dan sebagainya. (Mahfud, 2018).



Gambar 10. 2 Jenis Biofuel
Sumber; (GuruPendidikan.co.id, 2024)

Menurut Ridwan *et al.*, (2022), Biodiesel mempunyai nilai cetane dengan persentase lebih tinggi dibanding dengan bahan bakar solar. Biodiesel diketahui merupakan bahan bakar yang memiliki dampak positif bagi lingkungan karena cepat terurai dan memiliki kandungan oksigen alami sekitar 10%. Selain itu, biodiesel membantu melestarikan bahan bakar fosil, atau sumber energi tak terbarukan sehingga dapat dilakukan dalam skala rumah tangga (*home industry*), dan dapat mengurangi biaya kesehatan karena pencemaran udara. Biodiesel juga dapat digunakan sebagai pengganti atau pengganti solar. Banyaknya bahan bakar biodiesel dalam campuran bahan bakar ditunjukkan dengan grade biodiesel “B”. Campuran 5% biodiesel anhidrat dan 95% solar dikenal sebagai biodiesel B-5. Standar Nasional Indonesia memuat pedoman mutu biodiesel (SNI-04-7182-2006).

NO	Parameter	Satuan	Standar SNI
1	Massa Jenis pada 40C	Kg/m ³	850-890
2	Viskositas kinematic pd 40C	mm ² /s (cSt)	2,3-6,0
3	Angka Setana	-	Min. 51
4	Titik nyala	°C	Min.100
5	Bilangan asam	mg-KOH/g	Maks.0,8
6	Bilangan iodium	%-massa (9-I ₂ /100g)	Maks.115
7	Kadaar air	%	Maks.0,05

Sumber :(SNI-04-7182, 2006)

Produksi biodiesel konvensional menggunakan proses esterifikasi-transesterifikasi. Esterifikasi adalah reaksi asam karboksilat yang menghasilkan ester dari asam lemak dan alkohol. Reaksi ester baru yang dikenal sebagai transesterifikasi melibatkan pergeseran lokasi asam lemak. Menurut Firdaus, proses transesterifikasi melibatkan penghilangan gliserin dari minyak dan mereaksikan asam lemak bebas dengan metanol (alkohol) menghasilkan metil ester. Proses ini melibatkan dua langkah untuk memproduksi biodiesel: mengekstraksi minyak dari bijinya dan mengesterifikasi minyak untuk mengubahnya menjadi biodiesel. Pembuatan biodiesel secara tradisional membutuhkan banyak energi dan biaya karena dilakukan secara terpisah dan diskontinyu.

Metode In-situ Transesterifikasi, yang menghilangkan proses ekstraksi dan pemurnian, sekarang menjadi metode produksi biodiesel yang lebih mudah. Ini dapat menurunkan biaya produksi (Alamsyah and Lubis, 2011). Telah dijabarkan secara mendetail dan lebih lanjut bahwa alkohol dan katalis asam atau basa bersentuhan untuk memulai proses transesterifikasi in situ. Setelah masuknya alkohol dan penghancuran komponen sel selanjutnya, minyak yang terkandung dalam bahan mentah larut. Alkil ester dihasilkan dari ekstraksi minyak yang direaksikan dengan alkohol melalui pemanfaatan bantuan katalis asam juga dikenal sebagai basa. Dengan demikian, proses tersebut berhasil untuk memproduksi biodiesel yang berkualitas tinggi, menghemat energi, mempersingkat waktu produksi, dan menjadi lebih efisien (Abo El-Enin *et al.*, 2013).

Menurut beberapa penelitian, teknologi in-situ transesterifikasi dengan katalis asam menghasilkan metil ester asam lemak 20% lebih banyak daripada metode esterifikasi-transesterifikasi konvensional. Rasio molar minyak-metanol, konsentrasi KOH, suhu reaksi, dan waktu reaksi memengaruhi teknologi produksi biodiesel in situ (Abo El-Enin *et al.*, 2013).

10.2.2 Bioetanol

Bahan bakar alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti bensin atau campuran bensin yang merupakan gabungan bahan bakar dan alkohol adalah bioetanol. Intinya, bioetanol adalah etanol yang dihasilkan melalui fermentasi (Rifa'i *et al.*, 2022). Bioetanol adalah bahan bakar nabati yang murah dan mudah dibuat yang dibuat dari tumbuhan dengan melewati serangkaian proses fermentasi glukosa yang dibantu oleh mikroorganisme maka dapat menghasilkan karbohidrat seperti nira sorgum, nira nipah, singkong, ganyong, ubi jalar, tebu, dan tanaman lainnya. Lebih lanjut, pencampuran bioetanol dengan bensin menggunakan langkah-langkah yang sama sebagaimana produksi bahan bakar bensin, maka bioetanol dapat diaplikasikan sebagai bahan bakar guna menjalankan kendaraan bermotor. Karena angka okтана etanolnya yang lebih tinggi daripada bensin premium, gasohol bekerja lebih baik daripada bensin premium. Selain itu, gasohol lebih ramah lingkungan. Nilai "E" pada bioethanol menunjukkan seberapa banyak etanol yang terkandung dalam campuran bahan bakar. Misalnya, bioetanol E-10 adalah campuran 90% bensin dan 10% etanol anhidrat.

Tingkat penggunaan bioetanol diklasifikasikan berdasarkan jumlah yang digunakan. Kadar 90-94% bioetanol disebut Tingkat Industri, kadar 94-99,5% disebut Tingkat Netral, dan kadar minimal 99,5% disebut Tingkat Bahan Bakar (Rifa'i *et al.*, 2022). Cara memproduksi etanol dari bahan lignoselulosa secara umum terdiri dari tiga tahap, yakni diawali dengan mempersiapkan bahan baku (*Pre-treatment*), fermentasi dan pemurnian (Rifa'i *et al.*, 2022).

Perlakuan pretreatment terdiri dari pencacahan dan pengilingan secara mekanik untuk mengurangi ukuran bahan dan mengurangi kristalinitasnya. Kemudian, sifat lignin dan selulosa diubah melalui proses hidrolisis termal yang melibatkan tekanan dan suhu yang tinggi. Setelah

semua bahan dimasukkan ke dalam fermentor, tahapan selanjutnya adalah fermentasi, yang berlangsung selama beberapa jam. Keluarnya gelembung udara kecil-kecil adalah tanda proses berjalan. Gas CO₂ yang dihasilkan selama proses fermentasi adalah sumber gelembung udara ini. Selama proses fermentasi, diusahakan agar suhu tidak melebihi 36°C dan pH tetap antara 4,5 dan 5. Proses ini berlangsung sekitar dua hingga tiga hari. Proses pemurnian etanol, yang paling umum digunakan dalam industri, adalah tahap terakhir dalam pembuatan bioetanol ini. Karena metode distilasi digunakan untuk mengukur kadar etanol, kadar etanol yang dihitung dari hasil distilasi lebih rendah daripada cairan fermentasi sebenarnya. Kehilangan etanol antara 0,6 dan 1,5% (v/v) akan disebabkan oleh distilasi etanol. Standar mutu bioetanol sebagai bahan bakar nabati dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 10. 1 Standar Mutu Bioetanol

Sifat		Unit.Min/Max	Spesifikasi
Kadar etanol		%-V, min	99,5 (sebelum denaturasi)
			94,0 (setelah denaturasi)
Kadar methanol		Mg/L,max	300
Kadar Air		%-V, max	1
Kadar denaturan		%-V, min	2
		%-V, max	5
Kadar Tembaga (Cu)		Mg/kg,max	0,1
Keasaman CH ₃ COOH	Sebagai	Mg/L, max	30

Sifat	Unit.Min/Max	Spesifikasi
Tampakan		Jernih dan terang, tidak ada endapan dan kotoran
Kadar ion klorida (Cl)	Mg/L, max	40
Kandungan Belerang (S)	Mg/L, max	50
Kadar getah (gum), dicuci	Mg/100 ml, max	5,0
pHe		6,5 – 9,0

Sumber : (ESDM RI, 2008)

10.2.3 Biogas

Biogas merupakan sumber energi terbarukan yang lebih baik dibandingkan gas alam dan minyak bumi karena dapat dengan mudah terbakar (*flammable*) namun tidak mengeluarkan bau pembakaran. Ketika bahan organik berfermentasi, bakteri anaerob—bakteri yang tumbuh subur di lingkungan kedap udara—menghasilkan biogas., seperti bakteri yang terdapat pada limbah pertanian, limbah makanan, atau limbah kotoran hewan (Usman *et al.*, 2020). Proses pencernaan anaerobik ini terjadi dalam kondisi tanpa udara atau oksigen, di mana mikroorganisme secara bertahap memecah bahan organik menjadi gas, terutama metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂).

Gas metana yang dihasilkan oleh biogas memiliki potensi energi yang tinggi dan dapat digunakan untuk berbagai keperluan, antara lain:

1. Memasak:

Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk kompor atau tungku memasak. Penggunaan

biogas untuk memasak merupakan alternatif yang ramah lingkungan dan efisien, mengurangi ketergantungan pada kayu bakar atau gas LPG yang berdampak negatif terhadap lingkungan.

2. Listrik

Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam pembangkit listrik untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit listrik biogas dapat menjadi sumber energi yang berkelanjutan dan dapat diandalkan, terutama di daerah yang memiliki akses terbatas terhadap pasokan listrik konvensional.

3. Bahan Bakar Kendaraan

Biogas juga dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam kendaraan bermotor, terutama setelah diproses dan dimampatkan menjadi bentuk yang lebih padat seperti bio-CNG (*Compressed Natural Gas*) atau bio-LNG (*Liquefied Natural Gas*). Penggunaan biogas sebagai bahan bakar kendaraan dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan polusi udara dari transportasi.

Biogas memiliki potensi besar dalam menyediakan sumber energi yang terbarukan dan ramah lingkungan serta membantu mengurangi dampak negatif dari pengelolaan limbah organik. Penggunaan biogas juga dapat memberikan manfaat ekonomi dan sosial, terutama di daerah pedesaan atau agraris (Nasution, 2020).

10.2.4 Biojet Fuel

Biojet fuel adalah jenis bahan bakar yang digunakan dalam industri penerbangan sebagai alternatif dari bahan bakar konvensional seperti avtur atau jet fuel yang berasal dari minyak bumi. Biojet fuel diproduksi dari bahan baku yang dapat diperbaharui, seperti tanaman berminyak, alga, atau limbah organik (Nurullah Asep Abdilah *et al.*, 2022). Biojet fuel biasanya diproduksi dari bahan baku yang dapat

diperbaharui, termasuk tanaman berminyak seperti alga, jarak pagar, atau minyak kelapa sawit. Bahan baku ini dipilih karena kandungan minyaknya yang tinggi dan potensi untuk dihasilkan dalam jumlah besar secara berkelanjutan. Selain itu, beberapa jenis biojet fuel juga diproduksi dari limbah organik atau biomassa non-pangan untuk meningkatkan keberlanjutan produksinya.

Proses produksi biojet fuel melibatkan serangkaian langkah, termasuk ekstraksi minyak dari bahan baku, pengolahan minyak menjadi fraksi yang sesuai, dan konversi fraksi tersebut menjadi bahan bakar jet yang sesuai dengan standar industri penerbangan. Proses tersebut dapat meliputi transesterifikasi untuk menghasilkan biojet fuel berbasis biodiesel atau proses thermochemical seperti pirolisis atau gasifikasi untuk menghasilkan biojet fuel berbasis sinar (drop-in fuel).

Biojet fuel memiliki karakteristik yang mirip dengan jet fuel konvensional dan dapat langsung digunakan tanpa memerlukan modifikasi pada mesin pesawat atau infrastruktur bandara. Ini membuat biojet fuel menjadi alternatif yang menarik bagi industri penerbangan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan ketergantungan pada sumber daya fosil. Salah satu fokus utama dalam produksi biojet fuel adalah keberlanjutan. Produksi biojet fuel dari bahan baku berbasis tanaman sering kali menuai kontroversi karena dapat bersaing dengan lahan pertanian untuk kebutuhan pangan atau berdampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, pengembangan biojet fuel yang berkelanjutan harus memperhatikan aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan agar memberikan dampak yang positif secara keseluruhan.

