



ENERGI BARU TERBARUKAN SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF



Parulian Siagian ■ Nita Suleman ■ Jhon Sufriadi Purba
Asrim ■ Tambi ■ Setyo Erna Widiyanti
Wa Ode Zulia Prihatini ■ Andi Budirohmi ■ Rakhmad Armus

ENERGI BARU TERBARUKAN SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF



UU 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Perlindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- a. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- b. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- c. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- d. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).

Energi Baru Terbarukan Sebagai Energi Alternatif

Parulian Siagian, Nita Suleman, Jhon Sufriadi Purba
Asrim, Tambi, Setyo Erna Widiyanti
Wa Ode Zulia Prihatini, Andi Budirohmi, Rakhmad Armus



Penerbit Yayasan Kita Menulis

Energi Baru Terbarukan Sebagai Energi Alternatif

Copyright © Yayasan Kita Menulis, 2023

Penulis:

Parulian Siagian, Nita Suleman, Jhon Sufriadi Purba
Asrim, Tambi, Setyo Erna Widiyanti
Wa Ode Zulia Prihatini, Andi Budirohmi, Rakhmad Armus

Editor: Janner Simarmata & Matias Julyus Fika Sirait
Desain Sampul: Devy Dian Pratama, S.Kom.

Penerbit

Yayasan Kita Menulis
Web: kitamenulis.id
e-mail: press@kitamenulis.id
WA: 0821-6453-7176
IKAPI: 044/SUT/2021

Parulian Siagian., dkk.

Energi Baru Terbarukan Sebagai Energi Alternatif

Yayasan Kita Menulis, 2023

xiv; 136 hlm; 16 x 23 cm

ISBN: 978-623-342-787-6

Cetakan 1, Maret 2023

- I. Energi Baru Terbarukan Sebagai Energi Alternatif
- II. Yayasan Kita Menulis

Katalog Dalam Terbitan

Hak cipta dilindungi undang-undang

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

Kata Pengantar

Allah maha baik khususnya makhluk ciptaanya Manusia semua tersedia di muka bumi ini sejak ada penghuni bumi kita ini. Salah satu berkat yang melimpah dan tidak habis habisnya yaitu matahari, lautan, pegunungan, tanaman tanaman, hewan termasuk musim yang bergantian antara kemarau dan hujan bahkan musim salju membuat suasana menjadi seimbang dan proses berlangsungnya hidup ini tidak terlepas dari energi yang kita butuhkan dan sumber energi yang tersedia dan yang masih memungkinkan mengelola mencari energi energi alternatif yang bisa membantu mensejahterakan kehidupan manusia. Energi yang kita perlukan saat ini sebagian besar yang sudah tersedia di muka bumi ini misalnya Bahan Bakar Minyak yang bersumber dari fosil fosil yang sudah berumur jutaan tahun.

Energi yang akan bisa habis dinamakan energi tidak terbarukan di mana suatu saat akan habis dan akan mahal. Energi yang masih bisa diperbaharui disebut energi alternatif terbarukan atau energi yang tidak habis habis dan bahkan gratis. Negara Indonesia membutuhkan energi energi terbarukan. Kurangnya pasokan energi konsumsi energi per kapita Indonesia masih jauh di bawah rata-rata dunia adalah salah satu faktor kunci yang menyebabkan rakyatnya terjebak dalam kemiskinan. Sementara era energi modern (energi terbarukan) menyediakan, sistem energi yang memenuhi kebutuhan dasar akan air bersih, fasilitas kesehatan, dan penerangan, serta pada saat yang sama mencegah Indonesia untuk membuang tiga kali lipat emisi gas rumah kaca dari bahan bakar fosil. Meningkatnya penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak, batubara dan gas di negara berkembang seperti Indonesia akan meningkatkan masalah perubahan iklim, yang saat ini pun sudah menghancurkan kehidupan banyak masyarakat miskin.

Buku ini membahas :

Bab 1 Energi Panas Matahari

Bab 2 Energi Etanol

Bab 3 Energi Angin

Bab 4 Energi Geothermal

Bab 5 Hydropower

Bab 6 Energi Biomassa

Bab 7 Energi Gelombang Laut dan Tidal

Bab 8 Energi Hidrogen

Bab 9 Energi Biru Terbarukan

Buku ini dihadirkan dalam menjawab beberapa permasalahan kedepan bahwa sumber energi itu harus dikelola dengan baik tanpa merusak lingkungan. Juga di bahas dalam buku ini sumber sumber energi yang terbarukan sebagai energi alternatif kedepann dengan dengan dasar dasar keilmuan yang kuat. Beberapa sumber energi yang mungkin bisa terealisasi akan dibahas di buku ini.

Semoga buku ini bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya dan yang menggeluti energi energi alternative.

Penulis,. Maret 2023

Parulian Siagian, dkk

Daftar Isi

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

Bab 1 Energi Panas Matahari

1.1 Pengantar	1
1.2 Apa itu Energi Alternatif.....	2
1.3 Pengertian Energi Alternatif	3
1.4 Energi Matahari	3
1.4.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terbesar di Jepang	4
1.4.2 Teori Dasar Energi Panas Matahari (Radiasi)	5
1.4.3 Pemanfaatan Energi Surya.....	10
1.4.4 Jenis-Jenis Alat Pemanas Air Tenaga Surya	15

Bab 2 Energi Etanol

2.1 Pendahuluan.....	23
2.2 Sumber Bahan Penghasil Bioetanol.....	24
2.3 Produksi Bioetanol	28
2.4 Prospek Bioetanol di Masa Depan	31

Bab 3 Energi Angin

3.1 Pendahuluan.....	37
3.2 Definisi Energi Angin	38
3.3 Kincir Angin	39
3.4 Cara Kerja Tenaga Angin	39
3.4.1 Blade Wind Turbine Sumbu Horizontal	40
3.4.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal	42
3.5 Asal Energi Angin	43

Bab 4 Energi Geothermal

4.1 Pendahuluan.....	47
4.2 Sumber Energi Geothermal	48
4.3 Sistem Geothermal	50

4.4 Tipe Sistem Sumberdaya Geothermal	52
4.5 Eksplorasi Geothermal	54
4.5.1 Geologi Lapangan dan Manifestasi Permukaan	55
4.5.2 Metode Geokimia	56
4.5.3 Metode Geofisika	57
4.6 Pengeboran Geothermal	59
4.7 Penggunaan Energi Geothermal	61
4.8 Geothermal di Indonesia	62

Bab 5 Hydropower

5.1 Pendahuluan dan Sejarah Hydropower	65
5.2 Sumber, Lokasi dan Jenis Pembangkit Listrik Tenaga Air	68
5.3 Produksi Listrik Global Dari PLTA	70
5.4 Hydropower Generator	72
5.5 Biaya Listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Air	74

Bab 6 Energi Biomassa

6.1 Pendahuluan	77
6.2 Pembakaran	79
6.3 Gasifikasi	80
6.4 Pirolisis	82
6.5 Digester Anaerobik	84

Bab 7 Energi Gelombang Laut dan Tidal

7.1 Pendahuluan	87
7.2 Gelombang Laut dan Tidal	88
7.3 Energi Gelombang Laut	90
7.3.1 Konsep Teknologi Konverter Energi Gelombang	92
7.3.2 Kelebihan dan Kekurangan Energi Gelombang Laut	96
7.4 Energi Tidal	96

Bab 8 Energi Hidrogen

8.1 Energi	99
8.2 Hidrogen Sebagai Energi Alternatif	100
8.2.1 Pemanfaatan Hidrogen	102
8.2.2 Keunggulan Dan Kelemahan Hidrogen Sebagai Bahan Bakar	102
8.2.3 Penggunaan Hidrogen Selain Sebagai Bahan Bakar	103
8.2.4 Produksi Hidrogen	104
8.3 Hidrogen dan Biomassa	105

8.3.1 Metode Gasifikasi	105
8.3.2 Proses Gasifikasi pada Batubara.....	106
8.4 Elektroda Hidrogen	108
8.5 Elektrolisis Air dan Media Asam	108

Bab 9 Energi Biru Terbarukan

9.1 Pendahuluan.....	111
9.2 Potensi Energi Laut di Indonesia.....	112
9.3 Konsep Energi Termal Terbarukan.....	113
9.3.1 Konversi Energi Termal Lautan (OTEC).....	114
9.3.2 Sejarah Konversi Energi Termal Lautan (OTEC).....	114
9.3.3 Prinsip Kerja Konversi Energi Termal Lautan (OTEC)	115
9.4 Karakteristik Pengembangan OTEC	116
9.4.1 Berdasarkan Lokasi.....	116
9.4.2 Berdasarkan Sistem Siklus Yang Digunakan	116
9.4.3 Siklus Tertutup	117
9.4.4 Siklus Terbuka.....	117
9.4.5 Siklus Tertutup	118
9.4.6 Siklus Hybrid.....	119
9.4.7 Fluida Kerja	120
9.5 Pemanfaatan Lain Teknologi OTEC.....	120
9.6 Hambatan Pengelolaan OTEC	121
Daftar Pustaka	123
Biodata Penulis	133

Daftar Gambar

Gambar 1.1: (a). Pemasangan Panel, (b). Panel Terapung, (c). Panel di Kapal Pesiar	3
Gambar 1.2: Jarak antara Matahari Dan Bumi	5
Gambar 1.3: Beberapa Sudut Dalam Perhitungan Energi Radiasi Matahari...	7
Gambar 1.4: a). Sel Fotovoltaik, b). Solar Water, c). Solar Cooker.....	10
Gambar 1.5: Solar Drier	11
Gambar 1.6: a). Skema Solar Ponds, b). Solar Architecture, c). Solar Air-Conditioning	12
Gambar 1.7: a). Solar Chimney, b). Solar Distillation Water.....	13
Gambar 1.8: a). Solar Power Plant, b). Pemanas Air Tenaga Surya System Thermosifon (a) Charge Mode (b) Discharge Mode.....	15
Gambar 1.9: Pemanas Surya System Thermosifon.....	16
Gambar 3.1: Sirkulasi Udara di Pantai.....	38
Gambar 3.2: Blade Wind Turbine Sumbu Horizontal	40
Gambar 3.3: Gaya Aerodinamik Rotor Turbin Angin Ketika Dilalui Aliran Udara	41
Gambar 3.4: Blade wind turbine Sumbu Vertikal.....	42
Gambar 3.5: Sketsa Sederhana Kincir Angin.....	45
Gambar 4.1: Struktur Bumi dan Lapisan Penyusunnya.....	49
Gambar 4.2: Jalur Gunung Api, Patahan Dan Zona Subduksi Akibat Dari Tektonik Lempeng Sebagai Potensi Sumber Energi Geothermal.....	49
Gambar 4.3: Sistem Geothermal yang Terdiri Dari Sumber Panas, Potensi Sumber Energi Geothermal	50
Gambar 4.4: Reservoir Panas Hidrotermal	52
Gambar 4.5: Reservoir EGS (Enhanced Geothermal System) melalui Perekahan Pada Sumur Geothermal	53
Gambar 4.6: Model Konseptual Geothermal yang Menampilkan Manifestasi Permukaan Akibat Dari Sumber Panas Bumi	56
Gambar 4.7: Peta Resistivitas Potensi Geothermal	58
Gambar 4.8: Sistem Sumur Geothermal Dengan Sumur Produksi Dan Sumur Injeksi	60
Gambar 4.9: Sistem Pengeboran Sumur Geothermal.....	61

Gambar 4.10: Skema Rangkaian Pompa Kalor Untuk Pemanas.....	62
Gambar 4.11: Peta Gunung Api di Indonesia.....	62
Gambar 5.1: Potensi Hidropower di berbagai Provinsi di Indonesia.....	59
Gambar 5.2: Distribusi Potensi Hydropower di Indonesia.....	70
Gambar 5.3: Skema dari Micro-Hydropower.....	74
Gambar 6.1: Teknologi Konversi Primer Dan Sekunder Yang Sesuai Untuk Proyek Biomassa	78
Gambar 6.2: Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa	79
Gambar 6.3: Pembangkit Listrik Tenaga Gasifikasi	82
Gambar 6.4: Aplikasi dan Produk Dari Pirolisis Biomassa.....	83
Gambar 6.5: Neraca Massa Proses Anaerobic Digestion	85
Gambar 6.6: Diagram untuk Anaerobic Digestion	85
Gambar 7.1: Konsep Dasar Penurunan Rumus Energi Gelombang.....	91
Gambar 7.2: Prinsip Pembangkit Listrik Pasang Surut.....	97
Gambar 8.1: Perkiraan Produksi dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak	100
Gambar 9.1: Denah Siklus OTEC Terbuka.....	118
Gambar 9.2: Siklus OTEC Tertutup.....	118

Daftar Tabel

Tabel 1.1: Urutan Hari Dalam Tahun	8
Tabel 1.2: Faktor Koreksi Akibat Iklim	9
Tabel 2.1: Konversi Bahan Baku Tanaman yang Mengandung Pati Atau Karbohidrat dan Tetes Menjadi Bioethanol.....	28
Tabel 2.2: Sumber dan Standar Kesehatan Emisi Gas Buang Kendaraan ...	32
Tabel 2.3: Perbandingan Sifat Fisika Antara Ethanol Dengan Bensin	33
Tabel 5.1: Produksi Hydropower Global Per Tahun.....	71
Tabel 5.2: Potensi Hydropower Regional	71
Tabel 5.3: Kapasitas Pembangkit Potensi Tenaga Air Global dan Regional....	72
Tabel 8.1: Karakteristik Hidrogen	101
Tabel 8.2: Jenis Bahan Bakar dan Energi Kalor.....	102

Bab 1

Energi Panas Matahari

1.1 Pengantar

Sumber energi alternatif adalah sumber energi seperti tenaga surya, tenaga angin, energi panas bumi, energi listrik tenaga air, biomassa, dan hidrogen. Ini adalah sumber daya terbarukan yang *zero polution* yang merupakan alternatif dari sumber bahan bakar fosil tradisional. Di Negara Amerika Serikat saat ini, sekitar 79% energi berasal dari sumber bahan bakar fosil. Hanya 12% yang berasal dari energi alternatif.

Tenaga surya adalah energi yang ditangkap dari matahari, biasanya oleh sel fotovoltaik. Energi angin umumnya menggunakan turbin angin besar untuk memutar generator dan menghasilkan listrik. Energi panas bumi memanfaatkan panas bawah tanah di atas mantel bumi. Energi hidroelektrik bergantung pada energi yang tersimpan dari air yang mengalir yang ditangkap di belakang bendungan besar. Energi biomassa melibatkan pembakaran kayu, sampah, atau limbah kayu, dan dengan demikian, merupakan sumber energi terbarukan, tetapi tidak mencemari. Dan sel bahan bakar hidrogen adalah pilihan bersih untuk menggerakkan mobil modern, meskipun teknologinya belum diterapkan (Hottel, 1976) Studi dan penelitian terbaru telah menyimpulkan bahwa dalam beberapa berikutnya dekade, akan ada penurunan yang signifikan dalam pasokan bahan bakar fosil yang biasa digunakan (Jurasz et al., 2020)

Penggunaan energi terbarukan (RE) memiliki sejumlah keunggulan, salah satunya adalah pengurangan emisi polusi dan gas rumah kaca ke dalam atmosfer (Deng et al., 2021), kita perlu menggerakkan kita menuju sumber-sumber ET seperti energi surya, hidro, panas bumi, gelombang, energi pasang surut, dan energi angin (Iqbal et al., 2019; Hadjiat et al., 2021). Dari sumber-sumber energi tersebut, sumber energi yang paling banyak adalah energi matahari di antara sumber-sumber ET. Ketersediaan energi matahari di bumi selama satu tahun penuh bersih dan aman. Energi matahari tidak habis-habisnya dan sangat sumber energi yang besar (Sukhatna et al., 1996). Ini dimanfaatkan baik dengan mengubah radiasi matahari langsung menjadi energi listrik dengan bantuan PV modul atau dengan mengumpulkan radiasi panas untuk digunakan dalam sistem termal (Tiwari G.N, 2004). Sistem panas matahari dimanfaatkan pemanfaatan yang berbeda seperti pemanas air, pendingin air, penyulingan air, kolam surya, tujuan memasak, pengeringan tanaman, makanan pelestarian, dll. Banyak sistem panas matahari telah dikembangkan, direncanakan, dan dianalisis. Dalam semua sistem termal ini, pengeringan surya adalah sistem termal terkemuka (Tiwari G.N, 2005).

1.2 Apa itu Energi Alternatif

Energi merupakan faktor terpenting untuk pertumbuhan ekonomi dan gembangan sumber daya manusia dan sangat diperlukan untuk semua kehidupan makhluk untuk kelangsungan hidupnya. Populasi dunia semakin meningkat dari hari ke hari, yang menyebabkan tingginya kebutuhan energi kita kebutuhan akan batu bara dan tambahan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas, dll semakin hari semakin meningkat yang menyebabkan perbedaan bahaya lingkungan, tetapi bahan bakar fosil sangat terbatas dan tingkat penipisannya sangat tinggi, sehingga permintaan energi menyebabkan kenaikan harga sumber energi tak terbarukan (Khan B.H., 2006).

Istilah "energi alternatif" umumnya mengacu pada sumber energi seperti tenaga surya, tenaga angin, dan tenaga air. Ini adalah sumber daya terbarukan yang tidak berpolusi yang merupakan alternatif dari sumber bahan bakar fosil tradisional seperti batu bara, minyak, dan gas alam. Istilah "energi alternatif" kurang lebih identik dengan istilah seperti "energi terbarukan" dan "energi bersih". Energi alternatif dianggap "terbarukan" karena sumber energinya tidak terbatas seperti bahan bakar fosil. Setelah dibakar, bahan bakar fosil

membutuhkan waktu ratusan juta tahun untuk pulih kembali. Sumber seperti angin, air, dan matahari diisi ulang setiap hari. Meskipun tidak berbasis bahan bakar fosil dan tidak menimbulkan polusi udara, tenaga nuklir biasanya tidak dianggap sebagai energi alternatif karena menghasilkan limbah radioaktif dalam jumlah besar.

1.3 Pengertian Energi Alternatif

Pernah dengar istilah energi alternatif? Sudah tahu apa maksudnya? Atau mungkin, kamu ingin mengetahui lebih detail segala seluk beluk tentang energi tersebut? Kita sudah menyiapkan informasi lengkapnya khusus untuk kamu.

1.4 Energi Matahari

Fusi di matahari kita menghasilkan radiasi dalam jumlah besar, dan sebagian kecil dari energi ini berpindah ke bumi setiap hari. Sejak zaman pra sejarah, tumbuhan dan hewan telah memanfaatkan sumber energi ini. Penggunaan alat penangkap energi matahari aktif di pembangkit listrik tenaga panas matahari yang masif dan melalui penggunaan sel fotovoltaik. Ini adalah karakteristik panel surya biru yang dapat dilihat di atap rumah dan di beberapa ladang surya. Saat terkena sinar matahari, panel memanfaatkan efek fotolistrik untuk menangkap elektron yang melompat dari lapisan ke lapisan.



Gambar 1.1: (a). Pemasangan Panel, (b). Panel Terapung, (c). Panel di Kapal Pesiar

Hasilnya listrik bersih dan gratis. Namun, ada kerugiannya. Puncak produksi energi matahari terjadi pada siang hari, bukan pada malam hari, saat kebutuhan listrik tertinggi. Selain itu, energi surya bersifat *non-dispatchable*, artinya tidak

seperti bahan bakar fosil, produksinya tidak dapat ditingkatkan atau diturunkan oleh operator pembangkit sesuai kebutuhan Gambar 1.1

1.4.1 Pembangkit Listrik tenaga Surya terbesar di Jepang

Kyocera TCL Solar LLC telah memulai pembangunan pembangkit listrik tenaga surya terapung terbesar di dunia. Berkapasitas 13,7 megawatt (MW), pembangkit listrik terapung itu terletak di Yamakura dandan dikelola oleh Perusahaan Badan Publik Prefektur Chiba di Jepang untuk layanan air industri. Perusahaan ini merupakan perusahaan patungan antara *Kyocera Corporation* (IW 1000/352) dan *Century Tokyo Leasing Corp.* Dijadwalkan untuk diluncurkan pada 2018, pabrik tersebut akan terdiri atas sekitar 51.000 modul yang diinstal di permukaan air tawar seluas 180.000 meter persegi. Proyek ini menurut estimasi bisa menghasilkan 16.170 megawatt per jam (MWh) per tahun. Kapasitasnya diprediksi cukup untuk memberi daya terhadap 4.970 rumah. Pada waktu yang sama, daya yang dihasilkannya mengimbangi sekitar 8.170 ton emisi CO₂ per tahun. Jumlah ini sama dengan 19.000 barrel minyak yang dikonsumsi. Proyek ini dimulai pada bulan Oktober 2014, ketika Usaha Badan Publik Prefektur Chiba mencari perusahaan yang akan membangun dan mengoperasikan pembangkit listrik tenaga surya mengambang ini untuk membantu mengurangi dampak lingkungan. Dengan adanya penurunan saluran tanah untuk pembangkit listrik di Jepang akibat implementasi yang cepat dari tenaga surya, *Kyocera* TCL

Solar mengembangkan model yang bisa mengapung. Dengan demikian, pembangkit juga memanfaatkan permukaan air berlimpah di waduk Jepang untuk pertanian dan pengendalian banjir (Buddhi, Sharma and Sharma, 2003)

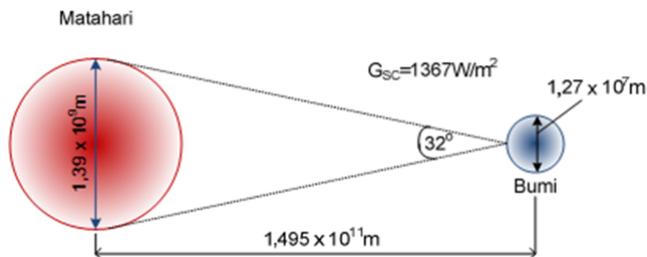
1. Energi alternatif (energi terbarukan) adalah semua sumber energi yang bertujuan menggantikan bahan bakar konvensional. Tujuannya untuk mengurangi penggunaan bahan bakar hidrokarbon yang mengakibatkan kerusakan lingkungan akibat emisi karbon dioksida yang tinggi sehingga berkontribusi besar terhadap pemanasan global
2. Menurut *Encyclopaedia Britannica* (2015), pada awal abad 21 sekitar 80 persen energi yang ada di dunia dihasilkan dari bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil yang digunakan bisa berupa minyak bumi, batu bara, dan gas alam. Ketiganya berasal dari makhluk hidup yang mati

dan terkubur jutaan tahun lalu dan termasuk energi yang tidak bisa diperbarui.

3. Maksudnya, energi ini memiliki kapasitas yang terbatas sehingga suatu waktu nanti akan habis. Karenanya, berbagai pihak mulai dari pemerintahan sampai ilmuwan berupaya mencari sumber energi lainnya untuk dikembangkan sebelum bahan bakar fosil habis. Energi ini disebut energi terbarukan atau alternatif.

1.4.2 Teori Dasar Energi Panas Matahari (Radiasi)

Matahari mempunyai diameter $1,39 \times 10^9$ m. Bumi mengelilingi matahari dengan lintasan berbentuk ellipse dan matahari berada pada salah satu pusatnya. Jarak rata-rata matahari dari permukaan bumi adalah $1,49 \times 10^{11}$ m. Daya radiasi rata-rata yang diterima atmosfer bumi yaitu (G_{sc}) 1367 W/m². Gambar 1.2. menunjukkan jarak antara matahari dan bumi.



Gambar 1.2: Jarak antara Matahari Dan Bumi (J.A Duffie, 2006)

Lintasan bumi terhadap matahari berbentuk ellipse, maka jarak antara bumi dan matahari tidak konstan. Jarak terdekat adalah $1,47 \times 10^{11}$ m yang terjadi pada tanggal 3 Januari 2011, dan jarak terjauh pada tanggal 3 juli dengan jarak $1,52 \times 10^{11}$ m. Karena adanya perbedaan jarak ini, menyebabkan radiasi yang diterima atmosfer bumi juga akan berbeda.

Beberapa Istilah yang biasanya dijumpai pada perhitungan radiasi adalah:

1. Air Mass (m)

Adalah perbandingan massa udara sampai ke permukaan bumi pada posisi tertentu dengan massa udara yang dilalui sinar jika matahari

tepat pada posisi zenit. Artinya pada posisi tegak lurus (zenit =0) nilai $m = 1$, pada sudut zenith 600, $m = 2$.

2. Beam Radiation

Radiasi energi dari matahari yang tidak dibelokkan oleh atmosfer. Istilah ini sering juga disebut radiasi langsung (direct solar radiation).

3. Diffuse Radiation

Radiasi energi surya dari matahari yang telah dibelokkan atmosfer

4. Total Radiation

Adalah jumlah beam dan diffuse radiation.

5. Irradiance [W/m^2]

Adalah laju energi radiasi yang diterima suatu permukaan persatuan luas permukaan tersebut Solar irradiance biasanya disimbolkan dengan G . Dalam bahasa Indonesia besaran ini biasanya disebut dengan Intensitas radiasi.

6. Irradiation atau Radian Exposure [J/m^2]

Jumlah energi radiasi (bukan laju) yang diterima suatu permukaan dalam interval waktu tertentu. Besaran ini didapat dengan mengintegalkan G pada interval waktu yang diinginkan, misalnya untuk 1 hari biasa disimbolkan H dan untuk 1 jam biasa disimbolkan I .

7. Solar Time atau Jam Matahari

Adalah waktu berdasarkan pergerakan semu matahari di langit pada tempat tertentu. Jam matahari (disimbolkan ST) berbeda dengan penunjukkan jam biasa (standard time, disimbolkan STD).

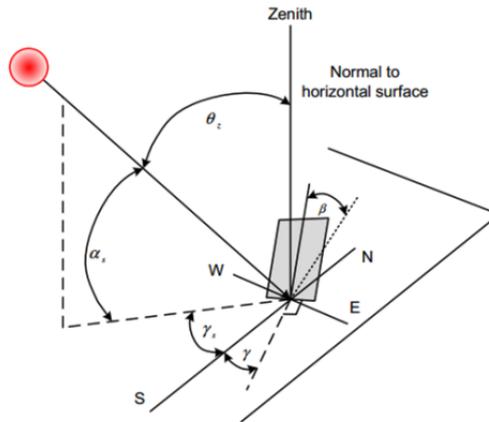
$$STD = ST \pm 4 (L_s - L_w) + E \quad (1.1)$$

Sementara E adalah persamaan waktu yang dihitung dengan:

$$E = 229,2(0,000075 + 0,001868\cos B - 0,032077 \sin B - 0,014615\cos 2B - 0,04089 \sin 2B) \quad (1.2)$$

L_s adalah standar meridian untuk waktu local, sementara L_w adalah derajat bujur daerah yang diukur. Dalam menghitung energi radiasi matahari yang sampai ke suatu permukaan perlu dipertimbangkan beberapa sudut, karena garis edar sumbu matahari yang cukup kompleks. Gambar 1.3 Menunjukkan

beberapa istilah sudut yang sering digunakan dalam analisis energi radiasi surya.



Gambar 1.3: Beberapa Sudut Dalam Perhitungan Energi Radiasi Matahari
(A. Himsar, 2011)

Beberapa sudut dalam perhitungan energi radiasi matahari antara lain:

1. Slope β adalah sudut antara permukaan yang dianalisis dengan horizontal.
2. ϕ adalah sudut lintang di mana posisi permukaan berada

Sudut deklinasi δ yaitu kemiringan sumbu matahari terhadap garis normalnya.

Nilai sudut ini diperoleh dengan menggunakan persamaan yang diajukan oleh Cooper (A.Himsar, 2011)

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{284+n}{365} \right) \quad (1.3)$$

atau dapat juga menggunakan persamaan yang lebih teliti, yang diajukan Spencer (Himsar, 2011)

$$\delta = 6,918 \times 10^{-3} - 3,99912 \cos B + 0,070251 \sin B - 0,006758 \cos 2B + 9,07 \times 10^{-4} \sin 2B - 0,002679 \cos 3B + 0,00148 \sin 3B \quad (1.4)$$

Di mana nilai n merupakan nilai urutan hari dalam satu tahun yang dapat yang diperoleh dari tabel 1.1

Tabel 1.1: Urutan Hari dalam Tahun (Ambarita, H, 2011)

No	Bulan	Nilai n pada hari ke- i
1	January	I
2	February	$31 + i$
3	Maret	$59 + i$
4	April	$90 + i$
5	Mei	$120 + i$
6	Juni	$151 + i$
7	Juli	$181 + i$
8	Agustus	$212 + i$
9	September	$243 + i$
10	Oktober	$273 + i$
11	November	$304 + i$
12	Desember	$334 + i$

Sudut jam ω adalah sudut pergeseran semu matahari dari dari garis siang. Perhitungan berdasarkan jam matahari (ST), setiap berkurang 1 jam, ω berkurang 15° dan setiap bertambah 1 jam, ω bertambah 15°.

$$\omega = 15(\text{STD} - 12) + (\text{ST} - \text{STD}) \times \frac{15}{60} \quad (1.5)$$

Radiasi surya yang sampai k permukaan bumi dapat dihitung secara analitis. Perhitungan radiasi surya secara analitis diberikan oleh Himsar, 2011. Radiasi harian yang sampai ke bumi berbeda setiap harinya, karena lintasan bumi yang berbentuk elips. Radiasi pada hari ke- n dirumuskan oleh Duffie dan Beckman (1991)

$$G_m = G_s (1,00011 + 0,034221 \cos B + 0,00128 \sin B + 0,000719 \cos 2B + 0,000077 \sin 2B) \quad (1.6)$$

Di mana, B diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$B = (n-1) \times 360/365 \quad (1.7)$$

$$\cos \theta = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (1.8)$$

Parameter lain yang digunakan untuk perhitungan radiasi secara teoritis yaitu, estimasi bahwa langit dalam kondisi cerah. Maka dalam hal ini perlu diketahui τ_0 .

$$\tau_0 = a_0 + a_1 \exp\left(\frac{-k}{\cos \theta_z}\right) \quad (1.9)$$

Di mana, nilai masing-masing parameter

$$a_0 = r_0 (0,4237 - 0,0082 (6 - A)^2) \quad (1.10)$$

$$a_1 = r_1 (0,5055 + 0,00595 (6,5 - A)^2) \quad (1.11)$$

$$k = r_k (0,2711 + 0,01858 (2,5 - A)^2) \quad (1.12)$$

Di mana, A adalah ketinggian (km) dan r_0 , r_1 , dan r_k adalah koreksi akibat iklim. Nilai factor koreksi akibat iklim ditampilkan pada tabel 1.2 berikut ini:

Tabel 1.2: Faktor Koreksi Akibat Iklim

Iklim	r_0	r_1	r_k
Tropical	0,95	0,98	1,02
Midiatude summer	0,97	0,99	1,02
Subartic summer	0,99	0,99	1,01
Midiatude winter	1,03	1,01	1,00

Radiasi beam adalah radiasi matahari yang jatuh langsung ke permukaan bumi.

$$G_{\text{beam}} = G_0 \tau_0 \cos \theta \quad (1.13)$$

Radiasi diffuse adalah radiasi hasil pantulan atmosphere

$$G_{\text{diffuse}} = G_0 \cos \theta (0,271 - 0,294 \tau_0) \quad (1.14)$$

Maka total radiasi teoritis

$$G_{\text{tot}} = G_{\text{beam}} + G_{\text{diffuse}} \quad (1.15)$$

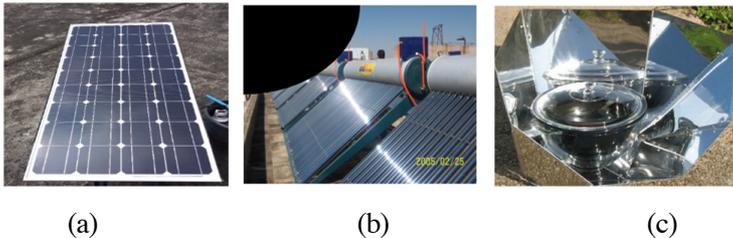
1.4.3 Pemanfaatan Energi Surya

Dalam era ini, penggunaan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui semakin meningkat seiring dengan meningkatnya populasi manusia, kemajuan teknologi dan lain lain. Namun hal ini berbanding terbalik dengan ketersediaan sumber daya alam tersebut. Sehingga para ilmuwan telah mencoba mengembangkan potensi sumber daya alam yang dapat diperbarui contohnya air, angin dan energi surya.

Pembahasan adalah tentang pemanfaatan energi surya, terdapat 2 macam pemanfaatan energi surya yaitu:

1. Pemanfaatan Fotovoltaic

Pemanfaatan energi surya ini adalah untuk menghasilkan energi listrik. Menurut Sujono (2009). Energi surya yang diubah menjadi energi listrik hanya memiliki efisiensi sekitar 10%. Gambar gambar dibawah ini menunjukkan pemanfaatan energi surya berbagai aplikasi.



Gambar 1.4: a). Sel Fotovoltaik, b). Solar Water, c). Solar Cooker

2. Pemanfaatan Termal

Terdapat 9 pemanfaatan termal terbesar yang sudah dilakukan dan diterapkan di beberapa negara yaitu:

a. Solar Water Heater (Pemanas Air Tenaga Surya)

Prinsip kerja *solar water heater* adalah memanaskan air dengan energi surya. Air dialirkan ke pipa-pipa yang pipih, biasanya dicat warna hitam untuk memaksimalkan penyerapan energi surya. Air yang telah mencapai suhu yang diinginkan disimpan

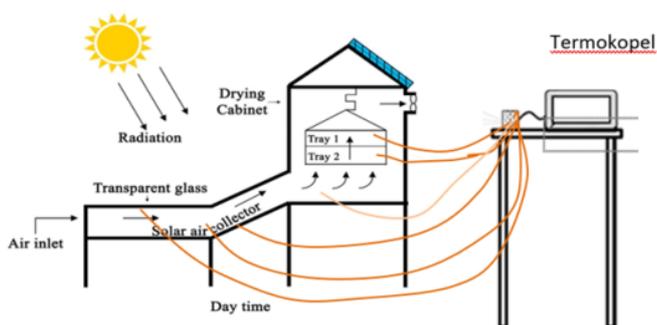
ke sebuah silinder sebagai tempat penyimpanan. *Solar water heater* juga dilengkapi beberapa sensor untuk menjaga suhu air yang diinginkan. *Solar Water Heater* juga dapat memanaskan air menggunakan listrik jika cuaca hujan/mendung. Gambar 1.4b menunjukkan *solar water heater*.

b. Solar cooker

Solar Cooker adalah alat memasak yang menggunakan energi surya. *Solar cooker* ini juga memiliki berbagai bentuk konstruksi. Beberapa bentuk memiliki cara kerja yang sedikit berbeda, tapi pada prinsipnya *solar cooker* menggunakan energi surya, dan diubah menjadi energi panas untuk memasak makanan.

c. Solar Drier

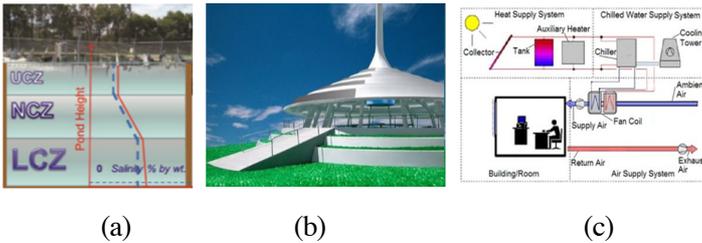
Pada negara-negara berkembang, produk-produk pertanian dan perkebunan sering dikeringkan menggunakan tenaga matahari. Konsep inilah yang digunakan sebagai acuan untuk menciptakan *solar driers*. Cara kerjanya adalah udara yang masuk ke dalam kolektor akan dipanaskan oleh energi surya, udara yang telah panas kemudian masuk ke dalam kotak pengering, kotak pengering inilah yang diisi produk-produk pertanian yang akan dikeringkan. Gambar 1.5 menunjukkan bagian-bagian utama *solar driers*.



