



**BUKU AJAR
ENERGI BARU
D A N
TERBARUKAN**

Sanksi Pelanggaran Pasal 113
Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014
tentang Hak Cipta

1. Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf i untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000 (satu miliar rupiah).
4. Setiap orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

[**BUKU AJAR**] **ENERGI BARU DAN TERBARUKAN**

Hanya untuk kalangan akademisi di lingkungan Universitas Bangka Belitung (UBB).

Rizka Felly

[BUKU AJAR]

ENERGI BARU DAN TERBARUKAN

Penulis

Rizka Felly

Penerbit UBB Press

Kampus Terpadu UBB, Jln. Raya Balunijuk,

Kec. Merawang, Bangka Belitung

tp3ubb@gmail.com

Penyunting

Habib Safillah Akbariski

Nurul Lutfhi Aulia

Pengatak

Icha Julianti

Perancang Sampul

Faishal Digdoyo

Sebagian ilustrasi diambil dari internet

Cetakan pertama, November 2022

Kabupaten Bangka, Penerbit UBB Press, 2022

xii + 84 hal; 14.8x21 cm

ISBN: 978-979-1373-88-3

Dicetak oleh CV Dapur Kata Kita

Isi di luar tanggung jawab Percetakan

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang

Dilarang memperbanyak sebagian atau

seluruh isi buku tanpa persetujuan tertulis dari Penerbit

PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim.

Alhamdulillah, ucapan syukur dipanjatkan kepada Allah Swt. karena atas hidayah dan rahmat-Nya, penyusun dapat merampungkan buku ajar ini. Buku ajar ini disusun terbatas untuk kalangan akademisi Universitas Bangka Belitung, khususnya mahasiswa yang sedang menempuh Mata Kuliah Energi Baru dan Terbarukan di Universitas Bangka Belitung. Keberadaan buku ajar ini diharapkan dapat menjadi referensi sekaligus meningkatkan kompetensi dan memperkaya pengetahuan mahasiswa mengenai Energi Baru dan Terbarukan (EBT).

Buku ajar ini terdiri atas tiga pembahasan utama dengan subjudul *Energi, Sumber Energi*, dan juga *Energi Baru dan Terbarukan di Indonesia*. Penyusunan buku ajar ini merujuk pada berbagai jenis sumber yang kredibel, seperti jurnal, prosiding, buku cetak, serta peraturan perundang-undangan. Buku ajar *Energi Baru dan Terbarukan* dilengkapi dengan latihan soal untuk menilai pemikiran kritis mahasiswa.

Penyusun menyadari masih terdapat berbagai kekurangan dalam penyusunan buku ajar ini. Namun, pembaharuan dan penyempurnaan akan terus dilakukan secara bertahap. Penyusun juga berterima kasih kepada berbagai pihak yang terlibat dalam penyusunan buku ajar ini.

Balunijuk, November 2022

Penyusun

DAFTAR ISI

PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GRAFIK	xi
BAB 1. ENERGI	1
A. Pengertian Energi.....	2
B. Bentuk-Bentuk Energi	4
1. Energi Kinetik.....	4
2. Energi Potensial	6
3. Energi Mekanik.....	7
4. Energi Termal	9
5. Energi Listrik.....	10
6. Energi Kimia.....	11
7. Energi Nuklir.....	12
BAB 2. SUMBER ENERGI	13
A. Sumber Energi Tak Terbarukan (<i>Non Renewable Energy Sources</i>)	14
1. Minyak Bumi	15
2. Batu Bara.....	21
3. Gas Alam	21
B. Sumber Energi Terbarukan (<i>Renewable Energy Sources</i>)	23
1. Energi Surya	25
2. Energi Angin.....	32
3. Energi Panas Bumi	38
4. Energi Biomassa.....	42
5. Energi Air	45
6. Energi Laut.....	49

BAB 3. ENERGI BARU DAN TERBARUKAN DI INDONESIA	59
A. Perkembangan EBT di Indonesia dalam Angka	60
B. <i>Sustainable Development Goals</i> (SDGs)	63
LATIHAN SOAL BAGIAN A.....	68
LATIHAN SOAL BAGIAN B.....	70
LATIHAN SOAL BAGIAN C.....	72
LATIHAN SOAL BAGIAN D	74
LATIHAN SOAL BAGIAN E.....	76
LATIHAN SOAL BAGIAN F.....	78
REFERENSI	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Energi Kinetik yang terjadi pada proses orang yang sedang berlari	5
Gambar 2 Contoh Energi Potensial Gravitasi pada buah kelapa.....	6
Gambar 3 Energi potensial elastis yang dimiliki oleh tali busur.....	7
Gambar 4 Energi mekanik pada proses buah mangga yang ada di pohon kemudian jatuh ke permukaan bumi	8
Gambar 5 Energi termal pada proses memasak sejumlah air di dalam panci menggunakan kompor listrik.....	10
Gambar 6 Konversi energi listrik menjadi cahaya pada bola lampu	11
Gambar 7 Sumber Energi Kimia dari Makanan dan Minuman	12
Gambar 8 Energi Nuklir	12
Gambar 9 Proses Distilasi Bertingkat pada Minyak Bumi dan Hasilnya.....	16
Gambar 10 Premium, Pertamina, dan Pertamina Plus.....	17
Gambar 11 Efek Rumah Kaca.....	20
Gambar 12 LNG di Indonesia	22
Gambar 13 LPG di Indonesia.....	23
Gambar 14 Ilustrasi Energi Baru dan Terbarukan	24
Gambar 15 Energi Matahari	25
Gambar 16 Sel Surya pada atap hunian.....	27
Gambar 17 Pembangkit Listrik Tenaga Matahari	28
Gambar 18 Mekanisme PLTS on-grid.....	30
Gambar 19 Contoh Pengaplikasian Panel Surya pada Hunian	31
Gambar 20 Ladang Panel Surya Terbesar di Indonesia	32
Gambar 21 Turbin Angin Sumbu Horizontal	33
Gambar 22 Turbin Angin Sumbu Vertikal	34
Gambar 23 Sistem kerja pembangkit listrik tenaga angin secara umum ...	35
Gambar 24 PLTB Sidrap	37

Gambar 25 Sumber Energi Panas Bumi.....	38
Gambar 26 Energi Panas Bumi	40
Gambar 27 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Geo Dipa Energi di Dieng.....	41
Gambar 28 Sumber Energi Biomassa.....	42
Gambar 29 Skema Sistem Penyediaan dan Pemanfaatan Bioenergi.....	43
Gambar 30 PLTBm di Gorontalo	45
Gambar 31 Pembangkit Listrik Tenaga Air	45
Gambar 32 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.....	46
Gambar 33 Skema Potongan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)	47
Gambar 34 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro/Mikrohidro.....	48
Gambar 35 PLTA Ciraya Jawa Barat.....	48
Gambar 36 Kampung Bungin Bekasi sudah mulai menerapkan EBT.....	49
Gambar 37 Prinsip Kerja Osilasi Kolom Air	50
Gambar 38 Aquacadoura	51
Gambar 39 Potensi Energi Pasang Surut di Perairan Indonesia	52
Gambar 40 Proses Kerja Bendungan Pasang Surut.....	53
Gambar 41 Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut di La Rance Perancis	54
Gambar 42 Tampak Perspektif Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut Sihwa di Korea.....	54
Gambar 43 Sihwa Lake Tidal Power Station di Korea Selatan.....	55
Gambar 44 Turbin Lepas Pantai.....	55
Gambar 45 Turbin Lepas Pantai SeaGen dari Siemens Energy.....	56
Gambar 46 Proses Kerja Energi Panas Laut.....	57
Gambar 47 Sustainable Development Goals (SDGs) 2030	66

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Perbedaan Sistem PLTS on-grid dan PLTS off-grid28

Tabel 2 Perbandingan antara kecepatan angin dan indikator yang ada di daratan36

Tabel 3 Potensi yang dimiliki Indonesia pada Gelombang Laut dan Panas Laut.....56

Tabel 4 Target Pembangunan Pembangkit Energi Baru dan Terbarukan..61

DAFTAR GRAFIK

Grafik 1 Kondisi Bauran Energi Primer di Indonesia Tahun 2021	60
Grafik 2 Target Bauran Energi Primer di Indonesia Tahun 2025	62
Grafik 3 Target Bauran Energi Primer di Indonesia Tahun 2050	62



BAB 1.

E N E R G I

A. Pengertian Energi

Energi merupakan sebuah kata yang seringkali didengar dan diucapkan di kehidupan kita sehari-hari. Energi merupakan suatu hal yang dibutuhkan oleh manusia. Meningkatnya jumlah penduduk pada suatu wilayah akan meningkat pula penggunaan energinya (Hakim, 2020).

Energi erat kaitannya dengan proses-proses kebutuhan manusia untuk belajar, bermain, bekerja, berpikir, dan kegiatan lainnya, di mana energi kimia tersebut didapatkan/tersimpan dari sumber energi, yaitu makanan. Tidak hanya itu, energi juga identik dengan proses kebutuhan untuk menggerakkan mobil/motor, memanaskan dan mendinginkan ruangan, menggerakkan mesin, membakar bahan bakar, mengisi baterai, menjalankan komputer, dan proses kegiatan lainnya (Kandi & Winduono, 2012; Syahputra, 2016). Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa segala sesuatu di dunia ini bergantung pada energi.

Proses-proses tersebut dapat dijelaskan dalam beragam bentuk-bentuk energi, seperti energi termal, energi kimia, energi kinetik, energi listrik, energi potensial, energi gravitasi, dan lain-lain (Syahputra, 2016). Jadi, secara harfiah, apakah definisi dari energi?

Berdasarkan asal-usul kata, kata *energi* berakar dari bahasa Yunani, *en* mempunyai arti *in* dan *ergon* mempunyai arti *kerja*. Berdasarkan Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), tenaga merupakan pengertian dari energi, di mana secara garis besar berarti suatu kemampuan yang dibutuhkan untuk melakukan suatu kerja (sebagai contoh digunakan sebagai energi listrik dan mekanika). Selain itu, dalam KBBI, energi juga diartikan sebagai suatu kekuatan dan daya yang dimanfaatkan untuk menjalankan berbagai proses kegiatan. Contohnya, seperti matahari, merupakan sesuatu yang tidak terikat pada bahan lainnya atau suatu bagian dari suatu bahan.

Pengertian lain mengenai energi dimuat pada Peraturan Pemerintah (PP) Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 mengenai Kebijakan Energi

Nasional, yakni pengertian energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja yang dapat berupa panas, cahaya, mekanika, kimia, dan elektromagnetika (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional, 2014). Namun, secara singkat, energi diartikan sebagai sebuah keterampilan atau kemampuan dalam melakukan kerja dan usaha. Berdasarkan Sistem Internasional (SI), satuan energi adalah Joule (J) (Ernawati, 2017).

Sumber energi merupakan penghasil energi. Berdasarkan prosesnya, hal ini dapat dilakukan secara langsung ataupun harus melalui proses konversi dan transformasi terlebih dahulu. Hal ini sejalan dengan hukum kekekalan energi yaitu:

“Energi dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk lain, berpindah dari satu benda ke benda yang lain, tetapi energi total tidak pernah berkurang atau bertambah. Atau dengan kata lain, energi selalu kekal”.