Meskipun biojet fuel telah digunakan dalam beberapa penerbangan komersial dan telah disertifikasi untuk penggunaan komersial, penggunaan skala besar biojet fuel masih terbatas. Namun, terus ada peningkatan dalam penelitian dan pengembangan biojet fuel untuk

meningkatkan efisiensi produksi dan menjaga keberlanjutan dalam jangka panjang. Dengan terus meningkatnya permintaan akan energi terbarukan dan peningkatan kesadaran akan dampak lingkungan dari industri penerbangan, biojet fuel memiliki potensi besar untuk menjadi komponen penting dalam transisi menuju penerbangan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

10.3 Penyediaan Bahan Baku Biofuel

Indonesia memiliki keunggulan dalam penyediaan bahan baku biofuel seperti kelapa sawit, kemiri sunan, pongamia, karet, tebu, ubi kayu, jagung, sagu, aren, dan sorgum karena negara ini kaya akan minyak nabati. *Crude Palm Oil (CPO)*, yang dibuat dari tanaman kelapa sawit, adalah bahan baku yang sangat baik untuk pembuatan biofuel. *Green Jet Avtur-J100* adalah jenis bahan bakar alternatif yang dibuat dari kelapa sawit. Sebagai tambahan pada ketersediaan sumber daya nabati yang dapat digunakan sebagai bahan baku biofuel di Indonesia, ada beberapa syarat penting yang harus dipenuhi sebelum biofuel dapat digunakan untuk memenuhi aspek keunggulan dan keberlanjutan penggunaan. Menurut (Wibisono, 2008) syarat-syarat yang harus dipenuhi agar sumberdaya nabati dapat digunakan sebagai bahan baku biofuel antara lain;

1. Kandungan Minyak atau Gula yang Tinggi.

Bahan baku untuk produksi biofuel biasanya harus memiliki kandungan minyak atau gula yang tinggi. Minyak nabati seperti kelapa sawit, jarak pagar, atau kedelai sering dipilih sebagai bahan baku untuk biodiesel, sementara tanaman pemanis seperti tebu atau jagung digunakan untuk produksi bioetanol. Bahan baku dengan kandungan minyak atau gula yang tinggi akan memastikan hasil yang optimal dalam proses produksi biofuel.

2. Ketersediaan dan Kehandalan Pasokan.

Ketersediaan bahan baku dalam jumlah besar dan secara berkelanjutan menjadi syarat penting dalam produksi biofuel yang skalanya besar. Bahan baku yang mudah diperoleh dan dapat dihasilkan secara konsisten akan memastikan kelancaran operasi produksi biofuel.

3. Kesesuaian dengan Lingkungan.

Pemilihan bahan baku untuk produksi biofuel juga harus mempertimbangkan dampak lingkungan dari pertanian atau pengelolaan bahan baku tersebut. Bahan baku yang memerlukan penggunaan pestisida atau memerlukan konversi lahan yang besar dapat memiliki dampak negatif terhadap lingkungan dan keberlanjutan.

4. Biaya Produksi yang Kompetitif.

Bahan baku untuk produksi biofuel harus memiliki biaya produksi yang kompetitif dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Hal ini penting untuk menjaga daya saing biofuel di pasar energi yang kompetitif.

5. Kemampuan untuk Dikonversi.

Bahan baku harus dapat dengan efisien dikonversi menjadi biofuel melalui proses produksi yang sesuai. Ini termasuk kemampuan bahan baku untuk diubah menjadi biodiesel melalui transesterifikasi atau bioetanol melalui fermentasi, serta kemampuan untuk menghasilkan hasil yang tinggi dari proses konversi.

10.4 Pemanfaatan dan Keunggulan Biofuel

Proses pemanfaatan dan penggunaan biofuel secara umum dapat berdampak pada banyak hal, seperti ekonomi, sosial, dan lingkungan (Saputra *et al.*, 2022). Sektor kelapa sawit Indonesia berkembang pesat secara ekonomi, didukung oleh ketersediaan lahan dan sumber daya dari hulu ke hilir. Permintaan yang tinggi untuk kelapa sawit sebagai akibat dari kebutuhan tenaga kerja

yang tinggi menguntungkan masyarakat di sekitar perkebunan kelapa sawit, sedangkan segi lingkungan terkait dengan hasil uji biofuel dan dampaknya. Ini menawarkan solusi untuk masalah yang dihadapi oleh industri dalam hal pemanfaatan bahan bakar fosil. Dengan beralih ke bahan bakar nabati, ini juga mendukung pengembangan industri hijau di Indonesia. Ada banyak keuntungan dari penggunaan biofuel untuk kendaraan, pembangkit tenaga listrik, dan sektor manufaktur yang menggunakan bahan baku nabati, antara lain:

1. Meningkatkan ketahanan energi nasional.

Penggunaan biofuel secara nasional dapat mengakselerasi keamanan dan ketahanan energi di tingkat nasional dengan mendiversifikasi sumber dan memberikan prioritas pada potensi energi lokal. Peningkatan ketahanan energi nasional dapat dicapai melalui penggunaan biofuel yang dapat dimanfaatkan dan dipromosikan.

2. Menghemat Kas Negara.

Penggunaan dan pemanfaatan biofuel dapat meminimalisir dependensi negara terhadap impor bahan bakar minyak. Hal ini dapat dicapai dengan memproduksi dan menggunakan biofuel di dalam negeri, yang dapat memenuhi seluruh kebutuhan negara. Ini akan mengurangi impor bahan bakar minyak, yang saat ini sangat marak karena kebutuhan bahan bakar yang tinggi.

3. Meningkatkan nilai ekonomi.

Pemanfaatan dan penggunaan biofuel melalui hilirisasi industri kelapa sawit dapat menguntungkan ekonomi Indonesia karena potensi besarnya. Potensi ini harus dimanfaatkan sebaik mungkin untuk memenuhi kebutuhan nasional.

4. Membuka lapangan kerja baru.

Dikarenakan pengolahan minyak sawit merupakan industri baru yang membutuhkan tenaga kerja untuk memproduksi biofuel dalam bentuk lain, maka penggunaan

biofuel pasti akan menciptakan lapangan kerja baru. Akan ada lebih banyak kesempatan kerja karena ambisi Pertamina untuk pengolahan biofuel dalam jumlah besar dan keterbatasan kilang yang ada saat ini.

5. Mengurangi emisi gas rumah kaca.

Pemanfaatan biofuel akan menurunkan emisi gas rumah kaca dan meningkatkan kualitas lingkungan. Hal ini dimungkinkan karena hampir tidak adanya emisi bahan bakar dibandingkan dengan peningkatan emisi gas buang yang dihasilkan oleh emisi bahan bakar dari sektor bahan bakar fosil. Selain itu, hal ini akan mendukung kemampuan minyak sawit Indonesia untuk menunjukkan ketersediaan dan kegunaannya dalam mengatasi isu perubahan iklim global.

Pemanfaatan biofuel pada dasarnya adalah upaya untuk kembali ke praktik-praktik berkelanjutan dan ramah lingkungan. Karena tanaman tambahan selalu dapat ditanam untuk menghasilkan bahan bakar, biofuel dapat dihasilkan secara terus menerus, tidak seperti bahan bakar fosil yang diteliti di kilang minyak. Tujuan penggunaan biofuel adalah untuk mencapai keberlanjutan dengan memaksimalkan penggunaan bahan bakar ramah lingkungan dan memperluas penggunaan sumber daya nabati Indonesia yang melimpah. Penggunaan biofuel pada sektor otomotif dan industri antara lain mempunyai manfaat, diantaranya;

1. Bersifat Ekonomis

Dari segi harga, apabila berbanding dengan petrodiesel, produksi biofuel dapat dinilai lebih murah karena dihasilkan dalam skala kecil oleh perorangan dengan biaya yang relatif rendah. Harga per galon bervariasi dari \$0,40 hingga sekitar \$1,25, bergantung pada biaya komponen mentah yang diperlukan. Sebagian besar konsumen akan dapat mengurangi pengeluaran bensin bulanan mereka hingga ratusan hingga ribuan dolar berkat

tarif murah ini. Produsen dapat menghitung laba atas investasi awal dengan lebih cepat ketika biaya produksi minimal.

2. Energi Baru dan Terbarukan

Biofuel terkenal sebagai bahan terbarukan. Biodiesel bahkan dapat dibuat dengan menggunakan sumber daya terbarukan seperti minyak dan lemak organik, dibandingkan dengan sumber daya yang langka seperti minyak mentah. Hal ini menunjukkan bahwa bahan yang bersifat regeneratif, dapat direplikasi, dan dapat ditanam dapat digunakan untuk membuat biofuel. Oleh karena itu, petani bisa menanam tanaman lebih banyak jika ingin berproduksi dalam skala besar.

3. Berdampak positif bagi lingkungan

Jumlah polusi dari mesin mobil berkurang drastis ketika biofuel digunakan. Mengurangi penggunaan biofuel di beberapa wilayah dapat berkontribusi terhadap lingkungan yang lebih bersih, menurut sebuah studi yang dilakukan oleh Laboratorium Energi Terbarukan Nasional AS. Ketika biofuel digunakan dalam mesin, jumlah karbon dioksida, hidrokarbon, dan partikel—asap hitam dari mesin—berkurang secara signifikan. Pembakaran tidak langsung akan terjadi pada mesin otomotif tua, dengan hasil yang luar biasa—pengurangan polutan gas buang hampir 90%.

4. Mendukung Petani.

Petani tentu sangat mendapatkan manfaat dari biofuel yang dihasilkan dari minyak organik seperti kanola, kedelai, kacang tanah, atau tanaman benih lainnya yang ditanam secara lokal di negara ini. Karena petani lokal dapat mengumpulkan minyak yang dibutuhkan untuk membuat biofuel, mereka dapat memperoleh sumber pendapatan tambahan yang cukup besar.

5. Dapat Mengurangi Ketergantungan Pada Minyak Mentah.

Konsumsi minyak mentah dapat dikurangi dengan menggunakan biofuel. Hal ini berarti bahwa hal ini akan mendukung upaya negara untuk menggunakan lebih banyak sumber daya terbarukan dan mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya yang terbatas, seperti bahan bakar fosil. Hal ini merupakan langkah positif dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar, yang persediaannya mungkin berfluktuasi.

6. Baik Untuk Mesin.

Dikarenakan bahan bakar hayati, seperti petrodiesel, memiliki karakteristik pelumasan yang lebih baik dibandingkan bahan bakar fosil, bahan bakar ini pada dasarnya lebih licin. Mesin akan bertahan lebih lama dan mengurangi kerusakan akibat keausan jika ditambahkan biodiesel. Menurut penelitian pemerintah AS, mesin yang beralih dari bahan bakar diesel ke biodiesel akan beroperasi dan menjadi lebih bersih.

7. Bahan Bakar Alternatif Yang Sempurna

Kualitas biofuel ini masih jauh lebih tinggi dibandingkan beberapa bahan bakar alternatif lain yang tersedia. Untuk menggunakan sebagian besar bahan bakar alternatif, kendaraan harus dimodifikasi. Misalnya, tangki khusus dan modifikasi sistem injeksi bahan bakar masih diperlukan saat menggunakan gas alam atau propana pada mesin mobil. Begitu pula dengan sistem injeksi bahan bakar mobil yang perlu dimodifikasi khusus untuk penggunaan etanol. Pada kenyataannya, listrik memerlukan jenis mesin yang sama sekali berbeda. Pelanggan biasanya akan mempertanyakan kemanjuran kendaraan setelah mengalami modifikasi yang diperlukan untuk menggunakan bahan bakar alternatif karena sejumlah masalah yang biasanya muncul.

Kembali ke masalah berkelanjutan dan lingkungan adalah tujuan utama penggunaan biofuel. Berbeda dengan bahan bakar fosil yang dieksplorasi di kilang minyak, terlebih, tanaman dengan jumlah lebih banyak dapat ditanam untuk dijadikan bahan bakar yang dapat memproduksi biofuel secara berkelanjutan. Melalui optimalisasi penggunaan bahan bakar yang berdampak positif bagi lingkungan dan meningkatkan penggunaan sumber daya nabati Indonesia yang melimpah, tujuan penggunaan biofuel adalah untuk mencapai keberlanjutan.

1. Bersifat Ekonomis,

Biofuel lebih murah daripada petrodiesel karena dapat dibuat oleh individu dalam skala kecil. Biayanya bervariasi dari \$ 1,25 per gallon hingga \$ 0,40 per gallon, tergantung pada bahan baku yang digunakan. Dengan harga bahan bakar yang rendah, sejumlah besar orang memiliki tabungan bulanan ratusan hingga ribuan dolar. Produsen mungkin berpikir untuk membayar kembali investasi awal lebih cepat ketika biaya produksi rendah.

2. Terbarukan,

Biofuel terkenal karena kemampuannya untuk menjadi energi terbarukan. Biodiesel juga dapat diproduksi dari sumber daya terbarukan, seperti minyak dan lemak organik, dengan menggunakan sumber daya yang langka, seperti minyak mentah, sebagai bahan bakar. Hal ini menunjukkan bahwa bahan yang dapat digunakan kembali, tumbuh kembali, dan digunakan kembali dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biofuel. Produsen bisa menanam di lebih banyak wilayah jika ingin memproduksi dalam skala besar.

