

ENERGI

**Rianto Wibowo
Hutri Handayani Isra
Dwi Sukowati
Dirgah Kaso Sanusi
Fahmy Rinanda Saputri
Evi Sunarti Antu
Romi Djafar
Yunita Djamalu**



GETPRESS INDONESIA

ENERGI

Penulis :

Rianto Wibowo
Hutri Handayani Isra
Dwi Sukowati
Dirgah Kaso Sanusi
Fahmy Rinanda Saputri
Evi Sunarti Antu
Romi Djafar
Yunita Djamalu

ISBN :

Editor : Dr. Oktavianis, M.Biomed.

Tri Putri Wahyuni, S.Pd.

Penyunting: Mila Sari, M.Si.

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

Penerbit: CVGETPRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi:

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

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

Cetakan pertama, Januari 2023

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

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan judul Energi dapat diselesaikan dengan kerjasama tim penulis. Energi merupakan buku yang berisikan bahasan mengenai entropi dan suhu serta aplikasinya pada mesin, energi di alam semesta; ,sinar matahari, solar sel fotovoltaiik, energi biologi: energi dari air yang bergerak, energi dan iklim, iklim bumi, efisiensi energi, konservasi dan sumber perubahannya, dan penyimpanan dan konservasi energi.

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

Padang, Desember 2023
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	vi
BAB 1 ENTROPI DAN SUHU SERTA APLIKASINYA PADA MESIN	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Entropi.....	2
1.3 Suhu	8
DAFTAR PUSTAKA	14
BAB 2 ENERGI DI ALAM SEMESTA; SINAR MATAHARI.....	15
2.1 Pendahuluan.....	15
2.2 Apa Itu Energi Matahari.....	16
2.3 Manfaat Energi Matahari Bagi Manusia	19
2.4 Energi Radiasi Matahari Berbentuk Sinar dan Gelombang Elektromagnetik	24
DAFTAR PUSTAKA	31
BAB 3 SOLAR SEL FOTOVOLTAIK.....	33
3.1 Pendahuluan.....	33
3.2 Konversi Energi Fotovoltaik	34
3.3. Klasifikasi Sel Surya Fotovoltaik.....	41
3.4 Efisiensi Sel Surya Fotovoltaik.....	42
3.5 Penerapan Sel Surya Fotovoltaik.....	44
DAFTAR PUSTAKA	46
BAB 4 ENERGI BIOLOGI: ENERGI DARI AIR YANG BERGERAK	49
4.1 Pendahuluan.....	49
4.2 Energi dari Air yang Bergerak.....	50
4.3 Siklus Hidrologi.....	51
4.4 Pembangkit Listrik Tenaga Air	58
DAFTAR PUSTAKA	63
BAB 5 ENERGI DAN IKLIM	67
5.1 Sumber Energi	67
5.2 Emisi Gas Rumah Kaca	69
5.3 Pengaruh Perubahan Iklim.....	71
5.4 Energi Bersih dan Berkelanjutan.....	73
5.5 Kebijakan Lingkungan dan Energi.....	77

5.6 Tindakan Mitigasi dan Adaptasi.....	79
DAFTAR PUSTAKA.....	81
BAB 6 IKLIM BUMI.....	83
6.1 Iklim	83
6.2 Perubahan Iklim.....	89
6.3 Upaya Mengatasi Perubahan Iklim	94
DAFTAR PUSTAKA.....	99
BAB 7 EFISIENSI ENERGI, KONSERVASI DAN SUMBER	
PERUBAHANNYA.....	101
7.1 Definisi Efisiensi Energi.....	101
7.2 Operasional Efisiensi Energi.....	103
7.3 Manfaat Efisiensi Energi.....	105
7.4 Konservasi Energi	108
7.5 Konservasi Energi	111
DAFTAR PUSTAKA.....	120
BAB 8 PENYIMPANAN DAN KONSERVASI ENERGI	122
8.1 Latar Belakang.....	122
8.2 Teori Energi.....	123
8.3 Penyimpanan Energi.....	124
8.4 Konservasi Energi	131
8.5 Audit Energi.....	133
8.6 Intensitas Konsumsi Energi (IKE)	135
8.7 Peluang Hemat Energi (PHE)	137
8.8 Peluang Hemat Biaya.....	138
DAFTAR PUSTAKA.....	139
BIODATA PENULIS.....	140

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Penggerak Refrigerator Carnot C dengan Sebuah Pengubah Mesin X	9
Gambar 1.2 Konstruksi untuk Membuktikan Teorema Clausius	12
Gambar 2.2 Matahari di Pagi Hari.....	16
Gambar 2.1 Sel Surya	20
Gambar 2.2 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Matahari.....	21
Gambar 2.3 Proses Fotosintesis.....	22
Gambar 2.4 Manfaat Sinar Matahari.....	24
Gambar 2.5 Kecepatan Gelombang Radio	25
Gambar 2.6 Pemanfaatan Gelombang Mikro Pada Pesawat Terbang.....	27
Gambar 2.7 Sinar Infra Merah dalam Terapi Kesehatan	28
Gambar 2.8 Pemanfaatan Sinar X dalam Ilmu Kedokteran	29
Gambar 2.9 pemanfaatan Sinar Gamma dalam Ilmu Kedokteran	30
Gambar 3.1 Kisi Intan Kristal Silikon	36
Gambar 3.2 Skema Sambungan P-N	38
Gambar 3.3 Semikonduktor	39
Gambar 3.4 Absorpsi Optik.....	40
Gambar 3.5 Sel Fotovoltaik Semikonduktor Tipe p-n Saat Terkena Sinar	41
Gambar 3.6 Kurva Karakteristik Arus an Tegangan pada Sel Surya Fotovoltaik	43
Gambar 3.7 Komponen-Komponen Pendukung Pemanfaatan Sel Surya Fotovoltaik.....	45
Gambar 4.1 Siklus Hidrologi Pendek.....	54
Gambar 4.2 Siklus Hidrologi Sedang.....	56
Gambar 4.3 Siklus Hidrologi Panjang.....	57
Gambar 4.4 Tahapan Proses Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)	61
Gambar 5.1 Ilustrasi Energi Terbarukan	75
Gambar 7.1 Skema Peralatan Konversi Energi.....	100
Gambar 7.2 Kuadran Efisiensi Energi	101
Gambar 7.3 Arah Gaya Searah dengan Perpindahan Benda	109

Gambar 7.4 Benda Ditarik Menggunakan Gaya Membentuk Sudut Tertentu.....	110
Gambar 7.5 Pemain Sirkus yang Bermain Bola.....	112
Gambar 7.6 Pemanah Menarik Busur Panah	113
Gambar 7.7 Posisi benda yang Jatuh Secara Bebas	114
Gambar 8.1 Sistem Penyimpan Panas Energi Surya	121
Gambar 8.2 Skema Kerja Panel Surya	124
Gambar 8.3 (a) Pengkondisian Lingkungan Dalam (b)Pengkondisian Lingkungan Luar	128

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Neraca Perpindahan Kalor	9
Tabel 8.1 Metode Penyimpanan Energi.....	125
Tabel 8.2 Standar IKE untuk Gedung Tidak Ber-AC dan Gedung Ber-AC.....	132

BAB 1

ENTROPI DAN SUHU SERTA APLIKASINYA PADA MESIN

Oleh Rianto Wibowo

1.1 Pendahuluan

Hukum pertama termodinamika menyatakan bahwa selisih antar energi kalor yang diserap dan energi kalor yang dibuang adalah kerja atau usaha mesin dalam bentuk energi mekanik. Hukum pertama termodinamika tidak dapat menentukan besarnya energi yang diserap dan besarnya energi yang dirubah menjadi energi mekanis, karena tidak memberikan batasan arah aliran kalor dan kerja (Nadia, 2019).

Hukum pertama termodinamika mendefinisikan besaran energi dalam U . Dengan definisi ini, kita dapat menggunakan hukum pertama secara kuantitatif untuk menganalisis suatu proses. Kedua hal diatas menunjukkan bahwa tinjauan hukum pertama Termodinamika saja tidak cukup untuk menyatakan peristiwa dapat terjadi atau tidak, sehingga perlu dirumuskan suatu hukum untuk melengkapinya. Hukum ini disebut Hukum Kedua Termodinamika Terdapat dua pernyataan klasik, yakni pernyataan Clausius dan Kelvin-Planck yang menjadi dasar hukum kedua termodinamika. Pada pernyataan Clausius, menyatakan bahwa *"Tidak mungkin suatu proses dapat terjadi dengan sendirinya sehingga kalor dipindahkan dari reservoir kalor suhu rendah ke reservoir kalor suhu tinggi tanpa perubahan lain"*. Pada pernyataan Kelvin-Planck,

menyatakan bahwa *"Tidak mungkin seluruh kalor yang diserap oleh suatu sistem, seluruhnya diubah menjadi usaha/kerja"*.

Hukum kedua termodinamika adalah merupakan hukum alam, bahwa kerja dapat diubah menghasilkan kerja seluruhnya akan tetapi kalor tidak dapat diubah untuk menghasilkan kerja secara keseluruhan. Hal ini menunjukkan *kesatuarahannya* proses alam. Jika hukum kedua termodinamika dianggap tidak benar, maka orang dapat menggerakkan kapal dengan mengambil kalor dari lautan. Semua proses spontan dari alam dapat dipelajari dari hukum kedua ini, sebagai contoh garam dapat larut dengan sendirinya tetapi garam tidak akan memisah dengan sendirinya dari air laut. Hukum kedua termodinamika juga mendefinisikan suatu besaran, dan dengan besaran ini selanjutnya dapat menggunakan hukum kedua secara kuantitatif untuk membuat analisis terhadap suatu proses. Besaran ini akan kita sebut dengan entropi (S).

1.2 Entropi

Entropi merupakan besaran termodinamika yang mengukur besarnya energi panas atau kalor dalam sistem per satuan suhu yang tidak dapat digunakan untuk melakukan usaha. Proses transfer energi panas yang terjadi pada sistem terisolasi, energi panas akan berpindah dari sistem yang bersuhu tinggi ke sistem yang bersuhu rendah. Maka entropi suatu sistem yang tertutup (terisolasi), hanya berjalan ke satu arah (bukan proses reversible), hal ini berarti pada sistem terisolasi entropi selalu naik atau secara alamiah entropi suatu proses cenderung berkembang ke arah peningkatan entropi. Jadi hukum kedua mengharuskan adanya perubahan entropi. (Nadia, 2019).

Entropi dinyatakan dengan simbol 'S', dan selalu ditulis sebagai huruf besar/kapital. Penulisan dalam sebuah persamaan, entropi ditulis sebagai ' **ΔS** ' karena mewakili gangguan dalam entropi selama proses berlangsung. Satuan SI untuk Entropi (S) adalah Joule per Kelvin (J/K). Persamaan entropi adalah:

$$\frac{\text{energi}}{\text{suhu}} = \Delta S = \frac{Q}{T}$$

Perubahan entropi dinyatakan sebagai:

$$\Delta S = S_{\text{akhir}} - S_{\text{awal}}$$

1.2.1 Proses *Reversible* dan *Irreversible*

Semua proses yang sesuai dengan Hukum II Termodinamika dapat dibedakan atas: proses reversible (dapat balik) dan proses tak reversible/irreversible (tidak dapat balik).

- Proses reversible merupakan proses idealisasi, terjadi apabila perubahan tingkat keadaan pada suatu sistem sedemikian sehingga entropi tidak berubah, entropi juga tidak akan berubah pada proses balik sehingga proses dapat berlangsung dalam arah maju atau balik, sehingga dalam proses reversible $\Delta S = 0$. (Rajput,2007)
- Proses irreversible yang banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari, terjadi apabila perubahan tingkat keadaan pada sistem berlangsung sedemikian rupa sehingga entropinya bertambah besar. Pada proses balik, entropinya berkurang, keadaan ini tidak mungkin terjadi karena bertentangan dengan hukum kedua termodinamika. Dapat disimpulkan bahwa pada proses tak reversible atau irreversible terjadi perubahan entropi $\Delta S > 0$.

Dalam hal jenis proses sistem, entropi berhubungan dengan fakta bahwa tidak semua perpindahan panas dapat diubah menjadi kerja. Dengan demikian diperoleh Hukum II Termodinamika yang dapat dirumuskan sebagai:

$$\Delta S \geq 0$$

Dapat dikatakan entropi alam selalu meningkat dengan :

$$\Delta S_{\text{alam}} = \Delta S_{\text{sistem}} + \Delta S_{\text{lingkungan}}$$

Nilai $\Delta S > 0$: proses berlangsung spontan

Nilai $\Delta S < 0$: proses berlangsung berlawanan secara spontan

Nilai $\Delta S = 0$: proses dalam kesetimbangan

1.2.2 Entropi dan Hukum Kedua Termodinamika

Hukum II termodinamika menunjukkan bahwa besarnya perubahan entropi semesta (sistem + lingkungan) selalu naik pada proses spontan dan tidak berubah pada proses kesetimbangan. Pada proses spontan, perubahan entropi (dS) dari suatu sistem adalah lebih besar dibanding hasil bagi antara panas dengan temperatur mutlak :

$$dS > \frac{dQ}{T}$$

Besarnya panas yang mengalir ke benda :

$$Q_P = C_P dT$$

$$dS \geq \frac{dq}{T}$$

$$\Delta S_{\text{benda}} = \int_{T_1}^{T_2} C_P \frac{dT}{T} = C_P \ln \frac{T_2}{T_1}$$

Entropi pada reservoir suhu rendah (T_2) :

$$\Delta S_{\text{reservoir}} = - \frac{Q}{T_2} = - C_P \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

$$\Delta S_{\text{total}} = \Delta S_{\text{benda}} + \Delta S_{\text{reservoir}} = C_P \left[\ln \frac{T_2}{T_1} - \left(\frac{T_2 - T_1}{T_2} \right) \right]$$

Perubahan entropi pada saat suhu tetap T_2 menjadi semakin kecil, tetapi perubahan entropinya tetap positif.

Hukum I Termodinamika dan Hukum II Termodinamika, memiliki hubungan sebagai berikut :

$$\text{Hukum I} \quad : dQ = dU + dW \quad (dW = PdV)$$

$$\text{Hukum II} \quad : dQ_{\text{Rev}} = TdS$$

$$\text{Sehingga} \quad TdS = dU + PdV$$

Hubungan energi dalam (U), entropi (S) dan volume (V):

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_V dS + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_S dV$$

$$dU = TdS - PdV$$

$$dU = TdS - PdV$$

didiferensial dengan volume konstan terhadap suhu (T):

$$\left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V = T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_V - P \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_V$$

$$\left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V = T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_V$$

$$\left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V = T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_V = C_V$$

Hubungan entalpi dan entropi:

$$H = U + PV$$

$$dH = dU + PdV + VdP \dots\dots TdS = dU + PdV$$

$$dH = TdS - PdV + PdV + VdP$$

$$dH = TdS + VdP$$

lalu didiferensialkan dengan tekanan tetap terhadap suhu (T)

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_p = T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_p - V \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_p$$

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_p = T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_p = C_p$$

Entropi pada gas ideal:

$$dU = TdS - PdV$$

$$dS = dU/T + PdV/T$$

$$dS = C_v dT/T + nR dV/V$$

$$dS = C_v d \ln T + nR d \ln V$$

$$\Delta S = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + nR \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta S = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - nR \ln \frac{P_2}{P_1}$$

Entropi pada adiabatik reversibel:

$$dS = \frac{dQ_{rev}}{T} \quad \Delta Q = 0$$

$$\Delta S = 0$$

Entropi gas ideal pada proses isothermal:

$$\Delta T = 0 ; \Delta U = 0$$

$$dQ = dW = PdV$$

$$dS = dQ/T$$

$$dS = \frac{PdV}{T} = nR \frac{dV}{V}$$

$$\Delta S = nR \ln \frac{V_2}{V_1}$$

1.2.3 Entropi dalam Mesin Carnot

Pada mesin Carnot terdapat hubungan bahwa $dQ = T$ merupakan besaran keadaan, dimana perubahannya untuk satu siklus adalah nol

$$\frac{\Delta Q}{T} = \frac{Q_h}{T_h} - \frac{Q_c}{T_c} = 0$$

(tanda negatif karena Q_c adalah panas yang keluar sistem), nilai di atas nol karena $Q_c = Q_h \propto T_c = T_h$. Pada proses Carnot, semua proses adalah proses reversibel, karena itu didefinisikan suatu besaran keadaan yang disebut entropi (S),

$$dS = \frac{dQ_{rev}}{T}$$

dengan dQ_{rev} adalah panas yang ditranfer dalam proses reversibel.

Untuk proses irreversible, perubahan entropinya dapat dicari dengan mencari suatu proses reversibel yang memiliki keadaan awal dan akhir yang sama dengan proses irreversible yang ditinjau. Pada proses reversibel, perubahan entropi total, yaitu perubahan entropi sistem dan lingkungannya adalah nol, karena untuk setiap bagian prosesnya besar panas yang diberikan sistem ke lingkungan sama dengan besar panas yang

diberikan lingkungan pada sistem, dan selama proses sistem dan lingkungan memiliki suhu yang sama. Besarnya total perubahan entropi:

$$\Delta S_{total} = \frac{\Delta Q_{sistem}}{T_{sistem}} + \frac{\Delta Q_{lingkungan}}{T_{lingkungan}} = 0$$

Untuk proses yang irreversible, karena prosesnya tidak berada dalam keadaan kesetimbangan termal, maka total perubahan entropi selalu positif. Pada peristiwa perpindahan panas dari benda yang panas pada suhu T_h ke lingkungannya yang dingin pada suhu T_c (dengan $T_h > T_c$), maka panas yang diberikan benda ΔQ sama.

1.3 Suhu

Hukum kedua Termodinamika secara eksplisit menunjukkan bahwa efisiensi pada setiap mesin kalor, termasuk mesin carnot tidak mungkin dapat mencapai 100%, karena tidak semua panas diserap akan diubah menjadi satu siklus operasi. Berdasar siklus yang dimiliki, maka tidak ada mesin kalor lain yang memiliki tingkat efisiensi yang dapat melebihi efisiensi mesin carnot. (Daryus, 2019)

Siklus Carnot merupakan siklus bolak-balik yang dibatasi oleh 2 proses isotermik dan 2 proses adiabatik. Setiap proses siklik mengubah usaha menjadi panas dan sistem kembali lagi ke keadaan semula. Siklus ini yang merupakan mesin panas, untuk proses bisa diulang tanpa batas waktu.

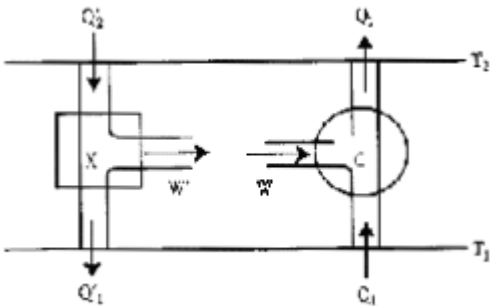
1.3.1 Suhu dalam Mesin Carnot

Pada gambar 1.1 ditunjukkan adanya mesin Carnot concidera C dan mesin X (tidak perlu reversibel) yang bekerja antara reservoir T_2 dan T_1 , dengan $T_2 > T_1$. Terlihat bahwa saat mesin carnot C bekerja secara terbalik (sebagai pendingin C), maka sebagai usaha input untuk menggerakkan mesin carnot C adalah hasil kerja output mesin X . Aliran neraca perpindahan

panas dalam satu siklus operasi gabungan terlihat pada tabel 1.1.

$$W_{tot} = (Q_2' - Q_1') - (Q_2 - Q_1)$$

Jika $Q_2' = Q_2$, maka tidak ada panas yang diekstraksi dari reservoir T_2 , yang dapat diabaikan. Sejumlah panas $Q_1 - Q_1'$ diekstraksi dari penyimpanan T_1 dan merubah seluruhnya bekerja tanpa efek lain.



Gambar 1.1 Penggerak Refrigerator Carnot C dengan Sebuah Pengubah Mesin X

(Sumber : ainie,2007)

Tabel 1.1 Neraca Perpindahan Kalor

Mesin	Dari T ₂	Ke T ₁
X	Q ₂ '	Q ₁ '
C	-Q ₂	-Q ₁

(Sumber : ainie,2007)

Membagi kedua sisi ketidaksetaraan ini dengan Q_2 , dan menggunakan fakta $Q_2' = Q_2$, didapatkan :

$$\frac{Q_1}{Q_2} \geq \frac{Q_1'}{Q_2'}$$

dimana $1 - (Q_1 / Q_2) \geq 1 - (Q_1' / Q_2')$ atau $\eta_c \geq \eta_x$

sehingga wajar semua mesin carnot memiliki efisiensi yang sama, karena X mungkin sebuah mesin carnot. Hal ini menunjukkan bahwa mesin carnot bersifat universal, karena mesin ini hanya bergantung pada suhu yang terlibat, dan bukan tergantung pada bahan yang kerja.

Kita mendefinisikan suhu absolut θ dari penyimpanan panas yang sedemikian rupa sehingga rasio suhu absolut penyimpanan satu (output) terhadap penyimpanan kedua (input) diberikan oleh :

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = 1 - \eta$$

Dimana η efisiensi mesin carnot bekerja antara kedua penyimpanan tersebut. Keuntungan mesin carnot adalah bahwa mesin ini tidak bergantung pada sifat-sifat dari setiap substansi yang bekerja. Saat $Q_1 > 0$ menurut hukum kedua, suhu absolut dibatasi dari bawah:

$$\theta > 0$$

Angka absolut nol $\theta = 0$ adalah nilai pembatas yang tak terhingga, sesuai dengan hukum kedua. Suhu absolut bertepatan dengan suhu gas ideal yang ditentukan oleh $T = PV / Nk_B$, hal ini dapat dibuktikan dengan menggunakan gas ideal sebagai substansi yang bekerja pada mesin carnot. Dengan demikian $\theta = T$, dan selanjutnya dapat dinyatakan bahwa suhu absolut bergantung terhadap T .

1.3.2 Suhu dalam Mesin Kalor

Pada pengintegrasian yang mengubah diferensial dQ/T , maka terlihat bahwa suhu absolut T sebagai faktor. Dalam proses berhubung dengan putaran yang berubah-ubah P , berikut ketidaksamaan:

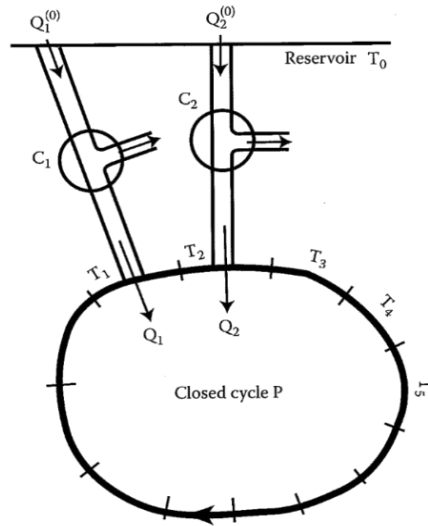
$$\oint_p \frac{dQ}{T} \leq 0$$

Untuk membuktikan, siklus P dibagi menjadi segmen K berlabel $i = 1, \dots, K$. Segmen i berada dalam kontak dengan reservoir suhu T_i , menyerap sejumlah panas Q_i . Hasil kerja total W :

$$W = \sum_{i=1}^K Q_i$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa tidak semua Q_i bisa positif, karena jika bernilai negative maka panas akan diubah untuk bekerja tanpa efek lain, hal ini berarti bertentangan dengan hukum kedua.

Pada sebuah reservoir pada suhu $T_0 > T_i$ (semua i), dengan mesin Carnot C_i beroperasi antara T_0 dan masing-masing suhu T_i . Setup digambarkan secara skematis pada gambar 2.2. Pada satu siklus operasi, mesin Carnot C_i menyerap panas $Q_i^{(0)}$ dari reservoir T_0 , dan menolak Q_i ke reservoir T_i .



Gambar 1.2 Konstruksi untuk Membuktikan Teorema Clausius
(sumber : ainie, 2007)

Menurut definisi Suhu mutlak, didapat persamaan :

$$\frac{Q_i^{(0)}}{Q_i} = \frac{T_0}{T_i}$$

Dalam satu siklus operasi-operasi gabungan $\{P + C_1 + \dots + C_k\}$,

- Reservoir T_i tidak mengalami perubahan, karena reservoir menerima Q_i , dan memberikan sistem yang sama.
- Panas yang diambil dari reservoir T_0 diberikan oleh

$$Q_{tot} = \sum_{i=1}^k Q_i^{(0)} = T_0 \sum_{i=1}^k \frac{Q_i}{T_i}$$

- Total hasil kerja mesin adalah

$$W_{tot} = W + \sum_{i=1}^K [Q_i^{(0)} - Q_i] = \sum_{i=1}^K Q_i^{(0)} = Q_{tot}$$

Sejumlah Q_{tot} panas akan sepenuhnya dikonversi untuk bekerja tanpa efek lain, dan dengan demikian menyalahi aturan kedua, kecuali $Q_{tot} \leq 0$, atau

$$\sum_{i=0}^K \frac{Q_i}{T_i} \leq 0$$

di batas $K \rightarrow \infty$, ini menjadi

$$\oint_p \frac{dQ}{T} \leq 0$$

Ini membuktikan bagian pertama dari teorema tersebut.

Jika P yang dapat dibalik, maka dapat dijalankan operasi $\{P + C1 + \dots + CN\}$ secara terbalik. Tanda pada Q_i kemudian terbalik, dan dapat disimpulkan bahwa $\oint_p dQ / T \geq 0$. Menggabungkan ini dengan persamaan sebelumnya,

$$\oint_p \frac{dQ}{T} = 0 \text{ (Jika } P \text{ yang dapat dibalik)}$$

Konsekuensi dari teorema adalah bahwa untuk jalur terbuka reversibel P , hanya integral $\int_p dQ / T$ bergantung pada titik akhir, dan bukan pada jalur tertentu. Sebagai pembuktian, jika diikuti titik akhir dengan jalur reversibel P' , yang pembalikannya dilambangkan dengan $-P'$. Proses gabungan $P-P'$ mewakili siklus yang tertutup. Oleh karena itu $\int_{p-p'} dQ / T = 0$, atau

$$\int_p \frac{dQ}{T} = \int_{p'} \frac{dQ}{T}$$

Hal ini menunjukkan bahwa dQ dibagi dengan suhu absolut adalah diferensial yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Khuriati, Ainie. 2007. *Termodinamika*. Semarang: Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Unviersitas Diponegoro
- Nadia, Lula. 2019. *Modul 01: Termodinamika, Bahan Ajar edisi 1*. Jakarta: Universitas Terbuka.
- Daryus, As'ari. 2019. *Termodinamika Teknik Volume I*. Jakarta: Universitas Darma Persada.
- Rajput. 2007. *Engineering Thermodynamics*. New Delhi : Laxmi Publications.

BAB 2

ENERGI DI ALAM SEMESTA; SINAR MATAHARI

Oleh Hutri Handayani Isra

2.1 Pendahuluan

Perpaduan antara energi yang ada di bumi serta materi seperti elektromagnetik, radiasi dan materi merupakan perwujudan dari definisi alam semesta. Dunia ini menyimpan begitu beragam peristiwa hukum fisika yang dapat mempengaruhi energi. Hukum gravitasi, kekekalan energy pun relativitas adalah beberapa contohnya (Carroll & Ostlie, 2013). Berdasarkan hal tersebut energi adalah bagian penting dalam kehidupan masyarakat, misalnya untuk penerangan, proses industri, untuk menggerakkan kendaraan baik roda dua maupun empat, serta masih banyak peralatan di sekitar kehidupan manusia yang memerlukan energi. Meskipun begitu, Ketersediaan energi di negara kita didominasi oleh energi fosil berupa minyak bumi, batubara dan gas bumi.(Alditihan & Tanti, 2011).

