

GREEN TECHNOLOGY

**Khamaludin
Yunita Djamalu
Ridho Muhammad
Ahmad Thamrin Dahri
Vita Ambarwati
Ni Putu Yuni Nurmallasari
Devi Rahmayanti
Neny Rochyani
Kartika Udyani
Rizki Aulia Nanda
Nunik Hasriyanti**



GET PRESS INDONESIA

GREEN TECHNOLOGY

Penulis :

Khamaludin
Yunita Djamalu
Ridho Muhammad
Ahmad Thamrin Dahri
Vita Ambarwati
Ni Putu Yuni Nurmalasari
Devi Rahmayanti
Neny Rochyani
Kartika Udyani
Rizki Aulia Nanda
Nunik Hasriyanti

ISBN :

Editor : Yuliatrini Novita, M.Hum

Penyunting : Ariyanto M.Pd

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

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah
Kec. Koto Tangah Kota Padang Sumatera Barat

Website : www.getpress.co.id

Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, September 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan
dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

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

Buku ini membahas Pendahuluan Greentechnology, Solar Energy, Wind Energy Dan Ocean Energy, Wave Energy, Ocean Termal Energy, Dan Osmotic Power, Mobil Listrik, Konservasi Energi, Industri, Biofuels, Konsep LCA Pada Green Technology, Robotika Pertanian, Arsitektur Dan Kota Hijau.

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

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

Padang, September 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Definisi Green Technology	1
1.2 Konsep Green Technology	2
1.3 Tujuan Green Technology	4
1.4 Prinsip dan Kriteria Green Technology	5
1.5 Manfaat Green Technology	6
1.6 Penerapan Green Technology pada Berbagai Bidang	6
DAFTAR PUSTAKA	11
BAB 2 SOLAR ENERGY	13
2.1 Pendahuluan	13
2.2 Energi Matahari	14
2.3 Sifat-sifat Radiasi	16
2.4 Variasi Radiasi Surya pada permukaan	17
2.5 Perpindahan Panas	18
2.5.1 Konduksi	18
2.5.2 Konveksi	20
2.5.3 Radiasi	21
2.6 Pemanasan Global	22
DAFTAR PUSTAKA	24
BAB 3 WIND ENERGY DAN OCEAN ENERGY	25
3.1 Pendahuluan	25
3.2 Energi Angin (<i>Wind Energy</i>)	26
3.2.1 Alat Ukur Kecepatan Angin	27
3.2.2 Potensi Energi Angin	29
3.2.3 Jenis dan Komponen Turbin Angin	31
3.2.4 Perhitungan Energi Angin	34
3.3 Energi Laut (<i>Ocean Energy</i>)	35

3.3.1 Peta Potensi Energi Laut Indonesia.....	36
3.3.2 Pembangkit Listrik Tenaga Laut.....	37
DAFTAR PUSTAKA.....	44
BAB 4 WAVE ENERGY, OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION DAN OSMOTIC ENERGY	45
4.1 Pendahuluan.....	45
4.2 <i>Wave Energy</i> (Energi Ombak Laut).....	46
4.2.1 Potensi Energi Ombak Laut di Indonesia	46
4.2.2 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga (PLT) Tenaga Ombak Laut (<i>Wave Energy</i>)	47
4.3 <i>Ocean Thermal Energy Conversion</i> (Energi Panas Laut) ..	52
4.3.1 Siklus Kerja <i>Ocean Thermal Energy Conversion</i>	53
4.3.2 Tipe <i>Ocean Thermal Energy Conversion</i> (OTEC).....	56
4.5 <i>Osmotic Energy</i> (Energi Osmosis).....	61
4.5.1 Konsep <i>Pressure Retarded Osmosis</i> (PRO).....	61
4.5.2 Membran <i>Pressure Retarded Osmosis</i> (PRO)	62
4.5.3 Bahan Membran <i>Pressure Retarded Osmosis</i> (PRO).....	64
DAFTAR PUSTAKA.....	68
BAB 5 MOBIL LISTRIK.....	69
5.1 Pendahuluan.....	69
5.2 Sejarah	71
5.3 Perkembangan Teknologi Transportasi.....	74
5.3.1 Klasifikasi Kendaraan Listrik.....	77
5.4 Komponen Penyusun	79
5.4.1 Baterai	80
5.4.2 Controller	82
5.4.3 Motor.....	84
5.5 Prinsip Kerja.....	85
5.6 Kelebihan dan Kelemahan.....	86
DAFTAR PUSTAKA.....	90

BAB 6 KONSERVASI ENERGI	93
6.1 Konservasi Energi: Hubungannya dengan <i>Green Technology</i> dan Pembangunan Berkelanjutan (<i>Sustainable Development</i>).....	93
6.2 Peralihan Penggunaan Sumber Energi Tak Terbarukan ke Sumber Energi Terbarukan	96
6.3 Peran Teknologi dalam Proses Konversi Energi	97
6.3.1 Perkembangan Teknologi Penyimpanan Energi	98
6.3.2 Efisiensi dan Integrasi dalam Konversi Energi.....	99
6.3.3 Konsep Gigafactories	100
6.4 Standar dan Kebijakan Konservasi Energi.....	102
6.4.1 Pedoman dalam Konsumsi Energi.....	107
DAFTAR PUSTAKA	119
BAB 7 TEKNOLOGI INDUSTRI	123
7.1 Pendahuluan.....	123
7.2 Jenis-jenis Teknologi Industri.....	124
7.2.1 Otomatisasi.....	124
7.2.2 Data dan Analitik.....	126
7.2.3 Kontrol Numerik.....	126
7.2.4 Cyber-Physical System	127
7.2.5 Manufaktur Aditif.....	128
7.3 Revolusi Industri 4.0.....	129
DAFTAR PUSTAKA	137
BAB 8 BIOFUEL	139
8.1 Pendahuluan.....	139
8.2 Bahan Baku Biofuel	141
8.3 Jenis dan Macam Biofuel.....	141
8.4 Proses Pembuatan Biofuel	146
8.5 Manfaat Biofuel.....	149
8.6 Tantangan Biofuel	150
8.7 Riset dan Pengembangan Biofuel.....	151
8.8 Perkembangan Biofuel di Indonesia.....	153
8.9 Kesimpulan.....	155

DAFTAR PUSTAKA.....	157
BAB 9 KONSEP LCA PADA GREEN TECHNOLOGY	159
9.1 Pengertian LCA.....	159
9.2 Konsep LCA.....	162
9.2.1 Penentuan tujuan dan batasan yang akan dinilai	163
9.2.2 Inventory Input.....	165
9.2.3 Inventory output.....	166
9.2.4 Penilaian dampak.....	167
9.2.5 Interpretasi	168
9.3 Manfaat LCA Pada Industri.....	169
9.4 Aplikasi LCA pada Industri	169
DAFTAR PUSTAKA.....	175
BAB 10 ROBOTIKA PERTANIAN	177
10.1 Pendahuluan.....	177
10.2 Jenis-jenis Robot Pertanian.....	178
10.2.1 Lengan Robot.....	178
10.2.2 Mobil Robot.....	180
10.2.3 Robot Kombinasi.....	182
10.3 Komponen Robot Pertanian.....	183
10.3.1 Mikrokontroler	184
10.3.2 Aktuaktor	185
10.3.3 Driver	187
10.3.4 Sasis.....	188
10.3.5 Sensor	189
10.4 Perancangan Robotika Pertanian.....	191
10.4.1 Desain Robot	192
10.4.2 Pembuatan Robot.....	193
10.4.3 Assembly Robot	193
10.5 Pengujian Robotika Pertanian	194
DAFTAR PUSTAKA.....	197
BAB 11 ARSITEKTUR DAN KOTA HIJAU.....	199
11.1 Pendahuluan.....	199
11.2 Arsitektur Hijau	200

11.3 Arsitektur dan Kota Hijau.....	204
11.4 Kota Hijau	205
11.5 Best Practice Kota Hijau.....	210
11.5.1 Green City di Dunia	210
11.5.2 Green City di Taiwan.....	213
DAFTAR PUSTAKA.....	219

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Pengaruh Radiasi Datang	16
Gambar 2.2. Specular dan Baur	17
Gambar 2.3. Perpindahan panas konduksi.....	19
Gambar 2.4. Aktifitas molekul dalam konduksi	19
Gambar 2.5. Jenis konveksi;(a) Konveksi paksa dan (b) Konveksi alami.....	20
Gambar 2.6. sudut kemiringan pada dua permukaan.....	21
Gambar 2.7. Benda tiga dimensi dengan <i>View factor</i>	22
Gambar 2.8. Proses terjadinya pemanasan global.....	23
Gambar 3.1. Rotasi Bumi dan Pergerakan Angin.....	26
Gambar 3.2. Anemometer	28
Gambar 3.3. Potensi Energi Angin Dunia	29
Gambar 3.4. Potensi Energi Angin Indonesia.....	30
Gambar 3.5. Potensi Energi Angin Indonesia.....	30
Gambar 3.6. 1 Sudu, 2 Sudu, 3 Sudu, Sudu banyak	32
Gambar 3.7. Tipe Vertical Axis Wind Turbine (VAWT).....	33
Gambar 3.8. Peta Potensi Energi Laut Indonesia	37
Gambar 3.9. Klasifikasi berdasarkan lokasi	38
Gambar 3.10. Jenis-Jenis Energi Pasang Surut.....	39
Gambar 3.11. Cara kerja Konversi Panas Laut.....	41
Gambar 3.12. Cara kerja konversi energi Arus Laut.....	42
Gambar 3.13. Peta Potensi Energi Laut Indonesia.....	43
Gambar 4.1. Pergerakan Air Laut.....	47
Gambar 4.2. Spektrum periode dalam bermacam kecepatan angin.....	49
Gambar 4.3. Sistem pembangkit listrik tenaga ombak air laut	52
Gambar 4.4. Siklus Terbuka Ocean Thermal Energy Conversion.....	54
Gambar 4.5. Siklus Tertutup Ocean Thermal Energy Conversion.....	55

Gambar 4.6. Siklus Tertutup Ocean Thermal Energy Conversion	56
Gambar 4.7. Land Based OTEC Plant.....	57
Gambar 4.8. Floating Based OTEC Plant	57
Gambar 4.9. Diagram Alir Pembangkit Listrik dengan Pressure Retarded Osmosis (PRO)	62
Gambar 4.10. Perpindahan Air dan Garam Melewati Membran.....	63
Gambar 4.11. Membran ASA dilihat dengan SEM Cross Section.....	64
Gambar 4.12. Membran TFC dilihat dengan SEM Cross Section.....	66
Gambar 4.13. Power Performance dari membran.....	67
Gambar 5.1. Prediksi penjualan kendaraan listrik.....	70
Gambar 5.2. Mobil Listrik Wood's Phaton.....	71
Gambar 5.3. Mobil Listrik (a) Sebring-Vanguard City Car (b) EVcort.....	72
Gambar 5.4. Mobil Listrik Geo Metro	73
Gambar 5.5. Mobil Modern Listrik	74
Gambar 5.6. Klasifikasi kendaraan listrik menurut teknologi dan pengaturan mesin	77
Gambar 5.7. Komponen Utama Mobil Listrik.....	79
Gambar 5.8. Evolusi kapasitas baterai dari 1980an hingga sekarang.....	82
Gambar 5.9. Perbandingan dalam hal pengurangan biaya per kilometer yang diberikan oleh berbagai jenis kendaraan, termasuk kendaraan berbahan bakar bensin, etanol (E85), hibrida, solar, biodiesel, <i>Liquefied Petroleum Gas</i> (LPG), <i>Natural Gas Vehicles</i> dan listrik	88
Gambar 6.1. Skema kerja turbin air penghasil listrik (<i>hydropower</i>).....	94

Gambar 6.2. Alur kerja audit energi	110
Gambar 6.3. Lembaga Sertifikasi Profesi untuk Manajer dan Auditor Energi di Indonesia	113
Gambar 7.1. a) Pita Berlubang pada NC. b) Microcontroller pada CNS.....	127
Gambar 7.2. Hubungan antara VR dengan <i>Actual Physical Reality</i>	131
Gambar 7.3. Hubungan antara AR dengan <i>Actual Physical Reality</i>	132
Gambar 7.4. Konsep <i>Cloud Computing</i>	134
Gambar 7.5. Karakteristik Konseptual <i>Cloud Computing</i>	135
Gambar 7.6. Model Konseptual <i>Cloud Computing</i>	135
Gambar 8.1. Skema Pembuatan Bioetanol.....	147
Gambar 8.2. Skema Pembuat Biodiesel	149
Gambar 8.3. Skema Program Mandatori Biodiesel di Indonesia.....	154
Gambar 9.1. Keterkaitan Aspek <i>LCA</i>	161
Gambar 9.2. Gambaran batasan sistem.....	164
Gambar 9.3. Analisa inventori proses pada pabrik pakan ternak.....	170
Gambar 10.1. Robot Pertanian	177
Gambar 10.2. Lengan Robot Pertanian	179
Gambar 10.3. Persamaan Lengan Robot.....	180
Gambar 10.4. Mobil robot pertanian.....	181
Gambar 10.5. Manuver mobil robot pertanian	182
Gambar 10.6. Mobil robot kombinasi	183
Gambar 10.7. Mikrokontroler	184
Gambar 10.8. Motor DC1	86
Gambar 10.9. Motor Servo.....	187
Gambar 10.10. Motor Driver.....	188
Gambar 10.11. Sasis robot pertanian	189
Gambar 10.12. Sensor visual tanaman.....	190

Gambar 10.13. Desain robotika pertanian.....	190
Gambar 10.14. Hasil Assembly robotika pertanian	194
Gambar 10.15. Telekomunikasi kontrol robot	194
Gambar 10.16. Persiapan bibit	195
Gambar 10.17. Proses penusukkan poros ke lubang.....	195
Gambar 11.1. Ilustrasi Kota Hijau dan Lingkungan	206
Gambar 11.2. Downtown di Taipei	215
Gambar 11.3. Ruang Hijau di Kota Taipei	216
Gambar 11.4. Taman Kota Di Taipei	217

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1. Berbagai Kapasitas Baterai Kendaraan Listrik.....	81
Tabel 6.1. Perkembangan regulasi konservasi energi di Indonesia.....	104
Tabel 6.2. Standar konservasi energi di Indonesia	106
Tabel 6.3. Potensi penghematan energi di berbagai sektor	118

BAB 1

PENDAHULUAN

Oleh Khamaludin

1.1 Definisi Green Technology

Perkembangan zaman di era industri mulai dari revolusi industri 1.0 dan kini menghadapi era industri 5.0 atau dikenal era *society* 5.0 mengalami perubahan dari sisi kemutakhiran teknologi menuju otomasi, digitalisasi dan robotika. Hal tersebut untuk merespon kebutuhan manusia dan industri agar lebih efisien, efektif produktif, fleksibel dan berkelanjutan. Perkembangan teknologi tentunya secara arif harus didukung dengan usaha tetap melestarikan lingkungan. Mengingat pentingnya teknologi yang ramah dan tanpa merusak lingkungan untuk meningkatkan kualitas hidup manusia diperlukan adanya pendidikan dan pengetahuan tentang hal tersebut kepada masyarakat (Mohammed, 2021).

Tujuan dari kebutuhan manusia melatarbelakangi hadirnya istilah *green technology*. *Green technology* atau teknologi hijau merupakan teknologi yang ramah lingkungan, ditingkatkan, dan dimanfaatkan sedemikian rupa sehingga tidak merusak lingkungan namun justru melestarikan sumber daya alam (Iravani, Akbari and Zohoori, 2017). Teknologi hijau harus mempunyai misi untuk melindungi bumi, dalam beberapa situasi juga memperbaiki kerusakan lingkungan yang telah terjadi sebelumnya (Mueller, 2017). Dari definisi tersebut istilah *green technology* dapat juga disebut *enviromental technology* atau *clean technology* karena teknologi tersebut tetap peduli dan tidak merusak lingkungan dengan tidak memberikan polusi atau limbah pada lingkungan. Inovasi harus tetap dilakukan untuk mencapai misi tersebut. Salah

satu yang menjadi isu besar saat ini adalah efek rumah kaca karena pemanasan global dari masifnya perkembangan teknologi. Hadirnya *green technology* ini harus mampu mengatasi isu tersebut dengan menurunkan kadar CO₂ di udara (Du, Li and Yan, 2019).

Dalam konteks industri, persaingan global dan teknologi baru menjadi ancaman persaingan bisnis. *Green technology* harus mampu meningkatkan kinerja keuangan dan keberlanjutan perusahaan. *Green technology* dapat dilakukan dengan melakukan inovasi *green process* maupun *green product* (Qing *et al.*, 2022). Inovasi *green process* dilakukan dengan membuat proses industri yang tidak mencemari lingkungan, mengurangi polusi atmosfer atau tidak merusak lingkungan. Sedangkan inovasi *green product* antara lain dengan membuat produk sesuai permintaan konsumen yang cenderung menghemat sumber daya alam dan produknya mampu digunakan kembali atau didaur ulang (Das, Mishra and Bisoyi, 2018). Tentunya kedua inovasi tersebut haruslah tetap fokus pada dampak lingkungan yang ditimbulkan. Selain itu penerapan *green technology* juga harus mampu menciptakan indsutri yang berkelanjutan (Guo *et al.*, 2020).

1.2 Konsep Green Technology

Menurut Jadhav (2019) bahwa konsep *green technology* dapat diterapkan pada hal-hal berikut ini:

1. Konservasi energi

Konservasi energi tidak lain adalah penggunaan energi itu sendiri. Penggunaan energi oleh manusia dalam jumlah yang sangat besar dihasilkan bahan kimia beracun yang menyebabkan dampak buruk terhadap lingkungan dan manusia. Jadi dengan demikian pemanenan energi adalah tujuan utama dari *green technology*. Pemanenan energi merupakan proses di mana energi diperoleh dari sumber daya eksternal seperti angin, matahari, termal, kinetik dan lain-lain. Selain itu energi juga diperoleh dari limbah yang

tidak berguna. Penghematan energi diperlukan salah satunya adalah dengan menggunakan peralatan yang membutuhkan energi dalam jumlah sedikit. Energi listrik harus diperoleh dari sumber daya alam yang berlimpah seperti sinar matahari atau aliran air yang deras. Dengan demikian secara otomatis konsumsi listrik menjadi rendah sehingga mengurangi penggunaan bahan bakar fosil untuk energi yang sama.

2. Dampak lingkungan

Manusia hidup di lingkungan tentunya kegiatan atau perilakunya akan berdampak pada lingkungan. Dengan demikian kesehatan lingkungan akan dipengaruhi oleh aktivitas atau perilaku manusia baik aktivitas ekonomi, sosial maupun budaya. Ada beberapa tantangan global yang dihadapi lingkungan yaitu: peningkatan populasi manusia, perubahan iklim, menipisnya jumlah sumber daya alam tak terbarukan, banjir, berkurangnya keanekaragaman hayati, pengasaman laut, hujan asam, berkurangnya habitat alami, bencana alam dan lain-lain. Tentu saja tantangan tersebut akan berdampak pada ekonomi, sosial dan budaya manusia. Sehingga salah satu fokus *green technology* adalah pada aspek dampak lingkungan.

3. Perspektif ekonomis

Green technology harus mampu mendorong masyarakat dan bisnis untuk pembangunan berkelanjutan tanpa merusak lingkungan. Tujuannya adalah untuk mengurangi risiko lingkungan. Namun untuk mencapai pembangunan berkelanjutan akan sulit tanpa melibatkan orang-orang yang berbakat dan terampil di sektor publik, swasta dan nirlaba. Dengan demikian *green technology* juga harus fokus pada sisi perspektif ekonomis sehingga bisnis dan organisasi yang

menciptakan lapangan kerja harus mampu menciptakan ekonomi yang berkelanjutan.

4. Sosial

Kesetaraan sosial adalah bagian utama dari *green technology*. Hal ini membantu lembaga-lembaga sosial untuk menciptakan kesadaran tentang *green technology* di kalangan masyarakat dan komunitas. Lembaga-lembaga sosial harus mampu mendorong masyarakat dan komunitas tentang bagaimana merencanakan dan bertindak sesuai dengan rencana untuk mencapai kebutuhan mereka tanpa mempengaruhi lingkungan. Hasilnya adalah akan mampu meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Karena *green technology* adalah hal yang baru maka perlu adanya sosialisasi bagaimana menggunakan teknologi dan sumber daya agar tidak merusak lingkungan.

1.3 Tujuan Green Technology

Green technology diciptakan harus mampu memenuhi kebutuhan manusia namun tanpa merusak lingkungan, mengurangi limbah dan polusi, dan menciptakan produk yang mampu diolah atau didaur ulang atau digunakan kembali (Iravani, Akbari and Zohoori, 2017). Tujuan utama dikembangkannya teknologi hijau difokuskan pada pengembangan teknologi baru yang tidak memiliki atau sedikit berdampak pada lingkungan dan tidak berbahaya bagi masyarakat (Jadhav, 2019).

Beberapa tujuan dari *Green Technology* adalah:

1. Untuk mencapai kualitas hidup yang baik.
2. Untuk mengurangi peningkatan laju pertumbuhan konsumsi energi.
3. Untuk meningkatkan pembangunan ekonomi.
4. Untuk mengurangi tingkat polusi dan limbah sehingga mampu melindungi atau meningkatkan kualitas lingkungan.

5. Untuk memotivasi adanya inovasi baru dalam pengembangan teknologi hijau.
6. Untuk meningkatkan kesadaran dan pendidikan dikalangan masyarakat tentang teknologi hijau.
7. Untuk meningkatkan penggunaan bahan baku dan mempromosikan pemanfaatan residu, limbah yang dapat didaur ulang, limbah lokal bahan baku sebagai bahan baku untuk proses konversi.
8. Mendorong pembangunan yang berkelanjutan dan melestarikan lingkungan untuk generasi mendatang.

1.4 Prinsip dan Kriteria *Green Technology*

Menurut Syah dan Danhas dalam Pamungkas (2022) mengatakan bahwa ada 6 prinsip yang harus dipenuhi dalam penerapan *green technology*:

1. ***Refine***, menggunakan bahan yang ramah lingkungan dan melalui proses yang aman.
2. ***Reduce***, mampu mengurangi jumlah limbah atau sisa bahan yang tidak digunakan melalui optimalisasi penggunaan bahan baku
3. ***Reuse***, penggunaan kembali produk yang sudah tidak terpakai melalui pemrosesan yang berbeda.
4. ***Recycle***, penggunaan kembali produk yang sudah tidak terpakai melalui pemrosesan yang sama.
5. ***Recovery***, pemrosesan sisa bahan yang tidak terpakai untuk memenuhi kebutuhan yang lain.
6. ***Retrieve Energy***, mampu melakukan penghematan energi dalam proses produksi.

Menurut Iravani, Akbari and Zohoori (2017) bahwa *green technology* harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

1. Meminimalkan kerusakan lingkungan.

2. Menurunkan emisi gas rumah kaca hingga nol serta pemanfaatannya aman dan pada akhirnya meningkatkan lingkungan yang sehat dan lebih baik untuk semua sisi kehidupan.
3. Menghemat penggunaan sumber daya alam dan energi
4. Meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan.

1.5 Manfaat Green Technology

Menurut Jadhav (2019) bahwa manfaat *green technology* adalah sebagai berikut:

1. *Green technology* membantu mengurangi emisi, menghemat air, mengurangi limbah dan membutuhkan sedikit energi.
2. *Green technology* tidak mengeluarkan bahan yang berbahaya ke udara.
3. Mendukung energi terbarukan yang tidak akan pernah habis
4. *Green technology* tidak memiliki efek negatif pada bumi dan menggunakan energi yang berkelanjutan.
5. Merupakan teknologi inovatif baru yang mendukung pengembangan produk ramah lingkungan.

1.6 Penerapan Green Technology pada Berbagai Bidang

Berikut ini adalah contoh implementasi *green technology* di berbagai bidang (Mueller, 2017):

1. Nanotechnology.

Nanotechnology adalah studi tentang material pada tingkat molekuler, atomik, dan sangat kompleks. Kebutuhan dan harapan mendasar manusia harus dipenuhi oleh teknologi nano seiring perkembangannya. Makanan, air minum, pakaian, listrik, akomodasi, kesejahteraan, dan iklim adalah kebutuhan manusia yang membutuhkan komputerisasi di setiap bidangnya, peningkatan umur dan sebagainya. Produksi dengan teknologi nano ini direncanakan dan

diawasi serta berkontribusi pada perlindungan ekologi dan karenanya dapat diklasifikasikan sebagai *green technology*. Teknologi nano dapat memberikan efek besar pada hampir semua sektor yaitu dengan memberikan barang yang dibuat dengan lebih baik, tidak berbahaya, tahan lama dan lebih sehat. Oleh karena itu, teknologi nano dapat dikembangkan sebagai teknologi terbaru untuk industri berkelanjutan dengan tata kelola untuk kelestarian lingkungan.

2. *Green Technology* pada Pertanian dan Makanan.

Hambatan dalam implementasi *green technology* pada bidang pertanian dan pangan adalah bagaimana modal yang digunakan untuk hal tersebut ampu menjadikan pertanian berkelanjutan, dengan standar nasional dan perluasan teknologi. Penemuan-penemuan di bidang pertanian yang didasarkan pada *green technology* yang berkelanjutan diharapkan mampu mengatasi kesulitan di bidang makanan dan meningkatkan produksi agronomi. *Green technology* pada bidang ini adalah melalui budidaya yang tepat, pestisida nano, dan dekontaminasi air yang terdesentralisasi dengan biaya rendah.

3. *Green Technology* untuk Air Minum.

Penemuan *green technology* untuk dekontaminasi air berbiaya rendah diharapkan dapat mengatasi masalah air minum di dunia dengan memasok semua orang dengan air minum berkelanjutan. Melalui dekontaminasi air lokal yang hemat biaya, mengidentifikasi racun pada tingkat molekuler, dan sistem pemurnian yang meningkat secara dramatis, *green technology* mampu menjawab masalah ini. *Green technology* akan membantu dalam pemrosesan ulang air hujan menjadi air minum yang tidak terkontaminasi, serta

daur ulang air laut menjadi air minum berskala besar dengan harga yang murah.

4. *Green Technology* untuk Energi Berkelanjutan.

Kebutuhan energi di seluruh dunia diperkirakan akan terus meningkat. Dengan menciptakan kembali jaringan listrik, *green technology* akan menjawab kebutuhan akan sumber energi melalui pencahayaan yang lebih efektif, sel energi, sel surya, penyimpanan hidrogen, catu daya yang tersebar secara lokal serta pembangkitan dan pembebanan yang terdistribusi secara regional. Teknologi nano sebagai *green technology* memungkinkan penciptaan dan penyebaran energi surya dan angin yang tidak habis-habisnya dalam skala luas dengan biaya rendah dan tidak menimbulkan kerusakan pada lingkungan, sehingga mengarah pada pendekatan energi bersih.

5. *Green Technology* pada Konstruksi Bangunan.

Green technology membuka kemungkinan-kemungkinan baru yang menarik dalam bidang industri konstruksi, seperti penciptaan bahan konstruksi yang hemat energi, tahan lama, dan sangat ringan. Sekarang ini dimungkinkan untuk memantau sifat, penampilan, dan kekerasan beton dengan memengaruhi konstruksi dasar fase semen. Modifikasi nano juga memberikan statistik penting untuk memperkirakan masa pakai material secara lebih akurat dan pemahaman tentang cara menyempurnakannya lebih jauh lagi.

6. *Green Technology* pada Pesawat Terbang dan Perjalanan Luar Angkasa.

Eksplorasi ruang angkasa akan memberi kita cara untuk mendeteksi kesejahteraan bumi, sumber energi, dan ruang kosong untuk kreativitas kita. Manusia akan dapat hidup

lebih ramah lingkungan di luar angkasa berkat teknologi ramah lingkungan. Minyak pendorong, penutup, kain dasar, kostum pintar, sensor, dan lingkungan yang menopang kehidupan adalah beberapa contoh penggunaan *green technology* yang dapat berdampak pada perjalanan luar angkasa.

7. *Green Technology* pada Perawatan Kesehatan dan Pengobatan

Kesejahteraan manusia adalah bidang utama dan penting dalam ilmu teknologi nano. Penelitian teknologi nano membuka sejumlah kemungkinan untuk inovasi dalam industri medis. Diagnosis yang sederhana, teknologi pengiriman obat yang kreatif, dan produksi obat baru yang lebih cepat hanyalah beberapa aplikasi *green technology* pada bidang ini. Terobosan *green technology* yang bersifat jangka panjang dan lebih terkendali akan mampu memulihkan DNA dan kerusakan sel, serta mengubah terapi obat. Telah diusulkan bahwa terapi peremajaan yang tepat, manusia dapat hidup hingga 1000 tahun. Mesin mikroskop akan dapat terbang ke dalam tubuh manusia dalam 30 atau 40 tahun mendatang, menggantikan sel dan jaringan yang rusak dan secara efektif memberantas penyakit.

8. *Green Technology* dalam Pangan dan Pengolahan Pangan

Menemukan keseimbangan yang berkelanjutan antara kuantitas makanan dan ancaman yang menjamin kelangsungan hidup jangka panjang merupakan salah satu tantangan terpenting umat manusia. *Green technology* dalam industri bahan makanan dan penanganan makanan menghadapi tugas untuk mengurangi kontaminan yang disebabkan oleh proses, yang memerlukan keterlibatan para ahli. Konservasi biologis, teknologi non-termal, pemanasan

gelombang elektronik dan magnetik, serta medan listrik dan magnetik hanyalah beberapa teknologi yang tersedia. Ada prospek potensial untuk menghilangkan racun yang disebabkan oleh proses dalam bahan makanan, dan juga dampak lingkungan dari produksi dan penyimpanan makanan yaitu dengan teknologi nano dan bioteknologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, B., Mishra, S.N. and Bisoyi, B. 2018. 'Green Technology for Attaining Environmental Safety and Sustainable Development', *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9(3), pp. 1087–1094.
- Du, K., Li, P. and Yan, Z. 2019. 'Do Green Technology Innovations Contribute to Carbon Dioxide Emission Reduction? Empirical Evidence from Patent Data', *Technological Forecasting and Social Change*, 146(April), pp. 297–303.
- Guo, M. *et al.* 2020. 'Green Technology and Sustainable Development: Assessment and Green Growth Frameworks', *Sustainability (Switzerland)*, 12(16), pp. 1–13.
- Iravani, A., Akbari, M.H. and Zohoori, M. 2017. 'Advantages and Disadvantages of Green Technology; Goals, Challenges and Strengths', *International Journal of Science and Engineering Applications*, 6(9), pp. 272–284.
- Jadhav, R.B. 2019. 'Benefits of Green Technology for Environment', *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 6(12), pp. 1915–1919.
- Mohammed, S.I. 2021. 'Advantages of Green Technology to Mitigate the Environment Problems', in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Mueller, S. 2017. 'Green Technology and Its Effect on The Modern World', *Oulu University of Applied Sciences "Business Information Technology"*, 6(3), pp. 1–54.
- Pamungkas, P.D.A. 2022. 'Green Technology: Pertobatan yang Menyelamatkan Lingkungan dan Menjaga Keberlangsungan Hidup Bumi', *Tarfomedia*, pp. 28–33.
- Qing, L. *et al.* 2022. 'Does Proactive Green Technology Innovation Improve Financial Performance? Evidence from Listed Companies with Semiconductor Concepts Stock in China', *Sustainability (Switzerland)*, 14(8).

BAB 2

SOLAR ENERGY

Oleh Yunita Djamalu

2.1 Pendahuluan

Dengan jarak rata-rata 93.026.724 mil (149.680.000 kilometer), matahari adalah salah satu bintang terdekat dengan Bumi. Jumlah radiasi thermal yang dipancarkan oleh matahari sebanding dengan benda hitam pada 5700°K. Temperatur inti matahari mencapai 8×10^7 K hingga 40×10^6 K, dan laju emisi matahari adalah $3,8 \times 10^{23}$ kilowatt-jam, yang merupakan sekitar $1,7 \times 10^4$ kilowatt-jam dari total energi yang diterima bumi. Selain itu, 23% dari energi ini diberikan untuk proses evaporasi biosfer, dan <0,5% diberikan untuk energi bentuk lain yang dihasilkan oleh matahari. Suatu bola gas pijar, matahari diklasifikasikan sebagai bintang kecil jenis G karena fakta bahwa itu tidak benar-benar berbentuk bulat.

Karena gerak rotasinya, matahari memiliki kutub dan katulistiwa. Garis ekuatorialnya 864.000 mil, tetapi antar garis kutubnya hanya 43 mil. Karena terdiri dari 98% massa tata Surya, matahari merupakan anggota yang paling besar. Selain berfungsi sebagai pusat peredaran, matahari juga berfungsi sebagai pusat sumber energi untuk sistem tata surya. Inti dan tiga lapisan kulit matahari terdiri dari kromosfer, korona dan fotosfer. Untuk terus bersinar, matahari menggunakan reaksi fusi nuklir untuk menukar zat hidrogen dengan zat helium pada kadar 600 juta ton. Akibatnya, matahari kehilangan empat juta ton massa setiap hari. Nama konstan surya mengacu pada 1.370 watt per meter persegi tenaga matahari yang sampai ke permukaan Bumi. Bintang generasi kedua adalah matahari,

yang berfungsi sebagai pusat Tata Surya. Ilmuwan berpendapat bahwa alam semesta ini terbentuk oleh ledakan besar-besaran sekitar 14.000 juta tahun lalu.. (Wiranto Arismunandar,2001).

2.2 Energi Matahari

Energi matahari berasal dari bola gas yang sangat panas. Bola matahari memiliki diameter 1,39 kali 10⁶ kilometer, dan jarak rata-ratanya dari Bumi adalah 1,5 kali 10⁸ kilometer. Pada permukaannya, temperatur efektifnya adalah 5.760 K, tetapi pada inti, temperaturnya dapat mencapai sekitar 8×10^6 hingga 40×10^6 K. Energi utama yang dihasilkan dari inti sampai 0,23 R (R = jari-jari bola matahari) menyumbang 90% dari energi yang dihasilkan. Pada jarak 0,7 R dari inti, temperaturnya turun sekitar 130.000 K hingga 5.500 K. Permukaan bola matahari terdiri dari bintik sel dengan umur rata-rata hanya beberapa menit, dengan ukuran 1.000 hingga 3.000 km. Atmosfer surya yang sangat transparan membentuk lapisan gas yang lebih dingin di bagian luar fotosfer, yang disebut lapisan balik. Di luar lapisan balik ini terdapat lapisan gas yang disebut kromosfer, yang memiliki ketebalan sekitar 10.000 km dan memiliki temperatur sekitar 5.000 K atau lebih. Gelombang energi yang memancarkan melalui ruang angkasa memiliki panjang gelombang yang berbeda.

Panjang gelombang radiasi yang dipancarkan melalui permukaan matahari berkisar dari yang paling panjang (radio) hingga yang paling pendek (sinar X dan Y). Dengan panjang gelombang antara 0,35 dan 0,75 mikron, cahaya matahari yang dilihat oleh mata manusia hanyalah 46% dari cahaya yang dipancarkan. Sinar violet, yang merupakan sinar cahaya yang tidak terlihat, hanya memiliki panjang gelombang 0,35 mikron. Demikian pula, panjang gelombang warna merah adalah 0,75–7 mikron. Tidak hanya manusia tidak dapat melihat framerah, tetapi mereka juga memiliki panjang gelombang yang lebih

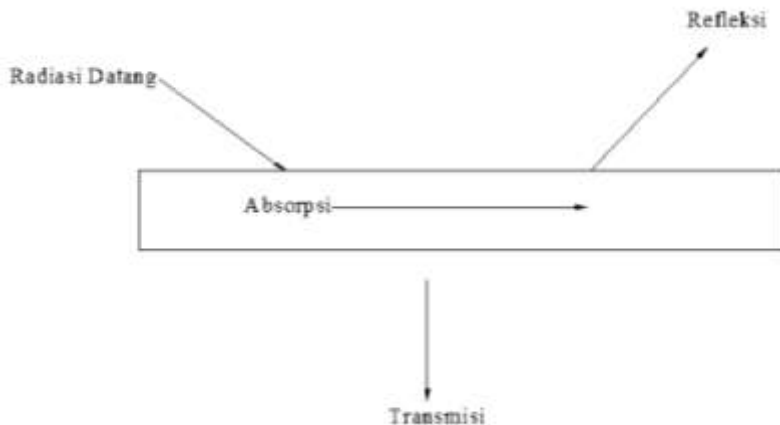
besar. Bumi hanya dapat menyerap sekitar 50% radiasi elektromagnetik yang dihasilkan oleh matahari. (International Energy Agency, 2011)

Dalam misi ruang angkasa tahun 1971, Badan Angkasa Luar Amerika Serikat NASA (National Aeronautics and Space Administration) mengukur radiasi surya dengan harga 1.353 Watt/m². Dari pengukuran ini, 47,33% atau 640,4 Watt/m² dipancarkan melalui sinar yang dapat dilihat oleh manusia (visible light), 7,85% atau 105,8 Watt/m² dipancarkan melalui sinar ultraviolet, dan 44,85% atau 606,8 Watt/m² dipancarkan melalui sinar inframerah. Sampai saat ini, energi surya telah dimanfaatkan melalui teknologi sederhana maupun canggih. Faktor yang berubah antara siang dan malam merupakan masalah utama dalam pemanfaatan energi surya. Perubahan ini menyebabkan kontinuitas perolehan energi surya selalu terganggu pada malam hari. Sumber listrik, sumber uap, dan sistem pemanasan air dan udara adalah bagian dari penggunaan energi surya.

Penggunaan Energi Matahari Pada tahun 2011, Badan Energi Internasional menyatakan bahwa pengembangan teknologi energi surya yang bersih, terjangkau dan tidak habis akan menghasilkan keuntungan besar dalam jangka panjang. Perubahan ini diharapkan dapat meningkatkan keamanan dan kestabilan energi negara-negara melalui pemanfaatan sumber energi yang tidak habis, sudah ada, dan tidak bergantung pada impor. Ini akan meningkatkan kontinuitas, mengurangi polusi, mengurangi biaya untuk mitigasi perubahan iklim, dan menjaga harga bahan bakar fosil tetap rendah. Akibatnya, biaya tambahan untuk insentif pengembangan awal harus dianggap sebagai investasi dalam pembelajaran. Sangat penting bahwa inovasi ini digunakan dengan hati-hati dan dibagikan secara bersamaan. (Agensi Energi Internasional, 2011)

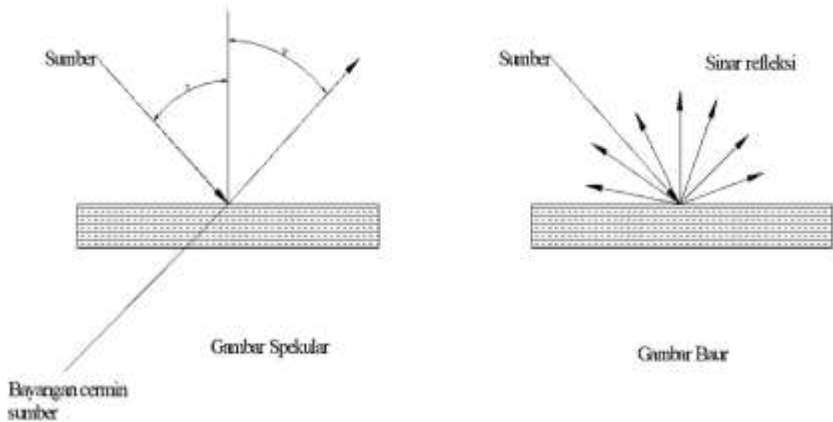
2.3 Sifat-sifat Radiasi

Gambar berikut menunjukkan bagaimana energi radiasi direfleksikan, diserap, dan diteruskan. Reflectivitas (ρ), absorpsivitas (α), dan transmisivitas (τ) adalah istilah untuk fraksi yang dipantulkan. Transmisinya dianggap nol karena kebanyakan benda padat tidak meneruskan radiasi termalnya. (Abdul Roji, 2010)



Gambar 2.1. Pengaruh Radiasi Datang (Abdul Roji, 2010)

Jika radiasi menimpa suatu permukaan, fenomena yang dapat diamati ada dua. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2, refleksi disebut Baur jika sudut jatuhnya sama dengan sudut refleksi sebaliknya, refleksi disebut spekular jika sudut jatuhnya sama dengan sudut refleksi.



Gambar 2.2. Specular dan Baur (Abdul Roji, 2010)

2.4 Variasi Radiasi Surya pada permukaan

Setiap permukaan menerima intensitas radiasi surya yang berubah setiap saat. Faktor-faktor seperti astronomi, geografi, waktu, lama penyinaran, faktor meteorologi, lokasi permukaan, dan kemiringan permukaan adalah penyebabnya. Dalam waktu satu tahun, bumi memiliki lintasan berbentuk elips yang mengelilingi matahari, yang berbentuk sudut $23,45^\circ$ terhadap bidang equator bumi. Matahari berada tepat di atas equator pada tanggal 31 maret dan 23 september. Radiasi ekstraterestrial, yang membentuk siklus selama satu tahun sesuai posisi matahari, dapat digunakan untuk mengukur variasi radiasi yang disebabkan oleh posisi matahari. (Abdul Roji, 2010)

Faktor geografis permukaan memengaruhi seberapa intens radiasi matahari yang akan diterimanya. Faktor geografis termasuk lokasi dan kemiringan, yang digambarkan sebagai berikut:

1. Jarak (L) Jarak, juga dikenal sebagai garis meridian (bujur), adalah posisi permukaan terhadap garis setengah lingkaran yang ditarik dari kutub-kutub bumi dengan Greenwich sebagai referensi (meridian utama).

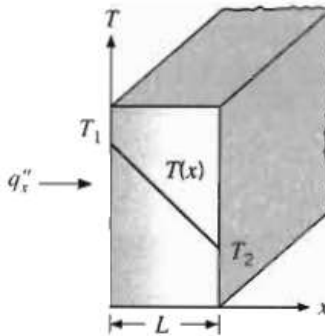
2. Posisi matahari relative terhadap permukaan bumi digambarkan dengan sudut-sudut berikut:
- a. Latitude atau lintang (Φ), adalah lokasi lintang terhadap equator bumi, yang besarnya $-90^\circ < \Phi < 90^\circ$, dan positif jika matahari berada disebelah utara equator.
 - b. Slope (Φ), adalah sudut yang dibentuk oleh permukaan bumi dan bidang horizontal.
 - c. Deklinasi (Φ), adalah sudut dari posisi lintang matahari pada tengah hari terhadap bidang equator, yang besarnya $-23,45 < \Phi < 23,45$
 - d. Sudut jam senja (ω) adalah perpindahan angular matahari dari timur ke barat terhadap bujur lokal
 - e. Sudut azimuth (γ) adalah sudut deviasi yang dibentuk oleh proyeksi garis normal permukaan dengan bujur lokal yang besarnya $-180 < \gamma < 180$.
 - f. Angle of Incidence (θ) adalah sudut antara radiasi sorotan pada suatu permukaan dan garis normal permukaan. (Abdul Roji, 2010)

2.5 Perpindahan Panas

Seperti yang diketahui, panas dapat bergerak dari suhu tinggi ke suhu rendah. Tiga jenis perpindahan panas adalah konveksi, radiasi, dan konduksi

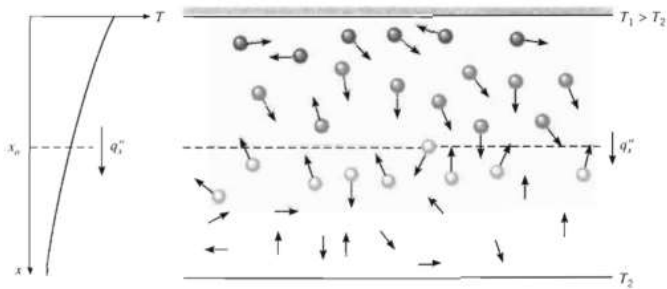
2.5.1 Konduksi

Proses kondensasi terjadi ketika panas mengalir dari area yang lebih panas ke area yang lebih dingin pada suatu medium (gas, padat, atau cair) atau antara dua atau lebih medium yang bersinggungan secara langsung. Perpindahan panas secara konduksi digambarkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Perpindahan panas konduksi (Incropera dan Dewitt, 1996)

Dalam konduksi, aliran energi dihasilkan oleh gerak translasi acak, rotasi, dan vibrasi molekul. Ini terjadi tanpa perpindahan molekul, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Suhu dan energi dalam zat meningkat dengan kecepatan molekul bergerak.



Gambar 2.4. Aktivitas molekul dalam konduksi (Incropera dan Dewitt, 1996)

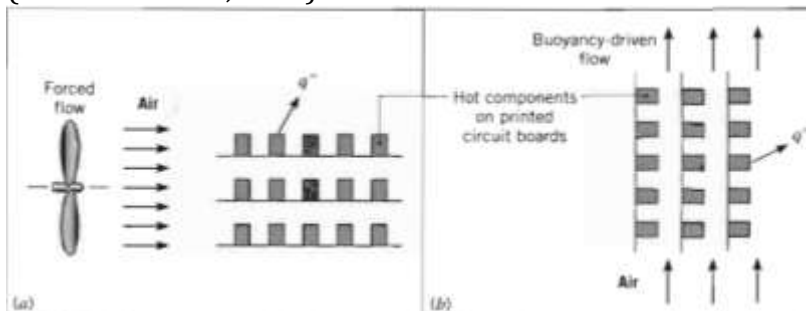
Ketika suhu berubah, molekul yang memiliki energi yang lebih besar memindahkan sebagian energinya ke molekul lain. Daya hantar termal adalah sifat bahan, dan perbandingan k/L disebut hantaran (konduktansi). Dapat diperhatikan bahwa

konduktivitas termal bahan juga termasuk laju kalor, dan nilai angka konduktivitas termal menunjukkan berapa cepat kalor mengalir melalui bahan tersebut.

2.5.2 Konveksi

Ketika energi berpindah antara permukaan benda padat dan cairan atau gas, proses konveksi terjadi. Ini terjadi ketika suhu permukaan berada di atas suhu fluida di sekitarnya selama berbagai tahap konveksi. Pertama, panas mengalir dari permukaan ke partikel fluida yang berbatasan melalui konduksi, meningkatkan suhu dan energi dalam partikel. Kemudian partikel fluida bergerak ke suhu yang lebih rendah dalam fluida, di mana ia berbaur dan mengirimkan sebagian energinya ke partikel fluida lainnya. Bagaimana aliran dicampur menentukan jenis perpindahan panas konveksi. Ada konveksi bebas (*natural convection*), yang terjadi karena perbedaan suhu yang rapat, dan konveksi paksa (*forced convection*), yang terjadi karena aliran digerakkan.

Konversi alami terdiri dari dua jenis aliran: laminar dan turbulen. Koefisien konveksi (h), yang digunakan untuk menentukan jumlah perpindahan panas yang terjadi dalam fluida, q_p , dapat dihitung dengan menggunakan angka tak berdimensi. (Titahelu Nicolas, 2010).

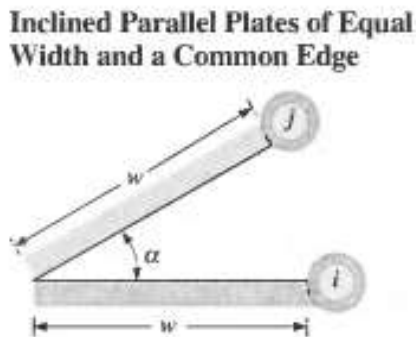


Gambar 2.5. Jenis konveksi;(a) Konveksi paksa dan (b) Konveksi alami (Incropera dan Dewitt, 1996)

Nilai bilangan Rayleigh (RaL) harus diperoleh terlebih dahulu, untuk mengetahui jenis aliran konveksi. (Titahelu Nicolas, 2010).