Gambar 1.5: Solar Drier (Parulian, S, 2022)

d. Solar Ponds

Ini tergolong aplikasi dengan skala cukup besar. Cara kerjanya adalah garam yang mengendap di dasar, dan disinari matahari akan bertambah panas. Panas ini digunakan untuk memutar turbin. Menggunakan prinsip rankine organik. Gambar 1.6a memperlihatkan konstruksi *solar ponds*.



Gambar1.6: a. Skema Solar Ponds b. Solar Architecture c. Solar Air-Conditioning

e. Solar Architecture

Dalam bidang arsitektur, pemanfaatan energi surya telah dikembangkan. Pemanfaatan dalam bidang ini sudah cukup banyak diterapkan di Jepang. Dari segi artistik juga mendapatkan tanggapan positif demikian juga dari segi pemanfaatan energi termalnya. Fungsi dari solar architecture adalah untuk membuat ruangan menjadi nyaman.

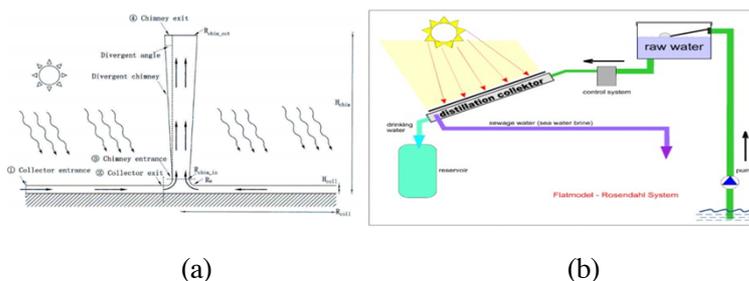
f. Solar Air-Conditioning

Penggunaan *Air-Conditioning* mencapai puncaknya pada saat matahari terik/panas. Inilah yang dimanfaatkan menjadi *Solar-Air Conditioning*. Cara kerjanya adalah dengan kolektor tabung hampa panas yang memanaskan air untuk menggerakkan sebuah chiller penyerapan sinar matahari secara langsung. Udara digunakan sebagai pendingin. Dengan teknologi ini juga, kerusakan atmosfer akan dapat dihindarkan.

g. Solar Chimney

Solar Chimney digunakan untuk ventilasi pada gedung-gedung besar. Sirkulasi udara menjadi baik dan ruangan menjadi tidak

terlalu panas. Biasanya juga digunakan untuk menghasilkan listrik. Cara kerjanya adalah udara dipanaskan oleh energi surya. Udara yang panas akan cenderung bergerak ke atas dan keluar melalui cerobong. Pada cerobong biasanya dipasang turbin. Udara yang bergerak ke atas akan menggerakkan turbin, sehingga menghasilkan listrik. Gambar 1.7a menunjukkan bagian-bagian utama *solar chimney*.



Gambar 1.7: a). Solar Chimney b). Solar Distillation Water

h. Solar Distillation Water

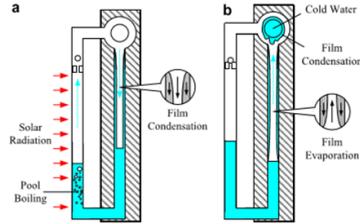
Solar Destilasi/*purification* digunakan untuk memurnikan air maupun memisahkan air dengan garam. Cara kerjanya adalah air laut dipompakan setelah itu melewati kolektor, dengan panas dari energi surya ini, air akan menguap dan menyisakan garam. Uap dikondensasikan menjadi air. Sehingga didapat 2 hasil yaitu garam dan air tawar. Gambar 1.7b menunjukkan bagian-bagian *solar distillation water*.

i. Solar Powerplant

Ini merupakan aplikasi dengan skala yang sangat besar, bisa diaplikasikan di daerah gurun. Dapat menghasilkan listrik dalam kapasitas yang sangat besar. Cara kerjanya ialah energi surya yang terpapar ke reflektor, direfleksikan ke tower yang di tengah. Dari tower itulah energi surya dikumpul dan digunakan untuk menghasilkan listrik. Gambar 1.8a menunjukkan *solar power plant* di Seville, Spanyol.



(a)



(b)

Gambar 1.8: a). Solar Power Plant, b). Pemanas Air Tenaga Surya System Thermosifon (a) Charge Mode (b) Discharge Mode.

Alat Pemanas Air Tenaga Surya (Solar Water Heater)

Pemanas air tenaga surya (PATS) merupakan produk teknologi yang memanfaatkan energi termal surya yang cukup populer dan banyak digunakan, terutama di hotel, villa peristirahatan hingga perumahan. Alat pemanas ini pada umumnya menggunakan absorber berbentuk plat rata yang bagian atasnya akan ditutup dengan lapisan transparan, baik kaca, maupun jenis plastik lainnya.

1.4.4 Jenis-Jenis Alat Pemanas Air Tenaga Surya

Alat pemanas air tenaga surya (solar water heater) secara umum dapat diklasifikasikan menjadi alat pemanas air system natural dan alat pemanas air sistem paksa (pompa) menurut cara fluidanya bersirkulasi. Sementara itu jika menurut cara fluida menyerap panas dapat dibedakan menjadi alat pemanas surya system pemanasan langsung dan alat pemanas surya system pemanasan tidak langsung.

Alat pemanas air tenaga surya bekerja dengan menggunakan teori efek rumah kaca. Plat rata yang dicat hitam digunakan sebagai absorber untuk menangkap energi termal dari radiasi matahari. Energi termal yang diterima dari radiasi akan ditangkap akan diperangkap dengan menggunakan efek rumah kaca karena lapisan kaca yang digunakan sebagai penutup bagian atas alat pemanas. Panas tersebut akan ditransfer ke pipa yang berisi fluida.

Berdasarkan cara kerjanya, pemanas air tenaga surya dibedakan menjadi beberapa jenis antara lain: pemanas air surya termosifon dan pemanas air surya system aktif.

1. Pemanas Air Surya Termosifon (Sistem Pasif)

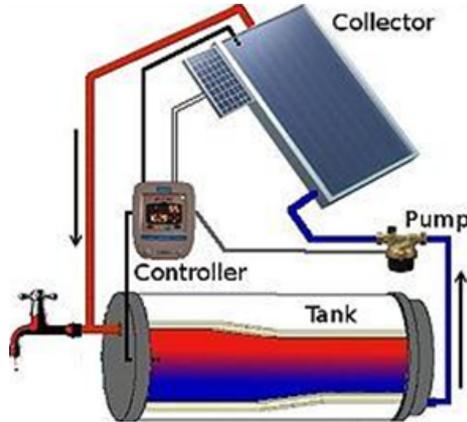
Menurut Jansen, Ted 1995 pemanas air surya paling sederhana tetapi paling efektif adalah pemanas air surya system termosifon. Sistem ini hanya terdiri atas sebuah tangki penyimpanan yang ditempatkan pada bagian atas dari deretan kolektor.

Fluida pada kolektor akan dipanasi oleh radiasi matahari, kemudian karena perbedaan massa jenis maka fluida panas akan bergerak kearah tangki dan fluida dingin dari tangki akan bergerak turun untuk menggantikan fluida yang dipanaskan. Gambar 1.9 menunjukkan pemanas surya system termosifon.

Sirkulasi pemanasan seperti ini akan terus berlanjut sampai seluruh system kira-kira mencapai temperature yang seragam. Gerakan sirkulasi ini tidak lagi membutuhkan sensor temperature, alat-alat control, dan pompa sirkulasi serta motor.

2. Pemanas Air Surya Sistem Aktif

Sistem aktif didefinisikan sebagai sistem pemanas air yang memerlukan energi tambahan (seperti menggunakan pompa) untuk memindahkan air menuju kolektor supaya air menjadi hangat. Energi yang digunakan untuk menggerakkan pompa dapat diperoleh dari energi listrik maupun dari energi matahari yang diubah menggunakan sel fotovoltaik. Perbedaan utama ke dua system ini hanya terletak pada tenaga yang digunakan untuk menggerakkan fluida yang akan dipanaskan.



Gambar 1.9: Pemanas Surya System Termosifon

3. Perhitungan Radisi Surya Langit Cerah

Clear Sky Solar Radiation

Perhitungan radiasi total pada sebuah permukaan yang diletakkan dengan posisi horizontal pada garis Utara-Selatan. Lokasi permukaan adalah suatu titik di Kota Medan dengan kondisi sebagai berikut:

- Posisi Lintang: 4°LU ($\phi = 4$) dan 98°BT ($L_w = 98$)
- Ketinggian dari permukaan laut : 200m (Altitude $A=0,2$)

Sebagai data tambahan waktu lokal di kota Medan adalah GMT+7. Artinya Waktu ini ditentukan berdasarkan standard meridian $L_w = 7 \times 15 = 105$.

Dasar teori:

Persamaan yang digunakan untuk menghitung radiasi total pada permukaan datar ini adalah:

$$G_{\text{total}} = G_{\text{beam}} + G_{\text{diffuse}} \quad (1.16)$$

Di mana G_{beam} adalah radiasi yang jatuh langsung dan G_{diffuse} adalah radiasi hasil pantulan atmosfer. Kedua persamaan ini dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$G_{\text{beam}} = G_{\text{on}} \tau_o \cos \theta_z \quad (1.17)$$

$$G_{\text{diffuse}} = G_{\text{on}} \cos \theta_z (0,271 - 0,294 \tau_o) \quad (1.18)$$

Di mana G_m adalah radiasi matahari diluar dan sebelum masuk atmosfer dengan menggunakan persamaan berikut:

$$G_m = 1367(1,00011 + 0,034221 \cos B + 0,00128 \sin B + 0,000719 \cos 2B + 0,000077 \sin 2B) \quad (1.19)$$

$$\text{Di mana } B = (n-1) \frac{360}{365} \quad (1.20)$$

Dan n adalah urutan hari yang sedang dibahas di dalam tahun. Untuk memudahkan perhitungan nilainya pada tanggal i tiap bulan ditampilkan pada tabel berikut:

Jan	i
Feb	$31 + i$
Mar	$59 + i$
Apr	$90 + i$
Mei	$120 + i$
Jun	$151 + i$
Juli	$181 + i$
Ags	$212 + i$
Sep	$243 + i$
Okt	$273 + i$
Nop	$304 + i$
Des	$334 + i$

Kemudian τ_b adalah fraksi radisi yang diteruskan (beam radiation). Parameter ini dihitung dengan persamaan berikut:

$$\tau_b = a_0 + a_1 \exp\left(\frac{-k}{\cos\theta_z}\right) \quad (1.21)$$

Di mana:

$$\tau_0 = r_0(0,4237 - 0,00821(6 - A)^2) \quad (1.22)$$

$$a = r \left(0,5055 + 0,00595(6,5 - A)^2\right) \quad (1.23)$$

$$k = r_k(0,2711 + 0,01858(2,5 - A)^2) \quad (1.24)$$

a adalah ketinggian dari permukaan laut (altitude) dalam satuan km. Karena kota Medan berada di daerah tropis, maka nilai

yang disarankan untuk koefisien pada persamaan (1.22, 1.23, 1.24) oleh Hottel (1976) adalah sebagai berikut:

$$r_1 = 0,95, r_2 = 0,98, \text{ dan } r_3 = 1,02 \quad (1.25)$$

Pada persamaan (1.26) nilai dari cosinus sudut zenith adalah:

$$\cos\theta = \cos\phi \cos\delta \cos\omega + \sin\phi \sin\delta \quad (1.26)$$

Di mana δ adalah sudut deklinasi yang berubah tiap hari dan ω adalah sudut jam matahari yang berubah tiap jam. Besar sudut deklinasi dalam radian dihitung dengan persamaan:

$$\delta = 6,918 \times 10^{-3} - 3,99912 \cos B + 0,070257 \sin B - 0,006758 \cos 2B + 9,07 \times 10^{-4} \sin 2B - 0,002679 \cos 3B + 0,00148 \sin 3B \quad (1.27)$$

Sementara sudut jam matahari dihitung berdasarkan jam matahari (solar time, ST).

Perhitungan sudut jam matahari adalah defenisi berikut:

“sudut jam matahari ω adalah sudut pergeseran semu matahari dari garis siangnya. Perhitungan berdasarkan jam matahari (ST), setiap berkurang 1 jam, ω berkurang 15° dan setiap bertambah 1 jam, ω bertambah 15° . Artinya tepat pukul 12.00 siang, $\omega = 0$, pukul 11.00 pagi $\omega = -15^\circ$ dan pukul 14.00, $\omega = 30^\circ$ ”

Berdasarkan defenisi ini dapat dibuat rumus sebagai berikut:

$$\omega = 15(STD - 12) + (ST - STD) \times \frac{15}{60} \quad (1.28)$$

Persamaan menghitung jam matahari (ST) adalah sebagai berikut:

$$ST = STD \pm 4(L_s - LL_s) + E \quad (1.29)$$

Di mana: L adalah standard meridian untuk waktu lokal (untuk Medan 105°), STD adalah waktu

$$\delta = 6,918 \times 10^{-3} - 3,99912 \cos B + 0,070257 \sin B - 0,006758 \cos 2B + 9,07 \times 10^{-4} \sin 2B - 0,002679 \cos 3B + 0,00148 \sin 3B \quad (1.30)$$

Sementara sudut jam matahari dihitung berdasarkan jam matahari (solar time, ST).

Perhitungan sudut jam matahari adalah defenisi berikut:

“sudut jam matahari ω adalah sudut pergeseran semu matahari dari garis siangnya. Perhitungan berdasarkan jam matahari (ST), setiap berkurang 1 jam, ω berkurang 15° dan setiap bertambah 1 jam, ω

bertambah 15°. Artinya tepat pukul 12.00 siang, $\omega = 0$, pukul 11.00 pagi $\omega = -15^\circ$ dan pukul 14.00, $\omega = 30^\circ$ ”

Berdasarkan definisi ini dapat dibuat rumus sebagai berikut:

$$\omega = 15(\text{STD} - 12) + (\text{ST} - \text{STD}) \times \frac{15}{60}$$

Persamaan menghitung jam matahari (ST) adalah sebagai berikut:

$$\text{ST} = \text{STD} \pm 4(L_s - L_m) + E$$

Di mana L_s adalah standard meridian untuk waktu lokal (untuk Medan 105°), STD adalah waktu lokal. Atau waktu yang ditunjukkan oleh jam yang resmi di tempat yang sedang dibahas. Dan L_m adalah derajat bujur daerah yang sedang dihitung, jika daerah yang dihitung ada pada bujur timur, maka gunakan tanda minus didepan angka 4 dan jika bujur barat adalah tanda plus.

Dan E adalah *equation of time*, dalam satuan menit dirumuskan oleh Spencer (1971):

$$E = 229,2(0,000075 + 0,001868\cos B - 0,032077\sin B - 0,014615\cos 2B - 0,04089\sin 2B) \quad (1.30)$$

Parameter B dihitung dengan menggunakan persamaan (1.25).

Persamaan (1.16) sampai dengan persamaan (1.30) akan digunakan untuk menjawab soal yang diberikan.

Penyelesaian:

Perhitungan akan dilakukan berdasarkan bulan kemudian pada hari yang ditentukan.

a. Bulan January

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

- 1) Tentukan tanggal yang akan dihitung (misalnya 1 January) kemudian tentukan n dengan menggunakan tabel di bawah persamaan (1.25).
- 2) Hitung B dengan menggunakan persamaan (1.25)
- 3) Hitung E dengan menggunakan persamaan (1.32)
- 4) Hitung $\text{ST} = \text{STD}$ dengan menggunakan persamaan (1.29)
- 5) Hitung sudut deklinasi ω dengan menggunakan persamaan (1.30) kemudian ubah ke dalam derajat dengan mengalikannya dengan 57.29577951

6) Hitung radiasi sebelum masuk atmosfer G_m dengan menggunakan persamaan (1.24)

Karena melibatkan banyak perhitungan, pengolah data Excell dapat digunakan. Catatan, sudut dalam excell biasanya dalam radian, maka perlu kehati-hatian dalam perhitungan yang melibatkan sudut.

Perhitungan bulan January dapat dilakukan dengan mengulang langkah (1.21 s/d) sebanyak 31 hari dan hasilnya ditampilkan pada tabel berikut:

Tgl	<i>B</i> Pers (5)	<i>E</i> Pers (12)	<i>ST-STD</i> [min] Pers (11)	δ [rad] Pers (10)	δ [derajat] Pers (10)$\times\pi$	<i>G_{on}</i> Pers (4)
1	0	-2.90442	-30.904	-0.40243	-23.05760	1414.913
2	0.9863	-3.35165	-31.352	-0.40105	-22.97831	1414.940
3	1.9726	-3.79462	-31.795	-0.39953	-22.89140	1414.951
4	2.9589	-4.23292	-32.233	-0.39788	-22.79691	1414.947
5	3.94521	-4.66614	-32.666	-0.39610	-22.69489	1414.928
6	4.93151	-5.09387	-33.094	-0.39419	-22.58537	1414.894
7	5.91781	-5.51573	-33.516	-0.39215	-22.46840	1414.845
8	6.90411	-5.93133	-33.931	-0.38998	-22.34405	1414.781
9	7.89041	-6.34029	-34.340	-0.38768	-22.21237	1414.702
10	8.87671	-6.74223	-34.742	-0.38525	-22.07342	1414.608
11	9.86301	-7.13679	-35.137	-0.38270	-21.92726	1414.500
12	10.8493	-7.52362	-35.524	-0.38003	-21.77396	1414.376
13	11.8356	-7.90237	-35.902	-0.37723	-21.61359	1414.237
14	12.8219	-8.2727	-36.273	-0.37431	-21.44623	1414.084
15	13.8082	-8.63428	-36.634	-0.37127	-21.27194	1413.916
16	14.7945	-8.9868	-36.987	-0.36810	-21.09080	1413.733
17	15.7808	-9.32995	-37.330	-0.36482	-20.90290	1413.536
18	16.7671	-9.66343	-37.663	-0.36143	-20.70833	1413.324
19	17.7534	-9.98696	-37.987	-0.35792	-20.50716	1413.097
20	18.7397	-10.3003	-38.300	-0.35429	-20.29948	1412.857
21	19.726	-10.6031	-38.603	-0.35056	-20.08540	1412.602
22	20.7123	-10.8951	-38.895	-0.34671	-19.86499	1412.332
23	21.6986	-11.1762	-39.176	-0.34275	-19.63836	1412.049
24	22.6849	-11.4461	-39.446	-0.33869	-19.40561	1411.752
25	23.6712	-11.7046	-39.705	-0.33452	-19.16682	1411.441
26	24.6575	-11.9515	-39.951	-0.33025	-18.92212	1411.115

27	25.6438	-12.1865	-40.187	-0.32588	-18.67159	1410.777
28	26.6301	-12.4096	-40.410	-0.32141	-18.41535	1410.425
29	27.6164	-12.6205	-40.621	-0.31684	-18.15349	1410.059
30	28.6027	-12.8192	-40.819	-0.31217	-17.88614	1409.680
31	29.589	-13.0054	-41.005	-0.30741	-17.61339	1409.288

Kemudian perhitungan radiasi untuk tiap jam dalam satu hari dapat dilakukan. Perhitungan dimulai dengan mengubah jam standard menjadi jam matahari.

Langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

- 1) Tentukan jam perhitungan (misalnya jam 7.00)
- 2) Hitung sudut jam matahari (ω) dengan menggunakan persamaan (11)
- 3) Hitung cosinus sudut zenith ($\cos\theta_z$) dengan menggunakan persamaan (9)
- 4) Hitung fraksi radiasi yang diteruskan (τ_b) dengan menggunakan persamaan (6)
- 5) Kemudian hitung G_{beam} , G_{difuse} , dengan menggunakan persamaan (1), (2) dan G_{total} persamaan (3).

Berikut perhitungan tiap jam pada tanggal 1 s/d 3 January

		Pukul									
		8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
1 Jan	ω	-67.73	-52.73	-37.73	-22.73	-7.73	7.27	22.27	37.27	52.27	67.27
	$\cos\theta_z$	0.32	0.53	0.70	0.82	0.88	0.88	0.82	0.70	0.53	0.33
	τ_b	0.50	0.56	0.60	0.61	0.61	0.60	0.57	0.50	0.37	0.50
	G_b	165.35	371.30	557.54	694.40	766.84	767.93	697.58	562.49	377.41	171.33
	G_d	74.31	93.51	103.98	109.99	112.83	112.87	110.12	104.22	93.92	75.12
	G_{tot}	239.67	464.81	661.52	804.40	879.67	880.80	807.70	666.70	471.33	246.45
2 Jan	ω	-67.84	-52.84	-37.84	-22.84	-7.84	7.16	22.16	37.16	52.16	67.16
	$\cos\theta_z$	0.319	0.528	0.698	0.819	0.883	0.884	0.823	0.705	0.536	0.329
	τ_b	0.363	0.496	0.564	0.599	0.614	0.615	0.600	0.566	0.500	0.372
	G_b	164.14	370.23	556.90	694.29	767.30	768.93	699.05	564.30	379.37	173.09
	G_d	74.15	93.44	103.95	109.99	112.85	112.91	110.18	104.30	94.05	75.35

G_{tot}	238.29	463.67	660.85	804.28	880.14	881.84	809.23	668.60	473.42	248.44
-----------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

3 Jan	\square	-67.95	-52.95	-37.95	-22.95	-7.95	7.05	22.05	37.05	52.05	67.05
	$\cos \square_z$	0.318	0.527	0.698	0.819	0.883	0.885	0.825	0.706	0.538	0.331
	\square_b	0.362	0.496	0.564	0.599	0.615	0.615	0.600	0.566	0.501	0.373
	G_b	162.97	369.21	556.31	694.24	767.81	769.98	700.56	566.14	381.36	174.86
	G_d	73.98	93.37	103.92	109.99	112.87	112.95	110.25	104.39	94.18	75.59
	G_{tot}	236.95	462.58	660.23	804.23	880.67	882.93	810.80	670.54	475.54	250.45

Kemudian perhitungan untuk tanggal berikutnya dapat dilakukan dengan cara yang sama.

b. Bulan February dan seterusnya

Perhitungan untuk bulan February dan bulan-bulan berikutnya dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan tersebut di atas. Semua parameter akan berubah setiap bulannya seperti B, sudut deklinasi ω , dan radiasi di angkasa luar dst. Perhitungan diharapkan dapat diteruskan.

Bab 2

Energi Etanol

2.1 Pendahuluan

Bahan bakar etanol adalah etanol (etil alkohol) dengan jenis yang sama dengan yang ditemukan pada minuman beralkohol dengan penggunaan sebagai bahan bakar. Etanol sering kali dijadikan bahan tambahan bensin sehingga menjadi biofuel. Produksi etanol dunia untuk bahan bakar transportasi meningkat 3 kali lipat dalam kurun waktu 7 tahun, dari 17 miliar liter pada tahun 2000 menjadi 52 miliar liter pada tahun 2007. Dari tahun 2007 ke 2008, komposisi etanol pada bahan bakar bensin di dunia telah meningkat dari 3.7% menjadi 5.4%. Pada tahun 2010, produksi etanol dunia mencapai angka 22,95 miliar galon AS (86,9 miliar liter), dengan Amerika Serikat sendiri memproduksi 13,2 miliar galon AS, atau 57,5% dari total produksi dunia (Kinver Mark,20006).

Brasil dan Amerika Serikat. memproduksi 88% dari seluruh jumlah bahan bakar etanol yang diproduksi di dunia. (FO Lights,2002). Kebanyakan mobil-mobil yang beredar di Amerika Serikat saat ini dapat menggunakan bahan bakar dengan kandungan etanol sampai 10%, dan penggunaan bensin etanol 10% malah diwajibkan di beberapa kota dan negara bagian AS. Sejak tahun 1976, pemerintah Brasil telah mewajibkan penggunaan bensin yang dicampur dengan etanol, dan sejak tahun 2007, campuran yang legal adalah berkisar 25% etanol dan 75% bensin (E25). (Protaria,20007).

2.2 Sumber Bahan Penghasil Bioetanol

Bioetanol merupakan etanol yang dibuat dengan cara fermentasi biomassa yang mengandung pati, gula, dan tanaman berselulosa. Biomassa yang mengandung pati misalnya singkong, ubi jalar, biji jagung, biji sorgum sagu dan kentang.

Biomassa yang menghasilkan gula yaitu nira tebu, tetes tebu (molases), nira kelapa, sorgum manis, nira aren, nira nipah dan nira lontar. Biomassa berselulosa meliputi limbah pertanian, ampas tebu, tongkol jagung, rumput laut, dan lain-lain (Gusmailina, 2010 dan Wawan, 2007).

Sumber bahan baku yang paling prospektif di Indonesia adalah Singkong (ubi kayu), ubi jalar, tetes tebu, sagu, nira kelapa, nira aren, nira lontar, sorgum dan rumput laut.

1. Singkong (ubi Kayu)

Ubi kayu atau singkong (*Mannihot esculenta*) berasal dari Brazil, Amerika Selatan, menyebar ke Asia pada awal abad ke-17 dibawa oleh pedagang Spanyol dari Mexico ke Philipina. Kemudian menyebar ke Asia Tenggara, termasuk Indonesia. Ubi kayu merupakan makanan pokok di beberapa negara Afrika. Di samping sebagai bahan makanan, ubi kayu juga dapat digunakan sebagai bahan baku industri dan pakan ternak. Ubinya mengandung air sekitar 60%, pati 25-35%, serta protein, mineral, serat, kalsium, dan fosfat. Ubi kayu merupakan sumber energi yang lebih tinggi dibanding padi, jagung, ubi jalar, dan sorgum (Ismawati, 20011).

Singkong sangat mungkin dikembangkan secara besar-besaran di Indonesia untuk mendukung produksi bioethanol. Singkong mendukung produksi bioetanol. Singkong memiliki kadar karbohidrat sekitar 32-35% dan kadar pati sekitar 83,8% setelah diproses menjadi tepung (Hambali dkk. 2007), nilai kalorinya 250 x 103 (Yakinudin, 2014). Singkong dapat tumbuh di tanah yang kurang subur, memiliki daya tahan yang tinggi terhadap penyakit dan dapat diatur waktu panennya, dengan umur panen 8 bulan. Singkong mampu menghasilkan 30-60 ton per hektar.

2. Ubi Jalar

Potensi pengembangan ubi jalar di Indonesia sangatlah besar. Areal panen setiap tahun seluas 229.000 hektar, tersebar di seluruh propinsi, baik di lahan sawah maupun tegalan dengan tingkat produksi rata-rata nasional 10 ton/ha (Prihandana dan Hendroko, 2007). Ubi jalar bisa ditanam sepanjang tahun, jenis tanah apa saja dan di mana saja. Keunggulan lain, umur panen ubi jalar hanya 4 bulan dibandingkan singkong yang mencapai 8 bulan. Aryani dkk (2004), tanaman ubi jalar merupakan tanaman yang mengandung karbohidrat tinggi.

3. Sagu

Tanaman sagu sangat potensial untuk dikembangkan sebagai bahan baku penghasil energi alternative, karena mampu menghasilkan pati kering hingga 25 ton per hektar dengan komposisi pati mencapai 85,9%. Sagu cocok dikembangkan di daerah-daerah marginal, seperti daerah rawa dan gambut. Usia produktif tanaman sagu sekitar 7 – 10 tahun. Indonesia dikenal sebagai sentra penanaman sagu di dunia, selain Papua Nugini. Lebih dari 50% area sagu dunia berada di Indonesia (Hambali dkk.,2007). Kadar bietanol dari sagu tidak berduri lebih tinggi (51-53 %) dibanding dengan sagu berduri (32-35 %). Untuk optimalnya pemanfaatan sagu, sebaiknya pati yang berasal dari sagu berduri diarahkan untuk penyediaan pangan karbohidrat, sedangkan pati sagu tidak berduri lebih sesuai sebagai bahan baku bioetanol (Laya,2012)

4. Singkong (Ubi Kayu)

Ubi kayu atau singkong (*Mannihot esculenta*) berasal dari Brazil, Amerika Selatan, menyebar ke Asia pada awal abad ke-17 dibawa oleh pedagang Spanyol dari Mexico ke Philipina, kemudian menyebar ke Asia Tenggara, termasuk Indonesia. Ubi kayu merupakan makanan pokok di beberapa negara Afrika. Di samping sebagai bahan makanan, ubi kayu juga dapat digunakan sebagai bahan baku industri dan pakan ternak. Ubinya mengandung air sekitar 60%, pati 25-35%, serta protein, mineral, serat, kalsium, dan

fosfat. Ubi kayu merupakan sumber energi yang lebih tinggi dibanding padi, jagung, ubi jalar, dan sorgum (Ismawati, 20011).

Singkong sangat mungkin dikembangkan secara besar-besaran di Indonesia karena mampu untuk mendukung produksi bioetanol. Singkong memiliki kadar karbohidrat sekitar 32 – 35% dan kadar pati sekitar 83,8% setelah diproses menjadi tepung (Hambali dkk. 2007), nilai kalorinya 250 x 103 (Yakinudin, 2014). Singkong dapat tumbuh di tanah yang kurang subur, memiliki daya tahan yang tinggi terhadap penyakit dan dapat diatur waktu panennya, dengan umur panen 8 bulan. Singkong mampu menghasilkan 30 – 60 ton per hektar.

5. Tetes Tebu (Molase)

Tetes tebu (molase) adalah hasil samping proses pembuatan gula tebu. Tetes tebu berwujud cairan kental yang diperoleh dari tahap pemisahan Kristal gula. Tetes tebu masih mengandung gula dengan kadar tinggi (50-60%). Molase atau tetes tebu mengandung kurang lebih 60% selulosa dan 35,5% hemiselulosa. Kedua bahan polisakarida ini dapat dihidrolisis menjadi gula sederhana yang selanjutnya dapat difermentasi menjadi etanol (Juwita, 2012). Dalam Komarayati dan Gusmailina (2010) disebutkan bahwa Di Indonesia potensi produksi molase ini per ha kurang lebih 10–15 ton, Jika seluruh molase per ha ini diolah menjadi ethanol fuel grade ethanol (FGE), maka potensi produksinya kurang lebih 766 hingga 1.148 liter/ha FGE.

6. Aren (Nira)

Aren (*Arenga pinnata* Merr) menghasilkan nira yang merupakan salah satu sumber bioetanol yang sudah dikenal secara tradisional dalam bentuk minuman beralkohol. Tanaman ini sebarannya terbatas hanya di wilayah Asia Tenggara yang meliputi Indonesia, Serawak, Filipina, Vietnam, Kamboja, Laos, Thailand, dan Burma serta sebagian wilayah Asia Selatan meliputi Assam, Pakistan dan Sepanjang pesisir Timur India. Di Indonesia aren ditemukan hampir di seluruh wilayah terutama di 14 propinsi Papua, Maluku, Maluku

Utara, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Jawa Barat, Jawa Tengah, Banten, Sulawesi Utara, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Bengkulu, Kalimantan Selatan dan Nangroe Aceh Darussalam. Total luas areal di 14 propinsi sekitar 70.000 ha. (Maliangkay, 2008 dalam Hariyanto, 2010). Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi melaporkan produktivitas bioetanol dari pohon aren dapat mencapai 40.000liter per hektar per tahun. Ini lebih tinggi dari produktivitas ubi kayu dan jagung (Prihandana dan Hendroko, 2007). Nira selain dihasilkan dari aren juga dihasilkan dari tanaman nipah dan kelapa sebagai sumber bahan pemanis yang bisa diolah menjadi bioetanol (Kusumanto, 2008).

7. Rumput Laut (*Eucheuma* sp)

Laut Indonesia memiliki luas lebih kurang 5,8 juta km² dengan garis pantai sepanjang 81.000 km. potensi sumberdaya cukup besar, terutama sumberdaya perikanan laut, baik dari segi kuantitas maupun diversitas (Anonymous,2005). Di perairan Indonesia terdapat sekitar 782 jenis rumput laut, hanya 18 jenis dari 5 genus yang sudah diperdagangkan. Dari ke 5 genus tersebut hanya genus *Eucheuma* dan *Gracilaria* yang sudah dibudidayakan. Genus *Eucheuma* sp mulai dibudidayakan secara masal pada tahun 1984 di Nusa Dua, Nusa Perida, Nusa Lembongan, Nusa Ceningan, Bali, serta Lombok Timur (Nusa Tenggara Barat). Wilayah sebaran budidaya Jenis rumput laut ini berada di Sumatera Barat (Kabupaten pesisir selatan dan Mentawai), Sumatera Selatan (Lampung Selatan), Bangka Belitung, Kepulauan Riau, Banten (Pulau Panjang, Ujung Kulon dan Teluk Banten), DKI Jakarta (Pulau Seribu), Jawa Tengah (Karimun Jawa), Jawa Timur (Madura, Situbondo dan Banyuwangi Selatan), Bali (Nusa Dua/Katub/Gunung Panjang, Nusa Penida, Nusa Jembrana dan Nusa Ceningan), Nusa Tenggara Timur (Maumere).

Siklus produksi rumput laut jenis ini cukup pendek, pemanenan dapat dilakukan pada umur 45 hari. Sedangkan penjemuran membutuhkan waktu sekitar 3 hari. Bila diasumsikan rumput laut siap dipasarkan setelah 50 hari dengan kondisi cuaca yang cocok, maka dalam setahun pembudidaya rumput

laut dapat memanen maksimal tujuh kali. Memiliki beberapa keunggulan dari segi ekonomis lingkungan dan sosial. Segi ekonomis, antara lain budidaya rumput laut cukup menggunakan teknologi yang sederhana dan tidak membutuhkan modal kerja awal yang besar.

2.3 Produksi Bioetanol

Teknologi produksi Bioetanol sudah ada sejak jaman dahulu kala. Teknologi ini terus berkembang dan berevolusi sejalan dengan perkembangan jaman. Produksi bioethanol dimulai dari fermentasi sederhana bahan-bahan yang mengandung gula nira, bahan-bahan yang mengandung pati/polisakarida hingga bahan-bahan berkayu.