3. Bermanfaat bagi Alam,

Biofuel mengurangi emisi dari kendaraan. Sebuah studi yang dilakukan oleh National Renewable Energy Lab di

Amerika Serikat menunjukkan bahwa tetes di tempat di mana biofuel digunakan dapat membuat lingkungan lebih bersih. Ketika biofuel digunakan pada mesin, tingkat karbon dioksida, hidrokarbon, dan bahan partikel—juga dikenal sebagai asap hitam mesin—berkurang drastis. Jika diterapkan pada mesin mobil yang lebih tua, akan terjadi pembakaran tidak langsung, yang mengejutkan mengurangi emisi knalpot hingga 90%.

4. Mendukung Petani,

Pertumbuhan pertanian lokal akan secara langsung didukung oleh biofuel yang dibuat dari minyak organik seperti canola, soy, kacang, atau tanaman biji lainnya yang ditanam secara lokal. Petani lokal dapat membeli minyak yang digunakan untuk membuat biofuel, yang menghasilkan pendapatan tambahan yang signifikan bagi mereka.

5. Dapat Mengurangi Ketergantungan Pada Minyak Mentah,

Konsumsi minyak mentah dapat dikurangi dengan menggunakan biofuel. Dengan kata lain, pemanfaatan sumber daya terbarukan akan lebih menguntungkan dan mengurangi ketergantungan negara terhadap bahan bakar fosil. Ini adalah langkah awal yang baik untuk menekan angka dependensi negara terhadap bahan bakar yang mungkin tidak selalu tersedia.

6. Baik untuk Mesin,

Bahan bakar bio seperti petro diesel, memiliki kualitas pelumasan yang lebih tinggi, sehingga lebih licin daripada bahan bakar fosil. Studi pemerintah AS menunjukkan bahwa menambahkan biodiesel ke mesin akan membuatnya lebih awet dan lebih bersih.

7. Bahan Bakar Terbaik Alternatif,

Biofuel ini mempunyai kualifikasi bahan bakar dengan tingkat tinggi apabila dibandingkan berbagai jenis bahan bakar alternatif yang tersedia saat ini. Untuk menggunakan sebagian besar bahan bakar alternatif, kendaraan harus dimodifikasi. Misalnya, tangki dan sistem injeksi bahan bakar berbeda pada mesin mobil yang menggunakan bahan bakar gas alam atau propan dan jika etanol digunakan pada mobil, sistem injeksi bahan bakarnya juga berbeda. Elektrik membutuhkan banyak mesin. Setelah kendaraan diubah untuk menggunakan bahan bakar alternatif, biasanya ada masalah yang membuat pelanggan mempertimbangkan kembali keefektifannya.

10.5 perkembangan Biofuel di Dunia

Biofuel telah banyak dikembangkan di beberapa negara lain, seperti Amerika Serikat, Brazil, Korea Selatan, India, dan Jepang. Negara-negara telah melakukan penelitian menyeluruh untuk mengembangkan biofuel sebagai alternatif untuk sumber energi fosil. 26 negara bagian di Amerika Serikat memiliki peraturan negara bagian yang mendukung penggunaan biofuel, dan empat negara bagian tambahan, Minnesota, Hawaii, Montana, dan Oregon, saat ini menerapkan E-10, yang merupakan bioetanol, dengan bahan baku jagung. Sejak tahun 1979, Amerika Serikat telah menerapkan pengecualian pajak federal untuk pengguna biofuel dan saat ini meningkatkan penggunaan bahan bakar fleksibel.

Sejak tahun 1925, Brazil telah mengembangkan biofuel yang bersumber dari tebu. Sekitar setengah dari produksi tebu digunakan untuk industri bioetanol dan setengah lagi untuk industri gula. Pada tahun 2005, konsumsi biofuel di Brazil mencapai 13 miliar liter, mengurangi sekitar 40% dari kebutuhan bahan bakar bensin di negara itu. Untuk agrobisnis tebu, yang mempekerjakan 1(satu) juta orang dan memiliki luas

lahan 5,44 juta hektar, produksi bioethanol tumbuh 8,9% per tahun, dan luas lahan tebu tumbuh 6% per tahun sebagai akibat dari peningkatan permintaan dari industri pengolahan gula dan alkohol (Sinuhaji, 2019).

Sebaliknya, Korea Selatan telah mengembangkan biofuel, terutama biodiesel, sejak tahun 2002 dan diperkirakan akan mengalami peningkatan sekitar 0,5% per tahun. Sekitar 77,3% biodiesel berasal dari kedelai dan sisa dari minyak sampah, tetapi pemerintah Korea telah memberikan keringanan pajak pada tahun 2007 untuk mendorongnya.

Selain itu, pemerintah Jepang telah melakukan upaya penelitian dan pengembangan yang signifikan dalam bidang biofuel. Mereka juga telah menerapkan E-10, yang merujuk pada standar Eropa. Nilai "E" pada bioetanol menunjukkan seberapa banyak etanol yang terkandung dalam campuran bahan bakar. Misalnya, bioetanol E-10 adalah campuran 10% etanol anhidrat dan 90% bensin.

Kebijakan diversifikasi energi akan membantu India memenuhi kebutuhan energi baru dan terbarukannya dengan meningkatkan produksi domestiknya. Diproyeksikan pada tahun 2032, produksi energi campuran India akan mencapai 5-6%, terutama dengan mengkonversi penggunaan minyak bumi dan batubara.

Di India, pengembangan bioetanol dan biodiesel dari berbagai komoditas seperti *Jatropha curcas*, *Karanja*, *Castor*, *Cotton seed oil*, *Mollasses*, *Beet*, dan *Sorghum* digunakan sebagai bagian dari kebijakan biofuel untuk memenuhi kebutuhan energi sektor transportasi. Untuk menghindari konflik dengan kebijakan pangan, fokus pengembangan komoditas adalah pada minyak yang tidak dapat dimakan. Kementerian Petroleum India membuat aturan untuk biofuel pada tahun 2005. Lembaga penelitian masih mengembangkan komposisi *Jatropha* untuk membuat biodiesel, tetapi mereka tidak berfokus pada penggunaan lahan kritis selain pertanian pangan. Pemerintah India harus mengembangkan dan menerapkan biodiesel dengan tujuan B-5 dan kemudian B-20. Tujuan B-5 berarti campuran 5%

biodiesel anhidrat dan 95% solar. Dengan mencampur biodiesel 5% ke dalam industri transportasi, seperti mobil dan kereta api, percobaan telah dilakukan, termasuk uji emisi. Namun, kebijakan pengembangan bioetanol ditujukan untuk menggunakan molasses yang berasal dari komoditas tebu agar tidak mengganggu penyediaan gula. Saat ini, kebijakan E-5 telah ditetapkan dan secara bertahap dikembangkan menjadi E-10.

DAFTAR PUSTAKA

- Abo El-Enin, S.A. *et al.* (2013) 'In-situ transesterification of rapeseed and cost indicators for biodiesel production', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18(May 2019), pp. 471–477. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.033>.
- Alamsyah, R. and Lubis, E.H. (2011) 'Esterifikasi-Transesterifikasi dan Karakterisasi Mutu Biodiesel Dari Biji Jarak Pagar (*Jatropha Curcas* Linn)', *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 33(1), p. 124. Available at: <https://doi.org/10.24817/jkk.v33i1.1839>.
- Alfaridzi, R. (2023) *Applications-of-biofuels-in-current-scenario*, PT. SHA Solo. Available at: <https://shasolo.com/author/admin/>.
- ESDM RI, D. (2008) 'SK Dirjen Minyak dan Gas Bumi Nomor 23204.K/10/DJM.S/2008 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Nabati (Biofuel) Jenis Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Lain yang Dipasarkan di Dalam Negeri', pp. 1–3.
- Firdaus, M. dan A. (2016) 'Jurnal PASTI Volume IX No 1, 35 – 45 PERKEMBANGAN BIODIESEL DI INDONESIA TINJAUAN ATAS KONDISI SAAT INI, TEKNOLOGI PRODUKSI & ANALISIS PROSPEKTIF', *Jurnal PASTI*, IX(1), pp. 35–45.
- GuruPendidikan.co.id (2024) 'Energi-Biofuel'.
- Indonesia, S.N. and Nasional, B.S. (2006) 'Sni 04-7182-2006'.
- Kussuryani Chairil, Y.A. (2009) 'Bahan Bakar Nabati Biodiesel dan Jaminan Mutu Biodiesel', *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*, 2008(Vol 43, No 3 (2009)), pp. 247–255. Available at: <http://www.journal.lemigas.esdm.go.id/ojs/index.php/LPMGB/article/view/148>.

- Lubad, A.M. and Paramita W, P. (2022) 'Program Nasional Biofuel dan Realitasnya di Indonesia', *Lembaran publikasi minyak dan gas bumi*, 44(3), pp. 307–318. Available at: <https://doi.org/10.29017/lpmgb.44.3.173>.
- Mahfud (2018) *buku_BIODIESEL__PERKEMBANGAN_BAHAN*. Edited by M. Soeroso. CV. Putra Media Nusantara (PMN).
- Nasution, M. (2020) 'Smart-Design Instalasi Digester Biogas Skala Komunal Pesantren High Temperature', *Agregat*, 5(2), pp. 475–480. Available at: <https://doi.org/10.30651/ag.v5i2.6599>.
- Nurullah Asep Abdilah *et al.* (2022) 'ANALISIS KEBUTUHAN BOKIMIA GIZI BALITA DAN PENGENALAN KOMBUCHA BUNGA TELANG (*Clitoria ternatea* L) TERHADAP ORANG TUA BALITA DALAM MENINGKATKAN IMUNITAS', *Medimuh : Jurnal Kesehatan Muhammadiyah*, 3(2), pp. 59–66. Available at: <https://doi.org/10.37874/mh.v3i2.446>.
- Presiden RI (2006) 'Instruksi presiden republik indonesia nomor 1 tahun 2006 tentang penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati', 1, pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12571-019-00996-x>.
- Ridwan, R. *et al.* (2022) 'Green Teknologi Sintesis Biodisel Dengan Menggunakan Metode Route Non-Alcohol Dengan Katalis Heterogen', *Jurnal Sains dan Teknologi Reaksi*, 20(02). Available at: <https://doi.org/10.30811/jstr.v20i02.3276>.
- Rifa'i, A.F. *et al.* (2022) 'Kajian Teknoekonomi Bioetanol Berbahan Molasses Sebagai Alternatif Substitusi BBM', *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 6(1), p. 61. Available at: <https://doi.org/10.20961/equilibrium.v6i1.63158>.

- Saputra, W. *et al.* (2022) 'Strategi Pengembangan Bahan Bakar Nabati Melalui Pemberdayaan Perkebunan Sawit Rakyat Di Indonesia Wiko Saputra Anita Permatasari Muhammad Ichsan Tazkiyah Syakira Spos Indonesia | 2022', *Sposindonesia.Org*, pp. 1-24. Available at: https://sposindonesia.org/wp-content/uploads/2022/01/Strategi-Pengembangan-Bahan-Bakar-Nabati_SPOSI.pdf.
- Sinuhaji, T.R.F. (2019) 'Bahan Bakar Bio-Limbah Batang Tebu: Alternatif Solusi Untuk Mengatasi Menipisnya Bahan Bakar Minyak', (August 2019), pp. 1-4. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/366393535>.
- SNI-04-7182-2006 (2006) 'SNI-04-7182-2006'.
- Statistik, B.P. (2023) *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2022*.
- Sugiyono, A. (2014) 'Permasalahan dan Kebijakan Energi Saat Ini', *Prosiding Peluncuran Buku Outlook Energi Indonesia 2014 & Seminar Bersama BPPT dan BKK-PII Permasalahan*, (April), pp. 9-16.
- Sulistiyono, I. and Si, M. (2015) 'PENGURANGAN SUBSIDI BBM FOSIL SEBAGAI MOMENTUM PENGEMBANGAN ENERGI ALTERNATIF JENIS BIOFUEL', *Forum Teknologi*, 03, p. 4.
- Usman *et al.* (2020) 'Pemanfaatan Kotoran Ternak Sebagai Bahan Pembuatan Biogas', *Maspoul Journal Community of Empowerment*, 1(1), pp. 13-20.
- Wibisono, D. (2008) *SKRIPSI PENGATURAN MANDATORI BIOFUEL YANG BERBENTUK GREEN JET AVTUR-J100 DARI BAHAN BAKU MINYAK KELAPA SAWIT SEBAGAI PENERAPAN GREEN AIRLINE COMPANIES MASKAPAI PENERBANGAN NASIONAL*. Available at: <https://www.garuda-indonesia.com/cn/cn/news-and-events/dirut-garuda-indonesia-raih->.

BAB 11

ENERGI PANAS BUMI

Oleh Alex Sandria Jaya Wardhana

11.1 Pengenalan Energi Panas Bumi

➤ **Energi Panas Bumi (Geothermal)**

Energi panas bumi sebagai salah satu sumber daya alam yang saat ini semakin di lirik menjadi energi alternatif karena memiliki potensi yang besar dalam menyediakan sumber energi bersih serta berkelanjutan. Sumber energi yang berasal dari dalam bumi tak kalah besar manfaatnya dengan sumber energi yang seringkali kita jumpai seperti angin, matahari maupun air. Apabila dimanfaatkan dengan benar dan baik energi panas bumi akan menghasilkan cadangan energi yang melimpah.