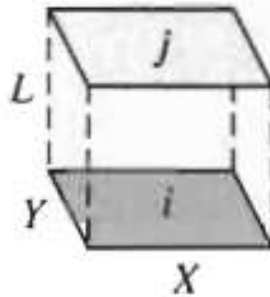
2.5.3 Radiasi

Kalor juga dapat bergerak melalui ruang hampa, seperti konveksi dan konduksi. Pada termodinamika, benda hitam, radiator, atau sumber penyinaran ideal dapat memancarkan energi setara dengan pangkat empat suhu absolut benda yang berdiri lurus. Nilai faktor pemandangan untuk objek dua dimensi berbeda. Gambar 2.6 menunjukkan kaca yang meneruskan radiasi dalam posisi sejajar, dan Gambar 2.7 menunjukkan kotak kubus yang distandartkan dari kaca sebagai bahan yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 2.6. sudut kemiringan pada dua permukaan.
(Incropera dan Dewitt, 1996)

Selain itu, faktor pandang kotak kaca ditunjukkan pada gambar gai berikut. Pertama, cari nilai X dan Y.

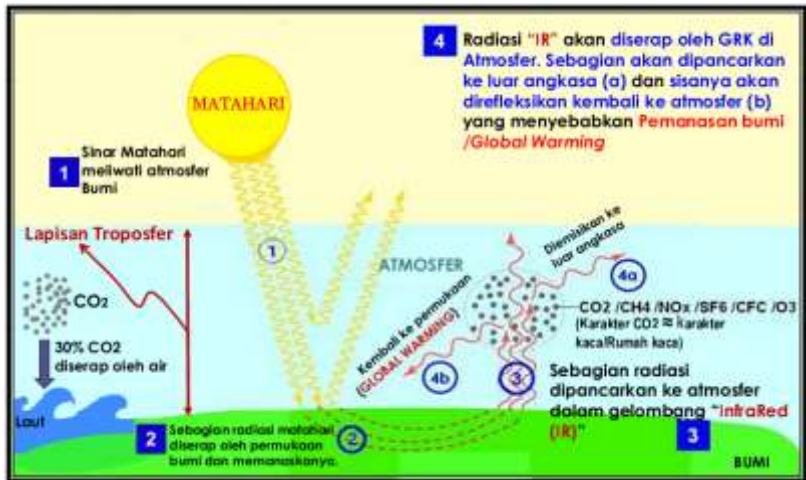


Gambar 2.7. Benda tiga dimensi dengan *View factor*
(Incropera dan Dewitt, 1996)

Pada dua penampang yang berhadapan dengan faktor penglihatan masing-masing permukaan, perpindahan panas radiasi dihasilkan oleh bagian radiasi dari permukaan j (yang berhadapan dengan permukaan yang meneruskan radiasi) yang bertemu dengan permukaan i (yang meneruskan radiasi). (Titahelu Nicolas, 2010).

2.6 Pemanasan Global

Sebagian besar radiasi matahari diserap oleh permukaan bumi, menyebabkan permukaan bumi menjadi panas, dan sebagian besar gas CO_2 di lapisan atmosfer diserap oleh air laut, dan sisanya berada di lapisan troposfer. Gas Rumah Kaca (GRK) yang terjebak di atmosfer menyerap gelombang inframerah dari sinar matahari dan menyebabkan pemanasan global. Karena sifat CO_2 yang mampu memerangkap panas mirip dengan sifat kaca, itu disebut rumah kaca. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.8 (BMKG, 2010).



Gambar 2.8. Proses terjadinya pemanasan global (BMKG, 2010)

Meningkatnya suhu rata-rata pada permukaan Bumi dikenal sebagai pemanasan global. Radiasi sinar matahari masuk ke atmosfer bumi dan diserap oleh permukaan bumi dan udara, sebagian dari sinar infra merah diubah menjadi energi panas dan dipantulkan kembali ke atmosfer oleh gas rumah kaca, yang menyebabkan peningkatan suhu permukaan bumi. Mayoritas gas rumah kaca adalah metana, nitrogen oksida dan karbon dioksida. Aktivitas manusia adalah faktor utama yang menyebabkan akumulasi gas-gas kimia ini di atmosfer. (BMKG, 2010)

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar Wiranto., 2001. *Teknologi Rekayasa Surya*. Bandung
- Florini Ann., 2011. *The International Energy Agency in Global Energy Governance*. Singapore
- Roji Abdul., 2010. *Efisiensi Surya Kolektor Untuk Pemanas Mesin Pengering Padi*. Surabaya
- Putra, C. S., 2008, *Perancangan dan pengujian distilasi air laut tipe atap menggunakan energy surya*. Fakultas Teknik. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Incropera, Frank P. dan Dewitt, David P., 1996, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. United States: John Willey & Sons.
- Titahelu, Nicolas, 2010, *Eksperimen Pengaruh Beban Panas Terhadap Karakteristik Perpindahan Panas Oven Pengering Cengkih*. Jurnal Teknologi, Volume 7 Nomor 1, 2010; 744 -750.
- Badan Meteorologi klimatologi dan geofisika (BMKG), 2010, *Data radiasi matahari*, 20 Februari 2014.

BAB 3

WIND ENERGY DAN OCEAN ENERGY

Oleh Ridho Muhammad

3.1 Pendahuluan

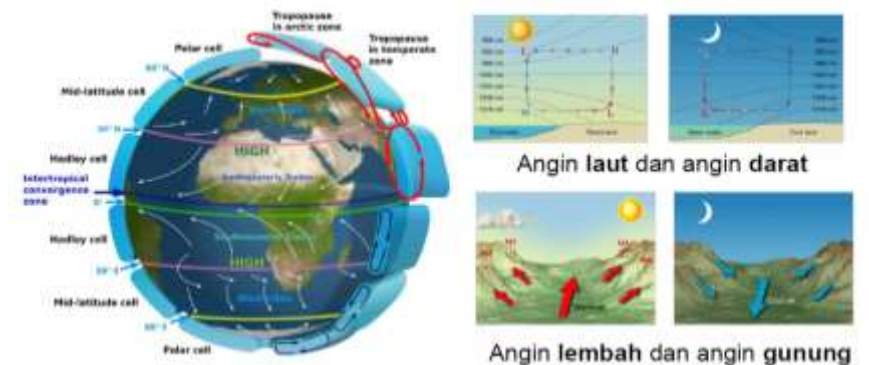
Pada bab ini akan dibahas dua topik besar, yaitu mengenai Wind Energi dan Ocean Energy. Energi terbarukan telah menjadi fokus utama dalam upaya global untuk mengurangi dampak perubahan iklim dan ketergantungan pada sumber energi fosil yang terbatas. Dua sumber energi terbarukan yang semakin mendapat perhatian adalah energi angin dan energi laut. Energi angin, diperoleh dari angin yang menggerakkan turbin angin, telah berkembang pesat dalam beberapa dekade terakhir dan menjadi salah satu sumber energi terbesar di dunia. Di sisi lain, energi laut, yang mencakup potensi energi dari gelombang laut, arus laut, dan perbedaan suhu laut, masih dalam tahap pengembangan namun memiliki potensi besar sebagai sumber energi yang bersih dan berkelanjutan.

Pengenalan teknologi terbaru dalam energi angin, seperti turbin angin lepas pantai (*offshore*) dan perangkat energi laut inovatif, telah mengubah lanskap industri energi terbarukan. Kedua sumber energi ini menawarkan peluang untuk mengurangi emisi karbon, meningkatkan keamanan energi, dan menciptakan lapangan kerja baru. Oleh karena itu, pemahaman yang lebih mendalam tentang prinsip kerja, perkembangan terbaru, tantangan, dan manfaat dari energi angin dan energi laut menjadi sangat penting. Bab ini bertujuan untuk menyajikan pandangan komprehensif mengenai kedua jenis energi ini, memotret peran mereka dalam mewujudkan masa depan energi yang berkelanjutan.

3.2 Energi Angin (*Wind Energy*)

Energi angin telah lama dikenal dan dimanfaatkan oleh manusia. Energi kinetik yang terdapat dalam angin dapat diubah menjadi sumber energi yang ekonomis. Meskipun demikian, teknologi untuk mengubah energi kinetik angin menjadi listrik saat ini masih mahal. Pada dasarnya, angin terjadi karena perbedaan temperatur udara, dengan udara panas yang naik ke atas dan bergerak ke daerah yang lebih dingin, seperti daerah kutub. Sebaliknya, di daerah kutub yang dingin, udara menjadi dingin dan turun ke bawah. Ini menciptakan perputaran udara, yang menghasilkan perpindahan udara dari daerah kutub ke daerah khatulistiwa. Saat ini, sekitar 25 negara telah mengadopsi teknologi tenaga angin, dan hampir semuanya berada di negara-negara beriklim tropis, termasuk Indonesia. Energi angin juga dapat digunakan untuk menghasilkan tenaga mekanik, yang bisa digunakan untuk pompa air atau dikonversi menjadi listrik melalui generator. Angin adalah udara yang bergerak akibat perbedaan tekanan udara, yang dipengaruhi oleh sinar matahari.

Angin terbentuk akibat rotasi bumi, dan akibat paparan sinar matahari yang berbeda di bumi sehingga menghasilkan densitas dan tekanan udara yang berbeda.



Gambar 3.1. Rotasi Bumi dan Pergerakan Angin

(Sumber : <https://serc.carleton.edu/eslabs/hurricanes/1b.html>)

Bumi berputar sekali setiap 23 jam, 56 menit dan 4,09053 detik yang disebut perioda sidereal. Artinya, permukaan bumi di khatulistiwa, bergerak pada kecepatan sekitar 450 m/s.

Sumber energi angin dapat dikonversikan menjadi energi lain dengan menggunakan turbin angin. Turbin angin merupakan sebuah perangkat yang mengubah energi kinetik yang terkandung dalam angin menjadi energi mekanik dalam bentuk torsi dan gerakan rotasi pada turbin tersebut. Selanjutnya, energi mekanik ini akan diubah kembali menjadi energi listrik melalui proses yang terjadi dalam generator.

PLTB : Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Angin)

Wind Farm : Sekumpulan PLTB dalam satu kawasan.

3.2.1 Alat Ukur Kecepatan Angin

Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan serta arah angin, dan sering digunakan oleh lembaga cuaca seperti Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Istilah "anemometer" berasal dari bahasa Yunani, "anemos," yang berarti angin. Angin adalah aliran udara yang bergerak dari satu tempat ke tempat lain. Perangkat ini pertama kali diperkenalkan oleh Leon Alberti dari Italia pada tahun 1450. Untuk mendapatkan hasil yang akurat, anemometer harus ditempatkan di area terbuka. Ketika angin bertiup, baling-baling atau mangkuk yang terpasang pada anemometer akan bergerak sesuai dengan arah angin. Semakin kuat angin bertiup, semakin cepat pula putaran mangkuk-mangkuk tersebut. Dengan menghitung jumlah putaran dalam satu detik, kecepatan angin dapat diukur. Anemometer dilengkapi dengan alat pencacah yang menghitung kecepatan angin.



Gambar 3.2. Anemometer

(Sumber : <https://www.thoughtco.com/history-of-the-anemometer-1991222>)

Anememometer terdapat 2 jenis yaitu:

1. Anemometer Putaran

Anemometer putaran adalah jenis anemometer yang mengukur kecepatan angin dengan cara mengukur laju putaran baling-baling atau kincir angin yang dipengaruhi oleh angin. Salah satu jenis anemometer putaran yang paling umum adalah anemometer cup, di mana tiga atau empat cangkir dipasang pada lengan dan berputar ketika terkena angin. Kecepatan putaran cangkir ini kemudian dikonversi menjadi kecepatan angin yang dapat dibaca. Anemometer putaran biasanya digunakan di lapangan terbuka dan stasiun meteorologi.

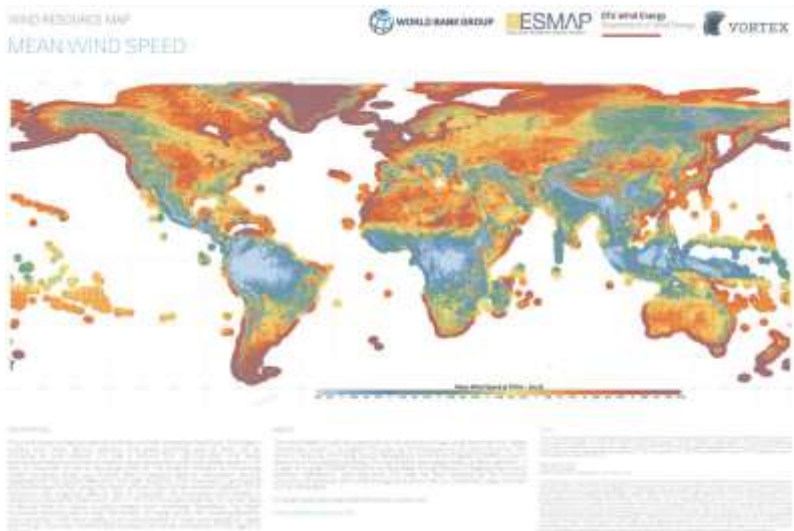
2. Anemometer Tekan

Anemometer tekan, juga dikenal sebagai anemometer rongga atau anemometer tabung pitot, bekerja dengan prinsip tekanan dinamis yang dihasilkan oleh angin yang bergerak. Anemometer ini memiliki dua lubang yang

terletak pada sudut tertentu terhadap arah angin. Perbedaan tekanan antara kedua lubang ini diukur, dan dari sana, kecepatan angin dapat dihitung menggunakan persamaan fluida. Anemometer tekan cocok untuk pengukuran kecepatan angin di laboratorium atau dalam aplikasi di mana akurasi tinggi diperlukan.

3.2.2 Potensi Energi Angin

Berikut merupakan peta potensi energi angin dunia yang dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Potensi Energi Angin Dunia

(Sumber : <https://globalwindatlas.info/download/high-resolution-maps/World>)

Sedangkan untuk potensi energi angin pada negara Indonesia tercinta dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Potensi Energi Angin Indonesia
(Sumber : <https://globalwindatlas.info/en/area/Indonesia>)

Potensi energi angin di indonesia berdasarkan provinsi berdasarkan data tahun 2017.

Satuan: MW			Satuan: MW		
No.	Provinsi	Potensi	No.	Provinsi	Potensi
1	Nusa Tenggara Timur	10.188	18	Kepulauan Riau	822
2	Java Timur	7.967	19	Sulawesi Tengah	808
3	Java Barat	7.036	20	Aceh	884
4	Java Tengah	5.213	21	Kalimantan Tengah	681
5	Sulawesi Selatan	4.193	22	Kalimantan Barat	554
6	Maluku	3.188	23	Sulawesi Barat	514
7	Nusa Tenggara Barat	2.605	24	Maluku Utara	504
8	Bangka Belitung	1.787	25	Papua Barat	437
9	Banten	1.753	26	Sumatera Barat	428
10	Bengkulu	1.513	28	Sumatera Utara	356
11	Sulawesi Tenggara	1.414	29	Sumatera Selatan	301
12	Papua	1.411	30	Kalimantan Timur	213
13	Sulawesi Utara	1.214	31	Gorontalo	137
14	Lampung	1.137	27	Kalimantan Utara	73
15	DI Yogyakarta	1.079	32	Jambi	31
16	Bali	1.019	33	Riau	23
17	Kalimantan Selatan	1.096	34	DKI Jakarta	4
Total					60.647,0

Gambar 3.5. Potensi Energi Angin Indonesia
(Sumber : Lampiran Peraturan Pemerintah (PP) No. 27 Tahun 2017)

3.2.3 Jenis dan Komponen Turbin Angin

1. HAWT adalah singkatan dari Horizontal Axis Wind Turbine, yang dalam Bahasa Indonesia bisa disebut "Turbina Angin dengan Poros Horisontal." Ini adalah salah satu jenis turbin angin yang paling umum digunakan dalam pembangkitan energi angin. Turbin angin ini memiliki karakteristik utama berupa sudut-sudut baling-baling yang terpasang secara horizontal, sejajar dengan permukaan tanah. Jumlah sudu baling-baling pada HAWT dapat bervariasi, namun, biasanya ada tiga atau lebih. Berikut adalah penjelasan singkat tentang HAWT dengan tiga sudu:

Sudu Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT):

Desain Horisontal: HAWT memiliki desain baling-baling yang terpasang secara horizontal, yang berarti baling-baling berputar sejajar dengan tanah.

Jumlah Sudu: Dalam contoh yang Anda sebutkan, HAWT memiliki tiga sudu. Jumlah sudu ini dapat bervariasi tergantung pada desain dan ukuran turbin angin.

Mekanisme Kerja:

Angin yang datang mengenai sudu-sudu baling-baling HAWT, menyebabkan baling-baling tersebut berputar.

Gerakan rotasi ini menggerakkan poros utama turbin yang terhubung ke generator.

Generator mengubah energi kinetik dari angin menjadi energi listrik, yang kemudian dapat disalurkan ke jaringan listrik atau digunakan secara lokal.

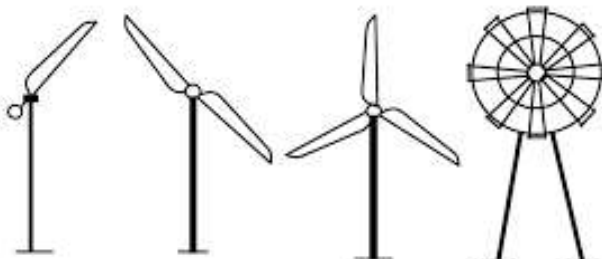
Keuntungan HAWT:

Stabilitas: HAWT cenderung lebih stabil dan mudah dikontrol karena baling-balingnya berputar sejajar dengan tanah.

Efisiensi: Mereka cenderung lebih efisien dalam mengubah energi angin menjadi energi listrik dalam kondisi angin yang bervariasi.

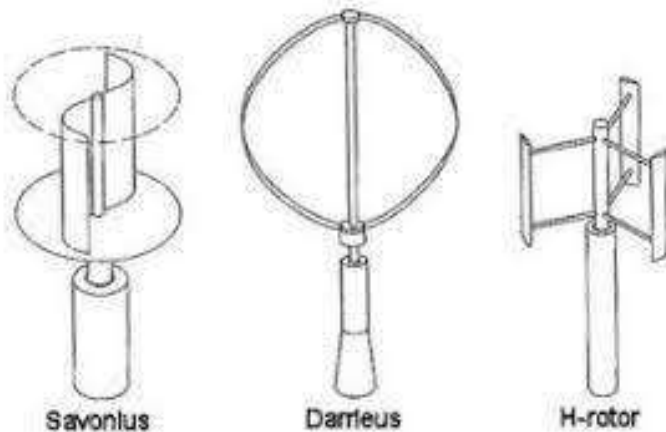
Kemampuan Menyesuaikan Dengan Angin: HAWT dapat menyesuaikan diri dengan perubahan arah angin karena mereka dapat diarahkan ke angin yang datang dari berbagai arah.

HAWT adalah teknologi yang mapan dan banyak digunakan di seluruh dunia untuk menghasilkan energi angin. Namun, perlu diperhatikan bahwa ada berbagai ukuran dan jenis HAWT yang cocok untuk aplikasi yang berbeda, dari turbin angin kecil untuk rumah tangga hingga turbin angin besar yang digunakan dalam pembangkitan energi komersial.



Gambar 3.6. 1 Sudu, 2 Sudu, 3 Sudu, Sudu banyak
(Sumber : Darmawan, H., & Bachtiar, I. K. (2011).)

2. *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT), atau Turbin Angin dengan Poros Vertikal, adalah jenis turbin angin yang memiliki baling-baling yang terpasang secara vertikal, tegak lurus dengan tanah. VAWT memiliki beberapa variasi desain, termasuk Savonius, Darrieus, dan H-Rotor, yang berbeda dalam cara mereka menghasilkan energi. Berikut adalah penjelasan tentang ketiga jenis VAWT tersebut:



Gambar 3.7. Tipe Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)
(Sumber : Darmawan, H., & Bachtiar, I. K. (2011).)

a. Savonius (Tipe Drag):

Turbin Savonius memiliki bentuk seperti silinder vertikal dengan dua atau lebih sudu setengah lingkaran yang dipasang pada poros vertikal.

Prinsip kerja Savonius didasarkan pada perbedaan tekanan yang dihasilkan oleh angin yang melewati sudu. Sisi angin yang lebih tinggi di sisi luar sudu akan menciptakan gaya tarik (drag), yang akan mendorong baling-baling untuk berputar.

Turbin Savonius umumnya kurang efisien daripada turbin Darrieus dalam menghasilkan energi, tetapi mereka memiliki keunggulan dalam stabilitas dan kemampuan untuk menghadapi angin yang bervariasi.

b. Darrieus (Tipe Lift):

Turbin Darrieus memiliki bentuk seperti pendorong atau rotor vertikal dengan dua atau lebih sudu berbentuk seperti sayap pesawat terbang yang terpasang pada poros vertikal.

Prinsip kerja Darrieus didasarkan pada pembentukan gaya angkat (lift) oleh sudu-sudu yang berputar ketika angin mengalir melaluinya. Gaya angkat ini menyebabkan baling-baling berputar.

Turbin Darrieus cenderung lebih efisien dalam menghasilkan energi daripada Savonius, tetapi mereka mungkin memiliki masalah dengan stabilitas dan memerlukan kendali yang lebih baik.

c. H-Rotor (Tipe Lift):

Turbin H-Rotor adalah variasi lain dari VAWT yang memiliki bentuk seperti huruf "H" dengan dua lengan yang panjang dan dua sudu berbentuk sayap di setiap lengan.

Prinsip kerja H-Rotor juga didasarkan pada pembentukan gaya angkat oleh sudu-sudu yang berputar, mirip dengan turbin Darrieus.

Desain H-Rotor dirancang untuk meningkatkan efisiensi dan stabilitas dibandingkan dengan turbin Darrieus.

VAWT memiliki beberapa keuntungan, seperti kemampuan untuk beroperasi dalam arah angin yang berubah-ubah, tidak memerlukan arah angin yang konstan, dan lebih cocok untuk lingkungan perkotaan dengan angin yang tidak stabil. Namun, mereka juga memiliki beberapa tantangan teknis yang perlu diatasi untuk mencapai efisiensi yang tinggi dalam pembangkitan energi listrik.

3.2.4 Perhitungan Energi Angin

Energi kinetik yang dihasilkan oleh udara dengan massa m dan kecepatan v adalah sebagai berikut:

$$E_k = 0,5 m V^2$$

Dengan kata lain, jika kita ingin mengukur daya angin dalam watt yang setara dengan energi kinetiknya yang berhembus dalam satuan waktu, maka:

$$P = 0,5 \rho A V^3$$

Daya di atas merujuk pada daya yang dimiliki oleh angin sebelum mengalami proses konversi melalui turbin angin. Tidak semua daya ini dapat diubah menjadi energi mekanik oleh turbin.

Daya maksimum:

$$P = \frac{8}{27} \rho A V^3$$

Di mana

- ρ = massa jenis udara (kg/m^3)
- A = luas penampang (m^2)
- V = kecepatan angin (m/s)

Efisiensi maksimum:

$$\eta = \frac{P_{maks}}{P_{teoritis}} = \frac{\frac{8}{27} \rho A V^3}{0,5 \rho A V^3} = 0,5296$$

efisiensi aktual = (0,30 s/d 0,40)

daya aktual = (0,30 s/d 0,40) x Pteoritis

3.3 Energi Laut (*Ocean Energy*)

Energi Laut, atau dikenal juga sebagai Ocean Energy dalam bahasa Inggris, merujuk pada segala bentuk energi yang dihasilkan dari sumber daya laut dan perairan, seperti samudra, laut, dan danau. Energi ini dapat berasal dari berbagai proses fisik dan geofisika yang terjadi di lingkungan laut dan perairan. Energi Laut mencakup beberapa sumber utama, termasuk energi gelombang laut, energi arus laut, energi panas laut, dan energi pasang surut.

Definisi ini mencakup beragam teknologi yang digunakan untuk mengkonversi berbagai jenis energi laut menjadi bentuk energi yang dapat digunakan, seperti listrik. Pengembangan dan pemanfaatan Energi Laut merupakan langkah penting dalam upaya global untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil

dan mengurangi emisi karbon, sekaligus menyediakan sumber energi bersih dan berkelanjutan untuk masa depan.

Pembangkit listrik tenaga laut adalah sistem yang mengubah energi kinetik potensial, termal atau kimiawi yang terkandung dalam sumber daya laut seperti gelombang, arus, pasang surut, perbedaan suhu, atau perbedaan salinitas menjadi energi listrik.

Berdasarkan PerMen ESDM 50/2017 dapat didefinisikan sebagai: Pembangkit Listrik Tenaga Gerakan dan Perbedaan Suhu Lapisan Laut (PLTA Laut).

3.3.1 Peta Potensi Energi Laut Indonesia

Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) adalah teknologi yang tengah dalam pengembangan untuk mengatasi kebutuhan akan sumber energi terbarukan yang berasal dari panas laut. Prinsip OTEC ini memungkinkan konversi energi listrik dengan memanfaatkan perbedaan suhu antara air laut di kedalaman dan permukaan laut. Sistem pembangkit listrik menggunakan sumber panas laut ini, yang memanfaatkan perbedaan temperatur antara air laut permukaan yang lebih hangat dan air laut pada kedalaman sekitar 1000 meter. Indonesia, sebagai negara dengan wilayah perairan yang luas, memiliki potensi besar dalam pengembangan OTEC. Wilayah timur Indonesia, khususnya, diyakini memiliki potensi yang lebih tinggi daripada wilayah barat.

Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) adalah teknik yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan perbedaan suhu antara lapisan air di permukaan laut dan di kedalaman laut yang menggerakkan fluida seperti amonia, yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin. Prinsip kerjanya adalah mengalirkan air laut dari permukaan yang lebih hangat dan air laut yang sangat dingin dari kedalaman lebih dari 1000 meter. Amonia digunakan sebagai refrigeran dalam proses ini. Air laut permukaan yang panas dialirkan melalui evaporator, mengakibatkan amonia menguap dan menciptakan

tekanan tinggi yang digunakan untuk memutar turbin. Setelah turbin digunakan, tekanan amonia dikurangi dan kemudian amonia didinginkan melalui kondensor. Air laut dingin dari permukaan laut digunakan dalam kondensor untuk mengembalikan amonia menjadi cairan. Proses ini melibatkan pemompaan amonia secara berulang.

Potensi OTEC sebagai sumber energi terbarukan dalam pembangkit listrik di Indonesia dapat dilihat dalam gambar 3.8 yang mencantumkan kemungkinan pengembangan OTEC.



Gambar 3.8. Peta Potensi Energi Laut Indonesia
(Sumber : Kementrian ESDM)

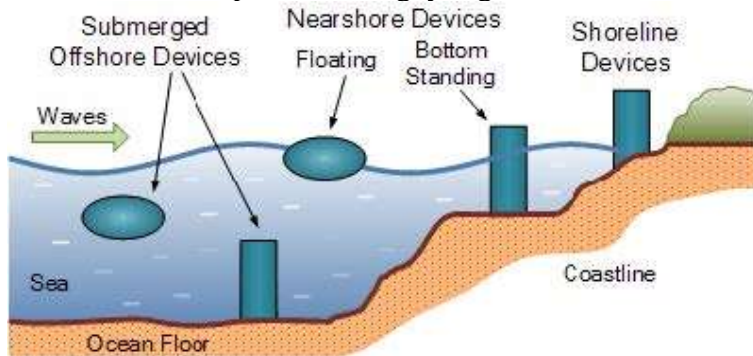
3.3.2 Pembangkit Listrik Tenaga Laut

Pembangkit Listrik Tenaga Laut (PLTL) adalah sistem yang menggunakan sumber energi laut, seperti gelombang laut, arus laut, perbedaan suhu air laut, atau pasang surut, untuk menghasilkan listrik. Teknologi ini memanfaatkan potensi energi

yang terdapat di perairan laut dan dapat menjadi salah satu solusi penting dalam penyediaan energi bersih dan berkelanjutan di masa depan terdapat lima jenis utama:

1. Gelombang laut / Energi Ombak (*Wave Energy*) adalah salah satu sumber energi laut yang paling terkenal. Energi gelombang dihasilkan oleh angin yang menghasilkan getaran pada permukaan laut. Energi ini dapat diekstraksi menggunakan perangkat seperti pembangkit listrik gelombang atau boya gelombang. Prinsip kerja umumnya melibatkan pergerakan naik-turunnya gelombang laut yang menggerakkan generator. Energi gelombang ini dapat diubah menjadi listrik yang dapat digunakan secara langsung atau disimpan dalam baterai.

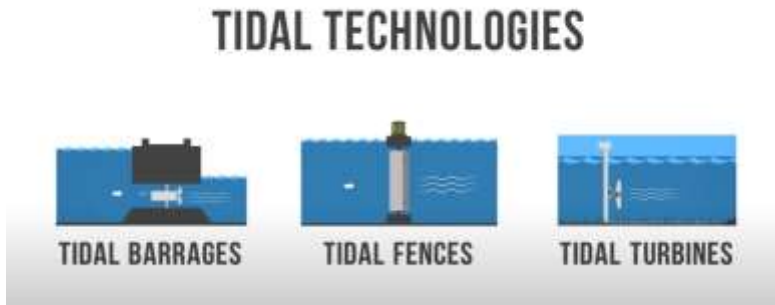
Penempatan perangkat energi ombak dapat dilihat pada gambar 3.9, namun umumnya penggunaan ombak laut diterapkan pada pinggir pantai +/- 100 meter dari garis pantai untuk mendapatkan energi yang efektif



Gambar 3.9. Klasifikasi berdasarkan lokasi
(Sumber : Kementrian ESDM)

2. Energi Pasang Surut (*Tidal Energy*): Energi pasang surut didasarkan pada perubahan periodik tinggi dan rendahnya air laut yang disebabkan oleh pengaruh gravitasi bulan dan matahari. Teknologi energi pasang surut memanfaatkan

aliran air laut saat pasang dan surut untuk menggerakkan turbin atau perangkat lain yang menghasilkan energi listrik. 3 jenis Penggunaan energi pasang surut dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10. Jenis-Jenis Energi Pasang Surut
(Sumber : www.youtube.com/watch?v=VkTRcTyDSyk&t=17s)

Sistem pemanfaatan energi pasang surut dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu kolam tunggal dan kolam ganda. Pada sistem pertama, energi pasang surut hanya dimanfaatkan selama periode air surut atau air pasang. Sementara pada sistem kedua, energi dapat diambil baik saat air pasang maupun saat air surut. Dalam kedua jenis sistem ini, terdapat turbin dan saluran yang berada di dalam sebuah bendungan yang memisahkan kolam dari laut.

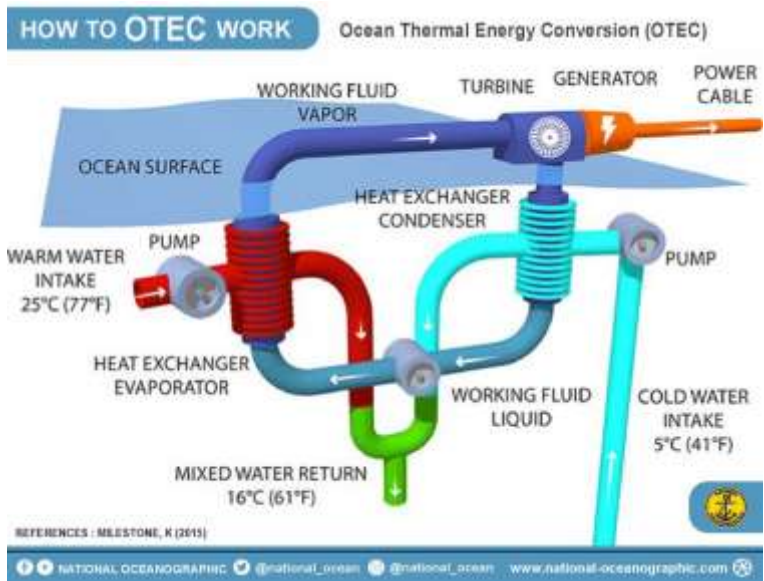
Saat air pasang, permukaan air di kolam sama dengan permukaan laut, tetapi saat air mulai surut, terjadi perbedaan tinggi air antara kolam dan laut yang mengakibatkan aliran air ke laut dan menggerakkan turbin. Pada sistem kolam ganda, turbin dapat beroperasi dalam dua arah aliran karena kedua kolam terhubung oleh

saluran yang menghubungkan dengan laut. Meskipun turbin beroperasi terus-menerus, kecepatannya bervariasi tergantung pada perbedaan tinggi antara permukaan air di kolam dan permukaan laut, yang dapat berkisar dari beberapa meter hingga 13 meter, tergantung pada lokasi energi pasang surut.

3. Hasil Konversi Panas Laut (*Ocean Thermal Energy Conversion*, OTEC): OTEC menggunakan perbedaan suhu antara lapisan permukaan air laut yang lebih hangat dan lapisan air laut yang lebih dalam yang lebih dingin untuk menghasilkan energi dapat dilihat pada Gambar 3.11. Proses ini melibatkan pemanasan dan pendinginan fluida kerja yang digunakan untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan listrik.

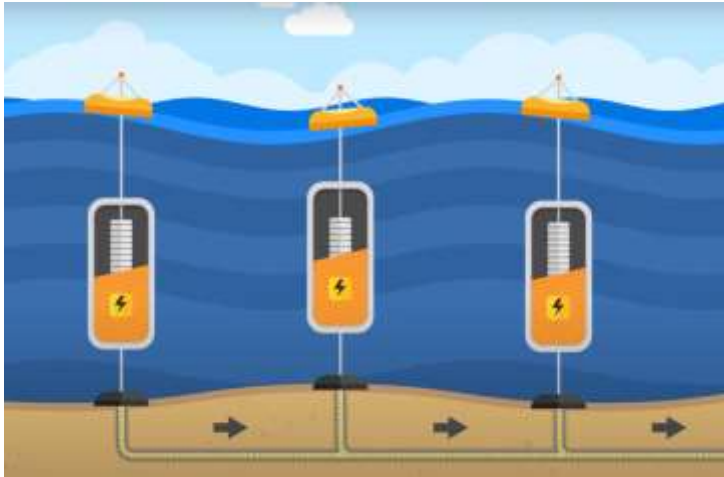
Konversi energi panas laut adalah sistem yang mengubah perbedaan suhu antara permukaan laut dan kedalaman laut menjadi energi listrik. Potensi terbesar untuk konversi energi panas laut terletak di wilayah khatulistiwa, di mana suhu permukaan laut berkisar antara 25-30°C sepanjang tahun, sementara suhu di kedalaman lebih dari 500 meter turun sekitar 5-7°C.

Ada dua jenis siklus utama yang digunakan dalam konversi energi panas laut: Siklus Rankine Terbuka dan Siklus Rankine Tertutup. Namun, dalam pembangkit tenaga listrik, penggunaan Siklus Rankine Terbuka membutuhkan turbin dengan diameter yang sangat besar untuk menghasilkan daya lebih dari 1 megawatt (MW).



Gambar 3.11. Cara kerja Konversi Panas Laut
(Sumber : Kementrian ESDM)

4. Energi Arus Laut (*Tidal Current Energy*): Energi arus laut diperoleh dari arus laut yang bergerak secara teratur. Prinsip kerja tidak berbeda dengan gelombang air laut. Akan tetapi penerapan Energi arus laut memanfaatkan energi potensial arus pada dasar laut. Turbin arus laut dipasang di jalur aliran arus laut untuk mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanik yang kemudian diubah menjadi energi listrik. Dapat dilihat pada gambar 3.9

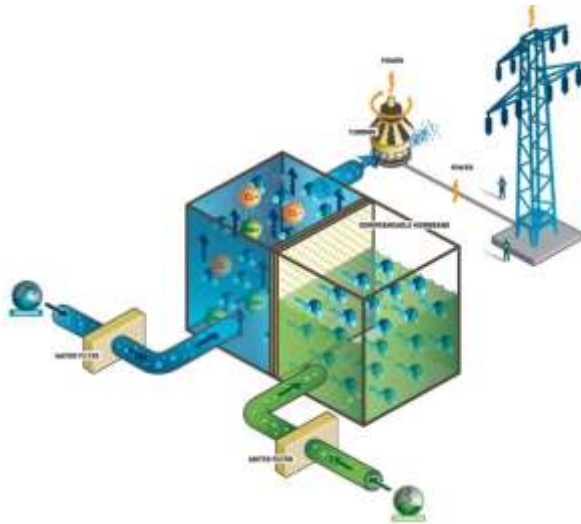


Gambar 3.12. Cara kerja konversi energi Arus Laut
(Sumber : www.youtube.com/watch?v=8miWW2QyN_4)

Arus laut adalah aliran massal air laut yang terjadi di berbagai perairan di seluruh dunia. Arus laut dapat digunakan sebagai sumber energi dengan menggunakan turbin atau perangkat khusus lainnya yang ditempatkan di jalur aliran arus tersebut. Turbin arus laut mirip dengan turbin angin, tetapi mereka berputar karena tekanan dan kecepatan air yang melalui mereka. Arus laut memiliki keunggulan karena bergerak secara konsisten dan dapat memberikan pasokan energi yang stabil.

5. Energi Salinitas Laut (*Salinity Gradient Power*): Energi salinitas laut didasarkan pada perbedaan salinitas (konsentrasi garam) antara air laut dan air tawar. Teknologi ini memanfaatkan perbedaan salinitas hal ini untuk menghasilkan tekanan yang digunakan untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan listrik. Teknologi *Pressure Retarded Osmosis* (PRO) menggunakan difusi selektif air melalui membran untuk memberikan

tekanan pada air laut. Air tawar dan air laut ditempatkan di sisi berlawanan dari membran, dan sisi air laut diberi tekanan. Ketika sisi air laut meningkat tekanannya dan berkurang salinitasnya, sebagian air dibuang melalui turbin sementara sisanya dimasukkan ke dalam penukar tekanan untuk memberikan tekanan pada air laut yang masuk, seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 3.10



Gambar 3.13. Peta Potensi Energi Laut Indonesia
(Sumber : www.ctc-n.org/technologies/osmotic-power)

DAFTAR PUSTAKA

- Achiruddin, Donny. 2018. Energi Laut/Samudra (Ocean Energy). Universitas Darma Persada. Jakarta.
- Bellis, M. 2017, April 4. *4 anemometers and their inventors*. ThoughtCo. <https://www.thoughtco.com/history-of-the-anemometer-1991222>
- Darmawan, H., & Bachtiar, I. K. 2011. Perancangan Turbin Angin Tipe Savonius L Sumbu Vertikal. Teknik Elektro UMRH, Tanjung Pinang KEPRI.
- Jane Marie Andrew. 2022, July 27. *Michele-admin*. Wind Systems Magazine. <https://www.windsystemsmag.com/fundamentals-of-wind-turbines/>
- Kementrian ESDM. 2022. Peta Potensi Energi Laut Indonesia https://onemap.esdm.go.id/storage/images/file/HCBsv_Peta_Potensi_Energi_Laut.pdf
- Letcher, T. M. (n.d.). Wind Energy Engineering a handbook for onshore and offshore wind turbines. Elsevier/Academic press.
- Middleton, W. E. K., & Spilhaus, A. F. 1953. Meteorological Instruments (Edisi ke-3 yang direvisi). University of Toronto Press. Halaman 135–165.
- Neill, S. P., & Hashemi, M. R. 2018. *Fundamentals of Ocean Renewable Energy: Generating electricity from the sea*. Academic Press.
- Pecher, A., & Kofoed, J. Peter. 2017. *Handbook of Ocean Wave Energy*. Springer International Publishing.
- Silitonga, A. S., & Ibrahim, H. 2020. Buku Ajar Energi Baru Dan Terbarukan. Yogyakarta: Deepublish.

BAB 4

WAVE ENERGY, OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION DAN OSMOTIC ENERGY

Oleh Ahmad Thamrin Dahri

4.1 Pendahuluan

Para pemerintah di seluruh dunia telah menggunakan energi terbarukan, yaitu sinar matahari, angin, biomassa, dan panas bumi, untuk mengurangi dampak perubahan iklim. Pemanfaatan energi terbarukan memiliki banyak keuntungan, seperti emisi gas rumah kaca dampaknya pada lingkungan yang lebih sedikit, dan polusi yang lebih sedikit. (<http://pojokiklim.menlhk.go.id>, 2019)

Listrik merupakan salah satu hasil energi terbarukan dari energi laut dan samudra yang banyak diketahui oleh khalayak masyarakat. Hal ini termasuk penelitian dan perkembangan teknologi energi laut dalam memproduksi energi listrik di Inggris, Prancis, dan Jepang. Pada umumnya, kemampuan pemanfaatan dan perkembangan energi samudera dapat diklasifikasikan menjadi atas lima kategori: energi ombak air laut (Wave Energy), energi pasang surut (Tidal Energy), energi pengubahan energi panas laut (Ocean Thermal Energy) dan energi osmosis (Osmotic Energy). Energi pasang surut air laut (Tidal Energy) berasal dari perpindahan air laut yang disebabkan oleh perubahan tinggi pasang surut air laut. Energi ombak laut (Wave Energy) berasal dari pergerakan ombak laut mengarah ke daerah tujuan dan yang dihasilkan oleh pergerakan ombak laut merupakan energi gerak yang dapat diubah menjadi daya listrik. Walaupun pemanfaatan

energi tipe tersebut di Indonesia sedang memerlukan berbagai penelitian lebih signifikan, meskipun secara komprehensif bisa dilihat bahwa kemungkinan besar dapat ditemukan dan memanfaatkan potensi energi laut, energi ombak air laut dan energi panas laut lebih besar energi pasang surut. (<https://ebtke.esdm.go.id/post>, 2020)

4.2 Wave Energy (Energi Ombak Laut)

Pada intinya mobilitas air laut menimbulkan ombak laut yang terjadi karena adanya dorongan dari pergeseran angin. Angin terjadi akibat perbedaan tekanan di dua titik yang disebabkan oleh perbedaan kalor udara oleh matahari di dua buah titik tersebut. Mempertimbangkan karakteristik ini, energi pada ombak air laut maka di klasifikasikan sebagai salah satu bentuk energi terbarukan. (<https://ebtke.esdm.go.id/post>, 2020)

4.2.1 Potensi Energi Ombak Laut di Indonesia

Kemampuan ombak air laut yang ideal selaku sumber energi terbarukan dapat sebut sebagai ombak energi dengan ketinggian maksimum dan minimum. Pada suatu interval ombak air laut tertentu, Puncak dengan ketinggian maksimum yang diperoleh untuk serangkaian ombak bervariasi, meskipun puncak maksimum ini bervariasi di tempat yang sama bila diukur di hari yang berbeda. Meski sebagai hal, seseorang dapat memperkirakan ketinggian ombak laut yang cukup besar pada waktu tertentu.

Waktu yang akan dibutuhkan untuk terjadinya ombak dihitung dari data jumlah ombak laut yang diamati selama periode waktu tertentu, sehingga kesanggupan energi ombak laut di lokasi tersebut dapat diketahui. Ketersedian energi ombak laut pada sudut pandang dalam kW per meter sebanding dengan setengah kuadrat tinggi signifikan dikalikan dengan waktu akan dibutuhkan ombak untuk muncul.

Berdasarkan perhitungan ini, dimungkinkan untuk memprediksi potensi ombak laut yang berbeda di beberapa area

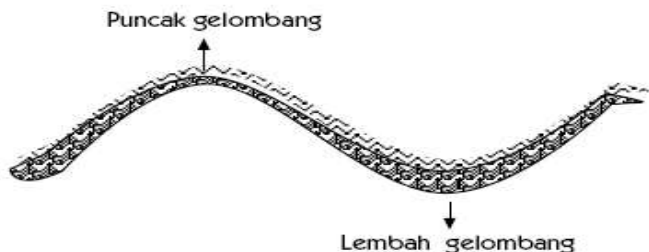
diseluruh dunia. Dari data ini perlu diketahui bahwa kekuatan ombak di kawasan pantai barat pulau Sumatera bagian selatan dan di kawasan pantai selatan pulau Jawa dibagian barat kemungkinan sekitar 40 kW/meter. (<https://ebtke.esdm.go.id/post>, 2020)

4.2.2 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga (PLT) Tenaga Ombak Laut (Wave Energy)

Pada intinya asas kerja teknologi dalam mengubah energi ombak air laut menjadi energi listrik ialah dengan memanfaatkan energi ombak air laut dalam menggerakkan turbin dan generator listrik. Oleh sebab itu, sangat diperlukan untuk memilih tempat lapangan di mana energi dapat dikumpulkan. Namun, penelitian masih terus dilakukan untuk menemukan teknologi konversi energi ombak yang optimal. Hal ini ada berbagai opsi asas teknologi yang dapat dipilih. (<https://ebtke.esdm.go.id/post>, 2020).

1. Ombak Air Laut

Ombak air laut adalah energi dalam peralihan, energi dalam peralihan, energi yang membawa sifat aslinya. Prinsip dasar munculnya ombak air laut adalah sebagai berikut (Waldopo, 2008) : "Jika dua benda dengan kerapatan (kepadatan) yang berbeda saling bergesekan, ombak akan terbentuk di bidang gerak"



Gambar 4.1. Pergerakan Air Laut
(Sumber: Waldopo, 2008)

Ombak pergerakan air laut adalah representasi sederhana dari bentuk energi lautan. Gejala energi ombak air laut berasal dari fenomena sebagai berikut: (Pudjanarsa, 2006)

- a. Benda (benda) yang bergeser di atas atau di dekat permukaan menimbulkan ombak dengan nilai periode kecil, juga energi gerak rendah.
- b. Angin adalah sumber utama pergerakan ombak air laut.
- c. Akibat pergeseran seismik menyebabkan tsunami. Contoh pergeseran seismik adalah gempa bumi dan lain-lain.
- d. Gaya tarik bumi dan bulan membuat ombak besar, terutama yang menyebabkan terjadi ombak pasang air laut.

Selain itu, terkait pada sifat pengukurannya, ombak laut dibedakan berdasarkan tinggi dan periode ombak (frekuensi). Dari sebagian besar data yang tersedia, ketinggian ombak dapat diukur dengan wavemeter atau secara pandangan mata dengan melakukan penglihatan langsung di lapangan.

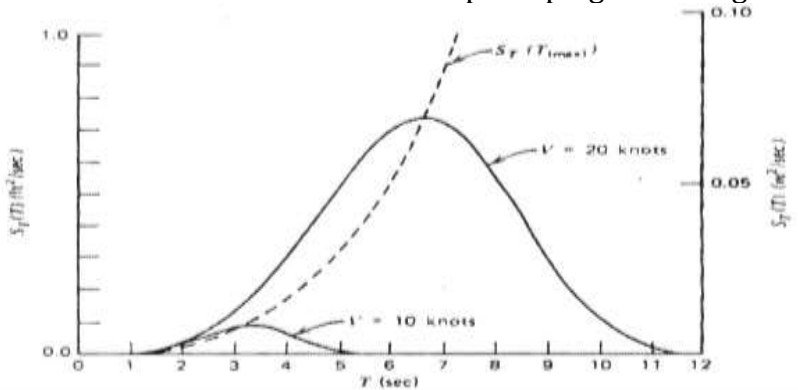
Ombak air laut sulit ditentukan secara konkret, tetapi dapat dihitung menggunakan metode perkiraan. Berbagai pendekatan teoretis yang dipakai untuk memberikan pengumuman ilmiah tentang sifat ombak laut pada tingkatan fakta yang sebenarnya. Teori ombak laut yang sederhana merupakan seperti teori ombak aerasi atau teori ombak linear. (Arta, 2010)

2. Pengaruh Pergerakan Angin

Pergeseran angin merupakan sumber utama dari ombak laut. Oleh karena itu, puncak ombak, periode dan arah tetap berhubungan dengan kecepatan dan arah angin.