Salah satu sumber energi adalah matahari yang sangat melimpah di bumi ini, di wilayah yang memiliki iklim tropis seperti Indonesia atau negara-negara yang berada di jalur lintasan matahari selalu disinari matahari sepanjang tahun. Dengan kondisi seperti di atas maka matahari menjadi sumber energi yang sangat berpotensi besar untuk dikembangkan dan diteliti di dunia, agar energi yang

dihasilkan ke depan tidak tergantung dengan energi yang dihasilkan dari tambang batubara dan minyak bumi.

2.2 Apa Itu Energi Matahari

Membahas tentang energi matahari, energi matahari ini bisa dikatakan sebagai energi yang dihasilkan dari pancaran panas sinar matahari. Matahari ini menjadi sumber energy utama di muka bumi. Dengan begitu sinar matahari mampu membantu menjaga keberlangsungan hidup seluruh makhluk hidup, dengan kata lain panas matahari dapat memberikan manfaat sebagai salah satu energi alternatif yang beragam dalam memenuhi kebutuhan sehari-hari manusia.



Gambar 2.2 Matahari di Pagi Hari

(sumber: <https://tafsiralquran.id/matahari-sebagai-sumber-energi-cahaya-berikut-penjelasan-tafsirnya/>)

Di alam semesta ini keberadaan energi matahari begitu banyak, bahkan diperkirakan tidak akan habis hingga akhir zaman nanti (Suryo dan Armando, 2007). Energi yang berasal dari panas matahari ini dijadikan sebagai sumber energi utama. Energi dari panas matahari ini mempunyai peran dalam menjaga kelangsungan hidup di bumi. Makhluk hidup yang ada di dunia ini jika tidak

adanya energi panas yang berasal dari energi matahari dapat mengganggu aktifitas makhluk hidup dalam kehidupan di muka bumi ini. Keberkahan bagi masa depan kita adalah salah satunya dengan ketersediaan matahari (Sufrapman, 2004). Jumlah energi dari panas matahari ini di perkirakan tak akan ada habisnya hingga akhir zaman nanti (Suryo dan Armando, 2007).

Dengan ketersediaan energi panas matahari ini yang melimpah, salah satu solusi yang dilirik sekelompok peneliti adalah memanfaatkan keberdayaan energi panas dari matahari (Priyadi, 2006). Dengan melihat besar ukuran suhu udara yaitu 28°C di wilayah Indonesia tersebut terbilang cukup tinggi. Dengan besar suhu udara tersebut dapat mencapai 34°C untuk suhu paling tinggi, hal tersebut setiap hari akan terjadi pada pukul 15:00 dengan suhu udara yang paling rendah pada pukul 06:00 sebesar 23°C (Dwicaksono dan Rangkuti, 2017). Distribusi penyinaran energi dari panas matahari yaitu $4,5 \text{ kWh/m}^2$ di setiap hari nya, mampu memberikan variasi sekitar 10% di setiap bulannya meskipun energi surya termal ini kebanyakan masih belum banyak dimanfaatkan dalam kehidupan kita sehari-hari (Rahardjo dan Fitriana, 2008).

Bintang di pusat Tata Surya adalah sebutan dari matahari. Matahari memiliki bentuk bulat yang hampir sempurna dan mengandung plasma dari panas yang tercampur didalamnya juga medan magnet. Diameter pusat tata surya ini memiliki sekitar 1.392.684 km, jika diperkirakan itu sebesar 109 kali diameter planet Bumi, massa matahari diperkirakan besarnya sekitar 2×10^{30} kilogram, hal itu jika dikalikan massa bumi sebesar 330.000 kali massa Bumi. Dengan kata lain hal itu mewakili adanya sebesar 99,86 % massa total matahari. Bintang pusat Tata Surya kita ini, kiranya massanya memiliki tiga perempat terbuat dari hydrogen dan helium jika ditinjau dari massanya, meskipun di dominasi oleh helium yang lebih banyak dibanding hydrogen itu sendiri. Sedangkan sisa massa matahari ini sebesar 1,69%, hal itu jika di tinjau dari massa bumi maka ia memiliki 5.629 perbandingannya dengan massa Bumi. Elemen-elemen berat berupa oksigen, neon,

besi, karbon diantaranya komponen penyusun matahari ini. Pusat tata surya ini sejak 4,6 miliar tahun yang lalu telah terbentuk sebagai dampak dari terjadinya proses peluruhan di angkasa dengan menyeret wilayah gravitasi pada awan yang memiliki molekul dengan ukuran besar. Materi matahari sebagian besar berada di tengah, sisanya akan memimpih membentuk cakram dan beredar di bagian tubuh matahari. Pusat tata surya jika mengalami peningkatan panas lalu memadat ini akhirnya akan mengalami proses fusi termonuklir di bagian inti tata suryanya.

Klasifikasi pusat tata surya atau biasa kita sebut sebagai Matahari ini memiliki spectrum bintang deret utama G atau biasa di singkat menjadi G2V. Katai kuning merupakan golongan dari bintang ini jika diperhatikan radiasinya tampak lebih banyak terlihat warna spektrum kuning merahnya, selanjutnya jika terlihat berwarna putih ini adalah akibat dari permukaan Matahari memunculkan warna kuning karena di atmosfer terjadi pembauran cahaya biru. Kelas spectrum G2 ini menunjukkan suhu permukaan sekitar 5778 K atau dengan suhu 5505 celcius dan sekitar besar V tersebut menandakan bahwa Matahari ini sebagai bintang lain merupakan bintang deret utama dan energi yang diciptakan oleh fusi nuklir ke dalam helium oleh nukleus hydrogen. Matahari memfusi 620 juta ton metrik hidrogen setiap detik dalam inti pusat matahari.

Fakta bahwa indonesia memiliki energi surya yang melimpah ini harus bias kita manfaatkan secara teknologi sebagai penunjang berbagai kebutuhan manusia dalam proses kehidupan manusia ini. Teknologi yang memanfaatkan energi pusat tata surya sejauh ini mampu dikembangkan berupa kompor energi surya yang sangat memudahkan manusia dalam menjalankan kehidupannya. Dengan melimpah sumber energi tata surya di bumi kita Indonesia pada kenyataannya masih belum banyak dimanfaatkan optimal. Indonesia pada dasarnya memiliki potensi banyak energi surya namun energi matahari ini masih belum banyak di lirik sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang dapat manusia manfaatkan.

2.3 Manfaat Energi Matahari Bagi Manusia

Memiliki manfaat yaitu menerangi alam semesta dari pagi hingga sore hari ini merupakan manfaat matahari yang umum diketahui oleh manusia kebanyakan. Namun pusat tata surya ini memiliki sumber energi terbesar di bumi. Energi yang dipancarkan ke permukaan bumi pun memiliki besar yang sangatlah besar. Permukaan bumi diperkirakan menerima 1000 watt energi matahari dan diperkirakan sekitar 30% energi tersebut akan dipantulkan kembali ke luar angkasa sehingga sisanya akan diserap oleh lautan, daratan dan awan. Energi yang diserap oleh atmosfer, lautan, dan daratan bumi memiliki 3.850.000 eksajoule besarnya per tahun. Besar 3.850.000 eksajoule dalam waktu satu jam ini memiliki potensi energi surya akan sampai ke bumi setara dengan jumlah energi yang sehari-hari digunakan dunia selama satu tahun.

Berikut beberapa contoh pusat tata surya kita sebagai sumber energi yang di manfaatkan bagi kehidupan sehari-hari, antara lain :

1. Untuk Pemanas Air

Pemanfaatan sumber energi bagi kehidupan sehari-hari yang paling umum di ketahui ialah pemanas air. Pemanas air ini menggunakan teknik pemanasan dengan memanfaatkan panas dari sinar matahari dengan konsep penyerapan panas matahari melalui kolektor. Setelah menyerap panas dari kolektor , selanjutnya air yang panas akan disimpan dalam tangki air panas yang berada dalam pemanas air.

2. Untuk Pembangkit Listrik

Alat yang digunakan merubah cahaya panas matahari menjadi listrik ini sering disebut sebagai panel surya. Prinsip dasar alat ini adalah mengubah energi panas matahari berubah menjadi energi listrik. Prinsip ini berguna membantu pemanfaatan energi matahari dalam kehidupan sehari-hari. Ada beberapa cara mengubah energi matahari menjadi listrik.

Sel dari panas matahari jika dianalogikan sebagai device dua terminal. Membuat kondisi saat gelap atau dengan kata lain tidak cukup cahaya akan memiliki fungsi seperti diode dan saat disinari cahaya matahari tersebut akan menghasilkan tegangan.

Berikut cara mengubah sinar matahari untuk pembangkit listrik.

- Sel surya atau biasa disebut *solar* ini dapat mengubah sinar matahari langsung menjadi listrik.



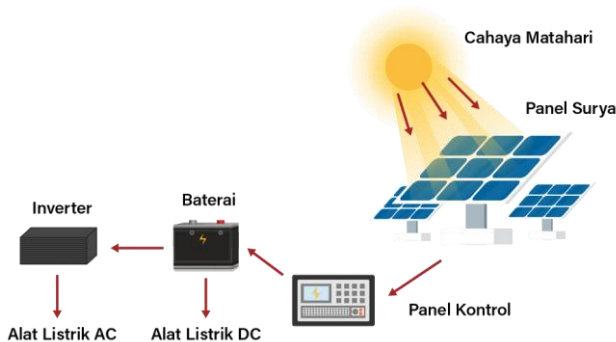
Gambar 2.1 Sel Surya (*photovoltaic or solar cell*)

(Sumber:<https://www.pinhome.id/blog/sel-suryasolar-cell-pengertian-kelebihan-dan-kekuarangan-dan-prinsip-kerjanya-lengkap/>)

- *Solar power plants* atau Pembangkit listrik tenaga matahari. Memiliki fungsi mengubah energi panas dari matahari, *Solar power plants* tidak mengubah sinar matahari menjadi listrik melainkan mengubahnya terlebih dahulu menjadi panas untuk memanaskan fluida,

kemudian fluida yang telah dipanaskan tersebut akan menghasilkan uap, uap tersebut akan digunakan untuk menghidupkan generator. Generator banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, terlebih untuk listrik bantuan untuk kantor-kantor besar di Indonesia.

Berikut adalah skema pembangkitan listrik tenaga matahari.



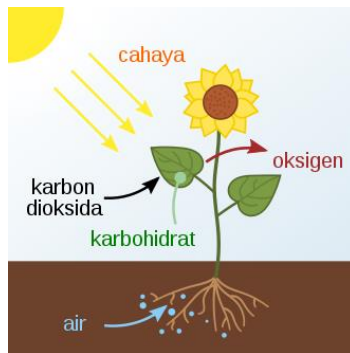
Gambar 2.2 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Matahari
(Sumber: https://roboguru.ruangguru.com/question/buatlah-skema-cara-kerja-pembangkit-listrik-tenaga-matahari_QU-QXY7TL7R)

3. Untuk Proses Fotosintesis

Panas dari pusat tata surya ini juga banyak di manfaatkan untuk proses fotosintesis. Sebagai sumber energi dalam kehidupan makhluk hidup tentu saja matahari juga dimanfaatkan oleh tumbuhan, seperti halnya pada saat tumbuhan berfotosintesis, tumbuhan banyak melibatkan sinar matahari untuk energi yang dibutuhkan tumbuhan untuk menghasilkan makanan bagi ekosistem makhluk hidup dibawah nya.

Jika tumbuhan tidak melakukan fotosintesis, kehidupan tentu saja terhambat karna sumber makanan bagi herbivora pun akan terganggu daro segi ketersediaan makanan. Jika populasi herbivora terganggu, akan berakibat buruk bagi omnivora dan karnivora juga yang tidak mendapatkan sumber makanan lagi. Sebagai gambarannya tumbuhan akan membersihkan udara untuk kita, menjaga suhu di muka bumi ini, dan menjaga keseimbangan proporsi gas yang tersebar di atmosfer.

Fotosintesis dikenal sebagai proses biologi bagi tanaman dan organisme berwarna hijau atau tanaman klorofil menunjang proses pertumbuhannya dengan memproduksi karbohidrat, tumbuhan yang berklorofil ini dengan bantuan energi dari panas matahari melalui sel yang bernafas kemudian akan dikonversi menjadi energi ATP dan akhirnya dapat digunakan bagi pertumbuhannya. Selanjutnya dimanfaatkan oleh seluruh makhluk hidup di muka bumi ini. Reaksi proses fotosintesis adalah :



Gambar 2.3 Proses Fotosintesis

(Sumber: <https://id.wikipedia.org/wiki/Fotosintesis>)

Cahaya sinar matahari dalam berfotosintesis merupakan reaksi yang akan terjadi dengan keberadaan energi panas matahari. Hasil dari fotosintesis tersebut di atas adalah $C_6H_{12}O_6$ atau gula (karbohidrat). Dengan begitu matahari juga berperan terhadap keberlangsungan ekosistem. Karbohidrat merupakan jenis molekul yang paling banyak ditemukan di alam. Karbohidrat terbentuk pada proses fotosintesis sehingga merupakan senyawa perantara awal dalam penyatuan karbon dioksida, hidrogen, oksigen, dan energi matahari ke dalam bentuk hayati. Pengubahan energi matahari menjadi energi kimia dalam reaksi biomolekul menjadikan karbohidrat sebagai sumber utama energi metabolit untuk organisme hidup.

4. Untuk Kesehatan

Panas dari sinar matahari ini juga banyak dimanfaatkan dalam dunia kesehatan. Umumnya yang kita ketahui vitamin D dihasilkan oleh sinar matahari. Vitamin D ini berfungsi membuat tulang dan gigi kita menjadi kuat. Menurut Dokter Anak dari Chicago, Amerika Serikat, vitamin ini dapat mengurangi resiko kanker, serangan jantung dan biasa dimanfaatkan oleh para penderita diabetes. Secara umum vitamin D dibutuhkan oleh anak-anak, setidaknya ada 400 vitamin D atau setara 4 gelas susu setiap hari. Menurut dokter pun menganjurkan anak-anak bermain di bawah matahari di pagi hari hingga pukul 09.00 pagi. Namun efek buruk jika terlalu banyak bermain dibawah sinar matahari juga dapat menyebabkan penyakit kanker kulit di atas jam 09.00 pagi. Pada waktu tersebut menyebabkan sinar ultraviolet terserap di kulit dan mengubah simpanan sinar yang terserap itu menjadi kolesterol berada di kulit menjadi vitamin D. jika menghadapkan sebagian dari tubuh kita menghadap ke sinar matahari selama kurang lebih 5 menit akan mendistribusikan setidaknya sebanyak 400 unit vitamin D. Sinar dari panas tata surya matahari ini sekaligus dapat membunuh bakteri

penyakit, seperti virus dan juga jamur. Selain itu faktor lain yang membantu meningkatkan kebugaran pernafasan kita yaitu glikogen akan bertambah di otot dan hati setelah kita berjemur dibawah sinar matahari. Ada banyak manfaat kita berjemur di bawah sinar matahari jika dilakukan di waktu yang tepat.



Gambar 2.4 Manfaat Sinar Matahari

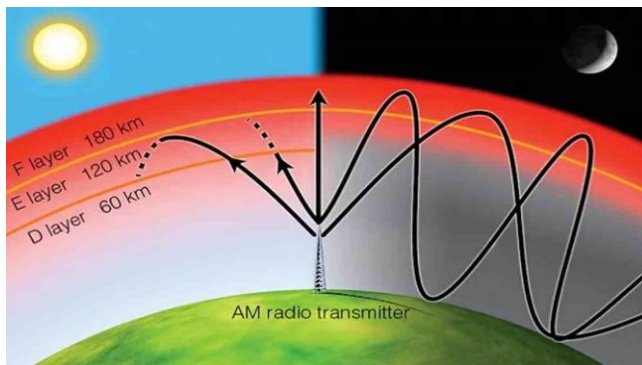
(Sumber:<https://www.gramedia.com/literasi/manfaat-sinar-matahari/>)

2.4 Energi Radiasi Matahari Berbentuk Sinar dan Gelombang Elektromagnetik

Spektrum elektromagnetik sering di gambarkan sebagai gelombang elektromagnetik berdasarkan panjang gelombang dan frekuensinya. Spektrum elektromagnetik disusun berdasarkan panjang gelombang jika diukur dalam satuan m , hal tersebut mencakup beberapa kisaran energi yang nilainya sangat rendah. Spektrum ini memiliki panjang gelombang yang tinggi serta memiliki frekuensi yang rendah contohnya gelombang radio hingga energi yang sangat tinggi, radiasi X-ray dan Gamma ray termasuk panjang gelombang rendah dan frekuensi tinggi. Berikut penjelasannya:

a. Gelombang Radio

Peristiwa spektrum elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang yang tinggi maka frekuensi yang dimiliki akan rendah atau sebaliknya. Gelombang radio disini akan dikelompokkan menurut frekuensi dan panjang gelombangnya. 30 kHz ke atas merupakan frekuensi gelombang radio dan akan dikelompokkan berdasarkan lebar frekuensinya. Gelombang radio ini terdiri dari muatan listrik melalui kawat penghantar yang dipercepat. Dalam rangkaian kemudian banyaknya muatan-muatan ini akan dibangkitkan oleh rangkaian elektronika atau biasa kita sebut sebagai osilator. Gelombang radio akan dipancarkan dari antena radio dan diterima oleh antenanya itu sendiri. Pada konsepnya kita tidak mendengar radio langsung, melainkan radio akan di dengar oleh penerima radio setelah gelombang tersebut melalui perubahan energi gelombang menjadi energi bunyi. Pemanfaatan gelombang radio banyak digunakan dalam sistem komunikasi. Contohnya saja komunikasi sistem radar ataupun digunakan untuk meneliti din luar angkasa radar. Gelombang radar tersebut memiliki panjang berkisar antara 0.8 – 100 cm. hal tersebut dapat kita lihat pada gambar berikut ini, kecepatan gelombang radio dalam radio transmitter.



Gambar 2.5 Kecepatan Gelombang Radio

(Sumber:<https://www.harapanrakyat.com/2023/05/kecepatan-gelombang-radio/>)

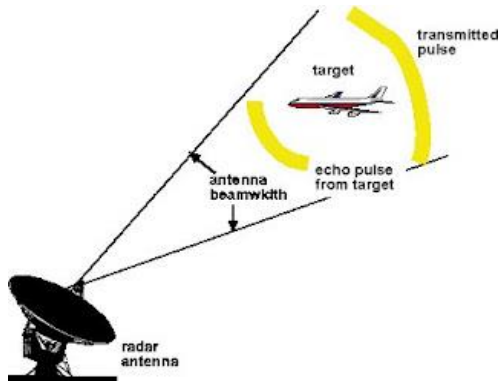
b. Gelombang mikro

Mikrowaves atau biasa kita sebut sebagai gelombang mikro adalah gelombang radio yang memiliki frekuensi paling tinggi dibanding dengan gelombang radio yang lain yaitu sekitar 3 GHz. Proses kerja dari gelombang radio ini ketika gelombang mikro tersebut diserap oleh sebuah benda, lalu akan memunculkan efek pemanasan pada benda tersebut. Gelombang mikro ini banyak dimanfaatkan pada pesawat yaitu pada proses Radio Detection and Ranging atau RADAR, gelombang ini dapat menunjukkan jejak dan mencari benda kecil dengan memanfaatkan gelombang radio dari gelombang mikro ini. Selanjutnya dalam pemanfaatan gelombang mikro ini memiliki sifat pemantulan dengan umumnya cepat rambat gelombang elektromagnetik sebesar 3×10^8 m/s atau biasa kita sebut C ini.

Ada beberapa manfaat gelombang mikro antara lain:

- Digunakan untuk alat rumah tangga Microwave
- Digunakan dalam komunikasi RADAR pesawat
- Digunakan dalam menganalisis adanya struktur molekul
- Digunakan juga untuk mengukur kedalaman laut
- Digunakan juga pada rangkaian Televisi

Gelombang RADAR mikro ini jika diaplikasikan dalam mendeteksi suatu objek dapat memandu pendaratan pesawat terbang, hal ini bisa kita perhatikan jika kita naik pesawat terbang, terlebih lagi jika penerbangan malam hari dan mengalami turbulence karna cuaca kabut, gelombang mikro ini akan menentukan arah dan posisi yang tepat untuk pendaratan pesawat terbang dengan baik. Gelombang mikro ini juga banyak membantu di area kelautan yaitu pengamatan di kapal laut, konsepnya hampir sama dengan pendaratan pesawat terbang. Proses pemanfaatan gelombang mikro pada pesawat terbang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.6 Pemanfaatan Gelombang Mikro Pada Pesawat Terbang

(Sumber: <http://piyapiyopiyu.blogspot.com/2012/03/gelombang-mikro.html>)

c. Sinar Inframerah

Frekuensi 1011Hz hingga 1014 Hz dengan panjang gelombang 10-4 cm hingga 10-1 cm merupakan daerah sinar inframerah. Contoh yang paling konkrit adalah spektrum yang biasa kita lihat jika membongkar isi sebuah lampu pijar, isi lampu pijar tersebut jika dihubungkan dengan miliampermeter oleh detektor maka jarum ampermeter ini akan bergerak sedikit ke atas menuju ujung spectrum berwarna merah. Sinar ini biasa kita sebut sebagai radiasi inframerah yang terdeteksi. Sinar inframerah ini dihasilkan berupa elektron dalam molekul yang bergetar akibat benda yang dipanaskan, setiap benda panas ini akan memancarkan sinar yang disebut sinar inframerah. Inframerah tentu saja bukan hal yang jarang kita dengar. Jika melihat jumlah sinar inframerah yang akan dipancarkan ini akan harus bergantung warna benda dan suhu yang dimilikinya.

Ada beberapa manfaat dari radiasi inframerah :

- Digunakan dalam dunia fotografi yaitu pemetaan sumber daya dan mampu mendeteksi tumbuhan di bumi

- Digunakan dalam dunia fotografi diagnosa penyakit dalam
- Digunakan pada remote alarm pencuri di rumah
- Digunakan juga dalam bidang militer, di militer dibuat teleskop inframerah yang digunakan dalam melihat ditempat yang gelap ataupun berkabut



Gambar 2.7 Sinar Infra Merah dalam Terapi Kesehatan

(Sumber: <https://mtaufiqtamam.web.id/manfaat-gelombang-elektromagnetik-dalam-kehidupan-sehari-hari/>)

d. Cahaya tampak

Spektrum gelombang elektromagnetik yang dapat dideteksi oleh mata kita sebagai manusia disebut sebagai cahaya tampak sebagai radiasi elektromagnetik. Panjang gelombang yang dimiliki oleh cahaya tampak ini bervariasi bergantung dari variasi warnanya, panjang gelombang sekitar 4×10^{-7} m adalah panjang gelombang untuk ungu hingga 7×10^{-7} m untuk cahaya tampak berwarna merah. Dalam dunia kedokteran banyak ditemukan pemanfaatan cahaya tampak ini seperti membantu penglihatan mata manusia dan penggunaan laser dalam serat optik pada bidang telekomunikasi.

e. Sinar X

Sinar yang memiliki besar frekuensi 10 Hz dan panjang gelombang sekitar 10 cm adalah definisi dari sinar X. Sinar X ini memiliki daya penembus yang kuat hingga dapat menembus buku tebal dengan beberapa sentimeter dan pelat aluminium setebal 1 cm, sinar ini juga biasa digunakan untuk memotong kayu yang tebal. Tak hanya itu Sinar X digunakan juga dalam bidang kedokteran untuk memotret kedudukan tulang pada pasien yang mengalami patah tulang. Meskipun begitu kita tentu biasa melihat tanda bahaya di depan pintu ruang X-Ray karna sinar ini dapat merusak kesehatan jika penggunaan sinar X yang terlalu lama. Penggunaan sinar X dalam ilmu kedokteran dapat dilihat contohnya pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.8 Pemanfaatan Sinar X dalam Ilmu Kedokteran

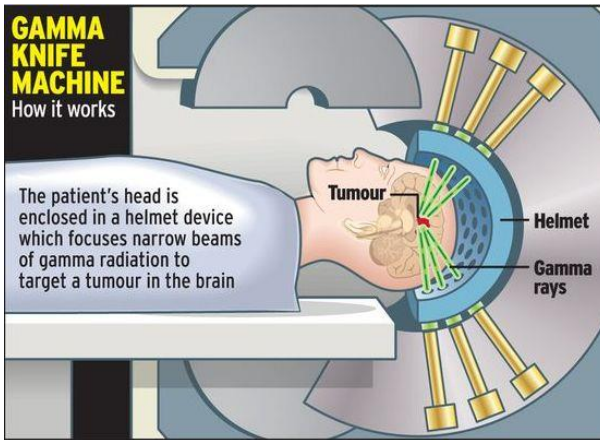
(Sumber: <https://mtaufiqtamam.web.id/manfaat-gelombang-elektromagnetik-dalam-kehidupan-sehari-hari/>)

f. Sinar Gamma

Sinar gamma ini hampir sama dengan sinar yang lain namun sinar gamma memiliki frekuensi 10 Hz dengan panjang gelombang 10 cm. Daya tembus yang paling besar dapat menyebabkan efek yang serius jika diserap oleh jaringan tubuh. Berikut manfaat sinar gamma yang banyak orang belum tau:

- Sinar X digunakan terapi kanker
- Sinar X digunakan sterilisasi alat operasi rumah sakit

- Sinar X digunakan sterilisasi makanan
- Sinar X digunakan sterilisasi makanan berbentuk kaleng
- Sinar X digunakan pembuatan varietas tanaman unggul tahan penyakit dengan produktivitas tinggi
- Sinar X digunakan dalam mengurangi populasi hama tanaman yang dilakukan oleh serangga
- Sinar X digunakan dalam medeteksi cacat pada logam
- Sinar X digunakan sistem perunut fluida aliran PDAM
- Sinar X digunakan untuk mendeteksi kebocoran.



Gambar 2.9 pemanfaatan Sinar Gamma dalam Ilmu Kedokteran

(Sumber:<https://mtaufiqtamam.web.id/manfaat-gelombang-elektromagnetik-dalam-kehidupan-sehari-hari/>)

DAFTAR PUSTAKA

- Alditihan, A., & Tanti, N. (2011). Pembuatan Program Perancangan Turbin Savonius Tipe-U Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin. *Jurnal Mechanical*, 2, 1–9
- Carroll, B. W., & Ostlie, D. A. (2014). *An Introduction to Modern Astrophysics Second Edition* (Edinburgh). Pearson Education Limited.
- Dwicaksono, M.B dan C. Rangkuti. 2018. Perancangan, Pembuatan, dan Pengujian Kompor Energi Matahari Portabel Tipe Parabola Kipas. in *Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan* (pp. 41-48).
- I. Priyadi, 2006, Rancang Bangun Kolektor Surya sebagai Sumber energi alternatif masyarakat kota bengkulu, Lap. Penelitian, Univ. Bengkulu
- Suframpan, H. 2004. Kajian Unjuk Termal Kolektor Tenaga Surya Tipe Parabolik Sebagai Piranti Memasak. *Skripsi Teknik Pertanian*. Universitas Lampung. Lampung. Hal. 56.
- Suryo, W.P. dan R. Armando. 2007. *Membuat Kompor Tanpa BBM*. Penebar Swadaya. Jakarta.