Produksi ethanol/bio-ethanol (alkohol) dengan bahan baku tanaman yang mengandung pati atau karbohidrat, dilakukan melalui proses konversi karbohidrat menjadi gula (glukosa) larut air. Glukosa dapat dibuat dari pati-patian, proses pembuatannya dapat dibedakan berdasarkan zat pembantu yang dipergunakan, yaitu Hidrolisa asam dan *Hydrolisa enzyme*. Berdasarkan kedua jenis hydrolisa tersebut, saat ini hydrolisa enzyme lebih banyak dikembangkan, sedangkan hydrolisa asam (misalnya dengan asam sulfat) kurang dapat berkembang, sehingga proses pembuatan glukosa dari pati-patian sekarang ini dipergunakan dengan *hydrolisaenzyme*. Konversi bahan baku tanaman yang mengandung pati atau karbohidrat dan tetes menjadi bioethanol ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Konversi Bahan Baku Tanaman yang Mengandung Pati Atau Karbohidrat dan Tetes Menjadi Bioethanol

Bahan Baku		Kandungan Gula dalam Bahan Baku (Kg)	Jumlah Hasil Konversi Bioetanol (Liter)	Perbandingan Bahan Baku dan Bioetanol
Jenis	Konsumsi (Kg)			
Ubin Kayu	1000	250-300	166.6	6.5:1
Jagung	1000	600-700	200	05:01
Sagu	1000	120-160	90	12:01
Tetes	1000	500	250	04:01

Dalam proses konversi karbohidrat menjadi gula (glukosa) larut air dilakukan dengan penambahan air dan enzyme, kemudian dilakukan proses peragian atau fermentasi gula menjadi ethanol dengan menambahkan yeast atau ragi.

Etanol diproduksi oleh hidrasi katalitik langsung etena dengan adanya uap, menggunakan asam fosfat teradsorpsi pada permukaan padat (silika) sebagai katalis dalam fix bed reactor. Reaksi ini reversibel dan eksotermik:

Selain ethanol/bio-ethanol dapat diproduksi dari bahan baku tanaman yang mengandung pati atau karbohidrat, juga dapat diproduksi dari bahan tanaman yang mengandung selulosa, namun dengan adanya lignin mengakibatkan proses penggulaannya menjadi lebih sulit, sehingga pembuatan ethanol/bio-ethanol dari selulosa tidak perlu direkomendasikan. Meskipun teknik produksi ethanol/bioethanol merupakan teknik yang sudah lama diketahui, namun ethanol/bio-ethanol untuk bahan bakar kendaraan memerlukan ethanol dengan karakteristik tertentu yang memerlukan teknologi yang relatif baru di Indonesia antara lain mengenai neraca energi (energy balance) dan efisiensi produksi, sehingga penelitian lebih lanjut mengenai teknologi proses produksi ethanol masih perlu dilakukan. Secara singkat teknologi proses produksi ethanol/bio-ethanol tersebut dapat dibagi dalam tiga tahap, yaitu gelatinasi, fermentasi dan distilasi. Namun untuk proses produksi yang menggunakan molasses proses produksi langsung memasuki proses fermentasi dan dilanjutkan dengan proses distilasi.

Proses fermentasi dimaksudkan untuk mengubah glukosa menjadi ethanol/bio ethanol (alkohol) dengan menggunakan yeast (*saccharomyces cerevisiae*). Alkohol yang diperoleh dari proses fermentasi ini, biasanya alkohol dengan kadar 8 sampai 10 persen volume. Sementara itu, bila fermentasi tersebut digunakan bahan baku gula (molases), proses pembuatan ethanol dapat lebih cepat. Pembuatan ethanol dari molases tersebut juga mempunyai keuntungan lain, yaitu memerlukan bak fermentasi yang lebih kecil. Ethanol yang dihasilkan proses fermentasi tersebut perlu ditingkatkan kualitasnya dengan membersihkannya dari zat-zat yang tidak diperlukan.

Alkohol yang dihasilkan dari proses fermentasi biasanya masih mengandung gas-gas antara lain CO₂ (yang ditimbulkan dari pengubahan glucose menjadi ethanol/bio-ethanol) dan aldehyde yang perlu dibersihkan. Gas CO₂ pada hasil fermentasi tersebut biasanya mencapai 35 persen volume, sehingga untuk memperoleh ethanol/bio-ethanol yang berkualitas baik, ethanol/bio-ethanol tersebut harus dibersihkan dari gas tersebut. Proses pembersihan (washing)

CO₂ dilakukan dengan menyaring ethanol/bio-ethanol yang terikat oleh CO₂, sehingga dapat diperoleh ethanol/bio-ethanol yang bersih dari gas CO₂). Kadar ethanol/bio-ethanol yang dihasilkan dari proses fermentasi, biasanya hanya mencapai 8 sampai 10 persen saja, sehingga untuk memperoleh ethanol yang berkadar alkohol 95 persen diperlukan proses lainnya, yaitu proses distilasi.

Proses distilasi dilaksanakan melalui dua tingkat, yaitu tingkat pertama dengan beer column dan tingkat kedua dengan rectifying column. Definisi kadar alkohol atau ethanol/bio-ethanol dalam % (persen) volume adalah “volume ethanol pada temperatur 15°C yang terkandung dalam 100 satuan volume larutan ethanol pada temperatur tertentu (pengukuran). Berdasarkan BKS Alkohol Spiritus, standar temperatur pengukuran adalah 27.5°C dan kadarnya 95.5% pada temperature 27.5°C atau 96.2% pada temperatur 15°C. Pada umumnya hasil fermentasi adalah bio-ethanol atau alkohol yang mempunyai kemurnian sekitar 30-40% dan belum dapat dikategorikan sebagai *fuel based ethanol*.

Sebagaimana disebutkan diatas, untuk memurnikan bioetanol menjadi berkadar lebih dari 95% agar dapat dipergunakan sebagai bahan bakar, alkohoasil fermentasi yang mempunyai kemurnian sekitar 40% tadi harus melewati proses destilasi untuk memisahkan alkohol dengan air dengan memperhitungkan perbedaan titik didih kedua bahan tersebut yang kemudian diembunkan kembali. Untuk memperoleh bio-ethanol dengan kemurnian lebih tinggi dari 99.5% atau yang umum disebut *fuel based ethanol*, masalah yang timbul adalah sulitnya memisahkan hidrogen yang terikat dalam struktur kimia alkohol dengan cara destilasi biasa, oleh karena itu untuk mendapatkan *fuel grade ethanol anhydrous* dilaksanakan pemurnian lebih lanjut dengan dehidrasi.

Hasil penyulingan berupa 95% etanol dan tidak dapat larut dalam bensin. Agar larut, diperlukan etanol berkadar 99% atau disebut etanol kering. Oleh sebab itu, perlu destilasi absorbent. Etanol 95% itu dipanaskan 100°C. Pada suhu itu, etanol dan air menguap. Uap keduanya kemudian dilewatkan ke dalam pipa yang dindingnya berlapis zeolit atau pati. Zeolit akan menyerap kadar air tersisa hingga diperoleh etanol 99% yang siap dicampur dengan bensin

Proses produksi diatas merupakan proses yang khusus digunakan untuk memproduksi bioethanol yang berbahan baku molasses. Untuk bioethanol yang menggunakan bahan baku singkong, jagung serta biji-bijian lainnya harus melalui proses penggilingan dan proses hydrolysis terlebih dahulu

sebelum dilakukannya proses fermentasi. Sementara untuk molasses jalur tersebut tidak perlu dilalui karena molasses sudah merupakan bentuk gula sederhana yang bisa melalui proses fermentasi langsung.

2.4 Prospek Bioetanol di Masa Depan

Indonesia sebagai negara yang kaya dengan sumber daya alam memiliki kesempatan yang luas untuk pengembangan bioetanol sebagai pengganti energi fosil yang semakin lama cadangannya semakin menipis. Pemerintah telah memperkuat pengembangan bioetanol ini dengan membuat Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 yang diikuti dengan peraturan Menteri ESDM Nomor 12 Tahun 2015 tentang Kebijakan Energi Nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak yang bersumber dari energi fosil (Warsa dalam Arlianti, 2018). Etanol adalah zat cair mudah larut yang dihasilkan dari fermentasi glukosa dan untuk meningkatkan kemurniannya biasanya dilanjutkan dengan proses destilasi. Etanol merupakan kependekan dari etil alkohol dengan rumus kimia (C_2H_5OH), massa jenis sebesar $0,7939 \text{ g/mL}$, dan titik didihnya sebesar $78,320^\circ\text{C}$ pada tekanan 766 mmHg , serta mempunyai panas pembakaran 7093.72 kkal (Novendri, 2018).

Dalam perkembangannya, produksi bioetanol yang paling banyak digunakan adalah hasil produksi yang diperoleh melalui metode fermentasi di mana proses ini akan menghasilkan alkohol dengan kadar yang cukup rendah. Untuk meningkatkan kadar etanol agar dapat mencapai Fuel Grade Ethanol (FGE) dengan kadar 99.5% dibutuhkan proses lanjutan berupa penyulingan (distillation) dan dehidrasi (dehydration). Adapun beberapa kelebihan dari bioetanol yang dinilai cukup signifikan yaitu mampu meningkatkan unjuk kerja dari mesin kendaraan. Hal ini dapat dilihat pada pemakaian biogasoline dengan rasio campuran bensin dan bioetanol dengan komposisi (90:10) yang memberikan nilai torsi dan daya lebih tinggi serta konsumsi bahan bakar spesifik yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan bensin murni terutama pada putaran mesin yang tinggi (Wiratmaja, 2010a). Hal ini dikarenakan bioetanol memiliki nilai research oktan number (RON) 116-129, yang relatif lebih tinggi dibandingkan bahan bakar bensin jenis premium yang mempunyai nilai oktan RON 88. Dengan nilai RON yang tinggi, bioetanol yang dapat berfungsi sebagai aditif mampu bekerja dengan baik dalam

mendongkrak nilai oktan (octane booster) bahan bakar dengan oktan rendah sehingga berdampak positif terhadap efisiensi dan daya mesin, khususnya bagi mesin kendaraan dengan rasio kompresi tinggi serta menghindari terjadinya detonasi pada saat proses pembakaran di dalam mesin.

Tabel 2.2: Sumber dan Standar Kesehatan Emisi Gas Buang Kendaraan (Ismiyati, Marlita, & Saidah, 2014).

Pencemar	Keterangan
Karbon monoksida (CO)	Standar kesehatan: 10 mg/m ³ (9 ppm)
Oksida sulfur (SO _x)	Standar kesehatan: 80 ug/m ³ (0.03 ppm)
Partikulat Matter	Standar kesehatan: 50 ug/m ³ selama 1 tahun; 150 ug/m ³
Okdida Nitrogen (NO _x)	Standar kesehatan: 100 pg/m ³ (0.05 ppm) selama 1 jam
Ozon (O ₃)	Standar kesehatan: 235 ug/m ³ (0.12ppm) selama 1 jam

Dari tabel 2.2, dapat dilihat ambang batas dari kadar emisi gas buang kendaraan. Dari proses pembakaran yang tidak sempurna dihasilkan emisi gas buang berupa HC (Hidrokarbon), CO (Karbon Monosikda), CO₂ (Karbon Dioksida), O₂ (Oksigen) dan senyawa NO_x (Nitrogen Oksida). Dari hasil pengujian emisi gas buang diambil suatu kesimpulan bahwa pada variasi putaran mesin, di mana semakin tinggi putaran mesin akan menghasilkan emisi HC yang semakin tinggi dan menurunkan emisi CO, dan CO₂. Semakin banyak konsentrasi bioetanol yang digunakan akan menghasilkan emisi HC yang semakin tinggi dan emisi CO, dan CO₂ yang semakin menurun (Ruri Octaviani, Moh Irsyad, 2010).

Tabel 2.3: Perbandingan Sifat Fisika Antara Ethanol Dengan Bensin (www.afdc.doe.gov dalam Wiratmaja, 2010b)

Property	Ethanol	Gasoline
Chemical formula Composition % weight	C ₂ H ₅ OH	C ₄ sd C ₁₀
Carbon Hydrogen Oxygen	52.2	85 – 88
Octane Number	13.1	12-15

Research Octane	34.7	0
Motor Octane	108	90-100
Density (lb/gal)	92	81-90
Boiling temp. (° F)	6.61	6.0 – 6.5
Freezing Point (° F)	172	80 – 437
Flash Point (° F)	-173.22	-40
Auto Ignition Temp. (° F)	55	-45
Heating value	793	495
Higher (Btu/gal)	84 100	124 800
Lower (Btu/gal)	76 000	115 000
Spesific heat Btu/lb °F	0.57	0.48
Stoichiometric air/fuel, weight	9	14.7

Dari perbandingan sifat fisika bioetanol terhadap bensin seperti yang ditampilkan pada tabel 2, dapat dilihat bahwa bioetanol memiliki sifat-sifat fisika yang mendekati dari sifat-sifat fisika dari bensin atau dapat dikatakan berada pada interval sifat fisika dari bensin sehingga penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar utama haruslah mendapatkan kajian dan perhatian yang lebih serius dari pemerintah selaku pemangku kebijakan agar penggunaan bioetanol tidak hanya sekedar sebagai aditif atau sebagai campuran bahan bakar bensin, tapi memiliki kemampuan sebagai bahan bakar utama kendaraan dimasa depan.

Selanjutnya harus dilihat pula beberapa kekurangan dari bioetanol dibandingkan bensin yaitu pada kondisi temperatur rendah, mesin dengan bahan bakar bioetanol akan lebih sulit melakukan starter serta fakta bahwa bioetanol bereaksi dengan logam seperti magnesium dan aluminium sehingga dapat merusak komponen kendaraan yang terbuat dari logam tersebut. (Restu Setiawati, Rafika Sinaga, Kurnia Dewi, 2013).

Hal ini dikarenakan etanol merupakan bahan bakar yang sangat mudah teroksidasi, sehingga sangat memungkinkan untuk terbentuk uap dan titik-titik air pada tangki dan pipa-pipa saluran bahan bakar pada kendaraan. Uap dan titik air tersebut dapat menyebabkan korosi pada tangki dan saluran bahan bakar sehingga penggunaan etanol akan mempercepat terjadinya korosi pada tangki dan saluran bahan bakar. Sebagai langkah solusi, haruslah dilakukan

kajian dan modifikasi terhadap material kendaraan khususnya saluran bahan bakar dan tangki bahan bakar di mana material yang digunakan sebelumnya digantikan dengan material yang lebih tahan terhadap korosi (Fahmi & Setiyo, 2015).

Selanjutnya kendala dari sisi ekonomi di mana dalam proses destilasi bioetanol dalam usaha mendapatkan kadar kemurnian yang lebih tinggi dapat dikatakan terbilang rumit dan memerlukan biaya tinggi sehingga untuk memasarkan bioetanol dengan harga rendah cukup sulit untuk dilakukan sehingga dipastikan akan adanya disparitas harga bioetanol dengan bensin yang cukup tinggi, di mana selisih harga tersebut tercatat sempat mencapai Rp 4.150/liter pada bulan Juni 2016. Tentunya disparitas harga yang tinggi ini, membuat bioetanol menjadi kurang diminati untuk dikembangkan lebih lanjut karena dianggap kurang ekonomis.

Dari segi penyediaan bahan baku pembuatan bioetanol yang bersumber dari tanaman yang mengandung gula seperti tebu dan singkong juga rentan menjadi penghalang bagi perkembangan bioetanol itu sendiri. Hal ini disebabkan tebu dan singkong merupakan salah satu produk utama pangan, sehingga dengan meningkatnya penggunaan bioetanol sebagai salah satu sumber energi alternatif otomatis akan meningkatkan permintaan bahan baku sehingga dikhawatirkan akan terjadi persaingan antara ketersediaan bahan baku untuk pangan, pakan, dan untuk sumber energi sehingga berdampak terhadap kealngsungan hidup manusia.

Selain itu, dalam usaha untuk menggantikan semua kebutuhan bahan bakar minyak dunia saat ini dengan etanol maka diperlukan luas lahan pertanian yang sangat luas untuk menghindari sifat intermitten bahan bakar alternatif sehingga membuka peluang terjadinya pembabatan hutan dalam skala besar. Melihat fakta bahwa saat ini di berbagai negara didunia telah menunjukkan indikasi adanya krisis pada sektor pangan dan energi, maka sangat perlu untuk segera mencari sumber bahan baku pembuatan bioetanol yang lebih aman (Wiratmaja, Kusuma, & Winaya, 2011).

Dari beberapa kekurangan bioetanol tersebut haruslah dapat segera ditemukan solusinya agar penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar tidak cuma berhenti pada pengaplikasiannya sebagai bahan bakar alternatif dan sebagai aditif bahan bakar bensin namun mampu berdiri sendiri sebagai bahan bakar alternatif untuk sekarang ini dan menjadi bahan bakar utama dimasa depan seiring dengan habisnya cadangan bahan bakar yang berbasis pada energi fosil.

Salah satu solusi yang dapat digunakan dalam mengatasi ketersediaan bahan baku bioetanol adalah melalui usaha pembuatan bioetanol generasi kedua melalui pemanfaatan bahan-bahan berlignosellulosa yang mengandung struktur gula sederhana yang dapat diubah menjadi etanol yang mana ketersediaannya masih melimpah, murah dan masih belum banyak dimanfaatkan dalam skala besar.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas tentang pemanfaatan bahan-bahan berlignoselusosa dalam usaha pembuatan etanol generasi kedua, salah satunya melalui pemanfaatan rumput laut untuk dijadikan sumber bahan baku utama dalam produksi bioetanol yang dilakukan melalui tahapan proses hidrolisis dan fermentasi (Offei, Mensah, Thygesen, & Kemausuor, 2018).

Bab 3

Energi Angin

3.1 Pendahuluan

Angin adalah sumber energi yang tak terbatas dan sangat diharapkan dapat memiliki sumber energi pengganti atau energi alternatif. Kebutuhan energi di Indonesia masih dipenuhi dengan energi berbahan bakar fosil. Yang bersifat tidak dapat diperbaharui. Seiring dengan pertumbuhan penduduk dan banyaknya kebutuhan energi fosil dari tahun ke tahun. Maka tidak kemungkinan bawah nantinya negara ini akan mengalami krisis energi. Maka dari itu di butuhkan pola pikir untuk mengembangkan potensi energi lain. Seperti potensi yang di miliki energi angin. Agar nantinya Indonesia tidak termasuk negara terkena dampak krisis energi global. Maka dari itu energi angin perlu dimanfaatkan dengan maksimal. Pemanfaatan energi angin di Indonesia masih sangat sedikit, khususnya pemanfaatan dalam bidang pembangkit energi listrik. Ini dikarenakan minimnya pengetahuan masyarakat, khususnya masyarakat yang berada di tepi pantai tentang pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi pengganti atau energi alternatif. Masyarakat tepi pantai kebanyakan belum dapat memanfaatkan potensi energi angin yang berada di tepi pantai. Potensi ini dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif atau energi pengganti bahan bakar fosil. Oleh karena itu perlu ada terobosan buat pemanfaatan energi di tepi pantai. Agar dapat mengurangi biaya pengeluaran dalam rumah tangga.

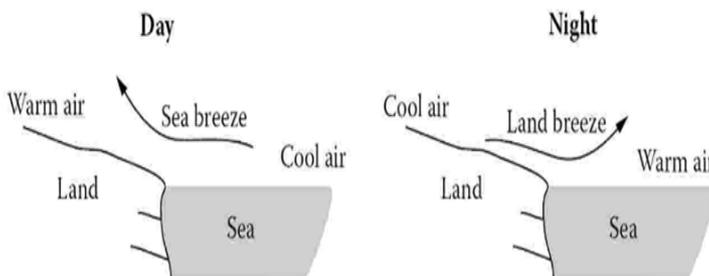
Ada salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu dengan membuat alat pembangkit listrik tenaga angin sebagai energi pengganti atau energi alternatif pada rumah di tepi pantai. Turbin Archimedes windmill adalah salah satu alat solusi pembangkit listrik tenaga angin yang potensial di tepi pantai. Turbin Archimedes windmill salah satu turbin yang berbentuk kincir angin yang mempunyai kelebihan di bandingkan dengan turbin angin lain.

Kelebihan turbin Archimedes windmill antara lain:

1. Dapat menghasilkan putaran tinggi walaupun mendapat kecepatan angin yang relatif renda.
2. Dapat bergerak mengikuti dan menangkap angin dari berbagai arah

3.2 Definisi Energi Angin

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara disekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah. Pemanasan oleh matahari, maka udara memuai. Tekanan udara yang telah memuai massa jenisnya menjadi lebih ringan sehingga naik. Apabila hal ini terjadi, tekanan udara turun. Udara disekitarnya mengalir ke tempat yang bertekanan rendah. Udara menyusut menjadi lebih berat dan turun ke tanah. Diatas tanah udara menjadi panas lagi dan naik kembali. Aliran naiknya udara panas dan turunnya udara dingin ini dikarenakan konveksi.



Gambar 3.1: Sirkulasi Udara di Pantai

3.3 Kincir Angin

Pembangkit listrik tenaga angin, memanfaatkan energi angin sebagai sumber energi. Pemanfaatan energi angin ini yaitu menggunakan kincir angin lalu dihubungkan menggunakan generator atau pun turbin. Setelah itu, proses yang dilakukan akan menghasilkan tenaga listrik yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Energi angin merupakan bentuk yang jauh berkelanjutan bebas dengan polusi energi. Pemanfaatan angin ini memang sangat disarankan karena jumlahnya yang tidak terbatas dan juga melimpah. Pemanfaatan energi angin ini sangat menarik karena tidak perlu menggunakan bahan bakar sebagai sumber energi. Tidak hanya itu, pemanfaatan energi angin ini juga tidak memberikan hasil gas rumah kaca dan juga limbah atau pun racun yang berlebihan. Energi ini berasal dari energi kinetik yang di konversi dan hadir dalam bentuk angin. Kemudian angin diolah ke yang lebih bermanfaat atau berguna.

Ada dua jenis kincir angin yang umum digunakan saat ini, yaitu berdasarkan arah poros berputar (sumbu): turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal.

3.4 Cara kerja tenaga angin

Awalnya energi angin memutar turbin angin, turbin angin bekerja berbanding terbalik dengan kipas angin (bukan menggunakan listrik untuk menghasilkan angin, namun menggunakan angin untuk menghasilkan listrik). Kemudian angin akan memutar sudut turbin, lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator di bagian belakang turbin angin.

Generator mengubah energi gerak ke energi listrik dengan teori medan elektromagnetik, yaitu poros pada generator dipasang dengan material ferro magnetik permanen. Setelah itu disekeliling poros terdapat stator yang bentuk fisiknya adalah kumparan-kumparan kawat yang berbentuk loop. Ketika poros motor mulai berputar, maka akan mengubah fluks pada stator, dari perubahan fluks ini yang akhirnya akan dihasilkan tegangan dan arus tertentu. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan untuk digunakan. Energi listrik ini biasanya akan disimpan ke dalam baterai sebelum dapat digunakan atau dimanfaatkan.

3.4.1 Blade wind turbine Sumbu Horizontal

Kebanyakan turbin angin yang digunakan saat ini adalah tipe sumbu horizontal. Turbin angin sumbu horizontal memiliki bilah baling-baling seperti di pesawat. Turbin angin jenis ini memiliki shaft rotor dan generator pada puncak tower dan harus diarahkan ke arah angin bertiup.



Gambar 3.2: Blade wind turbine Sumbu Horizontal

Berdasarkan penjelasan tentang wind turbine sumbu horizontal berikut kekurangan dan kelebihan dari jenis turbin angin poros horizontal tersebut.

Kekurangan turbin angin horizontal:

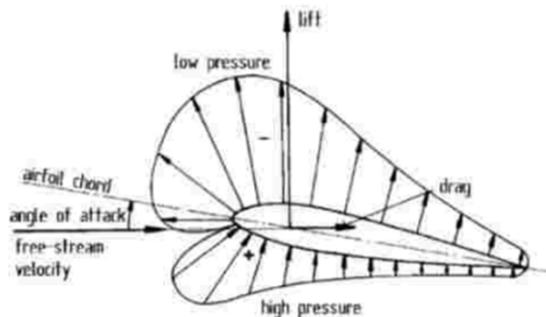
1. Membutuhkan konstruksi tower yang besar untuk mendukung beban gear box, blade dan juga generator.
2. Membutuhkan sistem rem untuk mencegah turbin mengalami kerusakan pada turbin ketika ada angin kencang.
3. Membutuhkan pengawasan dan kontrol secara berkala untuk mengarahkan blade ke arah angin.

Kelebihan turbin angin horizontal:

1. Tower nya yang tinggi memungkinkan untuk mendapatkan angin dengan kekuatan yang lebih besar untuk mendapatkan energi.
2. Efisiensi lebih tinggi. Hal ini dikarenakan blade selalu bergerak tegak lurus terhadap angin.

Turbin angin sumbu horizontal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi

rotornya paralel terhadap permukaan tanah. Turbin angin sumbu horizontal memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara dan diarahkan menuju dari arah datangnya angin untuk dapat memanfaatkan energi angin. Rotor turbin angin kecil diarahkan menuju dari arah datangnya angin dengan pengaturan baling – baling angin sederhana sedangkan turbin angin besar umumnya menggunakan sensor angin dan motor yang mengubah rotor turbin mengarah pada angin. Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin angin sumbu horizontal mengalami gaya lift dan gaya drag, namun gaya lift jauh lebih besar dari gaya drag sehingga rotor turbin ini lebih dikenal dengan rotor turbin tipe lift, seperti terlihat pada gambar 3.3



Gambar 3.3: Gaya Aerodinamik Rotor Turbin Angin Ketika Dilalui Aliran Udara

Dilihat dari jumlah sudu, turbin angin sumbu horizontal terbagi menjadi:

1. Turbin angin satu sudu (single blade)
2. Turbin angin dua sudu (double blade)
3. Turbin angin tiga sudu (three blade)
4. Turbin angin banyak sudu (multi blade)

3.4.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal

Jenis turbin angin yang kedua adalah turbin angin poros vertikal. Turbin angin jenis ini memiliki bilah yang memanjang dari atas ke bawah. Turbin angin vertikal biasanya berdiri setinggi 100 meter dengan lebar 50 kaki. Dengan sumbu vertikal, generator dan komponen primer lainnya dapat ditempatkan dengan permukaan tanah, sehingga tentu saja ini dapat mempermudah perbaikan lebih mudah. Jika dibandingkan dengan turbin angin poros horizontal, turbin angin ini memiliki kecepatan yang lambat, sehingga energi angin yang tersedia pun lebih rendah.



Gambar 3.4: Blade wind turbine Sumbu Vertikal

Kekurangan turbin angin poros vertikal:

1. Memiliki penurunan efisiensi. Jika dibandingkan dengan turbin angin poros horizontal, turbin angin poros vertikal memiliki penurunan efisiensi.
2. Hal ini dikarenakan adanya hambatan tambahan yang mereka miliki sebagai pisau memutar ke angin.
3. Memiliki kecepatan angin yang rendah. Yang kedua adalah jenis memiliki kecepatan angin yang rendah. Karena turbin angin poros vertikal memiliki rotor dekat dengan tanah.

Kelebihan turbin angin poros vertikal:

1. Yang pertama adalah turbin angin tidak memerlukan perawatan yang ekstra. Sehingga tidak membutuhkan biaya yang lebih banyak untuk merawatnya.
2. Yang kedua adalah turbin angin juga sangat mudah dirawat karena letaknya yang dekat dengan tanah.

Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya tegak lurus terhadap permukaan tanah. Jika dilihat dari efisiensi turbin, turbin angin sumbu horizontal lebih efektif dalam mengekstrak energi angin dibanding dengan turbin angin sumbu vertikal.

Meskipun demikian, turbin angin vertikal memiliki keunggulan, yaitu:

1. Turbin angin sumbu vertikal tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah, tidak seperti turbin angin horizontal yang memerlukan mekanisme tambahan untuk menyesuaikan rotor turbin dengan arah angin.
2. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar
3. Konstruksi turbin sederhana
4. Turbin angin sumbu vertikal dapat didirikan dekat dengan permukaan tanah, sehingga memungkinkan menempatkan komponen mekanik dan komponen elektronik yang mendukung beroperasinya turbin.

3.5 Asal Energi Angin

Semua energi yang dapat diperbaharui dan bahkan energi pada bahan bakar fosil, kecuali energi pasang surut dan panas bumi berasal dari matahari. Matahari meradiasi $1,74 \times 10^{17}$ Kilowatt jam energi ke Bumi setiap jam. dengan kata lain, bumi ini menerima daya $1,74 \times 10^{17}$ watt. Sekitar 1-2% dari energi tersebut diubah menjadi energi angin. Jadi, energi angin berjumlah 50-100 kali lebih banyak daripada energi yang diubah menjadi biomassa oleh seluruh tumbuhan yang ada di muka bumi.

Sebagaimana diketahui, pada dasarnya angin terjadi karena ada perbedaan temperatur antara udara panas dan udara dingin. Daerah sekitar khatulistiwa, yaitu pada busur 0° , adalah daerah yang mengalami pemanasan lebih banyak dari matahari dibanding daerah lainnya di Bumi.

Daya Mekanik

Daya mekanik adalah daya yang dimiliki angin terhadap turbin yang dikenai aliran tersebut

Di mana:

P_w : daya mekanik (W)

V : kecepatan angin (m/s)

ρ : densitas udara (ρ rata-rata: $1,2 \text{ kg/m}^3$)

Klasifikasi Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll.

Turbin angin terdahulu banyak digunakan di Denmark, Belanda, dan negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan windmill. Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. walaupun sampai saat ini penggunaan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (Co: PLTD, PLTU, dll), turbin angin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbaharui (Co: batubara dan minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik.

Angin adalah salah satu bentuk energi yang tersedia di alam, Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Cara kerjanya cukup sederhana, energy angin yang memutar turbin angin, diteruskan untuk memutar rotor pada generator dibelakang bagian turbin angin, sehingga akan menghasilkan energi listrik. Energi listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan. Secara sederhana sketsa kincir angin adalah sebagai berikut:



Gambar 3.5: Sketsa Sederhana Kincir Angin

Bab 4

Energi Geothermal

4.1 Pendahuluan

Energi terbarukan merupakan suatu istilah yang digunakan untuk menyebut sumber energi yang berasal dari suatu tempat yang dapat dipulihkan dalam jangka waktu pendek dalam hitungan skala waktu manusia. Energi terbarukan meliputi energi panas bumi (geothermal) dan beberapa bentuk energi surya seperti bioenergi (biofuel), hidroelektrik, energi angin, fotovoltaik, dan energi panas matahari. Berbagai sumber energi ini dapat diubah menjadi panas atau listrik untuk digunakan oleh manusia. Penggunaan energi terbarukan merupakan suatu hal yang sangat penting karena sudah menjadi tuntutan global (Fandari, Daryanto and Suprayitno, 2014).

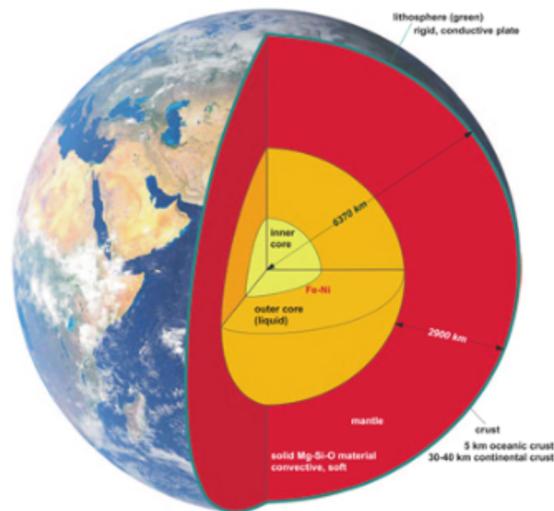
Energi panas bumi berpotensi menjadi sumber energi yang signifikan karena tersedia di mana-mana. Dari sudut pandang manusia, sumber daya geothermal pada dasarnya tidak terbatas. Energi geothermal dapat menghasilkan panas dan listrik secara terus menerus untuk kebutuhan manusia. Selain itu pemanfaatannya ramah lingkungan dan membutuhkan lahan yang tidak terlalu luas untuk membangun instalasi peralatan pemanfaatan geothermal. Energi geothermal dapat menjadi salah satu pilihan dalam mengatasi krisis listrik di dunia terutama di Indonesia (Ermawati and Negara, 2014).

Penggunaan energi geothermal tidak lepas dari sejarah penggunaan energi fosil seperti batu bara, minyak, dan gas alam. Penggunaan bahan bakar minyak, gas, dan batubara menyebabkan emisi gas rumah kaca dan masalah lingkungan yang berpengaruh terhadap kehidupan manusia. Selain itu, bahan bakar minyak dan gas berasal dari basis sumber daya yang tidak dapat diisi ulang. Sumber energi minyak dan gas berasal dari material yang secara geologi membutuhkan waktu jutaan tahun dalam pembentukannya, sehingga seiring dengan waktu semakin sulit dan mahal. Karena alasan inilah maka diperlukan sumber energi yang mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil atau menghilangkan produksi gas rumah kaca, salah satunya yaitu energi geothermal.

4.2 Sumber Energi Geothermal

Bumi mempunyai lapisan dengan ketebalan yang berbeda-beda. Secara garis besar ada tiga lapisan yang membentuk bumi yaitu kerak (litosfer), mantel, dan inti bumi (Gambar 4.1). Setiap lapisan tersebut mempunyai komposisi material dan kimia yang berbeda. Kerak bumi terbagi atas kerak benua dengan tebal sekitar 30-40 km dan kerak samudera dengan tebal sekitar 5 km. Mantel bumi mempunyai ketebalan sekitar 2900 km. Mantel menyelimuti inti bumi dan terdiri dari mineral yang relatif rendah silika dan mempunyai densitas yang relatif tinggi. Inti bumi terbagi atas dua yaitu inti luar dan inti dalam. Inti bumi merupakan material yang menjadi sumber dari panas bumi (geothermal). Energi geothermal atau panas bumi adalah energi panas yang tersimpan di dalam badan bumi. Suhu permukaan matahari sekitar 5800°C, yang setara dengan suhu di pusat bumi.

Munculnya panas bumi dari inti bumi ke permukaan tidak terjadi secara langsung tetapi melalui proses geologi yang menyebabkan panas tersebut bisa menembus permukaan bumi. Pergerakan panas inti bumi menyebabkan lapisan yang menyelimuti inti bumi ikut bergerak termasuk lempeng sehingga lempeng-lempeng tektonik mengalami deformasi dan menyebabkan tekanan dan panas dari dalam bumi mencari jalan keluar ke permukaan bumi. Suhu bumi mencakup 99% lebih panas dari 1000°C dan hanya 0,1% yang lebih dingin dari 100°C. Suhu rata-rata di permukaan bumi adalah 14°C.