Pada proses perpindahan energi dari satu benda ke benda lainnya pasti mengalami transformasi bentuk energi. Hal ini dibuktikan bahwa selalu ada kerja (satuan W) pada setiap perpindahan energi. Konversi suatu bentuk energi ke bentuk energi lainnya dibahas dan dipelajari pada kajian ilmu yang bernama termodinamika (Asnawi *et al.*, 2019; Hamid, 2007). Ilmu yang mendalami mengenai korelasi antara kerja dari suatu sistem dan energi merupakan pengertian dari termodinamika. Selain itu, termodinamika juga bisa didefinisikan sebagai ilmu yang menerangkan hubungan antara besaran fisis tertentu yang menggambarkan sifat zat di bawah pengaruh kalor. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa termodinamika merupakan ilmu yang berasaskan pada hasil-hasil dari eksperimen (Hamid, 2007).

Ada dua sudut pandang dalam pemanfaatan termodinamika, yaitu dari sudut pandang fisikawan & kimiawan serta insinyur (*engineer*). Para fisikawan dan kimiawan biasanya memanfaatkan ilmu termodinamika

untuk memperkirakan dan mengorelasikan sifat-sifat zat yang berada dalam pengaruh kalor dan mengembangkan data termodinamis. Di sisi lain, Para insinyur (*engineer*) cenderung memanfaatkan data termodinamis dan gagasan dasar ketetapan energi dengan tujuan untuk melakukan analisis terhadap perilaku sistem yang kompleks (Hamid, 2007). Dengan demikian, ilmu termodinamika pada umumnya difungsikan sebagai berikut.

1. Pada sistem termodinamis, adanya penjelasan mengenai kerja (satuan W).
2. Penjelasan mengenai sebab atas ketidaksesuaian kerja suatu sistem termodinamis yang tidak sesuai harapan.
3. Penjelasan mengenai suatu sistem termodinamis yang tidak mungkin dapat bekerja sama sekali dalam suatu kondisi.
4. Penetapan sebagai sebuah acuan dan landasan teoretis bagi para insinyur perencana dalam proses mendesain suatu sistem termodinamis. Sebagai contoh, motor roket, motor bakar, pompa termal, pusat pembangkit tenaga listrik, turbin gas, mesin pendingin, kabel transmisi superkonduktor, LAS R daya tinggi, dan mesin pemanas surya (Hamid, 2007).

B. Bentuk-Bentuk Energi

Berdasarkan penjelasan di atas, energi terbagi menjadi berbagai macam bentuk, seperti energi kinetik, energi potensial, energi mekanik, energi panas, energi listrik, dan energi nuklir (Kandi & Winduono, 2012).

1. Energi Kinetik

Benda yang melakukan gerakan-gerakan mempunyai energi sebagai sumber ataupun sebagai pencetus untuk melakukan gerak. Dengan demikian, energi yang dipunyai oleh benda yang bergerak ini adalah pengertian dari energi kinetik. Massa dan kecepatan benda memengaruhi besarnya energi kinetik yang dihasilkan oleh benda tersebut (Ernawati,

2017). Sebagai analogi adalah ketika orang sedang berlari. Orang tersebut akan mengalami perubahan posisi di setiap detik. Perubahan posisi pada orang sedang berlari ini memperlihatkan bahwa orang tersebut mempunyai energi. Energi yang dipunyai oleh benda yang bergerak disebut energi kinetik (Kandi & Winduono, 2012).



Gambar 1. Energi Kinetik yang Terjadi pada Proses Orang yang Sedang Berlari

Sumber Gambar: freepik.com

Dengan demikian, secara matematis, perumusan energi kinetik adalah sebagai berikut (Kandi & Winduono, 2012):

$$Ek = \frac{1}{2}mv^2 \dots\dots\dots (1)$$

Ket:

Ek = energi kinetik (joule)

m = massa benda (kg)

v = kecepatan benda (m/s)

Dari persamaan (1) di atas dapat dilihat bahwa massa suatu benda **berbanding lurus** dengan energi kinetik suatu benda.

2. Energi Potensial

Energi yang dimiliki oleh benda karena kedudukannya atau kondisinya merupakan pengertian dari energi potensial. Energi potensial ini terbagi menjadi berbagai bentuk, yaitu energi potensial gravitasi, energi potensial elastis, energi potensial listrik, dan sebagainya (Kandi & Winduono, 2012).

Terkait energi potensial gravitasi, sebagai analogi, keberadaan buah kelapa yang berjumbai di pohon mengandung sebuah energi yang disebut energi potensial gravitasi. Mengingat adanya gaya tarik bumi yang mengakibatkan jika buah kelapa tersebut jatuh, pasti menuju atau mengarah ke bumi. Jadi, melalui fenomena tersebut bisa disimpulkan bahwa buah kelapa tersebut mempunyai energi, yaitu energi potensial gravitasi. (Ernawati, 2017). Energi potensial gravitasi dirumuskan sebagai berikut:

$$E_p = mgh \dots\dots\dots (2)$$

Ket:

E_p = energi potensial (J)

m = massa benda (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

h = ketinggian benda (m)

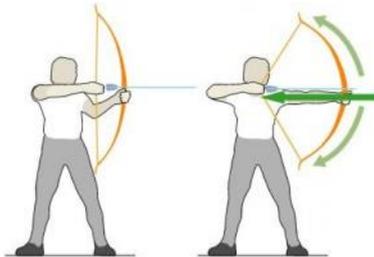


Gambar 2. Contoh Energi Potensial Gravitasi pada Buah Kelapa

Sumber: idschool.net/

Selain energi potensial gravitasi, terdapat pula energi potensial elastis. Sebagai analogi adalah sebuah tali perentang pada busur yang ditarik oleh seorang pemanah. Pada fenomena ini, dipahami bahwa ada usaha yang dilakukan oleh seorang pemanah pada tali perentang busur sehingga membuat tali perentang pada busur menghimpun energi (Kandi & Winduono, 2012).

Dalam hal ini, semua energi pada fenomena yang sedang terjadi, berbentuk energi potensial di mana sebelum tali perentang pada busur dilepaskan. Namun, ketika tali perentang pada busur dan anak panah dilepaskan, maka terjadi perubahan menjadi energi kinetik. Namun, terdapat energi yang tersimpan dalam tali perentang pada busur yang meregang disebut energi potensial elastis. Pegas, karet, bola karet, dan benda-benda elastis lain memiliki energi potensial elastis (Kandi & Winduono, 2012).



Gambar 3. Energi Potensial Elastis yang Dimiliki oleh Tali Busur

Sumber: seputarilmu.com

3. Energi Mekanik

Energi mekanik adalah hasil penambahan antara energi kinetik dan energi potensial gravitasi. Sebagai contoh, jika dianalogikan sebagai sebuah benda yang saat itu fenomenanya sedang terjatuh bebas, maka benda tersebut mempunyai dua bentuk energi, yaitu energi kinetik dan energi potensial gravitasi. Penambahan dua bentuk energi tersebut disebut sebagai energi mekanik (Kandi & Winduono, 2012).

Sebagai analogi, proses buah mangga yang terjatuh. Buah tersebut bergerak ke bawah hingga mencapai tanah. Dalam proses tersebut, terdapat dua buah bentuk energi yang saling memengaruhi, yaitu energi yang disebabkan oleh ketinggian (energi potensial gravitasi) dan energi yang disebabkan oleh gerak yang terjadi (energi kinetik).



Gambar 4. Energi Mekanik pada Proses Buah Mangga yang Ada di Pohon Kemudian Jatuh ke Permukaan Bumi
Sumber: freepik.com

Dengan demikian, energi mekanik ini merupakan penambahan antara dua bentuk energi tersebut. Adapun rumus untuk energi mekanik adalah (Ernawati, 2017):

$$E_m = E_p + E_k \dots \dots \dots (3)$$

Ket:

E_m = Energi Mekanik (J)

E_p = Energi Potensial (J)

E_k = Energi Kinetik (J)

4. Energi Termal

Energi termal merupakan penambahan antara energi potensial dan energi kinetik yang dipunyai oleh atom-atom dan molekul-molekul yang kemudian membentuk zat. Berdasarkan teori kinetik-molekul, benda-benda dingin bersuhu rendah mempunyai energi yang lebih sedikit dibandingkan dengan benda-benda panas bersuhu tinggi. Ketika dua benda yang mempunyai perbedaan suhu dipertemukan, maka yang terjadi adalah terdapat sejumlah energi akan mengalir dari benda panas yang memiliki suhu tinggi ke benda dingin yang memiliki suhu rendah (Kandi & Winduono, 2012).

Sebagai analogi, sejumlah air yang berada dalam wadah panci dipanaskan menggunakan kompor listrik. Saat proses pemanasan dimulai, akan terjadi peningkatan suhu secara bertahap pada elemen kompor listrik. Hal ini dikarenakan adanya kenaikan suhu yang sebanding dengan peningkatan energi kinetik pada rata-rata molekul-molekul elemen listrik. Energi panas dari elemen kompor mengenai molekul-molekul air sehingga berakibat pada suhu air dan panci yang juga meningkat seimbang dengan jumlah energi yang dialirkan oleh elemen kompor ke panci dan air (Kandi & Winduono, 2012).

Berdasarkan kasus tersebut, didapatkan bahwa energi panas mengalir dari benda yang memiliki suhu tinggi ke benda yang memiliki suhu rendah. Dalam peristiwa ini, terjadinya perbedaan suhu akibat adanya perpindahan energi dari benda satu ke benda lainnya yang disebut sebagai kalor (*heat*). Kalor ini merupakan salah satu dari bentuk energi di mana satuan kalor ini sama dengan satuan-satuan energi lainnya, yaitu Joule atau (J) (Kandi & Winduono, 2012).



Gambar 5. Energi Termal pada Proses Memasak Sejumlah Air di dalam Panci Menggunakan Kompor Listrik
Sumber: freepik.com

5. Energi Listrik

Energi listrik merupakan energi yang dihasilkan oleh benda yang memiliki muatan listrik. Energi potensial listrik dihasilkan dari muatan listrik yang diam/statik. Sementara, arus listrik dan energi magnet dihasilkan dari muatan listrik yang bergerak atau dinamis (Kandi & Winduono, 2012).

Energi listrik merupakan energi yang tidak sulit untuk dikonversi menjadi bentuk energi lain. Oleh karena itu, dalam pengaplikasiannya, energi listrik menjadi salah satu energi yang sering digunakan dan diaplikasikan oleh manusia.

Berikut beberapa contoh perubahan energi listrik ke bentuk lain (Kandi & Winduono, 2012).

- Motor Tape merupakan transformasi energi listrik menjadi energi mekanik.
- Pelapisan logam dengan logam lain atau penyepuhan dan pengisian *accu* merupakan perubahan energi listrik ke energi kimia.
- Lampu merupakan transformasi dari energi listrik ke energi cahaya.
- Kompor listrik, setrika listrik atau setrika uap, dan solder merupakan perubahan energi listrik ke energi kalor.