BAB 3

SOLAR SEL FOTOVOLTAIK

Oleh Dwi Sukowati

3.1 Pendahuluan

Salah satu bentuk energi alternatif yang dapat menjadi pilihan dalam mengatasi krisis energi adalah energi matahari (surya). Sumber energi matahari yang tidak terbatas dan tidak menyebabkan polusi menjadi pilihan tepat bahwa energi matahari mempunyai peran yang solutif jika suatu saat terjadi krisis energi yang terlampau besar. Energi yang diambil adalah cahaya atau sinar yang dihasilkan oleh matahari. Cahaya matahari kemudian diubah menjadi listrik dengan teknologi sel surya atau fotovoltaik.

Indonesia memiliki potensi besar dalam memanfaatkan energi surya yakni sekitar 4.8 KWh/m^2 sepadan dengan 112.000 GWp. Hanya saja pemanfaatannya baru mencapai sekitar 10 MWp (Kementerian ESDM, 2012). Pemerintah Indonesia memiliki ekpetasi tinggi terhadap kapastias Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) terpasang sebesar 0,87 GW atau sekitar 50 MWp/tahun hingga tahun 2025 nanti. Komponen utama sistem PLTS adalah sel surya yang menggunakan teknologi fotovoltaik.

Sebenarnya, Teknologi fotovoltaik memiliki potensi besar dan memberikan keuntungan tidak hanya untuk PLTS yang dikelola oleh pemerintah, tetapi juga dapat digunakan pada skala rumah tangga. Hanya saja teknologi fotovoltaik memiliki kelemahan pada harga bahan baku yang mahal. Hal ini menjadi salah satu hambatan pemerintah belum secara maksimal memanfaatkan penggunaan teknologi fotovoltaik sebagai sumber energi utama. Lalu seperti apa sebenarnya Energi Fotovoltaik? Bab ini akan membahas apa itu energi fotovoltaik dan cara kerja dari energi.

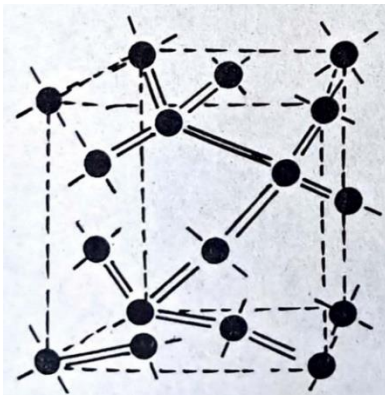
3.2 Konversi Energi Fotovoltaik

Fotovoltaik merupakan sebuah proses mentransfer energi radiasi surya menjadi energi listrik secara langsung. Sedangkan efek fotovoltaik merupakan peristiwa adanya voltase listrik karena adanya dua elektroda yang saling terhubung oleh sistem solid atau liquid ketika terkena energi cahaya. Untuk pengertian sel fotovoltaik sendiri ialah seperangkat sistem yang berfungsi mengkonversi energi radiasi surya menjadi energi listrik. Sel Fotovoltaik disebut juga *solar cell* atau sel surya. Tahun 1839, seorang ilmuwan fisika bernama Edmund Becquerel menemukan efek fotovoltaik. Eksperimen yang dilakukan berkaitan tentang sel elektrolisis dari dua buah elektroda logam. Hasil eksperimennya menunjukkan arus listrik pada jumlah kecil dapat diproduksi akibat suatu bahan terkena cahaya. Tahun 1905, Einstein memaparkan teori efek fotoelektrik. Teori ini menjadi dasar pemahaman teoritis efek fotovoltaik, hanya saja teori tersebut sebatas pada eksperimen laboratorium. Tahun 1954, Bell Labs membuat sel fotovoltaik dari berbahan dasar Kristal Silicon *p-n junction* dan sel fotovoltaik tersebut menghasilkan tingkat efisiensi konversi kurang lebih 6% (Lorenzo, 1984).

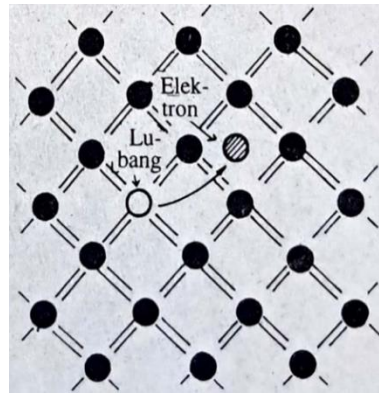
Konversi sel surya dapat memproduksi voltase antara 0,5 volt hingga 1 volt. Besar kecilnya voltase yang dihasilkandari sel surya bergantung pada intensitas cahaya dan jenis semikonduktor yang digunakan. Dalam penerapannya, sel surya saling terhubung baik secara paralel atau seri tergantung berapa daya yang ingin dihasilkan pada saat dikombinasikan dengan tegangan dan arus yang dipilih. Namun jika menginginkan daya yang dihasilkan lebih besar terdapat keterbatasan karena pada intensitas energi pada saat sel surya sampai ke permukaan bumi bernilai rendah sekitar 100 watt per m². Jika ingin mendapat daya sebesar 1000 watt atau 1 kW, lauas yang diperlukan sebesar 4 m². Artinya, wilayah yang dibutuhkan dalam pemasangan sel surya fotovoltaiik sangat luas. Di Indonesia pemasangan sel surya fotovoltaiik yang ditargetkan adalah 112.000 GWp pada Tahun 2025. Hal ini bukan berarti terletak di satu tempat saja, tetapi beberapa wilayah Indonesia khususnya wilayah-wilayah terpencil.

Sember energi listrik dari sel surya foltovoltaiik juga dikenal sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fotovoltaiik (PLTS Fotovoltaiik). Cara kerja PLTS Fotovoltaiik adalah secara langsung mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik (Wiyana, 2012). Pada dasarnya sel surya yang diterapkan dalam PLTS Fotovoltaiik tersebut merupakan suatu dioda semikonduktor yang bekerja berdasar proses tidak seimbang (*non-equilibrium process*) dan berlandaskan efek dari selnya (*photovoltaic effect*). Energi radiasi surya memanfaatkan lapisan-lapisan tipis dari silikon (Si) murni atau bahan semikonduktor lain untuk diubah menjadi arus listrik searah (Arus DC). Silikon merupakan salah satu bahan semikonduktor yang sering dipakai dalam energi fotovoltaiik dan ketersediaan di alam masih banyak ditemui. Agar silikon dapat digunakan sebagai semikonduktor maka dilakukan pemurnian silikon hingga mencapai tingkat permunian > 1 atom pengotoran per 10^{10} atom.

Setiap silikon mempunyai elektron valensi sehingga akan terjadi kristalisasi ketika silikon berubah dari cair menjadi padat. Silikon yang mengkristal memiliki 4 atom yang saling berdekatan. Tiap dua atom silikon terdekat memiliki salah satu elektron valensi. Gambar 3.1 menunjukkan bentuk kisi dari kristal silikon. Gambar 3.1 (a) yang disebut sebagai kisi intan.



(a)



(b)

Gambar 3.1 Kisi Intan Kristal Silikon (Kadir, 1990)

Pada suhu 0°K seluruh ikatan kovalensi ada pada keadaan utuh. Ketika suhu naik, atom-atom tersebut mengalami getaran termal. Getaran seiring dengan meningkatnya suhu akan mengakibatkan gangguan beberapa ikatan kovalen. Gangguan ikatan valensi pada kristal semikonduktor merupakan hal penting untuk terjadinya efek fotovoltaiik.

Pada Gambar 3.1(b) nampak ikatan valensi melepaskan sebuah elektron dan elektron tersebut bergerak bebas dalam kristal. Elektron yang terlepas tersebut dapat berperan sebagai penghantar listrik. Hantaran listrik terjadi jika tempat asal yang ditinggalkan elektron (ruang kosong/lubang/*hole*) diisi oleh elektron lainnya. Jika kristal ditempatkan dalam medan listrik, maka elektron-elektron yang terbebas mengalir melawan medan dan *hole* yang ditinggalkan elektron sebelumnya memiliki arah berlawanan dengan elektron.

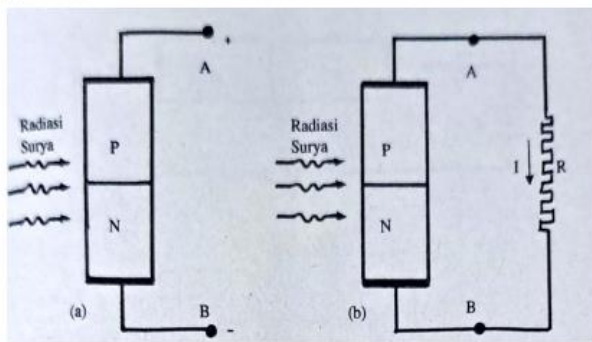
Hole berperan sebagai partikel bermuatan positif. Karena elektron memiliki muatan negatif, maka disebut tipe-n. *Hole* yang ditinggalkan elektron disebut akseptor (penerima) karena diisi oleh elektron lain dan dinamakan tipe-p yang bermuatan positif.

Selain faktor suhu dalam gangguan ikatan valensi pada kristal silikon, radiasi gelombang elektromagnetik dari luar juga dapat menjadi salah satu gangguan. Jika ada foton dari radiasi yang memiliki energi $\geq 1,1$ eV dan mengenai/masuk ke kristal silikon (pada suhu ruang), maka di tempat terkenanya radiasi akan muncul pasangan elektron dan *hole* yang ditinggalkan elektron. Artinya radiasi yang dapat mengakibatkan terjadinya gangguan pada kristal silikon mempunyai panjang gelombang kurang dari 1.100 nm dan dimiliki oleh spektrum Inframerah, lebih pendek lagi dimiliki oleh Ultraviolet, *Rontgen*, dan *Gamma*. Radiasi surya atau spektrum matahari memiliki area panjang gelombang ultraviolet hingga inframerah. 30% energi radiasi surya yang datang ada di area cahaya tampak, dan > 50% ada di area inframerah (Kim, 2009). Sehingga dapat disimpulkan bahwa radiasi surya jika mengenai atau diserap oleh semikonduktor silikon mempunyai kemampuan mengganggu ikatan valensi silikon. Hal tersebut membuat suatu muatan listrik melampaui keseimbangan dan mengakibatkan terjadinya gaya gerak listrik.

Sel surya fotovoltaik dibentuk dari kristal silikon yang dipotong setebal 0,3 mm. Pada sel surya tersebut terdapat pertemuan semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor p-n dapat dipasang sejajar atau seri dalam sebuah panel. Panel tersebut terbuat dari aluminium atau baja anti karat dan dilindungi oleh kaca atau plastik. Seperangkat panel yang menghubungkan sel surya inilah yang disebut dengan panel surya. Kemudian, masing-masing sel diberi sambungan dengan potensial berbeda yang disebut daerah pengosongan/depleksi (Dewi dan Antonov, 2013). Jika sebuah foton memasuki bahan fotovoltaik, foton tersebut dapat mengalami tiga hal yaitu dapat dipantulkan, diserap, atau ditransmisikan. Saat foton diserap oleh atom elektron valensi, energi elektron tersebut akan bertambah, sehingga energi foton lebih besar dari ikatan

semikonduktor. Dalam keadaan bebas bergerak, elektron yang mempunyai energi lebih besar tersebut melompat ke ikatan konduksi. Saat ada medan listrik, elektron akan hilang dan akan muncul kembali dengan sambungan/pertemuan p-n.

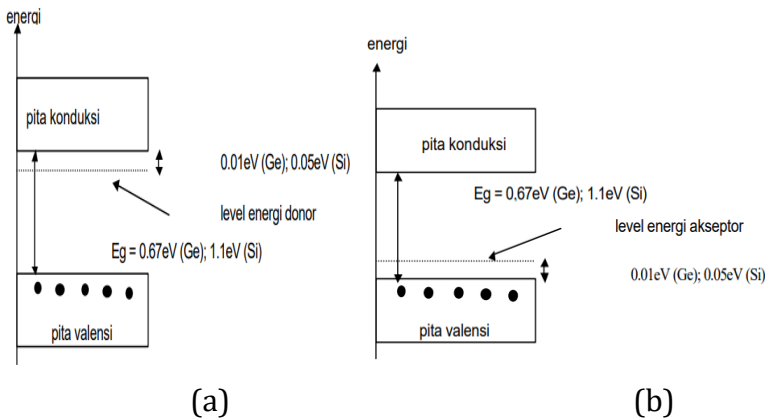
Ketika sambungan p-n terkena radiasi surya (tiap foton radiasi memiliki energi $>1,1$ eV), maka memproduksi satu pasangan elektron-hole dalam kristal silikon. Pada gambar 3.2 (a) terlihat bahwa pasangan-pasangan elektron-hole letaknya agak terpisah, sedemikian hingga area P akan memiliki muatan positif terhadap area N, dan terdapat beda potensial antara kedua apitan. Jika kedua apitan dipasang sebuah hambatan (seperti pada gambar 3.2 (b)), akan mengalir arus listrik I . Sehingga secara langsung terjadi konversi elektronika antara radiasi surya yang masuk dan energi listrik yang dihasilkan antara kedua apitan A dan B. Besarnya arus listrik bergantung pada jumlah energi surya yang mencapai silikon dan luas permukaan sel silikon.



Gambar 3.2 Skema Sambungan P-N (Kadir, 1990)

Semikonduktor tipe-n bersifat pembawa merupakan elektron yang berasal dari atom-atom donor dan terkumpul pada pita donor. Posisi elektron pada pita donor terletak sedikit di bawah pita konduksi E_c . Semikonduktor tipe-p bersifat sebagai pembawa mayoritas *hole* yang berasal dari atom-atom akseptor (posisinya

terletak sedikit di atas pita valensi E_v), seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3.

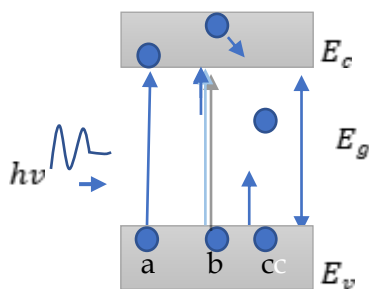


Gambar 3.3 Semikonduktor (a) tipe-n dan (b) tipe p (*Bahan Ajar Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta*)

Ketika semikonduktor terkena sinar, foton dari sinar tersebut terabsorpsi dan membentuk pasangan elektron-hole sebagaimana ditampilkan pada gambar 3.4 (a), energi dari foton $h\nu$ bernilai sama dengan energi band gap E_g . Pada peristiwa 3.4 (b), saat energi foton $h\nu$ lebih dari E_g , maka terbentuk pasangan elektron-hole serta penambahan energi. Kemudian energi tersebut dikonversi menjadi panas. Dua peristiwa (a) dan (b) merupakan transisi intrinsik (transisi *band to band*). Pada proses (c), elektron tidak mempunyai energi yang cukup untuk melewati energi band gap ($h\nu < E_g$) (Beiser, 1992). Band gap sebuah semikonduktor sangat menentukan jumlah spektrum cahaya yang dapat diserap oleh sel fotovoltaik. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa hanya energi foton yang memiliki nilai lebih besar atau sama dengan energi gap/ *band gap* yang dapat terabsorpsi dan mengeksitasi elektron. Semikonduktor dengan band gap rendah dapat mengeksploitasi lebih banyak spektrum cahaya dan memproduksi transfer elektron

lebih banyak juga. Sehingga arus listrik yang dihasilkanpun lebih besar namun tegangannya kecil.

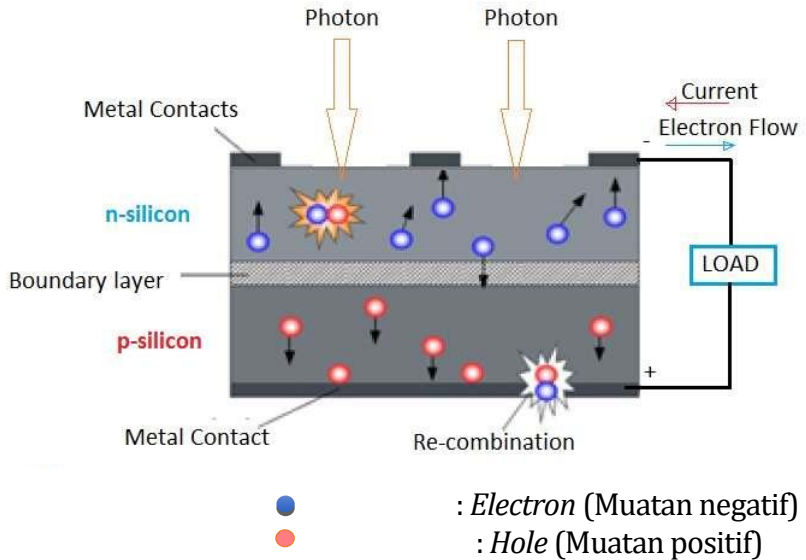
Ketika ada foton mempunyai energi $h\nu$ serta frekuensi tertentu, kemudian mendekat dan menyentuh persambungan p-n *junction* sel fotovoltaik, maka menyebabkan terjadinya absorpsi dari bahan semikonduktor serta daerah sambungan tipe-p dan tipe-n. Di daerah deplesi/transisi, elektron pada tipe-p (pembawa minoritas) dan *hole* pada tipe-n mengalami difusi akibat dari medan listrik. Adanya difusi ini menyebabkan muncul lokalisasi pada sisi-p dan sisi-n, sehingga muncul arus listrik melalui hambatan yang terkoneksi pada sel fotovoltaik tersebut (Maddu et al., 2007).



Gambar 3.4 Absorpsi Optik: (a) $h\nu = E_g$; (b) $h\nu > E_g$; (c) $h\nu < E_g$

Saat foton berenergi ($h\nu$) diserap oleh bahan semikonduktor ternyata lebih besar dari energi band gap (E_g) semikonduktor, maka elektron-elektron menjadi elektron bebas. Hal ini dikarenakan elektor tersebut tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi (gambar 3.5). Karena terdapat medan listrik pada persambungan, menjadikan elektron bebas tersebut mengalir ke arah pita konduksi (sisi n). Untuk ruang kosong (*hole*) akibat ditinggal oleh elektron, mengalir ke arah pita valensi (sisi p), masing-masing menuju kontak arus. Sehingga, jika terkoneksi dengan rangkaian akan menyebabkan adanya aliran muatan-muatan pembawa bergerak ke arah yang berlawanan dan terjadi rekombinasi di dalam bahan

semikonduktor. Aliran-aliran muatan-muatan pembawa tersebut menghasilkan arus listrik yang dapat diukur dengan Multimeter (Maddu et al, 2007).



Gambar 3.5 Sel Fotovoltaik Semikonduktor Tipe p-n Saat Terkena Sinar
(www.rfwireless-world.com)

3.3. Klasifikasi Sel Surya Fotovoltaik

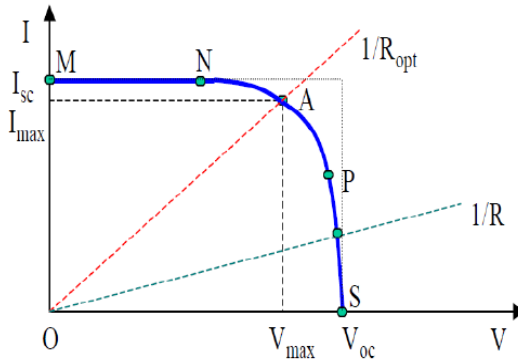
Sel surya fotovoltaik diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu konvensional dan *advance*. Sel surya fotovoltaik konvensional identik dengan bahan dasar silikon yang merupakan sel surya fotovoltaik pertama. Persentase efisiensi sel surya fotovoltaik berbahan silikon telah mencapai 15% dan efisiensi laboratorium 24,7%. Penggunaan sel surya fotovoltaik berbahan silikon masih mendominasi penggunaannya. Keunggulan dari bahan silikon telah dijelaskan sebelumnya yaitu ketersediaan bahan silikon yang masih banyak ditemukan, memiliki resistifitas sangat tinggi, dan energi band gap rendah. Kekurangan dari bahan dasar silikon sebagai sel surya

fotovoltaik yaitu saat memurnikan silikon hingga 99,9% membutuhkan biaya produksi *silicon wafer* yang sangat tinggi. Untuk meminimalisir hal tersebut, dikembangkan metode untuk memproduksi *semiconductor-grade silicon* dan *crystalline thin film silicon*.

Jenis yang kedua adalah *advance solar cell photovoltaic* atau dikenal dengan sebutan sel surya fotovoltaik non silikon. Sel surya fotovoltaik non silikon identik dengan lapisan tipis atau *thin film solar cell*, sel surya organik dan polimer, serta *dye-sensitized solar cell*. *Advance solar cell photovoltaic* dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya. Untuk meningkatkan efisiensi kerja dilakukan dengan dua cara yaitu menerapkan konsep termodinamika dan *detailed balanced*. Konsep Termodinamika yang diterapkan berfokus pada kuantitas energi yang diterima dan yang diserap lebih besar; konsep *detailed balanced* yang diterapkan berfokus pada menyelaraskan perbedaan flux partikel. Cara yang kedua yaitu segi pengurangan biaya. Pengurangan biaya dilakukan dengan cara menggunakan bahan dasar yang jauh lebih murah, sedikit, dan efisien, serta pemilihan sistem manufaktur yang jauh lebih terjangkau.

3.4 Efisiensi Sel Surya Fotovoltaik

Ketika sel surya dikenai sinar, maka sel surya menghasilkan daya listrik yang dapat dihitung dari kemampuan sel surya menghasilkan voltase ketika terdapat beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama. Gambar 3.6 merepresentasikan daya yang diproduksi pada sel surya fotovoltaik. Astra dan Sidopekso (2011) mengungkapkan hasil dari penelitian terkait ciri khas arus dan voltase sel surya yang dapat berubah jika panel surya mendapat intensitas sinar yang semakin besar, maka daya dan efisiensi yang dihasilkan sel surya juga semakin besar. Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum (m);



Gambar 3.6 Kurva Karakteristik Arusan Tegangan pada Sel Surya Fotovoltaik (Rifaldo et al., 2018)

Tingkat efisiensi suatu sistem atau perangkat merupakan hal yang penting karena menjadi parameter performa/ kinerja sistem atau perangkat tersebut. Nilai efisiensi suatu sel surya fotovoltaik merupakan perbandingan besarnya daya yang dihasilkan oleh sel surya dengan daya sinar yang datang (persamaan 3.1)

$$\eta = \frac{I_m V_m}{P_{light}} = \frac{FF I_{sc} V_{oc}}{P_{light}} \quad (3.1)$$

keterangan:

V_{oc} : Voltase (tegangan) maksimum saat *open-circuit*

I_m : Arus maksimum

FF : *Fill Factor*

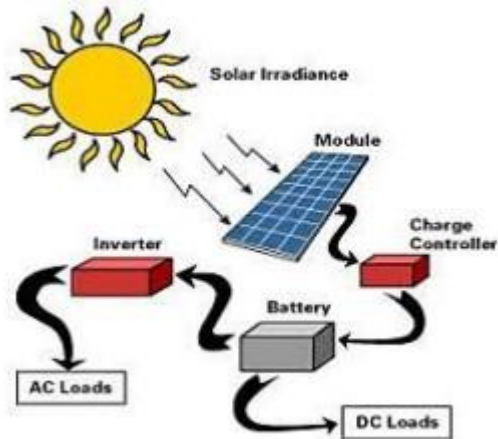
$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}} \quad (3.2)$$

3.5 Penerapan Sel Surya Fotovoltaik

Penerapan sel surya fotovoltaik masih terbatas penggunaannya, hal ini disebabkan harga bahan baku sel surya fotovoltaik masih relatif tinggi. Khususnya di Indonesia, penggunaan sel surya fotovoltaik belum merata ke semua daerah. Masih terbatas pada lembaga pemerintah dan bidang-bidang serta wilayah tertentu yang menggunakan sel surya fotovoltaik sebagai sumber energi, misalnya stasiun-stasiun meteorologi, rambu-rambu laut lepas dan pantai, stasiun-stasiun relai untuk telekomunikasi, mercusuar. Indonesia saat ini telah memiliki empat lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yaitu PLTS Likupang, PLTS Oelpuah, PLTS CCA (CocaCola Amatil), PLTS Waduk Cirata.

PLTS Likupang memasang sebanyak 64.620 panel surya di Desa Wineru, Minahasa Utara yang terbentang di lahan 29 hektar. Rata-rata daya yang disalurkan sebesar 15 MW per hari. PLTS terbesar kedua adalah PLTS Oelpuah yang memiliki kapasitas daya sebesar 5 MW lebih kecil dari PLTS Likupang. PLTS ini merupakan PLTS milik PT Lembaga Elektronik Nasional yang membantu PLN mengatasi kekurangan pasokan energi listrik di Nusa Tenggara Timur. Panel surya terpasang di lahan seluas 7,5 hektar. PLTS ketiga adalah PLTS CCA yang terletak di Cikarang Barat. Atap panel surya milik PLTS CCA adalah yang terbesar di ASEAN. PLTS terakhir adalah PLTS Waduk Citra yang terletak di Kabupaten Bandung Barat. PLTS Waduk Citra didirikan oleh PT Pembangkit Jawa-Bali Investasi (PJI) yang menghasilkan daya listrik sebesar 145 MW. Selain menjadi sumber tenaga listrik, penggunaan sel surya fotovoltaik mempunyai peluang digunakan menjadi sumber energi listrik untuk kegiatan rumah tangga. Saat ini, mudah sekali mendapatkan komponen-komponen pembangkit listrik tenaga surya yang dapat dipasang untuk kebutuhan pribadi seperti rumah tangga. Penggunaan panel surya untuk mendapatkan energi listrik dapat mengurangi nilai biaya konsumtif yang berlebih rumah tangga yang bersumber dari pemerintah yaitu PLN. Komponen-komponen pendukung yang dibutuhkan dalam memanfaatkan sel surya

fotovoltaik menjadi energi listrik antara lain panel surya, charger controller, aki, inverter.



Gambar 3.7 Komponen-Komponen Pendukung Pemnfaatan Sel Surya Fotovoltaik (tenagamatahari.wordpress.com)

DAFTAR PUSTAKA

- Kadir, A. 1990. Energi. Jakarta : Universitas Indonesia UI-Press.
- Astra, I.M., Sidopekso, S. 2011. Studi Rancang Bangun Solar Charge Controller Dengan Indikator Arus, Tegangan dan Suhu Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8535. Jurnal Fisika dan Aplikasinya, Vol. XI No.1, hal: 21-24).
- Bahan Ajar Fakultas Teknik. Dasar Semikonduktor Edisi 2001. 2001. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Beiser, A. 1992. *Konsep Fisika Modern*, Jakarta, Erlangga.
- Dewi, A. Y & Antonov. 2013. Pemanfaatan energi surya sebagai suplai cadangan pada laboratorium elektro dasar di Institut Teknologi Padang. *J Teknik Elektro*, 2, 20-28.
- Kementerian ESDM, <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/matahari-untuk-plts-di-indonesia>. Diakses pada tanggal 14 September 2023, pukul 11.30.
- Kim, M. S. 2009. *Understanding Organic Photovoltaic Cells: Electrode, Nanostructure, Reliability, and Performance*. Doctor, The University of Michigan.
- Lorenzo, E. 1984. *Solar Electricity Engineering of Photovoltaic System*, Spain, Artes Graficas Gala.
- Maddu, A., Zuhri, M. & Irmansyah. 2007. Penggunaan ekstrak antosianin kol merah sebagai fotosensitizer pada sel surya TiO₂ nanokristal tersensitisasi dye. *Makara Tek*, 2, 78-84.
- Pusat Listrik Tenaga Surya.
- <https://tenagamatahari.wordpress.com/beranda/sejarah-solar-cell/>, diakses pada tanggal 24 November 2023.
- Rifaldo, P., Himran, S., Mahmuddin. Analisa Pengaruh Pendinginan Sel Surya Terhadap Day Keluaran dan Efisiensi. 2018. Jurnal Teknologi. Vol. 19, no. 1, hal: 31-38.