Gambar 4.1: Struktur Bumi dan Lapisan Penyusunnya (Stober and Bucher, 2013)



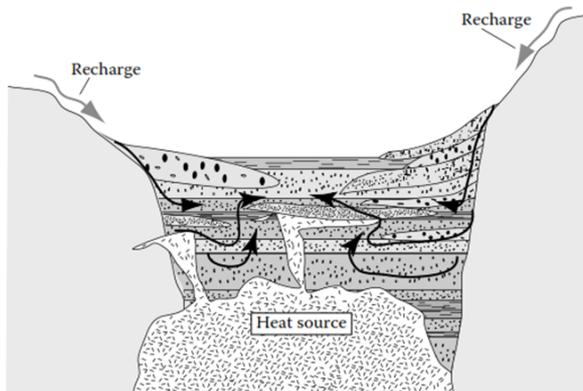
Gambar 4.2: Jalur Gunung Api, Patahan Dan Zona Subduksi Akibat Dari Tektonik Lempeng Sebagai Potensi Sumber Energi Geothermal (Frisch, Meschede and Blakey, 2011)

Keberadaan panas bumi di suatu daerah dapat diketahui melalui ciri-ciri permukaan yang menunjukkan adanya potensi panas bumi di daerah tersebut, antara lain adanya gunung api, mata air panas, semburan air panas dan lain sebagainya. Sumber energi geothermal berada di jalur gunung api, zona subduksi dan patahan (Gambar 4.2). Pada peta yang terlihat pada Gambar 4.2

menunjukkan bahwa potensi sumber energi geothermal sangat banyak dan ada di mana-mana. Indonesia sebagai daerah zona subduksi dan gunung aktif merupakan salah satu daerah dengan potensi geothermal terbesar di dunia. Hal ini memunculkan optimisme bahwa geothermal adalah salah satu harta karun Indonesia untuk menuju ketahanan energi (Marry et al., 2017).

4.3 Sistem Geothermal

Sistem geothermal merupakan suatu sistem yang menggambarkan kondisi bawah permukaan bumi yang menunjukkan adanya formasi batuan yang berisi air panas dalam kondisi tertentu sehingga mampu menghasilkan tekanan dan panas sampai ke permukaan. Sistem geothermal umumnya terbentuk melalui proses geologi yang sangat lama, yang diawali oleh adanya magma yang memanaskan batuan di atasnya, sehingga batuan yang panas tersebut mampu memanaskan air yang ada dalam batuan tersebut. Pemanasan yang terjadi terus menerus menyebabkan munculnya tekanan terhadap air sehingga akan menghasilkan suatu energi panas yang muncul ke permukaan. Keberadaan air dalam formasi dipengaruhi oleh adanya air hujan yang masuk ke dalam pori-pori batuan. Hal ini menyebabkan air hujan dan air formasi batuan sangat berkaitan dan merupakan hal yang sangat utama dalam keberadaan sistem geothermal. Batuan dan air yang ada dalam sistem geothermal disebut dengan istilah reservoir geothermal.



Gambar 4.3: Sistem Geothermal yang Terdiri Dari Sumber Panas, Potensi Sumber Energi Geothermal (Glassley, 2010)

Gambar 4.3 menunjukkan sistem geothermal standar dengan proses dan kondisi geologi yang mengontrol aliran air (Glassley, 2010). Dalam sistem geothermal air dalam reservoir harus tetap ada secara terus menerus. Pengisian ulang (recharge) air berasal dari hujan kemudian masuk ke dalam bumi, air yang masuk tadi kemudian mengalami pemanasan dan menjadi energi panas yang selanjutnya menuju ke permukaan untuk dimanfaatkan menjadi energi geothermal. Situasi ini terjadi secara terus-menerus dan berkesinambungan membentuk siklus dalam sistem *geothermal*. Hal ini menyebabkan pentingnya permeabilitas batuan dalam *reservoir geothermal*.

Kontrol mendasar pada pergerakan air bawah permukaan adalah jumlah ruang di batuan yang tersedia untuk ditempati air dan karakteristik fisik ruang tersebut. Perbedaan utama dalam jalur aliran adalah antara aliran di dalam dan melalui tubuh batuan (aliran matriks) dan aliran di dalam rekahan yang mungkin ada (aliran rekahan). Pori-pori batuan adalah ruang terbuka antara butiran di kerikil, pasir, tanah, dan batu. Pada kerikil dan pasir kasar, ruang pori dapat menjadi besar (sebagian besar cm, misalnya) dan menempati sebanyak 40% dari total volume batuan, sementara pada pasir halus, lumpur, dan batuan, ukuran pori-pori bisa sangat kecil (dalam urutan fraksi kecil mm hingga $1e-6$ m atau kurang) dan total volume pori mungkin hanya beberapa persen atau kurang dari total volume batuan (Glassley, 2010).

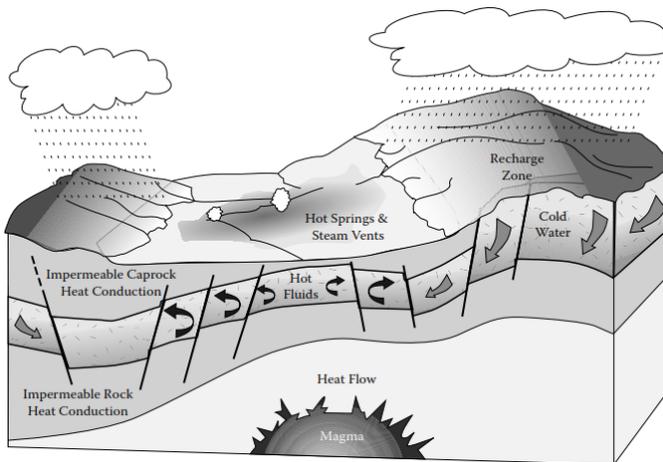
Fraksi ruang pori yang sebenarnya berisi air juga sangat bervariasi, terutama bergantung pada iklim, elevasi, dan kemampuan tanah atau batuan untuk mengalirkan air. Sejauh mana pori-pori terisi disebut saturasi. Di daerah dengan curah hujan tinggi dan elevasi rendah, kondisi jenuh penuh biasanya dijumpai dalam beberapa meter hingga beberapa puluh meter di bawah permukaan tanah. Muka air tanah statis adalah titik di bawah batuan yang sepenuhnya jenuh (tersaturasi penuh).

Antara muka air tanah dan permukaan tanah, tanah atau batuan berada dalam zona tak jenuh atau zona vadose. Di dalam zona tak jenuh, batuan tidak akan kering, dalam arti bahwa air benar-benar tidak ada di dalam pori-pori, meskipun sampel material dari zona tak jenuh tampak benar-benar kering. Air akan tertahan pada titik-titik kontak antar butir, dan di dalam pori-pori kecil akibat tegangan permukaan air. Sejauh mana hubungan geometri pori-tegangan permukaan ini memengaruhi kemampuan batuan untuk menahan air disebut hisap kapiler atau potensial hisap kapiler. Satu-satunya kondisi di mana batuan benar-benar bebas dari air di bawah permukaan adalah ketika suhu sekitar meningkat secara signifikan di atas titik didih air.

4.4 Tipe Sistem Sumber Daya Geothermal

Ada banyak penggolongan tipe sumberdaya geothermal. Sumberdaya geothermal terbagi atas beberapa tipe yaitu sistem hidrotermal konvektif, EGS (Enhanced geothermal system), sistem sedimen konduktif, koproduksi, sistem geopressure, dan energi magma (Nelson, 2015).

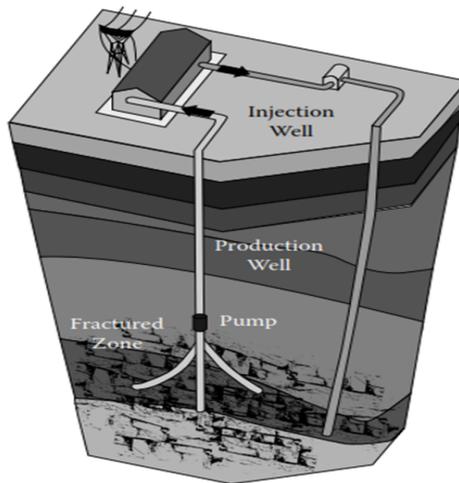
Sistem hidrotermal konvektif merupakan reservoir panas yang memiliki permeabilitas dan porositas yang cukup tinggi untuk terjadinya konveksi air. *Reservoir* memiliki lapisan batuan yang tidak dapat ditembus untuk menahan panas tetapi rekahan yang cukup untuk mengisi ulang (Gambar 4.4). Indikasi permukaan dari reservoir tersebut adalah mata air panas, geysir, dan sejenisnya, dan reservoir tersebut mungkin berasosiasi atau tidak dengan gunung berapi. Distribusi sistem ini terbatas di seluruh dunia namun telah digunakan sepanjang sejarah dan telah dieksploitasi untuk penggunaan langsung termasuk sebagai pembangkit listrik.



Gambar 4.4: Reservoir Panas Hidrotermal (Nelson, 2015)

Sistem *geothermal* EGS merupakan sistem geothermal pada batuan konduktif panas dengan permeabilitas dan porositas rendah (Nelson, 2015). Hal ini menyebabkan perlu dilakukan perekahan di dalam lubang bor agar permeabilitas dan porositas menjadi lebih besar. Untuk mengetahui termal

gradien maka harus dilakukan pengeboran selanjutnya diikuti dengan sumur injeksi dan perekahan formasi (Gambar 4.5). Tantangan utama pada sistem EGS adalah menciptakan volume batuan rekahan yang besar, menyediakan aliran yang cukup untuk produksi komersial, meminimalkan pendinginan, dan meminimalkan kehilangan air. Kendala utama adalah menciptakan konektivitas yang memadai di dalam wilayah terstimulasi reservoir EGS untuk memungkinkan tingkat produksi yang tinggi tanpa mengurangi masa pakai reservoir dengan pendinginan yang terlalu cepat.



Gambar 4.5: Reservoir EGS (Enhanced Geothermal System) melalui Perekahan Pada Sumur Geothermal (Nelson, 2015)

Sistem sedimen konduktif merupakan sistem geothermal yang memiliki cekungan dengan aliran panas yang tinggi, dan secara umum diperlukan rekahan. Sistem geothermal seperti ini memiliki letak sumber daya yang dalam sehingga membutuhkan biaya pengeboran yang tinggi. Sistem sedimen konduktif ini masih jarang yang dikembangkan dalam bentuk komersial.

Sistem koproduksi merupakan sistem geothermal yang menggabungkan panas bumi dengan lapangan minyak dan gas. Beberapa daerah pengembangan minyak dan gas memiliki temperatur yang relatif tinggi. Kondisi ini memungkinkan adanya sumberdaya geothermal yang bisa dimanfaatkan untuk keperluan masyarakat setempat.

Sistem geopressure merupakan sistem geothermal yang memiliki tekanan reservoir yang lebih tinggi dari tekanan hidrostatik. Sistem geothermal seperti ini sangat terbatas dan tidak banyak ditemukan. Selain energi panas, ada energi kinetik dan energi dari metana. Ada beberapa tantangan teknis untuk memulihkan energi *geopressure*.

Energi magma terlokalisasi merupakan sistem geothermal dengan sumber energi dari magma yang terdapat pada lokasi tertentu. Sistem ini memanfaatkan energi magma yang terperangkap pada suatu tempat dan umumnya ada banyak tantangan teknis untuk menggunakan energi dari sistem seperti ini.

Selain yang disebutkan di atas, sistem geothermal juga dapat dibagi berdasarkan kedalaman dan alat pengeborannya yaitu:

1. *Ground heat collectors* yaitu sistem geothermal pada kedalaman dangkal sekitar 5 km di bawah permukaan bumi.
2. *Two-well system* yaitu yaitu sistem geothermal menggunakan dua sumur dengan kedalaman lebih dari pada *ground heat collectors*.
3. *Shallow geothermal probe* yaitu sistem geothermal menggunakan alat bor dangkal tetapi lebih dalam dari pada sistem *two-well system*.
4. *Deep geothermal probe* yaitu sistem geothermal menggunakan alat bor yang dalam sekitar 2000 km di bawah permukaan bumi.
5. *Hydrothermal doublet* yaitu sistem geothermal yang menggunakan dua sumur (produksi dan injeksi) tetapi lebih dalam dan membutuhkan peretakan akuifer.
6. *Enhanced geothermal system* yaitu sistem geothermal dua sumur (produksi dan injeksi) tetapi lebih dalam dari pada *hydrothermal doublet* dan membutuhkan peretakan batuan dasar.

4.5 Eksplorasi Geothermal

Eksplorasi geothermal merupakan suatu usaha yang dilakukan untuk mencari dan menemukan sumber energi geothermal menggunakan metode tertentu. Ada berbagai macam metode yang digunakan dalam eksplorasi geothermal antara lain yaitu:

1. Geologi lapangan dan manifestasi permukaan.
2. Metode Geokimia
3. Metode Geofisika

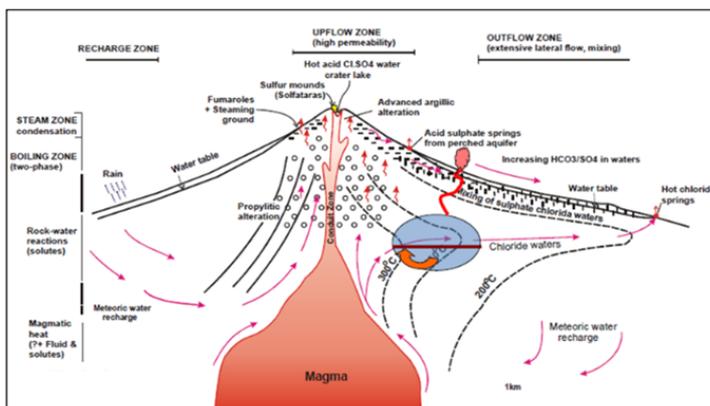
Pendekatan umum dalam eksplorasi geothermal yaitu terlebih dahulu dengan menganalisis informasi geologi yang tersedia (seperti peta geologi, catatan bor, dan fitur permukaan) untuk mengidentifikasi lingkungan yang mungkin memiliki sumber daya. Setelah target diidentifikasi, dilakukan studi geokimia untuk menentukan kondisi permukaan dan bawah permukaan. Metode geokimia melibatkan pengambilan sampel air dari mata air, sungai, dan air tanah, atau memeriksa inti bor untuk melihat apakah ada fitur alterasi yang berkaitan dengan aktivitas panas bumi. Jika hasil studi tersebut menjanjikan, maka teknik yang lebih mahal digunakan untuk mengevaluasi target potensial lebih lanjut. Ini dapat mencakup survei geofisika yang melibatkan studi aeromagnetik atau resistivitas, atau survei penginderaan jauh menggunakan teknik inframerah dan hiperspektral. Terakhir, setelah target ditetapkan, program pengeboran dilakukan untuk menyempurnakan konsep dan model serta untuk mengeksploitasi energi geothermal.

4.5.1 Geologi Lapangan dan Manifestasi Permukaan

Fitur geologi untuk mengidentifikasi area target geothermal adalah gunung api aktif. Gunung api yang aktif selalu berhubungan dengan sistem sirkulasi panas bumi yang berasal dari magma yang berada di dalam kerak atas pada kedalaman hingga beberapa puluh kilometer. Sebagian besar gunung api tua tidak lagi mempertahankan bentuk klasik gunung berapi, karena banyak di antaranya telah mengalami fase letusan dahsyat yang menghancurkan bangunan vulkanik, diikuti oleh erosi yang luas. Sistem seperti itu membentuk kaldera setelah letusan. Ketika ini terjadi, sesar yang kompleks menyelimuti apa yang tersisa dari gunung berapi, memungkinkan cairan keluar ke permukaan.

Situasi ini akan memunculkan ciri-ciri khusus di atas permukaan bumi yang dikenal dengan sebutan manifestasi permukaan. Beberapa manifestasi permukaan yang mencirikan adanya sumber energi geothermal antara lain yaitu kolam air panas, pot lumpur yang menggelegak, aliran uap, dan geyser adalah ekspresi nyata dari sistem aktif di mana air dipanaskan di kedalaman dan kemudian keluar ke permukaan (Gambar 4.6). Identifikasi geothermal melalui manifestasi permukaan juga dapat dilakukan dengan mengukur suhu

di permukaan tanah dan geomorfologi melalui metode penginderaan jauh seperti yang dilakukan di daerah Pegunungan Ijen, Jawa Timur (Cahyono, Jannah and Suprianto, 2019).



Gambar 4.6: Model Konseptual Geothermal yang Menampilkan Manifestasi Permukaan Akibat Dari Sumber Panas Bumi (Ochieng, 2013)

4.5.2 Metode Geokimia

Metode geokimia adalah metode eksplorasi yang memanfaatkan perbedaan anomali geokimia antara target dengan kondisi sekitarnya. Secara umum kegiatan dalam eksplorasi geokimia meliputi perencanaan, pengambilan sampel, analisis kimia dan interpretasi (Moon, Whateley and Evans, 2006). Dalam eksplorasi geothermal metode geokimia melibatkan pengambilan sampel fluida dari mata air, sungai, dan air tanah untuk melihat apakah ada fitur alterasi yang berkaitan dengan aktivitas panas bumi di suatu daerah.

Fluida geothermal menunjukkan rentang komposisi yang luas. Hubungan termodinamika dan kinetik menentukan bagaimana fluida berinteraksi dengan matriks batuan yang dilaluinya. Akibatnya, air panas mengandung tanda kimia yang mencerminkan interaksi batuan dan air di sepanjang jalur alirannya. Asalkan cairan bermigrasi ke permukaan pada tingkat yang cukup tinggi untuk mencegah re-equilibration ekstensif dengan batuan sekitarnya, air yang telah berinteraksi dengan reservoir geothermal akan memiliki rekaman interaksi suhu tinggi tersebut. Atas dasar model konseptual inilah geotermometer telah dikembangkan. Penggunaannya dalam eksplorasi geothermal sekarang menjadi praktik umum.

Isotop stabil memberikan cara yang ampuh untuk mengeksplorasi asal dan evolusi air geothermal yang melengkapi informasi yang diperoleh dari analisis air standar. Analisis isotop membutuhkan kehati-hatian yang jauh lebih besar dalam pengumpulan sampel dan perlakuan sampel, serta lebih mahal dan memakan waktu untuk dilakukan dari pada analisis kimia air curah. Namun, seringkali dapat memberikan hasil yang mengatasi ambiguitas yang umumnya terkait dengan survei geokimia standar. Isotop yang paling sering digunakan adalah oksigen, hidrogen, dan helium.

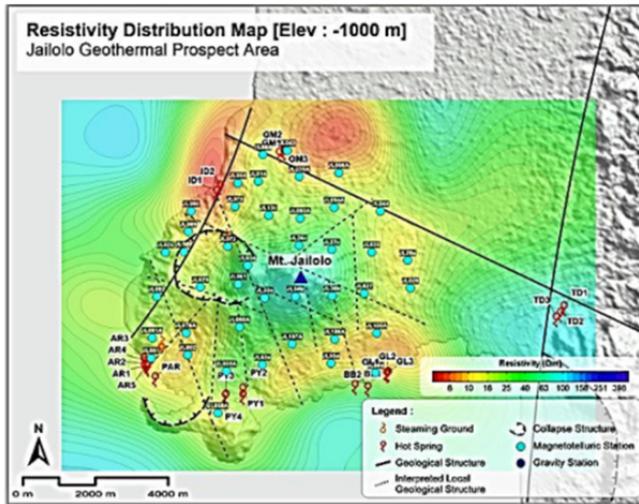
4.5.3 Metode Geofisika

Geofisika merupakan ilmu alam yang mempelajari proses fisik dan sifat-sifat seluruh bumi dari bagian terdalam hingga permukaan. Studi geofisika selalu kuantitatif yang berkaitan dengan pengukuran aktual berdasarkan variasi pola respons atau kontras penjalaran sifat fisis yang melewati media non-homogen. Parameter geofisika meliputi seismik, densitas, suseptibilitas magnetik, konduktivitas listrik, resistivitas, dan pancaran elektromagnetik dan radiometrik. Parameter geofisika akan memunculkan respon tertentu ketika menjalar pada: bidang batas jenis batuan, struktur, stratigrafi, endapan mineral, air, minyak, dan gas (Haldar, 2018). Beberapa metode geofisika yang digunakan dalam eksplorasi geothermal antara lain yaitu metode magnetik, resistivitas, magnetotellurik, dan lain sebagainya.

Metode magnetik merupakan salah satu metode geofisika yang digunakan untuk menyelidiki geologi bawah permukaan berdasarkan anomali medan magnet bumi yang dihasilkan dari sifat magnetik batuan (Kearey, Brooks and Hill, 2002). Batuan bersifat magnetis dalam derajat yang berbeda-beda, tergantung pada mineralogi, sejarah, suhu dan tekanan. Anomali magnetik yang menarik untuk eksplorasi geothermal dihasilkan dari fakta bahwa sifat magnetik batuan sensitif terhadap alterasi hidrotermal. Ketika fluida yang panas dan mengalir bermigrasi melalui batuan, perubahan mineralogi asli akan terjadi. Ini biasanya mencakup transformasi mineral magnetik seperti magnetit menjadi mineral hidroksida yang tidak bersifat magnetis dan memiliki suseptibilitas magnetik yang rendah, sehingga mengurangi suseptibilitas magnetik batuan secara keseluruhan. Mineral lempung seringkali akhirnya menggantikan mineral lain yang memiliki kerentanan magnetik yang signifikan, juga, konsekuensi bersihnya adalah anomali magnetik yang rendah dapat mengindikasikan alterasi hidrotermal yang dapat diasosiasikan dengan sistem geothermal. Keberadaan wilayah dengan intensitas magnet rendah di

bawah permukaan pada kedalaman 500–1000 meter di bawah permukaan bumi merupakan target yang berpotensi menarik yang ditunjukkan dengan adanya batuan yang berinteraksi dengan fluida panas, menghasilkan pembentukan lempung dan perubahan mineral magnetik.

Metode resistivitas merupakan metode geofisika yang memanfaatkan hambatan listrik sebagai fungsi dari sifat material. Metode resistivitas umumnya digunakan dalam studi air tanah dan lingkungan (Dentith and Mudge, 2014). Batuan dan material geologi umumnya merupakan konduktor listrik yang buruk dan memiliki resistivitas tinggi, yang diukur dalam satuan ohm-meter. Adanya pori-pori dan rekahan fluida, terutama fluida yang memiliki konsentrasi tinggi spesies terlarut yang bermuatan listrik, meningkatkan konduktivitas batuan secara substansial dan dengan demikian mengurangi resistensi. Metode resistivitas sangat ampuh untuk mengetahui keberadaan air sebagai salah satu parameter sistem geothermal.



Gambar 4.7: Peta Resistivitas Potensi Geothermal (Fahmi, Daud and Aswo Nuqramadha, 2022)

Batuan dan mineral mempunyai nilai resistivitas yang sangat bervariasi, dengan nilai terendah oleh lempung, air pori salin, drainase batuan asam, bijih sulfida, logam asli, dan grafit, sedangkan batuan dan mineral biasa memiliki konduktivitas rendah, karena kontras ini digunakan dalam eksplorasi (Revuelta, 2018). Pengukuran resistivitas dilakukan dengan menggunakan serangkaian alat yang didistribusikan dengan jarak puluhan hingga ratusan

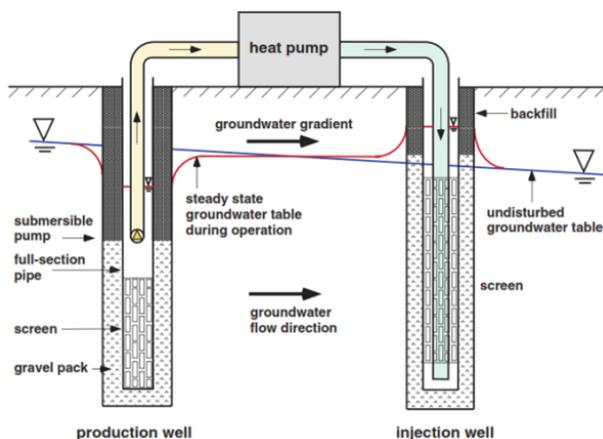
meter, untuk mendeteksi respons listrik bumi terhadap injeksi impuls listrik. Dengan melakukan serangkaian pengukuran semacam itu menggunakan distribusi alat yang berbeda, dimungkinkan untuk merekonstruksi distribusi hambatan listrik di bebatuan beberapa ratus meter di bawah permukaan tanah. Karena air panas bumi yang mengalir dapat dideteksi sebagai zona dengan resistansi rendah, adalah mungkin untuk memetakan sumber daya panas bumi dengan menggunakan teknik tersebut. Umumnya, zona aliran digambarkan oleh gradien curam yang membatasi daerah resistivitas rendah. Gambar 4.7 menunjukkan hasil metode resistivitas pada lapangan Jailolo, Halmahera.

Survei magnetotellurik merupakan metode yang efektif untuk mencitrakan struktur yang lebih dalam dengan menggunakan sumber elektromagnetik alami bumi (Lowrie, 2007). Magnetotellurik memanfaatkan fakta bahwa medan magnet bumi bervariasi dalam intensitas dan orientasi sepanjang hari, sehingga menginduksi arus listrik yang kecil namun dapat dideteksi di kerak bumi. Frekuensi arus tersebut mencakup rentang yang luas, sehingga memungkinkan analisis multispektral dari variasi medan elektromagnetik lokal. Survei semacam itu dilakukan selama berjam-jam atau berhari-hari, dengan laju pengambilan sampel bervariasi dari interval terus menerus hingga interval detik. Menyebarkan sensor di lanskap memungkinkan rekonstruksi tomografi geologi, karena arus ditentukan oleh respons yang mendasari batuan yang berbeda terhadap medan magnet yang berubah. Hasilnya adalah gambaran yang sangat jelas tentang distribusi sifat elektromagnetik di bawah permukaan.

4.6 Pengeboran Geothermal

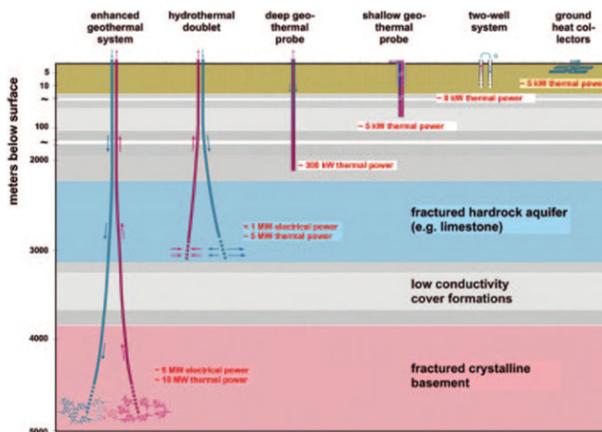
Pengeboran geothermal merupakan usaha yang dilakukan untuk eksploitasi sumberdaya geothermal. Pengeboran digunakan untuk mengambil sampel batuan dan tanah di bawah permukaan untuk menentukan hal-hal seperti konduktivitas termal, porositas dan permeabilitas, gradien suhu, dan parameter lain yang memengaruhi evaluasi sumberdaya. Pengeboran juga diperlukan untuk mengakses fluida geothermal dan memastikan pasokan panas yang konsisten pada tingkat yang terkendali. Pengeboran diperlukan juga saat injeksi ulang fluida pada sumur geothermal. Pengeboran seringkali merupakan salah satu usaha tunggal termahal yang dihadapi saat mengembangkan geothermal. Untuk alasan ini, diperlukan pertimbangan yang cermat saat

memilih lokasi bor dan jenis teknologi pengeboran yang akan digunakan (Glassley, 2010).



Gambar 4.8: Sistem Sumur Geothermal Dengan Sumur Produksi Dan Sumur Injeksi (Stober and Bucher, 2013)

Desain pengeboran merupakan salah satu hal yang sangat penting sebelum dilakukan pengeboran untuk meminimalisir anggaran dan efisiensi waktu saat pengeboran. Salah satu metode pengeboran yang saat ini dikembangkan di Indonesia untuk pengeboran geothermal adalah metode pengeboran slim hole (slim hole drilling). Pengeboran slim hole merupakan pengeboran yang bertujuan untuk mengurangi biaya dengan diameter kurang dari 6 inch (Efrata, Febriyanto and Nurhidayat, 2022). Walaupun demikian pengeboran dalam geothermal tetap mengedepankan aspek keamanan. Hal ini disebabkan pengeboran geothermal berkaitan dengan suhu yang tinggi sehingga membutuhkan pengaman atau casing lubang bor yang kuat untuk menahan panas. Jenis pengeboran dalam sumur geothermal juga disesuaikan dengan kedalaman (Gambar 4.9). Pengeboran yang ditampilkan pada Gambar 4.9 dilakukan berdasarkan sistem geothermal berbasis kedalaman sumber energi geothermal.

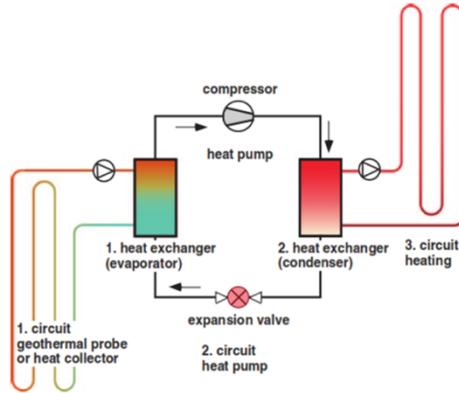


Gambar 4.9: Sistem Pengeboran Sumur Geothermal (Stober and Bucher, 2013)

4.7 Penggunaan Energi Geothermal

Energi geothermal merupakan salah satu sumber energi yang dapat digunakan untuk mengurangi ketergantungan manusia terhadap penggunaan minyak dan gas bumi. Sebagian besar energi geothermal digunakan untuk pemanas, pertanian, dan memenuhi kebutuhan listrik. Kehidupan manusia dan perkembangan industri sangat ketergantungan dengan listrik sehingga penggunaan energi geothermal sangat membantu dalam mengimbangi penggunaan minyak, gas dan batubara sebagai sumber energi listrik (Meilani and Wuryandani, 2010).

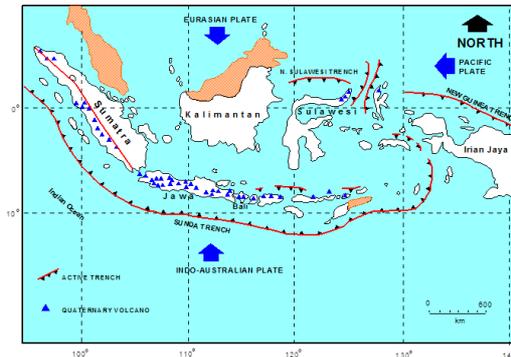
Penggunaan energi geothermal membutuhkan serangkaian alat yang didesain sedemikian rupa agar bisa digunakan sebagai pemanas dan listrik, seperti yang terlihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10: Skema Rangkaian Pompa Kalor Untuk Pemanas (Stober and Bucher, 2013)

4.8 Geothermal di Indonesia

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan gunung api aktif (Gambar 4.11) yang berasosiasi dengan 7000 km panjang lempeng tektonik. Indonesia termasuk salah satu negara yang mempunyai potensi geothermal yang sangat besar yaitu 27000 Mwe atau setara dengan 40% sumberdaya energi geothermal dunia. Sumberdaya geothermal di Indonesia sebagian besar berada di Sumatera, Jawa, Bali dan Sulawesi Utara.



Gambar 4.11: Peta Gunung Api di Indonesia (Fauzi, Bahri and Akuanbatin, 2000)

Indonesia mempunyai total 217 prospek geothermal dengan 70 prospek merupakan sistem geothermal temperatur tinggi yang ada di Pulau Sumatera, Jawa-Bali, Sulawesi dan daerah-daerah lain. Pulau Sumatera mempunyai 31 prospek dengan sumberdaya 9561 MWe. Pulau Jawa dan Bali mempunyai 22 prospek dengan sumberdaya 5681 MWe. Pulau Sulawesi mempunyai 6 prospek dengan sumberdaya 1565. Daerah lainnya mempunyai 11 prospek dengan sumberdaya 2850.

Bab 5

Hydropower

5.1. Pendahuluan dan Sejarah Hydropower

Tenaga air (Hydropower) mungkin merupakan sumber energi terbarukan pertama di dunia untuk dieksploitasi dan salah satu sumber tenaga mekanik pertama umat manusia. Ada indikasi bahwa penggunaan tenaga air mungkin telah dikenal di Mesopotamia sejak 4000 sebelum masehi, namun interpretasi sulit dibuktikan. Bukti yang lebih jelas dapat ditemukan pada milenium pertama sebelum masehi.

Referensi sastra paling awal yang diketahui ditemukan dalam sebuah puisi Yunani tahun 85 SM dan terdapat juga dalam teks-teks Romawi. Papirus Mesir dari abad kedua dan ketiga sebelum Masehi juga menunjukkan penggunaan kincir air. Roda sederhana digunakan untuk menggerakkan pabrik dan menggiling biji-bijian dikenal di Cina selama abad pertama Masehi dan pada awal milenium kedua teknologi ini digunakan secara luas di seluruh Asia dan Eropa. Kopling kincir air dengan generator untuk menyediakan tenaga listrik dimulai pada akhir abad ke-19 di Eropa dan Amerika Serikat (Breeze 2018).

Perkembangan penggunaan tenaga air (hydropower) dimulai pada pertengahan tahun 1770-an oleh insinyur Perancis bernama Bernard Forest de Belido yang menerbitkan buku berjudul *Architecture Hydraulique*. Buku tersebut menjelaskan mengenai mesin hidrolis sumbu vertikal dan horizontal. Kemudian pada akhir abad ke-19 generator air mulai dikembangkan dan dapat dipasang pada mesin hidrolis. Pada tahun 1878 pembangkit listrik *hydropower* pertama dikembangkan oleh William George Armstrong di Craggside, Northumberland, Inggris. Generator ini digunakan untuk menyalakan sebuah lampu busur di ruang galeris seninya. Selanjutnya pembangkit listrik bernama Schoelkopf No.1 di dekat air terjun Niagara, Amerika Serikat pada tahun 1881 juga berhasil menghasilkan listrik. Sedangkan pembangkit listrik ciptaan Edison (Vulcan Street) mulai beroperasi pada tanggal 30 September 1882 di Appleton, Wisconsin yang menghasilkan listrik berkapasitas 12.5 kilowatt.

Tenaga air pada dasarnya adalah sebuah kekuatan yang berasal dari energi air yang mengalir. Tenaga air (Hydropower) menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan sumber energi lainnya, namun pada sisi lain terdapat pula kekurangan yang juga harus dipertimbangkan. Keunggulan dari *hydropower* adalah merupakan sumber energi terbarukan dan tidak mencemari planet kita dengan emisi CO₂ yang berbahaya, tidak seperti pembakaran pada bahan bakar fosil.

Tenaga air merupakan sumber energi yang jauh lebih stabil (konstan) dibandingkan dengan tenaga angin dan tenaga surya karena setelah bendungan selesai dibangun listrik dapat diproduksi pada tingkat stabil. Setelah bendungan dibangun, mereka tidak hanya sangat efisien tetapi juga dirancang untuk bertahan dalam waktu yang sangat lama, dengan biaya operasional dan pemeliharaan yang relatif rendah.