Bumi sebagai sebuah entitas hidup yang dinamis menyimpan sumber energi panas yang melimpah didalam intinya. Energi panas yang tercipta merupakan hasil dari proses geologi yang kompleks yang terjadi secara periodik jutaan tahun. Energi panas bumi dapat dijumpai didalam batuan dan air yang berada jauh didalam kerak bumi dan dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan manusia. Ketersediaan energi panas bumi yang melimpah berdampak pada potensi pengolahan serta pengembangan yang dapat dimanfaatkan secara luas oleh manusia, akan tetapi dalam proses pengolahannya terdapat banyak sekali tantangan dan hambatan didalamnya. Proses

pengolahan atau ekstraksinya memerlukan teknologi tinggi serta investasi yang besar. Selain itu dalam pengolahannya tidak boleh dilakukan secara sembarangan, harus mempertimbangkan dampak lingkungan sekitar area pengolahan panas bumi.

Menurut UU Nomor 21 Tahun 2014 Tentang Panas Bumi mendefinisikan bahwa “Panas Bumi adalah sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, serta batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetika tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem Panas Bumi. Energi panas bumi merujuk pada panas yang dihasilkan di dalam bumi dan disimpan dalam formasi batuan serta cairan seperti air, larutan garam, dan gas yang terkandung di dalam ruang pori, retakan, dan rongga. Energi ini memiliki beragam aplikasi, baik digunakan untuk pembangkit listrik maupun pemanfaatan langsung seperti pemanasan, pendinginan, akuakultur, hortikultura, spa, serta berbagai proses industri termasuk pengeringan (Goldstein et al., 2012). Beberapa regulasi terkait dengan panas bumi di Indonesia seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

UNDANG-UNDANG	PERATURAN PEMERINTAH	PERATURAN PRESIDEN
1. UU 30/2007 tentang Energi; 2. UU 30/2009 tentang Ketenagalistrikan; 3. UU 21/2014 tentang Panas Bumi; 4. UU 16/2016 tentang Ratifikasi Paris Agreement.	1. PP 9/2012 tentang Jenis dan Tarif atas Jenis PHBP yang Berlaku pada KESDM; 2. PP 79/2014 tentang KEN; 3. PP 26/2016 tentang Besaran dan Tata Cara Pemberian Bonus Produksi Panas Bumi; 4. PP 7/2017 tentang Panas Bumi untuk Pemanfaatan Tidak Langsung.	1. Perpres 56/2016 jo Perpres 3/2016 tentang Percepatan Pelaksanaan Proyek Strategis Nasional; 2. Perpres 14/2017 jo Perpres 4/2016 tentang Percepatan Pembangunan Infrastruktur Ketenagalistrikan; 3. Perpres 22/2017 tentang RUEN;
PERATURAN / KEPUTUSAN MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL		
1. Permen ESDM 11/2009 tentang Penyelenggaraan Kegiatan Usaha Panas Bumi; 2. Permen ESDM 17/2014 tentang Pembelian Tenaga Listrik dari PLTP dan Uap Panas Bumi untuk PLTP oleh PT PLN; 3. Permen ESDM 40/2014 tentang Perubahan Keempat atas Permen 15/2010 Tentang Daftar Proyek Percepatan Pembangunan Pembangkit Tenaga Listrik Menggunakan Energi Terbarukan, Batubara dan Gas Bumi serta Transmisi Terkait PP 79/2014 tentang KEN; 4. Permen ESDM 44/2016 tentang Beribuk dan Tata Cara Penempatan Serta Pencairan Komitmen Eksplorasi Panas Bumi; 5. Permen LHK 46/2016 tentang Pemanfaatan Jasa Lingkungan; 6. Permen ESDM 21/2017 tentang Pengelolaan Limbah Lumpur dan Serbuk Bor pada Pemoran Panas Bumi; 7. Permen ESDM 23/2017 tentang Tata Cara Rekonsiliasi, Penyelesaian dan Pelaporan Bonus Produksi Panas Bumi; 8. Permen ESDM 36/2017 tentang Tata Cara PSP dan PSPE Panas Bumi; 9. Permen ESDM 37/2017 tentang Wilayah Kerja Panas Bumi untuk Pemanfaatan Tidak Langsung; 10. Permen ESDM 49/2017 tentang Perubahan Atas Permen ESDM 10/2017 tentang Pokok-Pokok Dalam Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik; 11. Permen ESDM 53/2018 jo Permen ESDM 50/2017 tentang Pemanfaatan Sumber EBT Untuk Penyediaan Tenaga Listrik; 12. Permen ESDM 33/2018 tentang Pengelolaan dan Pemanfaatan Data dan Informasi Panas Bumi untuk Pemanfaatan Tidak Langsung; 13. Permen ESDM 37/2018 tentang Penawaran Wilayah Kerja Panas Bumi, Pemberian Izin Panas Bumi dan Pengawasan Penguasaan Panas Bumi;		

Gambar 11. 1 Regulasi Direktorat Jenderal EBTKE untuk Panas Bumi

(Sumber : Restra SBTKE 2020-2024)

Energi dari panas bumi adalah energi yang diperoleh dari panas yang tersimp-an di dalam bumi. Sumber energi ini berasal dari aktivitas tektonik yang terjadi di dalam bumi sejak awal terbentuknya planet ini. Selain itu, panas juga berasal dari radiasi matahari yang diserap oleh permukaan bumi. Meskipun ekonomis dan ramah lingkungan, energi panas bumi terbatas hanya tersedia di daerah-daerah dekat perbatasan lapisan tektonik(Matoka, 2022).

Indonesia memiliki potensi yang signifikan dalam hal energi panas bumi karena letaknya yang terletak di Cincin Api Pasifik yang aktif secara tektonik. Sebagian besar sumber daya panas bumi di Indonesia terletak di wilayah-wilayah dengan aktivitas

geotermal yang tinggi, seperti di Pulau Jawa, Sumatra, Sulawesi, dan pulau-pulau lainnya di kepulauan Indonesia. Energi panas bumi, atau geothermal, tersebar hampir merata di Indonesia. Berdasarkan data yang ada, terdapat lebih dari 300 lokasi atau titik sumber panas bumi yang tersebar dari Sabang hingga Merauke (Hakim et al., 2022). Proyeksi pengembangan energi panas bumi ditargetkan mencapai 7,2 GW (Gigawatt) pada 2025 dan 17,6 GW pada tahun 2050 dalam menunjang kebutuhan listrik. Pengembangan energi panas bumi di Indonesia juga memberikan kontribusi melalui pembangkitan listrik sebesar 13.979 GWh pada tahun 2019 atau setara produksi uap sebesar 100.16 juta ton (Direktorat et al., 2020).

➤ Manifestasi Panas Bumi

Energi panas bumi terjadi karena sejumlah proses geologis dan fisik yang telah berlangsung selama berjuta-juta tahun. Faktor penting dalam pembentukan energi panas bumi adalah akumulasi panas di dalam inti bumi serta lapisan mantel dan kerak bumi. Peluruhan radioaktif elemen-elemen seperti uranium, thorium, dan kalium di inti bumi, bersama dengan sisa-sisa panas dari pembentukan awal planet ini, merupakan bagian integral dari proses ini. Selain itu, interaksi antara berbagai lapisan bumi, termasuk pergerakan lempeng tektonik dan aktivitas vulkanik, juga memainkan peran utama dalam penciptaan energi panas bumi. Proses ini tidak hanya menciptakan kondisi yang memungkinkan penumpukan panas di dalam bumi, tetapi juga memberikan akses ke sumber-sumber energi panas bumi, seperti gunung berapi, mata air panas, dan retakan-retakan bumi.

Menurut (Ridwan, 2013) menyebutkan bahwa sistem geothermal yang terbentuk melibatkan proses hidrotermal yang dipicu oleh tubuh intrusif (plutonik) atau aktivitas magnetik sebagai sumber panas. Proses ini menyebabkan transfer panas yang berlangsung secara konduktif pada batuan di sekitarnya dan konvektif pada larutan air panas, baik itu berasal dari

sumber magnetik maupun air meteorik yang meresap melalui daerah resapan.

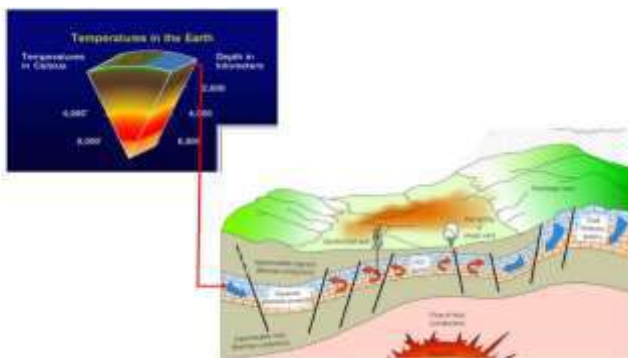
Djoko Santoso (1995) menyatakan bahwa manifestasi panas bumi di permukaan dapat berupa warm ground, steaming ground, kolam lumpur panas, kolam air panas, fumarol, sumber air panas, rembesan, geiser, dan area dengan perubahan hidrotermal. Semua ini selalu terhubung dengan proses geologi dan model sistem panas bumi. Warm ground bisa terjadi karena panas bumi yang merambat ke permukaan melalui konduksi atau karena keberadaan sumber panas dekat permukaan, seperti sumber air panas bawah tanah atau aktivitas geotermal. Keberadaan warm ground sering menjadi petunjuk adanya potensi aktivitas geotermal di daerah itu dan bisa digunakan sebagai sumber energi panas bumi. Steaming ground atau tanah beruap fenomena steaming ground biasanya terjadi di wilayah-wilayah dengan aktivitas geotermal yang tinggi, di mana panas dari dalam bumi mencapai permukaan dan menghangatkan air di bawah tanah yang berada pada kedalaman cukup dangkal. Saat air tersebut mencapai titik didih dan berubah menjadi uap, maka uap panas akan muncul ke permukaan tanah sehingga menimbulkan fenomena yang disebut steaming ground. Kolam lumpur panas atau mud volcano adalah struktur geologi yang terjadi ketika campuran gas, lumpur, dan cairan lainnya naik ke permukaan bumi, hal tersebut dapat terjadi seiring dengan terjadinya aktivitas seismik dan geotermal yang tinggi.

Kolam air panas biasanya terletak di tengah-tengah area kawasan hidrotermal minor purba dan dapat berbentuk sebagai hot lake. Sumber air panas sering kali terhubung dengan aliran air bawah tanah yang bergerak cepat, yang biasanya memiliki warna bening dan terkadang terdapat endapan silica sinter. Rembesan, yang merupakan aliran air panas dari kedalaman bumi, cenderung mengalir ke daerah dengan topografi yang lebih rendah, di mana mereka bisa bergabung dengan aliran sungai setempat. Geysir adalah sistem air panas yang secara periodik memancarkan air atau uap ke udara. Ini disebabkan oleh rongga di dalam batuan yang terisi penuh, sehingga tekanan

bertambah dan mendorong air panas atau uap ke atas. Daerah alterasi hidrotermal adalah wilayah di mana interaksi antara fluida dan batuan reservoir menyebabkan perubahan fase padat dan cair, serta pembentukan mineral baru. Kelimpahan mineral hidrotermal yang terbentuk selama proses ini sangat dipengaruhi oleh faktor seperti suhu, komposisi fluida (pH), tingkat permeabilitas batuan, dan keberadaan titik didih.

11.2 Ekstraksi Energi Panas Bumi

Ekstraksi panas bumi dapat dilakukan dengan metode ekstraksi secara konvensional. Metode ekstraksi konvensional dari panas geotermal melibatkan serangkaian prosedur teknis. Pengeboran, pengambilan, dan penyebaran fluida merupakan tiga langkah kunci yang harus dijalani untuk memperoleh panas geotermal yang dapat digunakan dari suatu lokasi atau reservoir potensial. Metode ekstraksi konvensional dari panas geotermal melibatkan serangkaian prosedur teknis. Pengeboran, pengambilan, dan penyebaran fluida merupakan tiga langkah kunci yang harus dijalani untuk memperoleh panas geotermal yang dapat digunakan dari suatu lokasi atau reservoir potensial(Sharmin et al., 2023).