RF Wireless World. Photovoltaic (pv) Cell working principle.
<https://www.rfwireless-world.com/Articles/Solar-Cell-as-Renewable-Energy-Source.html>, diakses pada tanggal 19 November 2023.

Wiyana, G. 2012. Pemanfaatan Energi Surya. Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan. Vol.9, no. 1, hal: 37-46.

BAB 4

ENERGI BIOLOGI: ENERGI DARI AIR YANG BERGERAK

Oleh Dirgah Kaso Sanusi

4.1 Pendahuluan

Alam semesta adalah istilah yang digunakan untuk merujuk pada seluruh ruang, waktu, materi, dan energi yang ada. Hal ini mencakup semua galaksi, bintang, planet, dan segala jenis materi yang kita kenal, serta fenomena-fenomena alamiah yang terjadi di dalamnya.

Energi adalah prinsip fundamental yang mendefinisikan bagaimana berbagai proses dan interaksi terjadi di seluruh alam semesta. Prinsip-prinsip dasar energi berlaku dalam beberapa bidang kajian dalam konteks yang berbeda, termasuk biologi dan fisika. Energi dalam biologi merujuk pada kapasitas dalam melakukan kerja secara seluler, menggerakkan reaksi kimia, dan mempertahankan kehidupan organisme. Sementara, fisika memandang energi sebagai kemampuan dalam melakukan kerja. Kerja yang dimaksud dapat berwujud dalam bentuk energi kinetik (energi gerakan), energi potensial (energi yang terkait dengan keadaan atau posisi), energi panas, dan lainnya.

Salah satu sumber utama energi dalam kehidupan sehari-hari. Energi air adalah satu dari lima sumber terbesar energi terbarukan. Energi ini dapat dimanfaatkan dan diubah menjadi listrik dan pembangkit listrik tenaga air. Energi ini tidak

meninggalkan emisi gas rumah kaca seperti yang dihasilkan oleh pembangkit listrik yang menggunakan energi fosil.

4.2 Energi dari Air yang Bergerak

Air merupakan kebutuhan pokok dan sangat penting dalam kehidupan makhluk hidup. Manusia, hewan, dan tumbuhan membutuhkan air untuk bertahan hidup seperti untuk minum, fotosintesis, dan kebutuhan lainnya. Pada dasarnya tubuh manusia terdiri dari 50 -70 % air, baik di dalam kulit, jaringan tubuh dan seluruh organ lainnya (Kalangi, 2013). Oleh karena itu, manusia tidak mampu bertahan hidup apabila kekurangan cairan atau dehidrasi.

Energi dari air yang bergerak, yang dikenal sebagai energi hidrokinetik, dapat dimanfaatkan untuk berbagai tujuan, termasuk pembangkitan listrik dan penggerakan mesin. Ada beberapa cara untuk mengkonversi energi air yang bergerak menjadi energi yang dapat digunakan sebagai berikut.

1. Pembangkit Listrik Tenaga Air (*Hydropower*), untuk menghasilkan energi dari aliran air. Air yang mengalir dengan kecepatan tertentu digunakan untuk memutar turbin yang terhubung ke generator listrik. Turbin mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanik yang kemudian diubah menjadi listrik (EIA, 2023).
2. Pembangkit Listrik Tenaga Ombak (*Wave Power*), yakni gelombang laut yang bergerak diubah menjadi energi mekanik melalui perangkat seperti pelampung yang bergerak naik-turun atau perangkat yang bergoyang. Energi mekanik ini kemudian digunakan untuk menghasilkan listrik (Stekom, 2023).

3. Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (*Tidal Power*), menggunakan perubahan arus pasang-surut laut untuk menggerakkan turbin yang menghasilkan listrik. Pembangkit ini memanfaatkan energi dari perubahan air laut yang terjadi secara teratur (F. Rivantoro & Arief, 2015)
4. Pembangkit Listrik Tenaga Arus Sungai (*River Culrrent Power*), digunakan untuk memutar turbin yang menghasilkan listrik. Ini dapat diterapkan di sungai-sungai dengan aliran kuat (Donev, 2018).

Pemanfaatan energi air yang bergerak adalah sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan, karena tidak menghasilkan emisi karbon. Namun, pembangunan fasilitas ini sering melibatkan dampak lingkungan, seperti perubahan aliran air dan habitat alami, sehingga perlu dilakukan dengan hati-hati dan mempertimbangkan dampaknya.

4.3 Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi, juga dikenal sebagai siklus air. Siklus air merupakan perjalanan berkelanjutan air di seluruh planet kita. Siklus air merupakan suatu siklus yang terjadi di lingkungan perairan. Sementara, siklus hidrologi merupakan proses perjalanan air yang berasal dari atmosfer ke bumi dan kembali lagi ke atmosfer, dan seterusnya. Siklus hidrologi secara sederhana merupakan proses peredaran air dari laut ke atmosfer melalui penguapan, kemudian turun ke permukaan bumi sebagai hujan, mengalir di dalam tanah menuju permukaan tanah menjadi sungai dan kemudian mengalir kembali ke laut (Direktorat Sekolah Menengah Pertama, 2023). Siklus air merupakan salah satu siklus biogeokimia yang terjadi di bumi dengan tujuan mempertahankan jumlah dan ketersediaan air. Siklus hidrologi terjadi melalui beberapa

proses yang dipengaruhi oleh gejala meteorologi dan klimatologi, sebagai berikut.

1. Evaporasi (perubahan air menjadi gas melalui penguapan dari berbagai sumber air seperti danau, sungai, laut, dan sebagainya);
2. Transpirasi (pengeluaran uap air melalui daun tumbuhan);
3. Evapotranspirasi (kombinasi dari evaporasi dan transpirasi);
4. Kondensasi (perubahan uap air menjadi titik-titik air (pengembunan) karena penurunan suhu); dan
5. Infiltrasi (peresapan air ke dalam tanah melalui pori-pori tanah (Direktorat Sekolah Menengah Pertama, 2023)).

Siklus hidrologi adalah siklus yang berulang dan berperan penting dalam menjaga ketersediaan air bagi kehidupan di Bumi. Hal tersebut berperan penting dalam pengaturan iklim dan lingkungan.

4.3.1 Siklus Hidrologi Pendek

Siklus hidrologi pendek adalah proses sederhana dalam pergerakan air di alam, biasanya dalam waktu singkat. Siklus ini melibatkan penguapan air dari permukaan, pembentukan awan, presipitasi, dan aliran balik air ke permukaan tanah atau sungai (Harris, 2021). Siklus ini dapat terjadi dalam waktu singkat, seperti beberapa hari atau minggu, tergantung pada faktor-faktor cuaca dan iklim di suatu daerah.

Tahapan siklus hidrologi pendek, yang melibatkan pergerakan air dalam waktu yang relatif singkat. Berikut adalah beberapa tahapan siklus hidrologi pendek (Rahma, 2021).

1. Penguapan (*Evaporation*)
Air dari permukaan bumi, seperti sungai, danau, dan laut, menguap ke atmosfer karena panas matahari.
2. Konveksi
Uap air yang naik ke atmosfer membentuk awan melalui proses konveksi, di mana udara panas mengangkat uap air ke atas
3. Presipitasi (*Precipitation*)
Uap air dalam awan mengkondensasi menjadi tetes air atau kristal es yang jatuh kembali ke permukaan bumi dalam bentuk hujan, salju, atau hujan es.
4. Aliran Permukaan (*Surface Runoff*)
Air hujan atau salju yang jatuh ke permukaan bumi mengalir ke sungai, danau, atau laut melalui aliran permukaan.
5. Infiltrasi (*Infiltration*)
Beberapa air hujan meresap ke dalam tanah dan menjadi air tanah, mengisi akuifer dan menyediakan sumber air bawah tanah.

Tahapan ini mencakup pergerakan air dari permukaan ke atmosfer dan kembali ke permukaan dalam waktu yang relatif cepat, biasanya dalam beberapa hari hingga minggu. Ini adalah bagian dari siklus air yang penting untuk sumber daya air dan ekosistem di berbagai wilayah.

Skema siklus hidrologi pendek dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 4.1 Siklus Hidrologi Pendek

(sumber: <https://www.ruangguru.com/blog/siklus-hidrologi>)

Berdasarkan Gambar 4.1 di atas, secara umum siklus hidrologi pendek terjadi karena air laut yang mendapat sinar matahari berubah wujudnya menjadi uap atau gas. Uap tersebut naik ke atmosfer, pada ketinggian tertentu terjadilah kondensasi dan uap tersebut menjadi butiran-butiran air, dan karena semakin banyak titik-titik air maka terjadilah awan. Awan ini naik terus menerus dan uap air di sekitarnya akan tertarik, sehingga awan tersebut menjadi berat dan kemudian terjadilah hujan (Fitriyono & Ramli, 2017).

4.3.2 Siklus Hidrologi Sedang

Siklus hidrologi sedang, juga dikenal sebagai siklus air panjang, mencakup proses yang lebih luas dalam pergerakan air di bumi. Ini mencakup semua tahapan dalam siklus hidrologi, termasuk penguapan, transpirasi, presipitasi, infiltrasi, aliran permukaan, aliran bawah tanah, dan pengembalian air ke laut (Harris, 2021). Proses ini bisa memakan waktu dari beberapa minggu hingga berabad-abad tergantung pada rute yang diambil oleh air, baik air permukaan ataupun air tanah.

Berikut adalah tahapan-tahapan utama dalam siklus hidrologi sedang.

1. Penguapan (*Evaporation*)
Air dari permukaan bumi, seperti lautan, sungai, danau, dan daratan, menguap ke atmosfer karena paparan sinar matahari (Rahma, 2021).
2. Transpirasi
Proses di mana tumbuhan menyerap air dari tanah melalui akar mereka dan mengeluarkan uap air melalui daun-daunnya (Rahma, 2021).
3. Kondensasi (*Condensation*)
Uap air di atmosfer mendingin dan membentuk awan (Rahma, 2021).
4. Presipitasi (*Precipitation*)
Air dalam awan mengkondensasi menjadi tetes air atau kristal es yang jatuh ke permukaan bumi dalam bentuk hujan, salju, atau hujan es (Rahma, 2021).
5. Aliran Permukaan (*Surface Runoff*):
Air hujan atau aliran sungai mengalir ke sungai, danau, atau laut melalui aliran permukaan (Rahma, 2021).
6. Infiltrasi (*Infiltration*)
Sebagian air hujan meresap ke dalam tanah dan menjadi air tanah, yang dapat mengalir melalui akuifer (Rahma, 2021).
7. Aliran Bawah Tanah (*Groundwater Flow*)
Air tanah mengalir melalui lapisan tanah dan batuan di bawah permukaan, dan dapat mencapai sumber air, sumur, atau mata air (Pressbooks, 2018).
8. Pengembalian ke Laut (*Return to the Sea*)
Sebagian air mengalir kembali ke laut melalui aliran sungai atau melalui aliran bawah tanah (Pressbooks, 2018).

Siklus hidrologi sedang melibatkan pergerakan air dalam berbagai bentuk di berbagai fase di alam. Proses ini memengaruhi pola iklim, kualitas air, dan lingkungan di seluruh dunia dan dapat memakan waktu dari beberapa minggu hingga berabad-abad, tergantung pada jalur yang diambil oleh air.

Skema siklus hidrologi sedang dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 4.2 Siklus Hidrologi Sedang
(sumber: <https://www.ruangguru.com/blog/siklus-hidrologi>)

Berdasarkan Gambar 4.2 di atas, secara umum siklus sedang terjadi jika air laut yang mendapat sinar matahari kemudian menguap. Penguapan di laut membentuk awan, apabila awan telah jenuh oleh uap air maka terjadilah hujan di daratan. Air hujan tersebut ada yang mengalir di permukaan bumi, meresap ke dalam tanah. Ada yang masuk ke dalam danau dan sungai yang akhirnya kembali mengalir ke laut (Fitriono & Ramli, 2017).

4.3.3 Siklus Hidrologi Panjang

Siklus hidrologi panjang mencakup serangkaian tahapan dalam pergerakan air di alam yang berlangsung dalam skala waktu yang lebih besar dan melibatkan perjalanan air dalam waktu yang lebih lama (Harris, 2021).

Siklus hidrologi panjang berlangsung dalam skala waktu yang lebih luas dan mencakup pergerakan air di berbagai bentuk dan media, termasuk air permukaan dan air tanah. Proses ini berlangsung dalam rentang waktu yang jauh lebih lama dan memiliki dampak signifikan pada iklim, geologi, dan lingkungan di seluruh dunia.

Skema siklus hidrologi panjang dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 4.3 Siklus Hidrologi Panjang

(sumber: <https://www.ruangguru.com/blog/siklus-hidrologi>)

Berdasarkan Gambar 4.3 di atas, secara umum siklus panjang terjadi, jika air laut yang terkena panas sinar matahari menguap. Uap tersebut terbawa oleh angin dan jatuh ke daratan ada pula uap air yang mengalami pendinginan, maka berubah menjadi kristal es sehingga terjadilah hujan salju. Salju yang

terkumpul membentuk padang salju yang kemudian mencair dan mengalir pada sungai es (*gletser*), yang akhirnya kembali ke laut (Fitriono & Ramli, 2017).

Tahapan siklus hidrologi panjang pada dasarnya hampir sama dengan tahapan pada siklus hidrologi sedang. Perbedaan yang signifikan adalah hasil dari siklus tersebut. Berdasarkan tahapan siklus hidrologi sedang, air turun ke danau dan sungai sebagai hujan biasa dan akhirnya kembali mengalir ke laut. Sedangkan, pada siklus hidrologi panjang, air tidak hanya turun sebagai hujan biasa, tetapi juga membentuk hujan es (*gletser*) atau salju.

4.4 Pembangkit Listrik Tenaga Air

Energi listrik erat kaitannya dengan energi dalam air yang bergerak. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah fasilitas yang menggunakan energi air untuk menghasilkan listrik. PLTA biasanya memanfaatkan aliran sungai atau air yang dialirkan dari bendungan untuk memutar turbin yang kemudian menggerakkan generator listrik (Rangkuti, 2023). Ini adalah sumber energi terbarukan yang umum digunakan untuk menghasilkan listrik bersih. PLTA memiliki dampak lingkungan yang relatif rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik konvensional, seperti pembangkit listrik tenaga batu bara.

Pembangkit listrik tenaga air adalah fasilitas yang menggunakan energi kinetik air, seperti aliran sungai atau air terjun, untuk menghasilkan listrik. Ada dua jenis utama pembangkit listrik tenaga air yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Air Pembangunan Besar (*Hydroelectric Power Plants*) dan Pembangkit Listrik Tenaga Air Mikro atau Mini (*Micro/ Mini Hydro Power Plants*).

4.4.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air Pembangunan Besar (*Hydroelectric Power Plants*)

Pembangkit Listrik Tenaga Air Pembangunan Besar (*Hydroelectric Power Plants*) biasanya dibangun di sungai besar atau waduk besar. Mereka memanfaatkan potensi energi kinetik air yang mengalir atau disimpan dalam waduk untuk memutar turbin yang menghasilkan listrik. Air yang dilepaskan dari reservoir mengalir melalui turbin, memutarinya, yang pada gilirannya mengaktifkan generator untuk menghasilkan listrik. Air dapat dilepaskan untuk memenuhi perubahan kebutuhan listrik atau kebutuhan lainnya, seperti pengendalian banjir, rekreasi, jalur ikan, dan kebutuhan lingkungan dan kualitas air lainnya (Energy Government, 2023). Salah satu contoh terkenal dari pembangkit ini adalah Bendungan Hoover di Amerika Serikat.

4.4.2 Pembangkit Listrik Tenaga Air Mikro atau Mini (*Micro/ Mini Hydro Power Plants*)

Pembangkit Listrik Tenaga Air Mikro atau Mini (*Micro/Mini Hydro Power Plants*) biasanya digunakan di lokasi yang lebih kecil dan lebih terpencil. Mereka memanfaatkan aliran sungai kecil atau air terjun untuk menghasilkan listrik dalam skala yang lebih kecil. Pangsa pembangkit listrik tenaga air di Indonesia hanya sebesar 10,2%, yang terdiri dari PLTA 9,9%, PLT Mini Hidro 0,2%, dan PLT Mikro Hidro 0,1%. Saat ini Indonesia memproduksi dari seluruh potensi pembangkit listrik tenaga air sebesar 75.000 MW, dalam negeri hanya 9% atau sebesar 13.741 GWh (International Hydropower Association, 2022).

Pembangkit ini sering digunakan untuk memasok listrik ke komunitas terpencil atau proyek-proyek pengembangan pedesaan. Pembangkit listrik mikrohidro dapat menghasilkan

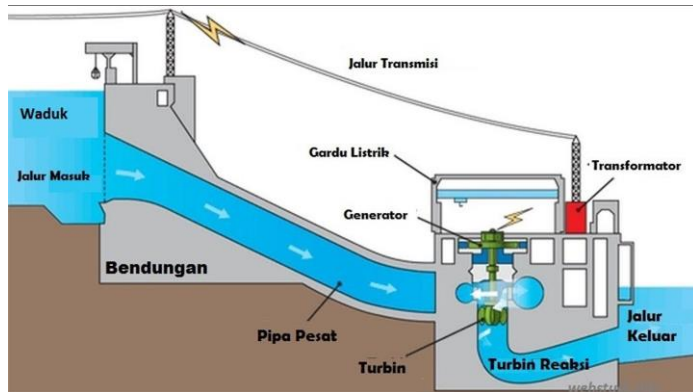
listrik 5 – 100 kW dan sebagian besar digunakan oleh rumah tangga. Perbedaan utamanya adalah perbedaan tinggi jatuhnya, kecepatan aliran air sebelum masuk ke generator. Salah satu contoh penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Air Mikro atau Mini terdapat di desa Kawindai Toi, Nusa Tenggara Barat. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral secara resmi memperkenalkan proyek pembangkit listrik tenaga mikro hidro senilai 6,4 miliar. Generator menghasilkan 100 kW dan mampu mendukung 150 rumah tangga dengan listrik (Ludwig, 2023).

Cara kerja dasar dari keduanya adalah sebagai berikut.

- a. Air mengalir atau turun dari ketinggian tertentu (gravitasi) dan mengenai turbin;
- b. Turbin berputar karena aliran air, menggerakkan generator listrik yang menghasilkan listrik; dan
- c. Listrik yang dihasilkan kemudian dapat didistribusikan ke rumah, bisnis, atau jaringan listrik (Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2021).

Pembangkit listrik tenaga air merupakan sumber energi bersih dan berkelanjutan karena tidak menghasilkan emisi karbon selama operasinya. Namun, pembangunan pembangkit besar seringkali melibatkan dampak lingkungan yang signifikan, seperti perubahan aliran sungai dan habitat alami. Oleh karena itu, perlu mempertimbangkan dampak ekologisnya dengan cermat saat merencanakan pembangkit tenaga air (Ludwig, 2023).

Proses pembangkit listrik tenaga air melibatkan serangkaian tahapan untuk mengubah energi kinetik air menjadi energi listrik, tampak seperti Gambar 8.4.2 berikut.



Gambar 4.4. Tahapan Proses Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

(Sumber: <https://www.youtube.com/watch?v=qqEqs rz5Y0>)

Berdasarkan gambar 4.4 di atas, berikut adalah proses kerja Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) (Rangkuti, 2023).

Pengumpulan Air: Air dari sungai, waduk, atau reservoir dikumpulkan dan diarahkan menuju saluran penyaluran yang akan mengarahkannya ke turbin. Waduk besar dapat digunakan untuk menyimpan air yang akan dilepaskan secara terkontrol.

Turbin: Air yang mengalir atau dilepaskan dari ketinggian tertentu mengenai turbin. Turbin ini berputar karena energi air yang mengenainya.

1. Rotor Generator: Gerakan turbin menggerakkan rotor generator yang terhubung ke turbin. Rotor generator adalah bagian yang menghasilkan listrik dalam bentuk arus bolak-balik (AC).
2. Generator: Rotor generator menghasilkan listrik melalui induksi elektromagnetik. Energi mekanik dari turbin diubah menjadi energi listrik.

3. Transformator: Listrik yang dihasilkan dari generator memiliki tegangan rendah. Ini kemudian diubah ke tegangan yang lebih tinggi oleh transformator untuk mengurangi kerugian selama transmisi.
4. Transmisi: Listrik yang dihasilkan dikirim melalui saluran transmisi jarak jauh ke stasiun listrik atau ke jaringan listrik yang lebih besar.
5. Distribusi: Di stasiun listrik atau sub-stasiun, tegangan listrik dikurangi kembali ke level yang lebih rendah untuk distribusi kepada konsumen, seperti rumah tangga, industri, dan bisnis.
6. Konsumen: Listrik yang dihasilkan digunakan oleh berbagai konsumen untuk keperluan penerangan, pemanasan, mesin, dan perangkat listrik lainnya.

Pembangkit listrik tenaga air memanfaatkan energi kinetik air yang bergerak dan energi potensial air yang jatuh dari ketinggian (energi potensial gravitasi) untuk menghasilkan listrik. Proses ini umumnya bersifat berkelanjutan, bersih, dan memiliki dampak emisi karbon yang rendah, yang menjadikannya sumber energi yang ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Sekolah Menengah Pertama. 2023. *Memahami Siklus Hidrologi: Proses Perpindahan Air di Bumi*. Direktorat Sekolah Menengah Pertama.
<https://ditsmp.kemdikbud.go.id/memahami-siklus-hidrologi-proses-perpindahan-air-di-bumi/>
- Donev, J. 2018. *Run of The River Hydroelectricity*. Energi Education.
https://energyeducation.ca/encyclopedia/Energy_Education>About_us
- EIA. 2023. *Hydropower Explained*. Energy Information Administration.
<https://www.eia.gov/energyexplained/hydropower/>
- Energy Government. 2023. *Types Hydropower Plants*. U.S. Department of Energy.
<https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-plants>
- Fitriyono, & Ramli. 2017. Perbedaan Hasil Belajar Geografi Antara Siswa yang Diajar dengan menggunakan Model Pembelajaran Kooperatif Tipe Jigsaw dengan Kooperatif Tipe Group Investigation pada Materi Hidrosfer Kelas X SMA Negeri 1 Mawangka Tengah. *Jurnal Penelitian Pendidikan Geografi*, 1(1), 1–16.
<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=http://ojs.uho.ac.id/index.php/ppg/article/download/2424/1791&ved=2ahUKEwjQ8OzA46KCAxXPe2wGHbmsA4w4HhAWegQIBRAB&usg=AOvVaw3WzhpzmRWgyJWiOjvh2EIG>
- Harris, M. 2021. *Siklus Hidrologi*. Gramedia.
<https://www.gramedia.com/literasi/siklus-hidrologi/>

- International Hydropower Association. 2022. *Region Profile East Asia and Pasific. International Hydropower Association.*
<https://www.hydropower.org/region-profiles/east-asia-and-pacific>
- Kalangi, S. J. R. 2013. Histofiologi Kulit. *Jurnal Biomedik (JBM)*, 5(3), 12–20.
<https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/biomedik/article/download/4344/3873>
- Ludwig, J. 2023. *Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*. Yayasan Rumah Energi.
<https://www.rumahenergi.org/en/2019/10/29/micro-hydro-power.html>
- Pressbooks. 2018. *Groundwater Flow*. Pressbooks.
<https://opentextbc.ca/geology/chapter/14-2-groundwater-flow/>
- Rahma, R. 2021. *Evaporasi*. Gramedia.
<https://www.gramedia.com/literasi/evaporasi-adalah/>
- Rangkuti, M. (2023, Januari 8). *Apa Itu Pembangkit Listrik Tenaga Air?* Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
<https://fatek.umsu.ac.id/2023/08/01/apa-itu-pembangkit-listrik-tenaga-air/>
- Rivantoro, F., & Arief, I. S. 2015. Studi Pemilihan Desain Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL) menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP). *Jurnal Teknik ITS*, 4(2), 114–118.
<https://ejurnal.its.ac.id/index.php/teknik/article/download/11582/2475>
- Sihaloho, J. 2022. Analisis Pengaruh Debit Air Terhadap Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Ptmh) Menggunakan 4 Buah Sudu. *Mechanical Engineering*.
<https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/17379>

- Stekom, U. 2023. *Pembangkit Listrik Tenaga Ombak*.
Ensiklopedia Dunia.
https://p2k.stekom.ac.id/ensiklopedia/Pembangkit_listrik_telnaga_ombak
- Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. 2021. *Apa dan Bagaimana PLTA dapat Bekerja?* Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. <https://mesin.umy.ac.id/apa-dan-bagaimana-plta-dapat-bekerja/#:~:telxt=Dalam%20suatu%20sistem%20PLTA%20C%20turbin,dapat%20diubah%20menjadi%20energi%20kinetik>

BAB 5

ENERGI DAN IKLIM

Oleh Fahmy Rinanda Saputri

5.1 Sumber Energi

Energi merujuk pada kemampuan untuk melakukan pekerjaan atau menyebabkan perubahan dalam suatu sistem. Dalam konteks fisika, energi diukur dalam berbagai bentuk dan dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya, tetapi jumlah total energi dalam suatu sistem biasanya tetap konstan sesuai dengan hukum kekekalan energi. Sumber-sumber energi dapat berasal dari alam atau hasil proses manusia. Sumber energi merupakan berbagai bentuk atau lokasi asal energi yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi berbagai kebutuhan manusia. Di seluruh dunia, terdapat beragam jenis sumber energi, masing-masing dengan karakteristik, kelebihan, dan kelemahan sendiri. Energi konvensional dan energi terbarukan merangkum dua pendekatan yang berbeda dalam memanfaatkan sumber daya alam untuk kebutuhan energi manusia (Indonesia, 2011).

Energi konvensional atau biasa disebut energi fosil sebagai kelompok pertama, berasal dari sumber daya alam yang terbatas tidak dapat diperbarui dengan cepat. Beberapa contoh utama termasuk minyak bumi, gas alam, dan batu bara. Minyak bumi digunakan sebagai bahan bakar untuk kendaraan, pembangkit listrik, dan industri kimia. Gas alam, yang diandalkan dalam pembangkit listrik, pemanasan, dan industri, memiliki kelemahan terkait emisi metana dan risiko kebocoran gas. Sementara itu, batu bara, yang sering digunakan dalam pembangkit listrik dan industri,

memiliki dampak serius terhadap lingkungan, termasuk emisi karbon dioksida dan pencemaran air dan udara.

Di sisi lain, energi terbarukan, sebagai kelompok kedua, berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui secara alami dan tidak habis. Energi terbarukan juga menawarkan alternatif yang lebih bersih dan berkelanjutan. Beberapa contoh termasuk tenaga surya, tenaga angin, tenaga air (hidroelektrik), biomassa, dan energi geotermal. Tenaga surya mengubah energi matahari menjadi listrik atau panas untuk berbagai aplikasi, sementara tenaga angin memanfaatkan gerakan angin untuk menghasilkan energi listrik melalui turbin angin. Tenaga air, atau hidroelektrik, memanfaatkan energi air yang menggerakkan turbin untuk menghasilkan listrik. Selain itu, biomassa menggunakan bahan organik seperti limbah tanaman atau sampah organik sebagai sumber energi, dan energi geotermal memanfaatkan panas bumi untuk pembangkit listrik atau pemanasan. Energi nuklir, melibatkan fusi nuklir dan fisi nuklir, digunakan dalam pembangkit listrik nuklir, sementara hidrogen menjadi semakin penting sebagai sumber energi alternatif melalui sel bahan bakar, baik untuk menghasilkan listrik maupun sebagai bahan bakar transportasi. Terakhir, tenaga ombak dan pasang surut memanfaatkan energi yang dihasilkan dari gerakan ombak laut atau perubahan pasang surut laut.