Gambar 6. Konversi Energi Listrik Menjadi Cahaya pada Bola Lampu
Sumber: www.merdeka.com

6. Energi Kimia

Energi yang tersisip dan terproses secara kimiawi merupakan pengertian dari energi kimia. Salah satu contohnya adalah makanan yang kita makan. Melalui proses ini akan dihasilkan energi kimia yang berkhasiat bagi tubuh. Energi kimia tersebut akan dikonversi menjadi energi gerak agar manusia dapat melakukan aktivitas sehari-hari. Contoh lainnya adalah minyak bumi yang mengandung energi kimia yang memiliki manfaat sebagai bahan bakar. Selain itu, dimanfaatkan pula untuk mengoperasikan kendaraan, alat-alat pabrik, maupun dalam kegiatan memasak. Namun, dibalik adanya energi kimia ini, ada peran penting dari energi matahari pada aktivitas tertentu. Misalnya, digunakan dalam proses fotosintesis pada tumbuhan, yang mana dibutuhkannya energi cahaya matahari dalam prosesnya sehingga dapat tercipta energi kimia di dalamnya (Kandi & Winduono, 2012).



Gambar 7. Sumber Energi Kimia dari Makanan dan Minuman
Sumber: freepik.com

7. Energi Nuklir

Energi yang merupakan hasil dari transformasi massa nuklir disebut energi nuklir. Untuk menghasilkan energi nuklir yang besar, terdapat dua jenis reaksi, yaitu reaksi fisi dan reaksi fusi (Kandi & Winduono, 2012).

Pembelahan suatu inti berat menjadi dua inti yang lebih ringan merupakan pengertian dari reaksi fisi. Sementara, penggabungan dua atau beberapa inti ringan menjadi sebuah inti yang lebih berat merupakan pengertian dari reaksi fusi. Pada pengaplikasiannya, reaksi fusi lebih sering dimanfaatkan dalam pembangkit energi nuklir (Kandi & Winduono, 2012).



Gambar 8. Energi Nuklir
Sumber: www.freepik.com



BAB 2.

**SUMBER
ENERGI**

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 79 Tahun 2014 mengenai Kebijakan Energi Nasional, pengertian dari sumber energi adalah sesuatu yang dapat menghasilkan energi, baik secara langsung maupun melalui proses konversi atau transformasi (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional, 2014).

Selain peraturan di atas, peraturan lain yang mengatur mengenai energi adalah Undang-Undang No. 30 Tahun 2007 Tentang Energi, di mana penyusunan Kebijakan Energi Nasional (KEN) dilandaskan pada prinsip rasionalitas, kemanfaatan, berkeadilan, berkelanjutan, dan juga berwawasan lingkungan. Hal ini bertujuan untuk mendukung terciptanya energi nasional dan memenuhi kebutuhan energi dalam negeri, sekaligus menargetkan juga terhadap pengembangan Energi Baru Terbarukan (IESR, 2017; Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007 Tentang Energi, 2007).

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional juga merumuskan mengenai pengertian dari sumber energi baru. Sumber energi baru adalah sumber energi yang dapat dihasilkan oleh teknologi baru, baik yang berasal dari sumber energi terbarukan maupun sumber energi tak terbarukan. Beberapa contohnya, seperti nuklir, hidrogen, gas metana batu bara (*coal bed methane*), batu bara tercairkan (*liquified coaq*), dan batu bara tergaskan (*gasified coal*) (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional, 2014).

A. Sumber Energi Tak Terbarukan (*Non Renewable Energy Sources*)

Pengertian sumber energi tak terbarukan adalah sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang suatu saat akan habis jika dieksploitasi secara terus-menerus. Beberapa contohnya, seperti minyak

bumi, gas bumi, batu bara, gambut, dan serpih bitumen. Energi tak terbarukan merupakan energi yang berasal dari sumber energi tak terbarukan (Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007 Tentang Energi, 2007).

Sumber energi tak terbarukan ini pada umumnya lebih sering dijumpai di lingkungan masyarakat. Namun, yang menjadi kendala adalah penggunaan sumber energi terbarukan ini tidak dapat digunakan selamanya, mengingat sumbernya yang terbatas dan akan menipis seiring berjalannya waktu. Sebagian besar penggunaan sumber daya tak terbarukan di dunia adalah bahan bakar fosil yang berasal dari endapan dari sisa-sisa binatang dan juga tumbuhan yang hidup dari jutaan tahun yang lalu (Setyono *et al.*, 2019). Bahan bakar kendaraan yang berbahan dasar fosil merupakan salah satu dari banyak contoh yang ada. Dampak nyata yang dirasakan dari penggunaan bahan bakar fosil dalam bentuk minyak bumi sebagai energi adalah meningkatnya kontribusi terhadap kelebihan karbon dan zat kimia yang merugikan lainnya di atmosfer sehingga menyebabkan terjadinya pemanasan global (Jukic & Jerkovic, 2008; Setyono *et al.*, 2019).

Berikut beberapa contoh sumber energi tak terbarukan:

1. Minyak Bumi

Minyak bumi merupakan sebuah cairan yang licin dan mudah terbakar akibat secara garis besar kandungannya memuat Hidrokarbon (HC). Terdapat kisaran 50% hingga 90% kandungan Hidrokarbon (HC) dalam minyak bumi dan sisanya terdiri atas senyawa organik lain, seperti oksigen, nitrogen, maupun belerang (Kandi & Winduono, 2012).

Pengolahan perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum menggunakan minyak bumi karena setelah dilakukan pengolahan minyak mentah ini dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan, seperti minyak diesel,

minyak solar, minyak bensin, gas, dan jenis-jenis lainnya (Mediastika, 2013).



Gambar 9. Proses Distilasi Bertingkat pada Minyak Bumi dan Hasilnya
Sumber: ruangguru.com

Berdasarkan gambar di atas, beberapa contoh populer hasil minyak bumi yang telah didistilasi adalah minyak tanah (kerosin) dan minyak bensin. Di beberapa wilayah, minyak tanah (kerosin) biasanya masih dimanfaatkan menjadi bahan bakar untuk menyalakan kompor sumbu yang digunakan untuk aktivitas memasak. Contoh lainnya adalah minyak bensin yang sebagian besar digunakan untuk bahan bakar dalam menyalakan kendaraan, baik untuk kendaraan motor maupun mobil.

Dalam tahap produksi dan pemasaran, Bahan Bakar Minyak (BBM) diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu sebagai berikut (Mediastika, 2013).

a. Premium

Spesifikasi: menggunakan timbel (Pb) untuk menambah bilangan oktan. Pada umumnya menambahkan pewarna *dye*, angka RON 88, dan menghasilkan gas buang NO_x serta CO_x dalam jumlah yang besar.

b. Pertamax

Spesifikasi: tanpa menggunakan timbel (Pb), menggunakan etanol untuk menambah bilangan oktan, diperuntukkan bagi kendaraan yang memanfaatkan bahan bakar beroktan tinggi, angka RON 92, dan menghasilkan gas buang NO_x serta Cox dalam bilangan yang lebih sedikit dibandingkan dengan bahan bakar minyak lain.

c. Pertamax Plus

Spesifikasi: tanpa menggunakan timbel (Pb), menggunakan toluena untuk menambah bilangan oktan, diperuntukkan bagi kendaraan yang memiliki teknologi tinggi dan juga ramah lingkungan, memiliki angka RON 96, dan menghasilkan gas buang NO_x serta Cox dalam bilangan yang paling sedikit dibandingkan dengan bahan bakar minyak lain.



Gambar 10. Premium, Pertamax, dan Pertamax Plus

Sumber: masshar2000.com

Peran lainnya yang dimiliki oleh minyak bumi selain untuk bahan bakar kendaraan, minyak bumi juga dimanfaatkan sebagai bahan bakar pembangkit listrik di Indonesia. Bahkan, dalam skala dunia. Melihat dari fakta tersebut, keberadaan minyak bumi semakin banyak dibutuhkan.

Namun, pada dasarnya, minyak bumi ini tergolong dalam sumber energi tak terbarukan yang suatu hari pasti akan habis dan menyebabkan hal lain seperti krisis energi.

Namun, dibalik pentingnya kehadiran minyak bumi, terdapat dampak-dampak negatif yang ditimbulkan dalam penggunaannya, yaitu terjadinya pencemaran udara. Hal ini diakibatkan oleh gas buang yang dihasilkan dari pengubahan energi potensial menjadi energi gerak. Berikut beberapa zat-zat pencemaran udara akibat pembakaran bahan bakar minyak yaitu sebagai berikut (Mediastika, 2013).

a. Karbon Monoksida (CO)

Asap kendaraan roda dua atau motor yang mengandung karbon monoksida mengganggu konsentrasi udara bersih. Bahkan, jumlah zat pencemar ini sangat mengganggu di kota-kota besar akibat tingginya jumlah kendaraan yang beroperasi. Karbon Monoksida (CO) berdampak buruk terhadap kesehatan manusia, terutama bagi wanita hamil dan anak-anak, seperti dapat memicu kematian pada janin dan kerusakan otak anak-anak, serta pengaruh kesehatan lainnya.

b. Nitrogen Oksida (NO_x)

Panas pembakaran yang mendorong bersatunya oksigen dan nitrogen di udara merupakan proses dari pembentukan nitrogen oksida. Gas-gas nitrogen oksida ini bereaksi di atmosfer membentuk partikel nitrat yang sangat halus sehingga mudah terhirup oleh manusia dan menyebabkan kerusakan pada paru-paru. Zat pencemar ini berpengaruh terhadap kondisi kesehatan manusia pada khususnya. Selain itu, akan berpengaruh juga terhadap pembentukan kabut yang akan menyebabkan keterbatasan pandangan pengendara baik di jalur darat maupun udara.

c. Sulfur Dioksida (SO₂)

Hasil bakar dari bahan bakar fosil yang terdapat kandungan sulfur di dalamnya akan menghasilkan gas yang memiliki bau menyengat dan tidak memiliki warna, terutama batu bara. Zat ini juga akan berpengaruh terhadap kondisi kesehatan manusia, yaitu akan menyebabkan serangan asma.

d. Hidrokarbon (HC)

Tidak terbakarnya uap bensin dan produk sertaan dari hasil pembakaran yang tidak sempurna merupakan pengertian dari Hidrokarbon (HC). Senyawa ini mudah menguap sehingga sering disebut *Volatile Organic Compounds (VOC)*. Hidrokarbon juga berdampak terhadap kesehatan manusia. Leukemia dan penyakit serius lainnya merupakan dampak serius yang akan mengganggu kesehatan manusia.