Gambar 11. 2 Ilustrasi Komponen Panas Bumi

(Sumber:Ridwan.K, Geothermal Capital Overview, 2013)

Berikut ini adalah beberapa langkah dalam proses ekstraksi konvensional

1. Pengeboran sumur bertekanan tinggi / *Drilling of high-temperature wells* ($>150^{\circ}\text{C}$).

Proses pengeboran untuk mengakses fluida panas bumi serupa dengan pengeboran minyak dan gas, dengan batuan sumur panas bumi yang umumnya lebih keras seperti metamorf, atau igneus yang mempunyai kekerasan lebih daripada batuan sedimen. Saat area di atas lokasi pengeboran tidak dapat diakses, pengeboran dilakukan dengan metode pengeboran arah. Pemakaian bor turbin downhole digunakan untuk membentuk dan mempertahankan sudut pengeboran. Namun, biaya pengeboran sumur secara arah biasanya lebih tinggi sekitar 25% dibandingkan dengan pengeboran sumur secara vertikal karena laju penetrasi yang lebih lambat.

2. Pengeboran sumur bertekanan rendah / *Drilling of low-temperature wells* ($<150^{\circ}\text{C}$).

Proses yang paling mahal dalam proyek panas bumi untuk penggunaan non-elektrikal mungkin adalah pengeboran dan pengekasan sumur bertekanan rendah. Proses pengeboran memiliki biaya yang sangat tinggi dan biayanya cenderung meningkat secara signifikan seiring dengan kedalaman pengeboran. Banyak cadangan panas bumi dengan suhu rendah mungkin tidak menguntungkan secara ekonomi untuk dieksploitasi karena biaya pengeboran yang tinggi. Biaya akuisisi situs dan survei geologi juga harus diperhitungkan dalam biaya total pengeboran. Teknologi yang digunakan untuk mengebor ke reservoir panas bumi dengan suhu rendah seringkali serupa dengan teknologi yang digunakan untuk mengebor cadangan air di permukaan tanah. Namun, dalam mengebor ke reservoir tersebut, pertimbangan biaya menjadi hal yang paling penting, dan seringkali sumur berkekuatan rendah yang lebih dalam dari 2 km dianggap tidak ekonomis.

3. Ekstraksi Fluida / *Extraction of fluids*

Berbagai faktor memengaruhi laju aliran dan performa sebuah reservoir panas bumi. Parameter-parameter ini meliputi jumlah dan jenis fluida di dalam reservoir, tingkat pengisian kembali, porositas, struktur infrastruktur yang dibor dan pipa-pipanya, serta kualitas peralatan penyelesaian yang digunakan. Tergantung pada karakteristik khusus dari reservoir tersebut, fluida dapat hadir dalam bentuk cairan, uap, atau kombinasi dari keduanya di antarmuka, dan juga dapat mengandung zat terlarut dan partikel padat lainnya. Sifat-sifat entalpi-tekanan dari fluida, termasuk persentase garam, akan menentukan jenis peralatan yang diperlukan untuk mengeluarkan fluida dari reservoir tertentu.

4. Pengujian Sumur / *well testing*

Pengujian sumur adalah bagian penting dari proses pengembangan sumber daya panas bumi, terutama saat fase penemuan. Proses pengujian sumur melibatkan observasi fisik oleh para insinyur dalam berbagai kondisi, baik saat sumur aktif maupun dalam kondisi tertutup, dan juga melibatkan analisis kimia dari limbah. Menetapkan ukuran dan potensi energi dari reservoir adalah parameter yang sulit namun krusial. Oleh karena itu, uji produksi yang panjang diperlukan karena ini merupakan satu-satunya cara untuk menentukan apakah investasi tambahan di lapangan diperlukan. Informasi ini dapat diperoleh melalui penggunaan model reservoir geotermal.

5. Perencanaan Reservoir / *Reservoir modelling*

Modeling reservoir geotermal memproyeksikan pergerakan fluida secara kuantitatif yang masuk ke dalam suatu cadangan panas bumi tertentu. Kinerja cadangan tersebut dinilai berdasarkan kondisi fluida (suhu, tekanan, atau entalpi); karenanya, hasil temuan sering kali dilaporkan sebagai perubahan pada reservoir. Data lapangan harus

digunakan untuk memvalidasi model kuantitatif tersebut. Kemampuan model untuk mereplikasi perilaku yang sudah diketahui adalah ciri khasnya. Komputer membantu dalam menerapkan model matematika tersebut. Laju produksi fluida yang optimal dan laju injeksi limbah ke tepi reservoir selanjutnya dapat diestimasi dan diproyeksikan selama beberapa tahun menggunakan model yang handal.

6. Distribusi Fluida / *Distribution of Fluids*

Sistem-sistem produksi terintegrasi mengalirkan fluida yang diekstraksi dari cadangan ke stasiun energi atau struktur penggunaan lainnya. Reservoir berorientasi uap menghasilkan uap dengan kelembaban yang minimal dan langsung dialirkan ke pabrik energi. Pada akuifer berorientasi air yang menghasilkan air dan uap, fluida dari cadangan dibawa ke pemisah. Sebagian kecil fluida (17–22%) diubah menjadi uap oleh pemisah dan kemudian dialirkan ke pembangkit listrik. Limbah air berlebih dan kondensat biasanya dipompa kembali ke sumur-sumur untuk reinjeksi. Aplikasi energi geotermal non-elektrik memerlukan jaringan distribusi air panas yang terdiri dari pipa-pipa dengan ukuran berbeda sesuai dengan laju aliran fluida. Pompa, sambungan ekspansi, katup, meteran, dan pengontrol juga diperlukan untuk operasi yang handal. Sistem ini umumnya diisolasi termal untuk mengurangi kehilangan panas dan penurunan suhu dalam fluida.

11.3 Keunggulan dan Kendala Energi Panas Bumi

Berikut ini adalah beberapa keunggulan dan kendala energi panas bumi yang menjadikannya sebagai investasi masa depan menurut (Wisriansyah et al., 2020) diantaranya:

11.3.1 Keunggulan

1. Rendah Emisi GRK

Dalam penggunaannya, energi panas bumi tidak sepenuhnya bebas dari emisi gas rumah kaca (GRK). Variasi dalam jumlah emisi GRK yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) terjadi karena faktor-faktor yang bersifat spesifik pada lokasi dan wilayah tempat PLTP beroperasi. Laporan IPCC tahun 2014 menyajikan rentang nilai emisi GRK dari berbagai jenis pembangkit listrik, termasuk PLTP, yang diukur dalam satuan gram CO₂-equivalent per kilowatt hour (gCO₂-equivalent/kWh). Penilaian ini mencakup nilai minimum, median, dan maksimum dari emisi GRK, dengan memperhitungkan berbagai jenis GRK seperti metana dan oksida nitrat, yang dikonversi ke dalam satuan CO₂ setara dengan tingkat pemanasan global.

Berdasarkan laporan tersebut, terbukti bahwa emisi GRK dari PLTP lebih rendah dibandingkan dengan energi terbarukan lainnya seperti biomassa dan solar PV. Biomassa memiliki nilai median emisi GRK sebesar 230 gCO₂-equivalent/kWh, solar PV utility sebesar 48 gCO₂-equivalent/kWh, sementara PLTP hanya sebesar 38 gCO₂-equivalent/kWh. Data ini menunjukkan keunggulan signifikan dalam penggunaan energi panas bumi dalam mengurangi emisi GRK.

2. Tidak Bersifat Intermitten

Energi panas bumi bisa dikelompokkan sebagai energi terbarukan atau tidak, tergantung pada bagaimana proyek Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) dikelola. Jika PLTP mampu menjaga tekanan dan suhu di reservoir dengan baik, memastikan panas dalam reservoir dapat terus digunakan, maka energi panas bumi bisa dianggap sebagai energi terbarukan. Karena manusia memiliki kendali atas suplai panas di PLTP, energi panas bumi dapat

menghasilkan listrik secara konsisten, tidak seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) yang bergantung pada cuaca karena sifatnya yang *intermittent*, tergantung pada intensitas cahaya matahari dan kecepatan angin.

3. Kemampuannya Sebagai *Base Load*

Setiap harinya, permintaan listrik tidak selalu stabil karena setiap lokasi memiliki pola permintaan yang berbeda-beda, tergantung pada kebutuhan masyarakatnya. Contohnya, Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP) menyebutkan bahwa ada dua puncak permintaan listrik dalam satu hari di beberapa tempat. Energi panas bumi memiliki karakteristik menghasilkan daya listrik yang stabil, sehingga dapat berperan sebagai sumber daya dasar (*base load*) dalam portofolio energi listrik untuk memenuhi permintaan listrik minimum setempat. Ini mempermudah pengaturan sumber energi listrik di suatu lokasi yang memiliki potensi panas bumi, karena energi listrik minimum dapat dipenuhi dengan menggunakan potensi energi panas bumi yang ada di daerah tersebut. Bahkan, jika proyek PLTP memiliki kapasitas lebih besar dari kebutuhan lokal, kelebihan energi listrik yang dihasilkan dapat dialirkan ke daerah lain melalui jaringan transmisi untuk memenuhi kebutuhan listrik minimum di wilayah lain yang tidak memiliki akses ke energi panas bumi. Sementara itu, permintaan puncak (*peak load*) dapat diatasi dengan menggunakan sumber energi terbarukan lainnya.

4. Kebutuhan Luas Area yang Kecil

PLTP hanya memerlukan area yang sedikit, bahkan bisa 10 kali lipat lebih kecil dibanding dengan PLTB. Karakteristik energi terbarukan yang membutuhkan lahan luas, seperti PLTB, membuatnya kurang dapat diterapkan secara efisien, terutama dalam jangka waktu yang panjang. Pertumbuhan populasi yang terus meningkat setiap tahunnya akan meningkatkan permintaan akan tempat

tinggal, yang berpotensi bersaing dengan lahan yang diperlukan untuk pembangunan proyek energi terbarukan. Di samping itu, kebutuhan akan lahan untuk pertanian juga akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan permintaan pangan yang meningkat. Hal ini dapat menyebabkan kompetisi antara energi terbarukan dengan kebutuhan tempat tinggal dan sektor pertanian. Dengan demikian, penggunaan energi terbarukan seperti PLTS dan PLTB membutuhkan pertimbangan yang lebih kompleks dalam perencanaan jangka panjang.

11.3.2 Kendala

Tahap awal proyek, terutama eksplorasi, menjadi tantangan utama dalam pengembangan PLTP. Eksplorasi memegang risiko tertinggi karena hasil interpretasi awal dari survei geofisika, geokimia, dan geologi harus diverifikasi melalui pengeboran, yang membutuhkan biaya besar hingga USD 34,1 juta untuk tiga sumur bor. Jika tidak terdapat reservoir sesuai dengan interpretasi awal, biaya tersebut menjadi sia-sia. Namun, kesuksesan tahap eksplorasi akan mengurangi risiko dalam tahap konstruksi PLTP karena keberadaan sumber panas bumi yang terverifikasi. Namun, keseluruhan proses ini membutuhkan dana besar, sehingga bantuan dana dan technical assistance diperlukan untuk mempercepat pengembangan energi panas bumi.

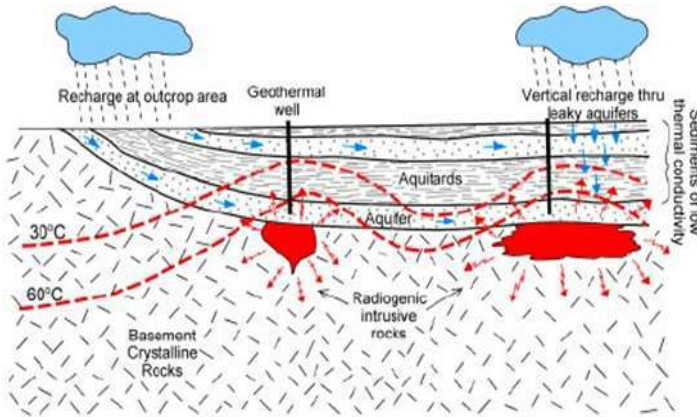
Lokasi sumber daya panas bumi di Indonesia pada umumnya berada di lokasi di pegunungan berapi aktif dan mengandung banyak bahaya dan kesulitan karena memiliki high-relief terrain menjadi tantangan tersendiri bagi pengembangan panas bumi di Indonesia (Umam et al., 2018). Tantangan lain dari pengembangan panas bumi adalah tingkat risiko sumber daya yang tinggi (di sektor hulu) serta penolakan oleh masyarakat yang tinggal di sekitar lokasi proyek pembangkit panas bumi (Poernomo et al., 2014).