Kelebihan energi terbarukan meliputi kebersihan, ketidakberlanjutan emisi, dan sumber daya yang tak terbatas. Pergeseran dari energi konvensional ke energi terbarukan menjadi esensial dalam mengatasi dampak lingkungan negatif dan mengurangi ketergantungan pada sumber daya terbatas. Energi terbarukan menjanjikan solusi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan dalam memenuhi kebutuhan energi global.

5.2 Emisi Gas Rumah Kaca

Emisi gas rumah kaca (GRK) yang berasal dari sektor energi menjadi fokus utama pemahaman dalam rangka merinci dampak aktivitas manusia pada lingkungan. Pembakaran bahan bakar fosil, yang melibatkan minyak bumi, gas alam, dan batu bara, merupakan pemicu utama emisi karbon dioksida (CO_2) yang signifikan.

- **Minyak Bumi:** Minyak bumi digunakan secara luas sebagai bahan bakar dalam kendaraan bermotor dan sebagai sumber energi untuk pembangkit listrik. Proses pembakarannya menghasilkan emisi CO_2 yang terlibat langsung dalam meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Dengan tingginya ketergantungan global pada minyak bumi, pemahaman mendalam tentang dampaknya terhadap emisi GRK menjadi esensial.
- **Gas Alam:** Gas alam, meskipun dianggap sebagai bahan bakar yang lebih bersih dibandingkan batu bara dan minyak bumi, tetap menghasilkan emisi GRK. Proses pembakarannya menghasilkan CO_2 dan juga dapat menyebabkan emisi metana, gas rumah kaca yang lebih poten. Dalam konteks ini, pilihan sumber energi untuk pembangkit listrik dan pemanasan perlu dinilai dengan cermat untuk meminimalkan dampak pada lingkungan.
- **Batu Bara:** Pembakaran batu bara menghasilkan emisi CO_2 yang signifikan, serta dapat melepaskan partikel-partikel yang mencemari udara dan berkontribusi pada perubahan iklim. Meskipun ada upaya untuk mengurangi ketergantungan pada batu bara, pemahaman mendalam tentang dampak lingkungan dan alternatif yang tersedia penting untuk mencapai perubahan positif.

Energi terbarukan menjadi tonggak utama dalam perjuangan mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK), membawa kita ke arah solusi yang bersih dan berkelanjutan. Tenaga surya, misalnya, memanfaatkan sinar matahari menjadi listrik melalui sel surya,

diterapkan dalam skala rumah tangga hingga pembangkit listrik besar. Kelebihannya yang signifikan terletak pada sumber daya tak terbatas dari matahari, tanpa menghasilkan emisi selama operasionalnya, dan dapat diterapkan luas di berbagai konteks.

- Tenaga angin, dengan turbin anginnya yang mengubah gerakan angin menjadi energi listrik, menyebarkan pusat-pusat pembangkit listrik tenaga angin di daratan dan perairan. Kelebihannya tidak hanya pada aspek ramah lingkungan, tetapi juga pada potensinya sebagai sumber daya tak terbatas, dengan tambahan bahwa operasionalnya tidak menciptakan emisi gas rumah kaca.
- Hidroelektrik, yang memanfaatkan energi air untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan listrik, dapat menjadi sumber daya baseload yang andal dan besar. Dengan keunggulan tidak menghasilkan emisi selama operasional, hidroelektrik memiliki kapasitas untuk memberikan kontribusi signifikan dalam penyediaan energi bersih.
- Efisiensi energi, melalui peningkatan produksi dan inovasi dalam transportasi bersih, menjadi langkah kunci lainnya. Teknologi Combined Heat and Power (CHP), sebagai contoh, mengoptimalkan penggunaan panas sambil menghasilkan listrik. Peningkatan efisiensi dalam sektor transportasi, terutama dengan pengembangan kendaraan listrik, memberikan kontribusi positif dalam mengurangi emisi sektor tersebut.

Selain solusi utama, energi terbarukan juga melibatkan sumber daya seperti biomassa dan potensi energi laut dari ombak dan pasang surut. Pemanfaatan limbah organik atau tanaman sebagai sumber energi dalam biomassa tidak hanya mengurangi emisi tetapi juga memanfaatkan bahan yang sudah ada. Teknologi yang terus berkembang dalam energi ombak dan pasang surut menawarkan potensi tambahan dalam pemanfaatan sumber daya laut untuk menghasilkan listrik. Namun, transisi ke energi bersih tidak lepas dari sejumlah tantangan. Biaya awal yang masih menjadi hambatan,

terutama dalam investasi infrastruktur baru untuk mendukung penyimpanan energi terbarukan, menuntut perhatian lebih lanjut. Ketergantungan pada infrastruktur lama energi fosil dapat memperlambat langkah-langkah menuju energi bersih. Pengembangan teknologi terbarukan dan penyimpanan energi memerlukan investasi dan inovasi berkelanjutan untuk meningkatkan efisiensi dan menurunkan biaya. Kesadaran masyarakat tentang manfaat energi bersih perlu ditingkatkan melalui edukasi publik, sementara dukungan kebijakan pemerintah menjadi kunci dalam mendorong investasi dan penerapan energi bersih secara lebih luas.

5.3 Pengaruh Perubahan Iklim

Perubahan iklim, yang disebabkan oleh peningkatan emisi gas rumah kaca, memiliki dampak signifikan pada lingkungan global. Beberapa dampaknya mencakup perubahan suhu global, peningkatan intensitas cuaca ekstrem, naiknya permukaan air laut, dan implikasinya terhadap kehidupan manusia dan ekosistem.

Dampak Perubahan Iklim pada Produksi dan Distribusi Energi: Perubahan iklim, dengan kenaikan suhu global, perubahan pola cuaca, dan cuaca ekstrem, secara signifikan mempengaruhi produksi dan distribusi energi. Sumber daya alam seperti tenaga air, yang bergantung pada siklus air dan aliran sungai, menjadi lebih tidak terduga akibat perubahan iklim. Keberlanjutan produksi energi dari biomassa juga terancam oleh perubahan kondisi iklim yang memengaruhi tanaman dan sumber daya organik.

Peran Penting Sumber Daya Alam dalam sisi Energi Bersih: Tenaga air dan biomassa, sebagai komponen penting dalam portofolio energi bersih, menuntut strategi adaptasi yang cermat untuk mengatasi dampak perubahan iklim. Peningkatan suhu dapat mempengaruhi debit sungai, sedangkan pola hujan yang berubah dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman biomassa. Membangun

ketahanan sistem energi terhadap perubahan iklim menjadi krusial untuk memastikan keberlanjutan sumber daya alam tersebut.

Pentingnya Kerjasama Global dan Kebijakan Dukungan: Pentingnya kerjasama global dalam menghadapi tantangan emisi GRK. Kebijakan yang mendukung dan terintegrasi antar-negara menjadi hal yang penting untuk memastikan bahwa transisi menuju energi bersih tidak hanya terjadi di tingkat nasional, tetapi juga melibatkan partisipasi dan kontribusi aktif dari masyarakat internasional. Dengan demikian, halaman ini menekankan bahwa penyelesaian tantangan emisi GRK memerlukan kolaborasi yang kuat dan konsisten antara berbagai pihak.

Faktor-faktor utama yang mempengaruhi dan memperparah dampak perubahan iklim melibatkan sejumlah elemen kompleks.

1. Peningkatan Suhu Global:

- Faktor Pengaruh: Emisi gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan nitrous oksida (N_2O) dari aktivitas manusia, terutama pembakaran bahan bakar fosil dan deforestasi, menyebabkan peningkatan efek rumah kaca, mengakibatkan suhu global naik.
- Dampak: Perubahan suhu global menyebabkan pola cuaca yang tidak stabil, pencairan es di kutub, dan pergeseran ekosistem yang dapat memengaruhi distribusi spesies, musim tumbuh, dan ketersediaan air.

2. Peningkatan Intensitas Cuaca Ekstrem:

- Faktor Pengaruh: Peningkatan suhu permukaan laut dan perubahan pola atmosfer menyebabkan cuaca ekstrem seperti badai tropis, banjir, kekeringan, dan gelombang panas yang lebih sering dan intens.
- Dampak: Cuaca ekstrem dapat menyebabkan kerugian ekonomi, kerusakan infrastruktur, hilangnya mata pencaharian, dan risiko kesehatan masyarakat.

3. Naiknya Permukaan Air Laut:

- Faktor Pengaruh: Pemanasan global menyebabkan pencairan gletser dan es kutub, menyebabkan naiknya permukaan air laut.
- Dampak: Naiknya permukaan air laut mengancam pulau-pulau kecil, wilayah pesisir, dan ekosistem terestrial yang tergantung pada air tawar.

4. Dampak pada Kehidupan Manusia dan Ekosistem:

- Faktor Pengaruh: Perubahan iklim mempengaruhi sistem pertanian, distribusi tanaman dan hewan, dan ketersediaan sumber daya alam.
- Dampak: Kehilangan produktivitas pertanian, kelangkaan air bersih, dan ancaman terhadap keberlanjutan ekosistem mengancam keberlanjutan masyarakat dan kehidupan satwa liar.

5. Faktor-faktor Pendukung:

- Pertumbuhan Populasi: Peningkatan jumlah penduduk berkontribusi pada peningkatan aktivitas manusia yang mempercepat emisi gas rumah kaca.
- Perubahan dalam Pola Konsumsi: Perubahan gaya hidup dan pola konsumsi yang tidak berkelanjutan dapat memperparah dampak perubahan iklim.

5.4 Energi Bersih dan Berkelanjutan

Energi bersih merujuk pada sumber daya energi yang dihasilkan dengan dampak lingkungan minimal atau tanpa emisi gas rumah kaca yang signifikan. Sumber energi bersih mencakup teknologi dan metode yang lebih ramah lingkungan, membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang menyebabkan polusi dan perubahan iklim. Beberapa contoh energi

bersih meliputi tenaga surya, tenaga angin, hidroelektrik, biomassa, dan energi geotermal.

1. Tenaga Surya: Energi surya dihasilkan dengan mengonversi energi matahari menjadi listrik atau panas. Penggunaan panel surya pada atap bangunan atau pembangkit listrik surya besar membantu memanfaatkan sumber energi yang tidak hanya terbarukan tetapi juga bersih.
2. Tenaga Angin: Energi angin memanfaatkan gerakan angin untuk menghasilkan listrik melalui turbin angin. Pembangkit listrik tenaga angin telah menjadi komponen penting dalam diversifikasi portofolio energi bersih.
3. Hidroelektrik: Energi hidroelektrik menggunakan energi air yang menggerakkan turbin untuk menghasilkan listrik. Pembangkit listrik tenaga air, seperti bendungan, memberikan kontribusi signifikan pada penyediaan energi bersih dan terbarukan.
4. Biomassa: Energi biomassa diperoleh dari bahan organik seperti limbah tanaman, sampah organik, atau kayu. Proses pembakaran biomassa menghasilkan energi dan dapat dianggap bersih karena karbon yang dilepaskan selama pembakaran sebanding dengan karbon yang diambil oleh tanaman selama pertumbuhan mereka.
5. Energi Geotermal: Energi geotermal menggunakan panas bumi untuk menghasilkan listrik atau pemanasan. Ini merupakan sumber energi yang stabil dan dapat diandalkan tanpa emisi gas rumah kaca yang signifikan.

Energi Berkelanjutan: Energi berkelanjutan melibatkan konsep penggunaan sumber daya energi yang dapat dipertahankan dalam jangka panjang tanpa menguras sumber daya alam atau merusak ekosistem. Ini melibatkan pemanfaatan sumber daya alam yang dapat diperbarui dan siklus hidup yang berkelanjutan. Energi bersih sering kali dianggap sebagai bagian dari strategi energi

berkelanjutan karena sumber-sumber tersebut dapat diperbaharui secara terus-menerus.

Faktor-faktor Penting Energi Berkelanjutan:

- Efisiensi Energi: Peningkatan efisiensi dalam produksi, distribusi, dan konsumsi energi merupakan kunci untuk mencapai keberlanjutan.
- Diversifikasi Sumber Energi: Mengurangi ketergantungan pada satu sumber energi tertentu dengan menggabungkan berbagai sumber energi bersih dan terbarukan.
- Inovasi Teknologi: Pengembangan teknologi baru yang lebih efisien dan berkelanjutan membantu mencapai tujuan energi berkelanjutan.
- Kebijakan dan Regulasi: Implementasi kebijakan yang mendukung energi bersih dan berkelanjutan dapat membentuk lingkungan yang mendukung transisi ke sistem energi yang lebih berkelanjutan.

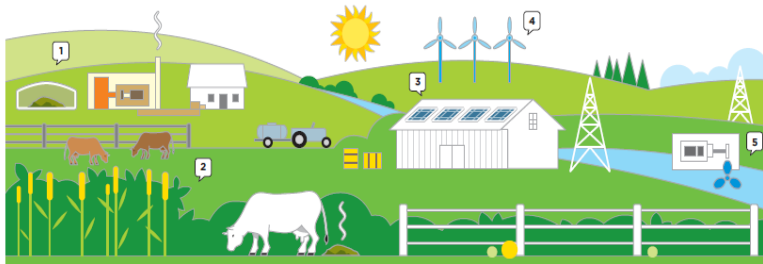
Manfaat Energi Terbarukan:

- Ketersediaan yang melimpah.
- Berkelanjutan dan tidak akan habis.
- Ramah lingkungan dengan rendah atau tanpa limbah dan polusi.
- Sumber energi dapat dimanfaatkan secara cuma-cuma dengan investasi teknologi yang sesuai.
- Memerlukan perawatan yang lebih sedikit dibandingkan dengan sumber energi konvensional, mengurangi biaya operasi.
- Mendorong perekonomian dan menciptakan peluang kerja.
- Mandiri secara energi, tidak perlu mengimpor bahan bakar fosil dari negara ketiga.

- Lebih ekonomis dalam jangka panjang dan bebas dari fluktuasi harga pasar terbuka bahan bakar fosil.
- Beberapa teknologi mudah digunakan di tempat-tempat terpencil.
- Distribusi energi bisa diproduksi di berbagai tempat, tidak tersentralisir.

Kerugian dari Energi Terbarukan:

- Biaya awal yang besar.
- Ketergantungan pada kondisi cuaca yang dapat memengaruhi keandalan pasokan.
- Volume energi terbarukan saat ini masih kurang dibandingkan dengan energi konvensional.
- Energi tambahan yang dihasilkan harus disimpan karena infrastruktur belum lengkap untuk segera digunakan.
- Kurangnya pengalaman dan tradisi dalam pengembangan teknologi energi terbarukan.
- Setiap jenis energi terbarukan memiliki kekurangan teknis dan sosial masing-masing.



1. Pembangkit Biomassa
2. Biomassa
3. Photovoltaik Tenaga Surya

4. Tenaga Angin
5. Tenaga Air

Gambar 5.1 Ilustrasi Energi Terbarukan
Sumber : (Indonesia, 2011)

5.5 Kebijakan Lingkungan dan Energi

Perubahan iklim merupakan tantangan global yang mendesak, mempengaruhi berbagai aspek kehidupan manusia di seluruh dunia. Indonesia, sebagai negara dengan keanekaragaman hayati dan populasi yang besar, tidak terhindar dari dampak perubahan iklim yang semakin jelas dan merugikan. Salah satu dampak yang sangat mencolok di Indonesia adalah peningkatan suhu rata-rata dan intensitas cuaca ekstrem, seperti banjir, kekeringan, dan peningkatan frekuensi serta keparahan badai tropis. Hal ini telah menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan, kerusakan infrastruktur, dan kehilangan nyawa manusia. Oleh karena itu, kebijakan lingkungan yang efektif dan berkelanjutan menjadi sangat penting untuk mengatasi masalah perubahan iklim di Indonesia. Upaya pemerintah dan pemangku kepentingan lainnya dalam menerapkan kebijakan lingkungan yang holistik dan terkoordinasi dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca, meningkatkan adaptasi terhadap perubahan iklim, dan mempromosikan pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan (Hayatulah et al., 2023).

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia mengatur kebijakan energi nasional melalui beberapa peraturan yang mencakup berbagai aspek sektor energi. Di bawah ini adalah beberapa peraturan yang relevan yang mencerminkan kebijakan energi nasional Indonesia:

1. Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) (PP No. 79, 2014):
 - KEN menjadi landasan kebijakan energi nasional Indonesia. Dokumen ini mencakup berbagai aspek kebijakan, termasuk sumber daya energi, keamanan energi, dan pemanfaatan energi terbarukan.
 - Menetapkan target energi terbarukan dalam bauran energi nasional, termasuk peningkatan kontribusi energi terbarukan dan efisiensi energi.

2. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 12 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Energi Terbarukan dalam Rangka Kelistrikan Umum:
 - Menetapkan mekanisme dan insentif untuk mendorong pengembangan proyek energi terbarukan dalam sektor kelistrikan.
 - Menyusun skema tarif untuk pembelian listrik dari produsen energi terbarukan.
3. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 50 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN):
 - Merupakan panduan untuk penyusunan kebijakan dan program pengembangan energi nasional.
 - Menetapkan strategi dan skenario pengembangan sumber daya energi, termasuk pemanfaatan energi terbarukan dan peningkatan efisiensi energi.
4. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 7 Tahun 2019 tentang Peningkatan Penggunaan Bahan Bakar Nabati untuk Bahan Bakar Minyak di Lingkungan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral:
 - Mengatur penggunaan bahan bakar nabati sebagai upaya untuk meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan di sektor transportasi dan industri minyak dan gas bumi.
5. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 19 Tahun 2020 tentang Energi Baru dan Terbarukan (EBT):
 - Merupakan panduan untuk pelaksanaan kebijakan energi baru dan terbarukan di Indonesia.
 - Menetapkan aturan terkait pemanfaatan sumber energi terbarukan, termasuk insentif dan ketentuan penjualan listrik dari pembangkit energi terbarukan.
6. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 11 Tahun 2021 tentang Pemanfaatan Gas Bumi Dalam Negeri:

- Mengatur kebijakan penggunaan gas bumi dalam negeri, termasuk pemanfaatan gas bumi untuk kepentingan domestik dan peningkatan penggunaan gas bumi sebagai bahan bakar alternatif.

Peraturan-peraturan tersebut mencerminkan upaya pemerintah Indonesia untuk mengembangkan sektor energi yang berkelanjutan, ramah lingkungan, dan efisien melalui pemanfaatan sumber daya energi terbarukan serta peningkatan efisiensi energi. Peraturan ini juga mencakup aspek-aspek lain seperti keamanan energi dan pengembangan infrastruktur energi.

5.6 Tindakan Mitigasi dan Adaptasi

Tindakan mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim merupakan dua pendekatan integral dalam menjawab tantangan lingkungan global yang diakibatkan oleh aktivitas manusia. Dalam upaya mitigasi, fokus utama adalah pada pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK), dengan langkah-langkah konkret seperti transisi ke energi bersih. Penggunaan sumber energi terbarukan seperti tenaga surya, tenaga angin, dan hidroelektrik menjadi kunci untuk menggantikan ketergantungan pada bahan bakar fosil, sumber energi yang memicu emisi GRK. Selain itu, peningkatan efisiensi dalam produksi, distribusi, dan konsumsi energi menjadi langkah esensial untuk mengurangi total emisi.

Di sisi lain, tindakan adaptasi dilakukan untuk mengatasi dan beradaptasi dengan dampak nyata perubahan iklim yang sudah terjadi. Pembangunan infrastruktur tahan iklim, seperti bangunan yang dapat menahan gempa dan banjir, serta sistem pengelolaan air dan irigasi yang efisien, menjadi kunci untuk menghadapi tantangan seperti perubahan pola hujan dan kekeringan. Adaptasi juga mencakup langkah-langkah seperti pertanian adaptif dengan mengubah pola tanam dan pengembangan varietas tanaman baru yang tahan terhadap perubahan iklim. Sistem peringatan dini dan evakuasi serta upaya peningkatan ketahanan masyarakat melalui

edukasi dan pelatihan menjadi elemen penting dalam menjawab bencana terkait iklim.

Melalui kombinasi tindakan mitigasi dan adaptasi, diharapkan dapat tercapai suatu keseimbangan yang mendukung ketahanan dan keberlanjutan jangka panjang. Upaya ini harus diperkuat dengan kolaborasi lintas sektor dan dukungan global untuk menghadapi perubahan iklim secara komprehensif. Masyarakat, pemerintah, dan sektor swasta perlu bersatu untuk menciptakan dunia yang lebih berkelanjutan, ramah lingkungan, dan dapat dihuni dengan aman oleh generasi mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Hayatulah, G. E., Mahasari, J., Ihsan, M., Bagus, M., Wicaksono, A., & Alhamda, S. (2023). MINISTRATE Kebijakan Lingkungan dalam Menanggapi Permasalahan Perubahan Iklim di Indonesia: Sebuah Tinjauan Integratif. *Jurnal Birokrasi & Pemerintahan Daerah*, 5(2), 266–276.
- Indonesia, C. E. (2011). *Buku Panduan Energi Yang Terbarukan*.
- PP No. 79. (2014). *PP No. 79 Thn 2014.pdf* (pp. 1–36).

BAB 6

IKLIM BUMI

Oleh Evi Sunarti Antu

6.1 Iklim

Iklim berasal dari bahasa Inggris dan memiliki asal kata dalam bahasa Yunani Kuno “iklima” yang mengindikasikan kecenderungan, umumnya dijelaskan sebagai kondisi keberlangsungan cuaca dalam jangka panjang. Iklim adalah hasil dari kebiasaan dan sifat cuaca yang berkembang di suatu wilayah tertentu untuk menentukan rata-rata iklim, digunakan periode 30 tahun sebagai referensi. Faktor-faktor seperti cuaca, lokasi geografis (seperti lintang, lereng, ketinggian, jarak perairan dan arus laut) mempengaruhi pembentukan iklim di suatu tempat. Setiap daerah memiliki karakteristik iklim yang unik, yang sangat dipengaruhi oleh posisi geografisnya. Perbedaan jenis iklim di dunia dipengaruhi oleh letak geografis atau garis lintang. Klimatologi adalah ilmu yang mempelajari pola iklim global dan menggali karakteristik cuaca seperti cuaca hujan, suhu, angin dan penguapan untuk memahami iklim lebih lanjut.

Sesuai dengan garis lintang, perbedaan iklim di permukaan Bumi dikategorikan dalam berbagai jenis yakni :

- a. iklim kutub,
- b. iklim sedang,
- c. iklim subtropis,
- d. iklim tropis,

e. iklim khatulistiwa

Berdasarkan kondisi geografis, iklim dikategorikan yaitu :

a. iklim benua,

b. iklim bahari,

c. iklim tundra,

d. iklim gunung.

Kondisi iklim sangat dipengaruhi oleh atmosfer, dalam kenyataannya dipengaruhi oleh faktor lingkungan utama seperti bentuk permukaan bumi, bentuk lahan, dan pengaturan pencampuran udara diberbagai lapisan atmosfer. Dalam proses ini, atmosfer memiliki peran sentral dalam membentuk cuaca, yang pada gilirannya menjadi salah satu faktor kunci dalam pembentukan iklim. Organisasi Meteorologi Dunia (WMO) memberikan penjelasan tentang konsep "iklim normal" sebagai "titik acuan" yang sering dipergunakan oleh para ahli iklim sebagai perbandingan perubahan iklim saat ini terhadap keadaan masa dulu yang menjadi acuan. Definisi iklim normal adalah rata-rata aritmatika dari elemen iklim, seperti suhu, selama periode 30 tahun. Pemilihan periode 30 tahun ini didasarkan pada pertimbangan bahwa itu adalah rentang waktu yang cukup panjang untuk menghilangkan variasi anomali antar tahun, tetapi juga cukup singkat untuk dapat memberikan gambaran yang baik tentang perubahan iklim yang lebih lama lagi jangka waktunya.

Perbedaan antara iklim dan cuaca dapat disederhanakan dengan pernyataan yang umumnya dikenal, yaitu "Iklim adalah sesuatu yang diharapkan, cuaca adalah sesuatu yang didapatkan." Selama sejarah, ada sejumlah variabel yang hampir konstan dan mempengaruhi iklim, termasuk lintang geografis, ketinggian, perbandingan daratan dan air, serta jarak antara laut dan pegunungan. Variabel-variabel ini berubah sangat lambat, seringkali dalam rentang jutaan tahun karena proses geologis seperti lempeng tektonik.

Namun, ada juga faktor-faktor penentu iklim yang lebih dinamis, seperti sirkulasi *termohalin* laut yang menyebabkan perbedaan suhu sekitar 5°C (9°F) di Samudra Atlantik Utara dibandingkan dengan daerah laut lainnya. Arus laut lainnya membagikan panas antara daratan dan air dalam skala regional. Kepadatan dan jenis tutupan vegetasi juga memengaruhi penyerapan panas matahari, retensi air, dan curah hujan ditingkat regional. Selain itu, perubahan dalam jumlah gas rumah kaca di atmosfer memengaruhi seberapa banyak energi matahari yang diserap pada planet bumi, yang pada gilirannya memberikan dampak terhadap pemanasan atau pendinginan global. Meskipun variabel yang memengaruhi iklim begitu beragam dan kompleks, namun ada kesepakatan umum yang menyatakan bahwa memerlukan pemahaman yang lebih dalam dalam penggunaan standarisasi variabel iklim tentang faktor-faktor yang memengaruhi perubahan iklim dalam sejarah.

6.1.1 Pembentukan Iklim

Iklim terbentuk dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk atmosfer, biosfer, hidrosfer, kriosfer, dan pedosfer. Atmosfer merupakan variabel yang utama dalam suatu wilayah untuk pembentukan iklim. Kondisi atmosfer dapat dengan cepat berubah karena dipengaruhi oleh faktor eksternal. Perubahan atmosfer dikarenakan pengaruh siklus pemanasan harian permukaan yang terjadi dalam skala regional dan global. Atmosfer juga memiliki hubungan yang erat dengan biosfer, yaitu lapisan atmosfer yang dihuni oleh makhluk hidup dan memiliki ketebalan sekitar 8 km. Aktivitas manusia dan jenis vegetasi mempengaruhi kondisi biosfer. Siklus Hidrologis serta albedo suatu daerah dipengaruhi oleh perubahan musimnya. Albedo adalah konstanta pemantulan sinar matahari oleh suatu permukaan, dan semakin tinggi albedo maka cahaya yang dipantulkan semakin banyak. Di sisi lain, aktivitas manusia seperti penebangan hutan secara liar dan urbanisasi dapat menyebabkan perubahan iklim dalam skala kecil hingga skala besar.

Pengaruh hidrosfer sangat signifikan terhadap temperatur iklim dalam rentang waktu bulan, tahun, atau bahkan abad. Pengaruh hidrosfer pada iklim terutama terkait dengan kondisi lautan. Sebagian besar radiasi matahari yang mencapai bumi diserap oleh lautan, yang selanjutnya menguapkan air ke atmosfer. Proses ini berperan penting dalam mengatur suhu dan kondisi iklim diberbagai wilayah. Sementara itu, kriosfer berperan dalam mengurangi pemanasan dipermukaan Bumi. Kriosfer terutama terletak di wilayah kutub, tetapi sebagian kecil juga dapat ditemukan di puncak pegunungan yang tinggi. Kriosfer ini terdiri dari lapisan salju dan es yang memainkan peran penting dalam mengontrol suhu dan iklim regional. Selain itu, pembentukan iklim dipengaruhi juga oleh pedosfer, meskipun pengaruh pedosfer hanya akan terasa pada waktu yang cukup lama. Pedosfer berada pada lapisan tanah diatas batuan dasar dan terletak disusunan kontinental. Perubahan dalam pedosfer dapat mengakibatkan perubahan suhu, khususnya suhu menjadi lebih dingin dikawasan kontinental.