Kecepatan pergeseran angin yang rendah dapat menyebabkan tinggi ombak menjadi rendah dan periode ombak yang lemah, meskipun pergeseran angin kencang dan badai bisa menyebabkan terjadinya tinggi puncak ombak dan periode ombak yang bervariasi dan mengarah ke arah tujuan angin yang berbeda. Pada situasi angin yang bagus, ombak dapat teramati dengan acak baik tinggi dan rendah dari periode maupun arahnya. Pergerakan angin memiliki pengaruh yang sangat besar akan terjadinya ombak laut, sehingga efisiensi sebagian besar pengubah daya ombak laut tergerak oleh betapa sering pergerakan angin yang terjadi disepanjang tahun pada suatu wilayah laut tertentu. (Arta, 2010).

Gambar 4.2 menjelaskan sebuah jangkauan periode ombak dalam bermacam variasi kecepatan pergerakan angin.



Gambar 4.2. Spektrum periode dalam bermacam kecepatan angin. (Sumber: Pudjanarsa, 2006)

3. Desain Pembangkit Listrik Tenaga Ombak Air Laut
 - a. Komponen Dasar PLT Ombak Air Laut
Bangunan sistim pembangkit listrik tenaga (PLT) ombak air laut terdiri dari mesin konversi energi ombak air laut, turbin dan generator.

1) Mesin konversi energi ombak laut

Daya energi ombak air laut dapat dipakai dalam pelaksanaan kinerja mesin yang bermanfaat bagi kehidupan manusia. Upaya pemanfaatan energi ombak sudah dilaksanakan dengan konsep sederhana, kompleks dan komprehensif. Beberapa percobaan sudah dilakukan oleh para ahli di bidang ombak air laut dan telah diperoleh beberapa konsep pemanfaatannya, antara lain. (Pudjanarsa, 2006).

a) Konsep yang sederhana :

- *Heaving and pitching bodies*
- *Cavity resonators*
- *Pressure device*
- *Surging wave energy convertors*
- *Particel motion convertors*
- *Float wave-power machine*
- *The dolphin type wave power generators*

b) Konsep yang lebih tinggi

- *Salter's nodding duck*
- *Cockerell 's rafts*
- *Russel rectifier*
- *Wave focusing techniques*

2) Turbin

Turbin adalah komponen elemen penting dalam sistim pembangkit listrik. Ada dua tipe turbin yang dipergunakan pada pembangkit listrik tenaga ombak ini, yaitu turbin air dan kincir angin. Pertama, suatu sistim turbin air memakai air sebagai media fluida kerjanya. Pada saat yang sama, kincir angin menggunakan udara sebagai media kerja. Jenis kincir air ini banyak digunakan pada pembangkit listrik tenaga ombak laut, dengan

menggunakan sistim tipe float dan teknologi perangkat bypass. Tipe turbin angin yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga ombak memakai teknologi kolom air berosilasi. Tipe turbin udara (*well turbin*) digunakan pada PLTGI-OWC.

Kedua turbin ini disusun dengan sudut kemiringan medan turbin yang berlawanan, sehingga pergeseran udara yang masuk dan keluar chamber sehingga menghasilkan arah putaran yang sama. Kemudian dari putaran ini turbin akan dipasangkan dengan generator dalam menghasilkan energi listrik.

b. Cara Kerja PLT Air Ombak Laut

Pada suatu sistem pembangkit listrik tenaga ombak terdapat bagian yang memegang peranan penting mulai dari awal proses dalam membangkitkan listrik hingga sistpembangkit energi listrik dan pendistribusiannya ke konsumen. Alat-alat ini ialah :

1) Mesin konversi energi ombak air laut

Berguna dalam mensuplai energi kinetik yang dihasilkan oleh ombak laut kemudian dialirkan ke turbin dimana trubin menggerakkan generator.

2) Turbin

Berguna untuk mengubah energi kinetik ombak menjadi energi gerak menjadi energi mekanik yang dihasilkan oleh perputaran rotor atau sudu pada turbin.

3) Generator

Daya energi mekanik dari turbin diubah kembali menjadi energi listrik atau boleh dimaksudkan generator ini sebagai mesin pembangkit tenaga listrik.

Sistem pembangkit listrik tenaga ombak ini dapat dijelaskan lebih detail melalui diagram di bawah ini.



Gambar 4.3. Sistem pembangkit listrik tenaga ombak air laut
(Sumber: arta, 2010)

Pertama, arus ombak dengan energi kinetik memasuki konverter energi ombak. Ombak energi kinetik kemudian dikirim dari konverter energi ke turbin. Pada turbin ini, energi kinetik yang merupakan hasil kinerja poros yang digunakan untuk memgerakkan rotor. Rotasi rotor kemudian mentransfer energi mekanik tersebut ke generator listrik. Energi mekanik ini dikonversi menjadi energi listrik (listrik) digenerator. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator ditransmisikan kembali ke jaringan transmisi (konsumen) melalui kabel bawah tanah. Energi listrik yang dibawa oleh jaringan kabel bawah laut tersebut adalah arus listrik searah (DC).

4.3 Ocean Thermal Energy Conversion (Energi Panas Laut)

Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) merupakan sumber energi terbarukan yang menggunakan bahan bakar dari panas air laut sebagai fluida kerja, yaitu suhu air permukaan laut yang hangat dan suhu air dalam yang dingin. Periode

pengoperasian OTEC di permukaan laut dibagi menjadi tiga periode, yaitu: *siklus terbuka (Open Cycle)*, *siklus tertutup (Closed Cycle)* dan *siklus gabungan (Hybrid Cycle)*. (Edwin, 2018).

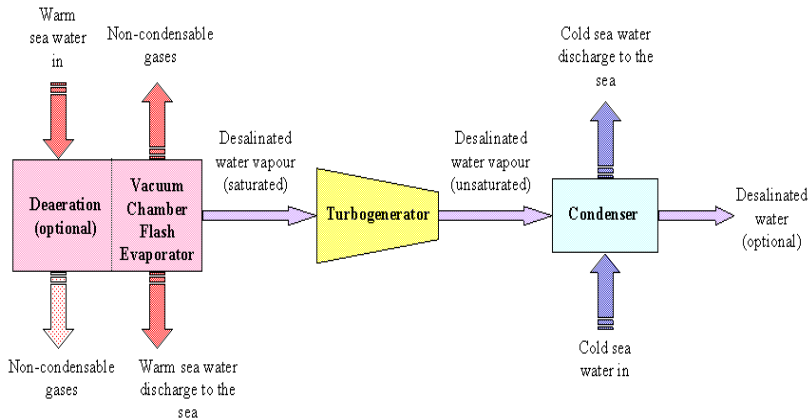
Suhu air laut di permukaan berbeda secara signifikan dari suhu air laut di lautan. Semakin dalam air laut maka semakin dingin suhunya. Pada permukaan air laut yang terkena paparan sinar matahari, air laut menghangat, ketika suhunya sekitar 24 °C, dan pada kedalaman 600–100 °C suhu air laut sekitar 5 °C dan turun signifikan pada kondisi isothermal. Perbedaan suhu yang dibutuhkan oleh sistem OTEC idealnya adalah 22-24 °C diantara permukaan laut dan air laut dalam. *Ocean Thermo Energy Conversion* (OTEC) pada dasarnya memakai perbedaan temperatur antara permukaan laut yang hangat dan temperatur air laut yang dingin dikedalaman laut. Pada waktu siang dan malam suhu air laut sedikit berfluktuasi disepanjang daerah tropis, sehingga listrik dihasilkan buisa berkepanjangan. (Yaser, 2008)

4.3.1 Siklus Kerja Ocean Thermal Energy Conversion

Siklus sistim OTEC secara ideal dibagi menjadi tiga klasifikasi: siklus tertutup, siklus terbuka, dan siklus hibrid (gabungan).

1. Siklus terbuka (*Open Cycle*)

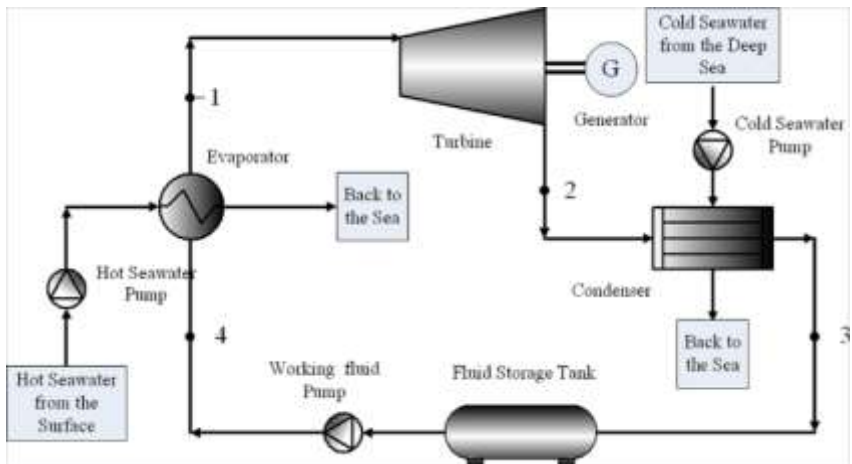
Di sirkuit terbuka, air laut adalah media kerja. Air laut yang bersuhu panas di injeksikan ke evaporator, di mana tekanan sekitar 0,03 bar membawa air dengan suhu sekitar 22°C. Uap bergerak melalui turbin bertekanan rendah, setelah melewati turbin tersebut kemudian dikondensasikan dengan air bersuhu dingin di dalam ruangan kondensasi dan dibuang ke laut, sebaliknya uap dapat mentransfer panas karena kondisi kondensasi dengan air dingin. Menukarkan Dalam hal ini, uap mengembun menjadi air payau, mis. H. Distilasi. (Betchel & Netz, 2016)



Gambar 4.4. Siklus Terbuka Ocean Thermal Energy Conversion
(sumber : Strath, 2008)

2. Siklus Tertutup (*Closed Cycle*)

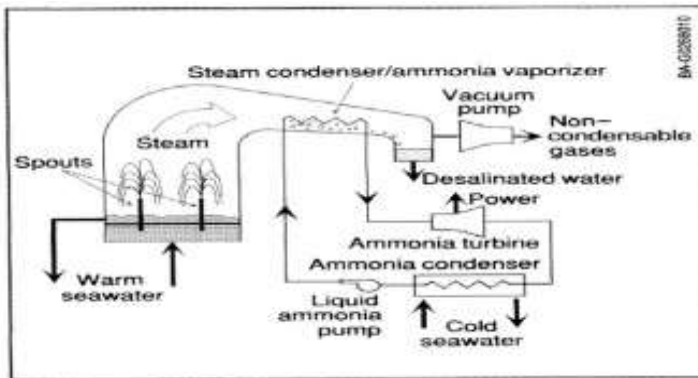
Dalam loop tertutup tersebut, fluida kerja menggunakan titik didih rendah, seperti amonia, digunakan dalam menggerakkan turbin dalam memperoleh listrik. Air laut di permukaan samudera yang bertemperatur panas diinjeksi melalui penukar panas dan kemudian disuntikkan dengan cairan bertitik didih rendah. Bentuk cairan ini berubah dari cair menjadi uap sehingga menyebabkan peningkatan tekanan sehingga uap bertekanan tinggi langsung menuju turbin untuk menggerakkan generator yang memproduksi listrik. Kemudian itu air laut berada dalam kondisi dingin dipompa melalui penukar panas lalu terjadi kondensasi dan penguapan berikutnya. Air yang menguap menjadi cair kembali, di mana siklus bekerja terus-menerus. (Betchel &Netz, 2016)



Gambar 4.5. Siklus Tertutup Ocean Thermal Energy Conversion
(sumber : Jianying Gong, 2012)

3. Siklus Hybrid (*Combined Cycle*)

Siklus pencampuran tersebut merupakan gabungan dari siklus tertutup dan siklus terbuka yang menggunakan sistem evaporator nyata air laut berfungsi sebagai media kerja dari siklus tertutup. Air laut yang bersuhu hangat masuk ke ruangan vakum di mana air laut dengan cepat diuapkan menjadi uap oleh evaporator, mirip dengan evaporasi siklus terbuka. Uap menguapkan lingkungan kerja dalam sirkuit tertutup di sisi lain evaporator amonia; Cairan yang telah menguap kemudian memutar turbin dan generator dalam menghasilkan listrik. Uap terkondensasi di alat penukar panas dan air suling diproduksi. (Betchel &Netz, 2016)



Gambar 4.6. Siklus Tertutup Ocean Thermal Energy Conversion. (sumber : Jianying Gong, 2012)

4.3.2 Tipe Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)

OTEC memiliki dua tipe pembangkit ialah pembangkit listrik berbasis darat dan pembangkit listrik terapung yang memiliki kemampuan masing-masing.

1. Land Based

Pembangkit listrik jenis ini merupakan sistim listrik berbasis di permukaan lahan yang terdiri dari berbagai bangunan. Bangunan itu akan memiliki alat penukar kalor, turbin, generator, dan sistem kontrol yang terhubung ke laut melewati jaringan pipa dan kolam dan dengan sistim pipa lainnya. Air laut dikumpulkan melewati jaringan pipa yang berada di dekat pantai. Pipa air dingin dikumpulkan dari laut melalui pipa panjang. Perangkat ini dapat digunakan untuk menghasilkan energi bersih dan air di dalam gedung. Air desalinasi dapat digunakan di kolam ikan dll.

3. *Sistem Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)*

Sistim OTEC merupakan rangkaian dari berbagai subsistem yang bisa bekerja dalam program pembangkit listrik tenaga panas laut yang berfungsi dengan adanya diffrensiasi suhu air laut hangat dan dingin.

a. Subsistem pada power plant

1) Turbin dan generator

Di OTEC, turbin dan generator memainkan peran penting dalam pengoperasian sistem energi terbarukan. Turbin bekas, yaitu turbin uap, sering menggunakan turbin aksial dan sentrifugal dengan sistim satu tingkat dan banyak, karena rasio tekanan ditentukan oleh kondisi lingkungan kerja dan kecepatan perputaran turbin itu penting. Turbin dan generator dalam satu sistim unit kerja. Dalam turbin dan generator, efisiensi memainkan peran yang penting dalam proses efisiensi energi generator secara keseluruhan.

2) Heat Exchanger

Ada 2 kapal uap shell and tube. Dari jenis-jenis tersebut, jenis shell and tube adalah yang paling umum digunakan. Pertama, jenis panel lebih unggul karena menukar lebih banyak kalor per meter persegi untuk tekanan pasokan yang sama. Kedua, jenis disk menghasilkan listrik yang lebih banyak. Ketiga, lebih sedikit media kerja yang dibutuhkan dan lebih tinggi tenaga yang dihasilkan. Penukar panas memiliki dua sisi, air laut sebagai media kerja. Bahan yang diperlukan adalah stainless steel dan titanium. Variabel yang berpengaruh adalah temperatur air laut dan kinerja alat penukar panas. Media kerja menguap

menjadi sebuah uap jenuh sesudah menyerap kalor dari temperatur air laut yang hangat.

- b. Pemanfaatan Hasil *Ocean Thermal Energy Conversion*
Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) mempunyai banyak kegunaan untuk kehidupan manusia. Pertama-tama, karakteristik OTEC adalah kemampuannya memberikan daya listrik untuk beban dasar, yaitu dengan kondisi siang dan malam dalam sepanjang tahun. Keuntungan yang diperoleh sangat besar dibandingkan dengan yang terdapat di pulau-pulau tropis, yang seringkali tidak terhubung jaringan dan tidak dapat mengatur listrik yang diperoleh. OTEC juga memberikan beberapa hal penerapan yang sinkron sebagai berikut:

1) Air payau

Bukti keunggulannya ialah produksi air payau, dimana pembangkit listrik hybrid OTEC kecil 1 mW dapat menghasilkan sekitar 4.500 m³ air payau dalam sehari, yang bisa untuk kebutuhan 20.000 jiwa. Air payau yang dihasilkan oleh OTEC sangat baik dan didesalinasi sesuai standar kualitas.

2) Nutrient Food

Hasil produksi lain yang dihasilkan OTEC adalah air bersih dan nutrisi yang kaya akan mineral dari laut dalam. Air laut yang bertemperatur dingin dalam OTEC digunakan dalam dua cara salah satunya air digunakan dalam menghasilkan populasi laut multispecies yang besar. Ketika hasil ini jauh melebihi konsumsi alami dalam pertanian.

3) Sistem Pendingin

Air laut yang bersuhu rendah tersedia menjadi sistem pendingin untuk rumah kaca atau sebagai media kerja pendingin untuk AC seperti AC hotel. Kemungkinan besar terkait dengan kemampuan

menyiapkan ruangan dingin untuk mendinginkan makanan. Kemudian air dingin digunakan, yang mengarah ke daerah laut yang dalam.

4) Suplai Air

Air laut yang berada dipermukaan mempunyai suhu hangat dapat digunakan untuk mensuplai air ke kolam ikan, taman, dan tambak ikan yaitu kepiting, lobster dan udang.

4. Keuntungan dan Kerugian OTEC

a. Keuntungan OTEC

- 1) OTEC memanfaatkan kemampuan sumber daya alam yang bersih dan terbarukan. Air laut yang bertemperatur hangat dan air laut bertemperatur dingin dapat menggantikan sistim pembangkit berbahan bakar fosil dalam menghasilkan listrik.
- 2) OTEC dibuat dalam memperoleh sedikit atau tidak ada polutan dan media kimia yang bisa mencemari dan merusak lingkungan.
- 3) Sistem OTEC bisa memproduksi air payau bersih dan daya listrik, yang mempunyai keuntungan besar ketika hanya ada sedikit daerah yang memiliki air bersih dan listrik.
- 4) Dapat mereduksi ketergantungan energi pada impor bahan bakar fosil.

b. Kerugian OTEC

- 1) Generator OTEC mesti berada pada perbedaan kondisi suhu air laut sekitar 20°C dan mempunyai kedalaman laut yang harus lebih dekat dengan pembangkit listrik.
- 2) Konstruksi generator OTEC dapat merusak lingkungan bawah laut, apabila pipa ditempatkan di laut.
- 3) Beberapa perusahaan dibidang pengelolaan energi terbarukan telah berinvestasi dalam proyek

pengembangan teknologi tersebut karena teknologi cuma sebuah ujian kecil. (Bechtel & Netz, 2016)

4.5 *Osmotic Energy* (Energi Osmosis)

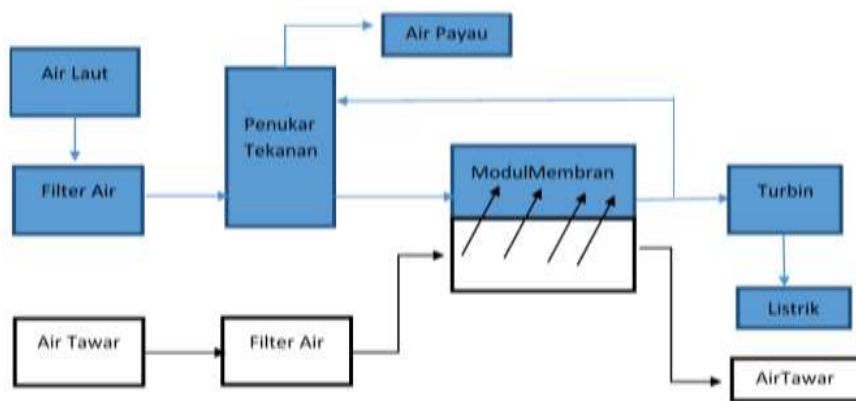
Kemampuan energi yang dapat diperoleh dengan teknologi osmosis adalah 2.000 TWh/tahun. Sistem ini tidak berdampak negatif terhadap lingkungan dan tidak memproduksi polusi berbahaya yang sangat ramah terhadap lingkungan. Salah satu sistem terbaru yang dapat dikembangkan untuk menyelesaikan permasalahan lingkungan waktu ini adalah sistem slow osmosis atau PRO. Sistem ini juga dikenal sebagai Blue Energy atau Salinity Gradient Power (SGP). Prinsip yang digunakan dalam PRO adalah perbedaan antara air bersalinitas rendah dan tinggi. Sistem PRO dengan air berkadar salinitas rendah secara alami mengalir melalui membran semipermeabelitas ke dalam air berkadar salinitas tinggi. Air laut yang berkonsentrasi garam yang tinggi meningkatkan tekanan, sehingga konsentrasinya menurun dan volumenya meningkat. Hal ini menyebabkan air mengalir melalui turbin air untuk menghasilkan listrik. Energi ini disebut energi osmotik. (Rd.Habib, 2015)

4.5.1 Konsep Pressure Retarded Osmosis (PRO)

Sistem osmosis yang bertekanan lambat dikenal juga sebagai desalinasi osmosis terbalik. Dengan produksi desalinasi air laut dengan menggunakan sistem reverse osmosis dapat menetralkan sejumlah tekanan osmotik. Dalam hal itu, proses osmosis dengan tekanan lambat menggunakan gaya osmotik yang sama dalam memproduksi tekanan seperti yang ditunjukkan dengan gambar 4.9. Proses pembangkitan sumber osmotik dimulai dengan menyuplai air payau dan air laut ke generator dan turbin. Air permukaan laut dan air payau dibersihkan terlebih dahulu untuk mereduksi kotoran. Proses selanjutnya adalah pengolahan air payau dan air laut secara terpisah, dimana air payau dialirkan

langsung ke modul membran permeable, sedangkan pada air laut akan diberi tekanan tambahan sebelum masuk ke model membran tersebut. (Y Satria, 2016).

Proses osmosis terjadi di dalam modul membran, memungkinkan kandungan 80-90% air payau yang melalui membran ke dalam air laut bertekanan tinggi setelah itu meninggalkan modul membran permeable. Sebaliknya, sekitar dua pertiga daya yang dialirkan ke konverter tekanan mengalir melewati turbin dan turbin ini digunakan untuk memproduksi listrik. Membran permeable yang dipakai pada pembangkit listrik harus memiliki aliran air yang tinggi dan kapasitas desalinasi sekitar $4-6 \text{ W/m}^2$.

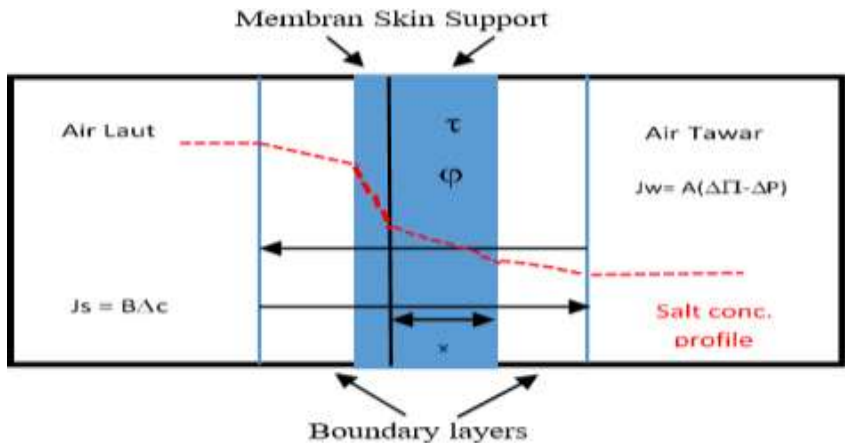


Gambar 4.9. Diagram Alir Pembangkit Listrik dengan Pressure Retarded Osmosis (PRO)
(Sumber : K.Grestand, 2008)

4.5.2 Membran Pressure Retarded Osmosis (PRO)

Inti dalam pembangkit listrik tekanan osmotik ialah membran yang dipakai. Dalam menghasilkan membran permeasi lambat tekanan yang baik (PRO), diperlukan membran dengan

fluks air (J_w) dan permeabilitas garam (J_s) yang tinggi. Pergerakan air diperlihatkan dengan gambar 4.10 sebagai berikut.



Gambar 4.10. Perpindahan Air dan Garam Melewati Membran
(Sumber : K.Grestand, 2008)

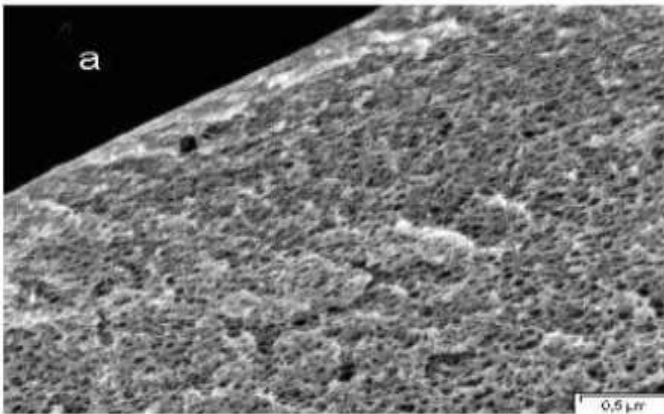
Aliran air (J_w) ditetapkan oleh koefisien permeabilitas air laut (A), perbedaan tekanan osmotik efektif ($\Delta\pi$), dan perbedaan tekanan hidrostatik melintasi membran (Δp). Untuk membran permeabel ideal, nilai $\Delta\pi$ adalah 26 bar untuk air laut dengan konsentrasi 32 g NaCl/l. Pada nilai Fluks garam yang sebanding dengan koefisien permeabilitas garam (B) dan perbedaan densitas garam (ΔC_{salt}). Profil salinitas ditunjukkan pada Gambar 2.10. Pergerakan air melalui membran disebabkan oleh kandungan gram yang berbeda di kedua sisi membran. Kinerja tekanan osmotik yang lambat dapat ditingkatkan dengan mengembangkan membran dengan permeabilitas air yang besar (A) dan koefisien permeabilitas garam yang sedikit (B). Namun, efisiensi yang dapat diperoleh juga berarti bahwa membran menunjukkan transfer osmotik yang sebenarnya.

Yang tak kalah pentingnya adalah kemampuan membran dalam untuk mencegah pembentukan kristal garam di dalam membran. Terbentuknya garam pada membran dapat terjadi penyumbatan pori-pori membran sehingga menurunkan kerja dari membran tersebut. Secara keteknikan, membran berada dalam modul. Modul-modul ini harus dirancang untuk meminimalkan ketebalan lapisan batas tanpa menggunakan banyak energi untuk memompa air melalui modul tersebut.

4.5.3 Bahan Membran *Pressure Retarded Osmosis* (PRO)

Beberapa pendekatan dalam mengembangkan teknologi membran sudah diperoleh membran selulosa asetat (CA) dan komposit film tipis (TFC). Untuk menemukan film PRO yang optimal, lebih dari 50 substrat berbeda dan film polimer bebas CA yang berbeda diproduksi.

1. **Membran Selulosa Asetat.** Membran selulosa asetat (CA). Merupakan film selulosa asetat dibuat seperti berikut ini: Pertama, larutan pengecoran dituangkan di piring kaca setelah pelarut sudah direndam dalam air es.

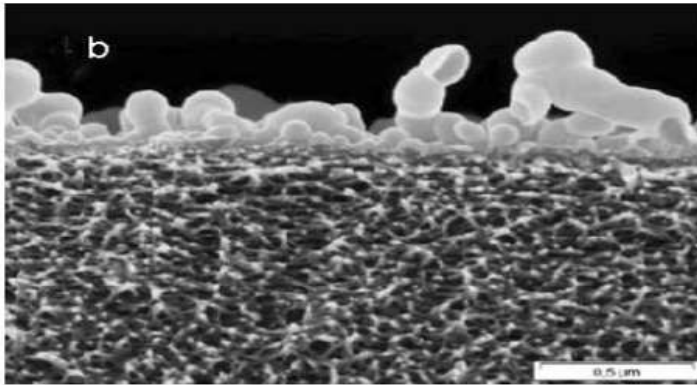


Gambar 4.11. Membran ASA dilihat dengan SEM Cross Section

(Sumber : Y. Satria, 2016)

Setelah pemadatan, film diperkuat pada 80 - 95 °C. Menurut paten GKSS, larutan pengecoran mengandung berbagai macam jenis bahan kimia yaitu selulosa diasetat, selulosa triasetat, dioksan, aseton, asam asetat, dan metanol. Struktur larutan ini sama, tetapi dengan adanya perubahan struktur bentuk, baik yang diperoleh pada skala laboratorium maupun pada skala pilot, efisiensinya meningkat. Parameter cetakan meliputi kecepatan cetakan, perubahan suhu dan koagulasi, serta perubahan bahan substrat yang meningkatkan efisiensi. Efisiensi film selulosa pada awalnya sekitar 0,5 w/m², namun film jenis ini dapat dikembangkan lebih lanjut sehingga efisiensi film dapat ditingkatkan hingga mencapai 1,3 W/m².

2. *Thin Film Mixed Film* (TFC) merupakan bahan kimia membrane (penyaring). Dalam film ini digambarkan sebagai polimerisasi bergantian dari *trimesoyl chloride* dan *m-phenylene diamine*. Perbedaan mendasar antara membran reverse osmosis dan forward meliputi: Membran reverse osmosis wajib mampu menahan tekanan diantara 60 dan 80 bar dan diinginkan ketahanan yang kuat terhadap kompresi struktur yang mendasarinya. Dalam reverse osmosis, air laut dan unsur garam yang mengalir ke arah yang sama. Selama osmosis lambat bertekanan, tekanannya lebih rendah dan air garam melalui ke arah yang berlawanan.



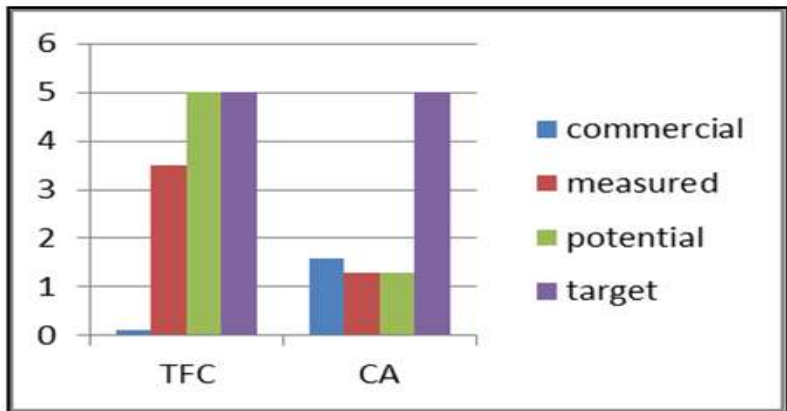
Gambar 4.12. Membran TFC dilihat dengan SEM Cross Section.
(Sumber : Y. Satria, 2016)

Saat membran reverse osmosis berkinerja tinggi dipakai untuk proses osmosis tekanan lambat, kinerjanya seringkali buruk karena pembentukan garam dilapisan pendukung (polarisasi internal). Membuat lapisan penopang mikropori setipis dan seterbuka mungkin mengarah pada penurunan parameter struktural, yang mengarah pada peningkatan lambat dalam kinerja membran permeabel tekanan, yang ditingkatkan dengan penambahan lapisan difusi poliamida. Langkah-langkah perawatan membran dengan asam format. Serat berongga TFC yang dilapisi secara internal adalah penyerap air empat kali lebih banyak tanpa mengorbankan retensi garam. Penggunaan konsentrasi asam tinggi dan perawatan asam jangka panjang menunjukkan peningkatan 18 kali lipat.

Dengan membran TFC datar, permeabilitas air dapat ditingkatkan hingga empat kali lipat tanpa mengurangi kapasitas lompatan. Perawatan asam yang terlalu lama mengurangi ekskresi garam dan dengan demikian mengurangi efisiensi kerja. Penjelasan untuk peningkatan permeabilitas air laut sesudah dilakukan perlakuan asam yang terletak pada pembubaran separuh lapisan

poliamida di permukaan lalu dengan demikian terjadipengurangan ketebalan film. Sehingga diperoleh bahwa proses ekstraksi kimiawi ini tidak menghasilkan film yang sempurna.

Pada perhitungan membentuk membran selulosa asetat telah dibuktikan bahwa banyak membran berperilaku seperti sifat osmosis sempurna. Seperti diperlihatkan pada gambar 4.13.



Gambar 4.13. Power Performance dari membran
(Sumber : Y. Satria, 2016)

Beberapa prototipe membran mempunyai sifat permeabilitas air laut yang sangat besar, akan tetapi penyimpanan unsur garam masih terlalu sedikit, yang mengurangi output kekuatan dari tekanan osmosis yang tertunda.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2019. <http://pojokiklim.menhk.go.id>.
- Anonim. 2020. <http://ebtke.esdm.go.id>.
- Arta.2010. *Pembangkit Listrik Tenaga Ombak Laut Menggunakan Teknologi Oscilating Water Column di Perairan Bali*. Universitas Udayana, Bali.
- Arismunandar, W. 2004. *Penggerak Mula*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Betchel & Netz. 2016. *OTEC-OCEAN Thermal Energy Conversion Energy*.
- Pudjanarsa, 2006. *Mesin Konversi Energi*, Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Strath. 2008. *OTEC (ONLINE) Available at : http://esru.ac.uk/EandE/web_sites/98-99/offshore/otec.html*
- Jianying Gong. 2012. *Performance Analysis of 15 kW Closed Cycle Ocean Thermal Energy Conversion System With Different Working Fluids*. J . Sol. Energy. Eng. Volume 135, p. 5.
- Websdale, E .2014. *Ocean Thermal Energy Corporation: Shaping a Sustainable Future (online)*. Available at : <http://otecorporation.com/2014/03/24/ocean-thermal-energy-corporation-sustainable/>
- Rb. Habib.2015. *Pembangkit Energi dari Air Menggunakan Pressure Retarded Osmosis*.<https://www.researchgate.net/publication/287587605/Pembangkitan-Energi-Dari-Air-Menggunakan-Pressure-Retarded-Osmosis>.
- Y. Satria. 2016. <https://docplayer.info/52652826/Pembangkit-Listrik-Tenaga-Osmotik-dengan-Proses-Membran.html>
- K.Grestand.dkk. *Membran Process in Energi Supply for an Osmotic Power Plant, Desalination 224 (2008) 64-67*.

BAB 5

MOBIL LISTRIK

Oleh Vita Ambarwati

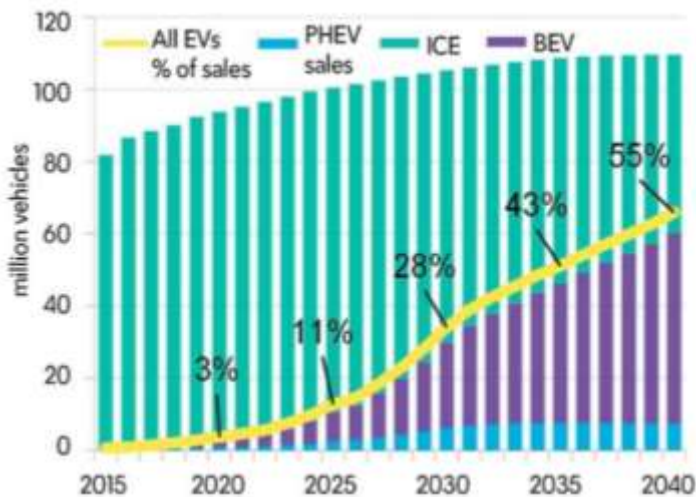
5.1 Pendahuluan

Pemanfaatan bahan bakar fosil secara berkelanjutan telah menghasilkan peningkatan kadar CO₂ di atmosfer secara konsisten, mencapai 400,26 ppm pada tahun 2015 (Abas dkk., 2015). Sektor transportasi memainkan peran penting dalam konsumsi bahan bakar fosil global dan emisi gas rumah kaca. Pada tahun 2013, transportasi menyumbang 27,6% dari total konsumsi energi dunia, dan 92,6% dari energi tersebut berasal dari produk minyak. Selain itu, sektor transportasi bertanggung jawab atas 22,9% total emisi CO₂ dunia (Woo dkk., 2017). Untuk memerangi perubahan iklim dan mempromosikan sumber energi berkelanjutan, komunitas internasional harus secara aktif mendukung peralihan besar dari bahan bakar fosil ke sumber energi terbarukan dan alternatif. Menurut prospek bahan bakar fosil mendorong para peneliti, perancang, produsen mobil, dan lembaga transportasi untuk mencari sumber tenaga alternatif, seperti listrik, untuk kendaraan.

Saat ini, sektor transportasi sedang menginisiasi pergeseran dari penggunaan bahan bakar fosil menuju pemanfaatan energi listrik yang lebih ramah lingkungan, karena sektor ini menjadi penyumbang utama emisi gas rumah kaca. Mobil listrik dikembangkan untuk mengurangi emisi gas CO₂ dari transportasi konvensional jenis *internal combustion engine* (ICE) yang dapat mempercepat terjadinya pemanasan global.

Mobil listrik merupakan kendaraan yang digerakan oleh motor listrik dan menggunakan energi listrik yang disimpan dalam

baterai atau tempat penyimpanan energi lainnya. Menurut prediksi Bloomberg New Energy Finance (2018), pada tahun 2040 penjualan total kendaraan listrik mencapai sekitar 55% dari total kendaraan di seluruh dunia yang dapat dilihat pada Gambar 5.1. Dapat dilihat juga bahwa sebagian besar jenis EV yang dikembangkan adalah kendaraan listrik berbasis baterai (*Battery-based EV, BEV*).



Gambar 5.2. Prediksi penjualan kendaraan listrik
(Sumber : Bloomberg New Energy Finance, 2018)

Komponen utama dalam mobil listrik yaitu motor listrik, baterai, *controller* dan *inverter*. Kunci keberhasilan pengembangan industri mobil listrik berbasis baterai adalah ketersediaan baterai yang memiliki performa yang baik, aman, tersedia secara berkelanjutan dan memiliki harga yang kompetitif. Baterai sebagai tempat penyimpanan energi berkontribusi sekitar 12-25% dari total bobot kendaraan listrik berkontribusi dari berat baterainya. Saat ini harga baterai secara umum berkontribusi terhadap sekitar 35-40% harga mobil listrik dimana komponen utama biaya pada pembuatan baterai adalah biaya material.

5.2 Sejarah

Mobil modern awal dibuat oleh Karl Benz pada tahun 1885, namun konsep dari mobil listrik telah ada sebelumnya. Pada era ke-18, banyak peneliti dari beberapa negara seperti Hungaria, Belanda dan Amerika yang telah berfokus untuk menciptakan transportasi listrik berbasis baterai sebagai tempat energinya dalam skala kecil. Dalam sejarah perkembangan mobil listrik terdapat 4 generasi yakni sebagai berikut.

1. Generasi Pertama (*Early Years*)- 1890 sampai 1920

William Morrison seorang ahli kimia pada akhir abad ke-18 di Amerika berhasil menciptakan mobil listrik. Mobil listrik buatanya ini berhasil melaju dengan kecepatan 22 km/jam dan dapat ditumpangi sebanyak 6 penumpang.



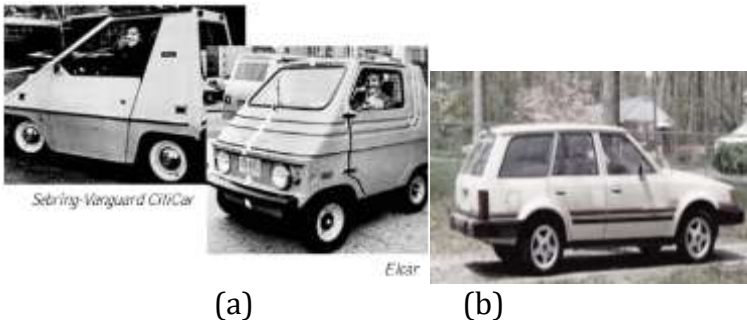
Gambar 5.2. Mobil Listrik Wood's Phaeton
(Sumber : INL, 2016)

Dengan pengembangan penelitian yang dilakukan pada tahun 1902 tercipta mobil listrik kembali yang dikenal dengan Wood's Phaeton. Kendaraan ini dapat melaju dengan kecepatan 14 mil/jam dengan jarak tempuh 18 mil. Biaya yang dihabiskan untuk memproduksi. Pada abad ke-

19 ini mobil listrik telah sangat populer dikarenakan memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan kendaraan listrik konvensional. Gambar 5.2 merupakan bentuk mobil listrik Wood's Phaeton.

2. Generasi Tengah (*The Middle Years*) – 1930 sampai 1990

Pada tahun 1935 sampai dengan tahun 1960 terjadi hambatan terhadap perkembangan mobil listrik. Popularitas mobil listrik pada tahun tersebut mulai meredup. Akan tetapi, Masyarakat telah menyadari akibat dari penggunaan kendaraan jenis konvensional yang mana dapat meningkatkan gas emisi dan menyebabkan pemanasan global. Dengan adanya dampak tersebut beberapa negara mulai tertarik kembali melakukan pengembangan mobil listrik untuk mengurangi emisi gas buang dan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Mobil listrik yang diproduksi pada 1960-1970 dapat dilihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3. Mobil Listrik (a) Sebring-Vanguard City Car (b) EVcort
(Sumber : INL, 2016)

3. Generasi Modern Mobil Listrik (*The Modern Generation of Electric Car*) – 1990 sampai 2010

Pada generasi modern mobil listrik ini mulai banyak macam spesifikasi. Salah satunya yakni mobil listrik seperti *pick up* Chevrolet S-10 yang diproduksi oleh U.S Electricar yang dapat menempuh jarak 60 mil serta menggunakan 2 daya dari alternative motor dan baterai asam timbal, serta menghabiskan waktu 7 jam untuk pengisian baterai.



Solectric's Geo Metro electric conversion

Gambar 5.4. Mobil Listrik Geo Metro
(Sumber : INL, 2016)

Contoh lain adalah mobil Geo Metro seperti pada Gambar 5.4 diatas yang diproduksi oleh Solectria Corp. Mobil ini dapat menampung 4 penumpang. Sedan ini menggunakan baterai asam timbal sebagai sumber energi dan motor arus bolak balik. Selain itu, mobil ini dapat menempuh jarak 50 miles dengan pengisian baterai selama 8 jam. Pada tahun 1994 American Tour de Sol dari New York ke Philadelphia, mobil ini menempuh jarak lebih dari 200 mil dalam sekali pengisian baterai menggunakan baterai hybrida nikel logam Ovonic.

4. Generasi sekarang (*Todays Generation of Electric Vehicle*) – 2011 sampai sekarang

Pengembangan mobil listrik saat ini sudah mampu menempuh jarak yang lebih jauh sehingga memungkinkan menggantikan kendaraan konvensional. Produksi mobil listrik terbaru akhir-akhir ini adalah Tesla S P100D. Bahkan mobil ini memegang rekor sebagai *The Fastest Accelerating Production Car In The World*. Mobil ini memiliki baterai 100kWhour dan dapat menempuh jarak sejauh 500 km. Beberapa mobil listrik modern yang dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5. Mobil Modern Listrik
(Sumber : INL, 2016)

5.3 Perkembangan Teknologi Transportasi

Pada pertengahan hingga awal abad ke-19, mobil listrik sangat populer, terutama ketika listrik menjadi pilihan utama sebagai sumber tenaga pada kendaraan. Keunggulan mobil listrik terletak pada kenyamanan dan kemudahan penggunaannya yang tidak dapat disaingi oleh kendaraan berbahan bakar bensin pada saat itu. Namun, dengan berkembangnya teknologi pembakaran

mesin yang semakin canggih, terutama dalam hal daya yang dihasilkan, popularitas mobil listrik mulai meredup (Woo dkk., 2017). Dampak dari sistem produksi massal yang diperkenalkan oleh Ford Motor Company turut menurunkan harga mobil konvensional secara signifikan yakni menyebabkan mobil listrik kehilangan popularitasnya secara bertahap, bahkan menghilang sepenuhnya, terutama di pasar ilegal seperti Amerika Serikat pada tahun 1930-an.

Krisis energi pada tahun 1970-an dan 1980-an menghasilkan meningkatnya minat masyarakat terhadap mobil listrik. Pada awal dekade 1990-an, *California Air Resources Board* (CARB) mulai memberikan tekanan kepada produsen otomotif agar mereka mengembangkan kendaraan yang lebih efisien dalam hal bahan bakar dan memiliki emisi yang rendah, dengan akhir tujuan untuk menciptakan kendaraan yang tidak menghasilkan emisi, seperti kendaraan listrik. Sebagai respons terhadap hal ini, beberapa produsen mencoba untuk mengembangkan model mobil listrik mereka sendiri, seperti Chrysler TEVan, truk Pick Up Ford Ranger EV, GM EV1, pikap S10 EV, Hatchback Honda EV Plus, Miniwagon Altra EV, dan Toyota RAV4 EV. Akan tetapi, semua mobil ini ditarik dari pasar Amerika Serikat (Sidabutar, 2020).

Resesi ekonomi global pada akhir tahun 2000-an menyebabkan banyak produsen otomotif di seluruh dunia meninggalkan produksi mobil besar yang konsumsi bahan bakarnya tinggi, dan mulai fokus pada mobil yang lebih kecil, hibrida, dan kendaraan listrik. Salah satu perusahaan otomotif yang berbasis di California, yaitu Tesla Motors, memulai proyek pengembangan Tesla Roadster pada tahun 2004 dan akhirnya memperkenalkannya ke pasar pada tahun 2008. Hingga Januari 2011, Tesla berhasil menjual sebanyak 1.500 unit Tesla Roadster di 31 negara. Mitsubishi i-MiEV diperkenalkan sebagai bagian dari armada di Jepang pada bulan Juli 2009 dan kemudian menjadi tersedia untuk pembelian oleh individu pada bulan April 2010. Di

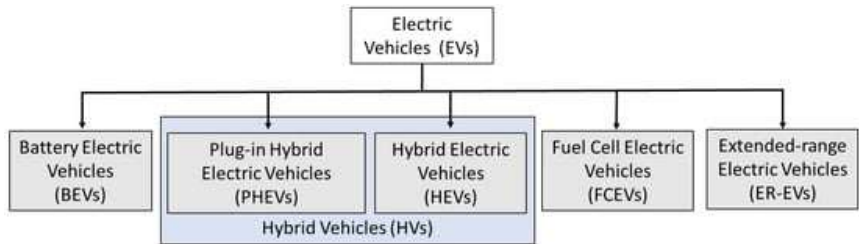
Hong Kong, i-MiEV mulai dijual pada bulan Mei 2010, sementara di Australia, kendaraan ini tersedia untuk dibeli mulai bulan Juli 2010 (Nur dan Kurniawan, 2021).

Penjualan Nissan Leaf dimulai di Jepang dan Amerika Serikat pada bulan Desember 2010, walaupun pada awalnya hanya tersedia di beberapa wilayah terbatas dengan jumlah yang terbatas. Hingga bulan September 2011, sejumlah mobil listrik yang tersedia di pasar termasuk REVAi, Buddy, Citroën C1 ev'ie, Transit Connect Electric, Mercedes-Benz Vito E-Cell, Smart ED, dan Wheego Whip LiFe. Hingga awal tahun 2012, produksi massal kendaraan listrik yang tersedia di seluruh dunia masih terbatas. Kendaraan listrik sebegini besar dapat ditemukan saat itu adalah Neighborhood Electric Vehicle (NEV) yang digunakan untuk perjalanan jarak pendek. Pike Research memperkirakan bahwa ada sekitar 479.000 NEV yang beroperasi di seluruh dunia saat ini. Salah satu kendaraan NEV yang sangat populer adalah Global Electric Motorcars (GEM), yang telah berhasil menjual lebih dari 45.000 unit sejak pertama kali diperkenalkan pada tahun 1998 (Parinduri dkk, 2018).

Indonesia juga turut ambil bagian dalam upaya memproduksi mobil listrik. Meskipun masih dalam tahap purwarupa, kendaraan listrik buatan dalam negeri menunjukkan potensi yang menjanjikan. Saat ini, terdapat dua model yang telah dikenal, yaitu Mobil Listrik Ahmadi dan Tucuxi. Pada tanggal 20 Mei 2013, dilakukan uji coba penggunaan bus listrik dalam rangka persiapan untuk acara APEC 2013 yang berlangsung pada bulan Oktober. Bus listrik ini saat ini masih digunakan untuk layanan transportasi publik di Yogyakarta. Pada tanggal 6 Mei 2014, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) mencatat rekor dengan mobil listrik buatan dalam negeri yang berhasil menempuh total jarak sejauh 800 km, dengan kecepatan rata-rata 120-130 km/jam, dan melakukan pengisian ulang setiap 8 jam selama 3 jam. Rute

perjalanan mencakup perjalanan dari Jakarta ke Bandung, Tasikmalaya, Purwokerto, Yogyakarta, Madiun, hingga Surabaya.