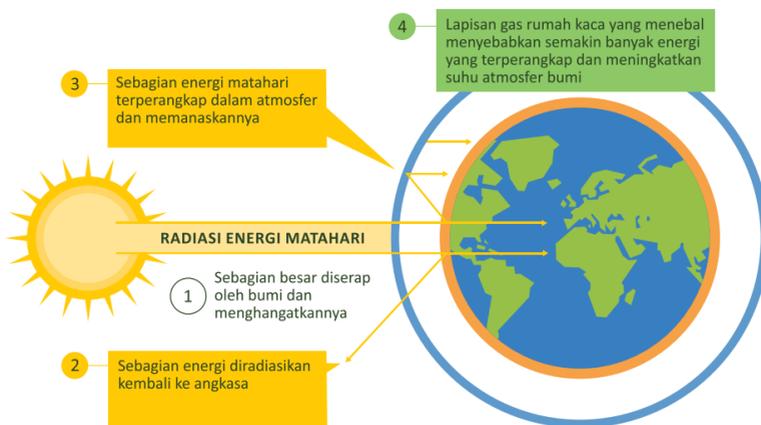
e. Timbel atau Timah Hitam (Pb)

Logam berat yang berwarna kelabu keperakan merupakan pengertian dari Timbel (Pb). Sumber utama emisinya adalah bahan bakar yang mengandung timbel dan pada umumnya sering digunakan pada kendaraan beroda dua. Timbel ini juga berdampak buruk dan berbahaya terhadap kesehatan manusia khususnya anak-anak, yaitu bisa menghambat pertumbuhan anak, merusak otak, serta menghilangkan konsentrasi yang berdampak pada berkurangnya kemampuan untuk mendengar dan memahami bahasa.

f. Karbon Dioksida (CO₂)

Minyak dan batu bara adalah contoh bahan bakar yang kaya kandungan karbon sehingga ketika terjadi pembakaran, maka akan menghasilkan gas karbon dioksida. Zat pencemar ini tidak memiliki warna dan tidak memiliki bau. Gas ini juga termasuk dalam kategori Gas Rumah Kaca (GRK) bersama dengan Metana (CH₄) yang menjadi pemicu meningkatnya suhu atmosfer bumi. Gas Rumah Kaca (GRK) ini berakibat

buruk karena termasuk dalam jenis gas yang tidak dapat melepaskan radiasi matahari, yang mana seharusnya sebagian dari radiasi matahari tersebut dapat dikeluarkan kembali oleh bumi dan atmosfer ke angkasa karena sebagiannya lagi dimanfaatkan untuk memanaskan bumi. Namun, karena adanya Gas Rumah Kaca (GRK) tersebut yang berada di atmosfer bumi, mengakibatkan radiasi matahari yang harusnya bumi dan atmosfer dapat lepaskan ke angkasa, tertahan, dan terjebak di atmosfer bumi sehingga memantulkan serta memanaskan kembali ke berbagai penjuru bumi. Dari peristiwa tersebut, dapat mengakibatkan tingginya konsentrasi panas di bumi yang berdampak pada naiknya suhu di bumi. Jika semakin meningkat konsentrasi GRK di atmosfer, maka semakin meningkat pula tingkat radiasi energi matahari diperangkapnya sehingga akan berdampak pada meningkatnya suhu atmosfer. Jika suhu atmosfer semakin meningkat, maka akan terjadi *global warming* (pemanasan global) yang akan berdampak pada *climate change* (perubahan iklim). Pada akhirnya, akan terjadi peningkatan risiko bencana yang akan berdampak buruk terhadap manusia, lingkungan, dan makhluk hidup lainnya.



Gambar 11. Efek Rumah Kaca

Sumber: Buku #pasarkarbon (Hindarto *et al.*, 2018)

2. Batu Bara

Energi batu bara juga bersumber dari fosil yang sudah terkubur selama jutaan tahun yang lalu akibat adanya tekanan material di atas fosil sehingga mampu memeras kandungan gas dan zat cair dari fosil. Hasil dari padatan sisa yang tidak terperas ini yang merupakan bentuk dari batu bara (Mediastika, 2013). Pada umumnya, pemanfaatan batu bara menjadi bahan bakar dalam mengoperasikan kereta api, listrik, dan juga mesin industri yang besar sudah dilakukan sejak lama.

Namun, dibalik manfaatnya, batu bara ini mempunyai dampak yang kurang baik. Ketika batu bara diproses dalam pembakaran, akan terjadi pencemaran udara akibat munculnya gas CO₂ yang mengakibatkan kualitas udara menurun. Selain itu, jumlah pelepasan abu ke udara juga jauh lebih besar jumlahnya dibandingkan dengan minyak bumi dan gas. Pada saat batu bara dibakar, akan terjadi pelepasan sulfur dan nitrogen ke udara. Jika kedua zat ini mengawang di udara, maka akan terjadi penggabungan antara sulfur dan nitrogen tersebut bersama dengan uap air dan menetes ke tanah. Pada akhirnya, akan menyebabkan terjadinya asam sulfurik dan nitrit atau pada umumnya disebut sebagai hujan asam (*acid rain*) (Kandi & Winduono, 2012).

3. Gas Alam

Sama halnya seperti minyak bumi dan batu bara, gas alam juga termasuk salah satu bahan bakar yang bersumber dari fosil. Energi yang dihasilkan akibat dari tertimbunnya fosil yang terperas karena tekanan material di atasnya dan juga mengakibatkan gas yang terkandung di dalamnya juga tertekan keluar merupakan pengertian dari gas alam. Gas ini biasanya keluar dari celah atau retakan alam. Metana (CH₄) terkandung dalam gas alam dan menjadi unsur utama (Mediastika, 2013). Selain itu, gas alam juga mengandung molekul-molekul hidrokarbon yang lebih berat seperti etana

(C₂H₆), propana (C₃H₈), dan butana (C₄H₁₀). Gas alam ini juga merupakan sumber utama untuk sumber gas helium (Kandi & Winduono, 2012).

Gas alam akan mencair dan dapat disimpan dalam bentuk cairan pada kondisi suhu tertentu yang cukup rendah. Gas alam ini pada umumnya sering digunakan untuk kompor gas. Dalam pengaplikasiannya, gas alam ini terbagi menjadi dua (2) jenis, yaitu sebagai berikut (Mediastika, 2013).

a. *Liquid Natural Gas* (LNG)

Pada umumnya, melalui pipa saluran, gas alam disalurkan pemerintah ke bangunan. Pengguna akan membayar tagihan penggunaan kemudian (per tiap bulan).



Gambar 12. LNG di Indonesia

Sumber: (Pertamina, 2021)

b. *Liquid Petroleum Gas* (LPG)

Pada umumnya, pemerintah menyalurkan ke pengguna disimpan dalam bentuk tabung-tabung gas yang dibayar di muka oleh penggunanya.



Gambar 13. LPG di Indonesia
Sumber: (Pertamina, 2014)

Sama halnya dengan dua bahan bakar yang bersumber dari fosil di atas, gas alam yang mengandung metana ini menjadi unsur utama dalam GRK yang mana menjadi pemicu pemanasan global ketika dilakukan pelepasan ke atmosfer. Selain itu, gas alam yang tidak diproses akan berdampak pada kesehatan manusia, yaitu manusia akan merasa kesulitan bernafas akibat berkurangnya kandungan oksigen di udara. Sebaliknya, pada gas alam yang telah melalui proses, akan aman untuk digunakan dan dimanfaatkan. Gas alam sifatnya tidak berbau dan tidak berasa. Namun, biasanya sebelum gas didistribusikan ke pengguna dalam bentuk LNG dan LPG, gas alam akan ditambahkan thiol, sebagai tanda apabila terjadi kebocoran gas pada pipa dan tabung (Kandi & Winduono, 2012).

B. Sumber Energi Terbarukan (*Renewable Energy Sources*)

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional, Energi Terbarukan adalah energi yang berasal dari sumber energi terbarukan. Menurut peraturan yang sama, sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang berkelanjutan jika dikelola dengan baik, antara lain adalah panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut (Peraturan Pemerintah

Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional, 2014).

Saat ini, Sumber Energi Baru dan Terbarukan (EBT) semakin giat ditingkatkan dan diaplikasikan di seluruh dunia untuk memitigasi krisis energi dan perubahan iklim (*climate change*). Hal ini diakibatkan oleh penggunaan energi yang semakin meningkat setiap tahunnya. Kehadiran sumber energi baru dan terbarukan ini bukanlah salah satu hal yang baru di dunia. Beberapa puluh tahun ke belakang sudah ada beberapa negara yang mulai menerapkannya, tetapi masih dalam jumlah yang minim. Hal ini dikarenakan sumber bahan bakar fosil masih banyak kesediaannya dan juga harganya cukup terjangkau. Namun, karena adanya isu krisis energi dan bahan bakar yang berasal dari fosil tidak ada bersisa lagi suatu saat nanti, maka negara-negara di dunia menyepakati untuk mulai beralih ke sumber energi terbarukan.



Gambar 14. Ilustrasi Energi Baru dan Terbarukan
Sumber: freepik.com

Beberapa sumber energi yang termasuk dalam kategori sumber energi baru dan terbarukan adalah energi surya, energi angin, energi air, energi panas bumi, energi tidal, energi biomassa, dan biogas.

1. Energi Surya

Sumber energi yang utama dan primer terhadap kehidupan manusia adalah energi matahari atau seringkali disebut sebagai energi surya. Berbagai macam proses kegiatan membutuhkan energi matahari di dalamnya. Energi matahari ini dapat diubah menjadi bentuk lain. Salah satu contohnya, seperti konversi energi panas ke energi listrik. Energi matahari yang dikonversi menjadi bentuk panas pada umumnya dimanfaatkan untuk memanaskan air pada bangunan, seperti di perumahan, hotel, maupun kolam renang (Kandi & Winduono, 2012).



Gambar 15. Energi Matahari

Sumber: (Zainal, 2016)

Pada umumnya, energi surya merupakan energi terbarukan yang paling potensial untuk diaplikasikan di Indonesia. Hal ini mengingat bahwa Indonesia berada pada iklim tropis akibat berada di garis khatulistiwa sehingga Indonesia banyak mendapat sinar matahari langsung sepanjang hari. Matahari yang menyinari sepanjang tahun ini menjadi salah satu indikatornya. Berdasarkan data penyinaran matahari yang telah diobservasi melalui delapan belas lokasi yang berada di Indonesia

menunjukkan bahwa radiasi surya pada Indonesia bagian barat dan timur dapat diklasifikasikan distribusi penyinarannya berturut-turut sebagai berikut.

- Pada Kawasan Barat Indonesia, distribusi penyinarannya sebanyak 4.5 kWh/m².hari dengan variasi bulanannya sekitar 10%;
- Pada Kawasan Timur Indonesia, distribusi penyinarannya sebanyak 5.1 kWh/m².hari dengan variasi bulanannya sekitar 9%.

Berdasarkan angka-angka ini, maka rata-rata sekitar 4.8 kWh/m².hari dengan variasi bulanan sekitar 9% merupakan besaran potensi terhadap penyinaran matahari di Indonesia. (Azhar & Satriawan, 2018).

Pada kondisi lain, saat cuaca sedang cerah, permukaan bumi mendapatkan kurang lebih 1000-watt energi matahari per m². Namun, dari energi tersebut dibagikan menjadi: sebanyak kurang 30% memantul kembali ke angkasa, sebanyak 47% terkonversi menjadi panas, sebanyak 23% untuk penggunaan sirkulasi kerja yang terdapat di atas permukaan bumi, serta sebanyak kurang lebih 0.25% dilakukan penyimpanan oleh angin, gelombang, dan arus, sebanyak 0.025% dilakukan penyimpanan pada proses fotosintesis yang ada di dalam tumbuh-tumbuhan. Jadi, dapat dibayangkan bahwa semua kegiatan membutuhkan energi matahari dalam setiap prosesnya. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa energi surya merupakan sumber segala energi (Widayana, 2012).

Terdapat dua cara yang dapat dilakukan untuk mengonversi energi matahari menjadi energi listrik, yaitu sebagai berikut.