6.1.2 Jenis Iklim

Berdasarkan letak geografis matahari, iklim di bumi dibagi menjadi empat jenis utama, yaitu iklim tropis, subtropis, sedang, dan dingin.

a. Iklim Tropis

Iklim tropis merupakan iklim pada suatu daerah yang letaknya diantara garis isotherm dibagian utara dan selatan Bumi, atau daerah yang ada di 23,5° LU dan 23,5° LS. Daerah yang memiliki iklim tropis dapat dikategorikan menjadi daerah tropis kering, yang mencakup stepa, savana kering, dan gurun pasir, serta daerah tropis lembab yang meliputi hutan hujan tropis, daerah- musim hujan, dan savana lembab. Indonesia memiliki iklim tropis basah atau daerah hangat lembab, dengan karakteristik sebagai berikut:

1. Memiliki musim yang terdiri dari musim hujan dan musim kemarau.
2. Relatif tinggi tingkat kelembaban udara, umumnya diatas 90%.
3. Curah hujan yang tinggi, dengan potensi curah hujan yang signifikan selama musim hujan.
4. Temperatur tahunan yang tinggi, dengan suhu rata-rata diatas 18°C. Pada musim kemarau, suhu dapat mencapai 38°C atau bahkan lebih tinggi.
5. Perbedaan antara musim kemarau dan musim hujan tidak terlalu drastis, kecuali saat terjadi peralihan dari musim hujan ke musim kemarau, dan biasanya disertai dengan perubahan cuaca drastis seperti hujan lebat dan angin yang cukup kencang.
6. Sepanjang tahun mendapatkan sinar matahari, dengan eksposur yang relatif konstan terhadap sinar matahari sepanjang tahun.

b. Iklim Subtropis

Iklim subtropis adalah iklim yang terjadi diwilayah utara dan selatan Bumi, terletak setelah wilayah beriklim tropis, dan berada diantara garis balik utara dan selatan. Karakteristik Iklim Subtropis adalah sebagai berikut:

1. Terletak digaris lintang antara 23,5° hingga 40° lintang utara dan selatan.
2. Merupakan daerah peralihan dari iklim tropis ke iklim sedang dengan batas yang tegas tidak dapat ditentukan.
3. Suhu dan kelembaban minimal, dengan rata-rata suhu pada musim dingin lebih dari -3°C dan kurang dari 18°C.
4. Suhu dan kelembaban maksimal, dengan rata-rata suhu pada musim panas lebih dari 30°C.

5. Terdapat keragaman dalam jenis vegetasi, mencakup hutan heterogen.
6. Terdapat empat musim yang terpisah secara jelas, yaitu musim semi, musim panas, musim gugur, dan musim dingin.
7. Terdapat daerah dengan ekosistem gurun yang dihuni oleh padang rumput.

c. Iklim Sedang

Iklim sedang atau biasa disebut iklim siklon biasanya ditemukan dibelahan utara Bumi atau diutara garis khatulistiwa. Di kawasan ini, udara dingin dari kutub bertemu dengan udara hangat. Akibatnya, hujan dan salju sering terjadi di wilayah-wilayah dengan iklim sedang yang beragam ini.

Beberapa negara yang mempunyai iklim sedang diantaranya yakni negara-negara Eropa diantaranya Spanyol, Inggris, Austria, Prancis, Polandia, Jerman, Spanyol, Austria, Polandia, Irlandia, Swiss, Ukraina, Amerika Serikat, Rumania, Jerman, dan banyak lainnya. Wilayah-wilayah ini letaknya di dalam kisaran lintang antara 40 derajat hingga 66,5 derajat LU dan LS. Ciri-ciri iklim sedang adalah:

1. Terletak diwilayah antara 40 derajat sampai 66,5 derajat LU dan LS.
2. Tekanan udara berfluktuasi atau berubah-ubah.
3. Terdapat banyak gerakan-gerakan udara siklonal.
4. Secara tiba-tiba badai sering terjadi.

d. Iklim Dingin

Iklim dingin terdapat dikedua kutub bumi, yaitu kutub utara dan kutub selatan. Pada kedua kutub ini, sepanjang tahun berlangsung musim dingin. Bahkan beberapa area memiliki suhu yang selalu berada dibawah 0°C atau mencapai titik beku. Dibeberapa wilayah memiliki salju dan es yang permanen,

sementara ditempat lain, lapisan tanah di bawah permukaan juga membeku. Ciri-ciri iklim dingin adalah sebagai berikut:

1. Berada pada wilayah diatas 66,5 derajat LU dan LS.
2. Pada musim dingin suhunya sangat ekstrem.
3. Suhu pada musim panas terasa sejuk dan tidak panas.
4. Terdiri dari berbagai macam iklim, termasuk iklim tundra dan iklim es.
5. Iklim tundra memiliki musim dingin yang berlangsung cukup lama, sementara musim panas yang sejuk berlangsung singkat.
6. Terdapat salju yang abadi disebabkan oleh suhu yang rendah.

6.2 Perubahan Iklim

Perubahan iklim merujuk pada jangka panjang perubahan dalam pola cuaca dan suhu. Pergeseran ini dapat secara alami terjadi, misalnya melalui variasi dalam siklus matahari. Perubahan iklim, secara umum, dikenali sebagai fenomena pemanasan global yang melibatkan meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca di lapisan atmosfer yang keberlangsungannya dalam jangka waktu tertentu. Penyebab perubahan iklim dan pemanasan global melibatkan sejumlah faktor yang berbeda dan memiliki dampak yang signifikan pada kehidupan manusia. Iklim terus mengalami perubahan alami karena hubungan antara komponennya dan faktor-faktor eksternal seperti variasi sinar matahari, erupsi vulkanik, serta pengaruh faktor-faktor yang dipengaruhi oleh aktivitas kita seperti perubahan lahan yang digunakan dan bahan bakar fosil yang digunakan.

Bahan bakar fosil yang digunakan menghasilkan emisi gas rumah kaca yang dapat menyelimuti Bumi, menangkap panas matahari dan menyebabkan peningkatan suhu. Beberapa contoh emisi gas rumah kaca yang berperan dalam perubahan iklim meliputi karbon dioksida dan metana. Gas-gas ini berasal dari aktivitas seperti penggunaan bensin pada mobil atau pembakaran batu bara untuk memanaskan bangunan. Pembukaan lahan dan deforestasi juga dapat melepaskan karbon dioksida ke atmosfer. Sumber utama emisi metana adalah tempat pembuangan sampah. Sektor-sektor seperti energi, industri, transportasi, bangunan, pertanian, dan tata guna lahan adalah penyumbang utama emisi gas rumah kaca ini.

Banyak orang menganggap perubahan iklim berarti terutama peningkatan suhu, tetapi kenaikan suhu hanya merupakan awal dari berubahnya iklim. Karena Bumi merupakan sebuah sistem yang saling terkait, perubahan disatu wilayah dapat memengaruhi wilayah lainnya. Perubahan iklim yang dampaknya kita bisa rasakan sekarang mencakup kekeringan parah, persediaan air semakin menipis, kebakaran sering terjadi, naiknya air permukaan laut, banjir, pencairan es kutub, badai yang lebih kuat, dan semakin sedikit keanekaragaman hayati. Perubahan iklim memiliki dampak yang signifikan pada kesehatan, kemampuan kita untuk bercocok tanam, perumahan, keselamatan, dan lapangan kerja. Beberapa individu dan komunitas lebih rentan terhadap dampak perubahan iklim, terutama mereka berada di negara pulau kecil dan negara berkembang lainnya. Contohnya, naiknya air permukaan laut dan intrusi air asin telah mencapai tingkat di mana semua komunitas harus dipindahkan, dan musim kering yang berkepanjangan meningkatkan risiko kelaparan bagi penduduk setempat.

6.2.1 Iklim Bumi Masa Lalu dan Saat Ini

Iklim Bumi masa lalu telah mengalami perubahan yang signifikan selama miliaran tahun. Perubahan iklim ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk perubahan atmosfer, perubahan orbit Bumi, aktivitas vulkanik, dan perubahan geologis. Berikut adalah beberapa periode penting dalam sejarah iklim Bumi:

1. Periode *Arkean* (4 miliar hingga 2,5 miliar tahun yang lalu): Pada awal sejarah Bumi, atmosfer terdiri dari gas seperti metana, karbon dioksida, dan uap air. Suhu permukaan sangat panas, dan tidak ada kehidupan kompleks.
2. Periode *Proterozoikum* (2,5 miliar hingga 541 juta tahun yang lalu): Selama periode ini, oksigen mulai muncul di atmosfer, yang mengarah pada perubahan besar dalam komposisi atmosfer dan pengembangan kehidupan laut yang lebih kompleks.
3. Periode *Paleozoikum* (541 juta hingga 252 juta tahun yang lalu): Ini adalah masa ketika kehidupan mulai berkembang di daratan dan atmosfer terus mengalami perubahan. Pada akhir periode ini, terjadi periode es besar yang dikenal sebagai zaman es Karbon-Permian.
4. Periode *Mesozoikum* (252 hingga 66 juta tahun yang lalu): Zaman Dinosaur adalah ciri khas periode ini. Iklim cenderung lebih hangat daripada sekarang, dan terdapat iklim tropis di banyak wilayah.
5. Periode *Kenozoikum* (66 juta tahun yang lalu hingga sekarang): Selama periode ini, Bumi telah mengalami berbagai perubahan iklim signifikan. Ini termasuk periode suhu tinggi seperti Eocene dan periode glasiasi yang menyebabkan penurunan permukaan laut dan pembentukan es kutub.
6. Perubahan Iklim Modern (Abad ke-19 hingga sekarang): Aktivitas manusia seperti penggunaan bahan bakar fosil, deforestasi, dan produksi industri

telah menyebabkan peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer, yang memicu pemanasan global dan perubahan iklim cepat.

Perubahan iklim selama masa lalu Bumi adalah bagian normal dari sejarah planet ini. Namun, apa yang membuat perubahan iklim saat ini berbeda adalah kecepatan perubahan dan kontribusi besar manusia terhadap perubahan tersebut. Hal ini menjadi tantangan besar yang dihadapi manusia dalam mengatasi dampak perubahan iklim global saat ini.

Saat ini karena aktivitas manusia, bumi mengalami perubahan iklim yang signifikan. Peningkatan emisi gas rumah kaca, seperti karbon dioksida (CO₂) dan metana (CH₄), telah menjadi penyebab dalam meningkatnya suhu rata-rata global (pemanasan global). Perubahan iklim saat ini memengaruhi cuaca, suhu, pola hujan, dan kejadian cuaca ekstrem diseluruh dunia. Ini dikenal sebagai periode *Antroposen* atau zaman manusia, di mana manusia memainkan peran besar dalam mengubah iklim bumi. Perubahan iklim saat ini memberikan dampak diantaranya :

1. Pemanasan Global

Salah satu ciri paling mencolok adalah pemanasan global. Suhu rata-rata dipermukaan Bumi meningkat selama beberapa dekade terakhir. Aktivitas manusia, terutama bahan bakar fosil yang digunakan seperti batu bara, minyak, dan gas alam, telah meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Hal ini akan meningkatkan suhu global yang berdampak pada perubahan cuaca dan pola iklim.

2. Perubahan Pola Cuaca

Pola cuaca dunia mengalami perubahan yang signifikan. Terdapat lonjakan dalam cuaca ekstrem seperti badai tropis yang lebih kuat, banjir, kekeringan, dan perubahan pola hujan. Perubahan ini dapat memiliki dampak serius pada pertanian, sumber daya air, dan kehidupan manusia.

3. Peningkatan Kenaikan Permukaan Laut

Akibat pemanasan global, es di kutub Bumi mencair dan menyebabkan peningkatan permukaan laut. Ini mengancam pesisir dan pulau-pulau rendah, serta berbagai ekosistem pesisir.

4. Perubahan Ekosistem

Perubahan iklim juga mempengaruhi ekosistem diseluruh dunia. Hewan dan tumbuhan harus beradaptasi terhadap perubahan suhu dan lingkungan, dan beberapa spesies dapat terancam punah.

5. Acara Ekstrem dan Bencana Alam

Kondisi iklim saat ini sering kali terkait dengan acara ekstrem seperti badai tropis, kebakaran hutan yang meluas, dan gelombang panas yang ekstrem. Semua ini dapat memiliki dampak besar pada ekonomi, infrastruktur, dan kesehatan manusia.

6. Upaya Mitigasi dan Adaptasi

Di seluruh dunia, banyak negara dan organisasi telah berusaha mengurangi peningkatan emisi gas rumah kaca melalui mitigasi. Selain itu, upaya adaptasi juga penting untuk menghadapi dampak perubahan iklim yang sudah tidak dapat dihindari.

Kondisi iklim saat ini merupakan tantangan global yang kompleks dan memerlukan tindakan kolaboratif untuk mengurangi dampaknya dan menghadapinya. Banyak ilmuwan, pemerintah, dan organisasi sedang bekerja sama untuk memahami, meramalkan, dan mengatasi perubahan iklim global ini demi kesejahteraan masa depan Bumi.

6.2.2 Perubahan Iklim Bumi Masa Depan

El Nino merupakan sebuah fenomena cuaca yang terjadi karena kenaikan suhu muka laut di Samudera Pasifik bagian tengah dan timur. Yang akibatnya potensi pertumbuhan awan bergeser dari wilayah Indonesia ke wilayah Samudra Pasifik Tengah dan Timur. Meskipun di Indonesia El Nino baru saja dimulai, suhu rata-rata global telah mencapai tingkat tertinggi yang pernah tercatat. Pada awal Juni 2023, suhu rata-rata global telah melebihi batas kritis pemanasan global sebesar 1,5 derajat Celsius lebih panas dari era pra-industri, sesuai dengan target Perjanjian Paris 2015.

Masa depan iklim bumi sangat bergantung pada tindakan yang diambil oleh manusia untuk bisa mengurangi penggunaan bahan/alat yang memicu peningkatan emisi gas rumah kaca dan memitigasi dampak perubahan iklim. Jika tindakan yang efektif tidak diambil, kita mungkin menghadapi lebih banyak perubahan iklim yang signifikan, seperti meningkatnya suhu global lebih lanjut, naiknya permukaan laut, dan lebih banyak cuaca ekstrem. Namun, jika tindakan mitigasi diambil dengan serius, kita dapat berusaha untuk mengurangi dampak perubahan iklim masa depan.

6.3 Upaya Mengatasi Perubahan Iklim

Manusia bisa membantu membatasi pemanasan global. Kita bisa menjaga bumi kita dengan membuat pilihan yang lebih baik. Dengan tindakan kita dapat mempengaruhi perubahan yang positif. Meskipun penanggulangan perubahan iklim ditingkat global adalah tantangan yang cukup besar, namun ada banyak perlakuan kecil dan mudah yang dapat dilakukan oleh individu dan banyak orang untuk menciptakan Bumi yang lebih baik. Ketergantungan kita pada batu bara, minyak, dan gas untuk pasokan listrik dan panas masih sangat tinggi. Kebanyakan pada kendaraan, termasuk pesawat terbang dan mobil yang masih menggunakan bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama. Upaya untuk mengurangi jejak karbon dapat dimulai

dengan menghemat energi di rumah. Sebuah langkah yang positif adalah beralih ke penyedia energi terbarukan seperti angin atau matahari. Beberapa upaya yang bisa kita lakukan untuk mengatasi perubahan iklim :

1. Transportasi

Sektor transportasi, yang dominannya mobil, bus, truk dan sepeda motor, merupakan penyumbang emisi gas rumah kaca terbesar di dunia, terutama di negara maju. Menyadari hal ini, langkah awal yang baik untuk mengurangi jejak karbon yakni dengan mengurangi frekuensi pemakaian mobil pribadi. Kita bisa menggunakan alternatif lain seperti menggunakan kendaraan umum jika perjalanannya cukup jauh. Untuk perjalanan yang relatif pendek, kita bisa memilih menempuh dengan berjalan kaki atau bersepeda.

2. Pola Makanan berbasis tanaman

Pola makan berbasis tanaman dapat mengurangi emisi sekitar 0,8 ton CO₂ setiap tahun. Jika seluruh penduduk dunia mengadopsi pola makan berasal dari tanaman, mengganti beberapa pilihan makanan dengan yang memiliki jejak karbon lebih rendah merupakan salah satu cara untuk mengurangi emisi yang berasal dari pola makan Anda. Misalnya, produk hewani seperti susu memiliki dampak lingkungan yang lebih besar daripada alternatif nabati. Emisi yang dihasilkan berbeda karena berasal dari jenis protein yang berbeda.

Perubahan kecil dalam pola makan dan cara memasak, seperti memasak dengan mempertimbangkan kelompok makanan atau mengurangi produk hewani yang harus diangkut dari jarak jauh, dapat menghasilkan pengurangan emisi yang signifikan, seperti yang telah diteliti oleh Future Planet. Cara lain untuk mengurangi emisi secara signifikan adalah dengan mengurangi limbah makanan, yang jumlahnya semakin meningkat yakni mencapai 900 juta ton

per tahun, setara dengan 23 juta muatan truk besar per tahun.

3. Mengurangi Penggunaan AC (*air conditioner*)

AC (*Air Conditioning*) merupakan salah satu penyumbang besar terhadap perubahan iklim. Pada musim panas, mengurangi penggunaan pendingin ruangan (AC) dapat membantu mengurangi biaya dan emisi karbon. Permintaan AC meningkat seiring dengan peningkatan suhu global, dan diperkirakan pada tahun 2050, jumlah unit AC akan tumbuh lebih dari tiga kali lipat secara global. Dalam AC terdapat zat pendingin berupa gas rumah kaca yang kuat dan mengonsumsi listrik dalam jumlah besar. Ada berbagai cara untuk menjaga bangunan nyaman tanpa pemanasan global. Diantaranya dengan membuat bukaan yang lebih pada hunian, menanam pohon penyejuk di sekitar hunian serta menggunakan bahan konstruksi yang tidak menyerap panas pada bangunan sehingga akan tercipta kenyamanan *thermal* pada hunian.

4. Penggunaan energi terbarukan

Energi Terbarukan adalah sumber energi yang berasal dari sumber daya alam yang dapat terus diperbaharui secara alami. Sumber daya alam ini diperbaharui oleh alam dalam skala waktu manusia sehingga energi ini bersifat tak terbatas dan dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan. Energi Terbarukan berperan penting dalam mengatasi masalah iklim dan lingkungan dengan mengurangi ketergantungan pada energi konvensional atau bahan bakar fosil. Energi Air, Energi Matahari, Biomassa, Gelombang Laut, dan Panas Bumi adalah beberapa contoh sumber energi terbarukan yang sudah mulai dimanfaatkan.

Beberapa contoh energi terbarukan yang dimanfaatkan :

1. Air

Energi yang dihasilkan air bisa dimanfaatkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), dengan memanfaatkan energi potensial dan kinetik dari air untuk menghasilkan energi listrik, yang dikenal sebagai hidroelektrik. Proses konversi energi air ini relatif sederhana, yaitu dengan memasang kincir air didaerah aliran air yang memiliki arus kuat. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan jumlah energi yang dihasilkan. Gerakan kincir air ini menghasilkan energi kinetik yang selanjutnya digunakan untuk memutar generator, di mana energi listrik dihasilkan.

2. Matahari

Energi matahari adalah energi yang berasal dari sinar matahari. Sinar matahari tidak hanya mendukung fotosintesis tumbuhan, tetapi juga memiliki peran penting dalam kehidupan manusia. Energi matahari berguna sebagai salah satu alternatif sumber listrik. Untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik, diperlukan panel surya sebagai perantara yang menyerap sinar matahari dan mengkonversinya menjadi energi listrik. Listrik ini kemudian dialirkan ke *inverter* yang berfungsi mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) yang dapat digunakan untuk mengoperasikan berbagai peralatan yang membutuhkan listrik sebagai sumber energi

3. Angin

Angin adalah aliran udara dari area ber tekanan udara tinggi ke area ber tekanan udara rendah. Dengan karakteristik ini, angin dapat dijadikan sebagai sumber energi dengan menggunakan kincir angin. Gerakan putaran kincir angin ini selanjutnya digunakan untuk

menggerakkan generator yang menghasilkan energi listrik.

4. Bio Energi

Bioenergi merupakan sumber energi yang berasal dari makhluk hidup atau material organik, seperti kayu, rumput, kotoran hewan, limbah pertanian, dan limbah rumah tangga yang juga dikenal sebagai biomassa. Material-material ini dapat digunakan sebagai sumber energi, baik melalui proses langsung maupun melalui serangkaian proses. Contoh material organik yang dapat digunakan secara langsung adalah kayu, contohnya kayu bakar menghasilkan energi panas yang digunakan untuk memasak atau memanaskan sesuatu. Sementara kotoran hewan, limbah rumah tangga, dan limbah pertanian biasanya memerlukan proses tertentu untuk menghasilkan energi. Produk dari bio energi antara lain yakni berupa bioetanol, biodiesel, biogas, bioavtur.

DAFTAR PUSTAKA

- Anisa (2016) 'Iklim Tropis : Pengertian, Ciri-ciri, dan Persebarannya'. Available at: <http://ilmugeografi.com/ilmu-bumi/iklim/pengertian-ciri-ciri-dan-daerah-sebaran-iklim-tropis>.
- Ariffin (2019) 'Metode Klasifikasi Iklim di Indonesia'. Malang: UB Press.
- Gunawan, D., dan K. (2013) *Gas Rumah Kaca dan Perubahan Iklim di Indonesia*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan, Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika.
- Handoyo A (2021) 'Perubahan Iklim, Dampak dan Penanggulangannya'. Jakarta: PT.Perca.
- Mongabay. Akhyari Hananto (2018) 'Melihat Pertumbuhan Emisi Global Sejak 1850 dan Perkembangan Usaha Penurunannya.' Available at: <https://www.mongabay.co.id/2018/04/10/melihat-pertumbuhan-emisi-global-sejak-1850-dan-perkembangan-usaha-penurunannya/>.
- Sucahyono S., D., dan Ribudiyanto, K. (2013) 'Cuaca dan Iklim Ekstrem di Indonesia'. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.
- Tirto. Febriansyah (2019) 'Penyebab Perubahan Iklim, Fakta dan Solusinya'. Available at: <https://tirto.id/penyebab-perubahan-iklim-fakta-dan-solusinyaemYU>.

BAB 7

EFISIENSI ENERGI, KONSERVASI DAN SUMBER PERUBAHANNYA

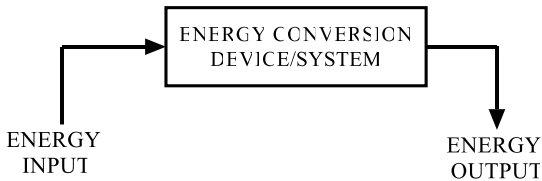
Oleh Romi Djafar

Sub bagian tentang efisiensi energi, konservasi, dan sumber perubahan energi adalah topik penting dalam konteks keberlanjutan energi dan perlindungan lingkungan. Ini mencakup berbagai ide yang dapat membantu mengurangi konsumsi energi, meminimalisir efek buruk ke lingkungan, dan mengembangkan sumber energi dan perubahannya. Sub bab masing-masing disajikan sebagai berikut.

7.1 Definisi Efisiensi Energi

Definisi lain kata manajemen energi yaitu, konservasi energi, penghematan energi dan efisiensi energi adalah terminologi untuk menerapkan praktek manajemen, konservasi, dan penerapan hemat energi. Sebab semua kegiatan akan fokus mengarah pada “efisiensi energi”. Konsep Efisiensi Energi yaitu mengarahkan dalam pemanfaatan energi yang lebih hemat dalam pemenuhan kebutuhan energi yang lebih baik dengan melibatkan teknik dan praktik untuk mengurangi pemborosan energi. Manfaat efisiensi Energi berguna untuk mengurangi biaya energi, mengurangi efek gas-gas rumah kaca, serta meminimalisir ketergantungan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui.

Dalam bidang *engineering* kata efisiensi dihitung sebagai persentase dari masukan yang diperlukan untuk menjalankan proses atau mesin. Dengan kata lain, membandingkan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan pekerjaan dengan jumlah energi yang hilang atau terbang ke lingkungan. Sebuah mesin dikatakan lebih efisien ketika menghasilkan sedikit energi yang terbang ke lingkungan (Sustainable Energy Strategy, 1995).



Gambar 7.1 Skema Peralatan Konversi Energi
(Sustainable Energy Strategy, 1995)

Pengertian efisiensi energi yaitu perbandingan antara yang dihasilkan (*output*) dengan energi yang diberikan (*input*) di kali seratus persen yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$EE = \frac{\text{Energi yang berguna (output)}}{\text{Energi yang di berikan (Input)}} \times 100\%$$

Misalnya energi dihasilkan (*output*) yang berguna antara lain nilai kilogram (kg) produk maka efisiensi energinya dapat ditulis menjadi kg/satuan energi (kg/kW). Dengan kata lain laba secara ekonomis (rupiah) maka efisiensi energi dapat

ditulis menjadi Rp/kW atau Istilah fleksibel di lapangan dapat ditulis sebagai berikut:

$$EE = \frac{\text{Manfaat bersih}}{\text{Input Energi}}$$

Pertumbuhan ekonomi, kenyamanan hidup, risiko kesehatan, dan dampak lingkungan adalah beberapa contoh manfaat bersih (net benefit).

7.2 Operasional Efisiensi Energi

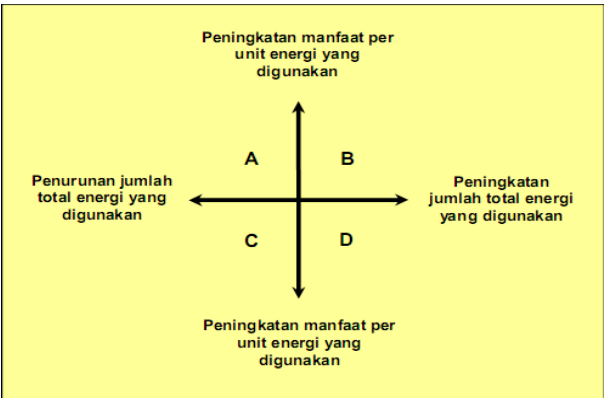
Definisi tentang efisiensi energi lebih jelas tetapi tidak memberikan informasi penting. Misalnya tingkat perkembangan total konsumsi energi dari suatu bangsa menunjukkan efisiensi energi; namun, itu tidak menunjukkan efisiensi aktivitas ekonomi secara operasional. Jadi, bidang ekonomi dan perusahaan khususnya akan lebih bermanfaat untuk memakai parameter efisiensi energi atau disebut intensitas energi yang didefinisikan perbandingan jumlah energi yang diperlukan (konsumsi) per satuan angka atau nilai penambahan yang didapatkan, seperti yang ditunjukkan di bawah ini:

$$IE = \frac{\text{Sektoral energi konsumsi}}{\text{Nilai tambah output}}$$

Kebutuhan per unit satuan luas gedung untuk energi listrik yang dikonsumsi (kWh/m²), akumulasi penggunaan energi per satuan kendaraan dalam setahun (J/kendaraan/tahun), adalah beberapa contoh satuan intensitas energi.

7.2.1 Kuadran Efisiensi Energi

Kuadran efisiensi energi (Ghurri, 2016) dapat membantu menjelaskan efisiensi, konservasi, dan penghematan energi.