Pembangkit listrik tenaga air sebenarnya merupakan salah satu sumber energi yang paling dapat diandalkan, dan energi terbarukan yang paling efisien dalam menjamin pasokan listrik secara konstan di berbagai belahan dunia.

Pembangkit listrik tenaga air juga dapat memberikan kontribusi terhadap pertumbuhan ekonomi di daerah tempat bendungan dibangun karena danau yang terbentuk di belakang bendungan tidak hanya sering digunakan untuk tujuan irigasi tetapi juga untuk pariwisata dan rekreasi dalam bentuk olahraga air, memancing, berenang, berperahu, dan jenis rekreasi lainnya. Dan tentu saja, pemanfaatan tenaga air tidak menghasilkan limbah seperti pada beberapa sumber energi lain (terutama bahan bakar fosil dan energi nuklir).

Ketika membicarakan kerugian tenaga air, banyak orang yang menunjuk kerusakan lingkungan yang dapat terjadi sebagai hasil dari pembangunan bendungan. Misalnya bendungan tenaga air dapat mengganggu aliran alami sungai yang dapat memiliki banyak dampak negatif pada ekosistem sungai. Jika bendungan yang dibangun benar-benar besar, hal ini dapat menyebabkan erosi, tanah longsor dan kerusakan geologi yang serius (kasus ini terjadi pada pembangunan Three Gorges Dam di Cina dan Hoover Dam di Amerika Serikat). Hal ini juga dapat menyebabkan banjir, dan kadang-kadang masyarakat setempat bahkan harus meninggalkan rumah mereka (ini yang terjadi pada Three Gorges Dam yang mengakibatkan 1,24 juta orang mengungsi karena banjir serius). Bendungan pembangkit listrik tenaga air juga dapat mengubah tingkat aliran, pola aliran, suhu air, yang kesemuanya dapat memberikan efek yang sangat berbahaya terhadap satwa liar.

Kekurangan tenaga air dari segi ekonomi meliputi biaya awal yang sangat besar untuk membangun bendungan untuk pembangkit listrik tenaga air, yang berarti bahwa pembangunan pembangkit listrik tenaga air harus beroperasi setidaknya selama beberapa dekade sebelum mulai membawa keuntungan. Juga, di saat kekeringan ketika tidak ada air yang cukup, tenaga air tidak bisa menghasilkan tenaga listrik

Terlepas dari potensi dan keunggulannya yang jelas, pengembangan tenaga air seringkali sulit, terutama jika menyangkut proyek besar. Proyek pembangkit listrik tenaga air besar seringkali sangat mengganggu dan jika tidak dikembangkan secara sensitif, proyek tersebut dapat menyebabkan berbagai masalah lingkungan. Pembangkit listrik tenaga air yang besar, terutama yang melibatkan bendungan dan waduk, pasti akan mengubah lingkungan di mana mereka dibangun yang mengarah pada pemindahan manusia dan satwa liar serta perusakan ekologi. Dengan hati-hati perubahan ini dapat dikelola tetapi pengembangan yang ceroboh dan terkadang sembrono selama paruh kedua abad ke-20 menyebabkan pembangkit listrik tenaga air memperoleh reputasi buruk selama tahun 1980-an dan 1990-an.

Sejak saat itu industri telah melakukan upaya untuk mereformasi praktiknya dan Komisi Dunia untuk Bendungan membahas masalah utama dalam Bendungan dan Pembangunan: Kerangka Kerja Baru untuk Pengambilan Keputusan.² Laporan ini mengusulkan penilaian ulang yang lengkap atas kriteria dan metode yang digunakan untuk menentukan apakah proyek pembangkit listrik tenaga air yang besar harus dibangun.

Itu juga menjabarkan pendekatan untuk pengambilan keputusan yang mempertimbangkan semua masalah lingkungan dan hak asasi manusia yang mungkin diangkat oleh sebuah proyek, sebuah pendekatan yang berpotensi menyaring proyek-proyek yang buruk tetapi memungkinkan proyek-proyek yang dirancang dengan baik untuk dilanjutkan. Ketika proyek dirancang dengan baik dan konstruksi dilakukan dengan hati-hati, skema pembangkit listrik tenaga air yang besar memiliki potensi untuk mengubah kehidupan mereka yang mendapat manfaat darinya. Banyak skema semacam itu menyediakan air untuk irigasi dan sumber air minum serta listrik dan mereka juga memungkinkan industri baru didirikan.

Kapasitas tenaga air tumbuh dengan kuat selama abad ke-20 dan sampai akhir abad itu, itu adalah satu-satunya sumber tenaga listrik terbarukan yang signifikan. Menurut Internasional Hydropower Association (IHA) total kapasitas tenaga air yang terpasang secara global mencapai 1.246 GW pada akhir tahun 2016, termasuk pembangkit listrik tenaga air yang dipompa, yang sebelumnya IHA memperkirakan bahwa kapasitas hydropower secara global mencakup setidaknya 11.000 pembangkit listrik dan 27.000 unit pembangkit yang penggerakannya bersumber dari hydro. Total pembangkitan listrik dari PLTA sekitar 3983 TWh pada tahun 2014 menurut Badan Energi Internasional. Ini merupakan 16,4% dari total produksi listrik dunia tahun 2014 sebesar 23.816 TWh.

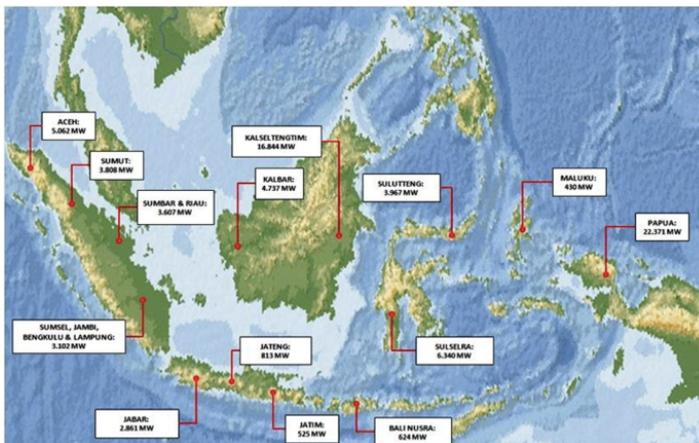
5.2 Sumber, Lokasi dan Jenis Pembangkit Listrik Tenaga Air

Energi yang diekstraksi dari air oleh pembangkit listrik tenaga air dan diubah menjadi energi listrik adalah energi potensial yang terkandung dalam massa air sebagai konsekuensi dari ketinggiannya. Ketinggian ini biasanya dihitung dengan mengacu pada permukaan laut yang merupakan tingkat terendah di mana air dapat mengalir secara normal. Energi yang terkandung dalam massa air yang mengalir ke bawah sungai dilepaskan saat air mengalir menuruni bukit, biasanya dihamburkan dengan berbagai cara di dalam aliran air yang mengalir di bawahnya serta dibawa oleh air itu sendiri sebagai energi kinetik. Turbulensi, erosi, kebisingan, dan pengambilan dan pengangkutan partikel-partikel lanau adalah bukti dari energi yang hilang. Turbin hidro dapat

mengekstraksi sebagian energi ini dan menggunakannya untuk menghasilkan tenaga listrik.

Pemanfaatan air sebagai sumber tenaga untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Menurut Mulyadi dalam buku Ensiklopedia Sains (Atmosfer, Cahaya, Energi, Listrik, Benda, dan Sifatnya) (2019), PLTA adalah pembangkit listrik yang mengandalkan energi potensial dan kinetik air (air terjun) untuk menghasilkan energi listrik. Awalnya pembangkit listrik ini hanya memanfaatkan air waduk atau air terjun. Namun seiring berkembangnya teknologi, PLTA juga menggunakan tenaga ombak. Fungsi air dalam PLTA Dikutip dari buku Turbin Air: Pengantar dan Aplikasinya di Lapangan (2020) oleh Purwantono dkk, pembangkit listrik tenaga air bekerja dengan mengubah energi potensial (energi pada suatu benda) menjadi energi mekanis (kekuatan yang mampu menggerakkan sebuah peralatan). Baca juga: 20 Upaya untuk Penghematan Energi Listrik Kemudian hasil energi tersebut diubah lagi menjadi energi listrik dengan bantuan generator. Adapun energi potensial yang dimaksud ialah air. Sementara energi mekanisnya dihasilkan dari bantuan turbin air. Fungsi air dalam pembangkit listrik tenaga air adalah menggerakkan turbin air pada PLTA. Sederhananya, pada PLTA terjadi perubahan energi gerak menjadi listrik. Supaya listrik bisa dihasilkan, butuh air untuk menggerakkan turbin.

Distribusi potensi *hydropower* di Indonesia dari Sabang sampai Marauke cukup banyak seperti pada gambar 5.1 berikut:



Gambar 5.1: Potensi Hidropower di berbagai Provinsi di Indonesia



Gambar 5.2: Distribusi potensi hydropower di Indonesia

5.3. Produksi Listrik Global Dari PLTA

Tenaga air adalah sumber listrik terbarukan global yang paling penting. Sejak awal, pada akhir abad ke-19, telah memasok sebagian besar tenaga listrik dunia. Angka produksi terperinci untuk paruh pertama abad ke-20 tidak tersedia tetapi angka dari IEA menunjukkan bahwa antara tahun 1970 dan 2015 tenaga air telah berkontribusi antara 20,3% dan 15,4% dari produksi listrik global tahunan. Produksi dari pembangkit listrik tenaga air tidak teratur karena bergantung pada curah hujan global dan beberapa tahun lebih produktif daripada tahun lainnya. Namun kontribusi global sebagai persentase dari total output telah menurun secara perlahan selama 60 tahun terakhir meskipun produksi absolut telah meningkat.

Angka produksi absolut menunjukkan bahwa total produksi tenaga air lebih dari 920 TWh pada tahun 1965 berdasarkan angka dari BP. Angka ini meningkat menjadi 1296 TWh pada tahun 1973, kali ini berdasarkan angka dari IEA dan ditunjukkan pada Tabel 5.1. Produksi secara umum meningkat dari tahun ke tahun sejak saat itu meskipun seperti disebutkan di atas ada tahun-tahun ketika curah hujan rendah dan hal ini mengurangi produksi. Seperangkat angka produksi tenaga air dari tahun 2004 hingga 2014 juga ditunjukkan pada Tabel 5.1. Produksi pada tahun 2004 adalah 2808 TWh seperti yang ditunjukkan pada tabel 5.1, lebih dari dua kali lipat pada tahun 1973. Pada tahun 2006 produksi global adalah 3121 TWh dan pada tahun

2010 telah mencapai 3516 TWh. pada tahun 2015 total produksi global adalah 3978 TWh. Angka terpisah dari BP menunjukkan bahwa total produksi terlampaui 4000 TWh pada tahun 2016 (Lourens Meijer 2012) dan (Bioenergi and Riau 2013).

Tabel 5.1: Produksi Hydropower Global Per Tahun

Tahun	Produksi hydropower global (TWh)
1973	1296
2004	2808
2005	2994
2006	3121
2007	3162
2008	3288
2009	3229
2010	3516
2011	3566
2012	3756
2013	3874
2014	3983
2015	3978
Sumber <i>IEA</i>	

Potensi *Hydropower* untuk berbagai negara ditunjukkan dalam tabel 5.2, di mana Asia memiliki potensia yang cukup besar.

Tabel 5.2: Potensi Hydropower Regional

Regio	Kapasitas Hydropower secara Teori (TWh/tahun)	Kapasitas PLTA yang Dapat Dieksploitasi Secara Teknis (TWh/tahun)
Asia	16,618	5590
Eropa	4919	2762
Amerika Utara	5511	2416
Amerika Selatan	7541	2843
Afrika	3909	1834
Samudera nia	654	233
Timur Tengah	690	277
Total	39,842	15,955

Angka pada Tabel 5.3 adalah untuk kapasitas pembangkit untuk produksi energi. Berdasarkan analisis tersebut, kawasan dengan potensi terbesar adalah Asia dengan total potensi diperkirakan sebesar 13.700 GW. Potensi kapasitas

di daerah lain jauh lebih kecil. Di Afrika sebesar 2112 GW, di Amerika Utara sebesar 2038 GW, Amerika Selatan dapat menyediakan 1251 GW dan Eropa sebesar 792 GW. Tidak mengherankan mengingat ukuran daratannya, Oseania memiliki potensi terendah, 52 GW. Satu wawasan yang sangat berharga yang diberikan oleh analisis ini adalah potensi PLTA yang belum terealisasi luas dari beberapa negara termasuk Kolombia, Myanmar, Indonesia dan Madagaskar. Sekali lagi untuk tujuan perbandingan, total kapasitas pembangkit listrik tenaga air terpasang global pada akhir 2016 adalah 1246 GW menurut IHA.

Tabel 5.3: Kapasitas Pembangkit Potensi Tenaga Air Global dan Regional

Regional	Total Potensi (GW)	Potensi Hydropower yang besar (GW)	Potensi Hydropower yang kecil (GW)	Potensi Hydropower Micro (GW)
Afrika	2111	1729	355	27
Asia	13071	11,714	1775	212
Oceania	52	7	30	15
Eropa	792	540	217	35
Amerika Utara	2038	1653	327	58
Amerika Selatan	1296	1001	245	397
Dunia	19,990	16,664	2949	397

5.4. Hydropower Generator

Generator adalah bagian dari pembangkit listrik yang mengubah energi kinetik air yang disediakan oleh perangkat seperti turbin air menjadi energi listrik. Mesin tersebut mengeksplorasi fenomena yang ditemukan pada abad ke-19 oleh ilmuwan Inggris Michael Faraday; ketika sebuah konduktor bergerak melalui medan magnet, arus dihasilkan dalam konduktor. Desain generator berdasarkan prinsip ini telah disempurnakan selama lebih dari 140 tahun dan generator modern adalah perangkat elektromekanis yang sangat canggih dan efisien.

Jenis generator yang digunakan untuk pembangkit listrik tenaga air kecil biasanya akan bergantung pada ukuran pembangunannya. Pembangkit terbesar

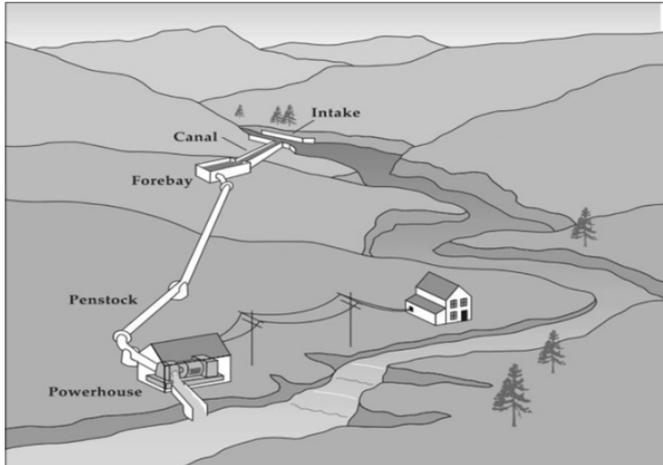
akan sangat banyak menggunakan jenis generator modern konvensional, biasanya digabungkan langsung ke turbin meskipun beberapa dapat digerakkan melalui kotak roda gigi sehingga generator yang lebih murah dan berkecepatan lebih tinggi dapat digunakan. Ada juga peningkatan penggunaan generator magnet permanen multikutub untuk pembangkit listrik tenaga air kecil. Meskipun ini seringkali lebih mahal daripada generator rotor konvensional serupa, mereka lebih ringan, lebih kompak, dan dapat diintegrasikan ke dalam unit generator turbin kecil dengan lebih mudah. Beberapa pabrikan sekarang menawarkan paket generator-turbin terintegrasi yang mencakup generator jenis ini.

Karena ukuran instalasi tenaga air berkurang, biaya generator menjadi pertimbangan. Pembangkit terkecil akan dirancang dengan generator yang murah dan tersedia yang beroperasi pada frekuensi jaringan. Ini dapat digerakkan melalui *gearbox* atau mungkin digerakkan oleh sabuk atau keduanya. Generator untuk pembangkit ini mungkin sinkron atau asinkron tergantung pada ekonomi, apakah pembangkit terhubung ke jaringan dan seberapa kuat jaringan di wilayah tersebut.

Pilihan lain untuk meminimalkan biaya adalah dengan menggunakan motor sebagai generator. Motor off-the-shelf yang murah dapat bertindak sebagai generator jika digerakkan terbalik

dan banyak digunakan pada masa awal industri angin. Mereka asinkron dan membutuhkan jaringan untuk menyediakan stabilisasi frekuensi tetapi dapat digunakan di luar jaringan tetapi dengan keluaran yang kurang stabil.

Gambar 5.3 menunjukkan skema skema PLTMH. Situs ini berbukit dan ini akan menjadi tipikal dari banyak skema jenis ini karena daerah perbukitan dan pegunungan menyediakan aliran air terbaik. Tumbuhan ini memiliki banyak karakteristik skema hidro besar. Ada struktur intake dari mana air diambil melalui saluran yang fungsinya mirip dengan saluran masuk. Air umpan ini masuk ke forebay yang kemudian dialirkan ke penstock. Yang terakhir dapat dibangun dari bahan sederhana seperti pipa plastik. Air dialirkan melalui penstock ke pembangkit listrik kecil yang memutar turbin, menghasilkan listrik untuk penggunaan lokal. Air yang keluar dari pembangkit kemudian dikembalikan ke sungai.



Gambar 5.3: Skema dari #

5.5 Biaya Listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit listrik tenaga air umumnya dianggap sebagai proyek pembangkit listrik padat modal karena sebagian besar biayanya dikaitkan dengan pembangunan pembangkit dan sangat sedikit dengan pengoperasiannya. Proyek besar biasanya melibatkan pekerjaan teknik sipil besar dengan biaya tenaga kerja dan material yang tinggi dan ini merupakan bagian utama dari keseluruhan biaya. Sebagai konsekuensi dari biaya awal yang tinggi, sebagian besar pendanaan harus tersedia sejak awal. Banyak proyek pembangkit listrik tenaga air yang besar merupakan skema multiguna yang menyediakan air untuk minum dan irigasi dan fasilitas lokal baru serta tenaga listrik. Di masa lalu biaya pembangunan pembangkit listrik tenaga air jenis ini sering ditanggung oleh sektor publik dan pembagian biaya antara fungsi yang berbeda tidak diperlukan. Namun sejak liberalisasi pasar listrik, yang dimulai menjelang akhir tahun 1980-an, seringkali jatuh ke tangan perusahaan swasta untuk mendanainya.

Secara keekonomian biaya pembangkit hydropower juga dipengaruhi oleh ukuran pembangkit listrik, sementara biaya modal pembangkit cukup besar.

Saat mengevaluasi skema ekonomi dari pembangkit listrik tenaga air, salah satu parameter terpenting adalah biaya listrik dari pembangkit. Ini akan menjadi fungsi dari biaya modal, biaya pendanaan dan biaya operasional dan pemeliharaan. Biasanya model ekonomi yang disebut model biaya listrik yang diratakan (LCOE) digunakan untuk mendapatkan angka biaya listrik dari pembangkit listrik termasuk pembangkit listrik tenaga air. Hal ini memungkinkan nilai relatif dari berbagai jenis pembangkit untuk dibandingkan.

Investasi untuk biaya listrik dari pembangkit jenis apa pun bergantung pada berbagai faktor. Pertama, biaya untuk membangun pembangkit listrik termasuk pekerjaan sipil ekstensif dalam kasus pembangkit listrik tenaga air dan membeli semua komponen yang dibutuhkan untuk pembangunannya. Selain itu, banyak proyek pembangkit listrik saat ini dibiayai dengan pinjaman sehingga akan ada juga biaya yang terkait dengan pembayaran kembali pinjaman, beserta bunganya. Lalu ada biaya pengoperasian dan pemeliharaan pabrik selama masa pakainya, sehingga persamaan biaya keseluruhan harus mencakup biaya dekomisioning pembangkit listrik setelah dihapus dari layanan.

Biaya modal riil untuk pembangkit listrik tenaga air sangat bervariasi tetapi biaya tipikal, berdasarkan angka yang dipublikasikan untuk pembangkit baru, adalah antara \$1.000/kW dan \$2.000/kW. Banyak dari pabrik ini telah dibangun di negara berkembang di mana biaya tenaga kerja cenderung lebih rendah daripada di negara maju. Administrasi Informasi Energi AS (US EIA) memperkirakan bahwa biaya pembangkit listrik tenaga air 500 MW baru di Amerika Serikat, yang ditugaskan pada tahun 2016 dan mulai beroperasi pada tahun 2020 akan menjadi \$2.200/kW, tepat di luar batas atas kisaran di atas.

International Renewable Energy Agency (IRENA) dalam sebuah laporan dari tahun 2012 menempatkan biaya modal proyek pembangkit listrik tenaga air besar antara \$1050/kW dan \$7650/kW.² Pembangkit listrik tenaga air kecil cenderung lebih mahal daripada proyek besar karena banyak biaya tidak skala dengan ukuran. IRENA menemukan biaya proyek hidro kecil dari berbagai negara bervariasi antara \$1300/kW dan \$8000/kW. Namun biaya sebenarnya dari proyek tersebut akan bergantung pada ukuran dan jenis teknologi yang digunakan. Proyek yang sangat kecil berpotensi murah jika menggunakan teknologi sederhana seperti pompa sebagai turbin. Namun proyek kecil juga bisa relatif mahal tergantung pada lokasi dan biaya teknologi. Sementara itu,

penambahan kapasitas pembangkit listrik tenaga air ke bendungan yang tidak memiliki turbin dapat dicapai hanya dengan \$500/kW.

Bab 6

Energi Biomassa

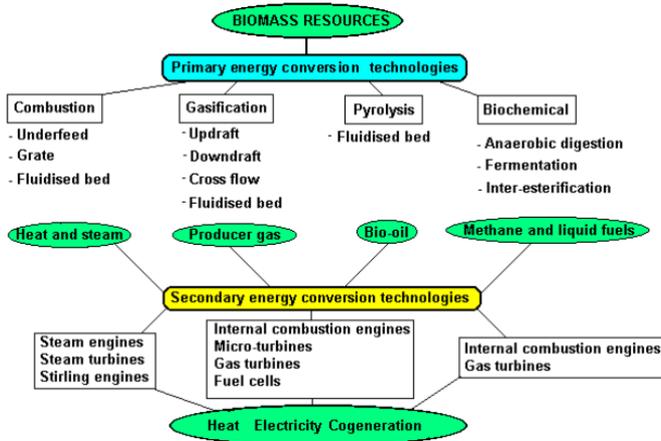
6.1 Pendahuluan

Energi merupakan salah satu kebutuhan pokok manusia yang terus meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan kebutuhan hidup. Selama ini Indonesia sangat bergantung pada bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Semakin banyak bahan bakar fosil yang kita gunakan, semakin besar risiko berkurangnya jumlah sumber daya bahan bakar tersebut (Febrianti et al., 2020). Oleh karena itu, perlu adanya upaya serius untuk mencari sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil, disamping upaya konservasi energi dengan meningkatkan efisiensi penggunaan energi. Bioenergi atau energi biomassa merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang dapat menunjang pertumbuhan ekonomi yang sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan.

Bioenergi mempunyai kegunaan dan manfaat strategis bagi Indonesia. Negara Republik Indonesia mencakup wilayah yang sangat luas dan terdiri dari beberapa pulau besar dan ribuan pulau-pulau kecil yang tersebar. Kondisi ini mempersulit transmisi dan distribusi listrik maupun Bahan Bakar Minyak (BBM). Interkoneksi jaringan listrik yang efisien secara ekonomi kemungkinan hanya untuk pulau-pulau besar dan sejumlah pulau-pulau relatif kecil di dekatnya. Oleh karena itu, sejumlah besar pulau harus bisa menghasilkan dan memenuhi kebutuhan bahan bakar dan listriknya sendiri

(self-sufficient). Namun demikian, banyak wilayah dan pulau tidak memiliki cadangan bahan bakar fosil yang memadai. Kondisi ini menjadikan biomassa mempunyai kegunaan dan manfaat yang strategis dalam penyediaan energi, karena sumber daya hayati biomassa tersedia di semua pulau. Dengan posisi geografis wilayah tropis yang terbentang luas di sepanjang garis khatulistiwa, Indonesia memiliki salah satu peluang terbaik di dunia untuk menghasilkan biomassa yang melimpah. Sumber energi terbarukan ini belum berkembang, namun memiliki prospek bagus untuk menjadi sumber energi penting untuk mendorong pertumbuhan ekonomi Indonesia (Haryana, 2018). Biomassa yang dijadikan sebagai bahan baku untuk menghasilkan listrik dan bahan bakar sebaiknya residu lignoselulosa (misalnya residu dari hutan dan pertanian, serta limbah dari industri) untuk menghindari konflik pangan dan melindungi ekosistem (Cho and Kim, 2019).

Sistem bioenergi dapat diklasifikasikan ke dalam teknologi konversi primer yang mengubah biomassa menjadi panas atau produk gas dan cairan, dan teknologi konversi sekunder yang mengubah produk ini menjadi bentuk energi yang lebih berguna (panas dan listrik). Gambaran umum dari teknologi konversi biomassa dapat dilihat pada Gambar 6.1.



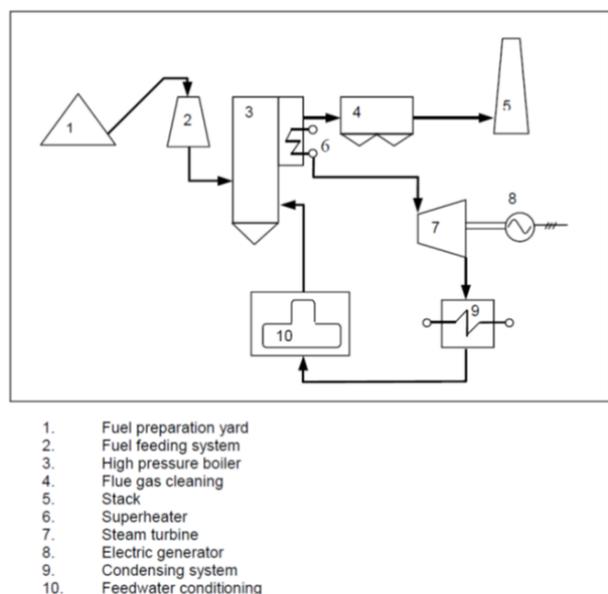
Gambar 6.1: Teknologi konversi primer dan sekunder yang sesuai untuk proyek biomassa (Stucley et al., 2012)

Sistem bioenergi yang dibahas dalam bab ini meliputi teknologi konversi energi melalui termokimia (pembakaran, gasifikasi, dan pirolisis) dan biokimia (digester anaerobik digunakan untuk mengubah biomassa basah menjadi

biogas yang kaya akan metana dan secara luas digunakan untuk pembangkit listrik).

6.2 Pembakaran

Pembakaran langsung adalah teknologi yang paling banyak digunakan dan paling sering digunakan untuk mengubah biomassa menjadi panas. Sekitar 90 persen pembangkit bioenergi skala besar di dunia beroperasi melalui proses pembakaran. Amerika Serikat sendiri memiliki sekitar 12.000 MW kapasitas bioenergi yang terpasang. Komponen utama pembangkit listrik tenaga biomassa ditunjukkan di bawah ini pada Gambar 6.2.



Gambar 6.2: Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (Stucley et al., 2012)

Bahan bakar boiler diambil dari tempat penyimpanan dan persiapan bahan bakar (1). Persiapan bahan bakar dapat terdiri dari beberapa atau semua proses pemotongan, pengeringan, penyortiran dan pencampuran. Penyimpanan bahan bakar selama beberapa hari hingga beberapa minggu adalah biasa terjadi pada

pembangkit listrik tenaga biomassa berbahan bakar kayu. Bahan bakar diangkut ke sistem pengumpanan bahan bakar (2). Bahan bakar dari silo diumpankan ke dalam tungku atau *fluidized bed* tempat pembakaran terjadi (3) melalui *belt conveyor*. Produk pembakaran (dalam bentuk gas panas) di dalam boiler digunakan untuk memanaskan air (untuk menghasilkan uap) selanjutnya keluar ke sistem pembersihan gas buang (4). Alat yang digunakan untuk membersihkan gas buang biasanya terdiri dari pengendap elektrostatik, bag filter atau *wet scrubber*. Gas buang yang sudah bersih kemudian dialirkan ke cerobong (5). Uap superheated dihasilkan dari superheater boiler (6). Uap superheated masuk ke dalam turbin uap (7) dan menggerakkan generator listrik (8). Sisi samping dari turbin uap terhubung ke sistem pendingin (9) di mana uap akan terkondensasi. Kondensat dimasukkan ke dalam sistem pengolahan air umpan (10) dan dari di sini kembali ke boiler (Stucley et al., 2012).

6.3 Gasifikasi

Gasifikasi merupakan proses konversi energi dari bahan padat (biomassa) menjadi syngas (gas hasil sintesa) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar. Proses gasifikasi hampir mempunyai kesamaan dengan proses pembakaran, hanya saja udara yang dimasukkan ke sistem gasifikasi dibatasi. Banyaknya udara yang masuk dalam gasifier disuplai oleh blower dan memiliki pengaruh atas laju alir massa syngas dan kualitas dari syngas (Myzhar and Sutjahjo, 2019). Gasifikasi biomassa berlangsung dalam pasokan udara atau oksigen yang terbatas pada suhu hingga 1200-1300°C.

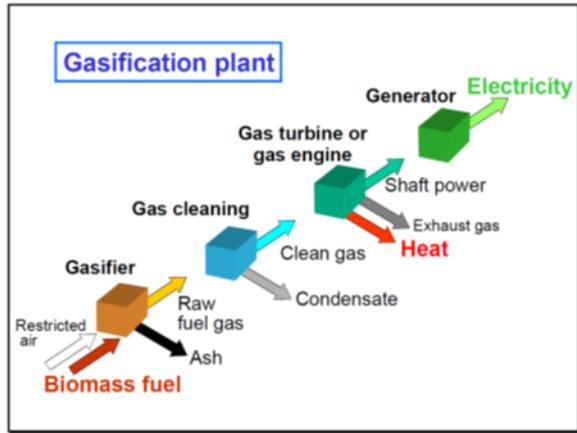
Proses gasifikasi dasar terdiri dari tiga tahap yang berbeda, yaitu:

1. Tahap devolatilisasi: metana dan hidrokarbon yang lebih besar dikeluarkan dari biomassa sebagai gas yang mudah menguap oleh aksi panas, untuk meninggalkan arang yang bersifat reaktif.
2. Tahap pembakaran: gas-gas yang mudah menguap dan sebagian arang sebagian dibakar dengan udara atau oksigen untuk menghasilkan panas dan karbon dioksida.
3. Tahap reduksi: karbon dioksida menyerap panas dan bereaksi dengan sisa arang untuk menghasilkan gas bahan bakar karbon monoksida.

Karena adanya uap air di dalam gasifier, hidrogen diproduksi sebagai komponen sekunder dari bahan bakar gas.

Komposisi produk gas hasil gasifikasi dipengaruhi oleh kadar air dan ukuran partikel bahan bakar biomassa. Secara keseluruhan, produk sebagian besar berupa gas dengan nilai kalori rendah hingga sedang. Ada juga sejumlah kecil produk sampingan yang tidak diinginkan seperti arang, tar, minyak dan abu. Produk samping tersebut cenderung merusak mesin dan oleh karena itu harus dihilangkan atau diolah terlebih dahulu menjadi bahan bakar gas yang lebih baik. Hal ini dapat berarti bahwa operasi sistem gasifier secara signifikan lebih menantang daripada operasi biomassa sistem pembakaran. Tergantung pada sistem gasifikasi, hal ini juga dapat berarti bahwa bahan bakar biomassa harus memiliki kualitas yang tetap dibandingkan dengan sistem pembakaran, yang seringkali lebih mudah untuk diterima.

Bahan bakar gas akhir pada dasarnya terdiri dari karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂) dan metana (CH₄) dengan sejumlah kecil hidrokarbon yang lebih tinggi seperti etena (atau etilena, C₂H₄) dan etana (C₂H₆). Pembersihan bahan bakar gas hasil dari gasifikasi bisa jadi sulit untuk semua desain gasifier, terutama pada gasifier skala kecil. Jika jenis bahan bakar biomassa yang digunakan atau proses gasifikasi itu sendiri mengarah pada produksi debu atau abu, kemungkinan dapat dihilangkan dengan siklon gas panas. Namun, sebelum digunakan dalam mesin pembakaran, gas mungkin juga harus didinginkan hingga suhu sedang atau rendah karena keterbatasan dalam kontrol suhu sistem bahan bakar dalam mesin. Pengurangan suhu gas akan meningkatkan nilai kalor volumetrik gas, meningkatkan kondensasi tar, sehingga membuat gas kurang cocok digunakan secara langsung dalam mesin. Berdasarkan hal tersebut, maka sistem pembersihan gas akan sangat penting sebelum dialirkan ke turbin. Sistem pembersihan gas terdiri dari siklon, filter, dan wet scrubber. Wet scrubber sangat efektif karena dapat menangkap tar yang larut dalam air, debu inert sampai abu, kontaminan mineral, mengurangi suhu gas dalam satu kali pengoperasian. Namun, pembersihan gas menggunakan wet scrubber menghasilkan aliran limbah cair yang terkontaminasi dengan kontaminan yang bersifat racun dan karsinogenik. Kebutuhan untuk pengolahan aliran limbah tersebut dapat menambah biaya operasi untuk pembangkit yang diusulkan. Pembangkit listrik tenaga gasifikasi dapat dilihat pada Gambar 6.3 (Stucley et al., 2012).



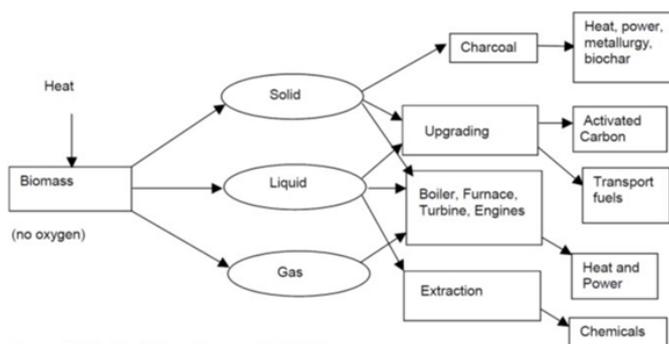
Gambar 6.3: Pembangkit Listrik Tenaga Gasifikasi (Stucley et al., 2012)

Potensi harian biomassa di Surabaya sebesar 1245 ton yang keseluruhan dimanfaatkan sebagai bahan bakar pembangkit energi listrik dengan melakukan analisis teknik dan ekonomi untuk mengetahui kelayakan pembangkit yang akan diimplementasikan. Pembangkit listrik tenaga biomassa menggunakan proses gasifikasi untuk konversi energi biomasannya. Potensi harian biomassa di Surabaya tersebut dapat menghasilkan kapasitas daya sebesar 124 MW dengan biaya investasi sebesar Rp 932.000.300.000,-. Perhitungan Analisis teknik dan ekonomi didapatkan NPV yang bernilai positif, IRR sebesar 47,63% dan PBP pada tahun ke-3. Pengoperasian PLT Biomassa dapat mereduksi emisi sekitar 687813,12 tCO₂/tahun (Azmi, 2014).