11.4 Inovasi dan Pengembangan Teknologi Panas Bumi

Pemanfaatan teknologi panas bumi terus dikembangkan guna mencapai efisiensi pengolahan panas bumi yang optimal di masa depan. Terdapat tiga contoh pengembangan teknologi panas bumi di masa depan, yaitu: Sistem Hot Dry Rock(HDR), Reservoir Geotekanan (Geopressured reservoirs), dan Energi magma(CESN S.P.A., 1999). Beberapa hal tersebut dijelaskan sebagai berikut:

11.4.1 Sistem Hot Dry Rock (HDR)

Industri geotermal kini memanfaatkan akuifer panas sebagai sumber energi. Prinsip dasar dari HDR adalah mengambil energi dari batuan yang dibelah secara artifisial. Dua sumur dibor ke dalam batuan, berjarak beberapa ratus meter. Air disirkulasikan melalui sumur injeksi dan melewati reservoir HDR yang berperan sebagai penukar panas. Cairan tersebut kemudian kembali ke permukaan melalui sumur produksi, sehingga panasnya dapat ditransfer ke permukaan sebagai uap atau air panas. Berbagai percobaan HDR telah dilakukan di AS, Inggris, Jepang, dan Jerman. Proyek ilmiah Eropa yang dimulai oleh Uni Eropa di Soultz-sous-Forêts pada tahun 1987 masih berlangsung; jika berhasil, pengembangan industri bisa dimulai di masa depan (2020). Program-program besar lainnya sedang berjalan di Jepang, atau dalam tahap persiapan seperti di Australia dan Swiss. Pada dasarnya, konsep ini sederhana. Namun, dalam praktiknya, hasil eksperimen menunjukkan bahwa sirkulasi yang diinduksi secara artifisial sering sulit dipertahankan tanpa kehilangan air yang signifikan.

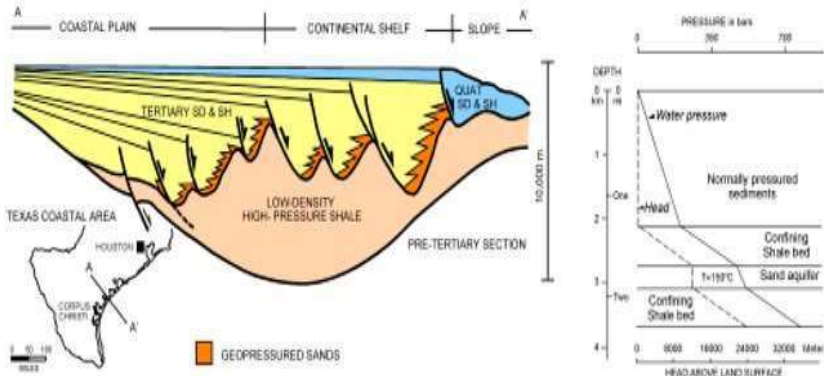


Gambar 11. 3 Sistem *Hot Dry Rock*

Sumber: (Lund, 2007)

11.4.2 Reservoir Geotekanan (*Geopressured Reservoirs*)

Reservoir geotekanan merujuk pada reservoir yang terletak dalam (4-6 km) di dalam cekungan sedimentasi besar. Reservoir ini berisi air panas yang tertekan tinggi dan terperangkap pada tekanan yang sangat tinggi karena kondisi geologi tertentu. Dari reservoir geotekanan, dapat dihasilkan: 1) energi termal dari air panas yang tertekan tinggi, 2) energi hidrolik karena tekanan yang sangat tinggi, 3) gas metana.



Gambar 11. 4 Geopressed Reservoirs

Sumber: (Lund, 2007)

11.4.3 Energi Magma

Energi panas yang terdapat dalam magma memiliki potensi sumber daya yang sangat besar. Misi Program Ekstraksi Energi Magma Amerika Serikat adalah untuk mengevaluasi kemungkinan dan kegunaan magma sebagai sumber daya yang dapat dimanfaatkan. Program ini masih dalam tahap pengembangan namun masih banyak tantangan teknis yang perlu diatasi.

11.5 Keberlanjutan dan Dampak Lingkungan

11.5.1 Keberlanjutan Energi Panas Bumi Sebagai Sumber Energi Terbarukan

Berdasarkan data Badan Geologi Kementerian ESDM Indonesia, terletak di antara perbatasan lempeng tektonik Indo-Australia, Pasifik, Filipina, dan Eurasia, menempati salah satu wilayah dengan aktivitas tektonik tertinggi di dunia, letak strategis ini menjadikan Indonesia sebagai negara yang paling berlimpah dengan sumber energi panas bumi, yang tersebar di 285 lokasi sepanjang busur vulkanik,

dengan total potensi mencapai 29.215 GWe(Fandari et al., 2014).

Dalam laporan yang dirilis oleh WWF pada tahun 2012 yang berjudul "*Igniting the Ring of Fire: A Vision for Developing Indonesia's Geothermal Power*", dijelaskan bahwa potensi total sumber daya dan cadangan panas bumi negara ini diperkirakan mencapai 28.994 MWe (megawatt-elektrik) dengan kapasitas terpasang sebesar 1.196 MWe (sekitar 4 persen dari total sumber daya dan cadangan). Dari total 276 area panas bumi di Indonesia, sebanyak 37 dapat dianggap sebagai Wilayah Kerja Pertambangan (WKP), dengan potensi panas bumi sebesar 7.376 MWe(Ashat and Ardiansyah, 2012).

Berdasarkan data yang diperoleh dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, total kapasitas cadangan dan sumber daya panas bumi di Indonesia mencapai 28.994 MWe (megawatt listrik). Kapasitas energi ini setara dengan lebih dari 200 miliar barel minyak. Energi panas bumi merupakan sumber energi terbarukan yang tak terbatas dan secara alami diperbaharui melalui proses geotermal di dalam bumi. Karena karakteristiknya yang tidak dipengaruhi oleh fluktuasi cuaca seperti energi surya atau angin, energi panas bumi dapat diandalkan sebagai sumber energi yang stabil dan konsisten dalam jangka panjang. Ini menjadikannya pilihan yang menarik untuk memenuhi kebutuhan akan pasokan energi yang dapat diandalkan dan berkelanjutan.

11.5.2 Dampak Lingkungan dari Pengembangan dan Eksploitasi Energi Panas Bumi

Secara umum, dampak lingkungan dan sosial yang terkait dengan penggunaan energi panas bumi dianggap minor, hal tersebut dikarenakan produksi fluida panas dapat menghasilkan sejumlah kecil gas rumah kaca (GHG) yang bervariasi. Hal tersebut berasal dari aliran CO₂ alami yang pada akhirnya dilepaskan ke atmosfer melalui lubang

ventilasi permukaan alami. Eksploitasi energi panas bumi pada dasarnya tidak menambahkan CO₂ tambahan dari bawah permukaan karena tidak melibatkan proses pembakaran, akan tetapi tingkat emisi alami dapat dipengaruhi oleh produksi energi panas bumi tergantung pada cara pembangkit listriknya diatur (Goldstein Barry et al., 2009).

Pengaruh limbah air tidak menjadi faktor pembatas dalam pembangkit listrik energi panas bumi karena biasanya fluidanya adalah larutan garam (brine), sehingga tidak berbahaya dengan penggunaan air lainnya. Pembangkit listrik flash tidak membutuhkan air untuk pendinginan dan menghasilkan air kondensat yang dapat digunakan untuk keperluan pertanian serta industri setelah melalui perlakuan yang sesuai. Pembangkit listrik biner dapat mengurangi penggunaan air dengan menggunakan pendinginan udara.

Potensi dampak negatif dari pengolahan energi panas bumi berasal dari pembuangan fluida dan gas panas bumi, gempa bumi yang diinduksi, serta penurunan permukaan tanah namun dapat dikurangi dengan menerapkan praktik operasional yang baik. Proses operasional yang baik juga dapat mengoptimalkan penggunaan air dan tanah, meningkatkan keberlanjutan produksi dalam jangka panjang, dan menjaga kelestarian fitur thermal alami yang bermanfaat untuk masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashat, A., & Ardiansyah, F. (2012). *IGNITING the Ring of Fire: A Vision for Developing Indonesia's Geothermal Power*. <https://www.researchgate.net/publication/332033173>
- CESEN S.P.A., ALTENER Programme., & Commission of the European Communities. Directorate-General for Energy. (1999). *Blue book on geothermal resources : a strategic plan for the development of European geothermal sector*. Office for Official Publications of the European Communities.
- Direktorat, J., Energi, B., Terbarukan, D., Konservasi, E., Energi, K., Sumber, D., Mineral, D., Jenderal, D., Baru, E., Dan, T., Energi, K., Kantor, G., Bratanata, S., Pegangsaan, J., & Menteng, K. (2020). *Buku Rencana Strategis (Renstra)*.
- Fandari, A. El, Daryanto, A., & Suprayitno, G. (2014). Pengembangan Energi Panas Bumi yang Berkelanjutan. *JURNAL ILMIAH SEMESTA TEKNIKA*, 17(1), 68–82.
- Goldstein, B., Hiriart, G., Tester, J., Gutierrez-Negrin, L., Bertani, R., Bromley, C., Huenges, E., Ragnarsson, A., Mongillo, M., Lund, J. W., Rybach, L., Zui, V., & Muraoka, H. (2012). Geothermal Energy geothermal energy , Nature geothermal energy nature , Use geothermal energy use , and Expectations geothermal energy expectations. In *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology* (pp. 4190–4201). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3_309

- Goldstein Barry, Gerardo Hiriar, Luis Gutierrez-Negrin, Jeff Tester, Ruggero Bertani, Chris Bromley, Ernst Huenges, Arni Ragnarsson, Hiro Muraoka, Vladimir Zui, & Mike Mongillo. (2009). *Great Expectations for Geothermal to 2100 – Messages for Now*.
- Hakim, A. F., Krismadiana, SholihahFahridhotul, Ismawati Riva, & Dewantari n Nuryunita. (2022). Potensi dan Pemanfaatan Energi Panas Bumi di Indonesia . *Indonesian Journal of Conservation*, 11(2), 71–77.
- Lund, J. W. (2007). Development and utilization of geothermal resources. *ISES Solar World Congress 2007, ISES 2007*, 1, 87–95. https://doi.org/10.1007/978-3-540-75997-3_13
- Matoka, P. A. (n.d.). *POTENSI PANAS BUMI (GEOTHERMAL) DI INDONESIA*.
<https://www.researchgate.net/publication/352479141>
- Pakig, K. (2013). *BUKU 3 GEOTHERMAL CAPITAL (BUSINESS AND RESOURCE) OVERVIEW*.
<https://www.researchgate.net/publication/337915555>
- Poernomo, A., Satar, S., Effendi, P., Kusuma, A., Azimudin, T., & Sudarwo, S. (2014). *An Overview of Indonesia Geothermal Development – Current Status and Its Challenges*.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:201798725>
- Sharmin, T., Khan, N. R., Akram, M. S., & Ehsan, M. M. (2023). A State-of-the-Art Review on Geothermal Energy Extraction, Utilization, and Improvement Strategies: Conventional, Hybridized, and Enhanced Geothermal Systems. In *International Journal of Thermofluids* (Vol. 18). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100323>

- Umam, M., Adityatama, D. W., & Purba, D. (2018). *Tantangan Pengembangan Energi Panas Bumi Dalam Perannya terhadap Ketahanan Energi di Indonesia*. 8, 48–65.
- Wisriansyah, S. Z., Dorman Purba, & Arnaldo Napitu. (2020). Keunggulan, Tantangan, dan Rekomendasi Kebijakan akan Pengembangan Energi Panas Bumi di Indonesia. *Jurnal Nasional Pengelolaan Energi*, 2(2), 31–46.

BAB 12

KONSERVASI ENERGI

Oleh Septiana Ambarwati

12.1 Pengertian Konservasi Energi

Konservasi energi merupakan solusi sistematis, terencana, dan terpadu dalam upaya melestarikan sumber daya energi dan efisiensi pemanfaatannya. Efisiensi energi bertujuan untuk meningkatkan nilai tambah pengguna energi dengan cara meningkatkan produktivitas dan daya saing usaha dengan mempertimbangkan penggunaan energi yang diperlukan tanpa mengurangi kenyamanan.

Konservasi energi menjadi tanggung jawab seluruh pengguna energi meliputi: Pemerintah, Pemerintah Daerah, Pemerintah Kabupaten/Kota, Pengusaha, dan Masyarakat. Perkembangan perekonomian dan perkembangan sektor industri nasional meningkatkan pembangunan nasional yang berdampak pada peningkatan penggunaan energi. Sementara itu, penyedia energi nasional masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil yang semakin lama semakin menipis sehingga menyebabkan harga bahan bakar minyak dan gas semakin mahal.

Berdasar pada Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2023 tentang Konservasi Energi menjelaskan upaya sistematis, terencana, dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya.

Upaya pelaksanaan konservasi energi oleh pemerintah dengan menurunkan ambang batas konsumsi energi dilingkup pemerintah pusat dan pemerintah daerah. Konservasi energi dilaksanakan pada seluruh tahap pengelolaan energi meliputi proses melestarikan Sumber Daya energi dan Meningkatkan efisiensi Energi. Dalam pelaksanaan konservasi energi, masyarakat berperan sebagai pengguna teknologi hemat energi.