Gambar 7.2 Kuadran Efisiensi Energi (Ghurri, 2016)

Energi yang dikonsumsi setiap satuan unit energi dengan mengabaikan aspek apakah semua jumlah energi yang dibutuhkan meningkat atau menurun. Jadi, ada dua cara untuk meningkatkan efisiensi energi: Dengan meningkatkan jumlah energi yang digunakan, untuk mendapatkan peningkatan keuntungan per unit energi. Seperti pemasangan *air conditioner* (AC), maka untuk meningkatkan manfaat per unit energi dengan meminimalisir penggunaan energi seperti instalasi isolasi untuk mereduksi panas pada alat atau oven, misalnya, mengurangi jumlah kalor yang digunakan dan terbuang ke lingkungan dengan mencegah panas keluar dari oven

tersebut. Dimana bidang A dan B menunjukkan bahwa pada bidang A yang menunjukkan tingkat penghematan energi. Oleh karena itu, penghematan energi tidak selalu diperoleh dari perbaikan efisiensi energi. Sedangkan konservasi energi mencakup semua tindakan yang terdapat pada bidang/kuadran A dan C adalah bagian yang menunjukkan penurunan konsumsi energi, seperti. Dalam kasus ini, efisiensi energi dapat ditingkatkan melalui konservasi energi jika peningkatan manfaat bersih per unit energi yang dikonsumsi dapat diperoleh dari penghematan energi seperti ditunjukkan pada kuadran A. Namun, terkadang penurunan efisiensi energi dapat diakibatkan oleh konservasi energi. Kuadran C menunjukkan penurunan drastis dalam tingkat produksi dan pelayanan, selain penurunan konsumsi energi. Area yang dihindari adalah kuadran D. Atau secara sederhana dapat ditulis menjadi:

Penghematan energi	= Kuadran A
Konservasi energi	= Kuadran A & C
Efisiensi energi	= Kuadran A & B

7.3 Manfaat Efisiensi Energi

Beberapa peluang yang memberikan informasi terkait penerapan efisiensi energi: (i) Secara keseluruhan untuk aktivitas di dunia kerja dan industri manufaktur (ii) Penggunaan alat-alat atau teknologi yang hemat energi

a Mengurangi biaya energi

Salah satu energi yang sangat vital digunakan manusia untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari adalah energi listrik. Aktivitas sehari-hari yang membutuhkan energi seperti lampu penerangan, Televisi, kulkas dan lainnya adalah contoh pekerjaan yang membutuhkan energi.

Penghematan energi dapat dicapai melalui beberapa langkah (DJEBTKE 2021) sebagai berikut.

1. Sistem pengkondisian udara
2. Sistem pencahayaan
3. Peralatan produksi
4. Alat penunjang lainnya
5. Alat-alat utama yang menggunakan energi

b. Mengurangi emisi gas rumah kaca

Capture and Storage of Carbon Dioxide (CCS) dan diversifikasi energi adalah beberapa metode yang dapat digunakan untuk mereduksi polusi yang diakibatkan gas-gas rumah kaca (Mohamad Sidik Boedoyo, 2008). Langkah-langkah pengurangan pencemaran tersebut dapat diuraikan secara sektoral melalui penerapan teknologi.

1) Konservasi

Penghematan atau konservasi energi dapat dicapai melalui penerapan alat-alat yang efektif dan lebih efisien dengan mengaplikasikan manajemen energi.

2) Diversifikasi energi

Peralihan bahan bakar dengan jenis energi lain atau diversifikasi energi bertujuan untuk mereduksi penggunaan bahan bakar yang berkarbon tinggi dengan bahan bakar memiliki kadar karbon yang lebih relatif sedikit atau sama sekali zero karbon.

3) Teknologi penyimpanan karbon dioksida (CCS) adalah suatu teknologi untuk mengambil CO₂ dan menyimpannya dilapisan dibawah bumi. Pada umumnya teknologi penyimpanan karbon dioksida

(CCS) memiliki empat bagian yaitu penangkap karbon dioksida (*capture*), injeksi, dan geologi reservoir.

c. Langkah Pengurangan Emisi CO₂ Sektoral

Berbagai sektor yang dapat dilakukan yang dapat mengurangi Emisi CO₂ adalah

1. Sektor Transportasi

Pada industri transportasi, dapat menawarkan berbagai strategi untuk mengurangi emisi CO₂. Salah satunya adalah menambah *turbo charger* mesin diesel yang dapat meningkatkan efisiensi sebesar 15% penggunaan bahan bakar.

2. Mengganti lampu penerangan yang hemat energi seperti lampu neon memberi pengaruh signifikan dalam efisiensi energi.

- a) Mengganti minyak tanah dengan gas kota atau LPG akan meningkatkan efisiensi kompor atau tungku memasak dari 15% menjadi 22%.
- b) Pemanfaatan energi terbarukan (EBT) sebagai sumber energi listrik seperti listrik dari energi matahari (PLTS), energi air (PLTMH), dan energi angin (PLTB) semuanya dapat digunakan dengan tingkat efisiensi 30%. Bahkan efisiensinya dapat ditingkatkan hingga 45% dengan mengoperasikan Pembangkit Listrik Tenaga Gas Dan Uap (PLTGU) dengan pemanasan awal pembangkit Uap melalui pemanfaatan panas buang dari gas turbin.

d. Mengurangi ketergantungan energi dari bahan bakar fosil.

Beberapa dekade mendatang, kita harus menurunkan ketergantungan sumber daya alam yang tidak diperbaharui seperti minyak bumi, gas (LNG atau CNG) dan batu bara. Pada tahun 2005 Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM) merilis data (*blueprint*) tentang pengelolaan energi nasional antara 2005–2025 menunjukkan pada tahun 2004 bahwa tingkat ketersediaan sumber daya alam Indonesia diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 18 tahun. Perbandingan produksi dan cadangan minyak bumi serta batubara habis dalam kurun waktu 61 tahun.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah nomor 10 tahun 1989 yang direvisi menjadi Peraturan Pemerintah nomor 3 tahun 2005, tentang penyediaan pemanfaatan tenaga listrik secara optimal yaitu energi primer berbasis potensi lokal melalui penggunaan sumber energi baru terbarukan (EBT). Salah satu upaya peralihan bahan bakar lain (diversifikasi) melalui penggunaan EBT untuk suplai energi listrik kebutuhan sehari-hari.

Beberapa tahun sebelumnya para ahli atau peneliti mulai berperan aktif mengembangkan energi alternatif dari sumber yang dapat diperbaharui seperti seperti air, angin, biomassa, matahari, geothermal, dan lain-lain guna meminimalisir ketergantungan penggunaan bahan bakar fosil guna mendukung substitusi BBM (Imam Kholiq, 2015).

7.4 Konservasi Energi

Menurut Undang-undang Energi Nomor 30 Tahun 2007 definisi konservasi energi yaitu sebuah usaha menghemat energi yang terencana, sistematis, terukur dan terorganisasi untuk meningkatkan efektivitas penggunaan sumber daya energi dan menjaga penyebaran sumber energi (Data Informasi Konservasi Energi 2020 dan Peraturan Daerah Jawa Tengah nomor 3 tahun 2016) “Setiap tahap penyelenggaraan energi melibatkan konservasi energi”.

7.4.1 Konservasi dalam Penyediaan Energi

Penyediaan energi (*energy supply*) dalam kehidupan modern sangat erat kaitannya jumlah dan kualitas energi untuk kesejahteraan hidup manusia. setiap negara selalu memperhatikan masalah ini pada masa depan. Penyediaan energi sangat penting untuk mendorong pembangunan negara yang sedang berkembang seperti Indonesia. Penggunaan energi terus meningkat seiring meningkatnya berbagai sektor misalnya jumlah populasi dan sektor ekonomi. Energi untuk kebutuhan nasional diperoleh dari produksi dalam negeri berupa impor barang. Produksi dalam negeri akan bergantung pada infrastruktur serta teknologi yang digunakan. Pembangunan Infrastruktur mencakup konversi energi seperti industri kilang minyak dan gas, unit pembangkitan energi listrik, pelabuhan, dermaga, jalan darat dan perlintasan kereta api.

Semua usaha yang terlibat dalam penyediaan energi harus melakukan konservasi energi. Implementasi penyediaan energi dengan tiga cara sebagai berikut.

- a) strategi yang berfokus memanfaatkan peralatan hemat energi
- b) Pilih metode seperti bahan, peralatan, sarana dan proses yang dapat menghemat energi baik langsung ataupun tidak secara langsung.
- c) pengoperasian sistem peralatan menggunakan energi dengan baik.

7.4.2 Konservasi dalam Pengusahaan Energi

Implementasi pengusahaan energi dengan cara:

- a) Salah satu kewajiban pengusahaan energi adalah melakukan konservasi energi oleh badan usaha.

- b) Konservasi energi dicapai melalui penggunaan teknologi yang efisien dan memenuhi persyaratan peraturan perundang-undangan seperti perusahaan energi sebagaimana disebutkan pada ayat (a).

7.4.3 Konservasi dalam Pemanfaatan Energi

Implementasi perusahaan energi dengan cara:

- a) Pengguna sumber energi harus memanfaatkan energi secara efektif.
- b) Pengguna sumber energi harus mampu manajemen energi dalam jumlah yang besar sekitar 6000 ton minyak per tahun.
- c) Menurut ayat (b), pengelolaan energi dilakukan melalui:
 - 1) Menunjuk manajer energi
 - 2) Merancang program konservasi energi,
 - 3) Melakukan audit rutin, mengikuti saran audit,
 - 4) Dan setiap tahun hasilnya dilaporkan kepada kepala daerah.

7.4.4 Konservasi dalam Pemanfaatan Energi

Implementasi perusahaan energi dengan cara:

- 1) Kebijakan konservasi energi daerah ditetapkan oleh gubernur.
- 2) Konservasi sumber daya energi sebagaimana disebutkan dalam ayat (1) adalah kebijakan yang mencakup, tetapi tidak dibatasi pada:
 - a) Prioritas jumlah sumber daya energi yang disediakan.

- b) Sumber daya energi yang tidak dapat disediakan dalam waktu tertentu perlu dibatasi.

7.5 Konservasi Energi

7.5.1 Pengertian Energi

Apakah energi itu? diantaranya energi diperlukan menggerakkan kendaraan, menghidupkan perangkat komputer, menjadikan ruangan mejadi hangat dan dingin. Dalam contoh lain tingkat perkembangan tanaman membutuhkan energi bersumber dari matahari. Orang menggunakan asupan makanan sebagai energi untuk melakukan pekerjaan fisik dan spiritual. Energi diperlukan untuk semua hal, termasuk berjalan, berolahraga, bernyanyi, bekerja, belajar, berpikir, dan bahkan tidur.

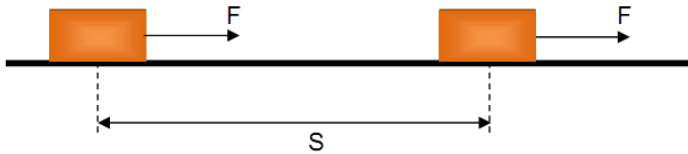
Mahluk hidup terdiri dari manusia, hewan, tumbuhan, selalu membutuhkan energi dari berbagai makanan dan minuman yang mereka konsumsi. Dalam bidang *engineering* mesin mobil dapat menghasilkan energi bersumber dari bahan bakar seperti bensin, listrik surya, atau mungkin sumber lainnya. Kemudian mobil dapat melakukan fungsinya untuk bergerak sebagai dampak pembakaran bahan bakar yang terjadi diruang bakar.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa energi suatu sistem akan meningkat ketika usaha terjadi padanya, dan sebaliknya akan menurun ketika energi dilakukan padanya. Jadi, usaha adalah perpindahan energi. Jadi, sangat tepat jika satuan usaha, atau joule (J), sama dengan satuan energi. Sebagai contoh, untuk memindahkan benda diperlukan energi sebesar 200 J maka diperlukan usaha 200 J terjadi pada benda tersebut. (Kandi dan winduono, 2012). Dan energi benda tersebut akan meningkat setiap kali usaha dilakukan padanya. Hubungan

ini dapat dinotasikan menjadi $W = \Delta E$ berarti W usaha dan ΔE berarti perubahan energi.

7.5.2 Definisi Kerja atau Usaha

Sebagai contoh pada kehidupan sehari-hari, kerja atau usaha adalah upaya nyata mencapai suatu tujuan yang dilakukan dengan sungguh-sungguh. Dalam fisika kerja didefinisikan hasil perkalian antara gaya (F) dan jarak perpindahan (S) pada benda.



Gambar 7.3 Arah Gaya Searah dengan Perpindahan Benda
(Kandi dan winduono, 2012)

Benda bergerak pada arah gaya F sejauh S . Arah perpindahan benda searah dengan gaya yang bekerja pada benda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.3. Dampak gaya terjadi sebesar F , maka terjadi perpindahan sejauh S dari benda tersebut. Untuk menghitung besarnya kerja dapat ditulis sebagai berikut:

$$W = F \cdot S$$

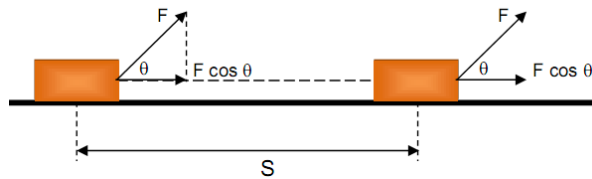
Keterangan:

W : kerja atau usaha (joule)

F : gaya (newton)

S : jarak perpindahan (meter)

Gaya yang bekerja memindahkan benda sejauh S sebagai komponen F ke arah mendatar yang berpindah sejauh S . Jika arah gaya yang terjadi pada benda memiliki sudut ke arah perpindahannya yaitu $F \cos \theta$ seperti pada gambar 7.4



Gambar 7.4 Benda Ditarik Menggunakan Gaya Membentuk Sudut Tertentu

(Kandi dan winduono, 2012)

Secara matematis menentukan besarnya kerja atau usaha pada benda yang membentuk sudut sebagai berikut.

$$W = F \cos \theta . S$$

keterangan :

W : kerja atau usaha (joule)

$F \cos \theta$: gaya efektif (newton)

S : jarak perpindahan (meter)

7.5.3 Bentuk –Bentuk Perubahan Energi

Suatu benda dapat menghasilkan energi dalam berbagai bentuk seperti energi kinetik, potensial, panas, mekanik, listrik, nuklir dan energi kimia.

➤ Energi Kinetik

Ketika melihat seseorang sedang berlari maka setiap detik posisinya berubah; pergeseran tempat ini menunjukkan energi. Dengan demikian, energi kinetik adalah energi terdapat pada suatu benda yang bergerak dengan persamaan umum dapat ditulis:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

Keterangan:

E_k: energi kinetik (joule)

m : masa benda (kg)

v : kecepatan benda m/s

➤ Energi Potensial

Berbagai bentuk energi potensial seperti potensial gravitasi, pegas, energi potensial listrik. Sebagai contoh menunjukkan seorang pesulap melemparkan bola. Di asumsikan bola dan gaya-gaya bekerja pada bola tersebut adalah suatu sistem maka bola memiliki energi kinetik karena gaya yang digunakan oleh pesulap. De ngan demikian saat bola meninggalkan tangan pesulap terjadi gaya gravitasi.



Gambar 7.5 Pemain Sirkus yang Bermain Bola
(Kandi dan Winduono, 2012)

Pada saat bola dilemparkan lagi ke tangan pesulap (gambar 7.5) terjadi perubahan energi potensial energi kinetik secara konstan saat bola dilepaskan dan balik lagi ke pesulap. Jika disumsikan bumi dan bola adalah suatu sistem maka terjadi antara bumi dan bola gaya tarik gravitasi . Saat benda mulai gerak dari bumi maka terjadi interaksi gravitasi antara benda dan Bumi yang dikenal sebagai energi potensial gravitasi (E_p). Dalam situasi di mana benda bergerak jauh dari Bumi memiliki gravitasi yang dikenal energi potensial gravitasi.

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

Keterangan

m : massa benda (kg)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

h : ketinggian benda (m)

a. Energi Potensial Elastis

Amati bagaimana pemanah menarik tali busur seperti ditunjukkan pada Gambar 7.5 membuatnya lebih kuat. Misalkan bumi, anak panah, tali busur, dimiliki oleh sebuah sistem. Terjadi peningkatan energi kinetik dan potensial ketika dilepaskan tali busur dan anak busur. Sehingga saat tali busur meregang terdapat energi yang dikenal “energi potensial elastis”.



Gambar 7.6 Pemanah Menarik Busur Panah

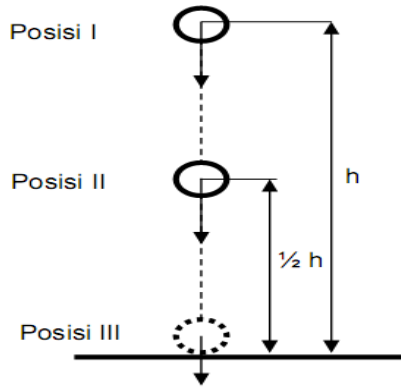
(Kandi dan Winduono, 2012)

Jadi energi potensial elastis terdapat pada tali busur sebelum dilepaskan. Dan terjadi perpindahan energi kinetik ke anak panah setelah dilepaskan.

➤ Energi mekanik

Energi potensial gravitasi dan energi kinetik akan terjadi pada benda yang jatuh bebas. Hasil penjumlahan kedua energi tersebut disebut energi mekanik. Berdasarkan hukum kekekalan energi yaitu setiap perubahan posisi, jumlah energi mekanik suatu benda tetap konstan. Ini berarti bahwa energi potensial benda minimal ketika energi kinetiknya maksimal, dan energi

potensialnya minimal ketika energi kinetik benda maksimal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar



Gambar 7.7 Posisi benda yang Jatuh Secara Bebas

Maka disimpulkan bahwa energi kinetik dan potensial gravitasi memiliki perubahan energi yang konstan ketika benda tersebut dijatuhkan secara bebas.

➤ Energi Termal

Suatu atom maupun molekul dan membentuk zat memiliki Jumlah energi kinetik serta potensial disebut energi termal. Menurut teori kinetik molekul benda panas maka terjadi perpindahan energi jika disentuh dengan benda yang memiliki suhu lebih rendah.

➤ Energi Listrik

a. Definisi energi potensial listrik

Energi potensial listrik merupakan suatu istilah yang dimiliki benda yang bermuatan listrik dapat ditulis menjadi:

$$E_p = q \cdot V$$

Keterangan:

q : muatan listrik (coulomb)

v : potensial listrik (volt)

E_p : energi potensial listrik (joule)

b. Energi Listrik

Saat menghantarkan arus listrik dalam suatu konduktor sedangkan baterai menghasilkan energi kinetik dari energi kimia.

c. Perubahan Energi Listrik

Energi listrik di ubah menjadi cahaya adalah salah satu bentuk energi yang sangat vital digunakan oleh manusia. Contoh lain seperti menghasilkan kalor, bunyi, kinetik, dan energi kimia. Alat listrik diperlukan untuk mengubah energi listrik menjadi berbagai bentuk energi lainnya.

a) Contoh arus listrik menjadi sumber cahaya

Lampu tabung dan lampu pijar merupakan alat listrik dapat menghasilkan panas dan cahaya yang bersumber dari energi listrik. Pada lampu pijar, memiliki filamen berbentuk spiral yang berasal dari kawat tungsten ukuran halus. Dan filamen ini dapat terbakar dengan mudah. Gas argon dan nitrogen dengan tekanan rendah diinjeksikan ke dalam bola kaca, berfungsi sebagai penyerap sumber panas berasal dari filamen yang menyala pada lampu, menyebabkan filamen tetap aman.

b) Perubahan Energi Listrik Menjadi Kalor

Alat-alat seperti solder, setrika, pengering rambut dan kompor listrik memiliki elemen *heater* (pemanas) berasal dari material penghantar listrik dengan masa jenis lebih besar menyebabkan energi listrik dapat diubah menjadi energi panas (kalor). Suhu elemen akan naik dan menghasilkan energi kalor ketika dialiri arus listrik.

➤ Energi Kimia

Istilah lain energi kimia yaitu energi yang tersimpan secara kimiawi. Energi berasal dari makanan yang dikonsumsi merupakan energi kimia yang berguna bagi kesehatan tubuh sehingga memungkinkan untuk beraktivitas. Minyak bumi adalah contoh bahan bakar yang sangat berguna dari energi kimia ini. Energi kimia dapat diperoleh dari energi matahari dari minyak bumi dan makanan. Energi kimia yang dihasilkan bersumber dari sinar matahari diperlukan untuk proses pernapasan tumbuh-tumbuhan. Tumbuhan jadi sumber energi yang dikonsumsi manusia dan hewan agar tetap bertahan hidup. Energi kimia berasal dari tumbuhan dan hewan menjadi minyak bumi yang sudah hancur milyaran tahun yang lalu. Hasil minyak bumi membantu kendaraan, alat pabrik, dan kegiatan memasak.

DAFTAR PUSTAKA

- Sustainable Energy Strategy, 1995. efficiency of energy conversion
- Inul Ghurri Ph.D, 2016. Konsep Manajemen ekonomi
- Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (DJEBTKE), Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) dan United Nations Development Programme 2021. Pedoman Investasi efisiensi energi.
- Mohamad Sidik Boedoyo, 2008. Penerapan Teknologi Untuk Mengurangi Gas Rumah Kaca
- Imam Kholiq, 2015. Pemanfaatan energi alternatif sebagai energi terbarukan untuk mendukung substitusi BBM. Jurnal IPTEK Vol.19 No. 2, Desember 2015
- Direktorat Konservasi Energi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2020. DATA & informasi konservasi energi
- Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah nomor 3 tahun 2016 tentang Pengelolaan Energi Di Provinsi Jawa Tengah.
- Energi Dan perubahannya, 2012. Diterbitkan oleh Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA) untuk Program BERMUTU.

BAB 8

PENYIMPANAN DAN KONSERVASI ENERGI

Oleh Yunita Djamalu

8.1 Latar Belakang

Untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, energi adalah kemampuan untuk melakukan pekerjaan atau usaha. Meskipun energi tidak dapat dilihat, manfaatnya dapat dirasakan saat menjemur pakaian atau mengeringkan hasil pertanian. Meskipun energi sebenarnya tersedia secara luas di alam, perlu ditransfer agar dapat digunakan sesuai dengan keinginan dan kebutuhan manusia. Dibutuhkan sistem penyimpanan untuk memaksimalkan penyediaan energi, tetapi ini selalu menjadi tantangan bagi sistem energi terbarukan. Untuk melestarikan sumber daya energi dan meningkatkan efisiensi pemanfaatannya, dilakukan beberapa tahapan pengelolaan energi konservasi, termasuk penyediaan, pengusahaan, pemanfaatan, dan konservasi. Untuk menghindari segala tantangan global energi bersih, pembangunan berkelanjutan dan perubahan iklim, kemajuan teknologi energi sangatlah diperlukan.

8.2 Teori Energi

Energi adalah kuantitas yang terkait dengan perubahan atau proses. kuantitas ini sering dikaitkan dengan perpindahan gaya atau perubahan suhu, dimana diperoleh satu joule (perpindahan gaya sebesar 1 Newton pada jarak 1 meter) dan kalor jenis (energi yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu sebesar 1° per satuan massa bahan). Jumlah bahan bakar atau konsumsi listrik sering kali dikaitkan dengan jumlah energi yang diperlukan untuk kebutuhan nyata. Energi dalam adalah jumlah energi yang terkandung dalam setiap zat. Selama proses, zat dapat menyimpan energi dari lingkungannya atau melepaskan sebagian energi dalamnya melalui proses pembakaran. Berbagai proses perhitungan harus dilakukan untuk melakukan analisis energi suatu sistem, yang melibatkan sejumlah besar energi dan material. Akibatnya, penting untuk memahami berbagai macam satuan yang selalu digunakan untuk menunjukkan jumlah atau besaran.(Ikhsan, 2016)

Berapa besaran yang dapat digunakan untuk menunjukkan jumlah material adalah sebagai berikut:

1. Massa, satuannya kilogram, libra, ton, dan seterusnya;
2. Volume, satuannya liter, m^3 , galon, dan seterusnya; dan
3. Energi, dengan satuan yang digunakan untuk menyatakan besaran. BTU, ft, joule, lb, kWh, dan seterusnya adalah satuan energi listrik, dan Ft dan lbf adalah satuan energi termal yang paling umum digunakan.

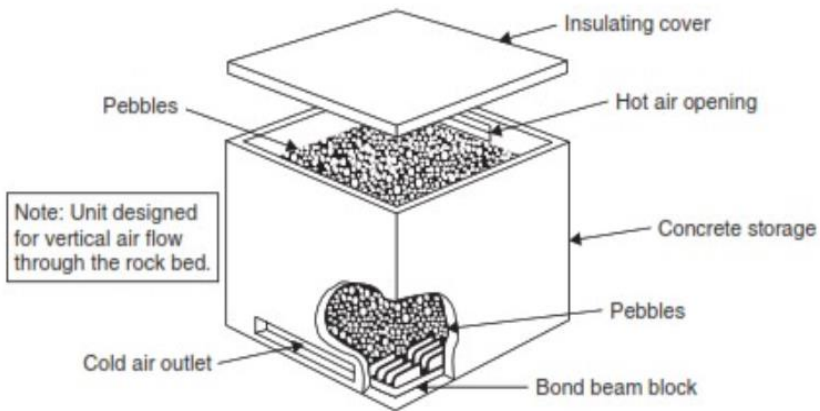
Energi listrik adalah salah satu cara yang paling sederhana, ekonomis dan aman untuk mentransfer energi. Pembangkit listrik menghasilkan listrik dari sumber energi primer diantaranya gas alam, batubara, minyak fosil, tenaga air, panas bumi, dan energi nuklir. Energi mekanik yang dihasilkan poros turbin diubah menjadi energi listrik tiga fasa menggunakan generator sinkron. Energi listrik ini dikirim melalui saluran transmisi bertegangan tinggi melalui trafo step-up, hal ini dilakukan karena saluran transmisi bertegangan tinggi harus

memiliki tegangan yang lebih tinggi untuk mengurangi jumlah arus yang mengalir melewatinya. Akibatnya, saluran transmisi bertegangan tinggi mengalirkan arus lebih sedikit, yang berarti heat loss menjadi sebesar I^2R . Transformator penurunan tegangan, juga dikenal sebagai trafo step-down, mengembalikan tegangan menjadi tegangan menengah ketika saluran transmisi mencapai pusat beban. Energi listrik ini diubah kembali menjadi energi yang terpakai lainnya, seperti energi mekanik, penerangan, dan lain-lain, pada pusat beban yang dihubungkan oleh jalur distribusi. (Wonorahardjo S, 2017)

8.3 Penyimpanan Energi

Semua jenis energi, termasuk energi potensial atau energi termal, dapat disimpan dalam bentuk alat yang disebut akumulator. Macam penyimpanan energi adalah:

- a. Penyimpanan energi listrik
- b. Penyimpanan energi mekanik
- c. Penyimpanan energi kimia
- d. Penyimpanan energi nuklir
- e. Penyimpanan energi thermal



Gambar 8.1 Sistem Penyimpan Panas Energi Surya
(Sumber: Soteris A Kalogirou, 2013)

Penyimpanan termal adalah salah satu komponen utama dari pemanas, pendingin dan pembangkit listrik tenaga surya. Penyimpanan panas dibutuhkan jika panel surya bekerja terus menerus.(Soteris A Kalogirou, 2013)

➤ Sejarah

Penyimpanan energi adalah proses alami yang sudah ada sejak awal penciptaan bumi. Pada awal penciptaan alam semesta, energi tersimpan di berbagai medium seperti bintang. Saat ini, Manusia memanfaatkannya secara langsung melalui pemanasan surya atau melalui budidaya pertanian. Penyimpanan energi telah digunakan sejak zaman prasejarah dan memungkinkan manusia untuk menyeimbangkan kebutuhan akan energi dan ketersediaan energi. Namun, penyimpanan energi tidak selalu dianggap sebagai aktivitas yang jelas. Salah satu contohnya adalah penggunaan batang kayu dan batu-batu besar untuk pertahanan melawan musuh; batang kayu berupa balok

tersebut digulingkan dari bukit untuk menyerang musuh yang diserang.