6.4 Pirolisis

Pirolisis adalah dekomposisi termokimia tanpa adanya oksigen untuk menghasilkan berbagai macam produk. Selama proses pirolisis, hidrokarbon molekul kompleks dipecah menjadi bentuk yang lebih sederhana menjadi produk padat, gas, cair, dan arang. Proses pirolisis dapat dibagi menjadi pirolisis lambat (slow pyrolysis), pirolisis cepat (fast pyrolysis), dan pirolisis sangat cepat (flash pyrolysis). Semua proses tersebut dibedakan berdasarkan perbedaan temperatur selama proses pirolisis. Pirolisis cepat dan sangat cepat beroperasi pada suhu tinggi antara 400-700oC. Sedangkan pirolisis lambat ditandai dengan temperatur operasi yang lebih rendah dari 300-400oC, proses

ini memiliki keuntungan yang tidak memerlukan pasokan energi yang sangat besar dibandingkan dengan proses pirolisis lainnya. Semua produk pirolisis dapat digunakan sebagai bahan bakar biobriket, karbon aktif, syngas, biochar dan bio-oil (Rahmatullah et al., 2019). Pirolisis lambat menghasilkan biochar 20-35%, bio-oil 30-35%, dan gas 25-30%. Pirolisis cepat menghasilkan produk utama bio-oil dan gas, dengan hasil bio-oil 60-70%, gas 10 – 20%, dan biochar 10 – 20% (Stucley et al., 2012). Aplikasi dan produk pirolisis dapat dilihat pada Gambar 6.4.



Gambar 6.4: Aplikasi dan Produk Dari Pirolisis Biomassa (Stucley et al., 2012)

Bio-oil yang dihasilkan dari pirolisis biomassa berupa cairan pekat dengan warna kecokelatan dan bau menyengat. Jenis biomassa dan kondisi operasi proses pirolisis sangat berpengaruh pada komposisi kimia bio-oil yang dihasilkan. Bio-oil memiliki karakteristik yang kurang bagus sehingga penggunaannya sebagai bahan bakar hanya terbatas sebagai bahan bakar untuk boiler. Bio-oil tidak dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin kendaraan bermotor karena kandungan energinya yang rendah dan tingginya kandungan asam dan air (15-35%) (Kadarwati et al., 2021). Keberadaan air di dalam bio-oil dihasilkan dari beberapa reaksi di antaranya reaksi dehidrasi yang terjadi selama proses dekomposisi makromolekul biomassa dalam proses pirolisis berlangsung. Keberadaan air di dalam bio-oil sangat tidak menguntungkan karena menyebabkan rendahnya nilai kalor dan tingginya keasaman bio-oil (Bridgwater, 2012).

Kualitas bio-oil hasil pirolisis dapat ditingkatkan melalui proses ekstraksi. Penelitian dari (Fardhyanti et al., 2018) memisahkan komponen fenol dari bio-oil menggunakan ekstraksi cair-cair. Keberadaan senyawa fenol ini kurang

menguntungkan apabila diaplikasikan menjadi bahan bakar karena senyawa fenol yang tinggi dapat menaikkan bilangan asam, menurunkan nilai heating value, menurunkan nilai pH, serta meningkatkan nilai korosi terhadap mesin.

Produk solid proses pirolisis biomassa lignoselulosa adalah bio-char, dengan kandungan karbon berkisar 65-90% (Qambrani et al., 2017). Karakteristik bio-char utamanya kandungan karbonnya sangat ditentukan oleh tipe biomassa dan kondisi operasi proses pirolisis yang digunakan. Bio-char dengan yield yang tinggi dihasilkan dari proses pirolisis biomassa dengan kandungan lignin tinggi (Demirbas, 2006). Selain itu, pirolisis lambat akan menghasilkan yield bio-char yang lebih tinggi. Oleh karenanya teknik ini digunakan jika produk yang dikehendaki adalah bio-char. Bio-char memiliki resistensi yang tinggi terhadap dekomposisi oleh mikroba. Oleh karenanya, bio-char bersifat stabil dalam jangka waktu yang lama (1.000 hingga 10.000 tahun) (Ghani et al., 2013).

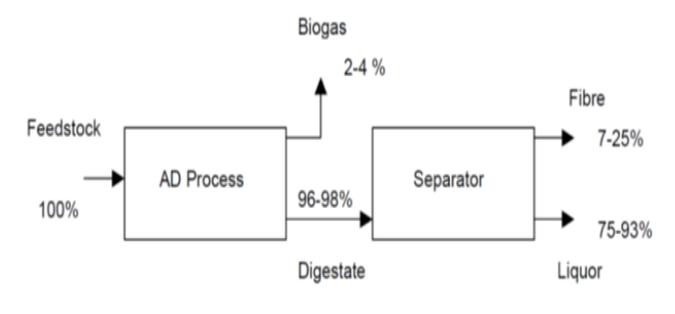
6.5 Digester Anaerobik

Anaerobik digestion adalah proses biokimia di mana aktivitas bakteri melakukan penguraian bahan organik tanpa adanya oksigen. Proses ini menghasilkan biogas yang terdiri dari sekitar 55-75% metana dan 45-25% karbon dioksida ditambah beberapa gas lainnya tergantung pada aliran limbah dan desain sistem. Proses fermentasi anaerobik adalah proses yang serbaguna dan dapat diterapkan untuk berbagai macam bahan baku biomassa lembab atau basah termasuk limbah padat kota, limbah industri, limbah peternakan dan pengolahan makanan, serta kotoran manusia. Prosesnya bisa 'kering' atau 'basah' tergantung pada kandungan air relatif dari bahan baku (Stucley et al., 2012).

Pemanfaatan kotoran manusia sebagai bahan baku biogas untuk menghasilkan listrik dapat dipertimbangkan untuk diterapkan di Indonesia. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis kapasitas energi listrik dan kelayakan ekonomi, potensi kotoran manusia di Kota Pontianak menghasilkan biogas sebesar 3.091,94 m³/hari, gas metan 2.164,36 m³/hari, dan energi listrik 24.157,88 kWh/hari. Hasil analisis teknis dan ekonomis implementasi konversi energi menggunakan microturbin 250 kW menghasilkan daya listrik sebesar 2.058.254,5 kW per tahun, pay back period 4 tahun 11 bulan, net present value Rp. 22.379.004.648,-, dan internal rate of return 18,681%, sehingga pembangunan PLTBg ini layak untuk diimplementasikan (Ardiansyah, 2019).

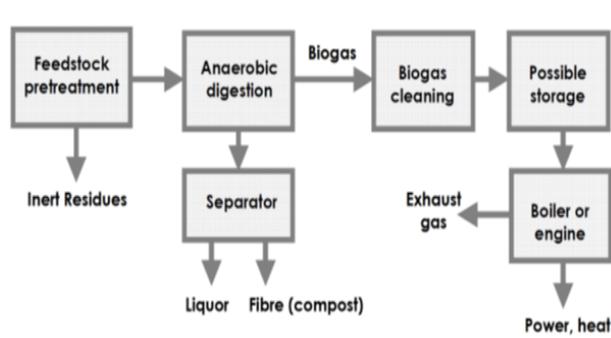
Proses fermentasi anaerobik dari bahan baku pertanian dan pengolahan makanan menghasilkan biogas, serat (digestat kering) dan cairan (pupuk cair). Ketiga produk ini diharapkan memiliki pasar yang layak untuk membuat keseluruhan proyek ini layak secara ekonomi. Perbandingan relatif dari produk ini dapat dilihat pada Gambar 6.5.

Digestat atau lumpur (bahan organik yang tidak terdegradasi secara sempurna ditambah dengan unsur hara anorganik) yang tersisa setelah proses fermentasi dapat digunakan sebagai pupuk atau perbaikan kualitas tanah. Kualitas digestat ini sebagai pupuk tergantung pada sifat dan komposisi biomassa yang diuraikan serta kondisi operasi digester.



Gambar 6.5: Neraca Massa Proses Anaerobic Digestion (Stucley et al., 2012)

Diagram alir untuk digester anaerobik secara umum ditunjukkan pada Gambar 6.6.



Gambar 6.6: Diagram untuk Anaerobic Digestion (Stucley et al., 2012)

Kuantitas jumlah biogas yang dihasilkan per kg (kering) biomassa yang difermentasi tergantung pada komposisi biomassa yang digunakan. Telah

diketahui bahwa substrat dengan rasio karbon terhadap nitrogen 20:1 hingga 40:1 umumnya dikehendaki untuk tujuan dari anaerobik digester ini. Untuk mencapai rasio yang sesuai, biomassa dari sumber yang berbeda dan komposisi yang berbeda harus dicampur terlebih dahulu dan digunakan bersama. Fermentasi campuran biomassa dari yang berbeda disebut ko-fermentasi atau co-digestion. Dalam sistem modern, hasil biogas diperkirakan sebesar 0,45 hingga 0,5 m³ per kg bahan organik (Stucley et al., 2012).

Energi merupakan salah satu kebutuhan pokok manusia yang terus meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan kebutuhan hidup. Bioenergi atau energi biomassa merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang dapat menunjang pertumbuhan ekonomi yang sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan. Sistem bioenergi dapat diklasifikasikan ke dalam teknologi konversi primer yang mengubah biomassa menjadi panas atau produk gas dan cairan, dan teknologi konversi sekunder yang mengubah produk ini menjadi bentuk energi yang lebih berguna. Teknologi konversi biomassa menjadi energi dilakukan melalui termokimia (pembakaran, gasifikasi, dan pirolisis) dan biokimia (digester anaerobik digunakan untuk mengubah biomassa basah menjadi biogas yang kaya akan metana dan secara luas digunakan untuk pembangkit listrik).

Pembakaran langsung adalah teknologi yang paling banyak digunakan dan paling sering digunakan untuk mengubah biomassa menjadi panas. Sekitar 90 persen pembangkit bioenergi skala besar di dunia beroperasi melalui proses pembakaran. Gasifikasi merupakan proses konversi energi dari bahan padat (biomassa) menjadi syngas (gas hasil sintesa) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar. Proses gasifikasi hampir mempunyai kesamaan dengan proses pembakaran, hanya saja udara yang dimasukkan ke sistem gasifikasi dibatasi. Pirolisis adalah dekomposisi termokimia tanpa adanya oksigen untuk menghasilkan berbagai macam produk. Produk pirolisis dapat digunakan sebagai bahan bakar biobriket, karbon aktif, syngas, biochar dan bio-oil. Anaerobik digestion adalah proses biokimia di mana aktivitas bakteri melakukan penguraian bahan organik tanpa adanya oksigen. Proses ini menghasilkan biogas yang terdiri dari sekitar 55-75% metana dan 45-25% karbon dioksida ditambah beberapa gas lainnya tergantung pada aliran limbah dan desain sistem.

Bab 7

Energi Gelombang Laut dan Tidal

7.1 Pendahuluan

Negara Indonesia memiliki potensi energi yang sangat berlimpah dilautan karena luas wilayah lautan Indonesia tiga kali lebih besar dibandingkan dengan luas wilayah daratannya. Energi laut yang dihasilkan dari gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut (samudera) merupakan sumber energi baru terbarukan. Oleh karena itu, potensi energi laut di Indonesia sangat menjanjikan, namun belum dimanfaatkan secara optimal.

Pertambahan jumlah penduduk di Indonesia setiap tahunnya semakin meningkat. Meningkatnya jumlah penduduk, beriringan dengan meningkatnya kebutuhan akan energi. Lubis (2007), menyatakan penggunaan secara terus-menerus terhadap energi fosil berdampak minimal tiga ancaman serius yaitu:

1. Semakin berkurangnya cadangan minyak bumi yang ada (asumsi tanpa temuan sumur minyak baru).
2. Bertambahnya permintaan dibanding dengan produksi minyak sehingga harga melonjak.
3. Terbakarnya bahan bakar fosil mengakibatkan pencemaran udara.

Energi terbarukan yang ada dilautan adalah energi yang tidak mencemari lingkungan karena bebas polusi, energi yang ada di lautan merupakan solusi yang terbaik dalam mengurangi penggunaan bahan bakar fosil (energi tak terbarukan) yang selama ini digunakan dan berpotensi akan habis dimasa mendatang.

Sumber energi terbarukan yang berada dilautan di antaranya adalah energi gelombang laut (wave energy) dan energi pasang surut (tidal energy). Perlu dilakukan riset dan rancangan yang matang agar energi gelombang laut dan tidal dapat dimanfaatkan secara optimum sehingga memberi kontribusi dalam penanggulangan krisis energi.

7.2 Gelombang Laut dan Tidal

Gelombang laut merupakan gerak naik turunnya air laut, yang bergerak berayun-ayun secara terus menerus yang arahnya tegak lurus permukaan laut yang membentuk grafik sonisoidal. Gelombang laut mempunyai karakteristik yang berbeda-beda disetiap wilayah.

Gelombang laut dapat dibagi menjadi beberapa jenis sesuai dengan daya pembangkitnya. Mendekati nilai kedalaman relatif, yaitu rasio kedalaman air terhadap panjang gelombang (d/L), persamaan laut dalam, laut dangkal dan laut transisi, yaitu jika nilai (d/L) kurang dari $1/25$ maka disebut gelombang laut dangkal (shallow water waves) atau panjang menjadi gelombang (long waves). Jika nilai (d/L) lebih besar dari $1/2$, maka disebut gelombang laut dalam atau gelombang pendek. Sementara itu, nilai (d/L) antara $1/25$ dan $1/2$ disebut gelombang kedalaman menengah (intermediate depth waves) (CERC, 1984).

Di perairan pantai, kecepatan, ketinggian dan kemungkinan juga arah gelombang yang merambat dari laut berubah. Parameter gelombang yang tetap konstan selama perambatan adalah periode gelombang. Untuk teori amplitudo kecil, kecepatan dan panjang gelombang (C dan L) yaitu sebagai berikut:

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (7.1)$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (7.2)$$

Panjang gelombang laut dalam (L_0) adalah:

$$L_0 = 1,56gT^2 \quad (7.3)$$

di mana:

C = cepat rambat gelombang (m/s)

g = gravitasi (9.81 m/s^2)

T = periode gelombang (detik)

d = kedalaman air (meter)

L = panjang gelombang (meter)

L_0 = panjang gelombang laut dalam (meter)

Tidal atau pasang surut merupakan hasil dari bangkitan gelombang karena adanya interaksi antara bumi, matahari dan bulan. Gaya tarik gravitasi menarik air laut ke arah bulan dan matahari dan menghasilkan dua tonjolan (bulge) pasang surut gravitasional di laut. Pergerakan gelombang dan perbedaan suhu lapisan laut menghasilkan energi laut terbarukan, yang dapat digunakan sebagai sumber energi. Puncak gelombang dinamakan pasang tinggi (High Water) dan lembah gelombang dinamakan surut/pasang rendah (Low Water).

Tidal range atau rentang pasang surut adalah perbedaan tinggi antara pasang tinggi dan pasang rendah. Waktu antara puncak ke puncak gelombang berikutnya atau lembah ke lembah gelombang berikutnya disebut periode pasang surut. Dua variasi periode pasang surut antara 12 jam 25 menit hingga 24 jam 50 menit. Ketika posisi bumi, bulan dan matahari berada dalam suatu garis lurus, terjadi pasang purnama (spring tide).

Sifat pasang surut, ditentukan oleh jumlah pasang surut harian, karena setiap lokasi merespons kekuatan pasang surut secara berbeda. Jika suatu wilayah mengalami satu kali pasang surut per hari, maka wilayah tersebut memiliki satu pasang (diurnal) pasang per hari, tetapi jika dua pasang naik dan dua pasang surut per hari, jenis pasang surutnya ini disebut harian ganda (semidiurnal). Tipe pasang lainnya adalah transisi antara tipe tunggal dan ganda dan disebut tipe campuran (mixed tide) (Pariwono, 1999).

Pengelompokan tipe Tidal antara pasang surut tunggal utama atau pasang surut ganda utaman pada wilayah perairan dapat ditentukan oleh perbandingan

kedua amplitudo pasut tersebut, yang dikenal sebagai bilangan Formzahl yang mempunyai formula sebagai berikut (Pariwono, 1999):

$$F = \frac{A(K1) + A(O1)}{A(M2) + A(S2)} \quad (7.4)$$

di mana:

F = nilai formzahl

A = amplitudo

K1 dan O1 = konstanta pasut harian utama

M2 dan S2 = konstanta pasut ganda utama

Berdasarkan nilai bilangan formzahl (F), dapat dikelompokkan ciri dari pasang surut yaitu:

$0 < F < 0,25$: Semi-diurnal, di mana setiap hari ada dua tertinggi dan dua terendah dengan bentuk gelombang simetris.

$0,25 \leq F < 1,5$: Campuran setengah diurnal dengan dua tertinggi dan dua terendah dalam satu hari. Bentuk pasut pertama tidak sama dengan pasut kedua (asimetris), lebih kesetengah diurnal.

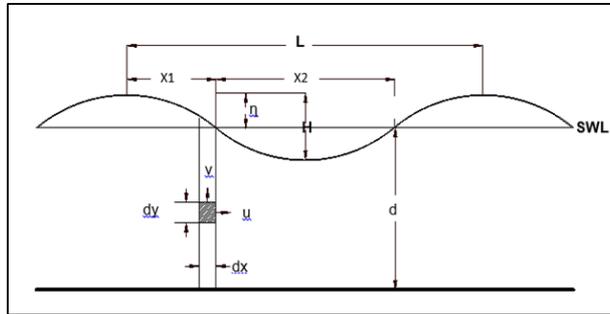
$1,5 \leq F \leq 3,0$: Tren campuran dengan dua tertinggi dan dua terendah dalam satu hari. Bentuk pasut pertama tidak sama dengan pasut kedua (asimetris) lebih kediuurnal.

$F > 3,0$: diurnal, setiap hari ada pasang naik dan pasang surut

7.3 Energi Gelombang Laut

Energi gelombang laut diperoleh melalui pergerakan gelombang laut menuju pantai atau proses serupa. Dua jenis energi gelombang yaitu energi kinetik gelombang dan energi potensial gelombang. Energi kinetik terjadi sebagai akibat dari kecepatan partikel yang disebabkan oleh gerak gelombang. Akibat adanya perpindahan muka air yang disebabkan oleh gerakan gelombang terjadi pelepasan energi potensial. Penjumlahan energi kinetik dan energi potensial menghasilkan total energi gelombang. Menurut teori gelombang Airy, jika energi potensial diatur pada permukaan air yang tenang dan semua gelombang bergerak ke arah yang sama, komponen energi potensial dan kinetiknya sama.

Penurunan persamaan energi gelombang, dipandang suatu elemen berukuran dx , dy dan 1 seperti terlihat pada Gambar 7.1



Gambar 7.1: Konsep Dasar Penurunan Rumus Energi Gelombang (Thaha,2002)

Dari Gambar 7.1 untuk satu elemen kecil, maka besar energi kinetik adalah:

$$dEk = \frac{1}{2} dm V^2$$

$$= \frac{1}{2} \rho dx dy (u^2 + v^2)$$

$$Ek = \int_0^L \int_{-d}^0 \frac{1}{2} \rho (u^2 + v^2) dy dx \tag{7.5}$$

$$Ep = \int \rho g (d + \eta) \left(\frac{d+\eta}{2}\right) dx - \rho g L d \left(\frac{d}{2}\right) \tag{7.6}$$

$$E = Ek + Ep \tag{7.7}$$

Untuk teori gelombang Airy, penyelesaian persamaan (7.5), (7.6) dan (7.7) diperoleh persamaan energi kinetik dan potensial:

$$Ek = \frac{1}{16} \rho g H^2 L \tag{7.8}$$

$$Ep = \frac{1}{16} \rho g H^2 L \tag{7.9}$$

Dengan demikian jumlah energi total persatuan lebar dalam satu panjang gelombang menggunakan persamaa:

$$Et = Ek + Ep = \frac{1}{8} \rho g H^2 L \tag{7.10}$$

Sedangkan energi rata-rata persatuan luas sebesar:

$$E = Et/L = \frac{1}{8} \rho g H^2 \tag{7.11}$$

di mana:

E_k	: energi kinetik persatuan lebar panjang gelombang (joule/m)
E_p	: energi potensial persatuan lebar panjang gelombang (joule/m)
E_t	: energi total persatuan lebar panjang gelombang (joule/m)
E	: energi rata-rata gelombang persatuan luas (joule/m)
H	: tinggi gelombang (m)
" ρ "	: rapat massa air (kg/m ³)
g	: percepatan gravitasi (m/dt ²)

Daya gelombang (P) adalah energi gelombang persatuan waktu pada arah rambat gelombang

$$P = nE/T \quad (7.12)$$

Di mana, n adalah faktor energi gelombang yang bernilai:

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \quad (7.13)$$

7.3.1 Konsep Teknologi Konverter Energi Gelombang

Konsep teknologi konverter energi gelombang, dapat dibagi berdasarkan beberapa sudut pandang, antara lain tempat diletakan, keadaan gelombang, dan cara kerjanya.

Konsep konverter energi gelombang berdasarkan aspek tersebut dibagi menjadi 4 yaitu:

1. Konsep Point Absorber
2. Konsep Wave Activated Body
3. Konsep Oscillating Water Column
4. Konsep Overtopping

Teknologi konverter energi gelombang yang paling populer dan yang telah banyak dikembangkan diseluruh dunia yaitu konsep *Point Absorber* sebesar 45%, *Wave Activated Body* sebesar 27 %, konsep lainnya sebesar 12%, *Ocillating Water Column* sebesar 11% dan *Overtopping* sebesar 5% (Mustapa, M.A 2017).

1. Konsep Point Absorber

Konsep *Point Absorber* dikembangkan dengan memanfaatkan gerak naik turunnya gelombang dengan bantuan pelampung yang ditempatkan dipermukaan laut, yang dipasang piston-silinder. Salah satu contoh konsep *Point Absorber* adalah model *generator buoy*. Pada model *generator buoy*, pelampung bergerak sesuai gerakan naik turunnya gelombang laut, pelampung yang dipasang generator sehingga energi gelombang langsung dirubah menjadi energi listrik.

2. Konsep Wave Activated Body

Konsep *Wave Activated Body* didasarkan pada karakteristik perambatan gelombang. Prinsip pemasangan perangkat *Wave Activated Body* dapat diletakan didasar laut (terendam) atau terapung dipermukaan laut. Perangkat dengan konsep ini biasa dilokasi lepas pantai dengan memanfaatkan potensi gelombang yang kuat untuk memaksimalkan produktivitas perangkat. Generator yang letaknya jauh dari daratan terintegrasi dan jika terdiri dari beberapa perangkat, produksi listrik dari masing-masing perangkat, diintegrasikan ke sistim sentralisasi utama yang kemudian dihubungkan ke jaringan di darat menggunakan kabel terendam jarak jauh. Desain perangkat konsep ini umumnya terdiri dari dua struktur utama. Yang pertama untuk menahan sistem konverter dan bertindak sebagai fondasi untuk keseluruhan struktur dan terletak didasar laut. Struktur kedua dihubungkan dengan struktur pertama dengan mekanisme engsel sehingga dapat dilenturkan dan mengambang keatas.

3. Konsep Oscillating Water Column

Konsep *Oscillating Water Column* menggunakan konsep jebakan udara dalam kolam osilasi. Gerakan naik turunnya gelombang dalam kolam osilasi menghasilkan kompresi dan dekompresi udara, baling-baling turbin yang dihubungkan dengan generator digerakan oleh perbedaan tekanan udara sehingga tenaga listrik dihasilkan. Fenomena ini menghasilkan gerakan aliran dua arah, yaitu aliran udara masuk dan aliran udara keluar, sehingga mendorong turbin untuk berputar berlawanan arah bolak balik.

Konsep *Oscillating Water Column* ini dapat diletakan di pinggir atau di tengah laut. Pada perletakan di tengah laut, digunakan kabel laut untuk mengalirkan tenaga listrik menuju transmisi yang ada di darat.

Dalam penggunaan teknologi *Oscilating Water Column* (OWC), besarnya energi potensial dan energi kinetik yang dihasilkan gelombang laut menggunakan persamaan:

$$P.E = \frac{1}{4} w \rho g a^2 \lambda \quad (7.14)$$

$$K.E = \frac{1}{4} w \rho g a^2 \lambda \quad (7.15)$$

Lebih dari satu periode, total energi dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

$$E_w = P.E + K.E = \frac{1}{2} w \rho g a^2 \lambda \quad (7.16)$$

Kemampuan daya listrik yang dihasilkan gelombang laut menggunakan persamaan:

$$P_w = \frac{E_w}{T} \quad (7.17)$$

di mana:

E.P = energi potensial (Joule)

E.K = energi kinetik (Joule)

W = lebar chamber (m)

Q = massa jenis air laut (kg/m³)

λ = Panjang gelombang (m)

P_w = daya listrik (watt)

T = periode gelombang (dtk)

4. Konsep Wave Overtopping

Konsep *Wave Overtopping* merupakan konsep yang belum banyak dikembangkan. Konsep ini memiliki reservoir yang digunakan sebagai penampungan air yang terbawa oleh mekanisme *overtopping* gelombang. *Reservoir* yang terletak pada puncak *converter* yang letaknya lebih tinggi dari muka air laut. Efek dari gelombang pecah digunakan untuk menaikkan muka air gelombang kedalam *reservoir*. Gelombang pecah terjadi ketika gelombang

bergerak pada kedalaman yang berangsur-angsur berkurang atau gelombang yang datang menghempas bidang miring.

Overtopping gelombang merupakan fungsi dari parameter struktur geometri, tata letak, dan bahan sifat struktur serta parameter hidrolis tinggi gelombang, periode gelombang, panjang gelombang, dan permukaan air. Secara umum, teknologi overtopping terdiri dari dua tipe, tipe tenggelam dan tipe terapung.

Temuan pertama yang berkonsep *overtopping* adalah teknologi gelombang *Tapered Chanel*, dikembangkan di Norwegia pada tahun 1980 dengan *converter* energi overtopping tipe tenggelam. Temuan yang berkonsep *overtopping* WEC dengan tipe terapung adalah *Wave Dragon*, model ini memberikan kemampuan tambahan dari bentuk fisiknya, bukan hanya untuk *converter* energi, tetapi juga sebagai peredam gelombang. *Wave Dragon* menggunakan reflektor untuk memfokuskan gelombang.

Beberapa penelitian telah dilakukan dengan menggabungkan WEC dan *overtopping* pemecah gelombang di antaranya: *Seawave Slot-Cone Generator* (SSG) menyatakan desain SSG, jika diukur dari air yang masuk ke reservoir, nilai efisiensi hidrolisnya adalah 37%. (Mustapa, M.A dkk, 2017); *Overtopping Breakwater for Energy Conversion* (OBREC) menyatakan bahwa potensi struktur untuk menangkap gelombang maksimum terbatas karena pada kondisi pasang tinggi, permukaan laut berada di atas puncak pemecah gelombang (Vicinanza. D dkk, 2014); *Wave Catcher Shore Protection Dual-Slope* (WCSP-DS) menyatakan bahwa peningkatan tinggi gelombang di depan WCSP-DS dipengaruhi oleh parameter gelombang (H dan T) serta parameter struktur yaitu kedalaman relative model (d/z), tinggi Freeboard dan kolektor pemusat. Penambahan kolektor pemusat dan tinggi *freeboard* pada berpengaruh signifikan terhadap tinggi gelombang yang terjadi di depan struktur WCSP-DS. Penambahan satu kolektor pemusat dapat meningkatkan debit overtopping yang masuk kedalam reservoir sebesar 55,47% (Prihatini, W.O.Z, dkk, 2022).

7.3.2 Kelebihan dan Kekurangan Energi Gelombang Laut

Bahan pertimbangan dalam pemanfaatan energi gelombang laut adalah keunggulan dan kesulitan energi gelombang laut.

Berikut keunggulan dan kesulitan energi gelombang laut:

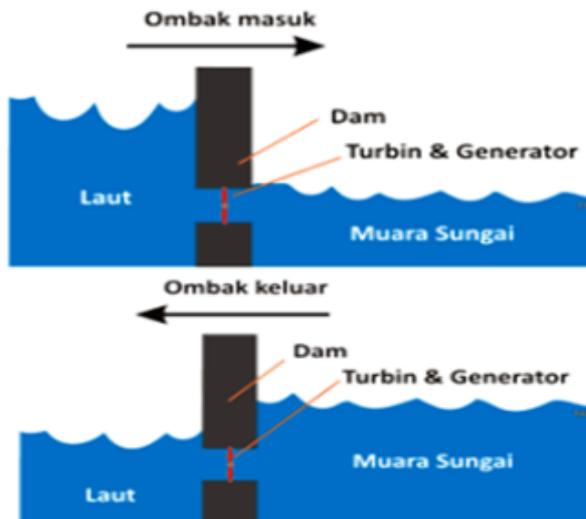
1. Keunggulan:
 - a. Energi gelombang laut sangat berlimpah dan merupakan energi terbarukan sehingga dapat dimanfaatkan terus-menerus.
 - b. Energi gelombang laut adalah energi yang bebas polusi, tidak memberi kontribusi pada gas rumah kaca dan perubahan iklim dan dalam pengoperasiannya tidak merusak ekosistem alam.
 - c. Energi di belakang struktur model akan berkurang bila pengaplikasiannya menggunakan gabungan WEC dan breakwater.
2. Kesulitan:
 - a. Biaya pembuatan yang sangat mahal
 - b. Belum adanya teknologi konverter energi gelombang yang efektif sehingga optimalisasi energi yang berlimpah belum terpenuhi.

7.4 Energi Tidal

Energi tidal merupakan energi dengan memanfaatkan selisih ketinggian saat air laut pasang dan surut. Pengaplikasian energi tidal dengan menggunakan dam yang menggunakan pintu air dan turbin dipasang pada bangunan dam untuk menyekat dam dan laut. Saat air pasang, ketinggian air di dalam dan diluar dam berbeda. Pintu air terbuka dan air mengalir melewati turbin, menghasilkan listrik melalui generator.

Energi tidal dibagi menjadi dua berdasarkan jenis bangunannya, yaitu kolam tunggal dan kolam ganda. Energi kolam tunggal hanya digunakan pada saat pasang atau saat surut saja. Sebaliknya sistim kolam ganda menggunakan aliran dua arah. Selisih semakin besar antara tinggi air permukaan di kolam dan air permukaan laut pada instalasi akan semakin bermanfaat. Di Jepang, sistem ini telah terbentuk dengan dibukanya pemasangan baru di Laut Ariake,

Kyushu, Inggris sudah mulai memasang di Muara Sungai Severn, dengan pemasangan berskala besar sebesar 12 GW listrik. Pemanfaatan potensi energi pasang surut yang diterapkan pada pertemuan muara sungai dan laut dapat dilihat pada Gambar 7.2



Gambar 7.3: Prinsip Pembangkit Listrik Pasang Surut (Sangari, 2014)

Energi yang dihasilkan dari siklus waktu pengosongan waduk (E_1) dan waktu pengisian waduk (E_2) menggunakan persamaan:

$$\int_0^H s(h) \cdot h \cdot dh = E_1 \quad (7.18)$$

$$\int_0^H s(h) \cdot h \cdot (H - h) \cdot dh = E_2 \quad (7.19)$$

Setiap siklus hitungan bangkitan energi digunakan persamaan:

$$E = E_1 + E_2 = H \int_0^H s(h) \cdot dh = H \cdot V \quad (7.20)$$

di mana:

E = energi yang dibangkitkan persiklus

H = beda tinggi air di dalam dan diluar waduk

V = volume waduk

Untuk mendapatkan energi maksimal persamaan (7.18), (7.19) dan (7.20) Volume waduk diganti dengan besaran massa air laut, dilihat pada persamaan:

$$E_{max} = b g H^2 S \quad (7.21)$$

$$P = f Q H \quad (7.22)$$

di mana:

E_{max} = jumlah energi max persiklus

b = berat jenis air laut

g = gravitasi

H = tinggi max pasut

S = luas waduk rerata antara pasang dan surut

Q = debit air

F = faktor efisiensi

P = daya

Energi gelombang tidal memiliki keunggulan dan kesulitan. Untuk keunggulan energi gelombang tidal sama dengan energi gelombang laut. Kesulitan energi tidal yang berbeda dengan energi gelombang laut, yaitu setiap harinya hanya dapat menghasilkan energi kurang lebih 10 jam pada kondisi pasang dan surut.

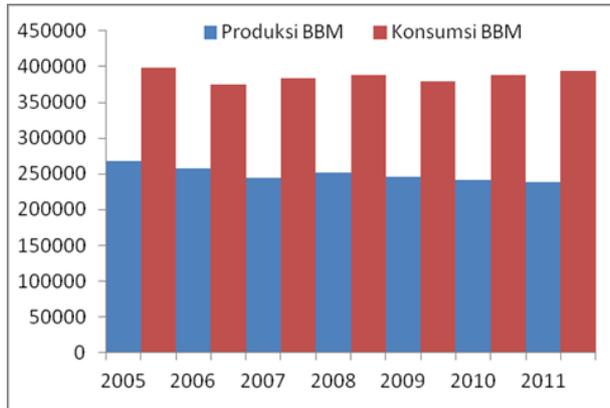
Bab 8

Energi Hidrogen

8.1 Energi

Energi adalah salah satu kebutuhan utama penduduk di muka bumi yang akan bertambah selalu seiring dengan kebutuhan hidup. Energi BBM (bahan bakar minyak) mempunyai peran yang amat pokok dalam pemenuhan kepentingan energi di belahan dunia ini (Ibrahim dan Haris, 2021). Sebagaimana dipahami ada beberapa contoh kebutuhan energi tersebut adalah bahan BBM, gas, batu bara, dll dan energi yang dapat diperbaharui. Perkembangan zaman menunjukkan bahwa BBM adalah bahan penting dalam rangka pemenuhan keperluan energi kita (Bahman, 2020).

Data dari diagram batang menunjukkan bahwa BBM merupakan penyuplai terbanyak sebagai bahan bakar (Priyohadi dkk, 2013). Sebagaimana yang kita ketahui (BBM) adalah energi yang tidak bisa diperbaharui kecenderungan kenaikan. Berdasarkan data yang diperoleh kejadian kenaikan kebutuhan BBM setiap tahunnya, dengan demikian semakin berkurang cadangan bahan bakar fosil di permukaan bumi. Dampak dari masalah tersebut berakibat menipisnya energi yang tersedia yang diperuntukkan pemenuhan keperluan kita (Gopinath dan Marimuthu, 2022).



Gambar 8.1: Perkiraan Produksi dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak (Priyohadi, 2013)

Energi fosil bila digunakan menimbulkan banyak masalah dalam lingkungan yakni pengotoran lingkungan. Bila energi fosil dibakar menghasilkan gas-gas beracun pada lingkungan dan adanya kenaikan pemanasan global (Ken dan Shinichiro 2022). Berbagai upaya dilakukan untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Salah satu upaya dengan menggunakan energi terbarukan. Hal ini merupakan solusi terbaik di mana energi tersebut memiliki tingkat kalor yang besar dan bisa dimanfaatkan sebagai energi alternatif (bahan bakar).