Pemerintah sebagai aspek penyedia energi lebih berfokus kepada sumber energi fosil yang bersifat *unrenewable resources*. Sedangkan negara Indonesia sendiri memiliki potensi sumber daya yang tinggi baik sumber daya *renewable resources* maupun *unrenewable resources*. Keadaan ini menjadikan Indonesia menjadi importir minyak mentah dan produk turunannya.

Dilihat dari segi konsumen, menunjukkan bahwa konsumsi energi terus meningkat seiring dengan perkembangan ekonomi seperti: sektor industri, pertanian, transportasi, dan rumah tangga.



Gambar 12. 1 Konsumsi Energi Minyak Bumi dan Produksinya
(Sumber :Junaidi, 2023)

Tabel 12. 1 Langkah Konservasi Energi

Langkah	Kegiatan	Biaya
1	Melakukan pencegahan dengan menghindari terbuangnya energi	-
2	Melakukan pemanfaatan kembali untuk menghindari kerugian	menengah
3	Meningkatkan pemanfaatan energi dengan inovasi yang efektif	tinggi

Sumber: (OJK, 2015)

12.2 Regulasi Konservasi Energi

Upaya Pemerintah untuk menjamin efektivitas penggunaan energi diatur dalam Instruksi Presiden No. 9 Tahun 1982 tentang Konservasi Energi. Undang-undang No. 30 Tahun 2007 tentang Energi menjadi dasar bagi kebijakan energi nasional. Pemerintah Indonesia menerbitkan Peraturan Pemerintah Nomor 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi menjelaskan pada Pasal 12 Ayat (2) penggunaan energi lebih besar atau sama dengan 6.000 TOE per tahun wajib melakukan konservasi energi melalui manajemen energi.

Menteri ESDM menerbitkan Peraturan Menteri ESDM Nomor 14 Tahun 2012 tentang Manajemen Energi untuk menjamin konservasi. Direktorat Konservasi Energi, Dirjen EBTKE Kementerian ESDM menjadi lembaga efisiensi energi negara bertanggung jawab mengimplementasikan kebijakan konservasi energi melalui manajemen energi dengan pembinaan, pengawasan, pemberian reward (So, 2014). Standar dan regulasi konservasi energi terlihat pada gambar 12.1.

2007

- UU No. 30/2007 tentang Energi.

2009

- PP No.70/2009 tentang Konservasi Energi.

2011

- InPres No. 13/2011 tentang Penghematan Energi dan Air;
- PerPres No. 61/2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca;
- SNI : 6196:2011 tentang Prosedur Audit Energi pada Selubung Bangunan;
- SNI : 6197:2011 tentang Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan;
- SNI : 6389-2011 tentang Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung;
- SNI : 6390-2011 tentang Konservasi Energi Sistem Tata Udara pada Bangunan Gedung.

2012

- PerMen ESDM No. 14/2012 tentang Manajemen Energi;
- PerMen ESDM No. 15/2012 tentang Penghematan Penggunaan Air Tanah;
- Pergub DKI Jakarta No. 38 Tahun 2012 Tentang Bangunan Gedung Hijau

2013

- PerMen ESDM No. 01/2013 tentang Pengendalian Penggunaan Bahan Bakar Minyak;

- 2015**
 - PerPres No. 38/2015 tentang Kerjasama Pemerintah dengan Badan Usaha dalam Penyediaan Infrastruktur (termasuk infrastruktur tentang konservasi energi);
 - KepMen Ketenagakerjaan No. 80/2015 tentang Penetapan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia pada Jabatan Kerja Manajer Energi di Industri dan Bangunan Bangunan;
 - Permen PUPR No. 02/PRT/M/2015 Tentang Bangunan Gedung Hijau
- 2014**
 - Permen ESDM No. 18/2014 tentang Pembubuhan Label Tanda Hemat Energi Untuk Lampu Swabalast;
 - PP No. 79/2014 tentang Kebijakan Energi Nasional.
- 2017**
 - Perpres No. 22/2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional
 - Permen ESDM No. 41/2017 tentang Perubahan Kedua Permen ESDM No. 28/2016 atas Tarif Tenaga Listrik Yang Disediakan Oleh Perusahaan Listrik Negara (Persero);
 - Permen ESDM No. 57/2017 tentang Penerapan SKEM dan Pencantuman Label Tanda Hemat Energi untuk AC;
- 2018**
 - KepMen Ketenagakerjaan No. 53/2018 tentang Penetapan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia bidang Audit Energi;

**Gambar 12. 2 Regulasi Konservasi Energi
(Sumber : Direktorat Jenderal Energi Baru, 2019)**

12.3 Sistem Manajemen Energi

Manajemen energi merupakan teknik manajemen untuk menganalisa aliran energi dalam sistem energi sehingga efisiensi penggunaan energi meningkat. Efisiensi tersebut menjadi syarat penggunaan energi untuk menekan biaya produksi maupun pemeliharaan di industri sehingga memungkinkan dalam mempertahankan daya saing produk yang dihasilkan.

12.3.1 Langkah Manajemen Energi

Langkah yang dilakukan dalam manajemen energi berfokus pada konsumsi energi dan pelaksanaan audit energi. Beberapa langkah yang dilakukan diantaranya (Ghurri, 2016):

- a. Merumuskan kebijakan energi dan tujuannya.

Langkah pertama yaitu mengumumkan niat untuk melakukan manajemen energi. Selanjutnya menyusun pernyataan kebijakan energi dan pembentukan tim. Tugas tim menyusun dan merumuskan petunjuk teknis ke seluruh pengguna energi.

- b. Melakukan audit energi secara mendalam

Langkah kedua menggunakan data penggunaan energi pada kurun waktu sebelumnya. Dari data yang telah diperoleh, tim manajemen energi menganalisa bagian yang memberikan peluang untuk menghemat energi dan memberikan tanggung jawab kepada pihak yang bertugas. Tujuan utama melaksanakan program manajemen energi adalah meningkatkan profit dengan menekan biaya operasional dan produksi industri.

12.4 Perkembangan Konservasi Energi

Perkembangan konservasi energi berfokus pada kesadaran semua pihak menjaga ketahanan energi dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Beberapa perkembangan konservasi energi meliputi:

- a. Melakukan inovasi teknologi ramah lingkungan
- b. Meningkatkan kesadaran masyarakat pentingnya konservasi energi

- c. Mendukung kebijakan pemerintah terkait konservasi energi

12.4.1 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) menerapkan sistem konservasi energi melalui kelompok Riset Teknologi Konservasi Energi di Bangunan dan Industri dengan melakukan penelitian mengenai Sistem Informasi Manajemen Energi (SIMEbrin). SIMEbrin adalah produk riset BRIN yang memberikan data IKE secara real-time dan bisa diimplementasikan dalam bangunan dan industri. IKE dapat diatur secara realistis untuk total jam per tahun, jam operasional, dan lainnya sesuai kebutuhan. Pemantauan dan penargetan energi adalah pendekatan dalam manajemen energi yang dirancang untuk menghilangkan pemborosan, mengurangi tingkat penggunaan energi pada bangunan, dan mengoptimalkan efisiensi operasi yang ada. Pemakaian energi dalam bangunan gedung dinyatakan dalam Indeks Konsumsi Energi (IKE), diukur dalam kWh/m²/tahun. SIMEbrin digunakan untuk mengidentifikasi dan menjelaskan penggunaan energi yang berlebihan, mendeteksi ketidaksesuaian dalam konsumsi energi yang tidak terduga, menentukan penggunaan energi dan biaya di masa depan, mendiagnosis area tertentu yang terbuang energi, mengamati bagaimana perubahan dalam faktor-faktor pendorong yang relevan memengaruhi efisiensi energi dan konsumsi energi sebagai biaya tetap. Oleh karena itu, SIMEbrin diharapkan mendukung upaya pemerintah dalam Program Konservasi Energi di Indonesia.

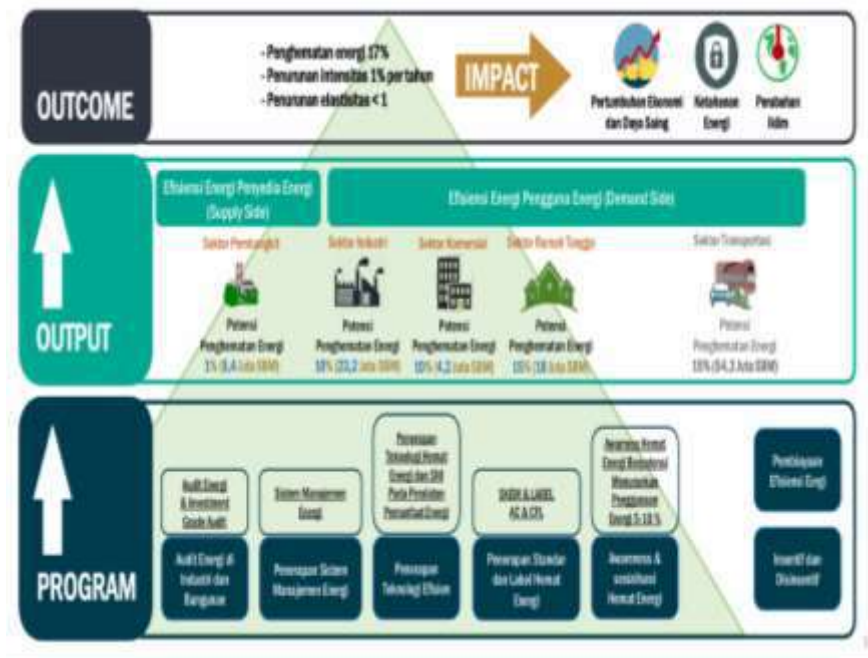
12.4.2 Penerapan Konservasi Energi di Industri

Penerapan kebijakan konservasi energi dapat dilakukan dengan berbagai cara:

- a. Menerapkan teknologi hemat energi
- b. Meningkatkan kesadaran potensi penghematan energi di industri
- c. Meningkatkan prinsip hemat energi
- d. Memanfaatkan *green technology*
- e. Melaksanakan efisiensi pemakaian energi untuk menunjang produktivitas industri
- f. Membuat SOP pelaksanaan konservasi energi disektor industri
- g. Mengembangkan inisiatif konservasi energi untuk meningkatkan efisiensi energi
- h. Memberikan penghargaan bagi industri yang melakukan konservasi energi
- i. Mengembangkan dan menggunakan energi alternatif

12.4.3 Program Konservasi Energi Pemerintah

Pemerintah mencanangkan program guna mendukung kebijakan konservasi energi serta menjamin adanya target ketahanan energi yang berdampak pada pertumbuhan ekonomi. Program konservasi energi yang dilakukan pemerintah dapat dilihat pada Gambar 12.2. Program pemerintah tersebut dirancang untuk menghemat energi sebesar 17% dari sektor pembangkit, industri, komersial, rumah tangga, dan transportasi.



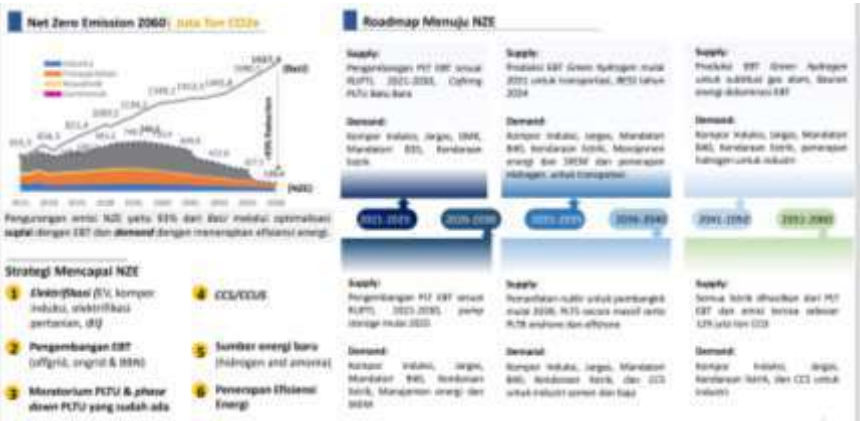
Gambar 12. 3 Program Konservasi Energi
(Sumber : Direktorat Jenderal Energi Baru, 2019)

Transisi energi menjadi solusi konservasi energi di berbagai aspek. Transisi energi menjadi proses perubahan penyediaan dan pemanfaatan energi yang tidak dapat diperbarui menjadi energi baru dan energi yang dapat diperbarui, penggunaan teknologi energi rendah karbon untuk menurunkan emisi gas rumah kaca demi menjaga iklim bumi. Dengan adanya transisi energi, Pemerintah berkomitmen untuk mencapai *Net Zero Emission* pada tahun 2060 atau lebih cepat.