5.3.1 Klasifikasi Kendaraan Listrik



Gambar 5.6. Klasifikasi kendaraan listrik menurut teknologi dan pengaturan mesin
(Sumber : insideEVs, 2019)

Berdasarkan Gambar 5.6 kendaraan listrik menurut teknologi dan pengaturan mesin dapat diklasifikasikan sebagai berikut.

1. *Battery Electric Vehicles (BEVs)*

Kendaraan jenis ini sepenuhnya menggunakan tenaga listrik, tidak memiliki mesin pembakaran internal dan tidak menggunakan bahan bakar cair. Umumnya, BEVs menggunakan baterai dengan kapasitas yang besar. BEV standar dapat mencapai jarak tempuh sekitar 160 hingga 250 km, walaupun beberapa varian mampu mencapai hingga 500 km dengan satu kali pengisian daya. Sebagai contoh, Nissan Leaf dilengkapi dengan baterai berkapasitas 62 kWh yang memungkinkan kendaraan ini berjalan hingga sekitar 360 kilometer dengan satu pengisian daya (insideEVs, 2019).

2. *Plug-In Hybrid Electric Vehicles (PHEVs)*

Kendaraan hibrida menggunakan mesin konvensional yang dapat menggunakan bahan bakar dan mesin listrik yang dapat diisi daya dari sumber listrik eksternal. PHEVs dapat menyimpan cukup listrik dari jaringan listrik untuk mengurangi konsumsi bahan bakar secara signifikan dalam kondisi berkendara sehari-hari. Contohnya adalah Mitsubishi Outlander PHEV (Sanguesa dkk, 2021) yang memiliki baterai berkapasitas 12 kWh, memungkinkan kendaraan ini menempuh jarak sekitar 50 km hanya dengan menggunakan mesin listrik. (Plötz dkk, 2020).

3. *Hybrid Electrical Vehicles (HEV)*

Kendaraan hibrida ini menggunakan kombinasi mesin pembakaran internal konvensional dan mesin listrik. Perbedaannya dengan PHEV adalah bahwa HEV tidak dapat diisi daya dari jaringan listrik. Baterai pada HEV terisi berkat tenaga yang dihasilkan oleh mesin pembakaran internal kendaraan. Pada model-model modern, baterai juga dapat diisi melalui proses regenerasi energi selama pengereman, mengubah energi kinetik menjadi energi listrik. Sebagai contoh, Toyota Prius generasi keempat dilengkapi dengan baterai 1,3 kWh yang dalam teori memungkinkan kendaraan ini menempuh jarak sekitar 25 kilometer dalam mode sepenuhnya listrik (The Car Guide, 2014).

4. *Fuel Cell Electrical Vehicles (FCEV)*

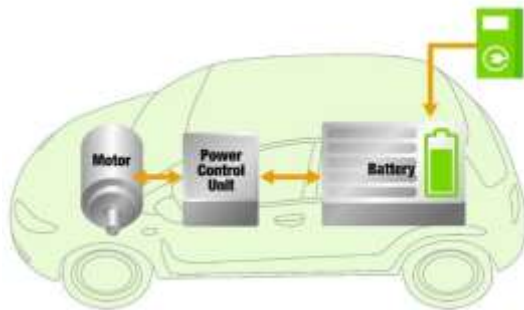
Kendaraan ini menggunakan mesin listrik yang menggabungkan hidrogen terkompresi dan oksigen dari udara untuk menghasilkan tenaga, dengan satu-satunya hasil samping adalah air. Meskipun FCEV dianggap sebagai penghasil "nol emisi," perlu dicatat bahwa sebagian besar hidrogen yang digunakan diproduksi dari gas alam. Contohnya

adalah Hyundai Nexo FCEV, yang memiliki jarak tempuh sekitar 650 km tanpa perlu mengisi bahan bakar.

5. *Extender Range-Electrical Vechiles* (ER-EV)

Kendaraan ini mirip dengan BEV, tetapi juga memiliki mesin pembakaran tambahan yang digunakan hanya untuk mengisi baterai kendaraan. Mesin ini tidak terhubung ke roda kendaraan. Sebagai contoh, BMW i3 memiliki baterai 42,2 kWh yang memberikan jarak tempuh sekitar 260 kilometer dalam mode listrik, dengan tambaha 130 kilometer yang dapat diperoleh dari mode jarak jauh (Sanguesa dkk., 2021).

5.4 Komponen Penyusun



Gambar 5.7. Komponen Utama Mobil Listrik (BSG, 2018)

Komponen utama dari mobil listrik seperti pada Gambar 5.7 adalah baterai, *Controller*, dan motor. Ini adalah komponen kunci yang membuat mobil listrik berfungsi dengan baik. Baterai sebagai sumber energi utama dalam mobil listrik, *Controller* sebagai otak kendaraan listrik, dan motor sebagai komponen yang mengubah energi listrik dari baterai menjadi gerakan mekanis yang menggerakkan roda kendaraan. Selain ketiga komponen utama ini, mobil listrik juga memiliki komponen lain seperti

inverter (mengubah arus searah baterai menjadi arus bolak-balik yang diperlukan oleh motor), charger (untuk mengisi ulang baterai dari sumber daya listrik eksternal), dan sistem manajemen termal (untuk menjaga suhu baterai dalam kisaran yang aman). Semua komponen ini bekerja bersama-sama untuk memberikan kendaraan listrik keunggulan dalam hal efisiensi energi dan emisi karbon yang lebih rendah dibandingkan dengan kendaraan bermesin pembakaran internal tradisional.

5.4.1 Baterai

Baterai didefinisikan sebagai suatu sumber energi yang terdiri dari sel-sel elektrokimia yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Baterai mobil listrik umumnya menggunakan baterai lithium ion. Penggunaan baterai lithium ion memberikan kapasitas penyimpanan energi dan kepadatan energi yang tinggi, dapat digunakan dalam waktu yang lebih lama, memiliki tegangan sirkuit terbuka yang tinggi, dan memiliki efek memori yang mendekati nol (Kim dkk., 2019). Mobil listrik modern biasanya dilengkapi dengan baterai yang memiliki kapasitas yang beragam, yang memengaruhi otonomi kendaraan (Shu dkk., 2021). Kapasitas dari baterai kendaraan listrik dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Pada saat ini, baterai menjadi hambatan utama dalam mengadopsi kendaraan listrik secara lebih luas. Pengembangan baterai yang lebih canggih, ekonomis, dan berkapasitas tinggi akan memperluas jarak tempuh kendaraan, dan banyak pengguna melihatnya sebagai alternatif yang kuat untuk kendaraan dengan mesin pembakaran internal. Baterai merupakan komponen yang sangat penting dalam kendaraan listrik, sehingga semakin banyak produsen besar seperti LG, Panasonic, Samsung, Sony, dan Bosch yang berinvestasi dalam penelitian dan pengembangan untuk menciptakan baterai yang lebih unggul dan lebih terjangkau (Richardson, 2013).

Tabel 5.1. Berbagai Kapasitas Baterai Kendaraan Listrik

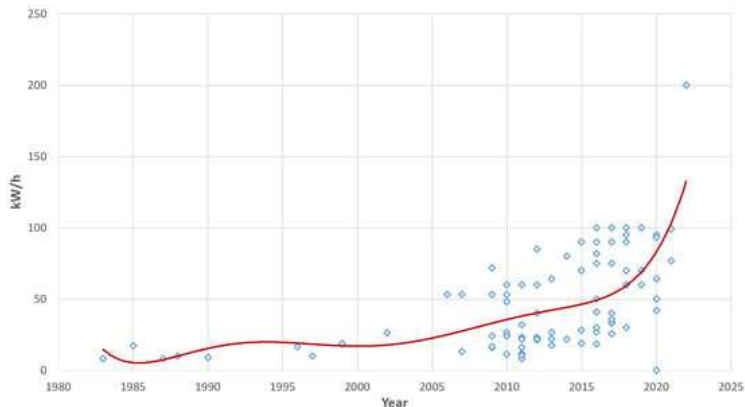
Kendaraan (Merk)	Tahun	Kapasitas (kWh)
Audi E-tron	2018	95
Kia Soul EV	2018	30
Nissan Leaf	2018	60
Renault ZOE 2	2018	60
Renault ZOE 2 rs	2018	100
Tesla Model 3	2018	70, 90
Mercedes-Benz EQ	2019	70
Nissan Leaf	2019	60
Volvo 40 series	2019	100
Audi E-tron	2020	95
BMW i3	2020	42
Hyundai Kona E	2020	64
Mercedes EQC	2020	93
Mini Cooper SE	2020	32,6
Peugeot e-208	2020	50
Volkswagen ID. 3	2021	77
Ford Mustang Mach-	2021	99
E Tesla Roaster	2022	200

(Sumber : Sanguesa dkk, 2021)

Komponen paling mahal dalam hampir semua kendaraan listrik adalah baterai. Sebagai contoh, baterai lithium-ion pada Nissan LEAF pada awalnya mewakili sekitar sepertiga dari total harga kendaraan. Namun, biaya ini diharapkan akan terus menurun; pada akhir 2013, harga paket baterai sekitar \$ 500 per kWh (sekitar setengah dari harga per kWh pada tahun 2009); saat ini, harga per kWh adalah \$ 200, dan diproyeksikan akan turun hingga sekitar \$100 pada tahun 2025.

Fakta lain yang menunjukkan penurunan biaya baterai adalah investasi Tesla Motors dalam pembangunan "Gigafactory" yang bertujuan untuk mengurangi biaya produksi dan

meningkatkan produksi baterai. Gigafactory ini dirancang untuk memproduksi lebih banyak baterai lithium-ion setiap tahun daripada yang diproduksi di seluruh dunia pada tahun 2013. Penurunan biaya baterai ini akan berdampak positif pada penurunan harga kendaraan listrik, menjadikannya lebih kompetitif dibandingkan dengan kendaraan konvensional. Dalam hal kapasitas, Gambar 5.8 memperlihatkan evolusi kapasitas baterai kendaraan listrik dari tahun 1983 hingga 2022. Pada tahun 1983, Audi Duo diluncurkan dengan baterai 8 kWh, sementara pada 2022, Tesla mengumumkan Tesla Roadster dengan baterai 200 kWh.



Gambar 5.8. Evolusi kapasitas baterai dari 1980an hingga sekarang (Sumber: Sanguesa dkk, 2021)

5.4.2 Controller

Controller dalam kendaraan listrik merupakan perangkat elektronik yang berfungsi mengatur aliran daya listrik dari baterai ke motor listrik. Dengan mengatur arus ini, *controller* memungkinkan kendaraan untuk memperoleh kecepatan yang diinginkan dan mengatasi berbagai kondisi jalan (Shu dkk, 2021). *Controller* juga mengontrol kecepatan kendaraan. Hal ini dilakukan

sesuai dengan input pengemudi yang diterima dari pedal gas atau sistem akselerasi. Beberapa *controller* kendaraan listrik mendukung fungsi rekuperasi energi. Ketika pengemudi melepaskan pedal gas atau menginjak rem, motor listrik dapat berfungsi sebagai generator, mengubah gerakan kendaraan kembali menjadi energi listrik yang kemudian disimpan kembali dalam baterai. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi dan menambah jarak tempuh (Enang dan Bannister, 2017). *Controller* juga memiliki peran dalam mengamankan operasi kendaraan. Ini termasuk fitur-fitur seperti perlindungan terhadap *overcurrent* (arus berlebihan) atau *overvoltage* (tegangan berlebihan), yang dapat melindungi komponen elektronik kendaraan dari kerusakan akibat kondisi yang tidak normal. Ini memungkinkan pengoptimalan kinerja kendaraan dalam berbagai kondisi (Indu dan Aswatha Kumar, 2023).

Suhu motor listrik adalah faktor penting yang memengaruhi kinerja dan keamanan kendaraan listrik. *Controller* dilengkapi dengan sensor suhu untuk memantau kondisi motor dan mencegah *overheating*. Beberapa *controller* juga memantau kinerja baterai, termasuk tegangan dan kapasitas. Ini membantu menghindari *overdischarging* atau *overcharging* baterai yang dapat merusaknya. Sebagian besar *controller* kendaraan listrik dapat diprogram untuk mengatur parameter tertentu sesuai dengan kebutuhan produsen atau pengemudi. Ini memungkinkan *fleksibilitas* dalam mengoptimalkan performa kendaraan. *Controller* dalam kendaraan listrik adalah otak elektronik yang mengendalikan semua aspek operasional kendaraan. Fungsi dan kompleksitas *controller* dapat bervariasi tergantung pada jenis kendaraan dan tingkat kemampuannya, tetapi mereka adalah komponen yang sangat penting dalam menghadirkan kinerja yang handal dan efisien dalam mobil listrik.

5.4.3 Motor

Motor pada mobil listrik adalah komponen kunci yang mengubah energi listrik dari baterai menjadi gerakan mekanis yang mendorong kendaraan. Ini adalah pengganti mesin pembakaran internal (mesin bensin atau diesel) yang ditemukan dalam kendaraan konvensional. Motor pada mobil listrik adalah motor listrik, yang berbeda dengan mesin pembakaran internal yang menggunakan pembakaran bahan bakar (Muratori dkk., 2021). Motor listrik menghasilkan gerakan dengan memanfaatkan prinsip elektromagnetisme, yang melibatkan interaksi antara medan magnet dan arus listrik. Ada beberapa jenis motor listrik yang digunakan dalam kendaraan listrik. Dua jenis yang paling umum adalah motor AC dan Motor DC. Motor AC (Arus bolak-balik) lebih umum digunakan dalam mobil listrik karena efisiensinya yang tinggi dan kemampuan untuk menghasilkan torsi yang tinggi pada berbagai kecepatan. Jenis motor AC yang umum digunakan adalah motor induksi. Motor DC (arus searah) kurang umum digunakan dalam kendaraan listrik modern, tetapi masih ditemui dalam beberapa model. Motor DC lebih sederhana dalam konstruksinya dan lebih mudah dikendalikan dalam beberapa situasi (Madichetty dkk., 2021).

Motor listrik dalam kendaraan listrik dikendalikan oleh perangkat yang disebut "*inverter*" atau "*motor controller*" yang berfungsi sebagai komponen elektronik yang mengatur aliran arus listrik ke motor untuk mengontrol kecepatan dan torsi. Pengendalian motor ini terintegrasi dengan kendali pengemudi untuk memberikan akselerasi, perlambatan, dan kendali kecepatan yang tepat. Motor listrik memiliki efisiensi yang tinggi, yang berarti sebagian besar energi listrik yang digunakan diubah menjadi gerakan, menghasilkan sedikit pemborosan energi. Motor listrik memberikan torsi instan, yang berarti kendaraan mendapatkan daya penuh segera saat pedal gas ditekan. Tidak ada emisi langsung dari motor listrik, membuatnya lebih ramah lingkungan daripada

mesin pembakaran internal. Motor listrik memiliki sedikit komponen yang bergerak, sehingga perawatannya lebih sederhana dan lebih murah dibandingkan mesin konvensional (El dkk., 2022).

5.5 Prinsip Kerja

Prinsip kerja mobil listrik didasarkan pada konversi energi listrik menjadi gerakan mekanis untuk menggerakkan kendaraan. Mobil listrik menggunakan baterai sebagai sumber daya utama. Baterai lithium ion biasanya digunakan sebagai tempat penyimpanan energi listrik. Jenis baterai ini dapat menyimpan dan melepaskan energi listrik. Energi listrik dari baterai dialirkan ke motor listrik. Motor listrik ini mengubah energi listrik menjadi gerakan mekanis yang mendorong roda kendaraan.

Motor listrik dikendalikan oleh perangkat yang disebut "*inverter*" atau "*motor controller*" sebagai pengatur arus listrik yang masuk ke motor untuk mengontrol kecepatan dan torsi. Kendali motor ini berdasarkan masukan dari pedal gas dan sistem manajemen kendaraan. Sebagian besar mobil listrik tidak memiliki transmisi seperti yang ditemui pada mobil dengan mesin pembakaran internal. Motor listrik memiliki kemampuan untuk memberikan torsi yang cukup luas pada berbagai kecepatan, sehingga transmisi yang kompleks tidak diperlukan. Ini juga membuat akselerasi dari diam sangat responsif karena motor listrik memberikan torsi instan (Morgan, 2020).

Selama perlambatan atau pengereman, motor listrik dapat berfungsi sebagai generator. Energi kinetik yang dihasilkan oleh pergerakan kendaraan diubah kembali menjadi energi listrik dan disimpan kembali dalam baterai, yang kemudian disebut sebagai regenerasi pengereman, serta dapat meningkatkan efisiensi energi dan jangkauan kendaraan. Pengemudi mengendalikan akselerasi, perlambatan, dan kecepatan kendaraan melalui pedal gas dan rem. Sistem kendali komputer menginterpretasikan masukan dari pedal gas untuk mengatur daya yang diberikan ke motor listrik. Baterai

kendaraan listrik memiliki kapasitas yang berbeda, yang mengukur seberapa banyak energi yang dapat disimpan. Kapasitas ini memengaruhi jangkauan kendaraan. Jarak tempuh kendaraan listrik adalah faktor penting yang dipertimbangkan oleh konsumen (Farhadi dan Tafreshi, 2022).

Untuk mengisi ulang baterai, kendaraan listrik dihubungkan ke sumber listrik eksternal, seperti stasiun pengisian atau stopkontak rumah. Waktu pengisian dapat bervariasi tergantung pada daya pengisian yang tersedia. Beberapa kendaraan listrik dilengkapi dengan fasilitas pengisian cepat yang dapat mengisi baterai dalam waktu yang lebih singkat. Suhu baterai perlu dijaga agar berfungsi dengan baik dan aman. Kendaraan listrik biasanya dilengkapi dengan sistem pendingin atau pemanas baterai yang mengatur suhu baterai dalam kisaran yang optimal.

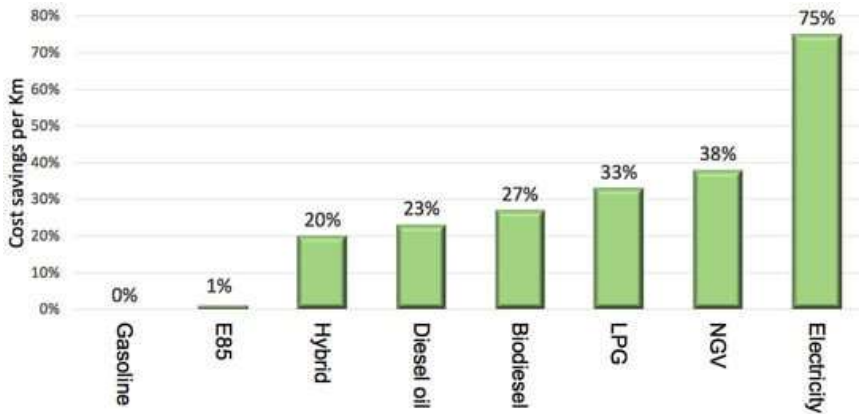
5.6 Kelebihan dan Kelemahan

Kendaraan listrik memiliki potensi besar untuk mengatasi masalah polusi udara di lingkungan perkotaan. Perkembangan mobil dan sepeda motor listrik berpotensi signifikan dalam mengurangi emisi polutan seperti CO, NO_x, HC, SO₂, dan PM. Dalam hal total emisi CO₂ yang dilepaskan, ada tiga sektor yang paling berpengaruh, yaitu sektor listrik (42%), transportasi (23%), dan perumahan (6%). Pemerintah saat ini tengah mendorong pengembangan kendaraan listrik dan infrastruktur stasiun pengisian melalui Peraturan Presiden No. 55/2019. Kendaraan listrik menghasilkan polusi udara yang sangat sedikit, hampir mendekati nol jika dibandingkan dengan kendaraan berbasis mesin pembakaran. Kendaraan listrik sangat sesuai untuk mengatasi masalah polusi udara, terutama di kota-kota (Sudjoko, 2021).

Kendaraan listrik (EV) menawarkan beberapa keunggulan yang mencakup:

1. Nol Emisi: Kendaraan ini tidak mengeluarkan emisi knalpot, Karbon dioksida (CO_2), atau nitrogen dioksida (NO_2). Proses manufakturnya juga cenderung lebih ramah lingkungan, walaupun produksi baterainya memiliki dampak karbon yang signifikan.
2. Sederhana: Mesin kendaraan listrik memiliki lebih sedikit komponen, yang menghasilkan biaya perawatan yang lebih rendah. Mesinnya lebih sederhana dan kompak, tidak memerlukan sirkuit pendingin, serta tidak memerlukan perpindahan gigi, kopling, atau elemen yang menghasilkan kebisingan mesin.
3. Keandalan: Memiliki lebih sedikit komponen dan mesin yang lebih sederhana, kendaraan jenis ini cenderung lebih tahan lama. Mesin tidak mengalami keausan akibat ledakan mesin, getaran, atau korosi bahan bakar.
4. Biaya: Kendaraan listrik memerlukan biaya pemeliharaan yang lebih rendah dan biaya listrik yang lebih murah dibandingkan dengan kendaraan pembakaran tradisional. Biaya energi per kilometer juga lebih rendah pada EV dibandingkan kendaraan tradisional yang dapat dilihat pada Gambar 5.9 (Chan, 2007).
5. Kenyamanan: Mengemudi dengan EV lebih nyaman karena tidak ada getaran atau kebisingan mesin.
6. Efisiensi: Kendaraan listrik cenderung lebih efisien daripada kendaraan tradisional. Efisiensi keseluruhan (*well-to-wheel*) juga akan bergantung pada sumber daya pembangkit listrik. Kendaraan listrik yang menggunakan energi terbarukan, misalnya, menunjukkan efisiensi keseluruhan yang tinggi hingga 70%.
7. Aksesibilitas: Kendaraan jenis ini dapat mengakses kawasan perkotaan yang mungkin tidak diizinkan bagi kendaraan berbahan bakar lainnya, seperti zona rendah emisi. Kendaraan listrik juga tidak terkena pembatasan lalu

lintas yang sama di kota-kota besar, terutama selama tingkat polusi udara tinggi. Namun, perlu dicatat bahwa dalam beberapa kasus, seperti *Particulate Emission* (PM), kendaraan listrik mungkin tidak memberikan perbaikan signifikan dalam kualitas udara (OECD iLibrary, 2020).



Gambar 5.9. Perbandingan dalam hal pengurangan biaya per kilometer yang diberikan oleh berbagai jenis kendaraan, termasuk kendaraan berbahan bakar bensin, etanol (E85), hibrida, solar, biodiesel, *Liquefied Petroleum Gas* (LPG), *Natural Gas Vehicles* dan listrik. (Sumber : Lidoy dan Moreno, 2010).

Selain kelebihan, kendaraan listrik juga memiliki beberapa kelemahan yang diantaranya sebagai berikut:

1. Jarak tempuh: Jangkauan berkendara biasanya berkisar antara 200 hingga 350 km ketika baterai penuh, meskipun saat ini tengah mengalami peningkatan. Sebagai contoh, Nissan Leaf memiliki jarak tempuh maksimum sekitar 364 km, sementara Tesla Model S dapat mencapai lebih dari 500 kilometer.
2. Waktu pengisian daya: Mengisi daya baterai hingga penuh membutuhkan waktu antara 4 hingga 8 jam. Bahkan dalam

- "pengisian cepat" hingga 80% kapasitas, memerlukan sekitar 30 menit. Tesla, sebagai contoh, memiliki charger super yang bisa mengisi daya Model S hingga 50% dalam 20 menit atau 80% dalam setengah jam.
3. Biaya baterai: Paket baterai dengan kapasitas besar memiliki harga yang cukup mahal.
 4. Ukuran besar dan berat: Paket baterai memiliki bobot yang signifikan dan memerlukan ruang yang cukup dalam kendaraan. Diperkirakan berat baterai kendaraan ini adalah sekitar 200 kilogram, walaupun bobotnya dapat bervariasi tergantung pada kapasitas baterai.

Di masa yang akan datang, kendaraan listrik akan memegang peran yang sangat signifikan dalam perkembangan kota pintar, seiring dengan mobilitas bersama, transportasi umum, dan berbagai aspek lainnya. Oleh karena itu, diperlukan upaya lebih lanjut untuk memudahkan proses pengisian daya dan meningkatkan kualitas baterai. Salah satu kelemahan utama kendaraan listrik adalah jarak tempuhnya yang terbatas. Namun, para peneliti sedang giat bekerja untuk mengembangkan teknologi baterai guna memperpanjang jarak tempuh, mengurangi waktu pengisian daya, serta mengurangi berat dan biaya baterai. Dalam jangka panjang, faktor-faktor ini akan memainkan peran kunci dalam menentukan masa depan kendaraan listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abas, N., Kalair, A. and Khan, N. 2015. Review Of Fossil Fuels And Future Energy Technologies. *Futures*, 69, 31–49. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2015.03.003>.
- Chan, C.C. 2007. The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 95(4), 704–718. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2007.892489>.
- El, Hadraoui, H. 2022. A Multi-Criteria Analysis and Trends of Electric Motors for Electric Vehicles. *World Electric Vehicle Journal*, 13(4), 65. <https://doi.org/10.3390/wevj13040065>.
- Enang, W. dan Bannister, C. 2017. Modelling and Control of Hybrid Electric Vehicles (A Comprehensive Review). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 1210–1239. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.075>.
- Farhadi, P. dan Tafreshi, S.M.M. 2022. Charging Stations for Electric Vehicles; a Comprehensive Review on Planning, Operation, Configurations, Codes and Standards, Challenges and Future Research Directions. *Smart Science*, 10(3), 213–245. <https://doi.org/10.1080/23080477.2021.2003947>.
- Indu, K. dan Aswatha Kumar, M. 2023. Electric Vehicle Control and Driving Safety Systems: A Review', *IETE Journal of Research*, 69(1), 482–498. <https://doi.org/10.1080/03772063.2020.1830862>.
- InsideEVs. 2019. *Nissan Reveals LEAF e-Plus: 62 kWh Battery, 226-Mile Range*. <https://insideevs.com/nissan-reveals-leaf-e-plus-cs/>.
- Kim, T., Song, W., Son, D. Y., Ono, L. K., dan Qi, Y. 2019. Lithium-ion Batteries: Outlook on Present, Future, and Hybridized Technologies. *Journal of Materials Chemistry A*, 7(7), 2942–2964. <https://doi.org/10.1039/C8TA10513H>

- Lidoy, B.J., dan Martín Moreno, J. 2010. Eficiencia Energética En La Automoción, El Vehículo Eléctrico, Un Reto Del Presente. *Econ. Ind*, 377.
- Madichetty, S., Mishra, S. dan Basu, M. 2021. New Trends in Electric Motors and Selection for Electric Vehicle Propulsion Systems. *IET Electrical Systems in Transportation*, 11(3), 186–199. <https://doi.org/10.1049/els2.12018>.
- Morgan, J. 2020. Electric Vehicles: The Future We Made and The Problem of Unmaking It. *Cambridge Journal of Economics*, 44(4), 953–977. <https://doi.org/10.1093/cje/beaa022>.
- Muratori, M. 2021. The Rise Of Electric Vehicles—2020 Status and Future Expectations. *Progress in Energy*, 3(2), 022002. <https://doi.org/10.1088/2516-1083/abe0ad>.
- Nur, A.I. dan Kurniawan, A.D. 2021. Proyeksi Masa Depan Kendaraan Listrik di Indonesia: Analisis Perspektif Regulasi dan Pengendalian Dampak Perubahan Iklim yang Berkelanjutan. *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, 7(2), 197–220. <https://doi.org/10.38011/jhli.v7i2.260>.
- OECD iLibrary. 2020. Non-exhaust Particulate Emissions from Road Transport. *OECD*, 149. <https://doi.org/10.1787/4a4dc6ca-en>.
- Parinduri, L., Yusmartato, Y. dan Parinduri, T. 2018. Kontribusi Konversi Mobil Konvensional ke Mobil Listrik Dalam Penanggulangan Pemanasan Global. *Journal of Electrical Technology*, 3(2), 116–120.
- Plötz, P., Moll, C., Bieker, G., Mock, P., Li, Y. 2020. *Real-World Usage of Plug-In Hybrid Electric Vehicles: Fuel Consumption, Electric Driving, and CO2 Emissions*. Washington.
- Richardson, D.B. 2013. Electric Vehicles and The Electric Grid: A Review of Modeling Approaches, Impacts, and Renewable Energy Integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 247–254. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.042>.

- Sanguesa, J.A. dkk. 2021. A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges. *Smart Cities*, 4(1), 372–404. <https://doi.org/10.3390/smartcities4010022>.
- Shu, X. *et al.* 2021. Reliability Study Of Motor Controller In Electric Vehicle By The Approach Of Fault Tree Analysis. *Engineering Failure Analysis*, 121, 105165. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.105165>.
- Sidabutar, V.T.P. 2020. Kajian pengembangan kendaraan listrik di Indonesia: prospek dan hambatannya. *Jurnal Paradigma Ekonomika*, 15(1), 21–38. <https://doi.org/10.22437/paradigma.v15i1.9217>.
- Sudjoko, C. 2021. Strategi Pemanfaatan Kendaraan Listrik Berkelanjutan Sebagai Solusi Untuk Mengurangi Emisi Karbon. *Jurnal Paradigma: Jurnal Multidisipliner Mahasiswa Pascasarjana Indonesia*, 2(2), 54–68.
- The Car Guide. 2014. *Toyota Prius PHV: To Plug in or Not to Plug in?*. <https://www.guideautoweb.com/en/articles/21152/2014-toyota-prius-phv-to-plug-in-or-not-to-plug-in/>.
- Woo, J., Choi, H. and Ahn, J. 2017. Well-to-wheel analysis of greenhouse gas emissions for electric vehicles based on electricity generation mix: A global perspective. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 51, 340–350. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.01.005>.

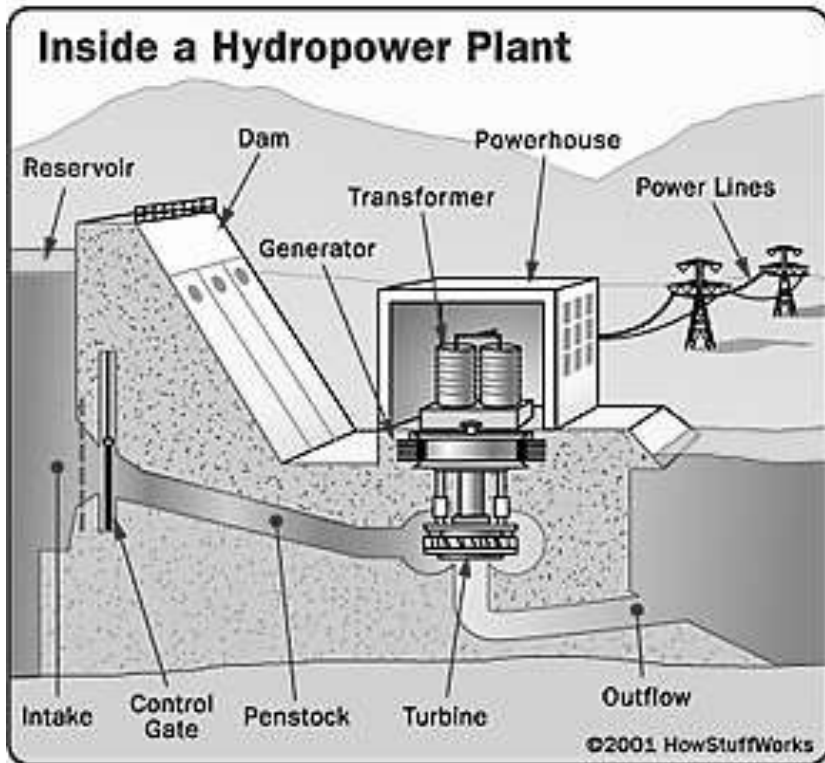
BAB 6

KONSERVASI ENERGI

Oleh Ni Putu Yuni Nurmallasari

6.1 Konservasi Energi: Hubungannya dengan *Green Technology* dan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development*)

Konservasi energi berasal dari dua kata dasar yaitu konservasi dan energi. **Energi** merupakan kemampuan untuk melakukan kerja atau menghasilkan perubahan. Energi dalam konsep ilmu fisika dasar digunakan untuk menggambarkan kemampuan suatu sistem untuk melakukan aktivitas atau menghasilkan perubahan dalam keadaan tertentu. Energi ada dalam berbagai bentuk dan dapat mengalir dari satu bentuk ke bentuk yang lainnya, atau dengan kata lain dapat berubah bentuk/konversi/transformasi). Namun, perubahan bentuk energi tersebut harus tetap mengingat "Hukum Kekekalan Energi" bahwa total energi dalam suatu sistem terisolasi adalah tetap konstan. Sebagai contoh, tinjau suatu sistem bola yang dilemparkan ke atas. Energi kinetik awal bola akan berkurang saat bola mencapai titik tertinggi (potensial maksimum) sebelum akhirnya berbalik turun dan jatuh ke tanah. Pada titik potensial maksimum ini, energi kinetik telah berubah menjadi energi gravitasi. Contoh lainnya dari perubahan bentuk energi adalah pembangkit listrik tenaga air yang prinsipnya adalah mengubah energi gerak (energi kinetik) air yang kemudian menggerakkan turbin generator air menjadi energi listrik. Selain energi potensial, energi kinetik, dan energi listrik, bentuk energi dapat berupa energi panas, energi kimia, energi bunyi, energi cahaya, dan masih banyak bentuk energi lainnya.



Gambar 6.1. Skema kerja turbin air penghasil listrik (*hydropower*)
(Sumber : Bonsor, K. 2001)

Kata "**konservasi**" berasal dari bahasa Latin "*conservatio*", yang berarti tindakan atau proses menjaga, melindungi, atau mempertahankan sesuatu agar tetap utuh atau tidak rusak. Dalam konteks modern, konservasi merujuk pada usaha-usaha untuk melindungi dan melestarikan sumber daya alam, lingkungan, budaya, atau benda-benda berharga lainnya agar tetap ada dan dapat dinikmati oleh generasi saat ini dan generasi mendatang.

Setelah melihat pengertian dasar katanya, **konservasi energi** dapat kita artikan sebagai praktik untuk mengurangi penggunaan energi dengan cara yang lebih efisien dan bijaksana, serta bertujuan untuk mengurangi pemborosan energi dan dampak negatif lingkungan yang terkait dengan produksi dan konsumsi energi. Indonesia sendiri memiliki kebijakan energi nasional yang berprinsip pada kebijakan harga, diversifikasi, dan konservasi energi (Prihandana, R. dan Hendroko, R., 2008). Regulasi mengenai konservasi energi tertuang pada **Peraturan Pemerintah (PP) RI No. 33 Tahun 2023 tentang Konservasi Energi**, dimana dijelaskan bahwa konservasi energi adalah suatu upaya sistematis, terencana, dan terpadu, yang bertujuan untuk melestarikan sumber daya energi nasional dan meningkatkan efisiensi penggunaan energi.

Green technology, juga dikenal sebagai teknologi hijau atau teknologi berkelanjutan, merujuk pada pengembangan dan penerapan solusi teknologi yang ramah lingkungan. Teknologi hijau berfokus pada efisiensi penggunaan sumber daya, pengurangan emisi polutan, dan pemanfaatan sumber energi terbarukan untuk mendukung **pembangunan berkelanjutan (sustainable development)**. Sejalan dengan konsep pembangunan berkelanjutan, konservasi energi menjadi salah satu elemen kunci untuk menjaga keseimbangan pemenuhan kebutuhan energi saat ini dan di masa mendatang.

Pelaksanaan konservasi energi dilakukan pada seluruh tahap pengelolaan energi dari hulu ke hilir yang meliputi:

1. Penyediaan energi: Penyediaan energi merujuk pada kegiatan produksi atau pengadaan sumber daya energi untuk memenuhi kebutuhan energi. Contoh: eksplorasi sumber-sumber energi baru.
2. Pemanfaatan energi: Pemanfaatan energi merujuk pada berbagai proses konversi energi untuk berbagai keperluan, seperti penerangan, pemanasan, pendinginan, transportasi,

dan lain-lain. Contoh: pemanfaatan panel surya sebagai inovasi energi terbarukan yang dapat menghasilkan listrik dengan sumber cahaya matahari.

3. Pengusahaan energi: Pengusahaan energi melibatkan manajemen sumber daya energi.
4. Konservasi sumber daya energi: Konservasi sumber daya energi adalah praktik untuk mengurangi konsumsi energi dengan mengoptimalkan penggunaan sumber daya energi secara efisien, termasuk upaya pelestarian sumber daya energi.

6.2 Peralihan Penggunaan Sumber Energi Tak Terbarukan ke Sumber Energi Terbarukan

Multi-krisis akibat perubahan iklim oleh kerusakan lingkungan, terutama dari pemakaian energi tak ramah lingkungan yang melepas CO₂ ke atmosfer, mengharuskan manusia mencari energi yang lebih bersih (Santoso, 2009). Bahan bakar fosil seperti minyak bumi merupakan salah satu **sumber energi tak terbarukan (*non-renewable energy sources*)** dengan ketersediaan yang terbatas dan akan habis pada suatu saat. Contoh sumber energi tak terbarukan diantaranya adalah bahan bakar fosil (minyak bumi, batu bara, dan gas alam) dan energi nuklir. Meskipun sumber daya nuklir sendiri melimpah, limbah radioaktif dan risiko nuklir merupakan masalah yang perlu diatasi.

Dalam banyak kasus, penggunaan sumber energi tak terbarukan secara masif memberikan dampak negatif pada lingkungan. Karena hal tersebut, peralihan dari sumber energi tak terbarukan ke **sumber energi terbarukan (*renewable energy sources*)** adalah hal yang penting dalam upaya mengurangi dampak negatif perubahan iklim secara global, meningkatkan keberlanjutan energi, juga meminimalisasi risiko ketergantungan akan sumber daya energi yang terbatas. Sumber energi terbarukan adalah sumber daya alam yang dapat diperbaharui secara alami,

sehingga tidak akan habis dan lebih ramah lingkungan. Berikut beberapa contoh sumber energi terbarukan:

1. Tenaga surya: Energi matahari dapat diubah menjadi listrik melalui panel surya (sel surya).
2. Tenaga angin: Energi angin dapat diubah menjadi listrik melalui turbin angin (pembangkit listrik tenaga angin).
3. Energi hidro: Energi air mengalir (arus sungai, air terjun) dapat digunakan untuk menghasilkan listrik melalui pembangkit listrik tenaga air.
4. Energi geothermal: Energi geothermal berasal dari panas dalam bumi dan digunakan untuk menghasilkan panas dan listrik.
5. Biomassa: Energi biomassa dihasilkan dari bahan organik seperti kayu, limbah pertanian/limbah organik lainnya dan digunakan untuk menghasilkan panas dan listrik.
6. Energi laut: Energi laut mencakup energi gelombang laut, pasang-surut, dan suhu permukaan laut yang dapat diubah menjadi listrik.

Sumber energi terbarukan semakin menjadi fokus penting dalam rangka mengurangi ketergantungan pada sumber daya tak terbarukan, mengatasi masalah lingkungan terkait perubahan iklim, serta mendukung tujuan keberlanjutan energi (*energy sustainability*). Berikut beberapa alasan mengapa peralihan ke sumber energi terbarukan menjadi penting.

6.3 Peran Teknologi dalam Proses Konversi Energi

Perkembangan teknologi dan riset sumber energi baru terus berlangsung untuk mencari solusi yang lebih efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan dalam memenuhi kebutuhan energi global.

6.3.1 Perkembangan Teknologi Penyimpanan Energi

Teknologi terbaru untuk penyimpanan cadangan energi yang ramah lingkungan terus berkembang untuk memberikan solusi yang lebih berkelanjutan dalam menyimpan dan mengelola energi. Berikut adalah beberapa contoh perkembangan teknologi penyimpanan energi:

1. *Second-life Batteries* (Baterai daur ulang)

Baterai kendaraan listrik yang telah mencapai akhir umur pakai masih memiliki kapasitas yang cukup besar sebagai penyimpanan energi. Teknologi ini memanfaatkan baterai yang seharusnya sudah dibuang menjadi komponen penyimpan energi pada sistem dengan kebutuhan kapasitas yang lebih kecil. Sebuah baterai tidak lagi layak untuk digunakan dalam kendaraan setelah berkurang sekitar 70-80 persen dari kapasitas aslinya. Namun, setelah diproduksi ulang, baterai masih memiliki potensi untuk digunakan sebagai media penyimpanan energi stasioner (Engel, H., Hertzke, P., dan Siccardo, G., 2019; Davies, C., 2023) yang dapat digunakan untuk misalnya penerangan jalan atau rumah.

2. Baterai Berbasis Bahan Ramah Lingkungan

Riset terus dilakukan untuk mengembangkan baterai dengan bahan yang lebih ramah lingkungan, seperti baterai berbasis magnesium, natrium, *zinc*, dan aluminium. Penemuan baterai Lithium-ion telah merevolusi teknologi penyimpanan energi dan meningkatkan mobilisasi (Ramström, O., 2019). Dalam perkembangannya, banyak studi mengenai baterai Li-ion terutama untuk mengatasi masalah batas kapasitas, keamanan (Biemolt, J., dkk., 2020), juga sumber Lithium yang kian terbatas. Oleh karena itu, sistem baterai berbasis natrium (Na), zinc (Zn), magnesium (Mg), dan aluminium (Al) sedang dieksplorasi sebagai

kandidat alternatif karena biayanya yang rendah dan kelimpahannya yang tinggi (Xing W., dkk., 2018)

3. *Sustainable Supercapacitors*

Penggunaan bahan ramah lingkungan dalam superkapasitor, seperti karbon dari bahan daur ulang, dapat menghasilkan perangkat penyimpanan energi yang lebih berkelanjutan.

4. Penyimpanan Energi Terintegrasi dalam Bangunan

Teknologi seperti baterai terintegrasi dalam dinding atau atap bangunan dapat membantu memanfaatkan energi yang dihasilkan secara *onsite*, seperti sel surya, untuk digunakan dalam bangunan. Teknologi penyimpanan energi diintegrasikan dengan sistem energi untuk menyimpan dan melepaskan energi saat diperlukan, membantu dalam mengelola fluktuasi sumber energi.

6.3.2 Efisiensi dan Integrasi dalam Konversi Energi

Selain perkembangan dalam teknologi penyimpanan energi, perkembangan teknologi dari segi efisiensi dan integrasi dalam proses konversi energi terus dilakukan untuk mencapai tujuan penggunaan sumber daya yang lebih berkelanjutan dan optimal. Berikut adalah beberapa contoh perkembangan dalam hal ini:

1. Mikrogrid dan *Smart Grids*: Integrasi sistem energi dengan konsep mikrogrid dan *smart grids* memungkinkan pengelolaan yang lebih adaptif dan cerdas dari sumber energi terbarukan, penyimpanan energi, dan konsumsi. Data yang diperoleh dari integrasi sistem ini dapat membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih efisien.
2. Pengendalian Energi Terpusat (*Centralized Energy Management*): Teknologi pengendalian terpusat memungkinkan operasi koordinasi yang lebih baik di seluruh instalasi industri atau area perkotaan, memastikan

penggunaan energi yang optimal dan menghindari pemborosan.

3. *Waste-Heat Integration*: Pengembangan teknologi yang memungkinkan panas buangan dari proses industri atau pembangkit listrik digunakan untuk memanaskan atau mendinginkan proses lain, meningkatkan efisiensi total sistem.
4. Pemanfaatan Teknologi *Co-generation* dan *Tri-generation*: Konsep kogenerasi (*co-generation*) dan trigenerasi (*tri-generation*) digunakan untuk menghasilkan listrik, panas, dan pendinginan secara bersamaan, meningkatkan efisiensi total energi yang dihasilkan.
5. Integrasi Sistem Pemanas dan Pendingin (*Heating and Cooling Integration*): Teknologi yang memungkinkan penggabungan sistem pemanas dan pendingin, seperti pemanfaatan panas buangan untuk memasok pemanasan atau pendinginan, dapat meningkatkan efisiensi keseluruhan.
6. Penerapan Kecerdasan Buatan (*AI/Artificial Intelligent*) dalam Pengelolaan Energi: Penggunaan kecerdasan buatan dan analitika data membantu dalam merencanakan dan mengoptimalkan operasi sistem energi, memprediksi konsumsi, dan mengurangi pemborosan energi.

6.3.3 Konsep Gigafactories

Battery Gigafactories adalah fasilitas produksi besar yang didedikasikan untuk pembuatan baterai dalam skala besar, terutama baterai lithium-ion, yang digunakan untuk berbagai aplikasi, termasuk kendaraan listrik, penyimpanan energi, dan banyak lagi. Istilah "*Gigafactory*" pertama kali diperkenalkan oleh Tesla, perusahaan mobil listrik, untuk menggambarkan pabrik produksi baterai mereka yang sangat besar dan berteknologi canggih. Karakteristik utama dari *Battery Gigafactories* adalah:

1. Skala besar: *Battery Gigafactories* biasanya memiliki kapasitas produksi yang sangat besar, dengan tujuan untuk memproduksi jutaan baterai setiap tahun. Skala ini memungkinkan produksi massal yang efisien, yang pada gilirannya dapat mengurangi biaya produksi. Dari tahun 2014 hingga 2023, tim di *Gigafactory* Nevada telah berhasil memproduksi:
 - a. 7,3 miliar sel baterai (37 GWh+ per tahun)
 - b. 1,5 juta baterai *packs*
 - c. 3,6 juta *drive units*
 - d. 1 juta modul energi (total 14 GWh+)(Tesla, 2023)
2. Integrasi vertikal: *Gigafactories* sering kali mencakup seluruh rantai pasokan produksi baterai, mulai dari pemrosesan bahan baku hingga pembuatan sel baterai dan pemasangan ke produk akhir seperti kendaraan listrik atau sistem penyimpanan energi.
3. Teknologi modern: Teknologi canggih digunakan dalam *Battery Gigafactories* untuk memproduksi baterai yang lebih efisien, andal, dan berperforma tinggi. Ini termasuk penggunaan robotika, otomatisasi, dan proses produksi yang dioptimalkan.
4. Pengembangan bahan baru: *Battery Gigafactories* juga berperan dalam pengembangan bahan baru untuk baterai yang dapat meningkatkan kinerja, keamanan, dan kapasitas penyimpanan energi.
5. Dukungan penelitian dan inovasi: *Gigafactories* sering memiliki pusat penelitian dan pengembangan terintegrasi untuk terus melakukan inovasi dalam teknologi baterai juga proses produksinya.

Battery Gigafactories sangat penting dalam memenuhi permintaan yang semakin meningkat akan baterai untuk

kendaraan listrik dan penyimpanan energi terbarukan. Raksasa elektronik Jepang, Panasonic, akan memperluas produksi baterai kendaraan listrik di *Battery Gigafactories* Nevada yang dioperasikan bersama dengan Tesla (Sato, 2023). Selain Tesla, perusahaan teknologi energi global dan produsen baterai EV (*Electric Vehicle*) CATL (*Contemporary Amperex Technology Co. Limited*) asal China juga memiliki *Battery Gigafactories* yang memungkinkan mereka mendominasi pangsa pasar global untuk teknologi energi. Laporan tahun 2022 dari perusahaan Korea Selatan, *SNE Research*, menunjukkan bahwa produsen baterai mobil listrik CATL selama enam tahun berturut-turut memimpin pasar baterai EV global di peringkat pertama, disusul dengan LG Energy Solution dan Panasonic di urutan kedua dan ketiga (Doll, S., 2023).