Saat ini, penyimpanan energi memiliki banyak aplikasi, seperti mengontrol jalan air untuk mengoperasikan mesin giling untuk menggerakkan mesin atau memproses hasil panen. Air disimpan sebagai sumber energi potensial melalui sistem bendungan dan reservoir yang kompleks. Dengan bantuan keunggulan geografis, beberapa tempat dapat menyimpan banyak reservoir air untuk digunakan ketika tidak dibutuhkan, dan saat terjadinya beban puncak pada listrik, dapat dilepaskan menjadi energi listrik. Pada akhir tahun 1800-an, pemurnian bahan bakar kimia seperti minyak tanah, bensin, dan gas alam dan penyebaran energi listrik menjadi penting untuk pembangunan ekonomi. (Kalogirou, 2014).

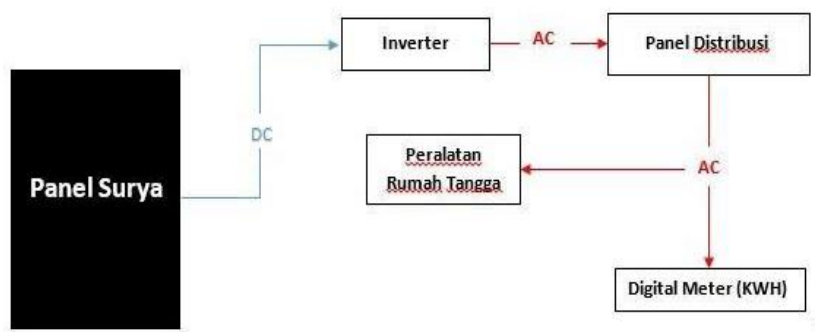
Tidak seperti bahan organik penyimpanan energi seperti batu bara atau kayu, listrik segera digunakan setelah dibuat, meskipun listrik sering tidak dapat disimpan dalam jumlah besar, teknologi sistem penyimpanan energi seperti NiMH dan baterai Lithium ion segera mengubah hal ini. Baterai ini dapat menyimpan energi listrik dan digunakan untuk mobil listrik, motor listrik dan sepeda listrik saat ini, karena sumber energi tidak selalu dapat diandalkan dan optimal dalam penggunaannya karena berbagai macam faktor maka penyimpanan energi sangatlah penting. Ketika di malam hari atau cuaca berawan, cahaya matahari tidak dapat dimanfaatkan sepenuhnya, angin tidak selalu bertiup untuk menggerakkan turbin, bahkan pembangkit listrik tenaga air modern menghadapi risiko kekeringan. Baterai menyimpan energi untuk kelistrikan, solar water heter menyimpan panas untuk sistem pengering, dan lain sebagainya.

Meskipun bahan bakar kimia sebagian sulit untuk diproduksi kembali dari pembentukannya, bahan tersebut menjadi media yang selalu digunakan untuk menyimpan energi dalam transportasi, pembangkit listrik dan lain sebagainya. Gas alam, batu bara, solar, bensin, propana, LPG, etanol, butana, hidrogen dan biodiesel adalah bahan bakar kimia yang paling umum digunakan. Mesin kalor, seperti mesin pembakaran dalam atau turbin dengan boiler, dapat dengan cepat mengubah bahan bakar ini menjadi energi mekanis dan listrik. Hampir semua pembangkit listrik di seluruh dunia menggunakan generator listrik jenis ini. Alat elektrokimia seperti baterai juga dibuat. Namun, ketika penerbangan luar angkasa berawak, yang membutuhkan sumber listrik non termal untuk wahana antariksa, fuel cell tidak berkembang dengan baik karena berbagai alasan. Karena peningkatan permintaan untuk sumber energi non-hidrokarbon, pengembangan fuel cell telah meningkat. Salah satu bentuk penggunaan energi saat ini adalah hidrokarbon cair. Namun, saat dipergunakan menggerakkan mesin pada mobil, kereta, truk, pesawat terbang, kapal dan lain sebagainya, bahan bakar ini menghasilkan gas rumah kaca. Sebagai tanggapan terhadap ancaman emisi gas rumah kaca, energi yang non karbon seperti halnya hidrogen atau bahan bakar dengan emisi rendah seperti biodiesel dan etanol. (Kalogirou, 2014).

➤ Jaringan penyimpanan energi

Jaringan distribusi penyimpanan energi memainkan peran penting dalam menyeimbangkan permintaan energi dan suplai dengan mengirimkan kelebihan energi yang dihasilkan oleh penghasil energi ke lokasi penyimpanan, yang kemudian dapat digunakan untuk memenuhi

permintaan yang meningkat. Gambar 2 adalah contoh untuk skema kerja panel Surya dalam mendistribusikan listrik.



Gambar 8.2 Skema Kerja Panel Surya
(Sumber: Ismiatun N, 2020)

Panel surya mengubah radiasi matahari menjadi listrik arus searah/DC, yang kemudian diubah oleh inventaris menjadi arus bolak-balik/AC untuk digunakan di rumah. Saat produksi panel surya meningkat, jumlah kWh Meter Exim yang lebih besar dapat diekspor ke jaringan listrik.(Pratiwi, et al, 2020). Pada mesin pembakaran internal atau baterai bahan bakar dapat menggunakan hidrogen, yang merubah energi kimia menjadi energi listrik tanpa melakukan pembakaran sedangkan untuk menggantikan hidrokarbon, dapat digunakan berbagai jenis biofuel, seperti biomassa, bahan bakar alkohol, biodiesel.

Tabel 8.1 Metode Penyimpanan Energi

1.	Biologis	Pati
2	Glikogen kimia	Bioful, Hidrogen
3	Elektrokimia	Fuel cell, Baterai aliran, baterai
4	Elektrik	Superkapasitor, superkonduktor, kapasitor
5	Termal	Pinyimpan es, garam cair, nitrogen cair, kolam matahari, penyimpan energi termal musiman, lokomotif tanpa api, akumulator

6	Mekanis	Penyimpanan energi udara terkompresi, penyimpanan energi flywheel, penyimpanan energi hidroelektrik, pegas, akumulator hidrolik, oksihidrogen
7	Penghematan energi	

(Sumber: Muhamad, 2016)

Boran ketika dibakar, hanya menghasilkan boron oksida, sehingga tidak menghasilkan emisi, tetapi boron dikatakan lebih baik dari pada hidrogen karena mudah menyala dengan sedikit api. Silikon dikatakan dapat digunakan sebagai bahan bakar. Silikon murni dapat dengan mudah terbakar secara spontan di udara, mewakili sekitar 75% massa kerak bumi. Seng juga diusulkan sebagai sumber energi kimia dengan bantuan cahaya matahari, reaksi seng oksida dan karbon bebas (seperti biomassa) akan menghasilkan ZnO dan karbon monoksida dengan energi 84 kkal per mol, dan penyimpanan mekanis terjadi ketika memompa air hingga tingkat tertentu yang kemudian dilepaskan menjadi energi listrik saat diperlukan.(Pratiwi, Nugraha and Sunarno, 2020).

Banyak sumber energi terbarukan yang melimpah tidak dapat selalu digunakan dengan lebih optimal akan tetapi perlu dikonversi, seperti energi angin, energi panas matahari, energi air, energi panas bumi, energi nuklir dan lain sebagainya. Akan tetapi sumber energi tersebut dapat disimpan dan dipergunakan untuk pendingin, pengering buatan, jaringan transmisi listrik atau digunakan untuk mengisi jaringan sistem listrik saat diperlukan. Energi ini dapat menjadi andalan jika biaya dan pendistribusiannya dapat diatur untuk mengurangi kehilangan energi.

Saat ini, meskipun energi matahari tidak dapat digunakan sepanjang hari, telah dibuat satelit yang dapat mengumpulkan dan mengirimkan energi matahari ke bumi melalui berbagai cara. Ini memungkinkan penggunaan energi matahari untuk jangka waktu yang lebih lama dan jumlah yang lebih besar. Ini karena jumlah energi yang diterima di bumi tidak sebesar jumlah energi yang diambil dari matahari di luar angkasa. Penyimpanan energi panas diantaranya pada pengering buatan dengan konveksi alami ataupun konveksi paksa pada pengering efek rumah kaca, surya kolektor dan lain sebagainya dimana penyimpan panas ini sangat dibutuhkan saat pengeringan berlangsung sore hari, disaat mendung atau tiba-tiba hujan.

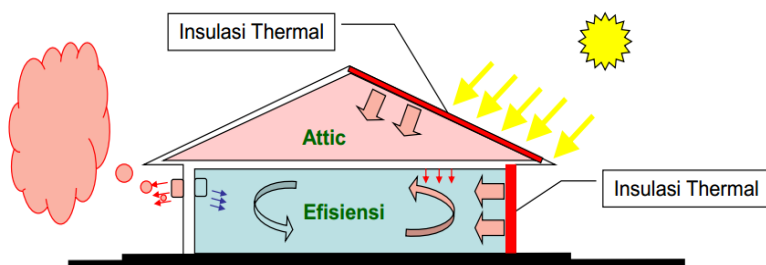
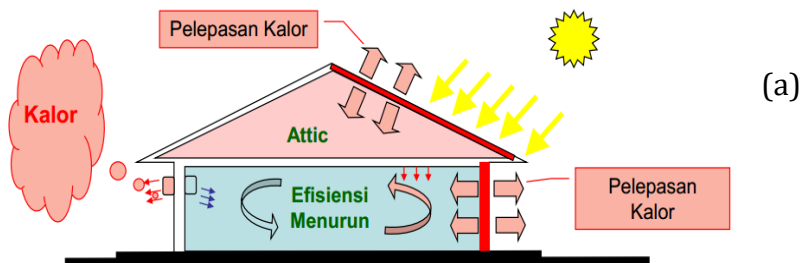
Selain itu, penyimpanan termal juga dibutuhkan diantaranya pada sistem penyimpanan es, yang berguna untuk memindahkan panas saat dibutuhkan atau menyimpan energi untuk digunakan di kemudian hari. Es dibuat pada malam hari setelah beban puncak berlalu. Salah satu keuntungan pembuatan es di malam hari adalah bahwa listrik menjadi lebih murah setelah melewati beban puncak, dan energi dibutuhkan lebih sedikit untuk mendinginkan es di malam hari yang dingin karena membutuhkan lebih sedikit energi. Selain itu, dapat dikatakan bahwa dengan cara ini, sejumlah besar energi dihemat dari pembangkit listrik sementara lebih banyak energi dikeluarkan dari penyimpanan untuk waktu yang lama.(Safitri *et al.*, 2019)

Metode penyimpanan energi dalam menjadi energi potensial untuk disimpan, ini memungkinkan energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tidak digunakan secara langsung, tetapi diubah menjadi energi potensial untuk disimpan (Alami, 2020). Energi potensial gravitasi, yang digunakan untuk menyimpan energi listrik, mengubah energi potensial benda menjadi energi kinetik karena gaya gravitasi mengurangi kondisi geografis. Energi potensial ($E_p = mgh$) adalah energi

potensial gravitasi (joule), massa (kg) benda, gravitasi (m/s^2), dan ketinggian (m). Dari perumusan matematis di atas, kita tahu bahwa masa dan ketinggian objek mempengaruhi energi potensial. Secara umum, masa benda yang digunakan dalam penggunaan sistem penyimpanan energi potensial dan ketinggiannya adalah faktor utama yang menentukan kapasitas penyimpanan energi potensial. Namun, ada juga faktor lain yang harus dipertimbangkan, seperti efisiensi sistem dan fakta bahwa dalam proses konversi pasti akan terbuang energi. Akibatnya, mengembangkan sebuah metode penyimpanan energi akan menjadi tantangan.(Safitri *et al.*, 2019).

8.4 Konservasi Energi

Meskipun Indonesia memiliki banyak sumber energi yang kaya, pemanfaatannya belum seimbang karena masih bergantung terlalu banyak pada minyak bumi sebagai sumber pendapatan utama dan persediaannya terbatas. Karena peningkatan industri dan populasi serta peningkatan kesejahteraan masyarakat, kebutuhan akan energi akan terus meningkat, yang berarti kita harus tetap bergantung pada minyak bumi dan produk turunannya. Untuk membangun ekonomi nasional yang berkelanjutan, energi sangat penting dan merupakan kebutuhan utama. Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan energi baik saat ini maupun di masa depan, energi harus dipergunakan secara bijaksana, hemat, dan juga rasional mengingat betapa pentingnya untuk menggunakan energi secara bijak, hemat, dan bijaksana.(Ikhsan, 2016) Adapun usaha dalam konservasi energi diantaranya dapat dilihat pada gambar 8.3.



(b)

Gambar 8.3 (a) Pengkondisian lingkungan dalam
(b) pengkondisian lingkungan luar

(Sumber: Wonorahardjo S, et al,2017)

Pengkondisian lingkungan dalam yaitu pengendalian kalor masuk, efisiensi sistem pendingin, pengendalian beban pendinginan dan pengendalian kebocoran sedangkan pengkondisian lingkungan luar adalah pengendalian dapatan dan pelepasan kalor dan juga pengendalian susunan massa (jarak, ruang terbuka, orientasi dan lain sebagainya)

(Wonorahardjo S, 2017). Intensifikasi, diversifikasi dan konservasi adalah bagian dari kebijakan yang dibuat pemerintah dalam hal energi. Konservasi energi adalah langkah kebijaksanaan yang paling mudah dan paling murah Selain itu, langkah ini sekarang sudah dilakukan oleh Masyarakat. Kebijakan energi ini bertujuan untuk memaksimalkan sumber energi yang tersedia dan mengurangi ketergantungan kita pada minyak bumi. Organisasi koordinasi energi nasional berpendapat bahwa konservasi energi tidak boleh menjadi penghambat yang direncanakan atau operasional akibatnya, selain mempercepat pengembangan sumber energi non fosil seperti biogas dan biomasa, juga mengoptimalkan penggunaan energi minyak bumi secara lebih cemat, efisien, cepat, dan hemat dalam rangka konservasi energi. (Badan Koordinasi Energi Nasional 1983).

8.5 Audit Energi

Audit energi memeriksa pola konsumsi energi dari peralatan teknologi pada bangunan seperti lift, AC, boiler, pencahayaan, dan lain sebagainya. Setelah membuat program kinerja yang sukses, diperlukan audit energi. Proses audit energi juga merupakan langkah pertama dalam menemukan potensi penghematan energi pada bangunan tersebut. Audit ini akan memberikan informasi sebagai acuan dalam penggunaan energi untuk program efisiensi energi. Selain itu, hasil audit akan secara otomatis memberikan data informasi yang lengkap sehingga dapat menjadi penentu tentang perencanaan dan proses yang tepat dalam melaksanakan program efisiensi energi. Proses ini juga menjadi awal untuk penentuan target efisiensi, yang akan menjadi acuan saat penyusunan rencana audit.(Ikhsan and Saputra, 2016).

➤ Standar Audit Energi

Dalam melakukan audit pada energi listrik, harus memenuhi standarisasi. Standar yang dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) yaitu digunakan di seluruh dunia yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI). Standar ini dapat digunakan sebagai perbandingan dan referensi bagi perancang, pelaksana, pemilik, pemakai, dan pengelola. Auditor menggunakan standar untuk menggambarkan dan membandingkan hasil dari audit energi sebagai acuan untuk melakukan konservasi energi. Ini juga menunjukkan bahwa penerapan konservasi energi yang paling penting didasarkan pada rekomendasi hasil audit yang membutuhkan biaya tinggi, sedang atau rendah kemudian didiskusikan dengan manajemen perusahaan. (Ikhsan, 2016) Adapun standar yang digunakan dalam audit energi, antara lain :

- a. *ASHRAE, Energi Efficiency Standard 90.1*
- b. *BOCA, code 2000 International energi conservation*
- c. *BOMA, Standard Method For Measuring Floor Area In Office Buildings*
- d. SNI prosedur audit pada bangunan gedung nomor: 03-6196-2000.

➤ Macam - Macam Audit Energi

Jenis audit energi diklasifikasikan berdasarkan seberapa singkat mereka dilakukan, dan dibagi menjadi tiga (tiga) kategori:

- a. **Audit Energi Singkat (Audit Jalan):** langkah audit yang paling sederhana. Adanya peluang penghematan energi diidentifikasi melalui audit singkat.

- b. **Audit Energi Awal (Preliminary Audit):** Audit ini hanya boleh dilakukan setelah audit energi singkat menyarankan audit lebih lanjut pada seluruh bangunan gedung. Audit ini dilakukan dengan mengunjungi gedung dalam waktu minimal satu hari. Selain itu, audit energi awal dapat dilakukan segera tanpa melalui audit singkat.
- c. **Audit energi rinci (Detail Audit):** Jika audit energi awal atau audit energi singkat merekomendasikan untuk melakukan penelusuran lebih mendalam pada objek tertentu yang dianggap memiliki potensi penghematan energi yang signifikan dan menjanjikan tingkat kelayakan yang cukup menarik atau pada seluruh bangunan gedung, audit energi rinci ini harus dilakukan. Nilai IKE biasanya lebih besar dari nilai referensi atau nilai target, akan tetapi audit rinci ini dapat dilakukan langsung tanpa melalui tahapan audit awal atau singkat sebelumnya. (Ikhsan, 2016).

8.6 Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

Menurut (Ikhsan and Saputra, 2016) intensitas Konsumsi Energi (IKE) mengacu pada luas bangunan dalam periode waktu tertentu (kWh/m^2 atau $\text{kWh/m}^2/\text{tahun}$) dengan perbandingan jumlah energi yang digunakan secara keseluruhan. Untuk mengetahui seberapa efisien setiap ruangan atau gedung dalam hal konservasi energi, nilai IKE dapat ini digunakan untuk acuan dalam menentukan potensi penghematan energi yang dilakukan pada setiap gedung atau ruangan secara keseluruhan. Hal ini juga dapat dibandingkan dengan batas standar yang ada. jika memiliki data tentang penggunaan energi sebagai berikut:

1. Luas dan total luas bangunan (m)
 2. Konsumsi energi tahunan (kWh/tahun)
 3. Intensitas Konsumsi Energi (IKE) tahunan ($\text{kWh/m}^2/\text{tahun}$)
 4. Biaya energi tahunan (Rp/kWh)
- Alat yang dapat digunakan oleh pelaksana efisiensi energi

harus disediakan untuk menilai tingkat hemat energi gedung. Karena tingkat hemat gedung berbeda-beda tergantung pada aturan lingkungan dan kondisi lingkungan, acuan ini bukan standar. Karena itu, acuan yang dipegang selalu berubah seiring kemajuan teknologi dan zaman. Perubahan ini dapat terjadi dalam beberapa cara. Misalnya, acuan tingkat hemat energi untuk lampu lebih tinggi ketika lampu hemat energi belum ditemukan. Oleh karena itu, indeks konsumsi energi (IKE) yang akan digunakan adalah yang paling sesuai untuk Indonesia saat ini. Untuk Indonesia, Standar intensitas konsumsi energi (IKE) listrik adalah sebagai berikut:

- a. IKE untuk pusat belanja : 330 kWh/m²/tahun
- b. IKE untuk perkantoran (komersil) : 240 kWh/m²/tahun
- c. IKE untuk rumah sakit/ industri : 380 kWh/m²/tahun
- d. IKE untuk hotel/ apartemen : 300 kWh/m²/tahun
: 65 kWh/m²/tahun
- e. Perkantoran Pemerintah (non AC)
- f. Perkantoran Pemerintah (AC)

Nilai IKE gedung digolongkan dalam dua kriteria, yaitu gedung tidak ber-AC dan gedung ber-AC yang dibuat Menurut Panduan Pelaksanaan Konservasi Energi.(Ikhsan, 2016) Standar yang dipergunakan untuk kategori ini adalah:

Gedung ber-AC		Gedung Tidak ber-AC	
IKE (kWh/m ² /Ta)	Kriteria	IKE (kWh/m ² /Ta)	Kriteria
20-10	Efisien	50 - 95	Sangat Efisien
20 - 30	Cukup Efisien	95 - 145	Efisien
30 - 40	Boros	145 - 175	Cukup Efisien
40 - 50	Sangat Boros	175 - 285	Boros
		285 - 450	Sangat Boros

Tabel 8.2 Standar IKE untuk Gedung Tidak Ber-AC dan Gedung Ber-AC (Sumber: Muhamad I, 2016)

8.7 Peluang Hemat Energi (PHE)

Harga intensitas konsumsi energi menentukan kemungkinan penghematan energi. Semakin jauh harga intensitas energi yang didapat dari target intensitas energi, maka kemungkinan penghematan energi akan lebih besar. Target harus memenuhi standarisasi. Oleh karena itu, analisis Intensitas Konsumsi Energi digunakan untuk membandingkannya dengan standar yang ada, seperti BSN atau SNI. Jika harga IKE lebih tinggi dari standar, ada kemungkinan penghematan, dimana:

$A \text{ IKE (Intensitas Konsumsi Energi) } \times \text{Total area} \times \text{Tarif Ustrik 12 Bulan}$

Analisis peluang penghematan energi:

- Peluang penghematan energi harus dievaluasi setelah ditemukan. Ini dilakukan dengan membandingkan kemungkinan penghematan energi dengan biaya yang harus dibayar untuk menerapkan rencana penghematan energi

yang disarankan.

- b. Analisis peluang penghematan energi juga dapat dilakukan dengan menggunakan program komputer yang dirancang khusus untuk tujuan ini dan diakui oleh masyarakat.
- c. Kenyamanan penghuni harus tetap dipertimbangkan saat menghemat energi di bangunan gedung. Untuk menghemat energi, beberapa upaya dilakukan, seperti menurunkan penggunaan energi sekecil mungkin, yang berarti mengurangi jam operasi dan jumlah daya terpasang atau terpakai, menggunakan sumber daya yang murah dan meningkatkan kinerja peralatan. (Ikhsan, 2016)

8.8 Peluang Hemat Biaya

Peluang Hemat Biaya adalah perkiraan biaya yang akan berkurang jika dapat menurunkan nilai IKE menjadi nilai IKE target. Peluang Hemat Biaya ini dapat dilakukan jika kita dapat menghitung perkiraan penghematan biaya yang didapatkan dan mengetahui peluang penghematan energi. Perhitungan peluang hemat biaya ini dilakukan dengan mengalikan biaya per kilowatt jam dengan peluang hemat energi. (Ikhsan, 2016) dimana:

Potensi Penghematan = $PHB = A_{IKE} \times \text{Total Luas Ruangan}$

Dimana :

PHB : Peluang Hemat Biaya

A IKE : Nilai IKE Gedung - Nilai IKE Target

DAFTAR PUSTAKA

- Ikhsan, M. (2016) 'Bab II. Teori Konservasi Energi', pp. 5–32. Availableat:[http://repository.untagsby.ac.id/13414/3/BAB II.pdf](http://repository.untagsby.ac.id/13414/3/BAB%20II.pdf).
- Ikhsan, M. and Saputra, M. (2016) 'Audit Energi Sebagai Upaya Proses Efisiensi Pemakaian Energi Listrik Di Kampus Universitas Teuku Umar (UTU) Meulaboh', 2(3), pp. 136–146.
- Kalogirou, S. A. (2014) 'Solar Energy Engineering Processes and Systems', (January 2009).
- Pratiwi, A. S., Nugraha, S. D. and Sunarno, E. (2020) 'Desain dan Simulasi Bidirectional DC-DC Converter untuk Penyimpanan Energi pada Sistem Fotovoltaik (Design and Simulation of Bidirectional DC-DC Converter for Energy Storage in Photovoltaic System)', 9(3), pp. 305–310.
- Safitri, N. *et al.* (2019) *NO . ISBN 978-623-91323-0-9*.
- Soteris A Kalogirou (2013) *Heat Storage Systems _ Sistem Penyimpanan Panas Energi Surya – Aeroengineering, eBook ISBN 9780123972569, Hardback ISBN 9780123972705*. Availableat:<https://www.aeroengineering.co.id/2022/01/heat-storage-systems-sistem-penyimpanan-panas-energi-surya/> (Accessed: 29 July 2023).
- Wonorahardjo S, et al (2017) 'Skema Konservasi Energi Melalui Sektor Rumah Tangga dan Bangunan', in.

BIODATA PENULIS



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

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus

Penulis lahir di Demak tanggal 30 Maret 1973. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Jakarta dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Penulis mengajar matakuliah *Termodinamika Teknik I* di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus, Jawa Tengah. Penulis menekuni bidang Menulis.
Email penulis : rianto.wibowo@umk.ac.id.

BIODATA PENULIS



Hutri Handayani Isra, S.Pd., M.Pd

Dosen Program Studi Pendidikan Fisika
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Khairun

Penulis lahir di Majene tanggal 4 Agustus 1995. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Khairun. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada jurusan Pendidikan Fisika dan Melanjutkan studi S2 pada jurusan yang sama yaitu Pendidikan Fisika di Universitas Negeri Makassar. Penulis menekuni bidang pembelajaran pendidikan.

BIODATA PENULIS



Dwi Sukowati, S.Pd.Si., M.Pd.

Dosen Program Studi Ilmu Perikanan
Fakultas Sains dan Teknologi

Penulis lahir di Cilacap tanggal 25 Agustus 1990. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Ilmu Perikanan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nahdlatul Ulama Purwokerto. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Fisika dan melanjutkan S2 pada Jurusan Pendidikan Fisika. Penulis menekuni bidang menulis. Rekam jejak penelitian penulis berkaitan dengan dunia pendidikan dan ilmu fisika murni. Dalam bidang pendidikan penulis meneliti terkait dengan kemampuan metakognitif dan pada bidang fisika, penulis meneliti terkait dengan energi alternatif yaitu briket.

BIODATA PENULIS



Dirgah Kaso Sanusi, S.Pd., M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Makassar

Penulis lahir di Amassangan, tepatnya di Kabupaten Luwu Utara, Provinsi Sulawesi Selatan, pada tanggal 17 Agustus 1994. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Fisika Universitas Negeri Makassar, dan melanjutkan S2 pada Jurusan Fisika Program Pascasarjana Universitas Negeri Makassar.

BIODATA PENULIS



Evi Sunarti Antu, S.T., M.T.

Dosen Fakultas Teknik
Universitas Ichsan Gorontalo

Penulis lahir di Padang tanggal 29 Desember 1983. Penulis adalah dosen tetap pada Fakultas Teknik, Universitas Ichsan Gorontalo. Penulis menyelesaikan pendidikan terakhir pada Program Studi Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.

BIODATA PENULIS



Romi Djafar., ST.MT

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Nahdlatul Ulama
Gorontalo

Penulis lahir di Gorontalo tanggal 12 Desember 1984. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Nahdlatul Ulama Gorontalo. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin dan melanjutkan S2 pada Jurusan Rekayasa Konversi Energi. Penulis menekuni bidang menulis Rekayasa Konversi energi dan Mechanical engineering.

BIOGRAFI



Yunita Djamalu, S.T., M.T

Penulis adalah Dosen 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 mulai tahun 2011 sampai dengan sekarang.