Gambar 12. 4 Komponen dan Aktivitas Transisi Energi (Sumber :Junaidi, 2023)

Untuk mewujudkan komitmen Pemerintah mencapai *Net Zero Emission* dilakukan dengan beberapa strategi diantaranya: elektrifikasi, pengembangan EBT, moratorium PLTU, sumber energi baru, penerapan efisiensi energi. Roadmap menuju *Net Zero Emission* terlihat pada gambar 12.4.



Gambar 12. 5 Peta Jalan Transisi Energi Menuju Net Zero Emission (Sumber :Junaidi, 2023)

12.5 Audit Energi

Audit energi adalah suatu pemeriksaan terhadap teknis penggunaan energi dan proses dimana dapat dilakukan efisiensi energi. Audit energi berpotensi menurunkan biaya dan mengoptimalkan perbaikan untuk produktivitas, kenyamanan, dan keselamatan (Ghurri, 2016).

Audit energi bertujuan untuk mengidentifikasi potensi penghematan energi dan meningkatkan efisiensi energi. Perlu dilakukan analisa di setiap area dimana energi dapat ditingkatkan efisiensinya serta memberikan masukan untuk perbaikan dan Langkah selanjutnya untuk mengurangi penggunaan energi. Audit energi dapat dilakukan oleh profesional yang terlatih dan berpengalaman dalam bidang energi.

Audit energi melibatkan pengukuran dan analisis konsumsi energi saat ini, penilaian efisiensi peralatan dan sistem, identifikasi potensi penghematan energi melalui perubahan teknologi atau praktek, serta penilaian kelayakan finansial dari usulan perbaikan.

12.5.1 Lingkup Pelaksanaan Audit Energi

- a. Setiap area yang mana menggunakan energi akan diidentifikasi potensi penghematan energinya
- b. Prosedur manajemen energi

Tim auditing harus memantau dan mengelola penggunaan energi dengan menggunakan sistem otomatis manajemen energi

- c. Analisis historis penggunaan energi

Menganalisa data perubahan konsumsi energi sebelumnya melibatkan penggunaan metode statistika dan pemodelan untuk mengetahui tren konsumsi

energi. Tujuan yang ingin dicapai adalah pengurangan penggunaan energi sebesar 20% dan penghematan biaya sebesar 10%.

DAFTAR PUSTAKA

- Brin.go.id, 20 September 2023, Dukung Program Konservasi Energi BRIN Kembangkan SIMEbrin, diakses pada 20 Maret 2024, <https://brin.go.id/news/115318/dukung-program-konservasi-energi-brin-kembangkan-simebrin>
- (OJK), O. J. K. (2015) 'Buku Pedoman Pembiayaan Efisiensi Energi di Industri untuk Lembaga Jasa Keuangan', Jakarta, pp. 10–17.
- Direktorat Jenderal energi Baru, T. dan K. E. (2019) 'Skema Pelaporan Online Manajemen Energi', pp. 1–28.
- Ghurri, A. (2016) 'Konsep Manajemen Energi', *Jurusan Teknik Mesin – Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Bali*, 30(04), p. 2022.
- Junaidi, S. (2023) 'Pengembangan Energi Terbarukan Menuju Transisi Energi Indonesia', (November).
- Santyasa, I. W. (2005) 'Model Pembelajaran inovatif dalam implementasi kurikulum berbasis kompetensi', *Makalah disampaikan Dalam Penataran Guru-Guru SMP, SMA, dan SMK se Kabupaten Jembrana* Juni–Juli.
- So, P. Y. (2014) 'Implementasi Kebijakan Konservasi Energi Di Indonesia', *E-Journal Graduate Unpar*, 1(1), pp. 1–13. Available at: <http://journal.unpar.ac.id/index.php/unpargraduate/article/view/837>.

BIODATA PENULIS



Rianto Wibowo, S.T., M.Eng.

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus

Penulis lahir di Demak tanggal 30 Maret 1973. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Jakarta dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Penulis mengajar matakuliah Energi Terbarukan dan Manajemen Energi di Program Studi Teknik Mesin Universitas Muria Kudus, Jawa Tengah. Penulis menekuni bidang Menulis. Email penulis : rianto.wibowo@umk.ac.id

BIODATA PENULIS



Sarmidi, S.Pd., M.Pd.T., M.Tr.T.

Dosen Program Studi Teknik Pengoperasian Alat Tambang
Akademi Komunitas Industri Pertambangan Bukit Asam

Penulis lahir di Blora, 27 November 1985 dan sekarang menetap di Tanjung Enim dengan sapaan akrab Didik. Menyelesaikan pendidikan (S1) pada Jurusan Pendidikan Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta pada tahun 2012, kemudian melanjutkan program Pascasarjana (S2) pada Program Magister Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang pada tahun 2018 kemudian melanjutkan karirnya sebagai Dosen dan mendapatkan beasiswa dari PT. Bukit Asam Tbk pada Program Magister Terapan (S2) Jurusan Teknik Energi Terbarukan Politeknik Negeri Sriwijaya lulus tahun 2021. Saat ini penulis menjabat sebagai Ketua Program Studi Teknik Pengoperasian Alat Tambang Akademi Komunitas Industri Pertambangan Bukit Asam (AKIPBA, Diploma-1) Tanjung Enim, Sumatera Selatan, Indonesia

BIODATA PENULIS



Apriansyah Zulatama, S.Pd., M.Pd.T., M.Tr.T.

Dosen Program Studi Teknik Perawatan Alat Tambang
Akademi Komunitas Industri Pertambangan Bukit Asam

Penulis lahir di Tanjung Enim tanggal 23 April 1992. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Perawatan Alat Tambang Akademi Komunitas Industri Pertambangan Bukit Asam dengan jabatan fungsional Asisten Ahli. Menyelesaikan pendidikan S-1 pada Jurusan Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta pada tahun 2014 dan melanjutkan S-2 pada Jurusan Pendidikan Teknologi Kejuruan (Teknik Elektro) Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang selesai pada Tahun 2018 dan melanjutkan studi S-2 pada Jurusan Teknik Energi Terbarukan Politeknik Negeri Sriwijaya selesai pada Tahun 2021. Penulis saat ini mengampu matakuliah Instalasi Mesin Listrik dan Pemrograman PLC dan HMI.

BIODATA PENULIS



Iman Pradana A. Assagaf, S.T., M.Eng

Dosen Program Studi Teknik Manufaktur Industri Agro
Politeknik ATI Makassar

Penulis lahir di Ternate tanggal 11 Oktober 1993 Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Manufaktur Industri Agro, Politeknik Makassar. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Universitas Hasanuddin dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada. Penulis menekuni bidang Menulis pada bidang Teknik.

BIODATA PENULIS



Ir. Mochamad Choifin, ST.,MT

Penulis lahir di Sidoarjo 16 Maret 1983, menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN Pamotan 1 Porong (1990 – 1996), SLTP Negeri 1 Porong (1996 – 1999) dan MA Negeri Sidoarjo (1999 – 2002). Setelah lulus dari bangku Sekolah Menengah Atas penulis melanjutkan studinya di Diploma 3 Teknik Mesin FTI-ITS Bidang Studi Manufaktur (2002 – 2006), Pada tahun (2006-2008) Penulis Sempat bekerja di salah satu perusahaan Group Astra Autopart yaitu PT. IGP Groups Jakarta. kemudian penulis melanjutkan ke program Sarjana S1 melalui program Lintas Jalur Reguler di Teknik Mesin Bidang Studi Desain, FTI-ITS (2008 – 2011). Di samping kuliah penulis juga menjadi staf Pengajar Teknik Mesin di SMK PGRI 1 Surabaya (2008-2010), pada tahun yang sama yaitu (2008-2011) Penulis juga Bekerja di PT. TUSTIKA NAGATA Surabaya dengan jabatan Kepala Divisi Greenscope Energy. Pada Tahun 2010 Penulis mendirikan sebuah Perusahaan dibidang EBT (Energi Baru Terbarukan) dan Menjabat sebagai Direktur Utama hingga sekarang. Pada tahun (2011-2014) Penulis melanjutkan studi S2 Dengan mengambil Bidang Studi Desain Sistem Mekanikal (DSM), Ditahun 2014 Penulis diterima sebagai Dosen salah satu

Universitas Maarif Hasyim latif Sidoarjo. Penulis juga aktif di kegiatan-kegiatan Penelitian yang di biyai oleh kementerian Riset dan teknologi. Saat ini penulis telah menjabat sebagai Kepala Program Studi Teknik Mesin Universitas Maarif Hasyim Latif Sidoarjo.

BIODATA PENULIS



Ifan Wiranto, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Sarjana Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo

Penulis lahir di Manado pada tanggal 28 Januari 1972. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Sarjana Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo. Menyelesaikan pendidikan Sarjana pada Program Studi Teknik Elektro di Universitas Gadjah Mada dan melanjutkan program Magister pada Program Studi Instrumentasi dan Kontrol di Institut Teknologi Bandung. Penulis menekuni bidang Rekayasa Kontrol dan Kecerdasan Tiruan. Beberapa mata kuliah yang diampu penulis baik di dalam program studi maupun diluar program studi adalah Kalkulus, Matematika Teknik, Fisika Dasar, Kimia Elektro, Aljabar Linier, Teknik Kendali Dasar, Isyarat dan Sistem, Medan Elektromagnetis, Kecerdasan Buatan, Pengantar logika Fuzzy, Kontrol Optimal, serta Probabilitas dan Statistika.

BIODATA PENULIS



Ir. Diby Setiawan, S.Pd., M.T.

Dosen Program Studi Sarjana Terapan Proses Manufaktur
Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung

Penulis lahir di Jakarta tanggal 22 April 1991. Penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Sarjana Terapan Proses Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Pendidikan teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, melanjutkan S2 pada Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila dan melanjutkan Pendidikan Profesi Insinyur pada Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya. Penulis menekuni bidang Menulis artikel ilmiah dan Buku di Bidang Teknik Mesin Konsentrasi Konversi Energi.

BIODATA PENULIS



Dr. Budi Triyono, A.Md., S.S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Mesin
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Bandung

Penulis lahir di Bandung pada tanggal 9 April 1977. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Mesin di Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung. Menyelesaikan pendidikan D3 pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik ITB, dan melanjutkan pendidikan D4 di Politeknik Negeri Bandung pada bidang Teknik Produksi dan Perawatan. Penulis menyelesaikan pendidikan S2 di Universitas Gadjah Mada pada bidang Mesin Konversi Energi dan pendidikan S3 di Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung dengan topik disertasi tentang pemanfaatan sampah kota menjadi bahan bakar padat terbarukan.

BIODATA PENULIS



M. Syaiful, M.Pd.T, M.Tr.T

Dosen Program Studi Teknik Perawatan Alat Tambang (T-PAT)
Akademi Komunitas Industri Pertambangan Bukit Asam

Penulis lahir di Jambi tanggal 8 September 1994. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Perawatan Alat Tambang (T-PAT), Akademi Komunitas Industri Pertambangan Bukit Asam dan menyelesaikan S-1 Program Studi Pendidikan Teknik Elektro dan Program Studi S-2 di Pendidikan Teknologi Kejuruan di Universitas Negeri Padang, Melanjutkan S-2 Magister di Program Studi Energi Terbarukan di Politeknik Negeri Sriwijaya.

BIODATA PENULIS



Mustopa Kamal, S.St.Pi.,M.Tr.Pi

Dosen Program Studi Permesinan Perikanan
Politeknik Ahli Usaha Perikanan

Penulis lahir di Jakarta pada tanggal 06 Oktober 1986 sebagai anak ke-2 dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Hasan dan Ibu Nur Laela. Saat ini penulis bertempat tinggal di Jl. Rawajati Timur II No 69 Pancoran Jakarta Selatan DKI Jakarta. Penulis menempuh pendidikan sarjana terapan Program Studi Permesinan Perikanan Sekolah Tinggi Perikanan lulus tahun 2008. Pada tahun 2019, Penulis melanjutkan pendidikan pasca sarjana pada program studi Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan Politeknik Ahli Usaha Perikanan dan menamatkan pada tahun 2021.

Setelah menamatkan pendidikan pasca sarjana, Penulis mengabdikan dirinya sebagai dosen pada Politeknik Ahli Usaha Perikanan sampai sekarang. Sejak tahun 2022, penulis mengampu mata kuliah Mesin dan peralatan Perikanan, Fisika Terapan, Pengendalian Sistem Permesinan Kapal Penangkap Ikan, Pesawat Bantu Kapal, Konstruksi dan Stabilitas Kapal Penangkap Ikan. Tahun 2023-Sekarang Penulis Mendapat tugas tambahan sebagai Sekretaris Program Studi Permesinan Perikanan.

BIODATA PENULIS



Septiana Ambarwati, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Kimia Industri

Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Duta Bangsa Surakarta

Penulis lahir di Wonogiri tanggal 18 September 1995. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Kimia Industri Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Duta Bangsa Surakarta. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Kimia dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Kimia. Penulis menekuni bidang menulis dengan tema teknik kimia, energi terbarukan, dan teknologi nano.