6.4 Standar dan Kebijakan Konservasi Energi

Kebijakan energi (*energy policy*) adalah serangkaian tindakan, keputusan, peraturan, dan strategi yang dirancang oleh pemerintah atau badan-badan yang berwenang untuk mengatur penggunaan, produksi, distribusi, dan konsumsi energi di suatu negara atau wilayah. Berikut adalah rangkuman mengapa kebijakan energi sangat penting:

1. Keamanan energi: Kebijakan energi membantu menjaga keamanan pasokan energi bagi suatu negara. Dengan mengembangkan sumber daya energi yang beragam dan mengurangi ketergantungan pada impor energi, negara dapat mengurangi risiko gangguan pasokan dan fluktuasi harga internasional.
2. Ketahanan ekonomi: Kebijakan energi yang baik dapat mendukung pertumbuhan ekonomi yang stabil. Pasokan energi yang andal dan harga yang terjangkau diperlukan untuk memastikan kelancaran produksi dan layanan di berbagai sektor ekonomi.

3. Dampak Sosial: Kebijakan energi dapat mempengaruhi masyarakat melalui akses terhadap layanan energi. Kebijakan yang baik dapat mendukung akses energi bagi seluruh lapisan masyarakat.
4. Inovasi teknologi, pemberdayaan energi bersih dan konservasi sumber daya energi: Kebijakan energi mendukung transisi menuju sumber daya energi bersih yang lebih aman bagi lingkungan dengan adopsi teknologi baru untuk produksi, penyimpanan, dan distribusi energi yang lebih efisien. Ini membantu mengurangi emisi polutan dan kontribusi terhadap perubahan iklim global. Kebijakan energi juga berperan dalam mengelola sumber daya alam yang terbatas. Dengan mempromosikan penggunaan yang bijaksana dan efisien, kebijakan energi membantu mencegah penggunaan sumber daya energi yang berlebihan.
5. Rencana jangka panjang pembangunan: Kebijakan energi membantu merumuskan rencana jangka panjang untuk memenuhi kebutuhan energi saat ini dan masa depan. Ini memastikan bahwa negara memiliki strategi yang terencana dengan baik untuk mendukung keberlanjutan energi, termasuk kerjasama perdagangan energi, diplomasi energi, dan kerjasama industri energi antar negara dalam pengembangan sumber daya energi

Secara keseluruhan, kebijakan energi berperan dalam mengatur, mengarahkan, dan mengoptimalkan pengelolaan sumber daya energi agar sesuai dengan tujuan pembangunan, ekonomi, dan sosial suatu negara atau wilayah. Di Indonesia sendiri, standar dan regulasi konservasi energi telah mengalami perkembangan dari tahun ke tahun dan tertuang dalam standar dan peraturan baku yang wajib diikuti oleh seluruh pihak yang

terkait. Berikut adalah perkembangan regulasi dan standar konservasi energi di Indonesia.

Tabel 6.1. Perkembangan regulasi konservasi energi di Indonesia

Tahun	Regulasi Konservasi Energi
1982	Inpres No. 9 Tahun 1982 tentang Konservasi Energi
2007	UU No.30 Tahun 2007 tentang Energi
2009	PP No.70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi
2011	InPres No.13 Tahun 2011 tentang Penghematan Energi dan Air
	PerPres No.61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca
	SNI 6196:2011 tentang Prosedur Audit Energi pada Selubung Bangunan
	SNI 6197:2011 tentang Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan
	SNI 6389:2011 tentang Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung
	SNI 6390:2011 tentang Konservasi Energi Sistem Tata Udara pada Bangunan Gedung
2012	PerMen ESDM No.14 Tahun 2012 tentang Manajemen Energi
	PerMen ESDM No.15 Tahun 2012 tentang Penghematan Penggunaan Air Tanah
	Pergub DKI Jakarta No.38 Tahun 2012 tentang Bangunan Gedung Hijau
2013	PerMen ESDM No.01/2013 tentang Pengendalian Penggunaan Bahan Bakar Minyak
2014	Permen ESDM No.18 Tahun 2014 tentang Pembubuhan Label Tanda Hemat Energi Untuk Lampu Swabalast
	PP No.79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional
2015	PerPres No.38 Tahun 2015 tentang Kerjasama Pemerintah dengan Badan Usaha dalam Penyediaan Infrastruktur (termasuk infrastruktur tentang konservasi energi)

Tahun	Regulasi Konservasi Energi
	KepMen Ketenagakerjaan No. 80 Tahun 2015 tentang Penetapan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia pada Jabatan Kerja Manajer Energi di Industri dan Bangunan
	Permen PUPR No. 02/PRT/M/2015 tentang Bangunan Gedung Hijau
	Permen ESDM No. 41 Tahun 2015 tentang Pemberlakuan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia Kategori Jasa Profesional, Ilmiah dan Teknis Golongan Pokok Jasa Profesional, Ilmiah dan Teknis Lainnya pada Jabatan Kerja Manajer Energi di Industri dan Bangunan Gedung
2017	PerPres No.22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional
	Permen ESDM No.41 Tahun 2017 tentang Perubahan Kedua Permen ESDM No. 28/2016 atas Tarif Tenaga Listrik Yang Disediakan Oleh Perusahaan Listrik Negara (Persero)
	Permen ESDM No.57 Tahun 2017 tentang Penerapan SKEM dan Pencantuman Label Tanda Hemat Energi untuk AC
2018	SNI ISO 817:2018 tentang Refrigeran-Penamaan dan Klasifikasi Keamanan
	SNI 6500:2018 tentang Sistem Refrigerasi Instalasi Tetap Persyaratan Keamanan dan Lingkungan Hidup
	SNI 8476:2018 tentang Metode Penilaian dan Pengujian terhadap Kinerja Pendingin Air Sejuk dengan Sistem Kompresi Uap
	KepMen Ketenagakerjaan No.53 Tahun 2018 tentang Penetapan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia bidang Audit Energi
2023	PP No.33 Tahun 2023 tentang Konservasi Energi

(Sumber : Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2018, 2019, 2020)

Tabel 6.2. Standar konservasi energi di Indonesia

Komponen	Standar yang Digunakan
Standar Sistem Manajemen Energi	SNI ISO 50001:2018 tentang Sistem Manajemen Energi-Persyaratan dengan pedoman penggunaan
	SNI ISO 50002:2014 tentang Audit Energi-Persyaratan dengan panduan penggunaan
	SNI ISO 50006:2014 tentang Mengukur Kinerja Energi dengan menggunakan Baseline Energi (EnB) dan Indikator Kinerja Energi (EnPI)-Prinsip umum dan pedoman
	SNI ISO 50015:2014 tentang Sistem manajemen energi-Pengukuran dan verifikasi kinerja energi organisasi-Prinsip dan panduan umum
Standar Kompetensi Kerja	Kepmen Ketenagakerjaan No.80 Tahun 2015 tentang Penetapan SKKNI pada Jabatan Kerja Manajer Energi di Industri dan Bangunan Bangunan
	Kepmen Ketenagakerjaan No.53 Tahun 2018 tentang Penetapan SKKNI Bidang Audit Energi
	Kepmen Ketenagakerjaan No.223 Tahun 2020 tentang Penetapan SKKNI Bidang Pengukuran dan Verifikasi Kinerja Energi
Standar Efisiensi Energi Pada Bangunan	SNI 6196:2011 tentang Prosedur Audit Energi pada Selubung Bangunan
	SNI 6197:2011 tentang Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan
	SNI 6389-2011 tentang Konservasi Energi Selubung Bangunan pada

Komponen	Standar yang Digunakan
	Bangunan Gedung
	SNI 6390-2011 tentang Konservasi Energi Sistem Tata Udara pada Bangunan Gedung
	SNI ISO 817:2018 tentang Refrigeran Penamaan dan Klasifikasi Keamanan
	SNI 6500:2018 tentang Sistem Refrigerasi Instalasi Tetap-Persyaratan Keamanan dan Lingkungan Hidup
	SNI 8476:2018 tentang Metode Penilaian dan Pengujian terhadap Kinerja Pendingin Air Sejuk dengan Sistem Kompresi Uap

(Sumber : Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2020)

6.4.1 Pedoman dalam Konsumsi Energi

Kajian konsumsi energi menitikberatkan pada studi perilaku pengguna sumber energi dalam pemakaian energi. Pertanyaannya kemudian apakah sudah sesuai dengan kebutuhan atau tidak. Berikut ini adalah hal-hal yang perlu diperhatikan dalam proses konsumsi energi:

1. Komitmen: dukungan atas upaya konservasi energi baik secara internal (personal), maupun eksternal (misalnya: regulasi/kebijakan)
2. Audit energi: proses identifikasi konsumsi energi sehingga diketahui bagaimana pola penggunaan energi
3. Program: menentukan sasaran dan target (prioritas) terkait penggunaan energi secara efisien serta bagaimana membuat rencana untuk mencapai sasaran dan target tersebut

4. Sistem informasi: dilakukan tindakan sesuai dengan program yang dibuat
5. Pemantauan: monitoring dan evaluasi audit energi

Audit energi adalah proses **manajemen energi** dimana dilakukan evaluasi menyeluruh terhadap penggunaan energi suatu sistem, bangunan, atau proses dengan **tujuan mengidentifikasi potensi penghematan energi dan peningkatan efisiensi dalam konsumsi energi**. Berikut adalah langkah-langkah umum yang dilakukan dalam proses audit energi:

1. Pengumpulan Data dan Informasi:
Mulailah dengan mengumpulkan data dan informasi terkait sistem atau bangunan yang akan diaudit. Ini termasuk data konsumsi energi, waktu operasi, ukuran peralatan, dan karakteristik operasional lainnya.
2. Identifikasi Tujuan dan Ruang Lingkup:
Tentukan tujuan dari audit energi dan batasan ruang lingkup. Apakah fokusnya pada bangunan, proses industri, atau sistem energi tertentu? Tentukan juga target penghematan energi yang ingin dicapai.
3. Pengenalan Terhadap Sistem:
Pelajari bagaimana sistem atau proses bekerja, termasuk peralatan, sirkuit energi, aliran proses, dan komponen lain yang terlibat dalam penggunaan energi.
4. Pengukuran dan Pemantauan:
Lakukan pengukuran langsung terhadap konsumsi energi, seperti listrik, gas, atau bahan bakar. Jika memungkinkan, lakukan pemantauan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang pola penggunaan energi.
5. Identifikasi Potensi Penghematan Energi:
Analisis data dan informasi yang dikumpulkan untuk mengidentifikasi area-area potensial yang dapat dioptimalkan untuk penghematan energi. Ini dapat

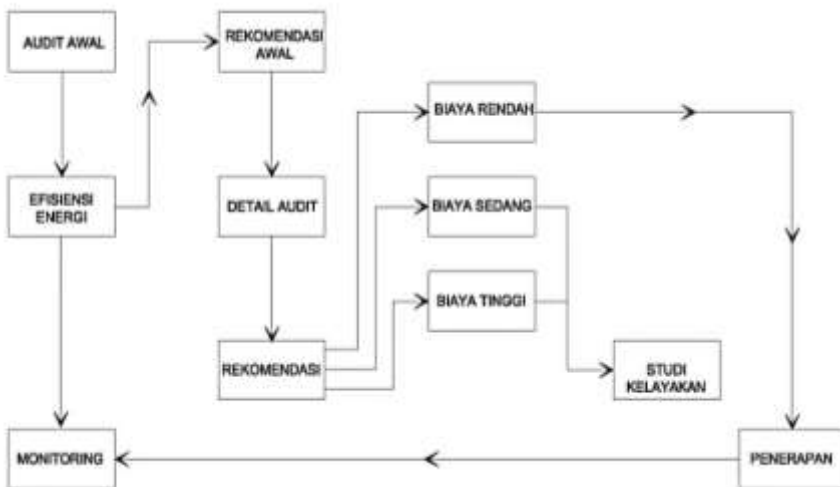
mencakup peralatan yang boros energi, proses yang tidak efisien, atau praktik yang dapat ditingkatkan.

6. Analisis Kinerja Energi:
Evaluasi kinerja energi saat ini berdasarkan standar industri atau benchmarking. Bandingkan konsumsi energi aktual dengan apa yang seharusnya terjadi dalam kondisi optimal.
7. Penilaian Teknologi dan Peralatan:
Tinjau peralatan dan teknologi yang digunakan dalam sistem. Identifikasi apakah ada peluang untuk mengganti peralatan dengan yang lebih efisien atau menerapkan teknologi terbaru.
8. Simulasi dan Permodelan:
Gunakan perangkat lunak simulasi untuk memodelkan berbagai skenario perubahan dalam sistem atau bangunan. Ini membantu memprediksi dampak dari perubahan tersebut terhadap penggunaan energi.
9. Evaluasi Keselamatan dan Kelayakan Ekonomi:
Pertimbangkan aspek keselamatan, kesehatan, dan lingkungan dalam proses audit. Selain itu, lakukan evaluasi ekonomi untuk memahami kelayakan finansial dari tindakan perbaikan.
10. Pengembangan Rencana Tindakan:
Berdasarkan temuan audit, buatlah rencana tindakan yang menguraikan langkah-langkah konkret untuk meningkatkan efisiensi energi. Rencana ini harus mencakup prioritas, estimasi biaya, potensi penghematan, dan jadwal pelaksanaan.
11. Implementasi dan Monitoring:
Implementasikan tindakan perbaikan sesuai rencana dan terus pantau hasilnya. Pengawasan yang baik membantu memastikan bahwa penghematan energi yang diharapkan tercapai.

12. Evaluasi Akhir dan Pelaporan:

Setelah implementasi tindakan perbaikan, lakukan evaluasi akhir untuk memeriksa apakah tujuan penghematan energi telah tercapai. Buat laporan audit energi yang mencakup temuan, rekomendasi, tindakan yang diambil, dan hasil yang dicapai.

Proses audit energi dapat bervariasi tergantung pada kompleksitas sistem yang diaudit, tetapi langkah-langkah di atas memberikan panduan umum tentang bagaimana melakukan audit energi. Secara garis besar, urutan proses audit energi dapat dilihat pada bagan berikut.



Gambar 6.2. Alur kerja audit energi

Pada Gambar 6.2 dapat dilihat bahwa proses audit energi diawali dengan audit awal (*preliminary audit*, **proses a, b, c, d**). Jika hasil dari audit awal mengatakan bahwa sistem tersebut efisien (kurang dari nilai **IKE/Intensitas Konsumsi Energi** → patokan/standar untuk mengklasifikasikan jenis penggunaan

konsumsi energi, apakah boros atau sesuai dengan standar, **proses e, f, g, h**), setelah itu dilakukan monitoring dan pelaporan (**proses k, l**). Tetapi, jika hasil audit awal mengatakan bahwa IKE sistem tersebut lebih besar dari standard, maka harus diberikan rekomendasi awal hingga mengeluarkan hasil apakah pemakaian energi listrik pada sistem tersebut *low cost, medium cost* atau *high cost*. Kemudian dilaksanakan audit rinci (*detail audit*) untuk mengetahui penggunaan energi secara terperinci dan akhirnya keluarlah rekomendasi dan pengelompokan pemakaian energi listrik pada sistem tersebut (**proses h, i, j, k dilakukan secara berulang**) hingga tercapai standar dan hasil dapat dilaporkan (**proses l**).

Dalam proses manajemen energi dikenal istilah Manajer Energi dan Auditor Energi. Manajer energi adalah orang yang diberi tugas dan tanggung jawab untuk mengoordinasikan penerapan manajemen energi di industri dan bangunan. Sertifikat kompetensi manajemen energi ditetapkan berdasarkan Peraturan Kementerian Ketenagakerjaan Nomor 80 Tahun 2015 tentang Penetapan SKKNI Jabatan Manajer Energi di Industri dan Bangunan Gedung. Sedangkan auditor energi adalah orang yang mempunyai kualifikasi sesuai standar kompetensi untuk melakukan audit energi. Sertifikat Kompetensi Auditor Energi ditetapkan berdasarkan Keputusan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 53 Tahun 2018 tentang Penetapan SKKNI Kategori Aktifitas Profesional, Ilmiah, dan Teknis Bidang Audit Energi. Di Indonesia terdapat enam Lembaga Sertifikasi Profesi untuk Manajer dan Auditor Energi yang telah mendapatkan lisensi dari Badan Nasional Sertifikasi Profesi (BNSP) Republik Indonesia (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020), yaitu:

1. Lembaga Sertifikasi Profesi (LSP) HAKE (Himpunan Ahli Konservasi Energi). LSP HAKE adalah lembaga pelaksana kegiatan sertifikasi profesi pertama di bidang manajemen energi

2. Lembaga Sertifikasi Profesi (LSP) BPSDM KESDM (Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral)
3. Lembaga Sertifikasi Profesi (LSP) Energi adalah lembaga independen yang didirikan oleh beberapa asosiasi perusahaan, asosiasi profesi dan pakar bidang Energi
4. Lembaga Sertifikasi Profesi Persemenan Indonesia (LSP-PI) adalah Lembaga yang mendapatkan lisensi untuk menyelenggarakan Sertifikasi Kompetensi Profesi Persemenan Indonesia.
5. Lembaga Sertifikasi Profesi (LSP) PT BENEFITA Indonesia merupakan perusahaan pionir penyedia jasa dan konsultasi bidang lingkungan hidup yang pertama berdiri.
6. Lembaga Sertifikasi Profesi (LSP) Energi Mandiri merupakan lembaga yang bertanggung jawab melaksanakan sertifikasi kompetensi untuk profesi di bidang Pertambangan, Panas Bumi, Konservasi Energi dan Migas.

		
LSP BPSPDM KESDM	LSP HAKE	LSP Energi
		
LSP Persemenan Indonesia	LSP PT BENEFITA Indonesia	LSP Energi Mandiri

Gambar 6.3. Lembaga Sertifikasi Profesi untuk Manajer dan Auditor Energi di Indonesia
(Sumber: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020)

SNI : ISO 50001:2018 merupakan salah satu standar nasional sekaligus internasional yang digunakan dalam proses manajemen energi dan sering juga sebagai **ISO 50001 Sistem Manajemen Energi/Energy Management System (EnMS)**. ISO 50001 Sistem Manajemen Energi dikeluarkan oleh *The International Organization for Standardization (ISO)*. Diwakili oleh ISO 50001, standar sistem manajemen energi telah diterapkan secara luas. Standar ini telah secara permanen mengubah kinerja energi berbagai organisasi di seluruh dunia, dengan memberi mereka alat strategis untuk menggunakan energi mereka secara lebih efisien dan efektif (Naden, 2018). Sejumlah besar literatur telah menyoroti bahwa peningkatan efisiensi energi yang signifikan

dan penghematan energi berbasis ISO 50001 dapat dicapai dengan penerapan sistem manajemen energi yang dilakukan secara berkelanjutan dalam jangka waktu panjang (Chiu dkk., 2012; Fiedler dan Mircea, 2012; Jovanović dkk., 2017; McKane dkk., 2017; Jin, Y., 2021).

ISO 50001 menggunakan model sistem manajemen dengan pendekatan siklus PDCA (*Plan, Do, Check, dan Action*) terkait kinerja energi (Jovanović, dan Filipović, 2016). Berikut ini adalah penjelasan langkah demi langkah PDCA.

1. *Plan* (Merencanakan)

Langkah ini menetapkan rencana strategis untuk mencapai tujuan dan mengidentifikasi metode yang akan digunakan untuk mencapai tujuan tersebut. Beberapa kegiatan yang berlangsung pada tahap ini diantaranya: pembentukan tim sistem manajemen energi, pelatihan sumber daya manusia, dan menetapkan peta jalan untuk pelaksanaan perencanaan tersebut.

2. *Do* (Melaksanakan)

Langkah ini merupakan implementasi dari rencana yang telah dikembangkan pada langkah sebelumnya. Selain itu juga dilakukan pengumpulan data yang menjadi dasar kegiatan dalam tahap *Check* dan *Action*.

3. *Check* (Memeriksa)

Langkah ini mencakup memeriksa dan meninjau kegiatan sebelumnya dan mempelajari hasil yang diperoleh selama pelaksanaan rencana.

4. *Action* (Melakukan Tindakan)

Langkah ini melibatkan pengambilan tindakan yang diperlukan berdasarkan hasil yang diperoleh. Secara umum ada dua jenis tindakan yang dilakukan, yaitu: tindakan korektif (tindakan berupa solusi apabila hasil yang dicapai tidak sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan) dan

tindakan standardisasi (tindakan membakukan praktik baik ketika hasil yang diharapkan telah diperoleh).

Siklus PDCA merupakan siklus yang berkesinambungan. Dengan kata lain, organisasi akan sering mengulangi langkah-langkah ini pada interval tertentu atau dalam kondisi lain yang diperlukan. Melihat lebih jauh ke depan, siklus PDCA juga mengikuti diagram alur audit energi sebagai proses penilaian konsumsi energi suatu sistem secara menyeluruh dengan tujuan menentukan potensi penghematan energi dan peningkatan efisiensi dalam konsumsi energi.

Pada hakikatnya tidak semua organisasi wajib melakukan sertifikasi ISO 50001 Sistem Manajemen Energi. Kendati demikian, organisasi-organisasi pada tiap sektor yang berinisiatif melakukan sertifikasi ini akan memperoleh berbagai keuntungan dan manfaat dalam kegiatan operasionalnya. Pendekatan sistematis PDCA pada ISO 50001 mengarah ke peningkatan efisiensi energi (Serkindo, 2018; Mutuistitute, 2022). Peranan ISO 5001 terhadap operasional organisasi:

1. ISO 50001 mendukung pengembangan kebijakan energi dan berkontribusi pada struktur perencanaan energi untuk mencapai tujuan organisasi.
2. ISO 50001 memfasilitasi partisipasi manajemen (komitmen dan kesepakatan) dan kontribusi aktif terhadap tujuan penggunaan energi.
3. Sistem manajemen energi berdasarkan ISO 50001 menciptakan kesadaran dan komitmen tentang energi (konsumsi, penggunaan, efisiensi, sumber terbarukan) dalam organisasi.
4. ISO 50001 meningkatkan kemampuan organisasi untuk mengelola risiko energi terkait dengan dampak yang mungkin terjadi dengan lebih efektif dan efisien.

5. ISO 50001 memperkuat daya saing organisasi dan mengurangi kerentanan terhadap fluktuasi harga energi dan ketersediaan energi.
6. ISO 50001 membantu menetapkan prosedur *benchmarking*.
7. Sistem manajemen energi berbasis ISO 50001 memungkinkan organisasi memperoleh visibilitas eksternal yang dapat diandalkan dalam tindakan penghematan energi.
8. Sistem manajemen energi berdasarkan ISO 50001 memungkinkan pemahaman yang lebih baik antara perkiraan pasokan dan permintaan energi.
9. Sistem manajemen energi berbasis ISO 50001 mengurangi biaya energi dan meningkatkan profitabilitas.

Berikut adalah beberapa Lembaga Sertifikasi Organisasi untuk ISO 50001 Sistem Manajemen Energi di Indonesia (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020):

1. PT. Sucofindo
2. PT. TUV SUD
3. PT. SGS
4. PT. Bureau Veritas
5. PT. Llyod's Register
6. PT. TUV Rheinland
7. KAN
8. PT. BSI Group
9. DQS Certification
10. PT. TUV NORD
11. PT. URS Services
12. NQA Indonesia

Meskipun sistem manajemen energi sudah banyak dilakukan di berbagai sektor, nyatanya masih ditemukan

penggunaan energi yang belum efisien sehingga perlu dilakukan monitoring berkelanjutan. Sebagai gambaran, berikut adalah lampiran data potensi penghematan energi di berbagai sektor termasuk sektor rumah tangga, sektor industri, sektor komersial, sektor transportasi, dan sektor pembangkit.

Tabel 6.3. Potensi penghematan energi di berbagai sektor

Potensi Penghematan Energi					
Efisiensi Energi Pengguna Energi (Demand Side)					
Konsumsi Energi 2015 811 juta SBM	 Sektor Industri	310 juta SBM	42 juta SBM	149 juta SBM	309 juta SBM
	 Sektor Komersial	334 juta SBM	43 juta SBM	151 juta SBM	391 juta SBM
	 Sektor Rumah Tangga	5 - 26% *	12,5 - 16,5 %*	0,3 - 26,3%**	3,2 - 18,9% ***
	 Sektor Transportasi	432 juta SBM	437 juta SBM	0,5-2% ****	
Konsumsi Energi 2018 820 juta SBM					
Potensi Penghematan Energi					
Proyeksi Konsumsi Energi Tahun 2025					
Tingkat Penghematan Energi Tahun 2025 217 juta SBM (4%)					

* Intensitas energi primer adalah total pasokan energi primer per unit produk domestik bruto dengan satuan Setara Barel Minyak (SBM) per miliar rupiah.
(Sumber : Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020)

DAFTAR PUSTAKA

- Biemolt, J., dkk. 2020. *Beyond Lithium-Based Batteries*. Materials (Basel) 13(2): 425. doi: 10.3390/ma13020425
- Bonsor, K. 2001. *How Hydropower Plants Work*. <https://science.howstuffworks.com/environmental/energy/hydropower-plant1.htm>. (diakses 23 Agustus 2023)
- Chiu, T.Y., Lo, S.L., dan Tsai, Y.Y. 2012. *Establishing an integration-energy-practice model for improving energy performance indicators in ISO 50001 energy management systems*. Energies 5, 5324–5339. <https://doi.org/10.3390/en5125324>
- Davies, C. 2023. *A second life for electric vehicle batteries is a challenge for the industry*. <https://www.ft.com/content/46705c1e-215d-434c-a8eb-1ae3201f61b0>. (diakses 23 Agustus 2023)
- Doll, S. 2023. *CATL dominates global EV battery market for sixth straight year*. <https://electrek.co/2023/02/08/catl-dominates-global-ev-battery-market-sixth-straight-year/>. (diakses 23 Agustus 2023)
- Fiedler, T., dan Mircea, P.M. 2012. *Energy management systems according to the ISO 50001 standard - Challenges and benefits*. 2012 Int. Conf. Appl. Theor. Electr. ICATE 2012 - Proc. <https://doi.org/10.1109/ICATE.2012.6403411>
- Jin, Y., dkk. 2021. *An energy management maturity model for China: Linking ISO 50001:2018 and domestic practices*. Journal of Cleaner Production Volume 290, 125168. ISSN 0959-6526. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125168>
- Jovanović, B. dan Filipović, J. 2016. *ISO 50001 standard-based energy management maturity model – proposal and validation in industry*. Journal of Cleaner Production Volume 112, Part 4, Pages 2744-2755. ISSN 0959-6526. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.023>

- Jovanović, B., Filipović, J., dan Bakić, V. 2017. *Energy management system implementation in Serbian manufacturing - Plan-Do-Check-Act cycle approach*. J. Clean. Prod. 162, 1144–1156. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.140>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2018. *Data dan Informasi Konservasi Energi 2018 (Edisi II)*. Direktorat Konservasi Energi - Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2019. *Kebijakan Efisiensi Energi dan Implementasi InPres No.13 Tahun 2011 Bagi Pemerintah Daerah*. Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2020. *Data dan Informasi Konservasi Energi 2020 (Edisi: Juni)*. Direktorat Konservasi Energi - Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi
- McKane, A., dkk. 2017. *Predicting the quantifiable impacts of ISO 50001 on climate change mitigation*. Energy Policy 107, 278–288. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.04.049>
- Mutuinstitute. 2022. Mengenal Apa itu ISO 5001 Sistem Manajemen Energi. <https://mutuinstitute.com/post/iso-50001-sistem-manajemen-energi/>. (diakses 04 September 2023)
- Naden, C. 2018. *ISO 50001 for energy management gets a boost*. <https://www.iso.org/news/ref2316.html>. (diakses 23 Agustus 2023)
- Prihandana, R. dan Hendroko, R. 2008. *Energi Hijau: Pilihan Bijak Menuju Negeri Mandiri Energi*. Jakarta: Penebar Swadaya
- Ramström, O., 2019. *Scientific Background on the Nobel Prize in Chemistry 2019: LITHIUM-ION BATTERIES*. Sweden: THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

- Santoso, Alb. J (Ed.). 2009. *Konservasi Energi: (Suatu Tinjauan dari Aspek Teknologi dan Ekonomi Energi)*. Yogyakarta: Penerbit Universitas Atma Jaya Yogyakarta
- Satoh, R. 2023. *Panasonic to boost EV battery output at Tesla's Gigafactory Nevada*. <https://asia.nikkei.com/Business/Automobiles/Panasonic-to-boost-EV-battery-output-at-Tesla-s-Gigafactory-Nevada>. (diakses 23 Agustus 2023)
- Serkindo. 2018. *ISO 50001:2018*. <https://serkindo.com/iso-50001-2011/>. (diakses 04 September 2023)
- Tesla. 2023. *Continuing Our Investment in Nevada*. <https://www.tesla.com/blog/continuing-our-investment-nevada>. (diakses 23 Agustus 2023)
- Xing W., dkk. 2018. *Carbon-encapsulated CoSe nanoparticles derived from metal-organic frameworks as advanced cathode material for Al-ion battery*. J. Power Sources 401:6–12. doi: 10.1016/j.jpowsour.2018.08.079.

BAB 7

TEKNOLOGI INDUSTRI

Oleh Devi Rahmayanti

7.1 Pendahuluan

Teknologi industri merupakan cara, metode atau teknologi dalam melakukan suatu kegiatan produksi yang menjadikan aktifitas lebih sederhana, lebih cepat, lebih tepat dan lebih efisien. Teknologi industri umumnya terkait dengan kegiatan optimasi industri, sumber daya manusia dan perilakunya, proses pelaksanaan industri, tata cara dan prosedur dalam perencanaan industri, evaluasi dan presentasi.

Teknologi industri berkaitan erat dengan proses perencanaan, perbaikan dan instalasi sistem secara terintegrasi termasuk sumber daya manusia, material, peralatan yang dipergunakan, segala macam informasi, serta energi yang dibangun atas pengetahuan dan keahlian khusus bidang matematika, fisika, pemrograman komputer, serta ilmu sosial dan ekonomi yang berkolaborasi dan bersinergi dengan metode analisis rekayasa dan desain, untuk menetapkan, memprediksikan serta mengevaluasi hasil yang ingin dicapai oleh suatu sistem. Teknologi industri mampu memberikan banyak manfaat antara lain :

1. Pemangkasan biaya. Penerapan hasil analisis data yang didapatkan melalui teknologi industri, memungkinkan perusahaan melakukan otomatisasi, pemangkasan tugas yang dilakukan oleh manusia, memanfaatkan waktu dengan efisien, proses yang lebih praktis dan ekonomis, sehingga dapat memangkas biaya produksi untuk selanjutnya meningkatkan keuntungan perusahaan.

2. Proses produksi yang dilakukan secara otomatis sudah pasti memerlukan waktu yang lebih singkat daripada proses yang dilakukan secara manual.
3. Otomatisasi yang dilakukan pada teknologi industri, sudah pasti menghasilkan produk yang lebih teliti, presisi, semakin akurat dalam mempertahankan kualitas produk.

Saat ini, perkembangan teknologi industri mengarah pada sistem dan aplikasi komputer, otomatisasi, digitalisasi, pemrograman komputer hingga *artificial intelligence*. Perkembangan dunia digital dan internet berpengaruh terhadap perkembangan dunia industri. Industri yang tadinya dijalankan secara konvensional seketika berubah baik dalam hal produktivitas, efisiensi hingga tata cara melayani konsumen. Kemudahan dalam mendapatkan akses, data, informasi dan lain sebagainya membawa perubahan besar pada efektifitas dan efisiensi proses produksi, yang selanjutnya berdampak terhadap faktor ekonomi.

7.2 Jenis-jenis Teknologi Industri

Menurut fungsinya, teknologi industri dapat dikelompokkan dalam beberapa jenis, yang kesemuanya memberikan banyak keuntungan pada kehidupan manusia, antara lain pengurangan biaya produksi, meningkatnya produktivitas kerja, meningkatnya kualitas proses serta tingkat kepresisian (baik produk, waktu, biaya dan nilai ekonomi).

7.2.1 Otomatisasi

Di dalam dunia teknologi industri, otomatisasi merupakan sistem otomatis, tanpa memerlukan campur tangan manusia atau operator saat menjalankan tugasnya, terintegrasi dengan teknologi digital dan internet. KBBI menyampaikan bahwa Otomatisasi adalah penggantian tenaga manusia dengan tenaga mesin yang secara otomatis melakukan dan mengatur pekerjaan sehingga

tidak memerlukan lagi pengawasan manusia (dalam industri dan sebagainya). Lebih jauh, otomatisasi hadir untuk meningkatkan produktivitas berkat kemampuannya mengerjakan sesuatu yang berulang dengan standarisasi hasil dan kesalahan (error) yang terukur.

Otomatisasi diklasifikasikan dalam 3 tipe, yaitu :

1. Fixed Automation merupakan suatu sistem dimana step dan urutan dalam memproses suatu operasi ditetapkan oleh konfigurasi peralatan. Ciri-cirinya adalah investasi awal tinggi untuk peralatan *custom-engineered*, nilai produksi tinggi, secara relatif tidak fleksibel dalam mengakkomodasi perubahan produk.
2. Programmable Automation, adalah peralatan yang dirancang dengan kemampuan untuk merubah urutan operasi dan mengakkomodasi bentuk wujud produk yang berbeda. Karakteristiknya adalah investasi tinggi di dalam peralatan, nilai produksi rendah sehubungan dengan otomasi yang ditetapkan, bentuk produk lebih fleksibel, layak diproduksi.
3. Flexible Automation, merupakan kemampuan untuk memproduksi berbagai produk dengan *no-less-time* (tidak ada waktu yang hilang) saat sistem kerja berubah dari produk yang satu ke produk yang berikutnya. Ciri khasnya adalah investasi tinggi untuk peralatan *custom-engineered*, mampu memproduksi campuran variabel produk yang berlanjut, nilai produksi medium, fleksibel dalam mendesain produk.

Contoh otomatisasi antara lain otomatisasi perkantoran (rapat melalui zoom, chat bot, pengiriman surat menyurat melalui email, video converence, dan lain sebagainya).

7.2.2 Data dan Analitik

Data merupakan serangkaian informasi yang dapat dipergunakan untuk menggambarkan atau menunjukkan suatu keadaan dan kondisi atas sesuatu. Melalui analitik yang tepat, data dapat memberikan gambaran yang telah terjadi sekaligus dapat memprediksikan apa kiranya yang akan terjadi nanti. Prediksi melalui analisis mendalam terhadap data yang dimiliki, dapat menentukan arah dan tujuan suatu industri serta tantangan dan hambatan yang mungkin timbul di kemudian hari. Dengan analitik yang tepat terhadap data yang dimiliki, tantangan dan hambatan ini dapat diantisipasi agar tidak merugikan, bahkan lebih jauh lagi, dapat diolah menjadi peluang untuk meraih dampak positif yang menguntungkan. Kemahiran dalam mengelompokkan data serta melakukan analisis yang tepat, pasti membutuhkan pengetahuan dan kemahiran dalam bidang ilmu komputer.

7.2.3 Kontrol Numerik

Kontrol numerik (*Numerical Control = NC*) merupakan suatu sistem otomatisasi yang terprogram, dengan menggerakkan mekanik suatu perkakas mesin atau peralatan lain dikendalikan oleh suatu program dalam bentuk kode (data alfanumerik). Dimana data alfanumerik ini dinyatakan dalam posisi relatif antara kepala kerja (*workhead*) dan benda kerja (*workpart*) yang dilengkapi dengan perintah serta instruksi kerja lain untuk dipergunakan pada pengoperasian mesin. Pada Numerical Control, data program perintah dan instruksi disimpan dalam pita berlubang.



Gambar 7.1. a) Pita Berlubang pada NC. b) Microcontroller pada CNS. Sumber : mellowpine.com/cnc/numerical-control

Numerical Control yang ada saat ini sudah berkembang ke dalam bentuk MCU (*MicroController Unit*) dan dikenal dengan sebutan *Computer Numerical Control* (CNC). Data program perintah dan instruksi kerja disimpan dalam bentuk software program yang ditanamkan di dalam mikrokontroler yang dapat mengkonversikan setiap program instruksi kerja tersebut ke dalam bentuk perintah agar peralatan mekanik dapat melaksanakan proses kerja sesuai desain.

7.2.4 Cyber-Physical System

E. A. Lee dan S. A. Seshia mendefinisikan *Cyber-Physical System* sebagai model yang terdiri dari 3 subsistem utama yaitu subsistem fisik, komputasi dan jaringan. Sementara itu, Rajeev Alur dalam *Principles of Cyber-Physical Systems* menyatakan bahwa *Cyber-Physical System* merupakan sekumpulan perangkat komputasi yang berinteraksi dan saling berkomunikasi dengan sistem fisik melalui perangkat sensor dan aktuator berumpanbalik.

Cyber-Physical System sangat bermanfaat dan membantu tugas manusia, utamanya dalam pengumpulan informasi secara utuh dan holistik, pengambilan keputusan secara cepat dalam keadaan mendesak, dan bisa pula menangani an mengganti tugas manusia yang berat dan beresiko tinggi. Contoh *Cyber-Physical System* antara lain, *Smart City*, Sistem kendaraan dengan '*drive by wire*', artinya kendali pada kendaraan tidak langsung oleh manusia

namun dibantu oleh perangkat komputer, kendaraan dengan sistem kecerdasan, sistem kendali lalu lintas yang interaktif, sistem pengaturan dan pemantauan limbah perusahaan, dan lain sebagainya.

7.2.5 Manufaktur Aditif

Manufaktur aditif merupakan sebuah proses untuk membuat sebuah objek dengan cara membangunnya selapis demi selapis pada satu waktu. Pada umumnya, manufaktur aditif mengarah pada percetakan 3 Dimensi. Proses ini dikenal pula sebagai *rapid prototyping* karena kemampuannya membuat objek dalam waktu singkat, tanpa memerlukan tahap persiapan khusus, serta biaya yang relatif lebih rendah.

Dalam manufaktur aditif, seseorang menyiapkan desain terlebih dahulu dengan bantuan komputer, atau melalui proses pemindaian (*scanning*) terhadap objek yang ingin dicetak. Selanjutnya, software program akan menterjemahkan desain ke dalam kerangka lapis demi lapis untuk dikerjakan oleh mesin manufaktur aditif. Dengan kata lain, manufaktur aditif merupakan wujud perubahan langsung dari bentuk digital ke dalam bentuk objek fisik.

Proses manufaktur aditif dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya :

1. Dengan bantuan nosel, lapisan bahan yang berurutan ditata dan diletakkan secara berurutan satu sama lain hingga objek yang diinginkan terbentuk.
2. Dengan menggunakan bubuk yang biasanya berasal dari logam, dengan cara mengisi bidang dengan bubuk ini, lalu bagian bubuk yang diinginkan dilelehkan mengikuti desain hingga membentuk lapisan padat lapis demi lapis. Setelah proses ini berakhir, bubuk yang tidak dilelehkan, akan terlepas dari objek dengan menggunakan bantuan laser atau

berkas elektron, atau dengan bantuan polimer untuk menyatukan lapisan bubuk.

Pada manufaktur konvensional, seluruh rantai pasok bisa memakan waktu yang sangat lama, bahkan berbulan-bulan, yang sudah pasti membutuhkan investasi yang sangat besar, sehingga keuntungan hanya bisa diraih jika memproduksi objek dalam jumlah besar. Tidak demikian bagi manufaktur adaptif, dimana seseorang yang ingin mewujudkan desain yang telah dirancang, cukup mengirimkan desainnya dalam bentuk digital melalui jaringan komputer, dan objek yang diinginkan segera terwujud. Hal ini tentu saja telah memangkas waktu dan biaya. Pada manufaktur adaptif dapat pula memproduksi objek dengan geometri yang rumit dalam ukuran yang kecil.

Contoh manufaktur adaptif antara lain penyesuaian produk prostetik atau implan yang lebih mudah dan hasil yang lebih baik bagi pasien, alat bantu dengar yang disesuaikan pada telinga masing-masing orang.

7.3 Revolusi Industri 4.0

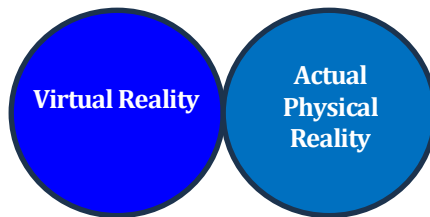
Berbagai kemudahan yang diwujudkan melalui teknologi industri mendorong perkembangan yang sangat pesat hingga lahirnya revolusi industri 4.0. Ditandai dengan cyber-physical system yang dikendalikan melalui jaringan *wireless* yang lebih luas yaitu internet, yang menghubungkan manusia, data, mesin dan berbagai peralatan dari seluruh penjuru dunia. Revolusi industri 4.0 ditandai oleh kemampuan dan kesiapan bersinergi dengan dunia digital. Pilar utama dalam digitalisasi industri antara lain :

1. *Internet of Things* (IoT). Didefinisikan sebagai interkoneksi yang sangat besar, baik antar perangkat kecil, mesin-mesin, termasuk manusia, dimana dengan adanya jaringan yang sangat berhubungan ini, memungkinkan terjadinya komunikasi antara benda-benda, manusia-benda, dan antar

manusia. Sebagai contoh interkoneksi ini, misalnya, jika alarm pagi berbunyi, maka lampu kamar akan menyala secara otomatis, *coffe maker* memberikan notifikasi bahwa pembuatan kopi segera dimasak, *water heater* di kamar mandi telah menyiapkan diri agar air hangat segera tersedia saat seseorang berada di kamar mandi. Bahkan, IoT mampu memberikan laporan perjalanan menuju kantor, dan memberikan laporan bahwa jalanan macet sedang dilalui, sehingga dapat memperkirakan bahwa kedatangan di kantor lebih lambat 15 menit.

2. Big Data, merupakan serangkaian proses yang berisi data dalam jumlah yang sangat besar dan kompleks sehingga tidak lagi bisa diproses melalui pengolahan data konvensional. Big data dapat memberikan berbagai kemudahan dalam berbagai proses kehidupan. Sebagai contoh, aplikasi GPS (*Global Positioning System*), aplikasi Go-Jek dengan big data yang dimiliki, proses dan kinerja back-end yang kolaboratif, mampu memberikan kemudahan pada kehidupan, bahkan tidak hanya dalam hal transportasi, namun lebih jauh, hingga pada bidang kuliner dan pembelanjaan barang kebutuhan lainnya, dimana Go-Jek bekerja sama dengan beberapa store di Indonesia. Contoh berikutnya adalah berbagai aplikasi yang disediakan oleh pemerintah Indonesia dengan memanfaatkan big data untuk berbagai kemudahan bagi stakeholder di lingkungan masing-masing. Sebagai contoh aplikasi eFilling untuk pelaporan pajak online, aplikasi 1-Dikti, yang berisi 14 sub aplikasi yang ditangani oleh Ristek Dikti.
3. *Augmented Reality* atau biasa disebut AR, yang merupakan teknologi yang dihasilkan dari proses penggabungan secara real-time, benda maya dua dimensi atau tiga dimensi dalam bentuk konten digital yang dihasilkan oleh komputer ke dalam dunia nyata. Sebelumnya, pernah dikenal *Virtual*

Reality (VR), dimana VR mengacu pada sebuah lingkungan/keadaan yang dihasilkan dan dirancang melalui program komputer, sepenuhnya sebagai dunia palsu. Dunia palsu yang diciptakan ini, bisa jadi adalah benar-benar dunia imajinasi, seperti dunia game. Namun bisa juga berdasarkan situasi dunia real, seperti tourist spot. Namun, untuk bisa menikmati VR, dibutuhkan perangkat khusus, seperti VR Headsets, kacamata VR atau Google Cardboard. Teknologi VR berupaya memberikan pengalaman dan stimulus perseptual yang mirip dengan yang didapatkan dalam dunia nyata, memberikan kesan dan perasaan kepada pengguna, seolah-olah dirinya hadir di lingkungan virtual tersebut. Gambar 7.2 berikut menunjukkan hubungan antara VR dengan realitas fisik yang sebenarnya (*Actual Physical Reality*), dimana VR berbeda dari *actual physical reality*, namun ada sedikit hubungan bag user yang menggunakan perangkat.

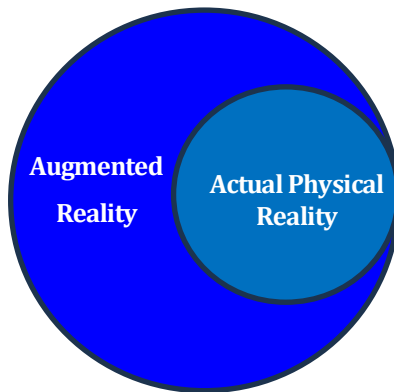


Gambar 7.2. Hubungan antara VR dengan Actual Physical Reality

Sumber : Jitendra Kumar Verma, Sudip Paul, 2022

VR banyak dipergunakan untuk pengobatan gangguan mental karena dapat dengan mudah mensimulasikan hal-hal yang tidak berwujud. Perkembangan berikutnya, VR dapat memfasilitasi pariwisata secara virtual.

Jika pada VR menciptakan dunia buatan, pada *Augmented Reality* diambil dari lingkungan nyata pengguna dengan menambahkan detail tambahan untuk melengkapi dan meningkatkan pengalaman pengguna. Dengan demikian, AR memberikan pengalaman semi imersif dengan menambahkan konten yang dihasilkan oleh komputer pada lingkungan aktual pengguna. Dapat dipergunakan sebagai contoh AR, adalah game *Pokemon Go*. Gambar 7.3 menunjukkan hubungan antara AR dengan *Actual Physical Reality*.



Gambar 7.3. Hubungan antara AR dengan Actual Physical Reality

Sumber : Jitendra Kumar Verma, Sudip Paul, 2022

Karena AR lebih mirip dengan realitas fisik aktual, sehingga banyak dimanfaatkan di dalam bidang kedokteran. Melalui teknologi AR, ahli bedah dapat melihat organ yang ditumpangkan untuk mendapatkan persepsi prosedur operasi yang lebih realistis. Suatu studi pada mahasiswa keperawatan menunjukkan bahwa dengan menggunakan visualisasi AR, mahasiswa dapat lebih mengerti fungsi organ dalam dibandingkan pembelajaran konvensional melalui gambar,

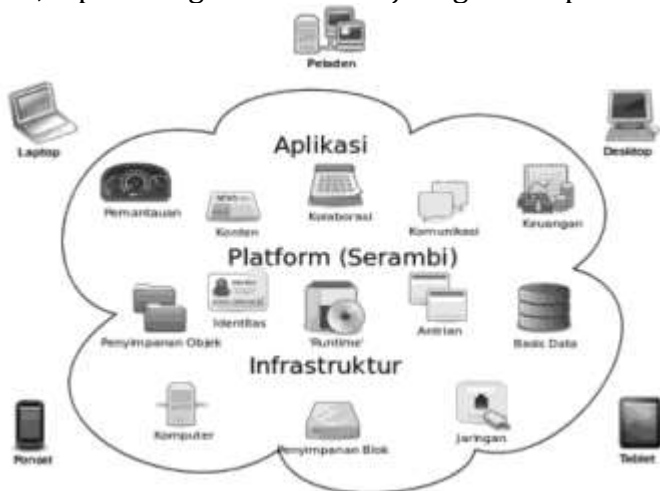
video atau patung model. AR juga dapat diimplementasikan pada dunia pariwisata, yaitu melengkapi pengalaman wisatawan dengan memberikan pengalaman trivia atau latar belakang yang menarik saat mereka mengunjungi suatu tempat.

4. *Cyber Security*, merupakan suatu usaha untuk melindungi sistem komputer dari serangan. Menurut ITU-T (*International Telecommunication Unit*), *cyber security* adalah aktivitas yang terdiri dari kebijakan serta konsep pengamanan terhadap aset organisasi. Bentuk perlindungan yang dilakukan dapat berbentuk *software pemrograman*, aplikasi atau apapun yang dilakukan dalam mengamankan sistem komputerisasi. *Cyber security* mengandung 3 konsep, yaitu :

- a. *Confidentially* (rahasia), yaitu membatasi akses hanya kalangan tertentu yang berkepentingan, bisa dilakukan dengan mengaktifkan autentifikasi dua faktor (*two factor authentication*) yang dilakukan dengan memasukkan password disusul dengan memasukkan kode khusus yang dikirimkan pada piranti tertentu.
- b. *Integrity* (integritas), dengan penyampaian informasi dengan sebenar-benarnya kepada pengguna, secara tepat dan akurat. Keamanan terhadap kebocoran data bisa dilakukan dengan enkripsi, tanda tangan digital, atau *certificate authority* (ca)
- c. *Availability* (ketersediaan) data dan informasi, bermaksud menyediakan data dan informasi valid kepada pengguna tepat saat informasi dan data tersebut dibutuhkan.