- Sel Surya (*Photovoltaic* atau *Solar Cell*)
Cara kerja dari sel surya ini adalah dengan mengubah sinar matahari langsung menjadi energi listrik (Kandi & Winduono, 2012). Pada umumnya, energi surya *photovoltaic* ini digunakan secara langsung

untuk memenuhi keperluan terkait listrik, pompa air, televisi, lemari pendingin, dan lain-lain pada bangunan (Sinaga & Diponegoro, 2021).



Gambar 16. Sel Surya pada Atap Hunian
Sumber: (LP2M Universitas Medan Area, 2020)

- Pembangkit Listrik Tenaga Matahari (*Solar Power Plants*)

Proses yang pengonversian secara tidak langsung dari energi sinar matahari menjadi energi listrik merupakan cara kerja Pembangkit Listrik Tenaga Matahari ini. Namun, terlebih dahulu dilakukan pengumpulan terhadap energi panas dan matahari menggunakan alat pengumpul panas yang bertujuan untuk melakukan pemanasan pada fluida. Ketika fluida sudah dipanaskan, maka akan muncul uap-uap yang akan dimanfaatkan untuk menyalakan generator. (Kandi & Winduono, 2012).



Gambar 17. Pembangkit Listrik Tenaga Matahari
Sumber: (Spasić, 2021)

Berdasarkan SNI 8395:2017, sistem pembangkit listrik dengan energinya bersumber dari radiasi matahari disebut sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Instalasi PLTS diaplikasikan dalam konfigurasi sistem terpusat maupun tersebar dengan masing-masing aplikasi tersebut bersifat *off-grid* dan *on-grid*. Berikut perbedaan antara sistem PLTS *off-grid* dan *on-grid* (Rachmi *et al.*, 2020).

Tabel 1. Perbedaan Sistem PLTS *on-grid* dan PLTS *off-grid*

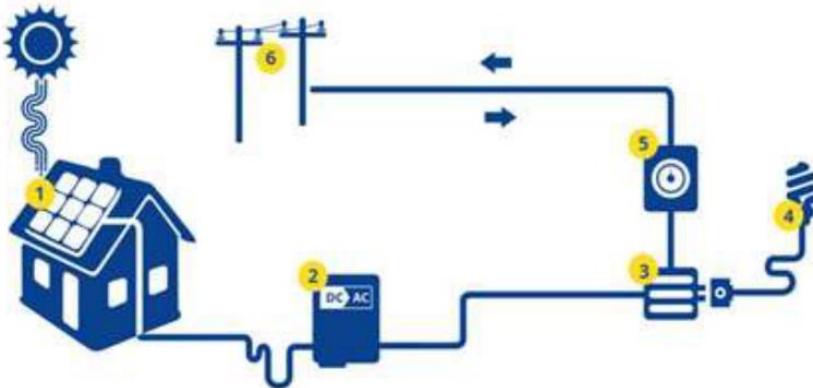
	PLTS <i>off-grid</i>	PLTS <i>on-grid</i>
Pengertian	Sistem PLTS yang sistemnya tidak terkoneksi dengan jejaring listrik PLN.	Sistem PLTS yang sistemnya terkoneksi dengan jejaring distribusi yang telah dipasok oleh pembangkit listrik lainnya (misalnya, jaringan PLN).
Baterai	Secara umum, sistem ini memanfaatkan komponen baterai agar sistem dapat bekerja dan menyalurkan listrik.	Secara umum, tidak memanfaatkan komponen baterai dalam penggunaannya, tetapi sistem ini tidak

	Dalam hal ini seperti pada malam hari atau saat musim hujan yang menyebabkan tidak munculnya matahari. Akan tetapi, pada berbagai aplikasi atau alat lain tetap dapat dipakai walaupun tanpa menggunakan baterai. Contohnya, seperti <i>solar water pump</i> , dengan syarat bahwa alat ini digunakan saat matahari bersinar saja.	dapat beroperasi ketika malam hari atau ketika tidak terhubung dengan jejaring listrik PLN.
Contoh Aplikasi	<p>Sistem Terpusat. PLTS Komunal (pada umumnya digunakan untuk listrik pedesaan).</p> <p>Sistem Tersebar. <i>Solar Home Sistem</i> (SHS-untuk disetiap rumah), <i>Solar Water Pump</i> (pompa air untuk minum), <i>Solar Public Lighting</i> (Penerangan jalan umum), dan lain-lain.</p>	<p>Sistem Terpusat. PLTS skala komersial oleh pengembang yang dijual ke PLN (<i>IPP/Independent Power Producer</i>).</p> <p>Sistem Tersebar. PLTS Atap</p>

Sumber: Buku Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap di Indonesia (Rachmi *et al.*, 2020)

Saat ini, instalasi PLTS yang diintegrasikan dengan listrik dari PLN, biasanya disebut *on-grid*. Sistem telah cukup banyak dimanfaatkan oleh masyarakat Indonesia. Untuk mendukung perkembangan PLTS di Indonesia, Pemerintah telah merencanakan Gerakan Sejuta Surya Atap (GNSSA) (Perdana *et al.*, 2018).

Pada umumnya, dalam memanfaatkan energi surya ini, masyarakat lebih banyak menggunakan mekanisme PLTS Atap. Menurut ketentuan dalam Peraturan Menteri ESDM No. 49 Tahun 2018, Permen No. 13 Tahun 2019, dan Permen No. 16 Tahun 2019, secara garis besar PLTS Atap ini merupakan jenis pembangkit tenaga listrik yang menerapkan penggunaan modul fotovoltaik yang dalam pengaplikasiannya biasanya diletakkan pada bagian atap, dinding, atau bagian yang dapat menunjang dalam pengaplikasian alat ini (Rachmi *et al.*, 2020).

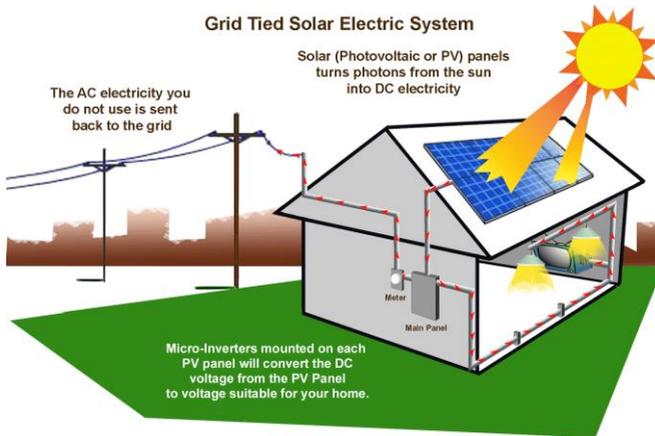


Gambar 18. Mekanisme PLTS *on-grid*
Sumber: (Perdana *et al.*, 2018; Rachmi *et al.*, 2020)

Adapun penjelasan mengenai PLTS *on-grid*, yaitu sebagai berikut.

1. Proses konversi oleh panel surya yang melakukan perubahan dari energi matahari menjadi energi listrik. Melalui proses ini, panel surya akan memproduksi arus listrik.
2. Perubahan arus DC oleh inverter menjadi listrik AC.
3. Pemasukan arus AC ke jaringan listrik di dalam rumah melalui AC *breaker panel*.

4. Pemakaian energi listrik untuk penerangan atau peralatan elektronik rumah tangga.
5. Penggunaan kWh meter ekspor impor (*exim*) dengan menggunakan sistem *net metering*.
6. Meter *exim* akan membaca ekspor listrik dari pelanggan PLTS ke jaringan PLN, dan membaca impor (Rachmi *et al.*, 2020).



Gambar 19. Contoh Pengaplikasian Panel Surya pada Hunian
Sumber: clipart-library.com

Saat ini, Indonesia memiliki sebuah ladang panel surya terbesar di Indonesia. Terdapat 64.620 bentangan panel surya terbesar terbentang di atas ladang dengan luas 29 Ha di Desa Wineru, Kecamatan Likupang Timur, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara. Alat ini difungsikan sebagai sumber energi listrik semenjak 5 September 2019. Kapasitas yang disalurkan mencapai 15 MW. Jam operasionalnya dimulai dari 05.30 WIB hingga 17.30 WIB selama 12 jam (Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE), 2020b).



Gambar 20. Ladang Panel Surya Terbesar di Indonesia
Sumber: (Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE), 2020b)

2. Energi Angin

Angin berupa gerakan udara merupakan aliran dalam jumlah yang besar sebagai akibat dari rotasi bumi. Angin ini terjadi karena adanya perbedaan tekanan udara. Pada dasarnya, angin mengalir dari daerah yang memiliki tekanan udara tinggi ke daerah yang memiliki tekanan udara rendah (Nanang *et al.*, 2017).

Gaya angin yang berhembus di permukaan bumi menghasilkan sebuah energi merupakan pengertian dari energi angin. Energi angin termasuk dalam energi terbarukan karena keberadaannya akan terus tersedia. Energi angin ini merupakan konversi dari energi angin ke energi mekanik untuk menghasilkan usaha, kemudian dari energi mekanik dikonversikan menjadi energi listrik. (Kandi & Winduono, 2012).

Pada umumnya, turbin angin merupakan sebuah teknologi yang diaplikasikan untuk memanfaatkan energi angin. Banyak negara-negara yang sudah membangun turbin angin yang dimanfaatkan sumber energi

listrik, seperti Jerman, Amerika Serikat, Denmark, India, maupun China. Kincir-kincir angin yang berputar tergabung dalam kesatuan yang biasa disebut sebagai turbin angin dimanfaatkan untuk membangkitkan tenaga listrik (Nanang *et al.*, 2017). Mekanisme penggunaan energi angin sebagai sumber energi telah lama diimplementasikan. Misalnya, pada masa zaman Babilonia Kuno saat energi angin sudah digunakan untuk kebutuhan irigasi, penggilingan padi, dan kebutuhan pertanian lainnya (Azirudin, 2019).

Berdasarkan sumbunya, terdapat dua (2) jenis turbin angin, yaitu sebagai berikut.

- Turbin Angin dengan Sumbu Horizontal

Secara visualisasi, pada puncak menara Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) mempunyai poros rotor utama dan generator listrik. Untuk turbin yang berukuran kecil digerakkan oleh baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan untuk turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang disatukan ke sebuah servo motor. Sebagian besar turbin angin memiliki *gearbox* yang berfungsi untuk mengubah perputaran kincir yang semulanya pelan menjadi lebih cepat berputar (Nanang *et al.*, 2017).



Gambar 21. Turbin Angin Sumbu Horizontal
Sumber: taroad.com

Untuk daerah atau wilayah yang memiliki potensi kecepatan energi angin rendah dengan kecepatan angin rata-ratanya kurang dari 4m/s cocok menggunakan jenis Turbin Angin Sumbu Horizontal (Ihwan & Sota, 2010).

- Turbin Angin dengan Sumbu Vertikal

Secara visual, Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) mempunyai poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Perbedaan dengan Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) adalah generator dan *gearbox* bisa ditempatkan di dekat tanah sehingga menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah untuk diakses untuk keperluan perawatan. Untuk daerah-daerah yang memiliki arah angin yang sangat bervariasi cocok menggunakan jenis turbin dengan sumbu vertikal ini karena jenis turbin ini mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah (Nanang *et al.*, 2017).