Keunggulan dari energi terbarukan bila dibakar hanya menghasilkan zat yang tidak berbahaya yaitu uap air yaitu hidrogen (Kazunari dkk, 2016).

8.2 Hidrogen Sebagai Energi Alternatif

Pada zaman masyarakat dihantui oleh terjadinya krisis energi dibelahan dunia ini terutama energi bahan bakar (Abe, dkk 2019). Berbagai cara dilakukan untuk mencegah terjadinya krisis bahan bakar di muka bumi. Salah satu usaha yang dilakukan untuk memecahkan problem krisis energi bahan bakar adalah pemanfaatan hidrogen (H₂) sebagai energi pembakaran. Pemanfaatan tersebut karena unsur hidrogen memiliki keunikan. Ada beberapa hal yang membuat unsur hidrogen menjadi unik salah satunya karena mempunyai energi spesifik yang amat besar bila diperbandingkan dengan bahan bakar pada umumnya yang mana tidak menghasilkan emisi (Marco dkk.2022).

Dalam hal ini upaya peningkatan kualitas pembuatan hidrogen sangat diperlukan untuk menghasilkan bahan bakar yang bermutu dengan metode yang menarik. Salah satu cara yang menarik dan baik adalah pembuatan tersebut dengan cara penguraian dari air dengan menggunakan alat *electrolyzer* yang dapat menghasilkan hidrogen bersih (Ram dkk. 2016). Cara kerja alat tersebut adalah mengolah penguraian air selaku gas hidrogen dan oksigen dengan elektroda yang disambungkan dengan arus listrik.

Pada proses penguraian tersebut digunakan kalium hidroksida (KOH) sebagai. Karakterisasi kerja electrolyser dilakukan dengan variasi luas penampang dan konsentrasi KOH didasarkan dengan kalkulasi daya yang dibutuhkan, volume gas yang dihasilkan serta efisiensinya. Dalam hal ini kontrol tegangan konstan yaitu 8,5 volt dan variasi konsentrasi KOH. Pada reaksi penguraian ini diperoleh hasil yang dikatakan semakin besar konsentrasi KOH, maka semakin besar juga arus yang didapatkan. (Paloma dan Antonio.2018).

Sebagai mana kita pahami, hidrogen merupakan unsur yang tersedia di alam melimpah ruah, namun disisi lain hanya sedikit yang tersisa di bumi. Sumber hidrogen bisa diperoleh dari benda langit yaitu bintang. Bila kita menganalisis pancaran sinar dari bintang, dapat dikatakan bahwasanya bintang tersusun atas unsur hidrogen (Sherif, dkk 2014). Hidrogen adalah salah satu unsur yang unik yang mana unsur tersebut sangat kuat. Unsur hidrogen di alam banyak dijumpai pada air di mana komponen hidrogen 11,1%, hidrokarbon dari gas alam 25%, minyak bumi 14% dan karbohidrat (Sherif, dkk 2014). Beberapa karakteristik Hidrogen dapat dilihat pada Tabel 8.1

Tabel 8.1: Karakteristik Hidrogen

Nama	Keterangan
Lambang	H
Nomor atom	1
Konfigurasi elektron	1s ¹
Mr	1,008
Potensial ionisasi/kJ mol ⁻¹	1310
Kekentalan/g cm ⁻³	0,00009

Titik didih/K	20
Suhu kritik	33
Jari-jari atom/nm	0,037
Potensial elektron/V	0

8.2.1 Pemanfaatan Hidrogen

Sebagaimana yang kita ketahui unsur hidrogen dapat menghasilkan kalor pada proses pembakaran. Adapun jumlah kalor yang dihasilkan sebanyak 286 KJ per mol. Kalor yang didapatkan oleh H₂ bisa diperbandingkan dengan kalor yang didapatkan dari sumber energi pembakaran lain (Pranay dkk 2022), dapat dilihat pada Tabel 8.2.

Tabel 8.2: Jenis Bahan Bakar dan Energi Kalor

Jenis Bahan Bakar	Spesifik Energy (MJ/Kg)	Energi Density (MJ/L)
LPJ	49,6	25,3
Bensin	46,4	34,2
Minyak Tanah	42,8	33
Diesel	45,6	38,6
Minyak Mentah	46,3	37
Etanol	29,7	23,4
Metanol	22,7	17,85
Butanol	36,1	29,2
Metana	55,6	23,53
Hidrogen (Liquid)	141,86 (HHV), 119,93 (LHV)	10,004 (HHV), 8,491 (LHV)
Hidrogen 690 bar (15 °C)	141,86 (HHV), 119,93 (LHV)	5,323 (HHV), 4,500 (LHV)
Hidrogen (gas)	141,86 (HHV), 119,93 (LHV)	5,323 (HHV), 4,500 (LHV)

8.2.2 Keunggulan Dan Kelemahan Hidrogen Sebagai Bahan Bakar

Unsur hidrogen adalah banyaknya unsur yang memiliki kelebihan yang amat banyak dalam hal pemanfaatannya sebagai sumber energi pembakaran di

muka bumi ini (Razzhivin dkk.2022). Namun tidak bisa dipungkiri jika hidrogen memiliki pula kekurangan dalam pemanfaatan sebagai bahan bakar.

Ada beberapa keunggulan hidrogen bila digunakan sebagai bahan bakar (Bahman, 2020), berikut ini keunggulannya:

1. Bila direaksikan dengan oksigen membentuk air dan energi.
2. Jumlah energi yang dihasilkan tiga kali lebih besar bila dibandingkan dengan bensin
3. Polusi yang dihasilkan jumlahnya sedikit. Bila ada pembakaran pada suhu yang tinggi muncul polusi berupa nitrogen oksida.
4. Jika mesin menggunakan hidrogen dengan mudah dapat di rubah untuk menggunakan hidrogen sebagai bahan bakar. Sebagai mana telah diuraikan di atas, unsur hidrogen memiliki juga kelemahan bila digunakan sebagai sumber energi bahan bakar.

Hal ini pula yang menjadikan alasan kenapa hidrogen sementara ini tidak dibuat secara habis-habisan sebagai sumber energi.

Adapun alasannya yakni:

1. Sintesis hidrogen kategori high cost
2. Lebih sulit pada penyimpanan

8.2.3 Penggunaan Hidrogen Selain Sebagai Bahan Bakar

Hidrogen merupakan unsur yang memiliki pemanfaatan yang luar biasa, unsur ini dikatakan sebagai unsur multi manfaat. Selain sebagai sumber energi pembakaran, bisa pula dimanfaatkan untuk bahan dasar dalam mensintesis berbagai produk makanan maupun produk lain.

Pemanfaatan hidrogen pada industri (Sherif, dkk.2014) diuraikan sebagai berikut:

1. Gas hidrogen merupakan basic material dalam pembuatan hidrogen peroksida atau H_2O_2 , senyawa ini banyak ditemui pada industri pulp, kertas dan tekstil.
2. Sintesis asam nitrat
3. Sintesis mentega.
4. Sintesis petroleum

5. Sintesis metanol.
6. Hidrogen dimanfaatkan untuk balon meteorologi.
7. Pemanfaatan untuk cairan kriogenik
8. Pemanfaatan untuk bahan bakar roket.
9. Sintesis amoniak sebagai basic material pupuk.
10. Clean energi pada lingkup otomotif
11. Pembuatan vitamin pada lingkup kesehatan

8.2.4 Produksi Hidrogen

Saat ini upaya untuk memperoleh hidrogen dengan kualitas yang baik dan biaya murah terus ditingkatkan. Para ahli bekerja untuk menemukan formula yang tepat dengan tetap menekan biaya produksi sehingga dapat memperoleh hidrogen yang diharapkan (Ibrahim dan Haris. 2020). Namun tidak bisa dipungkiri dari beberapa metode masing-masing punya keunggulan maupun kelemahan.

Bisa dilakukan berbagai cara pada pembuatan hidrogen (Ibrahim dan Haris 2020), di antaranya:

1. Penyaluran uap air pada karbon panas $C(s) + H_2O \rightarrow CO(g) + H_2(g)$, yang mana perolehan H_2 dengan cara ini masih kotor karena sulit memisahkan CO dari gas air.
2. Penyaluran uap air dari besi panas $3Fe(s) + 4H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 4H_2(g)$.
3. Pada minyak bumi gas hidrokarbon dialirkan bersama katalis panas dan terurai menjadikan hidrogen dan hidrokarbon lain.
4. Kemurnian hidrogen berada pada rentang (99,9%), hidrogen dalam hal ini termasuk kategori sangat murni. Hidrogen yang sangat murni harganya sangat mahal.
5. Hidrogen murni yang digunakan di laboratorium bisa diperoleh dari reaksi redoks yang mana ion hidrogen direaksikan dengan logam seng (logam yang potensial elektrodanya negatif), reaksi adalah: $Zn(s) + 2H^+ \rightarrow Zn^{2+} + H_2(g)$.

8.3 Hidrogen dan Biomassa

Hidrogen dapat diperoleh melalui cara sintesis gas (gasifikasi) biomassa. Gasifikasi adalah teknologi yang menggunakan cara termokimia. Proses tersebut bisa mengubah bentuk padat/cair yang terdapat pada karbon, dan oksigen, serta senyawa bahan alam ke bentuk produk gas melalui pasokan oksigen sekitar 20-40% (Kazunari, dkk 2016). Pada proses gasifikasi pengaturan temperatur dan tekanan harus dilakukan. Gas yang didapatkan pada proses sintesis tersebut adalah CO, CO₂, H₂, dan CH₄. Disisi lain didapatkan pula arang dan abu dalam jumlah yang relatif kecil. (Sherif, dkk 2014).

Gasifikasi dapat pula diartikan sebagai reaksi redoks biomassa dengan oksigen yang jumlahnya yang tercukupi. Bila pada proses sintesis gas biomassa dialiri uap air, maka ada kondisi krusial dan kompleks karena ada reaksi yang tidak putus dan didapatkan campuran gas dan cairan.

Pada proses gasifikasi terdapat tiga reaksi utama (Sherif, dkk 2014), yaitu:

1. Reaksi steam reforming + H₂O → CO + 3H₂
2. Reaksi gas-air shift: CO + H₂O → CO₂ + H₂
3. Reaksi metanasi: CO + 3H₂ → CH₄ + H₂O

8.3.1 Metode Gasifikasi

Metode gasifikasi merupakan wujud dari teknologi yang banyak digunakan saat ini. Dalam dunia industri batu bara metode gasifikasi ini dimanfaatkan untuk merubah batubara membentuk energi bahan bakar gas, yang lebih lazim disebut gasifier.

Sejumlah metode yang biasa digunakan dalam sintesis gasifikasi di antaranya (Sherif, dkk 2014), adalah:

1. Unggun tetap
2. Fluidisasi
3. Tersembur.

Metode yang paling sederhana dan murah dari ketiga metode tersebut untuk penerapan energi bahan bakar adalah metode ungun tetap. Pada proses gasifikasi didapatkan abu yang merupakan buangan dari batubara. Pengeluaran

abu dapat dilakukan dengan metode direct pada temperatur rendah, dan boleh juga dikeluarkan dengan cara slagging gasifier pada temperatur tinggi (Sherif, dkk 2014).

8.3.2 Proses Gasifikasi pada Batubara

Proses gasifikasi pada batubara langkah kerjanya mencakup pengeringan, dekomposisi, dan redoks. Fungsi pengeringan ialah mengeksplorasi dan mengeliminasi komponen air yang ada dalam batubara. Dalam hal ini batubara dipanaskan hingga terdekomposisi membentuk arang, tar dan gas. Sedangkan proses oksidasi ialah pembakaran zat terbang yang bersumber dari hasil dekomposisi dari pemanasan arang. Pemanasan ini menjadikan sebagian arang akan teroksidasi dan sisanya tereduksi (Cynthia dkk, 2007).

Pada gasifier arang di reduksi oleh steam dan disisi lain CO, menghasilkan gas H₂ dan CO. Bertambahnya jumlah kecepatan steam atau kukus berakibat pada berkurangnya gas CO pada gas produk. Pada proses tersebut ada peningkatan kandungan H₂ dan CO₂ melalui reaksi geser. Komponen gas yang didapatkan dipengaruhi oleh temperatur dengan mengatur kecepatan oksigen yang ada (Cynthia dkk, 2007).

Dalam hal ini kalor yang didapatkan dari reaksi oksidasi dimanfaatkan untuk reaksi endotermis contohnya reaksi: reduksi, dekomposisi dan pengeringan. Pada prinsipnya proses gasifikasi batubara lazimnya dilakukan dalam suatu reaktor (gasifier) yang mana tahapannya adalah drying, penguraian dan redoks. Pada proses gasifikasi ini didapatkan gas CO, H₂ yang merupakan produk unggulan.

Adapun langkah kerja gasifikasi batubara (Cynthia dkk, 2007), yaitu:

1. Reaksi Drying, drying adalah tindakan pemanasan batubara pada temperatur antara 100-250°C. Proses ini bertujuan mengeliminasi air yang ada. Adapun tingkatan reaksinya: batubara + panas → batubara + air (uap air). Kalor yang diperlukan untuk menguapkan air ini didapatkan dari kalor hasil reaksi oksidasi karbon dalam char bersama oksigen.
2. Reaksi decomposition, setelah melewati proses eliminasi air, batubara akan menjalani proses penguraian pada temperatur tinggi dan membentuk char, tar, dan volatile mater. Proses ini berlangsung

pada temperatur antara 200 – 500°C, di mana mekanisme reaksi yakni: batubara + panas → char + tar + gas.

Proses penguraian yang ada disini sifatnya endotermis. Proses tersebut memerlukan panas yang mana sumbernya didapatkan dari reaksi oksidasi karbon dalam char dengan oksigen dari udara. Proses tersebut dinamai dengan dekomposisi.

3. Reaksi Reduction ialah reaksi yang berlangsung pada tingkatan ini bersifat endotermis. Pada peristiwa ini diperlukan kalor yang sumbernya tersedia dari kalor hasil reaksi oksidasi. Reaksi reduksi pada tingkatan ini secara stoikiometri adalah: $C(\text{char}) + H_2O + \text{panas} \rightarrow CO(\text{gas}) + H_2(\text{gas})$

Dari reaksi ini didapatkan produk gas yang bisa membakar sintesis. Secara stoikiometri karbon yang bereaksi dengan uap air dan membentuk gas karbon monoksida dan gas hidrogen.

Kedua gas ini adalah produk utama dari hasil gasifikasi. Selanjutnya membentuk reaksi pada tahap kedua, di mana reaksinya (Cynthia dkk, 2007) adalah: $C(\text{char}) + CO_2 + \text{panas} \rightarrow 2CO$

Sebagaimana yang kita lihat reaksi ini memproduksi gas bakar yaitu gas karbon monoksida. Pada peristiwa ini karbon dalam char yang bereaksi dengan gas karbon dioksida yang nantinya di konversi menjadi gas. Produk konversi yang ada disini mampu bakar karbon monoksida dan mekanisme reaksinya dinamai Boudouard reaction.

4. Reaksi Geser

Pada reaksi geser ini uap air direaksikan bersama gas CO hingga membentuk gas CO_2 . Mekanisme reaksinya berikut ini: $CO(\text{gas}) + H_2O(\text{uap}) \rightarrow CO_2(\text{gas}) + H_2(\text{gas}) + \text{panas}$. Kedua produk gas yang didapatkan adalah gas utama yang mempunyai nilai kategori mampu bakar.

5. Reaksi Combustion

Peristiwa oksidasi adalah peristiwa yang melibatkan oksigen sebagai oksidatornya. Dalam kejadian ini carbon dalam char akan dioksidasi sehingga didapatkan gas karbon dioksida dan bisa pula karbon

monoksida. Produk gas yang didapatkan bergantung pada jumlah oksigen yang ditambahkan.

8.4 Elektroda Hidrogen

Elektroda hidrogen standar berperan sebagai elemen dan acuan pokok dalam reaksi elektrokimia, tetapi, pada pelaksanaannya peran tersebut sukar untuk diatasi bila ada masalah. Solusi dari problem tersebut adalah memilih elektroda yang lain. Dalam hal ini elektroda sekunder dipilih dan lebih disukai dalam melakukan percobaan.

Meskipun elektroda sekunder banyak diminati namun tetap harus memenuhi kriteria (Grimshaw, J 2020), adapun kriterianya sebagai berikut:

1. Secara keseluruhan elektroda dapat bolak balik secara kimia dan dapat diatur potensinya.
2. Potensi harus tidak berubah ketika dilewati arus kecil dan bisa berbalik ke nilai asal setelah tidak terpolarisasi.
3. Koefisien termal potensial harus kecil.

8.5 Elektrolisis Air dan Media Asam

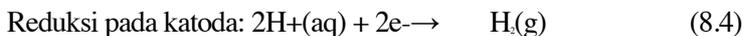
Proses pemisahan suatu elektrolit dengan arus listrik, yang mana energi tersebut akan diubah membentuk energi kimia dalam hal ini reaksi redoks melalui elektrodanya (Cynthia, 2007). Dalam sel elektrolisis air, listrik dimanfaatkan untuk mengubah molekul air membentuk hidrogen dan oksigen. Pada pembahasan tentang reaksi setengah sel dan mekanismenya bergantung pada derajat keasaman elektrolit (Grimshaw, J 2020).

Pemisahan air dalam media asam, persamaan reaksinya ditunjukkan pada (Persamaan 8.1, 8.2, 8.3). Reaksi elektrolisis air dapat dilakukan dengan mereaksikan gas oksigen dan hidrogen dengan (H_2O) membentuk gas hidrogen dan oksigen (Grimshaw, J 2020).

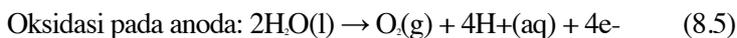
Reaksi pemisahan hidrogen (H_2) dan O_2 dalam elektrolisis air dituliskan sebagai berikut:



Reaksi reduksi pada air murni di mana katoda (negatif), dengan elektron (e^-), selanjutnya dari katoda berpindah H^+ untuk menghasilkan hidrogen (H_2). Reaksi tersebut disebut setengah reaksi, dalam kondisi setimbang pada asam, ditunjukkan pada Persamaan 8.4.



Tampak pada persamaan reaksi di bawah ini anoda bermuatan positif, reaksi yang terbentuk yakni reaksi oksidasi di mana menghasilkan gas oksigen dan memberikan elektron ke anoda, (Grimshaw, J 2020). Persamaan reaksinya ditunjukkan (Persamaan 8.5).



Bab 9

Energi Biru Terbarukan

9.1 Pendahuluan

Indonesia adalah salah satu negara kepulauan di planet ini. Memiliki 17.500 pulau, mencakup sekitar 5,6 juta km², dan 70 persen perairan dan 30 persen daratan. Potensi termal rata-rata lautan Indonesia adalah $2,5 \times 1.023$ Joule, dan sekitar 240.000 MW listrik dapat dihasilkan dengan mengkonversi energi panas laut dengan efisiensi 3 persen (Sanam et al., 2022). Wilayah laut Indonesia dari pantai selatan Jawa hingga Nusa Tenggara memiliki potensi energi gelombang 10 hingga 20 kW/meter, meskipun kekuatan gelombang laut bervariasi menurut lokasi. Energi air laut memiliki potensi menjadi sumber energi terbarukan karena dapat digunakan untuk menghasilkan listrik dari perbedaan suhu antara udara dan air (Yuningsih et al., 2010). Untuk tujuan menghasilkan energi listrik, banyak negara maju saat ini berusaha mengembangkan sumber energi baru terbarukan. Banyak orang yang tidak menyadari bahwa air laut memiliki potensi untuk menghasilkan energi listrik. Untuk menghasilkan energi listrik, banyak negara maju berusaha untuk menemukan sumber energi baru dan terbarukan (Fataha, 2019).

Perlu adanya pengganti energi fosil mengingat dalam beberapa tahun kedepan energi fosil akan habis, tidak akan mampu lagi menunjang pasokan energi nasional. Pengganti energi fosil tersebut adalah energi baru terbarukan (Yaqin, 2014). Yaitu energi yang mempunyai sifat ramah lingkungan dan bisa

diperbarui, dan jumlahnya melimpah. Dari sini perlu upaya kuat dari pemerintah melalui Kementerian ESDM. Penelitian ini bertujuan untuk melihat kondisi dan potensi energi baru terbarukan dan energi saat ini untuk merumuskan sebuah skenario kebijakan dalam pengembangan energi baru terbarukan. Melihat energi baru terbarukan adalah energi masa depan, maka merumuskan skenario adalah langkah paling tepat untuk melihat kondisi masa depan dari keenergian nasional (Yaqin, 2014).

Antara tahun 2000 dan 2035, kebutuhan energi Indonesia diperkirakan akan meningkat rata-rata 4,8% per tahun, sejalan dengan pertumbuhan PDB negara yang diperkirakan antara 3,2% hingga 6,0%. standar hidup masyarakat membutuhkan akses energi yang mudah dan terjangkau (Sanam et al., 2022)

9.2 Potensi Energi Laut di Indonesia

Air laut sangat berguna dalam mengatasi masalah ini karena mudah dijangkau dan memiliki rapat arus listrik yang rendah. Air laut dapat dimanfaatkan lebih dari sekedar sebagai sumber air tawar. PLTAL (Pembangkit Listrik Tenaga Air Laut) yang pertama kali diterapkan di Bali ini dikembangkan oleh para peneliti dengan klaim bahwa satu unit pembangkit ini dapat menghasilkan hingga satu megawatt, yang cukup untuk memasok listrik masyarakat dalam waktu yang lama. Namun, jumlah daya yang sebenarnya dapat dihasilkan adalah sekitar sepuluh kilowatt. Karena itu, aplikasi pembangkit listrik masih terbatas untuk skala besar. Penggunaan skala, tetapi cukup untuk penggunaan arus kecil di satu lokasi, seperti menyalakan lampu jalan. Kandungan garam air laut di setiap lokasi dikatakan sebagai penyebabnya tegangan dan arus listrik di air meningkat oleh kandungan garam. Salah satu jenis energi terbarukan adalah energi laut, yang menggunakan sumber daya yang tidak berasal dari alam. Karena laut dapat memasok empat kali kebutuhan listrik dunia, tidak mengherankan bahwa negara-negara maju bersaing untuk memanfaatkannya. Energi pasang surut, gelombang laut, arus laut, dan OTEC (ocean thermal energy conversion) merupakan sumber energi alternatif berbasis air laut.

Penelitian dan pemetaan potensi energi arus laut merupakan salah satu upaya penting dalam mengeksplorasi sumber energi non konvensional dari laut. Energi arus laut sebagai energi terbarukan adalah energi yang cukup potensial di wilayah pesisir terutama pulau-pulau kecil di kawasan timur (Setiawan et al., 2013). Kawasan timur Indonesia seperti Bali dan Nusatenggara umumnya

berupa selat-selat sempit di antara dua gugusan pulau, serta penduduknya mayoritas hidup dari hasil laut yang memerlukan energi.

Lokasi penelitian yang sudah dipilih yaitu Selat Toyapakeh (Gambar 1), Nusa Penida – Propinsi Bali. Berdasarkan data sekunder dari daftar arus pasang surut, hasil analisis perbedaan waktu pasang surut, batimetri regional dan pola arus lintas Indonesia regional (ARLINDO) di daerah ini dilalui arus dengan kecepatan yang memenuhi syarat sebagai pembangkit listrik tenaga arus (Yuningsih et al., 2010).

9.3 Konsep Energi Termal Terbarukan

Konsep energi biru masih kurang dikenal oleh banyak orang, tetapi ini mengacu pada sumber energi alternatif terbarukan dari yang kurang dikenal. Energi biru adalah energi yang dilepaskan dari campuran air asin dari laut dengan air tawar dari pertemuan arus sungai dan laut (Mansyur, 2020).

Garam adalah sumber kekuatan. Tempat bercampurnya air laut dengan air tawar bisa menjadi sumber daya energi terbarukan. Sumber energi ini lazim disebut sebagai energi biru. Para peneliti Universitas Standford telah mengembangkan baterai yang tahan lama dan efisien dengan memanfaatkan energi biru ini (Syakti et al., 2017).

Untuk menghasilkan informasi hidrooseanografi dan informasi geologi yang maksimal maka dilakukan penelitian dengan beberapa tahapan pekerjaan sebagai berikut: Studi data sekunder diperlukan untuk pemahaman tentang kondisi daerah penelitian secara regional untuk selanjutnya menjadi acuan dalam kegiatan lapangan. Data sekunder yang diperlukan berupa data batimetri regional, geologi regional, arus regional dan data prediksi pasang surut dari stasiun terdekat. Metode penentuan posisi menggunakan peralatan Global Positioning System (GPS Receiver) tipe Trimble DSM132 dilakukan untuk mengetahui posisi pengambilan data pada saat sounding, pengukuran arus, pengukuran pasang surut, pengukuran parameter klimatologi dan pemetaan karakteristik pantai (Yuningsih et al., 2010).

9.3.1 Konversi Energi Termal Lautan (OTEC)

Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) 'adalah metode untuk menghasilkan energi listrik menggunakan perbedaan temperatur yang berada di antara laut dalam dan perairan dekat permukaan untuk menjalankan mesin kalor. Seperti pada umumnya mesin kalor, efisiensi dan energi terbesar dihasilkan oleh perbedaan temperatur yang paling besar. Perbedaan temperatur antara laut dalam dan perairan permukaan umumnya semakin besar jika semakin dekat ke ekuator. Pada awalnya, tantangan perancangan OTEC adalah untuk menghasilkan energi yang sebesar-besarnya secara efisien dengan perbedaan temperatur yang sekecil-kecilnya.

Sistem kerja OTEC berupa terjadinya proses pemansan permukaan laut secara terus menerus dengan bantuan sinar matahari, di mana lautan menutupi hampir 70% area permukaan bumi. Perbedaan temperatur ini menyimpan banyak energi matahari yang berpotensi bagi umat manusia untuk dipergunakan. Jika hal ini bisa dilakukan dengan cost effective dan dalam skala yang besar, OTEC mampu menyediakan sumber energi terbarukan yang diperlukan untuk menutupi berbagai masalah energi.

9.3.2 Sejarah Konversi Energi Termal Lautan (OTEC)

Meski sistem OTEC adalah suatu teknologi terbaru, konsepnya memiliki jalan pengembangan yang panjang. Dimulai pada tahun 1881, yaitu ketika Jacques Arsene d'Arsonval, fisikawan Prancis yang mengajukan konsep konversi energi termal lautan. Dan murid d'Arsonval, George Claude yang membuat pembangkit listrik OTEC pertama kalinya di Kuba pada tahun 1930. Pembangkit listrik itu menghasilkan listrik 22 kilowatt dengan turbin bertekanan rendah.

Pada tahun 1931, Nikola Tesla meluncurkan buku "On Future Motive Power" yang mencakup konversi energi termal lautan. Meski ia tertarik dengan konsep tersebut, ia beranggapan bahwa hal ini tidak bisa dilakukan dalam skala besar.

Pada tahun 1935, Claude membangun pembangkit kedua di atas 10000 ton kargo yang mengapung di atas lepas pantai Brasil. Namun cuaca dan gelombang menghancurkan pembangkit listrik tersebut sebelum bisa menghasilkan energi.

Pada tahun 1956, para fisikawan Prancis mendesain 3 megawatt pembangkit listrik OTEC di Abidjan, Pantai Gading. Pembangkit listrik OTEC itu tak

pernah selesai karena murahnya harga minyak pada tahun 1950an yang membuat pembangkit listrik tenaga minyak lebih ekonomis.

Pada tahun 1962, J. Hilbert Anderson dan James H. Anderson, Jr. mulai mendesain sebuah siklus untuk mencapai tujuan yang tidak dicapai Claude. Mereka fokus pada pengembangan desain baru dengan efisiensi yang lebih tinggi. Setelah menganalisis masalah yang ditemukan pada desain Claude, akhirnya mereka mematenkan desain siklus tertutup buatan mereka pada tahun 1967.

Amerika Serikat mulai terlibat pada penelitian OTEC pada tahun 1974, ketika otoritas Natural Energy Laboratory of Hawaii mendirikan Keahole Point di Pantai Kona, Hawaii. Laboratorium itu merupakan fasilitas penelitian dan percobaan OTEC terbesar di dunia. Hawaii merupakan lokasi yang cocok untuk penelitian OTEC karena permukaan lautnya yang hangat dan akses ke laut dalam yang dingin. Selain itu, Hawaii juga negara bagian yang biaya listriknya cukup mahal di Amerika Serikat.

Meski Jepang tidak memiliki tempat yang berpotensi untuk mendirikan OTEC, tetapi Jepang banyak berkontribusi dalam penelitian dan pengembangan OTEC, terutama untuk ekspor dan penerapannya di luar negeri. Salah satu proyek Jepang dalam pengembangan OTEC adalah fasilitas OTEC di Nauru yang menghasilkan 120 kW listrik. 90 kW dimanfaatkan untuk menggerakkan fasilitas OTEC tersebut dan 30 kW dialirkan ke sekolah-sekolah dan beberapa tempat di Nauru.

9.3.3 Prinsip Kerja Konversi Energi Termal Lautan (OTEC)

Konsep mesin kalor adalah umum pada termodinamika, dan banyak energi yang berada di sekitar manusia dihasilkan oleh konsep ini. Mesin kalor adalah alat termodinamika yang diletakkan di antara reservoir temperatur tinggi dan reservoir temperatur rendah. Ketika kalor mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur rendah, alat tersebut mengubah sebagian kalor menjadi kerja. Prinsip ini digunakan pada mesin uap dan mesin pembakaran dalam, sedangkan pada alat pendingin, konsep tersebut dibalik. Dibandingkan dengan menggunakan energi hasil pembakaran bahan bakar, energi yang dihasilkan OTEC didapat dengan memanfaatkan perbedaan temperatur lautan disebabkan oleh pemanasan oleh matahari.

Siklus kalor yang sesuai dengan OTEC adalah siklus Rankine, menggunakan turbin bertekanan rendah. Sistem dapat berupa siklus tertutup ataupun terbuka.

Siklus tertutup menggunakan cairan khusus yang umumnya bekerja sebagai refrigeran, misalnya ammonia. Siklus terbuka menggunakan air yang dipanaskan sebagai cairan yang bekerja di dalam siklusnya.

Beberapa pakar energi berpendapat bahwa OTEC akan menjadi teknologi penghasil listrik yang sangat kompetitif di masa depan. OTEC dapat memproduksi listrik hingga skala gigawatt, dan dengan penggabungan dengan sistem elektrolisis, akan menghasilkan hidrogen cukup untuk menggantikan konsumsi bahan bakar fosil dunia. Tetapi, mengatur biaya adalah yang tersulit. Seluruh fasilitas OTEC membutuhkan peralatan khusus dan pipa panjang berdiameter besar yang ditenggelamkan hingga beberapa kilometer jauhnya dari permukaan untuk mendapatkan air dingin. Dan itu membutuhkan banyak biaya.

9.4 Karakteristik Pengembangan OTEC

9.4.1 Berdasarkan Lokasi

Selain itu, infrastruktur OTEC juga bisa digunakan sebagai akses untuk melacak elemen yang ada di air laut dalam. Namun demikian, teknologi OTEC disebut cukup mahal karena membutuhkan dana yang besar untuk membangun OTEC sebelum listrik dapat dihasilkan. OTEC juga membutuhkan fasilitas penunjang terapung yang cukup banyak.

Namun, setelah dapat dioperasikan, OTEC dapat menghasilkan listrik yang relatif murah.

1. Daratan
2. Mengapung
3. Perairan dangkal

9.4.2 Berdasarkan Sistem Siklus Yang Digunakan

Air laut yang dingin merupakan bagian utama dari tiga tipe siklus tersebut. Untuk mengoperasikannya, air laut yang dingin harus dipompa ke permukaan. Cara lainnya adalah dengan melakukan desalinasi air laut dekat dasar laut yang akan menyebabkan air laut itu mengalir ke atas karena perbedaan densitas (Armus et al., 2018).

Terdapat tiga pola perbedaan dari arus laut yang menyimpang, antara lain;

1. Siklus terbuka
2. Siklus tertutup
3. Siklus hybrid

9.4.3 Siklus Tertutup

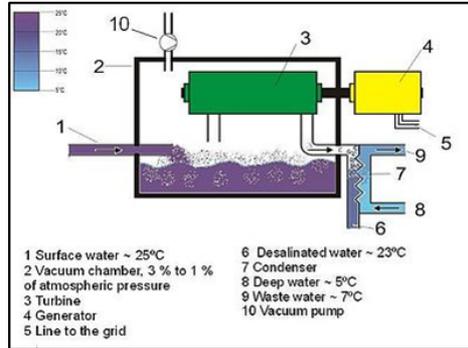
Siklus tertutup menggunakan fluida dengan titik didih rendah, misalnya amonia, untuk memutar turbin dan menghasilkan listrik. Air hangat di permukaan dipompa ke penukar panas di mana fluida bertitik didih rendah dididihkan. Fluida yang mengalami perubahan wujud menjadi uap akan mengalami peningkatan tekanan. Uap bertekanan tinggi ini lalu dialirkan ke turbin untuk menghasilkan listrik. Uap tersebut lalu didinginkan kembali dengan air dingin dari laut dalam dan mengembun. Lalu fluida kembali melakukan siklusnya.

Siklus tertutup pada OTEC memanfaatkan siklus Rankine dasar dengan tiga macam metode:

1. Rankine Cycle
2. Double Stages Rankine Cycle
3. Kalina Cycle

9.4.4 Siklus Terbuka

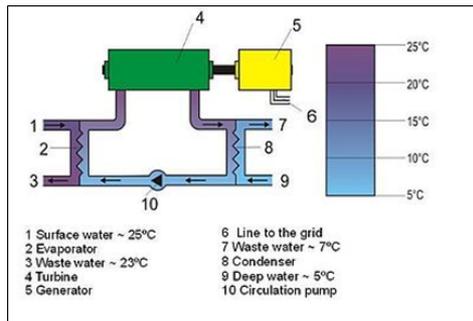
Siklus terbuka menggunakan air laut untuk menghasilkan listrik. Air laut yang hangat dimasukkan ke dalam tangki bertekanan rendah sehingga menguap. Uap ini digunakan untuk menggerakkan turbin. Air laut yang menguap meninggalkan mineral laut seperti garam dan lain sebagainya sehingga bermanfaat untuk menghasilkan air tawar untuk diminum dan irigasi.



Gambar 9.1: Denah Siklus OTEC Terbuka (https://id.wikipedia.org/wiki/Konversi_energi_thermal_lautan)

9.4.5 Siklus Tertutup

Siklus terbuka menggunakan air laut untuk menghasilkan listrik. Air laut yang hangat dimasukkan ke dalam tangki bertekanan rendah sehingga menguap. Uap ini digunakan untuk menggerakkan turbin. Air laut yang menguap meninggalkan mineral laut seperti garam dan lain sebagainya sehingga bermanfaat untuk menghasilkan air tawar untuk diminum dan irigasi.