Terdapat beberapa jenis ancaman terhadap *cyber security*, yaitu *cyber crime* (transaksi ilegal, manipulasi data, perusakan sistem komputer), *cyber attack* (mencuri data dan menciptakan kerusakan), *cyber terrorism* (menimbulkan rasa takut dan kepanikan).

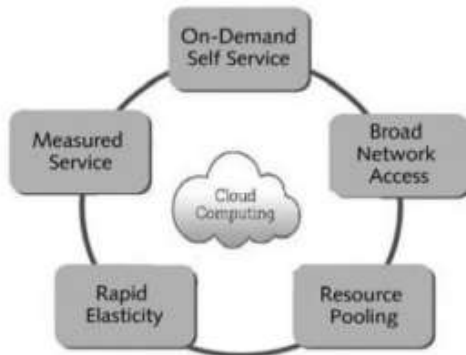
5. *Artificial Intelligent* atau AI merupakan sistem pemrograman yang dirancang dengan menghasilkan software untuk meniru kecerdasan manusia, sehingga sering kali dikatakan sebagai kecerdasan buatan. AI dirancang untuk mampu melakukan pemikiran seperti manusia, memiliki kemampuan otomatisasi aktif seperti memecahkan masalah dan mengambil keputusan, melakukan aktivitas fisik seperti manusia. AI bekerja dengan cara mengamati perilaku cerdas di lingkungannya dengan menganalisis lalu mengambil tindakan dalam tingkat otonomi tertentu untuk mencapai tujuan tertentu.
6. *Cloud Computing*, merupakan suatu teknologi yang menitikberatkan internet sebagai pusat pengolahan dan pengelolaan data dan aplikasi. *Cloud Computing* merupakan suatu teknik komputasi pada jaringan komputer, dimana kapasitas informasi dan teknologinya dideskripsikan sebagai 'layanan' sehingga pengguna dapat mengaksesnya melalui internet, seperti fungsi *cloud* dalam jaringan komputer.



Gambar 7.4. Konsep *Cloud Computing*

Sumber : Riko Herwanto, Onno W. Purbo, RZ. Abd. Aziz. 2021.

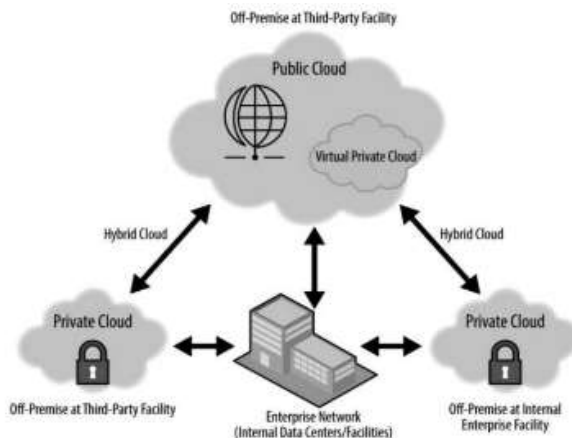
Secara konseptual, ciri utama *Cloud Computing* adalah *on demand service*, *broad band network access*, *resourcess pooling*, *rapid elasticity* dan *measured service*.



Gambar 7.5. Karakteristik Konseptual *Cloud Computing*

Sumber : Riko Herwanto, Onno W. Purbo, RZ. Abd. Aziz. 2021.

Bentuk dan pemodelan *Cloud Computing* dideskripsikan seperti gambar 7.6 berikut ini.



Gambar 7.6. Model Konseptual *Cloud Computing*

Sumber : Riko Herwanto, Onno W. Purbo, RZ. Abd. Aziz. 2021.

Layanan *Cloud Computing* meliputi SaaS (*Cloud Software as a Service*) yang memungkinkan pengguna untuk menggunakan aplikasi yang sudah di sediakan oleh infrastruktur dari cloud; PaaS (*Cloud Platform as a Service*) memungkinkan pengguna untuk memanfaatkan platform yang tersedia sehingga bisa lebih fokus pada pengembangan aplikasinya saja; IaaS (*Infrastructure as a Service*) memungkinkan pengguna untuk menggunakan infrastruktur yang sudah ada, mulai dari aktivitas menyimpan, berjejaring, memproses, dan memakai sumber daya.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad Fanany, Rheo Malani, Arief Bramanto Wicaksono Putra. 2021. *Artificial Intelligence Konsep Fundamental dan Terapan*. Malang : Media Nusa Creative (MNC Publishing)
- Andre Platzer. 2018. *Logical Foundations of Cyber-Physical Systems*. Pittsburgh : Springer International Publishing
- E. A. Lee and S. A. Seshia. 2017 . *Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach. Second Edition*. Inggris : Penguin Random House LLC
- Jitendra Kumar Verma, Sudip Paul · 2022. *Advances in Augmented Reality and Virtual Reality*. Singapore : Springer Nature Singapore
- Kamlesh Lakhwani, Hemant Kumar Gianey, Joseph Kofi Wireko. 2020. *Internet of Things (IoT): Principles, Paradigms and Applications of IoT*. Inggris : BPB Publications.
- Philip Boucher. 2020. *Artificial intelligence: How does it work, why does it matter, and what can we do about it?*. Brussels: European Parliamentary Research Service.
- Rajeev Alur. 2015. *Principles of Cyber-Physical Systems*. Inggris : The MIT Press.
- Riko Herwanto, Onno W. Purbo, RZ. Abd. Aziz. 2021. *CLOUD COMPUTING Manajemen dan Perencanaan Kapasitas*. Yogyakarta : ANDI
- Wayan M. Wijaya. 2019. *Teknologi Big Data Sistem Canggih di Balik Google, Yahoo!, Facebook, IBM*. Badung : Nilacakra
- <https://mellowpine.com/cnc/numerical-control/#computer-numerical-control>

BAB 8

BIOFUEL

Oleh Neny Rochyani

8.1 Pendahuluan

Energi sebagai salah satu kebutuhan dasar manusia, memiliki peranan penting dan menjadi factor strategis dalam proses pembangunan yang berdampak pada sosial dan lingkungan serta mendukung perekonomian nasional. Tidak hanya di Indonesia ketergantungan global terhadap bahan bakar fosil menunjukkan akan semakin tinggi mengikuti perkembangan sisi ekonomi dan jumlah penduduk dunia.

Di Indonesia sendiri pemenuhan kebutuhan energi yang mampu diterima adalah hal pokok guna menunjang perkembangan kehidupan masyarakat luas. Sementara itu, penggunaan bahan bakar fosil yang terus meningkat berdampak pada peningkatan yang besar dan signifikan akan emisi gas rumah kaca serta disisi lain adalah pemanasan global. Dalam upaya membatasi dampak negatif ini, masyarakat internasional semakin mengakui perlunya pencarian alternatif energi yang lebih bersih - ramah lingkungan dan berkelanjutan menjadi lebih penting daripada sebelumnya.

Oleh karenanya untuk menghadapi permasalahan energi dan lingkungan yang menjadi isu pokok dunia saat ini, Biofuel menjadi salah satu jalan keluar yang penting disamping juga mempunyai potensi yang tinggi dalam masalah pemenuhan kebutuhan energi. Biofuel memberikan nilai positif dalam kaitannya dengan produksi energi bersih dengan tidak adanya kadar karbon. Hal ini disebabkan bermacam tumbuhan yang dipakai sebagai sumber produksi biofuel pada materialnya mengurangi persentase CO₂ di atmosfer (Balat, M. 2011). Hal ini

berbeda dengan energi fosil yang akan mengembalikan karbon yang tersimpan kembali ke udara. Artinya, Biofuel akan lebih menjadi *carbon neutral*. Selain itu pemanfaatan biofuel secara otomatis akan menurunkan ketergantungan pada produksi minyak bumi disamping itu pula aman dalam penggunaan energi global.

Biofuel merupakan bahan bakar dalam bentuk padatan, cair ataupun gas yang diperoleh bersumber dari bahan-bahan organik, dan digunakan untuk berbagai tujuan. Biofuel secara umum dalam produksinya dapat diperoleh dengan cara langsung dari tanaman atau dengan tidak secara langsung dari limbah pertanian, limbah industri, dan komersial. Terdapat tiga cara dalam produksi biofuel: melalui pembakaran limbah organik yang kering, melalui proses fermentasi limbah basah dalam produksi biogas, atau melalui fermentasi pada tanaman tebu atau jagung dalam produksi alkohol dan ester; serta sumber energi dari hutan.

Sebagai bahan organik, maka Biofuel yang menggunakan bahan alam tersebut dapat diperbarui. Dalam kegiatan produksinya, masing masing produk biofuel diproduksi secara berbeda. Contohnya, etanol diproduksi melalui fermentasi jagung atau tebu, sedangkan biodiesel dihasilkan melalui proses penghancuran lemak hewani atau tumbuhan dengan adanya methanol (Knothe, G., Dunn, R. O., & Bagby, M. O. 2018).

CPO (*Crude Palm Oil*) dihasilkan melalui proses transesterifikasi, yaitu secara kimia proses terjadi dimana adanya reaksi dengan senyawa alkohol menghasilkan biodiesel. Dengan kata lain, biofuel memberikan harapan besar pada saat ini dan kedepan untuk mendorong keberlanjutan pelestarian lingkungan di masa depan. Secara umum dalam proses pembuatan serta pengolahannya, bahan bakar nabati akan melibatkan fiksasi karbon kontemporer, dimana hal ini terjadi pada tumbuhan atau mikroalga melalui proses fotosintesis.

8.2 Bahan Baku Biofuel

Terdapat dua jenis utama sumber bahan baku biofuel yaitu: bahan yang dapat dikonsumsi dan bahan baku organik tidak dapat dikonsumsi. Sebagai contoh produk makanan manusia yaitu gula, pati, ataupun minyak sayur akan dijadikan biofuel dengan cara konvensional yaitu transesterifikasi. Sedangkan yang dihasilkan oleh tanaman bukan untuk pangan, sisa hasil pertanian dan buangan bahan sisa yang tidak dapat digunakan kembali oleh manusia melalui teknologi modern seperti *hydrocracking*. (Singh, A., & Pant, D. 2019)

Dalam kegiatan ini, sumber organik yang digunakan akan dipecah oleh keberadaan hidrogen dalam produksi biofuel. Oleh karenanya terdapat kondisi yang menarik dan menjadi banyak diteliti oleh berbagai kalangan adalah sumber organik seperti minyak kelapa sawit, dimana dipergunakan dalam memproduksi biofuel dengan metode konvensional dan lanjutan tergantung dari kondisi yang ada.

Di Indonesia, terdapat 50-60 spesies hasil tanaman alternatif yang bisa dipergunakan menjadi bahan baku untuk produksi biofuel, seperti : Bengku, Bidaro, Biji Bunga Matahari, Gula tebu, Jarak (kastrol), Jatfara, Kacang tanah, Kecipir, Kedeai, Kelapa sawit, Kelor kenari, Kepok, Mindi, Margosa, Rambutan, Saga utan, Sirsak, wijen, dan Tengkawang.

8.3 Jenis dan Macam Biofuel

Sesuai dengan bahan baku biomassa yang dipergunakan biofuel mempunyai dua jenis utama dengan perbedaan pada wujud, yaitu biofuel cair dan biofuel gas (Gnansounou, E. 2019).

1. Biofuel Cairan

a. Bioetanol

Bahan bakar Bioetanol adalah yang paling banyak digunakan di seluruh dunia. Bioetanol atau biasa disebut Etanol merupakan sumber energi organik yang berupa

alkohol yang dihasilkan bahan bakar yang dihasilkan dari reaksi enzim bahan organik dengan mikroorganisme melalui proses fermentasi gula atau pati atau selulosa yang ada pada tanaman. Sedangkan Gula berasal dari bahan makanan seperti gandum, jagung, tebu, sorgum, gula bit, molase dan salah satu contoh mikroorganisme yang mengubah gula menjadi etanol yaitu ragi.

Metode produksi Bioetanol yang dilakukan adalah lewat proses pencernaan enzim (dengan memisahkan gula dari pati), fermentasi gula, distilasi dan pengeringan. Proses fermentasi mengubah gula menjadi etanol dengan bantuan mikroorganisme tertentu, seperti ragi. Bioetanol digunakan sebagai campuran dengan bensin dalam mesin bensin konvensional bertujuan untuk meningkatkan oktan dan mengurangi emisi karbon monoksida selama pembakaran. Bioetanol juga digunakan sebagai bahan baku dalam industri kimia untuk menghasilkan berbagai produk (Hansen, J., & Khare, A. 2019).

b. Biodiesel

Biodiesel adalah jenis biofuel yang dihasilkan dari minyak nabati atau lemak hewani melalui proses yang disebut transesterifikasi. Bahan baku minyak nabati umum untuk biodiesel meliputi minyak sawit, kedelai, jarak, kacang tanah, dan minyak biji matahari. Produksi bahan bakar biodiesel dari bahan baku tersebut dicampur dengan sodium hidroksida dan alkohol (methanol atau etanol) untuk mengubahnya menjadi ester yang/agar lebih mudah terbakar. Dalam ilmu kimia, nama lain Biodiesel disebut FAME (Fatty Acid Methyl Ether). Salah satu keunggulan biodiesel adalah kemampuannya untuk mengurangi emisi gas buang yang merugikan lingkungan,

seperti partikel diesel dan sulfur dioksida. Biodiesel ini dapat digunakan sebagai pengganti sebagian atau seluruhnya dari bahan bakar diesel konvensional dalam mesin diesel tanpa perlu modifikasi signifikan (Kementrian ESDM. 2019).

c. **Metanol**

Metanol seperti halnya etanol keduanya adalah alkohol. Metanol adalah bahan bakar bersih yang digunakan khusus untuk menggerakkan mesin mobil balap. Biofuel metanol memiliki kemiripan dengan metana dalam komposisi kimia, perbedaannya pada wujud zat metanol berbentuk cair sedangkan metana berbentuk gas. Proses produksinya dengan penambahan katalis pada suhu tinggi melalui gasifikasi Biomassa diubah menjadi methanol.

d. **Diesel Bio Hydrocarbon/*Green Diesel***

Diesel Bio Hydrocarbon atau yang umum disebut *Green Diesel* karena proses pengolahannya ramah lingkungan dengan tidak menghasilkan limbah (relative kecil) dari emisi hasil pembakaran dibandingkan dengan minyak diesel lain (Mohibbe Azam, M., Waris, A., & Nahar, N. M. 2010). Selain memiliki struktur molekul yang mirip dengan diesel minyak bumi dan bersifat lebih baik, *Green Diesel* merupakan salah satu produk energi alternatif menjadi generasi kedua (biodiesel G2) dengan ciri-ciri sebagai berikut :

- 1) *Green diesel* dihasilkan dengan cara berbeda dari biodiesel. Biodiesel diproses melalui transesterifikasi, sedangkan *Green Diesel* diproses dengan mengadopsi salah satu proses yang ada di kilang minyak bumi, yakni *hydroprocessing* atau

dibuat dengan menghidrogenasi trigliserida dalam minyak nabati.

- 2) Dibandingkan dengan diesel berbasis fosil maupun biodiesel berbasis FAME, *Green Diesel* memiliki sejumlah keunggulan, berupa *cetane number* yang relatif lebih tinggi, kandungan sulfur yang rendah, serta stabilitas oksidatif yang tinggi, dan warna yang jernih.
- 3) Diesel Bio Hydrocarbon/*Green Diesel* juga dikenal sebagai *Renewable Diesel Oil*, *Hydrotreated Vegetable Oil (HVO)*, *Hydrogenation-Derived Renewable Diesel (HDRD)*, atau *Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (HEFA)*. (Singh, R., Shukla, A., & Kumar, A. 2020).

e. Bioavtur/Biojet

Bioavtur hadir sebagai alternatif dari penggunaan bahan bakar avtur untuk pesawat terbang khususnya yang digerakkan turbin dengan adanya hidrogen dalam memecah kandungan minyak nabati. Bioavtur diperoleh dengan menggunakan teknologi hidrogenasi yang bertujuan untuk mengurangi emisi karbon dunia. Beberapa ciri-ciri bioavtur sebagai berikut :

- 1) Lebih ramah lingkungan dan memiliki nilai manfaat dalam membersihkan dan melumasi mesin dariapaad produk avtur bersumber dari minyak mentah.
- 2) Diperoleh lewat serangkaian kegiatan konversi biomassa/bahan berupa serat, gula, tepung, dan minyak nabati dengan transesterifikasi, kondisi panas (*pyrolysis dan hydrothermal*), kondisi hidrolisis oleh enzim, fermentasi dan *fischer tropsch*.

- 3) Namun, biojet atau bioavtur memiliki titik beku yang lebih tinggi dan mengkonsumsi lebih banyak volume daripada avtur yang dibuat dari minyak mentah.

2. Biofuel Gas

a. Biogas

Biogas adalah produk gas metana yang diperoleh dengan proses anaerobik pencernaan bahan baku organik. Dengan bahan sisa *biodegradable* atau dengan tanaman berenergi yang dimasukkan dalam digester anaerobik sebagai pelengkap hasil gas, dapat menghasilkan Biofuel dari Biogas dengan baik. Sedangkan Produk sampingan padat, digestate, digunakan menjadi biofuel ataupun pupuk. Saat CO_2 dan kotoran lainnya dilepaskan dari biogas, maka produk ini disebut *Biometana*. Produksi Biogas dapat dihasilkan kembali melalui sistem pengolahan limbah biologis mekanis. Sementara gas TPA adalah bentuk biogas yang kurang baik, karena diproduksi di tempat pembuangan sampah dengan anaerobik yang dilakukan secara alami (McKendry, P. 2002).

b. Syngas

Syngas diperoleh melalui pembakaran secara parsial biomassa yaitu penggabungan antara karbon monoksida, hidrogen dan hidrokarbon lainnya. Terlebih dahulu biomassa dikeringkan, atau terkadang di pirolisis. Pembakaran secara parsial adalah pembakaran yang dilakukan dengan penggunaan oksigen yang relatif kurang untuk mengubah biomassa dengan penuh menjadi karbon dioksida dan air. Campuran gas yang dihasilkan dari syngas, akan lebih efisien daripada melalui pembakaran langsung bahan bakar nabati serta lebih

banyak energi yang terkandung dalam bahan bakar dapat diekstrak. Syngas dapat dibakar langsung di mesin pembakaran internal, turbin atau sel bahan bakar suhu tinggi (Sims, R. E., Mabee, W., Saddler, J. N., & Taylor, M. 2010).

8.4 Proses Pembuatan Biofuel

Untuk lebih menyederhanakan dan memudahkan pemahaman terhadap Biofuel, maka pada bagian ini akan dijelaskan secara umum pembuatan Biofuel yang diwakili pada produksi Bioetanol dan Biodiesel. Masing-masing proses produksi biofuel berbeda, melibatkan sejumlah langkah yang kompleks, mulai dari pemilihan bahan baku biomassa hingga menghasilkan biofuel yang siap digunakan.

1. Pembuatan Bioetanol

a. *Pemilihan Bahan Baku*

Bioetanol dapat dihasilkan dari berbagai sumber bahan baku seperti jagung, tebu, sorgum, dan lainnya. Bahan baku dipilih berdasarkan ketersediaan lokal dan faktor ekonomi (Hill, J., Nelson, E., Tilman, D., Polasky, S., & Tiffany, D. 2006) (Demirbas, A. 2008).

b. *Penghancuran dan Pengolahan Bahan Baku*

Bahan baku dihancurkan dan diolah untuk memisahkan komponen pati atau gula yang dapat difermentasi menjadi etanol. Pada jagung, misalnya, biji jagung dihancurkan dan pati dalam biji diubah menjadi gula (proses Hidrolisis)

c. *Fermentasi*

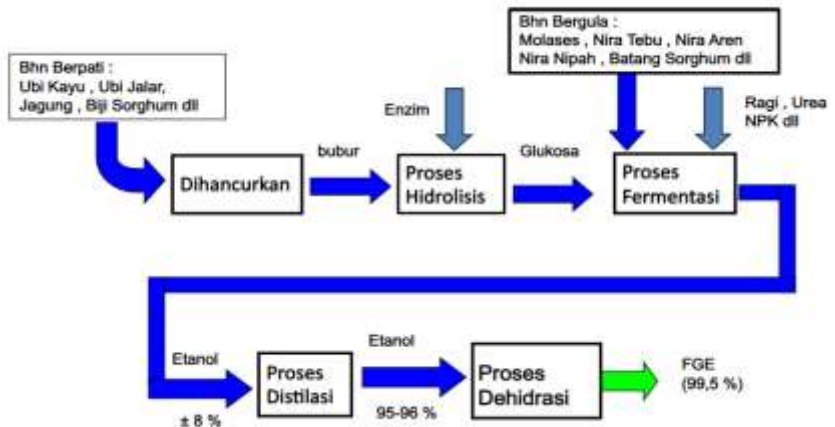
Proses fermentasi menghasilkan dua tipe biofuel: alkohol dan ester. Gula dalam bahan baku diubah menjadi etanol melalui proses fermentasi. Mikroorganisme seperti *Saccharomyces cerevisiae* (ragi) ditambahkan ke dalam campuran gula, air dan nutrisi. Fermentasi menghasilkan etanol dan karbondioksida.

d. *Distilasi*

Etanol yang dihasilkan dalam proses fermentasi biasanya masih mengandung air dan komponen lainnya. Distilasi digunakan untuk memisahkan etanol dari campuran tersebut dengan memanfaatkan perbedaan titik didih. Hasil distilasi adalah etanol yang lebih murni.

e. *Dehidrasi*

Etanol yang telah distilasi masih dapat mengandung sedikit air. Proses dehidrasi digunakan untuk menghilangkan sisa air, menghasilkan bioetanol dengan kemurnian yang lebih tinggi.



Gambar 8.1. Skema Pembuatan Bioetanol

2. Pembuatan Biodiesel

a. *Pemilihan Bahan Baku*

Biodiesel dapat dihasilkan dari berbagai minyak nabati, seperti minyak kedelai, minyak kelapa sawit, dan minyak jarak. Minyak nabati ini mengandung trigliserida yang dapat diubah menjadi biodiesel melalui proses transesterifikasi.

b. Pengolahan Minyak Nabati

Minyak nabati harus diolah untuk menghilangkan kotoran, air, dan bahan-bahan tak diinginkan lainnya sebelum proses transesterifikasi.

c. Transesterifikasi

Pada proses minyak nabati bereaksi dengan alkohol (biasanya methanol, reaksinya disebut metanolisis atau transesterifikasi dengan metanol) dan katalis basa (natrium atau kalium hidroksida atau sodium methylate) untuk menghasilkan campuran ester metil asam lemak dengan produk ikutan gliserol. Apabila kandungan asam lemak bebas minyak nabati > 5%, maka terlebih dahulu dilakukan reaksi esterifikasi. Selain dari proses esterifikasi/ transesterifikasi dapat juga dilakukan dengan konversi enzimatis untuk menghasilkan biodiesel dan gliserol.

d. Pemisahan Biodiesel dan Gliserol

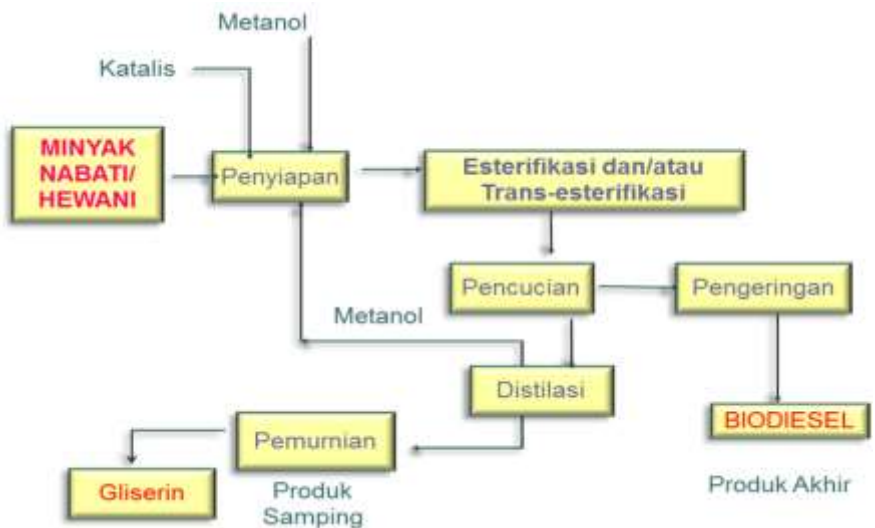
Hasil reaksi transesterifikasi menghasilkan campuran biodiesel dan gliserol. Proses ini mengubah trigliserida dalam minyak menjadi ester yang merupakan komponen utama biodiesel. Campuran ini harus dipisahkan, biasanya melalui proses sentrifugasi atau penyaringan.

e. Pembersihan Biodiesel

Biodiesel yang dihasilkan mungkin mengandung sisa-sisa alkohol, katalis dan kontaminan lainnya. Proses pembersihan melibatkan pencucian biodiesel dengan air atau pelarut lainnya untuk menghilangkan komponen-komponen ini.

f. Pemrosesan Tambahan :

Biodiesel murni (B100) dapat digunakan sebagai pengganti atau campuran dengan bahan bakar diesel konvensional. Namun, dalam beberapa kasus, biodiesel juga dapat diubah menjadi produk lain seperti biodiesel Etil tersier Butil Eter (ETBE) untuk digunakan sebagai aditif bahan bakar.



Gambar 8.2. Skema Pembuat Biodiesel (EBTKE.ESDM, 2019)

8.5 Manfaat Biofuel

1. Diversifikasi Sumber Energi

Bergantung pada bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan batu bara mengakibatkan ketergantungan yang berisiko terhadap fluktuasi harga dan pasokan energi dunia. Biofuel memberikan alternatif yang dapat membantu mengurangi ketergantungan pada pasokan energi konvensional, mengurangi risiko ketidakstabilan ekonomi dan keamanan energi.

2. Pengurangan Emisi Karbon

Biofuel memiliki jejak karbon yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Saat digunakan, jumlah hasil emisi karbon lebih sedikit, membantu mengurangi kontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global. Selain itu, penggunaan biofuel dapat membantu negara-negara mencapai target pengurangan emisi gas rumah kaca sesuai dengan perjanjian internasional seperti Perjanjian Paris.

3. Pengelolaan Limbah Organik

Biofuel dapat dihasilkan dari limbah organik seperti sampah dapur dan limbah pertanian. Ini membantu mengurangi volume limbah yang akhirnya masuk ke tempat pembuangan akhir atau tumpukan sampah, serta menghasilkan energi dari sumber yang sebelumnya dianggap sebagai limbah.

4. Pemberdayaan Petani dan Komunitas Pertanian

Produksi tanaman biofuel, seperti jagung atau tebu, dapat memberikan sumber pendapatan tambahan kepada petani dan komunitas pertanian. Ini dapat membantu mengurangi ketidaksetaraan ekonomi dan mendorong pembangunan di daerah pedesaan

5. Kreasi Lapangan Kerja Baru

Industri biofuel menciptakan peluang pekerjaan baru dalam rantai pasokan, termasuk produksi bahan baku, pengolahan, distribusi, dan penelitian. Ini berkontribusi pada pertumbuhan ekonomi dan mengurangi pengangguran.

8.6 Tantangan Biofuel

1. Efisiensi Energi dan Keseluruhan Dampak Lingkungan:

Proses produksi biofuel, termasuk pertumbuhan tanaman, panen, pengolahan, dan transportasi, memerlukan energi dan sumber daya tertentu. Efisiensi keseluruhan dari siklus hidup biofuel harus diperhitungkan untuk memastikan manfaat lingkungan yang sebenarnya (Singh, A., Nigam, P. S., & Murphy, J. D. 2011).

2. Persaingan dengan Pangan

Penggunaan tanaman pangan untuk produksi biofuel dapat menyebabkan persaingan dengan produksi pangan, yang berpotensi mempengaruhi ketersediaan dan harga makanan. Keseimbangan yang tepat harus ditemukan antara penggunaan lahan untuk produksi bahan bakar dan produksi pangan.

3. Ketergantungan pada Sumber Biomassa

Peningkatan permintaan biofuel dapat memicu peningkatan produksi tanaman biofuel. Ini dapat mengakibatkan ketergantungan pada sumber biomassa yang mungkin bervariasi dalam ketersediaan dan kualitasnya.

4. Penggunaan Lahan dan Pengaruh Lingkungan

Pengalihan lahan produktif, seperti hutan atau lahan pertanian, untuk produksi tanaman biofuel dapat berdampak negatif pada lingkungan dan biodiversitas. Deforestasi dan konversi lahan dapat menghasilkan emisi karbon yang lebih tinggi daripada manfaat biofuel.

5. Teknologi dan Infrastruktur

Pengembangan teknologi dan infrastruktur yang diperlukan untuk produksi, penyimpanan, dan distribusi biofuel dapat menjadi tantangan. Investasi dalam fasilitas produksi dan jaringan distribusi diperlukan untuk mengintegrasikan biofuel ke dalam sistem energi yang lebih luas (Hossain, A. B. M. S., Salleh, A., Boyce, A. N., & Chowdhury, P. 2008).

8.7 Riset dan Pengembangan Biofuel

Riset dan pengembangan dalam bidang biofuel terus berkontribusi pada inovasi teknologi yang lebih efisien, berkelanjutan, dan dapat diandalkan. Para peneliti dan ilmuwan bekerja untuk mengatasi tantangan yang terkait dengan produksi, efisiensi, dan dampak lingkungan biofuel. Berikut adalah beberapa contoh riset dan pengembangan terkini dalam dunia biofuel

1. Konversi Biomassa yang Efisien

Inovasi dalam teknologi konversi biomassa menjadi biofuel terus berkembang. Teknik seperti pirolisis, gasifikasi, dan hidrolisis termal ditingkatkan untuk mengubah biomassa menjadi berbagai jenis biofuel dengan efisiensi yang lebih tinggi. Proses-proses ini dapat mengurangi konsumsi energi dan dampak lingkungan dari produksi biofuel.

2. Tanaman Energi yang Didesain Khusus (*Advanced Energy Crops*)

Melalui rekayasa genetik dan pemilihan varietas yang lebih produktif, peneliti berusaha untuk mengembangkan tanaman energi yang memiliki kemampuan pertumbuhan lebih cepat, resistensi terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem, dan kemampuan menggunakan nutrisi dengan lebih efisien. Misalnya, penelitian mengenai tanaman tertentu yang memiliki kemampuan fotosintesis yang lebih efisien dan hasil biomassa yang lebih tinggi dapat mendukung produksi biofuel yang lebih produktif.

3. Pemanfaatan Limbah Organik untuk Biogas

Pemanfaatan limbah organik, seperti limbah pertanian, limbah makanan, dan limbah kota, untuk menghasilkan biogas terus dikaji. Penggunaan teknologi anaerobik yang lebih efisien dapat membantu mengoptimalkan produksi biogas sebagai sumber energi.

4. Alga sebagai Sumber Biofuel (*Algae Biofuel*)

Alga adalah organisme mikroskopik yang memiliki potensi besar sebagai sumber biofuel. Alga dapat tumbuh dengan cepat dan mengandung kadar minyak yang tinggi. Penelitian terus dilakukan untuk meningkatkan produktivitas alga, mengidentifikasi spesies alga terbaik, dan mengembangkan metode pengumpulan dan pemrosesan alga yang efisien.

5. Mikroorganisme yang Ditingkatkan

Penelitian berfokus pada mikroorganisme yang dapat lebih efektif mengubah gula dan pati menjadi bioetanol atau minyak menjadi biodiesel. Rekayasa genetik mikroba untuk meningkatkan efisiensi proses fermentasi atau transesterifikasi adalah bagian dari upaya ini.

6. Integrasi dengan Teknologi Terbarukan Lainnya

Inovasi juga terjadi dalam integrasi biofuel dengan teknologi energi terbarukan lainnya, seperti panel surya dan turbin

angin. Konsep ini dikenal sebagai "*hybrid energy systems*" yang memungkinkan pemanfaatan berbagai sumber energi untuk memaksimalkan efisiensi dan ketersediaan energi.

8.8 Perkembangan Biofuel di Indonesia

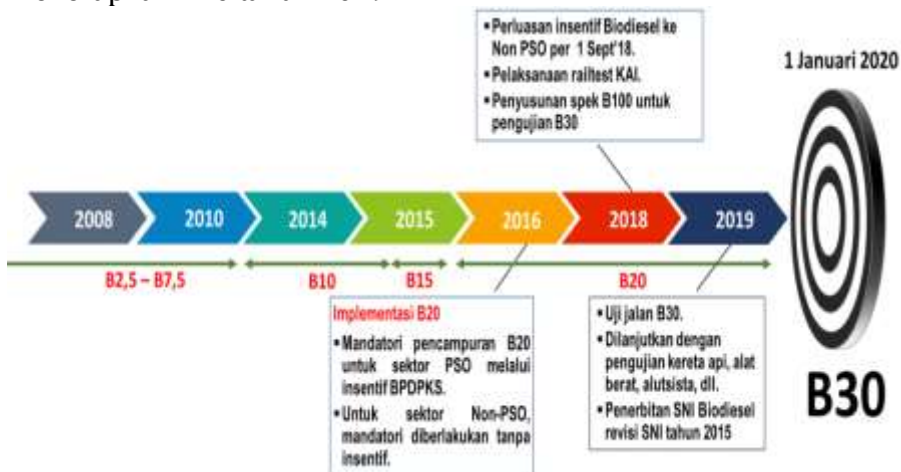
Secara umum terdapat dua strategi dalam produksi biofuel. *Strategi pertama* adalah dengan melakukan kegiatan penanaman tanaman yang memiliki kandungan gula (tebu, bit gula, dan sorgum manis atau tanaman yang mengandung pati/polisakarida seperti jagung), selanjutnya dengan melalui proses fermentasi ragi untuk memproduksi etil alkohol. *Strategi kedua* adalah melakukan kegiatan penanam tanaman yang memiliki kadar minyak sayur/nabatinya tinggi seperti kelapa sawit, kedelai, alga, atau jathropa. Konsekuensi dari penggunaan tanaman terseut adalah pada saat dipanaskan, viskositas minyak nabati menjadi berkurang dan dapat secara langsung dibakar di dalam mesin diesel, atau minyak nabati dapat diproses melalui proses kimia dalam produksi bahan bakar seperti biodiesel. Kayu dan produk-produk sampingannya bisa dikonversi menjadi biofuel seperti gas kayu, metanol atau bahan bakar etanol (Choudhury, R., & Roy, S. 2020).

Adapun saat ini Pemerintah Indonesia telah gencar mendorong perkembangan energy ini melalui kebijakan Mandatori Biodiesel, dimana aturan penggantian secara bertahap energi solar fosil dengan biodiesel dilakukan secara wajib (Mandatori). Indonesia merupakan negara pertama yang berhasil menerapkan Program Mandatori biodiesel dengan penggunaan bahan baku utama yang diperoleh dari kelapa sawit, kegiatannya sudah dimulai sejak tahun 2008, dimana kadar campuran biodiesel adalah 2,5%. Kemudian dengan cara bertahap tingkat biodiesel dinaikkan mencapai 7,5% pada tahun 2010. Sedangkan pada periode 2011 hingga 2015 tingkat biodiesel naik dari 10% menjadi 15%. Pada tanggal 1 Januari 2016, kebijakan penggunaan kadar biodiesel dinaikkan mencapai 20% (B20) dan berjalan dengan baik, artinya

mewajibkan pencampuran 20% Biodiesel dengan 80% bahan bakar minyak jenis solar.

Adapun aturan mengenai proses tahapan mandatori program B20 adalah Pemerintah Indonesia c.q. Kementerian ESDM menggalakkan Program Mandatori BBN melalui Peraturan Menteri ESDM No. 32 Tahun 2008 tentang Penyediaan, Pemanfaatan, dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati (Biofuel/BBN) sebagai Bahan Bakar Lain sebagaimana telah diubah terakhir kali dengan Peraturan Menteri ESDM No. 12 Tahun 2015. Namun, program mandatory yang sudah diterapkankan dengan baik adalah di sektor transportasi (PSO). Hal ini sesuai arahan Presiden RI, yaitu mulai 1 September 2018 mandatori B20 dijalankan secara masif di semua sektor.

Adapun Negara lain yang juga telah berhasil menerapkan B20 adalah Minnesota, Amerika Serikat yang telah mulai sejak Mei 2018. Kolombia menerapkan B10 pada tahun 2011 dan Malaysia menerapkan B10 tahun 2019.



Gambar 8.3. Skema Program Mandatori Biodiesel di Indonesia (EBTKE. ESDM , 2019)

Tujuan penggunaan/implementasi Program Mandatori BBN/Biofuel di Indonesia (Peraturan Menteri ESDM No. 12 Tahun 2015) sebagai berikut :

1. Pemenuhan komitmen Pemerintah dalam pengurangan emisi pada GRK sebesar 29% dari BAU pada 2030.
2. Daya tahan dan kemandirian energi dalam negeri meningkat.
3. Stabilitas pada harga CPO.
4. Nilai tambah yang meningkat melalui hilirisasi industri kelapa sawit.
5. Target 23% kontribusi EBT dapat terpenuhi dari keseluruhan energi mix pada 2025.
6. Tingkat penggunaan dan impor BBM dapat berkurang.
7. Emisi GRK berkurang.
8. Defisit pada neraca perdagangan dapat menurun.

Sampai dengan saat ini Program Biodiesel 20% (B20) berjalan baik didukung dengan kapasitas produksi yang memadai, uji kinerja/uji jalan, pemantauan secara berkala atas kualitas dan kuantitas oleh tim independen, serta penyusunan Standar Nasional Indonesia (SNI).

Progress dan kesuksesan penerapan program B20 pada kegiatan pencampuran biodiesel dan bahan bakar minyak jenis solar, memberi hasil yang baik untuk dilaksanakan implementasi B30 yang diharapkan dapat makin mengurangi impor BBM dan muaranya adalah pada meningkatkan devisa negara.

8.9 Kesimpulan

Biofuel memiliki potensi besar sebagai solusi energi berkelanjutan, membantu mengurangi dampak lingkungan negatif dan ketergantungan pada bahan bakar fosil serta dapat merangkul masa depan energi yang lebih hijau.

Namun, pengembangan dan implementasi biofuel perlu mempertimbangkan aspek-aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan agar dapat memberikan manfaat maksimal bagi masyarakat global.

DAFTAR PUSTAKA

- Balat, M. 2011. Production of Bioethanol from Lignocellulosic Materials via the Biochemical Pathway: A Review. *Energy Conversion and Management*, 52(2), 858-875.
- Knothe, G., Dunn, R. O., & Bagby, M. O. 2018. Biodiesel from Alternative Oil Feedstocks: Challenges and Perspectives. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 9, 245-264.
- Singh, A., & Pant, D. 2019. A Critical Review on Production of Biofuels from Algae. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107, 566-584.
- Gnansounou, E. 2019. *Biorefineries: Concepts, Advancements and Research*. Academic Press
- Hansen, J., & Khare, A. 2019. Biodiesel Production Technologies: Review. *Journal of Cleaner Production*, 216, 132-147.
- Kementeian ESDM. 2019. Program Mandatory Biodiesel 30 % (B30)
- Mohibbe Azam, M., Waris, A., & Nahar, N. M. 2010. Prospects and Potential of Fatty Acid Methyl Esters of Some Non-Traditional Seed Oils for Use as Biodiesel in India. *Biomass and Bioenergy*, 34(5), 757-766.
- Singh, R., Shukla, A., & Kumar, A. 2020. A Comprehensive Review on Biodiesel as an Alternative Resource for Sustainable Development of Diesel Engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 128, 110277.
- Choudhury, R., & Roy, S. 2020. *Biomass to Biofuels: Strategies for Global Sustainability*. Springer Nature.
- McKendry, P. 2002. Energy Production from Biomass (Part 1): Overview of Biomass. *Bioresource Technology*, 83(1), 37-46.

- Hill, J., Nelson, E., Tilman, D., Polasky, S., & Tiffany, D. 2006. Environmental, Economic, and Energetic Costs and Benefits of Biodiesel and Ethanol Biofuels. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(30), 11206-11210.
- Demirbas, A. 2008. Biofuels Sources, Biofuel Policy, Biofuel Economy and Global Biofuel Projections. *Energy Conversion and Management*, 49(8), 2106-2116.
- Sims, R. E., Mabee, W., Saddler, J. N., & Taylor, M. 2010. An Overview of Second Generation Biofuel Technologies. *Bioresource Technology*, 101(6), 1570-1580.
- Singh, A., Nigam, P. S., & Murphy, J. D. 2011. Mechanism and Challenges in Commercialisation of Algal Biofuels. *Bioresource Technology*, 102(1), 26-34.
- Hossain, A. B. M. S., Salleh, A., Boyce, A. N., & Chowdhury, P. 2008. An Overview of Biofuel as a Renewable Energy Source: Development and Challenges. *Biomass and Bioenergy*, 32(12), 1063-1072.

BAB 9

KONSEP LCA PADA GREEN TECHNOLOGY

Oleh Kartika Udyani

9.1 Pengertian LCA

Life Cycle Assessment (LCA) disebut juga penilaian siklus hidup merupakan suatu metode penilaian terstandar terhadap dampak terhadap lingkungan dari suatu siklus proses produksi. Metode pelaksanaan penilaian pada LCA meliputi penilaian terhadap potensi dampak lingkungan, evaluasi terhadap adanya penggunaan sumber daya alam seperti air, gas maupun batuan, dan pembuangan bahan maupun sisa ke lingkungan (Allen, T, D and Shonnard, R, 2002). Penilaian dilakukan dengan melakukan perhitungan kebutuhan sumber daya alam dan pembuangan limbah serta emisi gas ke lingkungan. Berdasarkan hasil perhitungan selanjutnya dilakukan evaluasi terhadap kebutuhan dan pembuangan material dan dampaknya terhadap lingkungan.

Pelaksanaan LCA menggunakan pendekatan *cradle to grave* dalam menilai suatu proses dalam industri. Yang dimaksud dengan pendekatan *cradle to grave* dalam penilaian *life cycle* dalam proses produksi yaitu penilaian yang dilakukan pada semua komponen dalam proses produksi yang terdiri dari tahap penyiapan bahan baku, proses pengolahan bahan baku sampai menjadi produk. Sedangkan *to grave* yang dimaksud adalah penilaian yang dilakukan pada penggunaan produk yang dihasilkan dan akhir produk yang dikonsumsi dibuang ke lingkungan sebagai akhir dari siklus hidup produk. (Azhari and Kusumayanti, 2021)

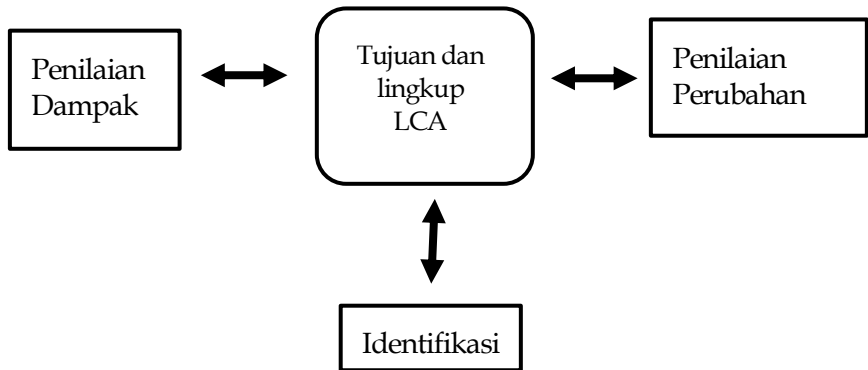
LCA dilakukan sebagai upaya dalam pencegahan pencemaran lingkungan. Elemen dalam LCA antara lain:

1. Penggambaran dan pengukuran faktor yang ada dalam proses
2. Evaluasi faktor dalam proses yang memiliki potensi dalam pencemaran lingkungan
3. Penilaian dan analisis potensi untuk mengurangi dampak terhadap lingkungan

Penilaian *life cycle* suatu proses menggunakan LCA memiliki ciri-ciri antara lain: (Curran, A, 1996)

1. Penilaian *life cycle* dilakukan pada berbagai bidang
LCA menilai seluruh siklus hidup fisik produk atau layanan, sistem, ekstraksi bahan mentah, produksi energi dan bahan, produksi, dan akhir masa pakai.
2. Penilaian menyeluruh
LCA meliputi segala faktor yang mempengaruhi lingkungan antara lain bahan baku, integritas sistem ekologi dan faktor kesehatan manusia.
3. Penilaian terbuka
Aspek yang dinilai pada LCA beragam dan kompleks maka diperlukan keterbukaan dalam pelaksanaan penilaian menggunakan LCA. Keterbukaan juga sangat diperlukan dalam penilaian menggunakan LCA dalam upaya memperoleh hasil yang sesuai dan mendekati kenyataan.
4. Penilaian fleksibel
Penilaian menggunakan LCA mudah untuk diterapkan pada berbagai aspek komponen dalam suatu proses produksi dan pada berbagai jenis produk yang dihasilkan.
5. Penilaian saling berkaitan
Model penilaian menggunakan LCA meliputi 3 (tiga) aspek yang saling terkait. Ketiga aspek tersebut antara lain Penilaian Dampak, Penilaian Perubahan dan Identifikasi.

Keterkaitan ketiga aspek tersebut disajikan pada Gambar 9.1.(Curran, A, 1996)



Gambar 9.1. Keterkaitan Aspek LCA
(Sumber: Dimodifikasi dari Curran, M.A, 1996)

Identifikasi: Pada pelaksanaan LCA, identifikasi yang dilakukan meliputi penetapan tujuan, sumber data proses yang mengukur kebutuhan energy dan bahan baku, emisi buangan ke udara, pembuangan uap ke udara, limbah padat, dan pembuangan lain ke lingkungan yang berkaitan dengan produk, proses produksi dan aktivitas penunjang.

Penilaian Dampak: Pada pelaksanaan LCA penilaian dampak meliputi teknik, proses secara kuantitatif maupun semi kuantitatif yang diuraikan pada identifikasi untuk mengkarakterisasi dan menilai dampaknya terhadap lingkungan.

Penilaian Perubahan: Evaluasi sistematis terhadap kebutuhan dan peluang untuk mengurangi pencemaran lingkungan dan kerusakan lingkungan berkaitan dengan energy dan babhan baku yang digunakan serta pembuangan limbah ke lingkungan meupakan lingkup dalam penilaian

menggunakan LCA. Penilaian juga mencakup perubahan dan peningkatan secara kualitatif dan kuantitatif seperti perubahan desain produk, proses dan aktivitas penunjang serta penggantian bahan baku, penggantian proses pembuatan yang ramah lingkungan dan meminimalkan pembuangan limbah.

6. Fokus pada aspek lingkungan

Penilaian menggunakan LCA difokuskan pada aspek lingkungan dari sistem pembuatan produk. Penilaian ini tidak berkaitan dengan penilaian aspek ekonomi dan aspek social.

7. Berdasarkan pada keilmuan

Metode dan penilaian LCA didasarkan pada keilmuan terkait. Meskipun terjadi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi tetapi penilaian menggunakan LCA tetap bisa dilakukan. Hal ini disebabkan studi LCA merupakan potret dari keadaan pengetahuan tertentu pada titik waktu tertentu.

8. Mencakup potensi dampak terhadap lingkungan

Penilaian menggunakan LCA mencakup potensi dampak setiap bagian yang sedang dikaji terhadap lingkungan. Oleh karena itu LCA dapat digunakan sebagai salah satu upaya dalam pencegahan pencemaran lingkungan.