Gambar 22. Turbin Angin Sumbu Vertikal
Sumber: taroada.com

Berdasarkan dari kedua jenis turbin di atas, didapatkan bahwa prinsip konversi energi pada turbin angin, yaitu mengubah energi potensial angin menjadi energi kinetic dengan generator dan *gear box* menjadi alat utamanya. Gerakan pisau-pisau pada turbin yang bergerak akibat hembusan angin akan menghasilkan arus listrik pada generator. Pembangkit listrik angin ini jauh lebih efisien menghasilkan listrik dibandingkan pembangkit listrik surya, mengingat kesediaan angin yang terus ada sepanjang hari. Agar turbin bisa bergerak dan berputar, dibutuhkan kecepatan angin minimal, yaitu 2 m/s. Melalui kecepatan ini, maka turbin angin akan memproduksi listrik yang setimbang menyesuaikan pada kapasitas generatornya, yaitu dengan rerata 6 m/s hingga 10 m/s. Wilayah yang sesuai untuk diletakkan pembangkit ini adalah wilayah pantai, pesisir, dan pegunungan (Nanang *et al.*, 2017).



Gambar 23. Sistem Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Angin Secara Umum
Sumber: (Pusat Asesmen dan Pembelajaran Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan RI, 2020)

Untuk mengetahui perbandingan antara kecepatan angin dan indikator di daratan dapat dilihat dalam tabel berikut (Daryanto, 2007).

Tabel 2. Perbandingan antara kecepatan angin dan indikator yang ada di daratan

No.	Kecepatan Angin (mph)	Jenis Angin	Indikator di Daratan
1	0-1	Reda	Setiap Asap Tegak
2	2-6	Sepoi-Sepoi	Setiap Asap Miring
3	7-12	Lemah	Daun Bergerak
4	13-18	Sedang	Ranting Bergerak
5	19-26	Agak Keras	Dahan Bergerak
6	27-35	Keras	Batang Pohon Bergerak
7	36-44	Sangat Keras	Batang Pohon Besar Bergerak
8	45-54	Ribut	Dahan Patah
9	55-65	Ribut Hebat	Pohon Kecil Patah
10	66-77	Badai	Pohon Besar Tumbang
11	78-90	Badai Hebat	Rumah Roboh
12	91-104	Taifun	Benda Berat Berterbangan
13	>105	Taifun Hebat	Benda Berterbangan Sejauh Beberapa Kilometer

Sumber: Kajian Potensi Angin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Daryanto, 2007)

Untuk pembangunan dengan rencana pembiayaan energi yang besar, generator turbin angin merupakan sumber daya listrik dengan teknologi paling kompetitif dan mampu bersaing dibandingkan dengan sistem

pembangkit konvensional lainnya. Melimpahnya sumber angin dan sistem yang ramah dan tidak merusak lingkungan menjadi indikator dan hal yang krusial dalam merencanakan dan mengembangkan energi dunia (Swardika & Santiary, 2019).

Indonesia pun memiliki ladang turbin angin terbesar di Indonesia, yaitu PLTB Sidrap di Kabupaten Sidrap, Sulawesi Selatan. Terdapat tiga puluh turbin kincir angin dengan masing-masingnya memiliki kapasitas 2.5 MW pada pembangkit listrik ramah lingkungan ini. Sistem yang digunakan adalah dengan dilakukan penyaluran terhadap listrik yang telah dihasilkan ke PLN menggunakan jaringan interkoneksi yang ada di Sulawesi Selatan dengan saluran transmisinya sebesar 150 KiloVolt yang berjarak 3 kilometer (km) dari PLTB Sidrap. Pembangunannya di atas lahan 100 Ha (Iqsyah & Riswan, 2018).

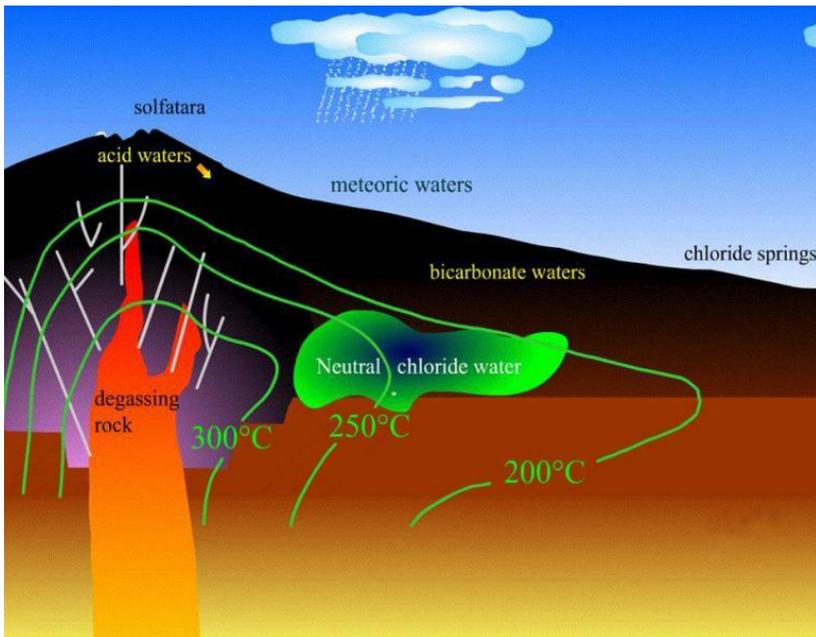


Gambar 24. PLTB Sidrap

Sumber: jawapos.com

3. Energi Panas Bumi

Menurut Undang-Undang No. 23 Tahun 2007, panas bumi merupakan air panas, uap air, serta bebatuan bersama mineral dan gas lainnya yang mengandung energi panas di dalamnya, berdasarkan tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi secara genetik (Undang-Undang No. 21 Tahun 2014 Tentang Panas Bumi, 2014). Energi panas bumi berasal dari dalam bumi, yaitu dari inti bumi dengan kedalaman berkisar 6.400 km dari permukaan bumi. Panas bumi ini merupakan hasil dari pengguguran atau peluruhan partikel-partikel radioaktif di dalam batuan. Terdapat dua lapisan dari inti bumi, yaitu inti dalam dan inti luar. Inti luar tercipta dari batuan cair yang sangat panas atau biasanya disebut dengan magma. Panas bumi berasal dari magma tersebut (Kandi & Winduono, 2012).



Gambar 25. Sumber Energi Panas Bumi
Sumber: (Kompasiana, 2012)

Penemuan sumber panas bumi biasanya tersedia di sepanjang lempengan tempat terjadinya gempa bumi dan gunung berapi. *Ring of fire* merupakan tempat terjadinya hampir semua aktivitas panas bumi atau *geothermal*. Pada awalnya, energi panas bumi dimanfaatkan sebagai sumber air panas untuk pengobatan sejak sekitar 2000 tahun SM karena mengandung garam dan belerang. Selain itu, digunakan juga sebagai air untuk memasak oleh suku Indian. Namun, energi panas bumi ini juga dapat memproduksi listrik. Hal ini terjadi karena apabila terdapat retakan akibat pertemuan antara air panas alam dan udara, mengakibatkan keluarnya air panas dan juga uap panas. Air panas dan uap panas ini dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit energi listrik. Pada tahun 1904, di Italia mulai diperkenalkan dan diaplikasikan pemanfaatan energi panas bumi sebagai pembangkit listrik baru. Pembangkit (*power plants*) dibutuhkan untuk mengonversi energi panas bumi (*geothermal*) menjadi energi listrik (Kandi & Winduono, 2012).

Salah satu negara yang mempunyai potensi terkait sumber daya *geothermal* yang sangat besar jika dilihat dalam skala dunia, yaitu Indonesia. Hal ini dikarenakan Indonesia memiliki sekitar 40% cadangan panas bumi di dunia. Terdapat sebanyak 129 gunung api di Indonesia yang memiliki potensi untuk dikelola menjadi wilayah pengelolaan panas bumi (Hemu, 2021).



Gambar 26. Energi Panas Bumi

Sumber: (Indonesia Environment & Energy Center, 2016)

Menurut survei yang dilakukan oleh Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), terdapat sebanyak 331 wilayah yang memiliki potensi dan terekognisi menjadi wilayah yang akan dikembangkan sebagai sumber energi panas bumi. Adapun sumber daya ini tersebar pada 30 provinsi dengan sumber daya 11.073 MW serta cadangan 17.506 MW (Hemu, 2021).

Jika dilihat secara umum, berikut adalah karakteristik dari energi panas bumi (ESDM, 2017; Hemu, 2021).

- a. Bebas dari risiko kenaikan (fluktuasi) bahan bakar fosil. Mengingat tidak dapat dan tidak ada sistem perdagangan sumber daya panas bumi.
- b. Tidak bergantung pada kondisi cuaca dan udara, pemasok, serta keberadaan, dan kesiapan fasilitas dalam jasa angkut, *loading* serta *unloading* terhadap pasokan bahan bakar.

- c. Tidak membutuhkan ketersediaan lahan yang luas.
- d. Sumber energi yang bersih, *environmental friendly*, serta berkelanjutan.
- e. Tidak dapat diekspor melainkan hanya dapat digunakan untuk konsumsi dalam negeri.

PLTP Geo Dipa Energi yang terletak di Dieng Jawa Tengah adalah contoh PLTP yang mengaplikasikan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) di Indonesia. Dieng merupakan wilayah yang memiliki kontur dan bentuk pegunungan, sumber air panas, *solfataras*, *fumaroles*, dan juga bebatuan yang mencerminkan bahwa wilayah tersebut berpotensi dilakukan pengembangan sumber energi panas bumi. Perkiraan total potensi energi panas bumi yang terdapat di wilayah sekitar Dieng adalah 400 MW (PT. Geo Dipa Energi (Persero), 2022).



Gambar 27. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Geo Dipa Energi di Dieng
Sumber: geodipa.co.id

4. Energi Biomassa

Material yang bersumber baik yang secara langsung maupun tidak langsung dari tumbuh-tumbuhan dan binatang merupakan pengertian dari biomassa (Herlambang *et al.*, 2017; Kandi & Winduono, 2012). Pemanfaatan biomassa ini pada umumnya dipergunakan sebagai sumber energi dengan skala dan jumlah yang besar.

Sumber daya dari biomassa ini berasal dari spesies tanaman, daratan dan lautan, pertanian, perhutanan, limbah residu dan proses industri, limbah, serta kotoran hewan. Tanaman energi dalam skala perkebunan energi yang besar menjadi salah satu biomassa yang menjanjikan, seperti kayu, rumput napier, jerami, sekam padi, sampah dapur, kotoran hewan, *chlorella*, eceng gondok, tebu, rumput gajah, dan lain-lain (Herlambang *et al.*, 2017).