Gambar 9.2: Siklus OTEC Tertutup (<https://commons.wikimedia.org>)

9.4.6 Siklus Hybrid

Siklus hybrid menggunakan keunggulan sistem siklus terbuka dan tertutup. Siklus hybrid menggunakan air laut yang diletakkan di tangki bertekanan rendah untuk dijadikan uap. Lalu uap tersebut digunakan untuk menguapkan

fluida bertitik didih rendah (amonia atau yang lainnya). Uap air laut tersebut lalu dikondensasikan untuk menghasilkan air tawar desalinasi.

9.4.7 Fluida Kerja

Berbagai jenis fluida digunakan untuk teknologi ini, umumnya yang merupakan bertitik didih rendah. Yang paling populer adalah amonia karena biaya pengadaan yang murah, kemudahan transportasi, dan cukup tersedia. Kekurangan amonia adalah fluida ini beracun mudah terbakar. Jenis fluida lain yaitu hidrokarbon berfluorin seperti CFC dan HCFC tidak beracun dan tidak mudah terbakar, tetapi fluida ini merusak ozon. Hidrokarbon seperti pentana juga kandidat yang baik, tetapi mudah sekali terbakar. Selain itu, penggunaan fluida hidrokarbon yang berasal dari minyak bumi mampu meningkatkan persaingan dengan penggunaannya sebagai bahan bakar.

9.5 Pemanatatan Lain Teknologi OTEC

OTEC memiliki banyak manfaat selain hanya menghasilkan energi listrik antara lain.

1. Air Conditioning

Air laut yang dingin yang dipompa oleh fasilitas OTEC memberikan kemampuan untuk pendinginan mesin-mesin yang berkaitan dengan fasilitas OTEC. Menurut perhitungan Departemen Energi Amerika Serikat, pipa berdiameter 0,3 m dapat memompa sebanyak 0,08 meter kubik air per detik. Jika 6°C air dingin mampu dipompa oleh fasilitas OTEC, dapat digunakan untuk mendinginkan bangunan besar. Jika sistem beroperasi selama 8000 jam dan listrik lokal dijual seharga 5-10 sen per kWh, maka itu akan menghemat tagihan listrik sebesar 200.000 hingga 400.000 dolar pertahun.

Seperti pada contoh kasus pada The Inter Continental Resort dan Thalasso-Spa di pulau Bora Bora menggunakan OTEC untuk mengkondisikan udara di dalam bangunan. dengan melewati air laut ke penukar panas, mendinginkan air tawar. Air tawar ini lalu dipompa ke dalam bangunan untuk mendinginkan udara.

2. Budidaya Perairan

Sistem OTEC memiliki kemampuan untuk memompa air laut perairan dalam dalam jumlah besar. Air laut tersebut mengandung nutrisi yang diperlukan untuk budidaya perikanan. Budidaya salmon dan lobster sangat bergantung pada nutrisi dari laut dalam, sehingga hal ini sangat berpotensi untuk dikembangkan. Dinginnya air juga dapat dipergunakan untuk mengatur suhu air kolam budidaya dan mendinginkan hasil budidaya.

3. Budidaya Tanaman

Air dingin yang dipompa dari laut dalam atau air dingin yang sudah melewati penukar panas dapat digunakan untuk tujuan lain, seperti mendinginkan lingkungan (media tanam dan udara) di dalam rumah tanaman yang digunakan untuk menanam tanaman iklim sedang. Air dingin yang telah melewati penukar panas masih memiliki temperatur 7°C, baik pada siklus tertutup maupun siklus terbuka.

4. Desalinasi

Sistem siklus terbuka dan hybrid OTEC dapat dimanfaatkan untuk desalinasi. Air hasil kondensasi adalah air tawar tanpa mineral laut yang dapat dijadikan air minum atau irigasi pertanian dekat pantai.

5. Ekstraksi Mineral

Sejak dulu diketahui bahwa air laut mengandung banyak sekali mineral terlarut yang dapat dimanfaatkan, misalnya magnesium, tetapi mahalnya biaya pemompaan dibandingkan dengan hasilnya membuat kegiatan tersebut tidak berlangsung secara besar-besaran. Dengan adanya fasilitas OTEC, ekstraksi mineral air laut dalam dapat dilakukan sambil memproduksi listrik.

6. Produksi Hydrogen

Hidrogen bisa diproduksi lewat elektrolisis menggunakan listrik yang dihasilkan OTEC. Air laut memiliki ion elektrolit yang mampu meningkatkan efisiensi elektrolisis air untuk menghasilkan gas hidrogen.

9.6 Hambatan Pengelolaan OTEC

1. Degradasi kemampuan penukar panas akibat gas terlarut
2. Degradasi kemampuan penukar panas akibat mikroba
3. Penutupan yang tidak rapat-hal ini penting karena OTEC bekerja pada tekanan rendah. Meningkatnya tekanan dapat menyebabkan berkurangnya kinerja pembangkit listrik
4. Kompresor tua dapat mengambil energi berlebih-hal ini dapat mengakibatkan total energi bersih yang dihasilkan berkurang

Berdasarkan pembahasan tentang energy biru terbarukan mungkin kita mulai berfikir bahwa, Indonesia memiliki banyak potensi energi gelombang laut, sumber energi terbarukan yang berasal dari dinamika alam laut. Dengan memiliki potensi energi laut yang sangat besar, mulai dari arus, angin, pasang surut, variasi suhu meningkat. Namun, potensi ini akan sangat baik jika dapat dimanfaatkan karena kebutuhan energi yang terus meningkat. Pemecah gelombang dan teknologi lainnya juga dapat digunakan bersamaan dengan pemanfaatan gelombang laut energi. Maka dari itu gelombang air laut di Indonesia sangat berpotensi sekali bagi penggunaan energi alternative maupun sebagai energi baru terbarukan yang output tersebut dapat menghasilkan energi listrik yang ramah lingkungan, semoga.

Daftar Pustaka

- Abe, J.O., Papoola, A.P.I, Ajenifuja, E, Papoola, O.M. (2019). Hydrogen energy, economy, and storage, *International Journal of Hydrogen Energy Elsevier*, 29 (7), hal. 1–5
- Ambarita, Himsar. (2011). 'Perpindahan Panas Konveksi dan Pengantar Alat Penukar Kalor'. Medan : Departemen Teknik Mesin FT USU
- Ardiansyah, A., (2019). Kajian Potensi Limbah Kotoran Manusia Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Di Kota Pontianak. *ELKHA* 9, 53. <https://doi.org/10.26418/elkha.v9i2.25197>
- Arlianti, L. (2018). Bioetanol sebagai sumber green energy alternatif yang potensial Di Indonesia A review article. *Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknik UNISTEK*, 5(1), 16–22.
- Armus, R., Noor, A., Ahmad, A., Lukman, M., (2018). Surface Temperature Distribution Analysis Using Remote Sensing System in Spermonde Estuary. *Hasanuddin Univ. Vol 19, No 2 (2018)*.
- Azmi, M., (2014). ANALISIS TEKNIK DAN EKONOMI PEMANFAATAN BIOMASSA SEBAGAI PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK DI SURABAYA. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Bahman, Z. (2020) “Hydrogen Energy: Challenges and Solution for a Cleaner future,” Springer Nature Switzerland Press, hal. 155–171.
- Bioenergi, Direktur, and Provinsi Riau. (2013). ‘ESDM Untuk Kesejahteraan Rakyat’, no. November: 15.
- Breeze, Paul. (2018). ‘An Introduction to Hydropower’. *Hydropower*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812906-7.00001-6>.

- Bridgwater, A.V., (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass Bioenergy* 38, 68–94. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.048>
- Buddhi, D., Sharma, S. D. and Sharma, A. (2003) ‘Thermal performance evaluation of a latent heat storage unit for late evening cooking in a solar cooker having three reflectors’, *Energy Conversion and Management*, 44(6), pp. 809–817. doi: 10.1016/S0196-8904(02)00106-1.
- Cahyono, B. E., Jannah, N. and Suprianto, A. (2019) ‘Analisis Sebaran Potensi dan Manifestasi Panas Bumi Pegunungan Ijen Berdasarkan Suhu Permukaan dan Geomorfologi’, *Natural B*, 5(1), pp. 19–27.
- CERC. (1984) "Shore Protection Manual 4th ed. Volume I & II," Department of The Army WESCE, Vicksburg
- Cho, S., Kim, J., (2019). Multi-site and multi-period optimization model for strategic planning of a renewable hydrogen energy network from biomass waste and energy crops. *Energy* 185, 527–540. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.053>
- Cynthia, G.Z. (2007) “Handbook of Chemistry,” Elsevier .hal. 20–55.
- Demirbas, A., (2006). Production and Characterization of Bio-Chars from Biomass via Pyrolysis. *Energy Sources Part Recovery Util. Environ. Eff.* 28, 413–422. <https://doi.org/10.1080/009083190927895>
- Deng, Z. et al. (2021) ‘Dopant-Free π -Conjugated Hole Transport Materials for Highly Stable and Efficient Perovskite Solar Cells’, *Frontiers in Chemistry*, 9(March). doi: 10.3389/fchem.2021.664504.
- Dentith, M. and Mudge, S. (2014) *Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist*. New York: Cambridge University Press.
- Duffie, J.A. and Beckman, W.A. (2006) 'Solar Engineering of Thermal Process', John Wiley & Sons, 3Ed.
- Efrata, M. B., Febriyanto, B. and Nurhidayat, A. (2022) ‘Teknologi Slim Hole Drilling Dalam Pengembangan Energi Geothermal di Indonesia’, *Journal of Engineering Environmental Energy and Science*, 1(2), pp. 89–98. doi: 10.31599/joes.v1i2.1219.

- Elinur, Priyarsono, D. S., & Firdaus, M. T. M. (2010). Perkembangan konsumsi dan penyediaan energi dalam perekonomian Indonesia. *Indonesian Journal of Agricultural Economics (IJAE)*, 2(1), 97–119.
- Ermawati, T. and Negara, S. D. (eds) (2014) *Pengembangan Industri Energi Alternatif: Studi Kasus Energi Panas Bumi Indonesia*. Jakarta: LIPI Press.
- F.O. Lichts. "Industry Statistics: (2010) World Fuel Ethanol Production". Renewable Fuels Association. Diarsipkan dari versi asli tanggal 2015-09-24. Diakses tanggal 30 April 2011.
- Fadholi Akhmad., Stasiun Meteorologi Pangkalpinang. (2013). Analisis Data Arah Dan Kecepatan Angin Landas Pacu (Runway) Menggunakan Aplikasi Windrose Plot (Wrplot) *Jurnal Ilmu Komputer Volume 9 Nomor 2*, September 2013.
- Fahmi, F., Daud, Y. and Aswo Nuqramadha, W. (2022) 'An Application of Coast Effect Correction to Magnetotelluric Data from Jailolo Geothermal Prospect Area, on the Island of Halmahera', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1014(1). doi: 10.1088/1755-1315/1014/1/012002.
- Fahmi, L., & Setiyo, M. (2015). Pengaruh campuran ethanol pada laju korosi tangki bahan bakar). *Semnastek*, (November)1–6. Retrieved from jurnal.ftumj.ac.id/index.php/semnastek
- Fandari, A. El, Daryanto, A. and Suprayitno, G. (2014) 'Pengembangan Energi Panas Bumi yang Berkelanjutan', *Semesta Teknika*, 17(1), pp. 68–82. doi: 10.18196/st.v17i1.412.
- Fardhyanti, D.S., Prasetiawan, H., Raharjo, P.T., (2018). Peningkatan Yield Fenol dari Bio-oil Hasil Pirolisis Bagasse Tebu Melalui Proses Ekstraksi pada Suhu dan Kecepatan Pengadukan.
- Fataha, S.N., (2019). Perancangan alat pengukur suhu air laut dengan sensor LM35. *PROtek J. Ilm. Tek. Elektro* 12–15.
- Fauzi, A., Bahri, S. and Akuanbatin, H. (2000) 'Geothermal Development in Indonesia: an Overview of Industry Status and Future Growth', *Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, May 28 - June 10, 2000*, (49), pp. 1109–1114.

- Febrianti, N., Filiana, F., Hasanah, P., (2020). Potential of Renewable Energy Resources from Biomass Derived by Natural Resources In Balikpapan. *J. Presipitasi Media Komun. Dan Pengemb. Tek. Lingkungan*. 17, 316–323. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v17i3.316-323>
- Ferry Johnny Sangari. (2014) " Perancangan Pembangkit Listrik Pasang Surut Air Laut," *Teknologi dan Kejuruan*, 37(1), hal. 187 - 196.
- Fitriyatus Sa'adah, A., Fauzi, A., & Juanda, B. (2017). peramalan penyediaan dan konsumsi bahan bakar minyak indonesia dengan model sistem dinamik prediction of fuel supply and consumption in Indonesia with system dynamics model. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Indonesia*, 17(2), 118–137. doi:10.21002/jepi.v17i2.661
- Frisch, W., Meschede, M. and Blakey, R. (2011) *Plate Tectonics Continental Drift and Mountain Building*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Ghani, W.A.W.A.K., Mohd, A., da Silva, G., Bachmann, R.T., Taufiq-Yap, Y.H., Rashid, U., Al-Muhtaseb, A.H., (2013). Biochar production from waste rubber-wood-sawdust and its potential use in C sequestration: Chemical and physical characterization. *Ind. Crops Prod.* 44, 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.10.017>
- Glassley, W. E. (2010) *Geothermal Energy Renewable Energy and the Environment*, Nucl. Phys. Edited by A. Ghassemi. CRC Press.
- Gopinath, M. dan Marimuthu, R. (2022). " A review on solar energy-based indirect water-splitting methods for hydrogen generation," *International Journal of Hydrogen Energy*: Elsevier, 47(89), hal. 1–5.
- Grimshaw, J (2020). "Electrochemical Reaction and Mechanisms in Organic Chemistry," Elsevier, hal. 6–57.
- Habibie Najib., Sasmito Achmad, Kurniawan. (2011). Kajian Potensi energy Angin di Wilayah Sulawesi dan Maluku. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. Volume 12 Nomor 2, September 2011 : 181-187.
- Hadjiat, M. M. et al. (2021) 'Assessment of geothermal energy use with thermoelectric generator for hydrogen production', *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(75), pp. 37545–37555. doi: 10.1016/j.ijhydene.2021.06.130.
- Haldar, S. K. (2018) *Mineral Exploration Principles and Applications*. Second. Amsterdam: Elsevier Publishing Company.

- Haryana, A., (2018). Biomass Utilization as Renewable Energy for Optimization of National Energy Mix. Bappenas Work. Pap. 1, 55–65. <https://doi.org/10.47266/bwp.v1i1.9>
- Hottel, H. C. (1976) 'Transmittance of Direct Solar Radiation', *Solar Energy*, 18, pp. 129–134.
- Ibrahim, D. Dan Haris.I.(2021). "Renewable Hydrogen Production," *Journal of Cleaner Production: Elsevier*, hal. 12–27.
- Iqbal, W. et al. (2019) 'Assessment of wind energy potential for the production of renewable hydrogen in Sindh Province of Pakistan', *Processes*, 7(4). doi: 10.3390/pr7040196.
- Ismiyati, Marlita, D., & Saidah, D. (2014). Pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTransLog)*, 01(03), 241–248. doi:10.25292/j.mtl.v1i3.23
- Jurasz, J. et al. (2020) 'A review on the complementarity of renewable energy sources: Concept, metrics, application and future research directions', *Solar Energy*, 195(October 2019), pp. 703–724. doi: 10.1016/j.solener.2019.11.087.
- Kadarwati, S., Apriliani, E., Annisa, R.N., Kurniawan, C., (2021). FROM WASTE TO ENERGY: KONVERSI TERMAL LIMBAH PENGOLAHAN KAYU MENJADI BIO-OIL MELALUI TEKNIK PIROLISIS.
- Kazunari,S., Hai-Wen.L,Akari.H. (2016). "Hydrogen Energy Engineering: A Japanese Perspective," Springer Nature Japan Press, hal. 3–53.
- Kearey, P., Brooks, M. and Hill, I. (2002) *An Introduction to Geophysical Exploration*. Third. The Blackwell Science.
- Ken, O. dan Shinichiro, F. (2022). " Role of hydrogen-based energy carriers as an alternative option to reduce residual emissions associated with mid-century decarbonization goals," *Applied Energy Journal, Elsevier*, (313), hal. 1–5.
- Khan, B.H., (2006). *Non-conventional energy resources*. Tata McGraw-Hill Education
- Kinver, Mark (2006). "Biofuels look to the next generation". BBC News. Diakses tanggal 27 August 2011.

- Lourens Meijer. (2012). 'A Systematical Estimation of the World's Micro, Small and Large Hydropower Capacities Based on a New Modeling Approach'.
- Lowrie, W. (2007) *Fundamentals of Geophysics*. Second Edi. Cambridge University Press.
- Lubis Abubakar. (2007) "Energi Terbarukan dalam Pembangunan Berkelanjutan", *Jurnal Teknik Lingkungan*, 8 (2), hal. 155-162.
- Mansyur, A.R., (2020). Dampak COVID-19 Terhadap Dinamika Pembelajaran Di Indonesia. *Educ. Learn. J.* Vol. 1, No, 113–123.
- Marco, B., Matteo, P, Nicolae, S. (2022). "Energy and environmental assessment of hydrogen from biomass sources: Challenges and perspectives," *Biomass and Bioenergy Journal*, Elsevier. (165), hal. 1–11.
- Marry, R. T. et al. (2017) 'Panas Bumi Sebagai Harta Karun Menuju Ketahanan Energi', *Jurnal Ketahanan Nasional*, 23(2), pp. 217–237. doi: 10.22146/jkn.26944.
- Meilani, H. and Wuryandani, D. (2010) 'Potensi Panas Bumi Sebagai Energi Alternatif Pengganti Bahan Bakar Fosil Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Di Indonesia', *Jurnal Ekonomi dan Kebijakan Publik*, 1(1), pp. 47–74.
- Moon, C. J., Whateley, M. K. G. and Evans, A. M. (2006) *Introduction to Mineral Exploration*. 2nd edn. Malden: Blackwell Publishing.
- Mustapa, M.A., Yaakob, O.B., Ahmed, Y.M., Rheem, F.A. (2017) "Wave Energy Device and Breakwater Integration: A Review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, hal. 43-58
- Myzhar, R., Sutjahjo, D.H., (2019). *UJI KUALITAS SYNGAS GASIFIKASI CANGKANG SAWIT TERHADAP AFR DAN KADAR AIR PADA GASIFIER TPE UPDRAFT 7*.
- Nelson, V. (2015) *Introduction to Renewable Energy, Renewable Gas*. Edited by A. Ghassemi. CRC Press. doi: 10.1057/9781137441805_1.
- Novendri, Y. (2018). Pengaruh penambahan aditif etanol pada bensin ron 88 dan ron 92 terhadap prestasi mesin. *Jurnal Konversi Energi Dan Manufaktur UNJ*, 1(April), 33–39. doi:<https://doi.org/10.21009/JKEM.5.1.6>

- Ochieng, L. (2013) 'Overview of Geothermal Surface Exploration Methods', Short Course VIII on Exploration for Geothermal Resources, pp. 1–15.
- Octaviani, R., Irsyad, M., & Reksowardojo, I. K. (2010). Pengaruh penambahan bioetanol terhadap konsentrasi emisi gas Hc , Co , Dan Co 2 pada motor 2 langkah. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 16(2), 173–184.
- Offei, F., Mensah, M., Thygesen, A., & Kemausuor, F. (2018). Seaweed bioethanol production: A process selection review on hydrolysis and fermentation. *Fermentation*, 4(4), 1–18. doi:10.3390/fermentation4040099
- Paloma, F.A. dan Antonio, M. C. (2018). "Portable Hydrogen Energy Systems: Fuel Cell and Storage Fundamentals and Application," UK: Academic Press in Elsevier, hal. 15–30.
- Pariwono, J.I. (1999) "Kondisi oseanografi perairan pesisir lampung," BAPPENAS, Jakarta
- Portaria N° 143, de 27 de Junho de (2007) " (dalam bahasa Portuguese). Ministério da gricultura, Pecuária e Abastecimento. Diakses tanggal 5 October 2008.
- Pranay, R.L., Narayan, L.P, Chitranjan, A. (2022). " A comprehensive review on hydrogen production through thermochemical conversion of biomass for energy security," *Bioresource Technology Report Journal*, Elsevier, (21), hal. 1–14.
- Priyohadi, K., Aguk, Z, M. Fathallah, Semin. (2013). " Analisa Prediksi Potensi Bahan Baku Biodisel Sebagai Suplemen Bahan Bakar Motor Diesel Di Indonesia," *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1), hal. 62–66.
- Puspita. A Ildha, Muhammad Saleh Pallu, Muhammad Arsyad Thaha and Farouk Maricar. (2020) "The Effect of Wave Deformation on Overtopping Discharge in Wave Energy Converter (OWEC)-breakwater," *Journal of Engineering and Applied Sciences*, hal. 2058-2064.
- Qambrani, N.A., Rahman, Md.M., Won, S., Shim, S., Ra, C., (2017). Biochar properties and eco-friendly applications for climate change mitigation, waste management, and wastewater treatment: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 79, 255–273. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.057>

- Rahmatullah, Rizka Wulandari Putri, Enggal Nurisman, (2019). Produksi bio-oil dari limbah kulit durian dengan proses pirolisis lambat. *J. Tek. Kim.* 25, 50–53. <https://doi.org/10.36706/jtk.v25i2.425>
- Ram, G., Angelo.B, Nejat.V. (2020) *Compendium of Energy: Hydrogen Storage Distribution and Infrastructure*, Woodhead Publishing is an Imprint Elsevier, 84 (2), hal. 3-21.
- Razhivin I. A., Andreev, M, Kievec, A. (2022). “Increasing the Stability of Hydrogen Production in the Wind Energy Hydrogen System Through the use of Synthetic Inertia of the Wind Turbine,” *International Journal of Hydrogen Energy*. Elsevier, 47(15), hal. 1–5.
- Revuelta, M. B. (2018) *Mineral Resources: From Exploration to Sustainability Assessment*. Springer International Publishing AG.
- S.P.Sukhatme et al.(1996) ' Solar Energy- Principles of Thermal Collection and Storage, Tata Mc Graw Hill ', New Delhi.
- Sanam, Azpah, I.A., Suhaedi, M., Arya Guna, R., Supryatna, D., (2022). Potensi Energi Laut Di Indonesia Sebagai Sumber Listrik Baru Terbarukan. *Politek. Negeri Bengkalis* 12.
- Setiawan, W.B., Dahiyat, Y., Purba, N.P., (2013). Variasi sebaran suhu dan klorofil-a akibat pengaruh Arlindo terhadap distribusi ikan cakalang di Selat Lombok. *Depik* 2, 58–69.
- Setiawati, D. R., Sinaga, A. R., & Dewi, T. K. (2013). Proses pembuatan bioetanol dari kulit pisang kepok. *Jurnal Teknik Kimia*, 19(1), 9–15.
- Sherif, S.A., Yogi G.D, Elias. K.S, Aldo, S. (2014). “Handbook of Hydrogen Energy,” CRC Press Taylor and France Group, hal. 53-113. Kabupaten Jembrana Juni–Juli.
- Stober, I. and Bucher, K. (2013) *Geothermal Energy From Theoretical Models to Exploration and Development*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Stucley, C., Schuck, S., Sims, R., Bland, J., Marino, B., Borowitzka, M., Abadi, A., Bartle, J., Giles, R., Thomas, Q., (2012). *BIOENERGY IN AUSTRALIA*. Bioenergy Australia (Forum) Limited [BAFL] - Bioenergy Australia, Australia.

- Syakti, A.D., Bouhroum, R., Hidayati, N.V., Koenawan, C.J., Boulkamh, A., Sulisty, I., Lebarillier, S., Akhlus, S., Doumenq, P., Wong-Wah-Chung, P., (2017). Beach macro-litter monitoring and floating microplastic in a coastal area of Indonesia. *Mar. Pollut. Bull.* 122, 217–225. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.046>
- Thaha, A. (2002). "Unjuk Kerja Rumpun Bakau sebagai Peredam Energi Gelombang," Tesis. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Tiwari G.N. (2004) ' Handbook of Solar Energy, Energy Systems in Electrical Engineering', DOI 10.1007/978-981-10-0807-8
- Tjasyono Bayong HK, (2008). Meteorologi Terapan. Penerbit ITB : Bandung
- Trewartha Glenn T, Lyle H. (1995). Pengantar Iklim. Gadjah Mada University Press : Yogyakarta
- Triatmodjo, Bambang. (1999) "Teknik Pantai," Beta Offset. Yogyakarta.
- Vicinanza, D, Contestabile, P, Nørgaard, J. Q, and Andersen. T. L. (2014) "Innovative rubble mound breakwaters for overtopping wave energy conversion," *Coastal Engineering Elsevier*, hal. 154 - 170.
- Wa Ode, Z. Prihatini., M A Thaha., M P Hatta dan Chairul Paotonan. (2022) "Focusing Wave Energy on The Wave Catcher Shore Protection Dual-Slope (WCSP-DS) Zigzag Models," *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*,70(9), hal. 376 – 383.
- Wa Ode, Z. Prihatini., M.A Thaha., M P Hatta dan Chairul Paotonan. (2022). "Effect of Freeboard High on Wave Reflection on Zigzag Model WCSP-DS Building," *ASTONJADRO: CEAESJ*, 11(2), hal. 343-353
- Wiratmaja, I. G. (2010a). Analisa unjuk kerja motor bensin akibat pemakaian biogasoline. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram*, 4(1), 16–25.
- Wiratmaja, I. G. (2010b). Pengujian karakteristik fisika biogasoline sebagai bahan bakar alternatif pengganti bensin murni. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 4(2), 145–154. [doi:https://doi.org/10.24843/JEM.2020.v13.i01](https://doi.org/10.24843/JEM.2020.v13.i01)
- Wiratmaja, I. G., Kusuma, I. G. B. W., & Winaya, I. N. S. (2011). Pembuatan etanol generasi kedua dengan memanfaatkan limbah rumput laut *eucheuma cottonii* sebagai bahan baku. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 5(1), 75–84.

- Wiratmaja, I.G. Elisa E., (2020) Kajian Pemanfaatan Untuk kendaraan Masa Depan di Indonesia, jurnal pendidikan Teknik Mesin Undiksa Vol.3 NO.1 Maret
- Yaqin, N., (2014). Skenario Kebijakan Pengembangan Energi Baru Terbarukan Dalam Upaya Menjaga Ketahanan Energi Nasional Dan Membangun Green Energy Constellation Hingga Tahun 2025 (Studi Kasus pada Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi Kementerian. Jur. Adm. Publik Fak. Ilmu Adm. Univ. Brawijaya 2.
- Yuningsih, A., Masduki, A., Rachmat, A., (2010). Penelitian Potensi Energi Arus Laut Sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan Di Perairan Toyapakeh Nusa Penida Bali. Pus. Penelit. Dan Pengemb. Geol. Kelaut. Vol 8, No 3 (2010).

Biodata Penulis



Parulian Siagian lahir di Kabupaten Toba 55 tahun yang lewat dan menepuh Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 2 Balige konsentrasi ilmu Fisika dan melanjutkan perkuliahan di Program Studi Teknik Sistem Perkapalan dari Universitas Pattimura Ambon pada tahun 1995. Pascasarjana dari Program Studi Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara 2007, saat ini sebagai mahasiswa Doktorat bidang Konversi Energi Baru Terbarukan pada Program Studi Teknik Mesin USU.

Tugas mengajar sebagai dosen tetap di Program Studi Teknik Mesin Universitas HKBP Nommensen Medan sejak tahun 1999 mengasuh mata Kuliah. Perpindahan Panas I dan II, Pengantar Ilmu Perkapalan, Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit dan Energi Baru terbarukan. Hingga saat ini aktif terlibat di pengelolaan Keuangan dan Personalia di Fakultas Teknik Universitas HKBP Nommensen .



Nama : Nita Suleman ST,MT
Alamat : Jalan Durian I No.19 Kota Gorontalo
Alamat kantor : Jalan Sudirman NO: 6 Kota Gorontalo
Email : nita.suleman@ung.ac.id
Tanggal lahir : 21 April 1973
Tempat lahir : Gorontalo

Instansi : Universitas Negeri Gorontalo



Jhon Sufriadi Purba, S.Pd.,MT lahir pada tanggal 28 Agustus 1983, anak ke-4 dari 7 bersaudara. Lulusan S1 program studi Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Medan dengan masa studi 4 tahun. Lulusan S2 program studi Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara tahun 2013. Mendapatkan Beasiswa BBM dan BI selama program sarjana. Pemenang Penelitian Kompetitif Nasional (Penelitian Dosen Pemula) Tahun 2019 di Kampus Sekolah Teknologi Sinar Husni dan Pemenang Penelitian Kompetitif Nasional (Penelitian Dosen Pemula) Tahun 2020 dari LPPM Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar. Pengalaman kerja sebagai Wakil Kepala Sekolah SMK Swasta Pelayaran Samudera Indonesia Kota Medan dan Dosen Tetap Prodi Teknik Mesin Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar sampai sekarang



Asrim lahir di Buton, Sulawesi Tenggara pada 12 Juli 1985, anak dari pasangan Abdul Kadir (Ayah) dan Wa Ode Sarufa (Ibu). Ia merupakan lulusan dari program Diploma III Geofisika Universitas Padjadjaran tahun 2006, S1 Fisika (Peminatan Geofisika) Universitas Indonesia tahun 2010 dan Magister Teknik Geologi (Peminatan Petroleum Geoscience) Universitas Gadjah Mada tahun 2013.

Pada Desember 2006 bekerja di VICO Indonesia, salah satu perusahaan minyak dan gas swasta asing di Jakarta, Indonesia. Pada pertengahan tahun 2010 bergabung dengan VICO CBM Indonesia yang berkonsentrasi pada pengembangan gas metana batubara di Indonesia. Kemudian pada awal tahun 2018 bergabung dengan Universitas Dayanu Ikhsanuddin (Unidayan) sebagai Dosen Program Studi Teknik Pertambangan. Selama bekerja di Unidayan sudah menghasilkan beberapa karya ilmiah yang berkaitan dengan disiplin ilmu geologi, geofisika, dan pertambangan. Selain menjadi dosen Ia juga mendapat tugas tambahan sebagai Kepala Bagian Akreditasi dan Sertifikasi Lembaga Penjaminan Mutu (LPM) Unidayan pada tahun 2018-2021, kemudian sebagai Kepala Pusat SPMI dan SPME Lembaga Pengembangan Pendidikan,

Penjaminan Mutu dan Layanan Karir (LP3MLK) Unidayan pada tahun 2021-2023.



Setyo Erna Widiyanti lahir di Jepara, pada 23 Agustus 1987. Telah menyelesaikan studi Diploma-IV, Jurusan Teknokimia Nuklir di STTN-BATAN Yogyakarta (sekarang menjadi Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia), S-2, Prodi Magister Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Jurusan Teknik Kimia UGM Yogyakarta. Saat ini adalah dosen di Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Ujung Pandang.



Wa Ode Zulia Prihatini biasa disapa Titin. Lahir di Bau -Bau, pada tanggal 14 April 1975. Ia tercatat sebagai lulusan Universitas Dayanu Ikhsanuddin (S1) tahun 2009, lulus (S2) pada Univeritas Hasanuddin tahun 2013. Wanita ini adalah dari pasangan La Ode Muhammad Husni Lalangi (ayah) dan Wa Ode Mariha (ibu), adalah anak keenam dari enam bersaudara. Pada tahun 2022 telah menyelesaikan studi (S3) pada Univeritas Hasanuddin.



Andi Budirohmi lahir di Sengkang, pada 6 Februari 1968. Ia tercatat sebagai lulusan Universitas Hasanuddin Makassar. Wanita yang kerap disapa Andi Rahmi ini adalah anak dari pasangan Alm Andi Daris Patombongi (ayah) dan Alm. Hj. A. Pandang Bau (ibu). Andi Budirohmi bukanlah orang baru di dunia menulis. Ia kerap beberapa jurnal internasional yang terindeks scopus Sinta, dan buku ISBN dan mempunyai HAKI Pada 2018-2020 lalu, Andi Rahmi berhasil menulis jurnal terideks scopus



Dr. Rakhmad Armus, ST., M.Si, lahir di Enrekang, Sulawesi Selatan. Beliau menyelesaikan pendidikan Ahli Madya pada Jurusan Teknik Kimia Politeknik Universitas Hasanuddin pada 1995, melanjutkan pendidikan sarjana dari Jurusan Teknik Kimia Universitas "45" Makassar. Pernah bekerja di Industri Plastik sebagai quality control (1995-1998), pernah bekerja pada Industri Pengolahan Air minum (1998-2004), pernah bekerja pada industri

tambang emas sebagai quality controll (2010). Beliau menyelesaikan program Magister bidang Teknik lingkungan Universitas Hasanuddin (2008-2010). Sebagai dosen tamu dalam bidang laboratorium limbah Industri dan laboratorium Kimia fisika pada jurusan teknik kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang. Saat ini sebagai Dosen tamu pengampu mata kuliah K3 & Lingkungan di Universitas Fajar Makassar (2013-2022), beliau juga telah menyelesaikan studi pada program doktor ilmu Kimia di Universitas Hasanuddin (2020). Saat ini beliau bekerja sebagai peneliti dan dosen di Stitek Nusindo Makassar.

ENERGI BARU TERBARUKAN SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF

Energi yang akan bisa habis dinamakan energi tidak terbarukan di mana suatu saat akan habis dan akan mahal. Energi yang masih bisa diperbaharui disebut energi alternatif terbarukan atau energi yang tidak habis habis dan bahkan gratis. Negara Indonesia membutuhkan energi energi terbarukan. Kurangnya pasokan energi konsumsi energi per kapita Indonesia masih jauh di bawah rata-rata dunia adalah salah satu faktor kunci yang menyebabkan rakyatnya terjebak dalam kemiskinan. Sementara era energi modern (energi terbarukan) menyediakan, sistem energi yang memenuhi kebutuhan dasar akan air bersih, fasilitas kesehatan, dan penerangan, serta pada saat yang sama mencegah Indonesia untuk membuang tiga kali lipat emisi gas rumah kaca dari bahan bakar fosil. Meningkatnya penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak, batubara dan gas di negara berkembang seperti Indonesia akan meningkatkan masalah perubahan iklim, yang saat ini pun sudah menghancurkan kehidupan banyak masyarakat miskin.

Buku ini membahas :

- Bab 1 Energi Panas Matahari
- Bab 2 Energi Etanol
- Bab 3 Energi Angin
- Bab 4 Energi Geothermal
- Bab 5 Hydropower
- Bab 6 Energi Biomassa
- Bab 7 Energi Gelombang Laut dan Tidal
- Bab 8 Energi Hidrogen
- Bab 9 Energi Biru Terbarukan



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

ISBN 978-623-342-787-6