9.2 Konsep LCA

Menurut *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) konsep pelaksanaan LCA meliputi 5 (lima) tahapan yaitu: (Allen, T, D and Shonnard, R, 2002)

1. Penentuan tujuan dan batasan yang akan dinilai
2. Inventory input
3. Inventory output
4. Penilaian dampak
5. Interpretasi

9.2.1 Penentuan tujuan dan batasan yang akan dinilai

Langkah awal sebelum melakukan penilaian menggunakan LCA adalah penentuan tujuan. Pada tahap penentuan tujuan perlu ditentukan latar belakang penilaian menggunakan LCA, identifikasi produk yang akan dinilai, identifikasi proses produksi dan identifikasi aktivitas penunjang. LCA dapat digunakan sebagai dasar bagi perusahaan yang akan memutuskan melakukan penggantian produk, penggantian jenis proses pembuatan atau penggantian kemasan produk.

Beberapa contoh penentuan tujuan adalah:

1. Contoh 1

Sebuah perusahaan membuat sebuah produk baru yaitu sabun cuci yang berbahan alam. Perusahaan tersebut ingin membandingkan produk yang dihasilkan dengan produk sejenis yang sudah beredar di pasaran. Sebelum dipasarkan perusahaan ingin memperoleh informasi terkait dampak negatif dari bahan baku, produk yang dihasilkan, proses produksi, penggunaan energi, penggunaan air terhadap lingkungan. Informasi dampak negatif juga diinginkan untuk mengetahui dampak pembuangan produk pasca digunakan oleh konsumen terhadap tanah dan air. Untuk mengetahui dampak negatif tersebut maka perusahaan menyusun LCA.

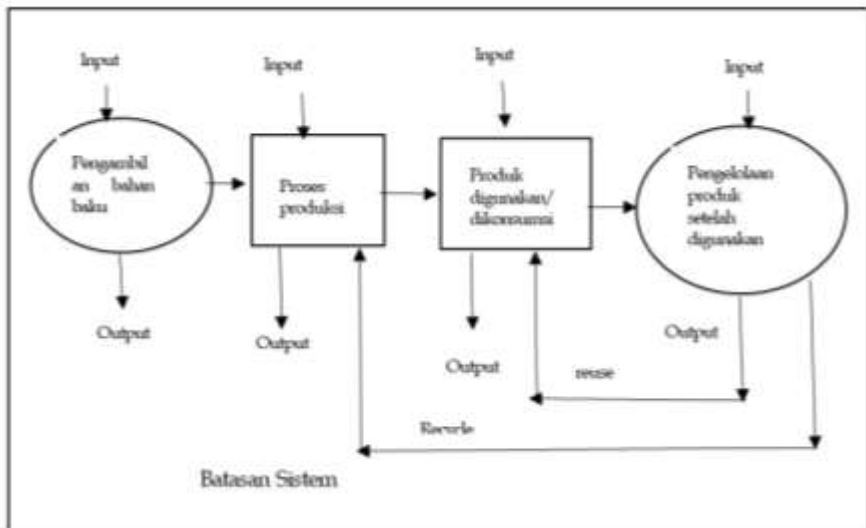
2. Contoh 2

Perusahaan produk kecantikan mengganti kemasan produk. Penggantian meliputi bentuk kemasan dan bahan kemasan. Perusahaan ingin mengetahui apakah bahan kemasan yang digunakan memiliki dampak negatif terhadap lingkungan apa tidak. Tujuan penyusunan LCA adalah untuk menilai apakah bahan kemasan produk ramah lingkungan apa tidak.

3. Contoh 3

Produk yang dihasilkan oleh suatu perusahaan mendapatkan kecaman dari masyarakat terkait dampak produk tersebut terhadap lingkungan pada pemakaian produk. Akibat peristiwa tersebut penjualan produk menurun drastis. Perusahaan percaya bahwa kecaman tersebut tidak beralasan dan sebagai pembanding perusahaan memilih produk sejenis yang memiliki kemasan lebih baik. Tujuan kajian adalah untuk menunjukkan perbandingan penilaian LCA dan penilaian dampak lingkungan dari kedua produk tersebut.

Agar tujuan penilaian menggunakan LCA dapat tercapai maka perlu ditentukan batasan kajian sehingga jelas batas mana yang harus dikaji. Batasan sistem dalam proses produksi hingga produk digunakan oleh konsumen biasanya digambarkan dalam sistem *cradle to grave* disajikan dalam Gambar 9.2.



Gambar 9.2. Gambaran batasan sistem
Sumber: Dimodifikasi dari Curran, M.A, 1996

Pada Gambar 9.2 dapat dilihat bahwa sistem yang akan dinilai menggunakan LCA diawali dari pengambilan bahan baku dari produsen atau dari tambang , proses pembuatan produk, penggunaan produk/ konsumsi produk dan terakhir adalah pengelolaan produk setelah dikonsumsi apakah dibuang di *landfill*, dibakar, digunakan kembali (*reuse*), atau *direct recycle*. (Curran, A, 1996)

9.2.2 Inventory Input

Pada tahap ini dilakukan inventarisasi masukan / input seperti kebutuhan energi, kebutuhan air, kebutuhan bahan bakar, kebutuhan gas dan udara yang digunakan pada tiap langkah dalam batasan sistem. Masing-masing input tersebut dihitung jumlah yang dibutuhkan dan dampaknya terhadap lingkungan. (Curran, A, 1996)

Sebagai contoh pada pengambilan bahan baku dihitung kebutuhan energi dan diinventarisasi energi apa saja yang digunakan serta berasal dari mana. Selanjutnya dianalisa dampaknya terhadap lingkungan akibat penggunaan energi tersebut. Pada proses pembuatan produk masukan yang dibutuhkan tergantung pada produk yang dihasilkan dan proses apa yang digunakan. Beberapa masukan yang dibutuhkan pada proses pembuatan produk antara lain adalah energi, air, gas, udara. Inventory input yang dilakukan pada proses pembuatan produk antara lain perhitungan kebutuhan energi, air, gas dan udara yang dibutuhkan pada proses pengambilan bahan baku.(Kokare, Oliveira and Godina, 2023)

Inventarisasi input pada penggunaan atau konsumsi produk antara lain adalah energi, air, udara. Penilaian dilakukan dengan menghitung input yang dibutuhkan pada penggunaan atau konsumsi produk. Sedangkan inventarisasi input pada pengelolaan produk pasca digunakan meliputi energi, air udara. Pengelolaan produk adalah perlakuan yang dilakukan untuk menangani produk

yang telah digunakan. Penanganan yang mungkin dilakukan adalah penumbunan, pembakaran, daur ulang (*recycle*), penggunaan kembali. Misalnya produk yang dihasilkan adalah sabun cuci baju berbentuk cair yang dimasukkan ke dalam kemasan berbahan plastik untuk sampai ke tangan konsumen. Penanganan setelah penggunaan produk adalah pengelolaan kemasan bekas. Penanganan yang mungkin dilakukan adalah, pembakaran, daur ulang (*recycle*), dan menggunakan kemasan bekas untuk produk kerajinan tangan. Sehingga inventory input nya adalah perhitungan energi yang dibutuhkan dan dampak penangan terhadap lingkungan. Jika penangan setelah produk digunakan adalah pembakaran maka perhitungan jumlah energi yang dibutuhkan dan analisa dampak pembakaran terhadap lingkungan.(Turner *et al.*, 2023)

9.2.3 Inventory output

Tahap inventori output merupakan tahapan dalam LCA yang dilakukan dengan melakukan inventarisasi terhadap keluaran dari tiap langkah dalam batasan sistem. Output atau keluaran berupa buangan/ limbah cair, padat maupun emisi gas. Semua buangan dihitung jumlahnya setiap jam sehingga akan diketahui tingkat bahaya buangan tersebut.

Misalnya suatu proses produksi menggunakan bahan baku batu kapur yang diambil dengan jalan penambangan, maka tahap inventori output dilakukan dengan inventarisasi buangan pada kegiatan tersebut. Buangan yang diuraikan meliputi emisi gas akibat proses peledakan dan pengangkutan dari tambang sampai ke pabrik, emisi debu karena proses penambangan dan pengangkutan. Demikian pula pada proses produksi, inventori output dilakukan dengan inventarisasi buangan selama proses produksi untuk mengolah bahan baku menjadi produk yang digunakan oleh konsumen. (Harjanto, Fahrurrozi and Bendiya, 2014)

Inventarisasi buangan atau output pada proses produksi dibuat di setiap tahapan pada proses pengolahan bahan baku hingga menjadi produk. Misal pada tahap reaksi bahan baku utama dan bahan baku kedua dalam sebuah reaktor, maka inventarisasi dilakukan dengan indentifikasi limbah padat atau cair yang dihasilkan dari reaksi serta limbah gas yang dihasilkan dari reaksi tersebut. Setelah dilakukan identifikasi dilanjutkan dengan perhitungan jumlah buangan berdasarkan perhitungan neraca massa pada reaktor. Dengan cara yang sama inventarisasi output juga dilakukan pada transportasi produk dari pabrik sampai diterima konsumen, saat produk digunakan konsumen, dan setelah produk digunakan oleh konsumen.

9.2.4 Penilaian dampak

Dampak yang menjadi dasar pertimbangan dalam penilaian dampak antara lain dampak terhadap kesehatan manusia dan hewan penerima, dampak terhadap keberlangsungan lingkungan, dampak terhadap sumberdaya alam dan dampak terhadap ekonomi sosial. Penilaian dampak dilakukan terhadap input dan output setiap tahap dalam batasan sistem. Transportasi dalam tiap tahap juga dinilai dampaknya. Penilaian dampak dilakukan berdasarkan inventory input dan output. Berdasarkan data input dan output tiap tahap dalam batasan sistem maka dilakukan analisa dan penilaian dengan membandingkan data terhadap ambang batas aman terhadap manusia, hewan dan lingkungan.

Sebagai contoh pada pengambilan bahan baku batu kapur dengan penambangan. Berdasarkan data inventarisasi input akan diketahui pada proses tersebut dibutuhkan input energi untuk peledakan dan transportasi. Dengan mengetahui jumlah energi yang dibutuhkan maka akan diketahui jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk setiap harinya. Dengan demikian akan diketahui sumber daya alam yang diambil untuk pemenuhan kebutuhan energi tersebut sehingga dapat diketahui dampak akibat

pengambilan bahan bakar untuk transportasi terhadap penurunan sumber daya alam. Sedangkan untuk peledakan dibutuhkan bahan peledak. Berdasarkan data inventarisasi output diketahui buangan dari pengambilan bahan baku yaitu berupa debu kapur, emisi dari asap kendaraan dan kebisingan akibat peledakan dan kendaraan pembawa bahan baku. Dengan demikian dapat dinilai dampak debu dan emisi gas buang terhadap kesehatan manusia dan kesehatan hewan penerima dampak. Disamping itu dampak akibat kebisingan yang ditimbulkan juga harus dinilai dampaknya. Untuk kebisingan dasar penilaian dampak adalah tingkat kebisingan yang ditimbulkan dan dibandingkan dengan ambang batas kebisingan yang aman. (Harjanto, Fahrurrozi and Bendiyasa, 2014)

9.2.5 Interpretasi

Tahap terakhir dalam penilaian menggunakan LCA adalah interpretasi. Pada tahap ini dilakukan dengan mengidentifikasi, mengevaluasi, memvalidasi, dan mengevaluasi hasil dari tahap *inventory* input, *inventory* output dan penilaian dampak pada suatu batasan sistem. Interpretasi digunakan untuk menjawab tujuan dan ruang lingkup LCA yang telah ditetapkan pada awal melakukan penilaian. Manfaat interpretasi adalah sebagai sarana komunikasi untuk memberikan keyakinan terhadap hasil analisis LCA, Interpretasi dibuat dalam format komprehensif sehingga memudahkan dalam pengambilan keputusan.

Secara umum, elemen pada tahap interpretasi adalah identifikasi permasalahan lingkungan berdasarkan LCA, penilaian kelengkapan, pemeriksaan sensitivitas dan konsistensi, kesimpulan dengan rekomendasi dan isu-isu penting yang harus diselesaikan. Semua hasil dari evaluasi LCA berlaku untuk kondisi yang ditentukan dalam fase pelingkupan.

9.3 Manfaat LCA Pada Industri

Penyusunan kajian penilaian menggunakan LCA memiliki manfaat yang banyak pada industri antara lain:

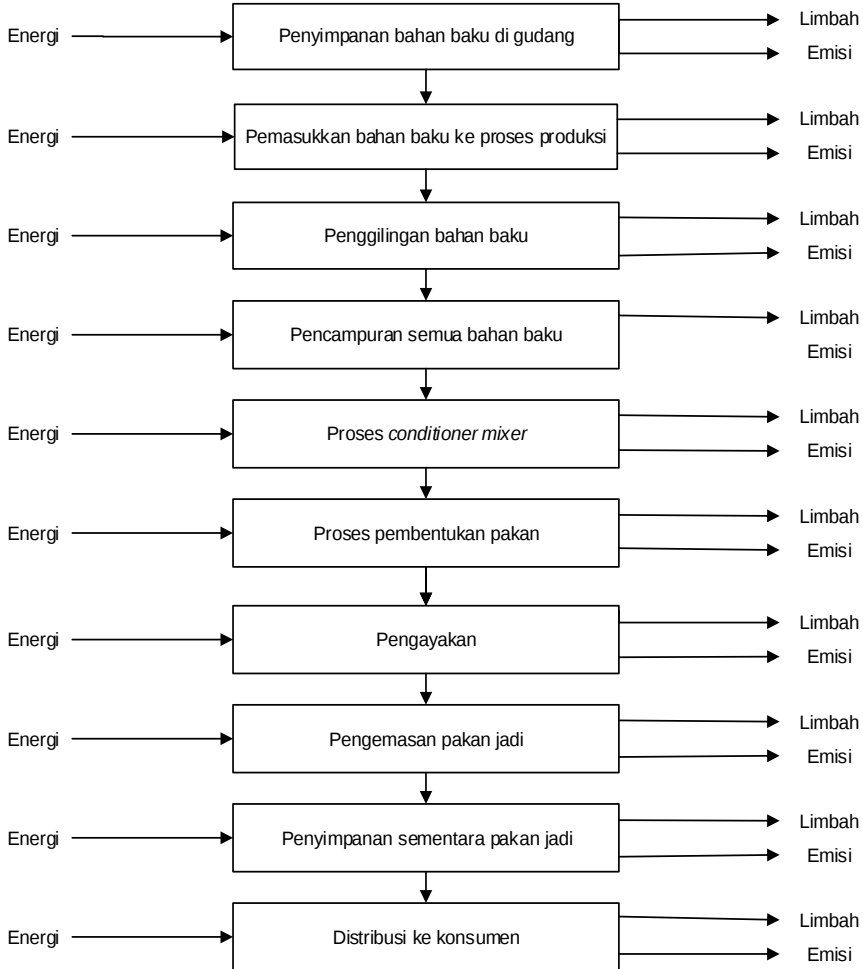
1. Memberikan informasi tentang potensi dampak suatu produk yang sedang dirancang terhadap lingkungan.
2. Memberikan informasi berupa data yang dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan baik untuk pabrik yang sudah didirikan maupun pabrik yang masih dalam tahap perancangan.
3. Memberikan data tentang identifikasi kemungkinan perbaikan yang dilakukan pada tiap langkah proses dalam batasan sistem yang ditetapkan.

9.4 Aplikasi LCA pada Industri

Penilaian LCA dapat dilakukan pada berbagai macam industri. Contoh aplikasi LCA pada industri adalah sebagai berikut:

1. Penilaian kualitatif pada pabrik yang memproduksi pakan ternak.

a. Analisa inventori input dan output



Gambar 9.3. Analisa inventori proses pada pabrik pakan ternak

b. Penyimpanan Bahan Baku Digudang

Semua bahan baku yang datang dari pemasok menggunakan truk container ditempatkan pada gudang

bahan baku. Pada proses ini Dibutuhkan energi dari bahan bakar kendaraan untuk transportasi yang untuk pengangkutan bahan baku dari pemasok sampai tiba di pabrik. Output berupa emisi gas buang dari kendaraan dan debu dari bahan baku halus yang jatuh maupun tertiuap angin, sedangkan buangan berupa sisa-sisa bahan baku yang berjatuhan dilantai.

c. Pemasukkan Bahan Baku

Proses memasukkan bahan baku ke dalam silo dilakukan manual menggunakan transportasi *loader* dan juga tenaga manusia. Input berupa energi yang dibutuhkan ialah dari penggerak *loader* yang berupa bahan bakar minyak. Sedangkan output pada langkah proses ini berupa emisi gas buang dari alat transportasi (*loader*) dan debu halus pada proses pemasukan bahan baku.

d. Penggilingan Bahan Baku

Penggilingan bahan baku ditujukan untuk menyeragamkan ukuran bahan baku karena bahan baku yang akan digunakan memiliki ukuran yang berbeda. Proses ini menggunakan alat *hammer mill*. Input pada proses ini berupa energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan *hammer mill* berasal dari listrik. Karena proses dilakukan di dalam alat yang tertutup maka tidak ada output berupa emisi dari proses. Namun suara yang keras dari mesin *hammer mill* menyebabkan kebisingan di area sekitar proses penggilingan bahan baku.

e. Pencampuran Semua Bahan Baku

Proses pencampuran bahan baku atau *mixing* bertujuan untuk mencampur rata semua bahan baku dan menghomogenkannya. Input pada proses berupa energi

listrik sebagai penggerak alat pencampur sedangkan output pada pencampuran tidak ada.

f. Proses Conditioner Mixer

Proses ini bertujuan untuk menghilangkan bakteri dan jamur yang berpotensi mengkontaminasi pakan setengah jadi. Proses dilakukan dengan penyemprotan uap air panas (*steam*). Input pada proses ini berupa air yang diubah menjadi *steam*, energi listrik penggerak mixer dan bahan bakar yang digunakan untuk mengubah air menjadi *steam*. Dalam proses ini tidak dihasilkan emisi dan limbah.

g. Proses Pembentukan Pakan

Pada proses ini terdapat tiga tahap yaitu pembentukan pellet, pendinginan dan pembentukan *crumble*. Proses pembentukan pellet menggunakan mesin press. Pada proses pendinginan pakan menggunakan blower yang mengalirkan udara dari bagian bawah alat kemudian melewati pakan di atasnya hingga keluar ke udara bebas. Sedangkan pembentukan *crumble* menggunakan mesin penggiling khusus. Input dari ketiga tahap ini adalah energi listrik dan udara untuk proses pendinginan. Sedangkan output berupa debu pakan hasil pendinginan yang lolos penyaringan dan dibuang ke udara.

h. Pengayakan

Pakan yang sudah berbentuk *crumble* kemudian diayak disesuaikan dengan ukuran standar *crumble* yang diinginkan. Input proses pengayakan berupa energi listrik sebagai penggerak mesin. Output berupa debu yang lolos dari alat.

i. Pengemasan Pakan Jadi

Pada proses pengemasan, pakan jadi akan secara otomatis ditimbang dan langsung dimasukkan ke dalam karung. Namun untuk proses penjahitan karung atau

proses menutup karung masih dilakukan manual oleh tenaga manusia. Input proses pengemasan berupa energi untuk penggerak mesin conveyor sedangkan output berupa debu tetapi jumlahnya tidak banyak.

j. Distribusi ke Konsumen

Proses distribusi dilakukan menggunakan transportasi berupa truk. Input berupa energi yang dibutuhkan ialah dari bahan bakar minyak sedangkan output berupa emisi gas buang kendaraan yang dapat mencemari udara.

2. Penilaian Dampak (*Impact Assessment*)

Setelah input dan output pada masing-masing tahapan proses diidentifikasi dalam tahapan analisis inventori, maka akan diketahui material apa saja yang dibutuhkan serta limbah dan emisi apa saja yang di buang ke lingkungan pada setiap tahapan proses produksi pakan ternak. Kemudian masing-masing limbah dan emisi dievaluasi efeknya terhadap lingkungan.

a. Limbah Padat

Limbah padat yang dihasilkan pada proses produksi pakan ternak ini ada dari bahan baku yang berjatuh di jalan ketika proses pemindahan maupun pemasukkan ke dalam proses produksi. Dampak dari adanya limbah ini ialah membuat lingkungan pabrik menjadi lebih kotor dan memungkinkan tumbuhnya bakteri patogen yang dapat mencemari bahan baku maupun pakan yang ada disekitarnya. Dan untuk bahan baku yang mempunyai bau menyengat tentu dapat mencemari udara sekitar limbah tersebut berada.

b. Emisi

Emisi yang dihasilkan ialah dari asap kendaraan bermotor yang digunakan sebagai alat transportasi baik

didalam maupun ke luar pabrik. Dampak yang diakibatkan dari emisi tersebut tentunya akan mencemari udara dan lingkungan sekitar. Khususnya untuk asap kendaraan yang akan memperparah pemanasan global.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, T, D and Shonnard, R, D. 2002. *Green Engineering Environmentally Conscious Design of Chemical Process*. United States of America: Prentice Hall PTR.
- Azhari, A.R. and Kusumayanti, A. 2021. "Higeia Journal of Public Health," *Higeia Journal of Public Health Research and Development*, 5(3), pp. 227–238.
- Curran, A, M. 1996. *Environmental Life Cycle Assessment*. United State of America: Mc Graw-Hill.
- Harjanto, T.R., Fahrurrozi, M. and Bendiyasa, I.M. 2014. "Life Cycle Assessment Pabrik Semen PT Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap: Komparasi antara Bahan Bakar Batubara dengan Biomassa," *Jurnal Rekayasa Proses*, 6(2), pp. 51–58.
- Kokare, S., Oliveira, J.P. and Godina, R. 2023. "Life cycle assessment of additive manufacturing processes: A review," *Journal of Manufacturing Systems*, 68(May), pp. 536–559. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.05.007>.
- Turner, I. *et al.* 2023. "Development of a life cycle impact assessment methodology for animal welfare with an application in the poultry industry," *Sustainable Production and Consumption*, 40(June), pp. 30–47. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.06.010>.

BAB 10

ROBOTIKA PERTANIAN

Oleh Rizki Aulia Nanda

10.1 Pendahuluan

Robotika yang telah berkembang saat ini sangat membantu dari segala aspek yaitu, aspek industri, pertanian dan masyarakat luas. Penggunaan teknologi robot dapat memberikan kemudahan dalam membantu sebuah proses. Robot merupakan perangkat elektrik yang tersusun sempurna untuk bekerja secara otomatis dalam menyelesaikan tugas yang telah diatur dan diprogram (Nanda, Arhami and Kurniawan, 2020).



Gambar 10.1. Robot Pertanian
(Sumber : (Zhang *et al.*, 2020))

Salah satu fungsi robot juga sering digunakan di bidang pertanian. Robot pertanian memiliki fungsi yang baik yaitu untuk

menanam, memanen dan memberi pupuk secara otomatis. Setiap perancangan robot selalu memikirkan output yang dibutuhkan. Sehingga semua kesiapan perancangan robot dipertimbangkan, yaitu dari desain, pemilihan komponen, proses pemrograman dan pengujian serta analisis harus memiliki pertimbangan yang kuat. Sehingga dengan hasil kinerja robot pertanian sesuai dengan kinerja manusia di bidang pertanian. Berikut beberapa jenis robot yang dibutuhkan untuk bidang pertanian yaitu; mobil robot, lengan robot dan kombinasi robot yang digunakan.

10.2 Jenis-jenis Robot Pertanian

Pengembangan robot pertanian terus ditingkatkan untuk menghasilkan jumlah produksi pertanian yang semakin meningkat namun mengurangi jasa penggunaan ahli pertanian dalam proses penanaman tumbuhan di bidang pertanian (Kurtser and Lowry, 2023). dalam pengembangan robot pertanian maka dari itu diperlukan beberapa jenis robot pertanian yang sesuai dengan output yang dibutuhkan dalam proses baik itu proses penanaman, proses memanen, dan proses pemupukan. Ada beberapa jenis robot yang akan dikembangkan yaitu lengan robot di bidang pertanian, mobil robot di bidang pertanian dan robot kombinasi di bidang pertanian (Ørum *et al.*, 2023).

10.2.1 Lengan Robot

Lengan robot memiliki fungsi dapat bergerak mengikuti derajat putar dengan memanfaatkan motor servo atau motor stepper. Lengan robot memiliki fungsi aktuator yang dapat bergerak layaknya seperti sendi lengan pada manusia yang hanya bergerak mengikuti derajat getas dalam bentuk-bentuk sudut.



Gambar 10.2. Lengan Robot Pertanian
(Sumber : (Kurtser and Lowry, 2023))

Persamaan lengan robot menggunakan persamaan kinematik dan invers untuk mendapatkan sudut gamma pada lengan robot menggunakan motor servo (Paradkar, Raheman and Rahul, 2021).

$$P_x = [a_2 \cos \theta_4 + a_3 \cos (\theta_3 + \theta_4)] \times \cos \theta_1$$

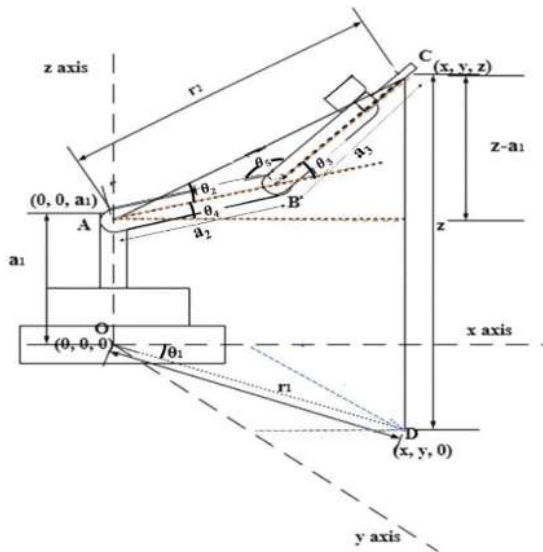
$$P_y = [a_2 \cos \theta_4 + a_3 \cos (\theta_3 + \theta_4)] \times \sin \theta_1$$

$$P_z = [a_2 \sin \theta_4 + a_3 \sin (\theta_3 + \theta_4)] + a_1$$

Dari persamaan di atas dapat disimpulkan bahwa P_x , P_y dan P_z merupakan sudut total lengan robot terhadap sudut pada koordinat x, y dan z. dan untuk persamaan invers kinematik menggunakan persamaan berikut :

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right)$$

Persamaan tersebut diletakkan pada lengan robot yang memiliki sudut pada sendi-sendi putar (Paradkar, Raheman and Rahul, 2021).



Gambar 10.3. Persamaan Lengan Robot
(Sumber : (Paradkar, Raheman and Rahul, 2021))

Dari persamaan lengan robot tersebut menghasilkan gerak kinematik dan impor kinematik untuk menghasilkan sudut gerak proses lengan robot dalam mengambil hasil panen di bidang pertanian. biasanya lengan robot digunakan untuk proses penanaman dan proses memanen yang hanya berada pada satu tempat tidak berpindah-pindah hal itu dikarenakan lengan robot di bidang pertanian hanya menanam pada bagian lahan yang itu saja.

10.2.2 Mobil Robot

Mekanisme gerak memiliki sama halnya seperti mobil pada umum yang digunakan, yaitu memanfaatkan 4 roda atau lebih dalam menggerakkan mobil robot sehingga bisa berpindah tempat dalam proses penanaman, proses memanen dan proses pemupukan. Dengan adanya roda pada mobil robot memudahkan

robot tersebut dalam melakukan kinerja sesuai yang telah diprogram(Septiadi and Amri, 2019). Penggunaan mobil robot di bidang pertanian memiliki fungsi proses pada lahan yang sangat luas. Pada umumnya proses itu mencapai dua atau sampai 5 hektar penanaman di bidang pertanian.



Gambar 10.4. Mobil robot pertanian
(Sumber : (Kurtser and Lowry, 2023))

Mobil robot memiliki aktuator dalam bentuk motor DC atau motor AC yang dapat berputar sebesar 360° secara looping menghasilkan putaran di setiap 4 roda yang digunakan. Putaran tersebut bekerja secara terus-menerus sampai proses pemindahan harus listrik ke motor berhenti. Getaran motor DC ini menghasilkan gerak searah jarum jam dan berlawanan jarum jam. Sehingga putaran robot berpengaruh pada kecepatan laju robot dengan menggunakan persamaan berikut, untuk persamaan postur robot(Permadi, Prayogo and Kusuma, 2021) :

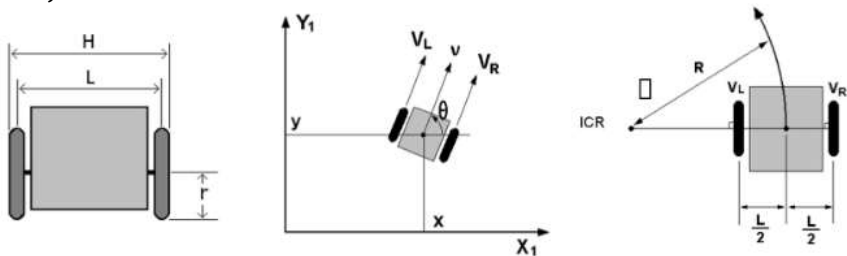
$$P = \begin{pmatrix} x \\ y \\ \theta \end{pmatrix}$$

(x,y) : posisi robot, θ : Orientasi robot. Berikutnya kontrol input robot menggunakan persamaan :

$$U = \begin{pmatrix} v \\ \omega \end{pmatrix}$$

V = Kecepatan linier robot, ω = Kecepatan sudut robot

Sehingga manuver robot dilakukan untuk mendapatkan posisi berbelok dan posisi lurus ketika mobil robot melakukan kinerja.



Gambar 10.5. Manuver mobil robot pertanian
(Sumber : (Permadi, Prayogo and Kusuma, 2021))

Dengan memperhitungkan manuver mobil robot maka dapat diperoleh posisi robot saat berjalan.

10.2.3 Robot Kombinasi

Robot kombinasi merupakan robot gabungan antara mobil robot dan lengan robot, kombinasi tersebut digunakan untuk bekerja sebagaimana roda robot digunakan untuk berpindah haluan dan manuver sedangkan dengan robot bekerja untuk memanen ataupun menanam tumbuhan yang akan ditanam. Sehingga dengan adanya robot kombinasi ini dapat memudahkan kinerja proses di bidang pertanian, dengan dua fungsi namun memiliki satu tujuan dapat mengurangi waktu proses penanaman yang lebih cepat dan singkat. Persamaan yang digunakan juga sama pada persamaan lengan robot dan persamaan manuver pada mobil robot, persamaan tersebut diterapkan apabila pada lengan robot menggunakan sudut dalam proses penanaman maupun proses memanen. Namun pada roda mobil robot digunakan untuk

memperoleh laju kecepatan mobil robot dalam proses pemindahan lokasi proses penanaman dan proses memanen.



Gambar 10.6. Mobil robot kombinasi
(Sumber : (Zhang *et al.*, 2020))

10.3 Komponen Robot Pertanian

Komponen robot pertanian hampir sama pada komponen robot-robot yang lain. fungsi komponen tersebut untuk menunjang kinerja robot dalam melakukan proses fotosintesis di bidang pertanian pada saat proses penanaman, memanen dan pemupukan. kinerja robot ini akan bekerja dengan semestinya apabila memiliki komponen yang lengkap dan mendukung, adapun komponennya meliputi mikrokontroler, sensor, driver, aktuator dan sasis sebagai penyangga. Semua komponen tersebut disambung dan disusun menjadi satu melalui sambungan terhadap rangkaian-rangkaian elektrikal dan sistem listrik. maka dari itu robot pada umumnya menggunakan listrik untuk dapat mengerjakan proses pertanian. menggunakan listrik pada

umumnya yaitu listrik DC pada arus penyimpanan di baterai. Satu baterai dengan tegangan 12-24 voltase dapat menggerakkan robot dan keseluruhan komponen robot(Nanda, Arhami and Kurniawan, 2020).

10.3.1 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan sebuah perangkat hardware yang dapat mengendalikan sistem output maupun menerima data secara input, dengan adanya sistem mikrokontroler kinerja robot dapat dikendalikan melalui perintah proses pemrograman yang akan diinput.



Gambar 10.7. Mikrokontroler

(Sumber : (Nanda, Supriyanto and Karyadi, 2023))

Sistem mikrokontroler memiliki beberapa Terminal sesuai dengan jenis mikrokontroler yang akan digunakan, pada gambar di atas merupakan Arduino Uno yang memiliki 13 PIN output atau input, 5 PIN analog dan arus PIN. Arduino Uno merupakan mikrokontroler yang dapat dikendalikan secara open source dengan menggunakan pemrograman bahasa C. PIN output pada Arduino dapat mengendalikan beberapa aktuator yang disambungkan untuk mengendalikan gerak aktuator. PIN pada Arduino juga dapat bekerja untuk membaca data sensor yang akan

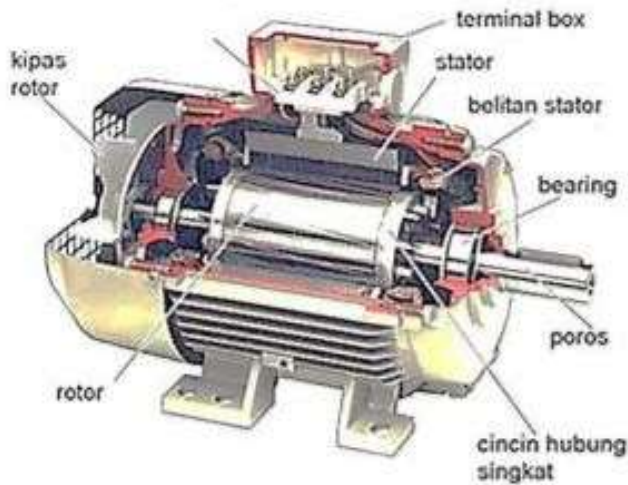
diterima oleh Arduino Uno. Beberapa robot pertanian telah menggunakan mikrokontroler Arduino Uno untuk mengendalikan sistem robot baik lengan robot maupun mobil robot atau kombinasi robot(Nanda, Karyadi and Dewadi, 2022).

10.3.2 Aktuaktor

Aktuator robot merupakan sesuatu alat yang akan digunakan sebagai mekanik robot dalam proses pengerjaan. Untuk robot pertanian mekanika robot sangat dibutuhkan dalam proses penanaman maupun proses panen yang dapat bekerja secara otomatis menggunakan konfigurasi konfigurasi sesuai dengan aktuator yang dipasang. Aktuator pada robot pertanian menggunakan beberapa jenis aktuator yaitu motor servo, motor DC, motor stepper dan beberapa jenis aktuator lainnya.

1. Motor DC

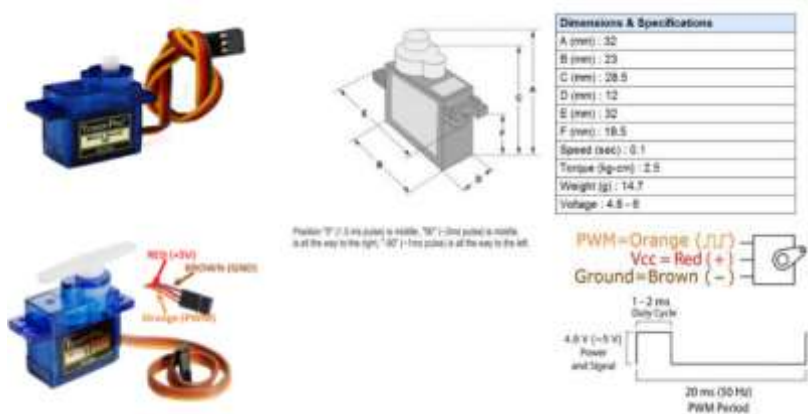
Motor DC ataupun motor dengan arus searah yang memiliki fungsi mengubah listrik menjadi putaran yang terdiri dari putaran searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam. Prinsip kerja pada motor DC yaitu pada bagian motor DC menghasilkan dua bagian utama Rotor dan stator. Kedua bagian tersebut mengalirkan sebuah listrik dan menghasilkan medan magnet dari koilnya.



Gambar 10.8. Motor DC
(Sumber : (Abdurrahman Rasyid, 2020))

2. Motor servo

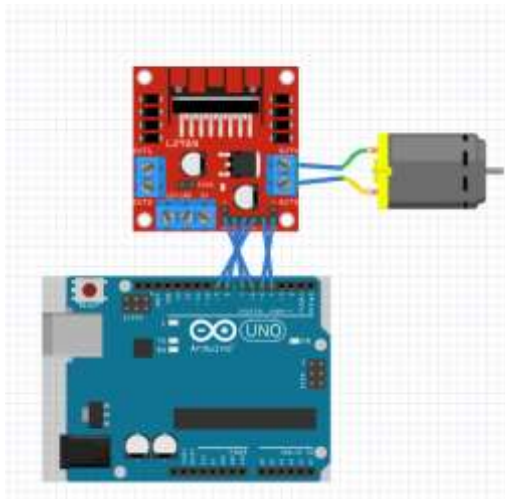
Motor servo merupakan motor DC yang telah Kompleks beberapa komponen untuk menghasilkan putaran dalam bentuk derajat. Sehingga setiap putaran menghasilkan sudut input pada motor servo, penggunaan motor tersebut di bidang robotika pertanian sangat membantu untuk proses menggerakkan lengan robot. Motor serbuk terdiri dari roda gigi poros dan mikrokontroler yang terletak di dalamnya. Fungsi mikrokontroler tersebut menjadikan sebuah driver dalam proses menggerakkan sudut putar dalam bentuk derajat.



Gambar 10.9. Motor Servo
(Sumber :(GLH, 2020))

10.3.3 Driver

Driver motor merupakan perangkat tambahan untuk menerima pemrograman dari mikrokontroler untuk mengendalikan aktuator sehingga menghasilkan gerak mekanik baik secara kinematik maupun dinamika. Dalam pengembangan robotika pertanian ketika ingin menggunakan sistem mekanik berupa gerak maka dibutuhkan motor driver untuk DC maupun motor driver untuk servo(Nanda, Supriyanto and Dewadi, 2023). Penggunaan motor driver untuk motor DC berfungsi untuk memutar roda searah jarum jam maupun berlawanan arah jarum jam, penggunaan motor driver pada servo berfungsi untuk menggerakkan lengan robot menghasilkan sebuah sudut putar untuk menghasilkan pergerakan lengan robot(Paryono *et al.*, 2023).



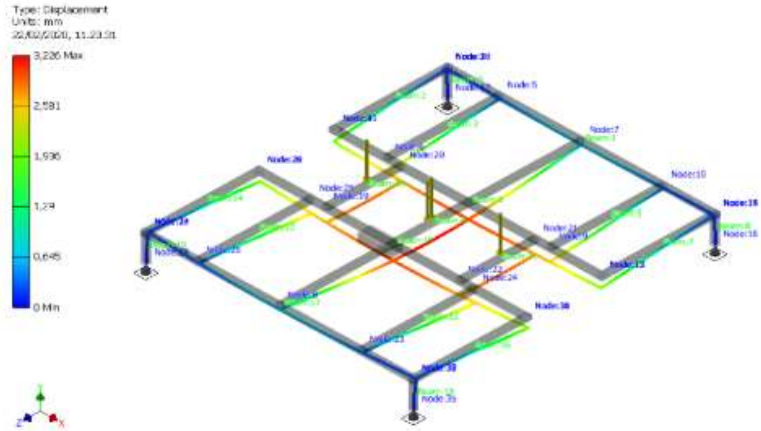
Gambar 10.10. Motor Driver

Driver motor memiliki fungsi input dari control Arduino berupa mikrokontroler, dari gambar 10.10 dapat dilihat bahwa sambungan dimulai dari mikrokontroler ke sistem motor *driver*. Setiap PIN pada motor *driver* memiliki fungsi berupa port sambungan motor DC terhadap putaran CW (searah jarum jam) dan ccw (berlawanan arah jarum jam). Kendali sistem motor DC baik CW maupun ccw diperintahkan dari mikrokontroler sebagai output menghasilkan sistem input dari motor *driver* sehingga PIN CW maupun ccw diaktifkan.

10.3.4 Sasis

Sasis merupakan sebuah penyangga sistem elektrik, aktuatur dan mekanikal yang ada pada robot pertanian. Sasis merupakan komponen utama yang dapat membantu sistem penyangga terhadap kedudukan komponen-komponen pada robotika pertanian. Sistem sasis perlu dianalisis untuk mengetahui kekuatan beban yang diterima oleh sasis dari beban komponen yang telah dirancang dan dipasang. setiap komponen memiliki berat namun

dibutuhkan perhitungan gaya sehingga menghasilkan gaya-gaya yang terdistribusi pada rangka robotika pertanian(Nanda, Arhami and Kurniawan, 2020).



Gambar 10.11. Sasis robot pertanian
(Sumber : (Nanda, Arhami and Kurniawan, 2020))

$$F = M \times g$$

Di mana F adalah sebuah gaya(N), M merupakan berat (kg) dan g merupakan gravitasi $9,8 \text{ m/s}^2$. Hasil dari perhitungan gaya memperoleh tegangan sebagai berikut :

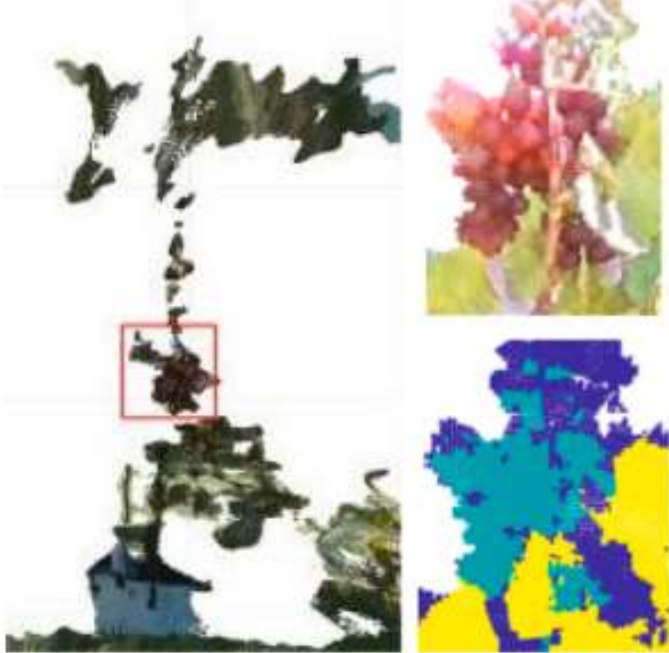
$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dimana σ adalah tegangan (MPa), F adalah Gaya (N) dan A adalah luas penampang (m^2).

10.3.5 Sensor

Sensor merupakan alat indera pada robot untuk merasakan beberapa objek. Sensor pada umumnya digunakan di bidang robot pertanian berupa sensor visual yang dapat mendeteksi jenis tanaman, hama dan kontur tanah. Sensor visual ini digunakan

untuk robot pertanian supaya dapat bermanfaat secara otomatis dengan melihat ruang lingkungan sekitar(Cebollada *et al*, 2021).



Gambar 10.12. Sensor visual tanaman
(Sumber : (Kurtser and Lowry, 2023))

Sensor merupakan alat indera pada robot untuk merasakan beberapa objek. Sensor pada umumnya digunakan di bidang robot pertanian berupa sensor visual yang dapat mendeteksi jenis tanaman, hama dan kontur tanah. Sensor visual ini digunakan untuk robot pertanian supaya dapat bermanfaat secara otomatis dengan melihat ruang lingkungan sekitar.

Dari gambar 10.12 merupakan sensor visual yang mendeteksi bentuk tanaman sehingga karakteristik tanaman dari awal pertumbuhan hingga panen dapat diklasifikasi oleh sensor tersebut. Proses penentuan klasifikasi jenis tanaman tersebut

ditentukan melalui rekaman recognition Dengan menggunakan persamaan berikut:

$$L(x, r) = MSE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{i=m} (x_i - r_i)$$

Dari persamaan di atas dapat dijelaskan bahwa proses recognition dengan menggunakan x sebagai input pengukuran, r sebagai reconstructed dengan input m = panjang $\times$ lebar $\times$ saluran) menghasilkan recognition otomatis dengan menggunakan sistem Autoencoders. Sensor visual merupakan sensor utama yang digunakan untuk menghasilkan deteksi objek yang dapat diterima oleh sistem mikrokontroller. Adapun sensor-sensor lain yang digunakan pada robotika pertanian adalah :

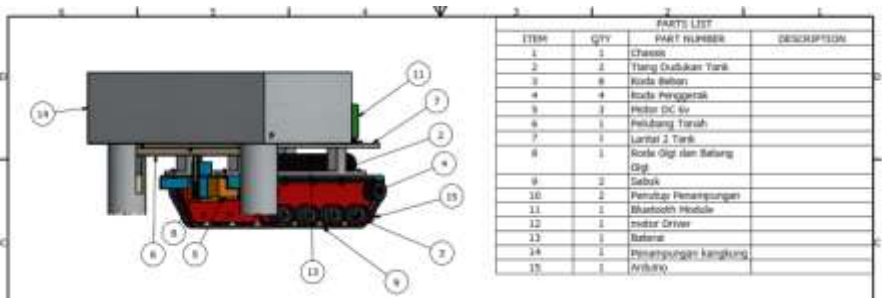
1. Sensor jarak
2. Sensor Inframerah
3. Sensor suhu
4. Sensor LiDar
5. Sensor api
6. Sensor posisi

10.4 Perancangan Robotika Pertanian

Perancangan robot merupakan susunan tahapan dalam melakukan proses yang dibutuhkan untuk membangun sebuah robotika bidang pertanian. Salah satu perencanaan robotika pertanian adalah dengan melihat proses penanaman namun dikonversikan menjadi sistem mekanik supaya dapat dikerjakan oleh robot. Sistem pengamatan dibutuhkan untuk melihat bagaimana proses penanaman sebuah tumbuhan dengan proses penanaman sangat berbeda-beda namun sistem penanaman tersebut dapat diubah menjadi penggerak atau mekanik pada penanaman tumbuhan. Tahapan perencanaan yang dibutuhkan meliputi pengamatan, desain, proses Manufacturing dan assembling atau penggabungan.

10.4.1 Desain Robot

Dari perencanaan sebuah robot menghasilkan beberapa komponen bentuk dan mekanisme kerja sesuai dari perencanaan yang telah ditetapkan pada proses penanaman yang sesuai dengan jenis tumbuhan. Desain sebuah robot menghasilkan bentuk, dimensi, material properti dan komponen-komponen menggunakan robot dirancang menggunakan sebuah software tiga dimensi untuk menentukan tata letak ruang pada desain robot tersebut. Semua komponen digambarkan dalam bentuk tiga dimensi dengan ukuran 1 banding 1 sesuai pada produk aslinya. Maka dari desain tersebut perencanaan awal akan menentukan hasil dari proses pembuatan sebuah robot pertanian.



Gambar 10.13. Desain robotika pertanian

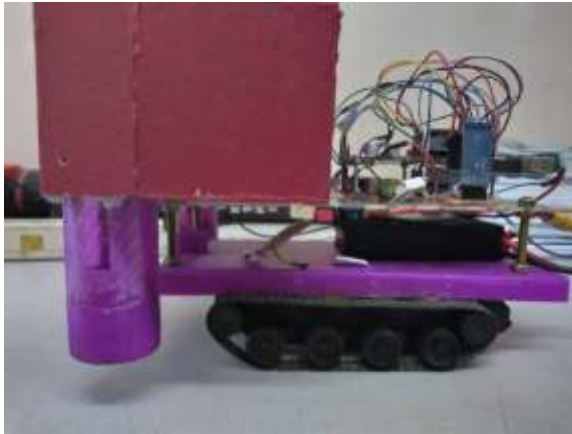
Dari gambar 10.13 merupakan bentuk desain robotika pertanian yang memiliki beberapa komponen yang dapat dirancang sehingga menentukan bentuk, ukuran dan tata letak dari robotika tersebut. Perencanaan ini sangat dibutuhkan supaya menghasilkan produk dalam proses assembling dan Manufacturing. Perancangan tersebut juga memberikan bentuk dimensi yang sesuai dengan proporsi tanaman yang akan ditanamkan sesuai mekanikal gerak.