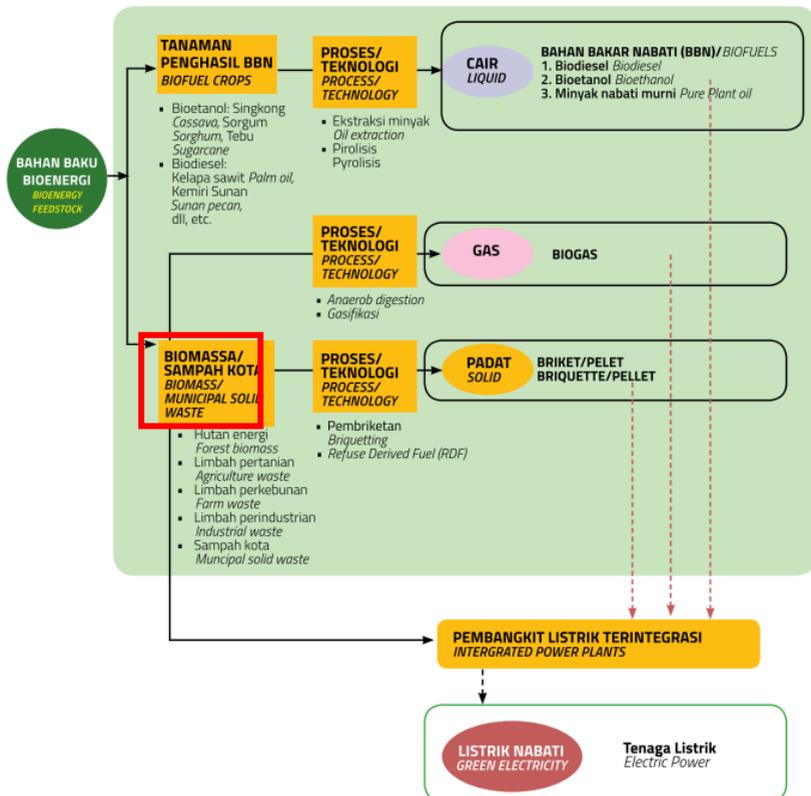


Gambar 28. Sumber Energi Biomassa
Sumber: (Alat Uji Lingkungan, 2018)

Penggunaan biomassa sebagai energi termasuk salah satu sumber energi terbarukan. Hal ini dikarenakan sumber energi ini tidak berkontribusi terhadap penambahan emisi GRK (Gas Rumah Kaca) dengan

jumlah bersih kandungan CO₂ adalah nol. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa biomassa adalah netral karbon (Herlambang *et al.*, 2017).

Selain melalui proses pembakaran untuk menciptakan energi, pemanfaatan biomassa juga dapat diubah atau dikonversi ke bentuk lain. Contohnya, adalah gas metana. Selain itu, terdapat etanol dan biodiesel yang pada dasarnya dimanfaatkan sebagai bahan bakar transportasi dengan bahan bakarnya bersumber dari makhluk hidup (*biofuel*) (Kandi & Winduono, 2012).



Gambar 29. Skema Sistem Penyediaan dan Pemanfaatan Bioenergi
Sumber: (Direktorat Bioenergi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2016)

Menurut Direktorat Bioenergi Kementerian ESDM, salah satu hasil pengklasifikasian dari bioenergi adalah biomassa. Bioenergi ini merupakan energi terbarukan yang bersumber dari bahan baku organik. Terdapat dua macam bahan baku bioenergi jika dilihat berdasarkan asal usul sumbernya, yaitu tanaman penghasil energi (dikhususkan dalam produksi bahan bakar) dan biomassa (hasil produk sertaan pada sebuah aktivitas usaha). Setelah diaplikasikan menggunakan jenis-jenis teknologi tertentu, akan dihasilkan energi primer akibat dari pengolahan bahan baku tersebut. Terdapat tiga jenis energi primer yang dihasilkan, yaitu padat (biobriket), gas (biogas), dan cair (bahan bakar nabati). Penggunaan tiga macam energi primer ini dapat langsung dimanfaatkan sebagai bahan bakar, baik dalam memenuhi kebutuhan industri maupun transportasi. Selain itu, dapat dilakukan konversi menjadi energi sekunder yaitu listrik nabati. Pada umumnya, biomassa/sampah kota merupakan asal atau sumber untuk bahan baku dalam memproduksi listrik nabati ini dengan menghasilkan energi primer tanpa diproses terlebih dahulu (Direktorat Bioenergi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2016).

Contoh Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) *on-grid* yang berada di Indonesia adalah di Gorontalo. PLTB mini menggunakan bahan baku dari limbah tongkol jagung (Direktorat Bioenergi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2016).



Gambar 30. PLTBm di Gorontalo

Sumber: (Direktorat Bioenergi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2016)

5. Energi Air

Sumber Listrik Tenaga Hidro (Air) adalah salah satu jenis energi bersih dan terbarukan yang berpotensi dan dapat meminimalisasi kerusakan lingkungan dan pemanasan global. Pengembangan air sebagai sumber energi listrik dalam skala besar berpotensi untuk pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dan dalam proporsi kecil dapat diekspansi menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) maupun Mikrohidro (PLTMH) (Astro *et al.*, 2020).



Gambar 31. Pembangkit Listrik Tenaga Air

Sumber: (Indonesia Environment & Energy Center, 2020)

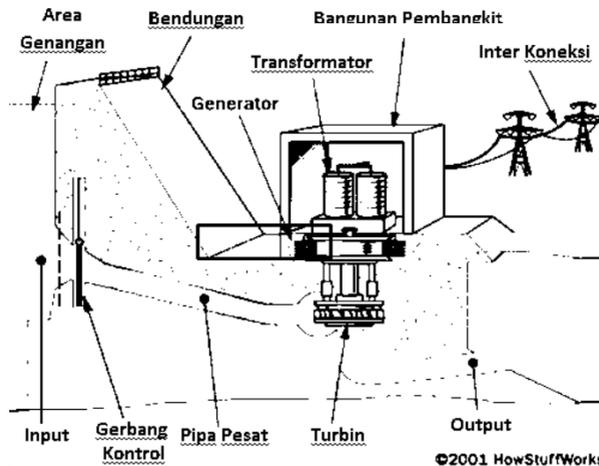
Secara umum, Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM), dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dilakukan pemanfaatan tenaga dari bendungan/waduk, aliran/terjunan air, atau saluran irigasi dimana sifat pembangunannya multiguna. Namun, dalam pengaplikasiannya, yang membedakan antara ketiga jenis ini adalah kapasitasnya. Untuk PLTA memiliki kapasitas lebih dari 10 MW, PLTM memiliki kapasitas lebih dari 1 MW hingga 10 MW, dan PLTMH memiliki kapasitas kurang dari 1 MW (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 09/PRT/M/2016 Tentang Tata Cara Pelaksanaan Kerjasama Pemerintah Dan Badan Usaha dalam Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Air/Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro/Pembangkit, 2016). Secara prinsip kerja, besarnya daya yang diproduksi oleh pembangkit listrik mendapat pengaruh dari potensi debit air dan tinggi jatuhnya air (*head*) yang didapatkan. Semakin tingginya debit air dan *head* pada suatu wilayah, maka semakin tinggi pula potensi daya listrik yang akan dihasilkan (Astro *et al.*, 2020).



Gambar 32. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Sumber: (Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE), 2020)

Secara garis besar, sistem kerja PLTA/PLTM/PLTMH ialah mengonversi energi potensial air (yang sudah dilakukan proses penadahan di waduk) menjadi energi kinetik memanfaatkan aliran air dari pipa pesat (*penstock*). Air yang telah dipercepat menggunakan pipa pesat tersebut akan dimanfaatkan dalam proses pemutaran turbin. Turbin yang telah berputar tersebut disambung dengan *shaft* antara turbin dan generator. Hal ini dimaksud agar rotor pada generator juga akan ikut berputar. Perputaran rotor tersebut akan mengakibatkan perbedaan medan magnet. Proses inilah yang akan menghasilkan energi listrik akibat perpotongan oleh *stator* (Lukas, Daniel Rohi, 2017). Jika pipa pesat (*penstock*) tidak digunakan, sistem pembangkit listrik ini akan memanfaatkan aliran air sungai atau irigasi secara natural dengan menggunakan sistem gravitasi. Namun, hal ini akan memengaruhi besarnya debit air dan daya listrik yang akan dihasilkan (Astro *et al.*, 2020).



Gambar 33. Skema Potongan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)
Sumber: (Wahyudiana, 2019)



Gambar 34. Skema Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro/Mikrohidro
Sumber: (Astro *et al.*, 2020)

Salah satu contoh Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di Indonesia adalah PLTA Cirata yang terletak di Jawa Barat. PLTA Cirata ini merupakan PLTA terbesar di Indonesia. Beberapa daerah di Jawa, Madura, dan Bali (Jamali) merupakan wilayah yang mendapatkan manfaat tenaga listrik dari PLTA Cirata (Wahyudiana, 2019).



Gambar 35. PLTA Ciraya Jawa Barat
Sumber: konstruksibesar.com

6. Energi Laut

Energi laut merupakan suatu jenis energi terbarukan dimana bersumber daya dari laut yang dibutuhkan untuk mendukung aktivitas lain. Contohnya, dikonversi menjadi energi listrik. Berdasarkan beberapa penelitian, sumber-sumber energi laut ini berpotensi untuk dikembangkan, khususnya untuk masyarakat di pesisir dan pulau-pulau terpencil yang belum terakses oleh jaringan listrik.



Gambar 36. Kampung Bungin Bekasi sudah mulai menerapkan EBT
Sumber: www.mongabay.co.id

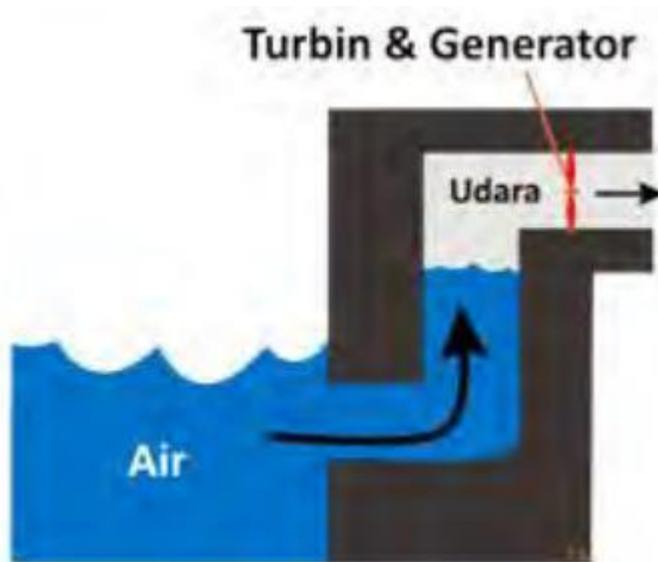
Adapun beberapa sumber energi daya laut yang bisa digunakan meliputi energi arus pasang surut, energi arus laut, angin lepas pantai, gelombang, arus sungai, energi gradien salinitas, dan energi laut gradien termal (panas laut) (Luhur *et al.*, 2013). Namun, secara umum, pemanfaatan energi yang sering dimanfaatkan adalah gelombang laut (ombak), pasang surut, dan panas laut (Nugroho *et al.*, 2019).

a. Energi Gelombang Laut

Secara teknis, gelombang laut memanfaatkan energi kinetik yang bersumber dari gerakan gelombang laut di permukaan atau menekan udara dengan memanfaatkan gelombang. Gelombang laut mempunyai energi kinetik yang tergolong besar. Metode konversi energi gelombang laut cukup banyak, tetapi secara umum yang lebih sering digunakan melalui dua (2) metode, yaitu sebagai berikut.