10.4.2 Pembuatan Robot

Proses pembuatan robot merupakan proses Manufacturing yang akan dikembangkan dalam membuat sebuah robot pertanian, beberapa proses dalam pembuatan robot yaitu dari proses penggabungan, proses pematangan dan proses pengujian hasil pembuatan. Pada umumnya robot pertanian dibuat dengan mekanisme proses pengelasan dan proses penggabungan menggunakan baut dan mur. Sehingga semua kedudukan pada sasis terhadap komponen dapat menyatu menjadi satu rangkaian robot pertanian.

10.4.3 Assembly Robot

Robotika pertanian yang telah dibuat dan diproses akan digabungkan menjadi satu kesatuan robot untuk menghasilkan bentuk produk robotika pertanian. Adapun beberapa komponen digabungkan dalam sebuah sasis dan mekanisme disatukan untuk menghasilkan mekanikal robot. Mekanikal robot pada itu tersendiri menyatu pada bagian aktuator ataupun bagian penggerak, bagian penggerak robotika ini telah menyatu pada bagian rangkaian elektrik mikrokontroler dan beberapa komponen elektronik lainnya. Semua komponen elektronik dapat menyala apabila diberikan sebuah daya dalam bentuk DC atau baterai. Dengan demikian semua sambungan atau rangkaian robot menjadi satu dan menjadi mekanik gerak robot sesuai dengan proses penanaman robot yang telah diamati di awal tadi.



Gambar 10.14. Hasil Assembly robotika pertanian

10.5 Pengujian Robotika Pertanian

Setelah semua proses perancangan, pembuatan dan penggabungan robotika pertanian maka di tahap akhir dilakukan sebuah pengujian robotika pertanian agar dapat bekerja sesuai dengan mekanisme tanam pada tumbuhan. Pada contoh ini robotika yang dirancang dan dibuat merupakan robot menanam bibit kangkung. Adapun konektivitas pertama yang dilakukan adalah dengan menghubungkan saluran komunikasi berupa bluetooth wireless.



Gambar 10.15. Telekomunikasi kontrol robot

Setelah telekomunikasi kontrol robotika pertanian, maka dilakukan persiapan bibit untuk dilakukannya proses penanaman.



Gambar 10.16. Persiapan bibit

Setelah persiapan bibit dilakukan maka selanjutnya adalah menggerakkan robot menggunakan sistem kontrol telekomunikasi cara-cara jauh agar bibit yang ada di dalam penampungan dapat tertanam dengan mekanisme poros penusuk ke tanah.



Gambar 10.17. Proses penusukkan poros ke lubang

Proses penusukan poros ke dalam lubang memberikan gaya gravitasi beserta dibantu aktuator mendapatkan gerak mekanik penanaman secara otomatis yang dapat menumpahkan Bibit ke dalam lubang dan membentuk lubang kembali. dengan demikian proses mekanik ini berhasil dikerjakan sesuai dengan panduan penanaman bibit kangkung yang harus memberikan sebuah lubang, memasukkan bibit ke dalam lubang dan menutupnya kembali. setelah dilakukan penanaman bibit kangkung menggunakan robot 3 pertanian maka hasil akhir adalah mengevaluasi Bagaimana kinerja robot tersebut Apakah lebih cepat dari penanaman manual atau tidak.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman Rasyid, S.P. 2020. *pengertian-motor-dc-sebagai-aktuator, samrasyid*.
- Cebollada, S. *et al.* 2021. *A state-of-the-art review on mobile robotics tasks using artificial intelligence and visual data, Expert Systems with Applications*. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.eswa.2020.114195.
- GLH. 2020. *Mengontrol Motor Servo SG 90 Menggunakan Arduino, Dapur Elektronika Galuh*.
- Kurtser, P. and Lowry, S. 2023. 'RGB-D datasets for robotic perception in site-specific agricultural operations — A survey', 212(January).
- Nanda, R.A., Arhami, A. and Kurniawan, R. 2020. 'Perancangan Dan Pengujian Model Mobil Robot Penanam Bibit Kangkung', *Rona Teknik Pertanian*, 13(2), pp. 14–28.
- Nanda, R.A., Karyadi, K. and Dewadi, F.M. 2022. 'Pengukuran Intensitas Cahaya Menggunakan Sensor BH-1750 Berbasis Mikrokontroler: Studi Kawasan Kampus UBP Karawang', *Praxis: Jurnal Sains, Teknologi, Masyarakat dan Jejaring*, 5(1), pp. 74–81.
- Nanda, R.A., Supriyanto, A. and Dewadi, F.M. 2023. 'Using the MPX5500DP Sensor for Monitoring Microcontroller-Based HVAC Systems and IOT', *REM (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 8(1), pp. 1–8.
- Nanda, R.A., Supriyanto, A. and Karyadi, F.M.D. 2023. 'Penggunaan Sensor MPX5500DP Untuk Monitoring Sistem HVAC Berbasis Mikrokontroler dan IOT', *REM (Rekayasa Energi Manufaktur)*, 8(1), pp. 1–8.
- Ørum, J.E. *et al.* 2023. 'Optimal use of agricultural robot in arable crop rotation: A case study from the Netherlands', *Smart Agricultural Technology*, 5(December 2022). doi:10.1016/j.atech.2023.100261.

- Paradkar, V., Raheman, H. and Rahul, K. 2021. 'Development of a metering mechanism with serial robotic arm for handling paper pot seedlings in a vegetable transplanter', *Artificial Intelligence in Agriculture*, 5, pp. 52–63. doi:10.1016/j.aiia.2021.02.001.
- Paryono, T. *et al.* 2023. 'Detecting Vehicle Numbers Using Google Lens-Based ESP32CAM to Read Number Characters', *MATRIK: Jurnal Manajemen, Teknik Informatika dan Rekayasa Komputer*, 22(3), pp. 469–480.
- Permadi, Y., Prayogo, S.S. and Kusuma, T.M. 2021. 'Robot Edukasi Pertanian Agrobot-I: Rancangan Elektronika Dan Sistem Penggerak', *Jurnal Ilmiah Informatika Komputer*, 26(1), pp. 1–12. doi:10.35760/ik.2021.v26i1.2696.
- Septiadi, A.R. and Amri, S. 2019. 'Rancang Bangun dan Analisa Robot Tematik Simulasi Pertanian dengan Kendali Wireless', *Jurnal Infomedia*, 4(1), p. 15. doi:10.30811/jim.v4i1.916.
- Zhang, B. *et al.* 2020. 'State-of-the-art robotic grippers, grasping and control strategies, as well as their applications in agricultural robots: A review', *Computers and Electronics in Agriculture*, 177(April), p. 105694. doi:10.1016/j.compag.2020.105694.

BAB 11

ARSITEKTUR DAN KOTA HIJAU

Oleh Nunik Hasriyanti

11.1 Pendahuluan

Arsitektur adalah ilmu dan seni perencanaan dan perancangan bangunan dan struktur. Pada dasarnya tujuan arsitektur adalah menciptakan ruang bagi kebutuhan manusia. Rancangan dan perencanaan seorang arsitek mempunyai kualitas tertentu yaitu kegunaan, kekuatan dan keindahan. Arsitektur merupakan ilmu dalam merencanakan dan merancang sebuah bangunan dengan mempertimbangkan unsur estetika, fungsi dan struktur.

Mangunwijaya dan Wastu Citra (1995, p. 12) mengungkapkan bahwa arsitektur berasal dari kata Yunani "*archee*" dan "*tecton*". *Archee* artinya asli, pertama, pertama. Padahal *Tecton* artinya kokoh, tidak roboh atau stabil. Lalu *archtekon* artinya asli dan abadi. (Mangunwijaya, 1988).

Pengertian Arsitektur menurut beberapa ahli :

Francis DK Ching (1979)

Arsitektur membentuk suatu tautan yang mempersatukan ruang, bentuk, teknik dan fungsi.

Amos Rappoport (1981)

Arsitektur adalah ruang tempat hidup manusia, yang lebih dari sekedar fisik, tapi juga menyangkut pranata-pranata budaya dasar. Pranata ini meliputi: tata atur kehidupan sosial dan budaya masyarakat, yang diwadahi dan sekaligus mempengaruhi arsitektur.

Djauhari Sumintardja

Arsitektur merupakan sesuatu yang dibangun manusia untuk kepentingan badannya (melindungi diri dari gangguan) dan kepentingan jiwanya (kenyamanan, ketenangan, dll).

J.B. Mangunwijaya (1992)

Arsitektur sebagai vastuvidya (wastuwidya) yang berarti ilmu bangunan. Dalam pengertian wastu terhitung pula tata bumi, tata gedung, tata lalu lintas (dhara, harsya, yana). Seni ini adalah ilmu dalam merancang bangunan. Arsitektur juga dapat merujuk kepada hasil proses perancangan tersebut.

Cornelis Van de Ven

Mengatakan bahwa memberikan pandangan mengenai arsitektur yang berarti menciptakan ruang dengan cara yang benar-benar direncanakan dan dipikirkan. Pembaharuan arsitektur yang berlangsung terus menerus sebenarnya berakar dari pembaharuan konsep-konsep ruang.

Benjamin Handler

Arsitek adalah seniman struktur yang menggunakan struktur secara estetis berdasarkan prinsip-prinsip struktur itu sendiri.

Brinckmann

Arsitektur merupakan kesatuan antara ruang dan bentuk, juga penciptaan ruang dan bentuk.

11.2 Arsitektur Hijau

Arsitektur hijau adalah metode desain bangunan yang dirancang untuk meminimalkan berbagai dampak berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan. menyukai Pengertian dasar arsitektur hijau berkelanjutan, unsur-unsur yang terkandung di

dalamnya adalah lanskap, interior, yang menjadi satu kesatuan arsitektur yang utuh. Tujuan utama arsitektur hijau adalah menciptakan lingkungan yang ramah lingkungan desain, arsitektur ekologi, arsitektur alami dan pembangunan berkelanjutan. Arsitektur hijau dapat diimplementasikan meningkatkan penggunaan energi, air dan material yang mengurangi dampak kesehatan bangunan. Desain arsitektur hijau mencakup desain, konstruksi, pengoperasian dan pemeliharaan bangunan.

Menurut Brenda dan Robert Vale, prinsip arsitektur hijau adalah 1991, dalam Desain Arsitektur Hijau untuk Masa Depan Berkelanjutan:

1. Hemat energi Dalam arsitektur hijau, penggunaan energi adalah baik dan benar menjadi prinsip utama. Sebuah bangunan yang baik memerlukan perhatian konsumsi energi sebelum dan sesudah pembangunan gedung. Berikut merupakan konsep perancangan bangunan yang hemat energi:
 - a. Bangunan menjadi memanjang dan tipis memaksimalkan cahaya dan menghemat listrik.
 - b. Memanfaatkan pancaran energi matahari berupa energi panas sebagai sumber energi listrik dengan alat Photovaltai ditempatkan di atap. Pada saat yang sama, atapnya dimiringkan dari atas ke bawah dinding timur-barat atau sepanjang arah putaran matahari untuk mendapatkan sinar matahari sebanyak mungkin.
 - c. Pasang lampu listrik hanya pada bagian yang ada intensitas rendah. Selain itu, gunakan alatnya kontrol peredupan otomatis ya sebuah lampu hanya memancarkan begitu banyak cahaya diperlukan untuk tingkat cahaya tertentu.
 - d. Penggunaan pelindung sinar matahari pada jendela yang dioperasikan secara otomatis Intensitas cahaya

dan energi panas dapat disesuaikan terlalu banyak untuk ruangan.

- e. Cat interior bangunan dengan warna cerah, tapi tidak silau yang ditujukan untuk meningkatkan intensitas cahaya.
- f. Tidak ada pemanas buatan yang digunakan di dalam gedung Panas dihasilkan oleh penghuni dan sinar matahari masuk melalui ventilasi.
- g. Meminimalkan konsumsi energi peralatan pendingin (AC) dan lift.

2. *Working with climate* (penggunaan kondisi dan sumber energi pengalaman) Arsitektur hijau bangunan beradaptasi lingkungan, hal ini dilakukan dengan memanfaatkan kondisi alam, iklim dan lingkungan sekitar juga menjadi bentuk pekerjaan konstruksi, misalnya:

- a. Orientasi bangunan terhadap sinar matahari
- b. Menggunakan sistem air pump dan cross ventilation untuk mendistribusikan udara yang bersih dan sejuk ke dalam ruangan.
- c. Menggunakan tumbuhan dan air sebagai pengatur iklim.
- d. Menggunakan jendela dan atap yang sebagian bisa dibuka dan ditutup untuk mendapatkan cahaya dan penghawaan yang sesuai kebutuhan.

3. *Respect for Site* (Menanggapi keadaan tapak pada bangunan)

Desain berarti interaksi antara bangunan dan berkaitan dengan perencanaan tapak yang responsive terhadap lingkungan sekitar. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan desain bangunan yang bagus konstruksi, desain dan penggunaan tidak merusak lingkungan hidup sebagai berikut.

- a. Menjaga kondisi lokasi dengan perencanaan yang tepat mengikuti format website yang ada.
 - b. Luas lantai bangunan yang kecil, mis Hal-hal yang perlu diperhatikan saat mendesain bangunan dengan arah vertikal.
 - c. Penggunaan material lokal dan material non-destruktif terhadap lingkungan.
4. *Respect for Use* (memperhatikan pengguna bangunan)
 Pengguna dalam hal ini adalah pemilik bangunan (klien) dan arsitektur hijau memiliki hubungan yang sangat dekat. Perlunya arsitektur hijau bagi seseorang dengan memperhatikan bagian dalam pada bangunan dan perencanaan dan pengoperasian terhadap fungsi bangunan yang dirancang.
5. *Limitting New Resources* (meminimalkan Sumber Daya Baru)
 Bangunan harus dirancang secara optimal dengan menggunakan bahan yang ada, lalu meminimalkan penggunaan bahan baru yang memberikan efek merugikan bagi lingkungan, serta yang dapat digunakan kembali pada akhir masa manfaat bangunan sehingga membentuk tatanan arsitektur lain.
6. *Holistic*
Holistic disini memberikan pengertian bahwa perancangan harus memiliki pemahaman tentang desain bangunan dengan menerapkan 5 poin sebelumnya dalam satu proses desain. Pada dasarnya prinsip arsitektur hijau tidak dapat dipisahkan karena saling berkaitan. Tentu saja, menerapkan prinsip-prinsip ini agak lebih mudah. Oleh karena itu, semaksimal mungkin menerapkan arsitektur hijau yang ada secara keseluruhan sesuai dengan potensi lokasi.

11.3 Arsitektur dan Kota Hijau

Arsitektur dan kota merupakan dua hal yang tidak bisa dipisahkan. Menurut Karyono dalam buku Arsitektur Hijau (2010) menyatakan bahwa arsitektur hijau bukan hanya sekedar menambah vegetasai pepohonan dan tanamana pada lingkungan dan bangunan saja namun juga harus bisa memberikan manfaat dan memberdayakan elemen-elemen arsitektur yang ada di lingkungan sehingga terciptanya ruang-ruang pada bangunan dan ruang publik menjadi lebih bermakna. Sedangkan kota hijau merupakan sebuah pemahaman mengenai pembangunan kota yang berkelanjutan dengan memperhatikan aspek ramah lingkungan untuk mencapai keseimbangan antara pembangunan ekonomi, sosial dan lingkungan yang berdaya sehingga menjadikan kota tersebut layak dijadikan sebagai kawasan hunian bagi generasi saat ini dan mendatang. Pengaruh perubahan fungsi penggunaan tanah dan sumber daya alam alam, perkembangan sosial-ekonomi dan tekanan masyarakat yang memerlukan penanganan terhadap kawasan perkotaan secara berkelanjutan yang menuntut keseluruhan dan keterpaduan sehingga harmoni terkadang menang lingkungan yang juga memiliki dinamika populasi ketidakseimbangan antar tekanan jumlah penduduk dan sumber daya alam yang bisa menimbulkan permasalahan lingkungan hidup.

Salah satu yang memberikan arti pada kota hijau adalah ketersediaan ruang terbuka di lingkugan perkotaan. Ruang hijau menjadi bagian penting dalam ranah perencanaan, perancangan dan penataan sebuah kota sehingga harus memperhatikan peraturan-peraturan yang memperkuat fungsinya sehingga menghindari perubahan pemanfaata fungsi lahannya. Menurut Inmendagri Nomor 14 Tahun 1988 mengenai Penataan Ruang Hijau di Wilayah Perkotaan yang menyatakan bahwa dalam melaksanakan perencanaan, perancangan, dan mengendalikan penyelenggaraan dalam penataan ruang hijau perkotaan tetap

harus meningkatkan dan memperhatikan peran dan fungsi dari ruang hijau tersebut dalam rangka mewujudkan kota dan kawasan berwawasan lingkungan dan berkelanjutan.

11.4 Kota Hijau

Kota hijau merupakan konsep perencanaan kota berkelanjutan. Kota hijau juga dikenal sebagai kota ekologis atau kota sehat. Artinya pembangunan dan pembangunan perkotaan diimbangi dengan kelestarian lingkungan hidup. Kota yang sehat dapat mewujudkan lingkungan perkotaan dimana penduduknya dapat hidup aman, nyaman, bersih dan sehat dengan mengoptimalkan potensi sosial ekonomi masyarakat melalui forum kemasyarakatan yang diusung oleh sektor-sektor yang saling terkait dan disinkronkan dengan perencanaan kota. Implementasinya memerlukan upaya setiap anggota masyarakat dan seluruh pihak terkait (stakeholders).

Beberapa landasan hukum yang bisa menjadi acuan dalam pengembangan kota hijau di Indonesia, yaitu :

1. Undang Undang nomor 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang
2. Undang Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana
3. Undang Undang Nomor 28 Tahun 2002 Tentang Bangunan Gedung
4. Peraturan Pemerintah Nomor 15 Tahun 2010 tentang Penyelenggaraan Penataan Ruang
5. Peraturan Presiden Nomor 15 Tahun 2010 tentang Rencana Aksi Nasional Gas Rumah Kaca

Kota hijau merupakan kota yang mempertimbangkan keseimbangan antara ekosistem hayati dengan elemen lingkungan terbangun pada sebuah kawasan baik perkotaan dan perdesaan, dan akan memberikan pengaruh bagi masyarakat yang tinggal di

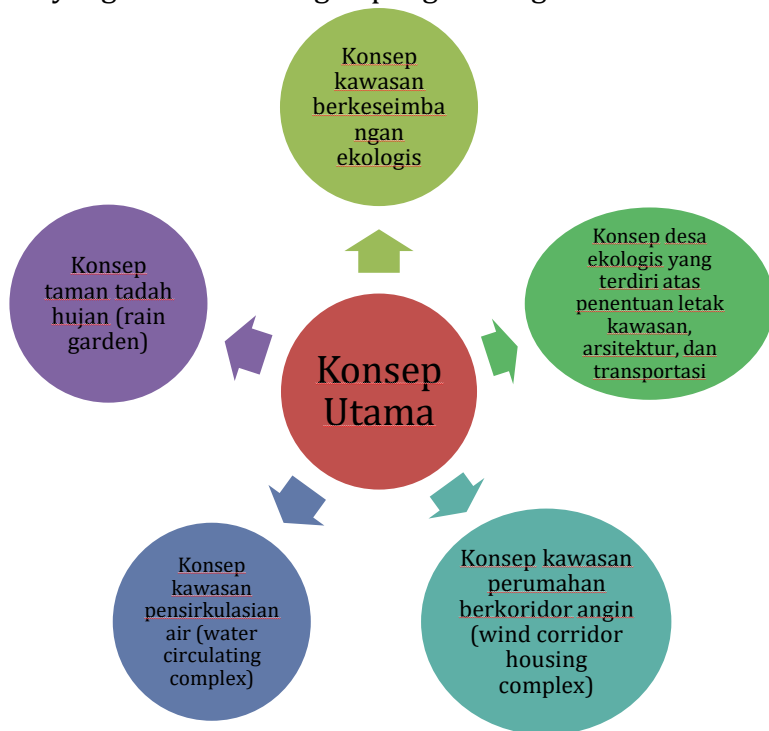
dalamnya serta bagi pengunjung yang datang untuk melakukan aktifitas. Konsep kota hijau tidak bisa terlepas dari konsep kota berkelanjutan karena untuk menyikapi berbagai hal dari sistem proteksi dan pembangunan kawasan yang ada. Kota hijau juga tidak bisa berdiri sendiri, sehingga perlu dukungan dari berbagai elemen kelembagaan yaitu terkait *creative city*, *save and healthy city*, *heritage city*, *active city*, *inclusive city*, *techno city*, *smart city*, *productive city*, dan *competitive city*. Dan itu semua akan bermuara pada konsep pengembangan kota berkelanjutan sebagai tematik pembangunan kota hijau yang menjadi penting bagi penduduknya untuk dijadikan sebagai kota layak huni, berjiwa diri, produktif dan berkelanjutan.



Gambar 11.1. Ilustrasi Kota Hijau dan Lingkungan
(Sumber : <https://gofreedownload.net/free-vector/vector-landscape/green-vs-polluted-city-212240/>)

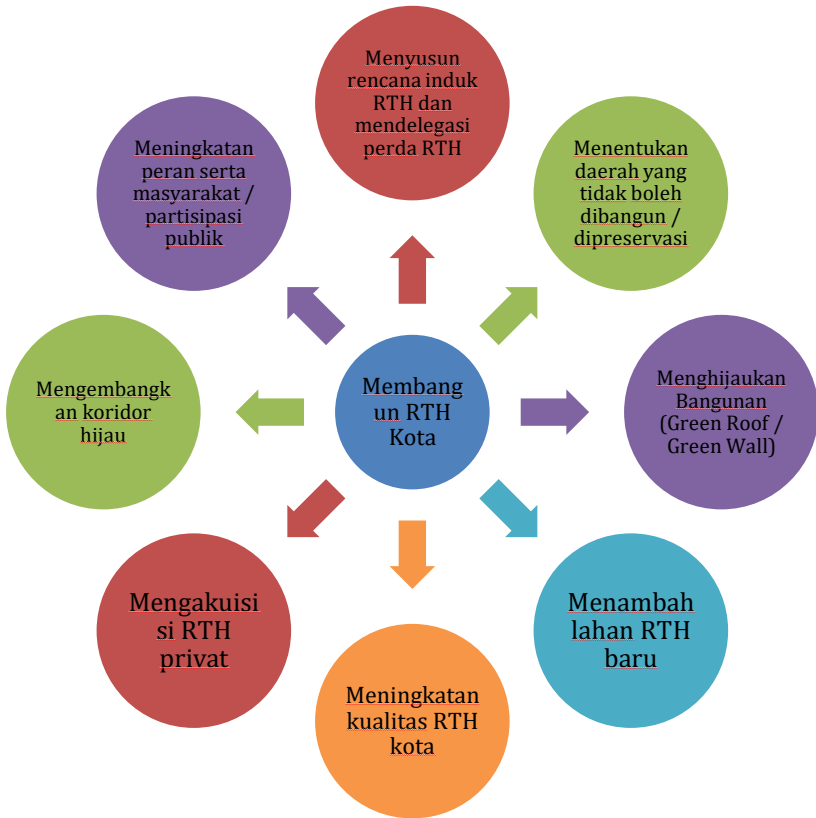
Terdapat 8 atribut untuk tercapainya sebuah kota hijau, yaitu (PUPR, 2013):

1. *Green Planning and Design*, merupakan perencanaan dan perancangan yang memperimbangkan ramah lingkungan dengan menyesuaikan kebijakan dari RTRW dan rencana detail yang berkaitan dengan pengembangan kota.



2. *Green Community*, merupakan aspek terhadap kepekaan, kepedulian serta perlunya peran serta keaktifan sari masyarakat sebagai pengguna dan pelaku secara langsung untuk pengembangan kota hijau.
3. *Green Open Space*, merupakan kebijakan berkaitan dengan adanya peningkatan terhadap kualitas dan kuantitas kebutuhan akan ruang terbuka hijau perkotaan yang

disesuaikan kembali dengan karakteristik ruang kotanya, sesuai dengan standar minimal kebutuhan RTH 30% area perencanaan.



- 4. *Green Building*, merupakan elemen penerapan akan bangunan yang hemat energi dalam berbagai aspek fungsi, estetika dan struktur.
- 5. *Green Water*, merupakan penggunaan dari efisiensi pemanfaatan segala sumber daya air dan sumber daya alam

serta dalam kegiatan pencegahan pencemaran lingkungan perkotaan. Selain itu perlu adanya pertimbangan penerapan mengenai pengendalian resiko bencana air yang saat ini perlu ditingkatkan analisis mitigasi bencananya.

6. *Green Waste*, yaitu merupakan usaha untuk meminimalisir akan zero waste, salah satunya dengan menerapkan prinsip 3R meliputi *reuse*, *recycle* dan *reduce*. Melalui pengurangan sampah lingkungan, pengembangan proses pendaaur-ulangan sampah yang ada serta berusaha meningkatkan nilai tambah dari sampah yang tidak bisa didaur ulang maupun sampah yang bisa didaur ulang menjadi bernilai ekonomis.
7. *Green Transportation*, yaitu pengembangan sistem transportasi berkelanjutan dengan mengurangi penggunaan kendaraan pribadi untuk meminimalisir polusi. Dapat dilakukan melalui penciptaan perencanaan dan perancangan sistem transportasi publi, jalur sepeda dan menyediakan ruang pejalan kaki yang ramah lingkungan (*sustainable street*).
8. *Green Energy*, merupakan kegiatan memanfaatkan sumber energi yang bisa memberikan efisiensi dan yang ramah pada lingkungan sekitar.

Undang-Undang Penataan Ruang Nomor 26 yang diterbitkan pada tahun 2007 menyebutkan bahwa penyelenggaraan perencanaan wilayah adalah upaya mencapai tujuan perencanaan wilayah melalui penyelenggaraan perencanaan wilayah, penggunaan wilayah, dan pengendalian penggunaan tanah. Kebijakan tata guna lahan merupakan pelaksanaan konservasi fungsi lingkungan hidup, peningkatan daya dukung lingkungan alam dengan lingkungan binaan, dan menjaga keseimbangan ekosistem untuk mendukung proses pembangunan berkelanjutan sesuai kesejahteraan manusia.

11.5 Best Practice Kota Hijau

11.5.1 Green City di Dunia

1. Kota Wina, Austria

Kota Wina tentunya layak masuk dalam daftar kota ter hijau di dunia, karena kawasan hijau mencakup lebih dari 50 persen luas kota. Selain itu, rencana kota memungkinkan banyak taman kota, jalur pejalan kaki, dan taman nasional di pinggiran kota. Hampir separuh penduduk kota Wina ini banyak menggunakan transportasi umum. Selain itu, mereka suka bersepeda dan berjalan kaki. Kota Wina juga menggunakan 30 persen sumber energi terbarukan, yang membantu mengurangi emisi karbon dioksida.



2. Kota Berlin di Jerman

Kota ter hijau di dunia lainnya adalah Kota Berlin. 30 persen ibu kota Jerman merupakan hutan dan kawasan hijau. Selain itu, masyarakat setempat sangat prihatin terhadap dampak kerusakan lingkungan terhadap planet ini. Tak heran

jika warga Berlin umumnya lebih tertarik bersepeda dibandingkan mengemudi. Selain itu, mereka suka menggunakan transportasi umum. Kota Berlin juga menggunakan air paling sedikit per penduduknya di Eropa. Selain itu, banyak pembeli yang membuat pakaian dan furnitur di bengkel DIY (*do it yourself*) daripada membeli baju baru.



3. Kota Singapura

Kota ter hijau di dunia yang tak kalah menarik untuk dijelajahi nantinya adalah Singapura. Singapura dikenal sebagai kota dalam taman karena 50 persen wilayah kotanya merupakan ruang hijau. Dengan lebih dari 80 persen penduduknya tinggal di perumahan umum, Singapura juga memiliki rencana mengesankan untuk membangun kota cerdas yang ramah lingkungan. Tempat ini tidak hanya menampung lebih banyak orang, tetapi juga melestarikan kawasan hijau, mempertimbangkan tren panas di masa depan, dan mendukung transportasi berkelanjutan. Selain itu, Singapura juga berencana mengembangkan sektor energi terbarukan, bangunan ramah lingkungan, dan konservasi alam.



11.5.2 Green City di Taiwan

Pada bulan Juli 2015, kota-kota di Taiwan mencapai tonggak sejarah dalam pengelolaan arboreal melalui pemberlakuan versi revisi Undang-Undang Kehutanan. Hal ini terjadi setelah bertahun-tahun upaya para pegiat konservasi untuk mengembangkan kerangka hukum baru, termasuk bab tambahan yang mewajibkan survei rutin dan penilaian kesehatan untuk pohon-pohon yang terletak di dataran rendah dan di daerah perkotaan. Chang Yu-sen, profesor di Departemen Hortikultura dan Arsitektur Lanskap di Universitas Nasional Taiwan yang berbasis di Kota Taipei, menggambarkan undang-undang tersebut sebagai awal yang signifikan untuk membangun dan memelihara lingkungan yang ramah lingkungan dan layak huni bagi populasi besar penduduk kota metropolitan. Penghijauan perkotaan mengatasi masalah banyaknya orang yang tertarik pada kawasan yang menawarkan akses mudah terhadap fasilitas sehari-hari, namun mengorbankan keseimbangan ekologi alam, kata Chang. "Sementara penduduk kota ingin memperkenalkan tanaman ke taman, balkon, dan atap rumah mereka, pemerintah kota berupaya mengembalikan lingkungan ke kondisi yang lebih alami dengan menanam flora di ruang publik seperti taman dan median jalan." Menurut Chang, pohon-pohon di perkotaan telah ditebang, dipangkas, atau ditransplantasikan secara tidak semestinya untuk dijadikan lahan proyek konstruksi. Insiden seperti ini semakin banyak diprotes karena meningkatnya kesadaran lingkungan di Taiwan, katanya. "Sebagai tanggapan, undang-undang mengesampingkan perlakuan yang tidak diizinkan atau tidak memenuhi syarat terhadap pohon yang dilindungi."

Langkah besar berikutnya adalah pembentukan unit pemerintah pusat yang dikhususkan untuk mengawasi pepohonan perkotaan, kata Chang. Ia yakin organisasi semacam itu dapat dibentuk dengan melakukan reorganisasi dan menggabungkan bagian-bagian Dewan Pertanian tingkat Kabinet seperti Biro

Kehutanan dan Institut Penelitian Kehutanan Taiwan (TFRI). Urusan yang berkaitan dengan pohon perkotaan saat ini ditangani di tingkat lokal oleh lembaga-lembaga kota. Pada tahun 2003, Pemerintah Kota Taipei (TCG) termasuk yang pertama merancang undang-undang untuk melindungi pertumbuhan melebihi 15 meter dan berusia di atas 50 tahun. Undang-undang ini juga mencakup pohon apa pun dengan diameter batang 80 sentimeter, keliling 2,5 meter, dan tajuk 1,3 meter, serta pohon-pohon yang dianggap penting secara budaya. Sebuah komite dibentuk pada tahun yang sama dengan tugas berbagai tugas, termasuk mengidentifikasi pohon yang cocok dan meninjau rencana konservasi yang diajukan oleh pengembang lahan. Badan tersebut terdiri dari pejabat kota, perwakilan dari TFRI dan kelompok lingkungan hidup, serta akademisi seperti Chang.

Terdapat lebih dari 2.000 pohon di Taipei yang memenuhi syarat untuk dilindungi berdasarkan undang-undang pohon yang dikeluarkan oleh Departemen Kebudayaan TCG, dengan bantuan teknis dari Kantor Pertamanan dan Lampu Jalan Departemen Pekerjaan Umum. Direktur Michael Chen (陳榮興) mengatakan sekitar 88.000 pohon jalanan di kota tersebut dikelola dalam sistem registrasi yang mencatat setiap pertumbuhan, ukuran dan spesies. "Orang-orang dapat memindai Kode QR yang terpasang pada bagasi untuk mendapatkan informasi tersebut." Pada akhir tahun 2019, ruang hijau di pusat kota mencapai 15,71 kilometer persegi atau 5,94 meter persegi per kapita. "Mereka memenuhi kebutuhan sehari-hari warga untuk melakukan aktivitas rekreasi," kata Chen. Secara total, jika dilihat dari kawasan kaki bukit di sekitarnya dan cagar alam seperti Taman Nasional Yangmingshan, vegetasi seluas 142,49 kilometer persegi menutupi 52 persen lahan kota.



Gambar 11.2. Downtown di Taipeh

Sumber :

<https://taiwantoday.tw/news.php?post=172242&unit=14>

Sesuai dengan tren internasional mengenai pembangunan perkotaan berkelanjutan, Chen mengatakan upaya penghijauan selama puluhan tahun di kantornya merupakan respons terhadap perubahan iklim dan efek rumah kaca. Salah satu proyek yang perlu diperhatikan, yang mencakup perbaikan jalan dengan bunga berwarna cerah pada tahun 1996, 2003 dan 2008, menggunakan semakin beragam spesies pohon, tanaman, dan semak belukar. Proyek selanjutnya pada tahun 2011 melibatkan 39 jalan yang dipenuhi pepohonan, kata Chen. “Hal ini meningkatkan kualitas udara, mengurangi efek pulau panas, dan memberikan cita rasa lokal yang berbeda.” Pada tahun 2015, sesuai dengan kebijakan kota spons TCG, trotoar baru, kolam dan fasilitas lainnya mulai dipasang di sejumlah taman untuk menyerap dan menangkap air hujan, dengan bantuan tanaman, untuk digunakan lebih lanjut dan pengendalian banjir.



Gambar 11.3. Ruang Hijau di Kota Taipeh

Sumber :

<https://taiwantoday.tw/news.php?post=172242&unit=14>

Langkah-langkah tersebut merupakan bagian dari proyek taman yang sedang berlangsung di Taipei yang mengadopsi metode konstruksi ramah lingkungan. Selusin fasilitas di seluruh kota telah dipilih untuk melakukan analisis sasaran gangguan fauna, kelembapan, cahaya, pertumbuhan tanaman, tanah, suhu dan air. Sejak tahun 2014, misalnya, kunang-kunang asli *Aquatica ficta* dan habitat terkait telah dilestarikan di taman Daan, Muzha, dan Rongxing Garden dengan cukup sukses. “Dukungan dari masyarakat memainkan peran penting,” kata Chen, mengacu pada bantuan dari relawan masyarakat, organisasi non-pemerintah (LSM) dan akademisi. Di antara kelompok-kelompok lain, Society of Wilderness telah membantu mengelola Fuyang Eco Park sejak tahun 2004, memimpin dalam mengatasi tugas berat pemeliharaan ekosistem lokal dan menyelenggarakan acara bertema pendidikan lingkungan, kata Chen. Proyek serupa yang didukung oleh LSM

atau sektor bisnis untuk taman dan pohon jalanan menghemat biaya pemeliharaan sekitar NT\$40 juta (US\$1,33 juta) setiap tahunnya, tambahannya. Pemerintah Kota New Taipei (NTCG) sedang sibuk mempromosikan program penghijauan di kota metropolitan terpadat di Taiwan. Biro Pertaniannya, menurut Komisaris Lee Wen (李玟), adalah yang pertama di seluruh negeri yang bekerja sejalan dengan Kampanye Triliun Pohon yang diluncurkan oleh Program Lingkungan Hidup PBB sebagai respons terhadap pemanasan global. “Kami telah menanam lebih dari 1,2 juta pohon sejak tahun 2006,” kata Lee, sambil menambahkan bahwa NTCG juga merupakan pemerintah daerah pertama di Taiwan yang memperluas perayaan tahunan Hari Arbor pada tanggal 12 Maret menjadi program penghutan yang luas.



Gambar 11.4. Taman Kota Di Taipeh

Sumber :

<https://taiwantoday.tw/news.php?post=172242&unit=14>

New Taipei mengalami peningkatan lahan hutan terbesar secara nasional, meningkat dari 139.533 hektar pada tahun 2011 menjadi 155.483 hektar pada akhir tahun lalu. Hutan menutupi 76

persen wilayah kota, meningkat dari 68 persen pada sembilan tahun lalu. Ruang hijau tambahan tersebut mencakup lebih dari 300 bidang lahan kosong—dengan luas total sekitar 190 hektar—di kawasan pusat kota yang dikelola melalui proyek New Taipei Green Homeland selama satu dekade terakhir. Salah satu dari banyak isu penting yang perlu dipertimbangkan oleh para pejabat adalah teknik budidaya tanaman. Konservasi spesies endemik Wulai azalea dulunya sangat bergantung pada perbanyakan melalui pemotongan batang. “Pendekatan reproduksi aseksual ini membahayakan keragaman genetik dan menghasilkan keturunan yang lebih rentan,” kata Lee, seraya menambahkan bahwa metode pertumbuhan bibit telah diadopsi atas saran para akademisi. Dengan fokus pada perlindungan, kata Lee, undang-undang New Taipei yang relevan mencakup pohon-pohon yang memiliki nilai budaya tinggi dan dilindungi, serta pohon-pohon yang berada di jalan. Sejak tahun 2014, NTCG telah menyelenggarakan sertifikasi pemangkasan dan transplantasi bagi mereka yang dikontrak untuk melaksanakan tugas tersebut. Hingga Desember lalu, terdapat 2.254 izin yang diberikan kepada para profesional berpengalaman, yang harus mengikuti kelas terkait pohon setiap tiga tahun untuk memperbarui sertifikat mereka. Di masa depan, setidaknya akan tersedia 200 tempat per tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Mangunwijaya. 1988. Wastu citra : pengantar ke ilmu budaya bentuk arsitektur : Yusuf B. Mangunwijaya. Penerbit Gramedia.
- Karyono, Tri harso. 2010.Green Architecture : Pengantar Pemahaman Arsitektur Hijau di Indonesia. Jakarta, Rajawali Press.
- Instruksi Menteri Dalam Negeri Nomor 14 Tahun 1988 tentang Penataan Ruang Hijau di Wilayah Perkotaan.
- PUPR, Kementerian Pekerjaan Umum. 2013. Program Pengembangan Kota Hijau : Langkah Menuju Kota Berkelanjutan. Penerbit Direktorat Jenderal Penataan Ruang kementerian Pekerjaan Umum.

BIODATA PENULIS



Khamaludin, S.T., M.T

Dosen Program Studi Teknik Industri
Fakultas Teknik Universitas Islam Syekh Yusuf

Penulis lahir di Brebes tanggal 28 September 1980. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Islam Syekh Yusuf. Menyelesaikan pendidikan S1 pada program studi Teknik Kimia di Universitas Muhammadiyah Jakarta dan menyelesaikan S2 pada program studi Magister Teknik Industri Universitas Mercu Buana. Penulis menekuni keahlian pada bidang Quality Management, Quality and Reliability Engineering, Manufacturing Planning and Control serta Operational Research.

BIODATA PENULIS



Yunita Djamalu, S.T., M.T

Dosen pada Program Studi S1 Teknik Mesin di Universitas
Nahdlatul Ulama Gorontalo (UNUGo)

Penulis adalah Dosen pada Program Studi S1 Teknik Mesin di Universitas Nahdlatul Ulama Gorontalo (UNUGo). Lahir di Tontulow pada tanggal 17 Februari 1987. Pada tahun 2010 Penulis menyelesaikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin di Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya dan tahun 2014 menyelesaikan S2 pada Jurusan Teknik Fisika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis bertugas sebagai tenaga pengajar sejak tahun 2011 sampai dengan sekarang.

BIODATA PENULIS



Ir. Ridho Muhammad, ST., MM. (Cand).

Sebagai professional saat ini bekerja di
PT PLN (Persero)

Penulis lahir di Bontang pada tahun 1991. Penulis adalah seorang profesional dibidang energy yang bekerja pada perusahaan BUMN, PT PLN (Persero). Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Industri dan melanjutkan Program Studi Profesi Insinyur. Pada saat ini penulis tercatat sebagai mahasiswa tingkat akhir program S2 Management.

Penulis aktif mengikuti komunitas pegiat energy terbarukan, Masyarakat Energi Terbarukan Indonesia (METI). Selain itu menjadi anggota Forum Insinyur Muda PII. Penulis berbagi tulisan melalui website resmi pribadi di www.ahmedridho.com

BIODATA PENULIS



Ir. Ahmad Thamrin Dahri , ST., MT., IPM.

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Fajar

Penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Fajar. Penulis menyelesaikan Studi S1 - Sarjana Teknik (S.T.) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (Unhas) pada Tahun 2005 Konsentrasi Konversi Energi dan melanjutkan Studi S2 - Magister Teknik (M.T.) Program Strata Magister (S2) Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (Unhas) Tahun 2012 dengan Konsentrasi Konversi Energi dan menyelesaikan Program Profesi Insinyur (Ir) Universitas Hasanuddin Tahun 2022 serta mendapat gelar Insinyur Profesional Madya (IPM) dari Persatuan Insinyur Indonesia (PII) BK Teknik Mesin pada Januari 2023. Bergabung menjadi Dosen Yayasan Pendidikan Fajar dan aktif mengajar pada Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Fajar sejak Tahun 2010 – sekarang. Mengampuh beberapa mata kuliah yaitu mesin-mesin fluida, perancangan mesin dan lainnya. Pernah berkarir di PT. Thaha Engineering Group, PT. Bumi Mineral Sulawesi dan PT. Nindya Karya (Persero).

BIODATA PENULIS



Vita Ambarwati, S.Si., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Gresik

Penulis lahir di Malang tanggal 17 Januari 1997. Saat ini, penulis bekerja sebagai dosen pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Gresik. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Kimia di Universitas Negeri Malang dan melanjutkan pendidikan S2 pada Jurusan Teknik Metalurgi di Institut Teknologi Bandung. Penulis menekuni bidang penelitian ekstraksi, baterai dan material bahan maju. Selain mengajar penulis aktif di beberapa organisasi. Penulis aktif menjadi pengurus Badan Kejuruan Teknik Metalurgi-Persatuan Insinyur Indonesia. Tulisan penulis juga pernah dimuat pada jurnal ilmiah.

BIODATA PENULIS



Ni Putu Yuni Nurmalasari, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Udayana

Penulis lahir di Gianyar tanggal 16 Juni 1990. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Dosen Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana, Bali. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Fisika dan melanjutkan pendidikan S2 pada Jurusan Fisika di Institut Teknologi Bandung. Penulis memiliki ketertarikan dalam pengajaran ilmu fisika, penelitian di bidang keahlian fisika kebumian, material dan energi, serta kajian fenomena dan pemodelan fisis di berbagai bidang.

BIODATA PENULIS



Devi Rahmayanti, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik dan Informatika

Penulis lahir di Probolinggo tanggal 10 Juni 1975. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Gajayana Malang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Elektro Bidang Keahlian Telekomunikasi Universitas Brawijaya dan lulus S2 pada Jurusan Teknik Elektro Bidang Keahlian Telekomunikasi Multimedia Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya. Penulis konsern pada teknologi dan telekomunikasi multimedia sesuai bidang keahliannya.

BIODATA PENULIS



Neny Rochyani

Dosen Program Studi Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas PGRI Palembang

Penulis lahir di Palembang tanggal 09 Juni, menikah dengan Gonan Sumadi, dikaruniai 2 orang putra Ahmad Fadlan Abdullah latif Al-Ghozali (alm.) dan Muhammad Aufar Nurhasyim Ar-rambani. Menyelesaikan pendidikan S1, S2 pada Jurusan Teknik kimia dan melanjutkan S3 pada program studi ilmu-ilmu lingkungan dengan BKU : Agro Industri Energi di UNSRI-Palembang, pendidikan profesi keinsinyuran (Ir.) pada Unika Atmajaya Jakarta dan memegang registrasi sebagai Insinyur Profesional Madya (IPM) serta ASEAN Eng. Pada bidang penulisan karya ilmiah, sampai dengan saat ini telah menghasilkan karya ilmiah utamanya penelitian yang berhubungan dengan materi ilmu kimia dan lingkungan dengan kajian utama berfokus terhadap restorasi dan pendalaman karakteristik lingkungan sebagai objek penelitian yang menjadi kekuatan pengelolaan lingkungan. Dalam ranah penulisan buku, sampai dengan saat ini telah menghasilkan buku materi ajar dan modul paktikum yang dipakai dan diaplikasikan pada lingkungan perguruan tinggi.

BIODATA PENULIS



Kartika Udyani, S.T, M.Eng

Dosen Program Studi Teknik Kimia
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Penulis lahir di Blitar tanggal 18 September 1971. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS). Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Penulis menekuni bidang Pengendalian Pencemaran Lingkungan dan Teknik Keselamatan Industri.

BIODATA PENULIS



Rizki Aulia Nanda, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Buana Perjuangan Karawang

Penulis lahir di Panton Labu 26 November 1996 Provinsi Aceh. Penulis merupakan dosen tetap Universitas Buana Perjuangan Karawang Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik. Penulis menyelesaikan S1 pada Program Studi Teknik Mesin dan S2 Magister Teknik Mesin Universitas Syiah Kuala Banda Aceh dengan keahlian Bidang Mekatronika Sistem Kendali dan Pemrograman dan Pengembangan Robotik. Pada S1 dan S2 Menyelesaikan tugas akhir dengan judul pengembangan Robotik Otomatis untuk penanaman bibit pada tumbuhan. Sehingga penulis memegang mata kuliah di sistem kendali otomasi, mekatronika dan pemrograman dasar robotik.

BIODATA PENULIS



Nunik Hasriyanti, ST., MT.

Dosen Program Studi Rancang Kota (DKB)
Politeknik Negeri Pontianak

Penulis lahir di Pontianak tanggal 23 Mei 1976. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Desain Kawasan Binaan Jurusan Teknik Arsitektur, Politeknik Negeri Pontianak. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Arsitektur Universitas Islam Indonesai dan melanjutkan S2 pada Jurusan Rancang Kota ITB. Pengalaman dan karya di bidang penelitian dan pengabdian sudah banyak dilakukan oleh penulis terutama yang berkaitan dengan bidang arsitektur dan perancangan kota / kawasan sejak tahun 2007. Riset yang diperoleh merupakan riset dari Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan dan LPDP. Riset yang dilakukan 5 tahun terakhir adalah Rancang Kawasan Konservasi Pesisir Randayan sebagai Desa Wisata Bahari yang Digitalized berbasis Ekonomi Kreatif dengan SIG-GIS di Desa Pulau Lemukutan (LPDP, 2022), Studi Pola Arah Tata Ruang Berbasis Mitigasi Bencana Akibat Kenaikan Muka Air Laut Pada Kawasan Pesisir Kalimantan Barat (Simlitabmas Ristek BRIN, 2019-2021), Rancang Bangun Spasial Koridor WPU Ambawang Yang

Berkelanjutan Menuju Pembangunan Kota Ekologis (Simlitabmas Ristek BRIN, 2018-2019), Perancangan Pengelolaan Air Pada Permukiman Tepian Sungai Kapuas Pontianak Dengan Pendekatan Konsep Water Sensitive Urban Design (Simlitabmas Ristek BRIN, 2017-2018), Rancang Bangun Pemekaran Fisik Kota Pada Koridor Ambawang Dengan Metode AHP (Simlitabmas Ristek BRIN, 2016-2017). Selain itu beberapa judul buku sudah dihasilkan oleh penulis yaitu Ekowisata Sungai Kapuas (2014), Telaah Arsitektur Berlanggam Melayu pada Rumah Tradisional Melayu di Koridor Sungai Kapuas (2008), Citra Arsitektur dan Elemen Estetika Bentuk Rumah Tradisional Melayu di Tepian Sungai Kapuas Pontianak (2008). Analysis Disaster Vulnerability Capacity in Mempawah Hilir Subdistricts (2019). Jurnal dan artikel ilmiah juga sudah banyak ditulis, bisa dilihat dalam googlescholar Nunik Hasriyanti (<https://scholar.google.com/citations?user=uGGSONYAAAAJ&hl=en&oi=ao>). Email untuk koreksi : nayla_koe@yahoo.com atau nunikhasriyanti@polnep.ac.id