- Osilasi Kolom Air

Proses menghasilkan energi listrik dari alat osilasi kolom air ini adalah dengan memanfaatkan energi gelombang yang masuk ke lubang pintu kolom osilasi, yang mengakibatkan terjadinya fluktuasi maupun gerakan air dalam kolom osilasi. Pada tahap ini menghasilkan tekanan udara di mana tekanan udara ini dimanfaatkan untuk memutar baling-baling turbin yang sudah dikoneksikan dengan generator listrik (Tae *et al.*, 2015).



Gambar 37. Prinsip Kerja Osilasi Kolom Air
Sumber: (Nugroho *et al.*, 2019)

- Sistem Pelampung

Metode sistem pelampung merupakan metode yang sering digunakan dalam mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik. Pada dasarnya, metode sistem pelampung ini memanfaatkan gerakan naik dan turun gelombang laut. Piston atau pompa hidrolis ditempatkan dalam sebuah alat yang mengapung di laut. Alat tersebut akan menghasilkan gerak naik turun ketika gelombang laut bertabrakan dengan alat tersebut sehingga menghasilkan energi listrik. Salah satu contoh alat tersebut adalah Aquacadoura yang pernah diaplikasikan di Portugal (Nugroho *et al.*, 2019).



Gambar 38. Aquacadoura
Sumber: (Nugroho *et al.*, 2019)

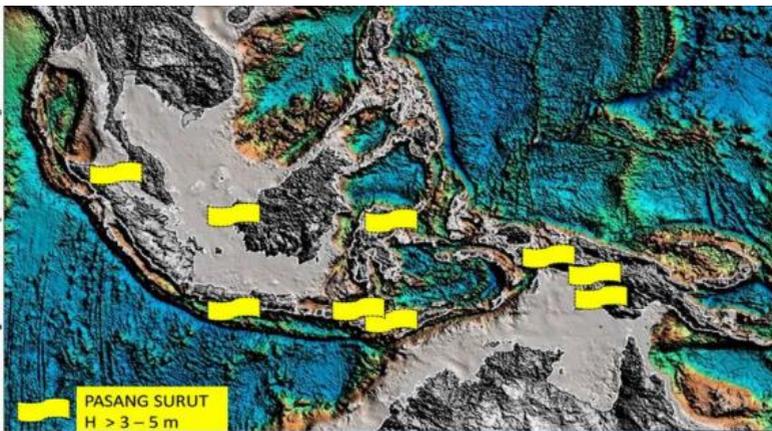
b. Energi Pasang Surut

Pemanfaatan energi potensial yang terkandung pada air laut akibat pergerakan pasang surut air laut yang difungsikan untuk menghasilkan sebuah energi merupakan pengertian dari energi pasang surut. Energi pasang surut ini seringkali disebut sebagai energi tidal (Nugroho *et al.*, 2019). Energi yang bersumber dari laut ini merupakan salah satu jenis

energi terbarukan yang cocok dikembangkan di Indonesia, mengingat Indonesia merupakan daerah kepulauan yang memiliki pantai dan laut lepas.

Berdasarkan beberapa riset, kemampuan dalam pengembangan energi dari laut ini bisa mencapai atau mencukupi empat kali lipat kebutuhan energi dunia. Pernyataan ini didasari oleh perhitungan luas laut yang mencapai 70% dari permukaan bumi. Dengan demikian, 30% energi di daratan dapat dipenuhi dari sumber energi pasang surut air laut tersebut (Nugroho *et al.*, 2019).

Indonesia sudah memiliki Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) dan Asosiasi Energi Laut Indonesia (ASELI) sebagai *stakeholders* yang berperan dalam riset yang ada kaitannya dengan konversi energi dari laut di Indonesia.



Gambar 39. Potensi Energi Pasang Surut di Perairan Indonesia
Sumber: (Alifdini *et al.*, 2016)

Menurut Asosiasi Energi Laut Indonesia (ASELI) pada tahun 2011, arus pasang surut di Indonesia memiliki potensi teoretis sebesar 160 GW, potensi teknis sebesar 22.5 GW, dan potensi praktis 4.8 GW (Aprilia *et al.*, 2019).

Dalam proses konversi energi pasang surut menjadi energi listrik, terdapat dua metode yang diaplikasikan, yaitu sebagai berikut.

- Bendungan Pasang Surut

Metode ini memanfaatkan bendungan dengan *penstock* atau pipa air yang memiliki tekanan dialiri oleh aliran air. Pada umumnya, di dalam *penstock* ini dipasang turbin di dalamnya. Perbedaan ketinggian juga menjadi salah satu faktor dalam proses ini dengan perbedaan ketinggian antara ketinggian permukaan air laut dan ketinggian kolam bendungan akan mewujudkan tinggi jatuhan air efektif atau *net head*. Jika adanya aliran air yang terjadi antara laut dan bendungan, maka akan terjadi proses pengisian dan pengosongan pada kolam bendungan. Di mana, pada proses pengisian dan pengosongan ini akan terjadi pasang surut. Jika *penstock* atau pipa yang bertekanan dipasangkan turbin (seperti yang disebutkan di atas), maka turbin tersebut dapat berputar/bergerak akibat terjadinya pengosongan dan pengisian yang mengakibatkan pasang surut. Ketika turbin berputar, maka konversi energi listrik akan terjadi. Metode bendungan pasang surut ini sering disebut mirip dengan metode konversi hidroenergi (seperti: mikrohidro) (Nugroho *et al.*, 2019).



Gambar 40. Proses Kerja Bendungan Pasang Surut

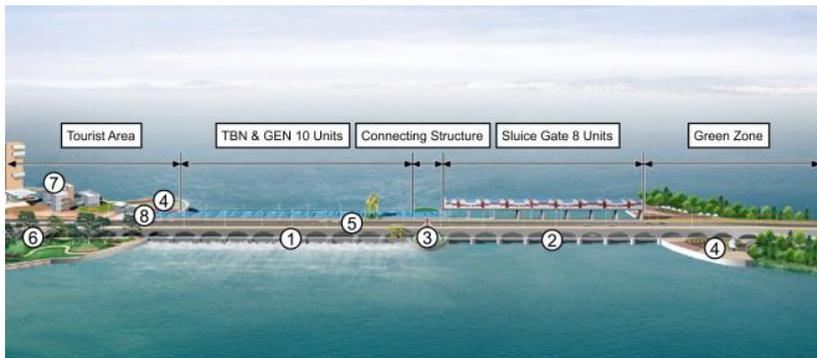
Sumber: (Nugroho *et al.*, 2019)

Beberapa contoh instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut adalah *La Barrage De La Rance* atau *Rance Tidal Power Station* di Perancis dan *Sihwa Lake Tidal Power Station* yang di Korea Selatan yang merupakan Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut terbesar di dunia.



Gambar 41. Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut di La Rance Perancis
Sumber: ezkhelenergy.blogspot.com

Berikut merupakan tampak perspektif dari *Sihwa Lake Tidal Power Station* di Korea Selatan.



Gambar 42. Tampak Perspektif Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut Sihwa di Korea
Sumber: (Bae *et al.*, 2010)



Gambar 43. Sihwa Lake Tidal Power Station di Korea Selatan
Sumber: wetskills.com

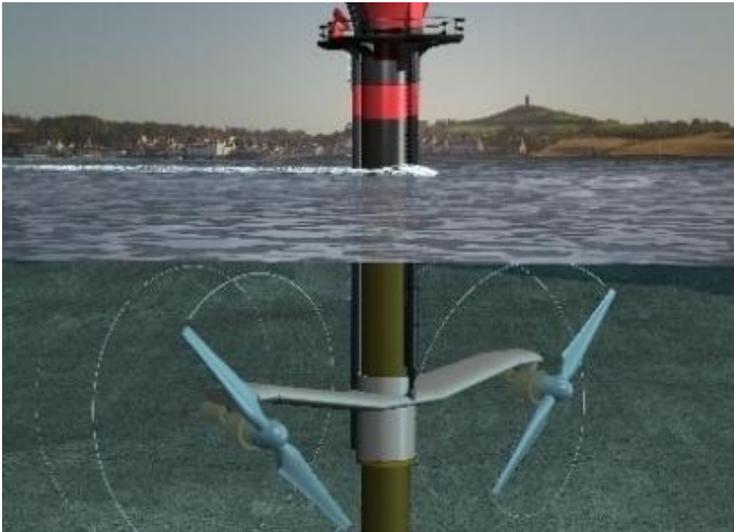
- Turbin Lepas Pantai

Metode ini memanfaatkan pergerakan pasang surut akibat adanya arus laut yang kemudian akan menyebabkan turbin yang berada di dalam air berputar. Berdasarkan beberapa penelitian, turbin lepas pantai ini lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan turbin angin. Massa jenis air laut yang lebih besar dibandingkan massa jenis udara merupakan salah satu dampaknya (Nugroho *et al.*, 2019).



Gambar 44. Turbin Lepas Pantai
Sumber: clubtermodinamika.blogspot.com

Metode ini sering disebut mirip dengan metode konversi energi angin. Salah satu contoh pengaplikasian Turbin Lepas Pantai adalah turbin *SeaGen* oleh *Siemens Energy*.



Gambar 45. Turbin Lepas Pantai *SeaGen* dari *Siemens Energy*
Sumber: www.renewableenergymagazine.com

c. Energi Panas Laut

Selain energi gelombang laut dan energi pasang surut, terdapat potensi lain untuk mengembangkan potensi laut sebagai sumber energi, yaitu menggunakan panas laut. Menurut sumber yang sama, adapun besaran potensi yang dimiliki oleh masing-masing jenis pengembangan adalah sebagai berikut.

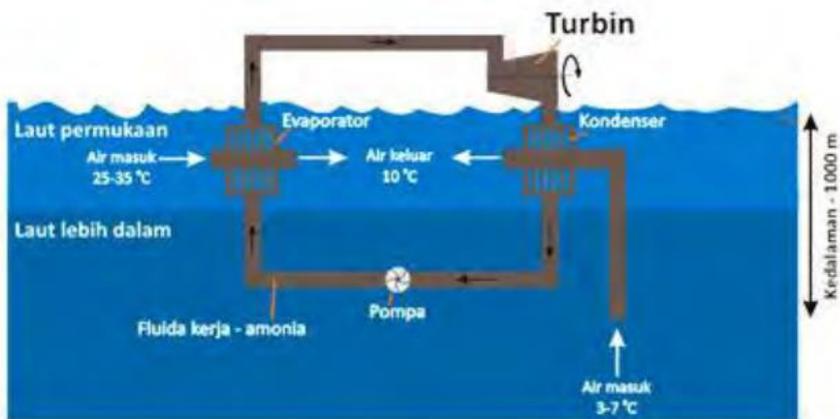
Tabel 3. Potensi yang dimiliki Indonesia pada Gelombang Laut dan Panas Laut

Jenis Pengembangan	Potensi Teoretis	Potensi Teknis	Potensi Praktis
Gelombang Laut	510 GW	2 GW	1.2 GW
Panas Laut	57 GW	52 GW	43 GW

Sumber: (Aprilia *et al.*, 2019)

Berdasarkan penelitian lain menyatakan bahwa potensi panas laut di Indonesia tergolong tinggi, yaitu mencapai 57 GW. Jika dibandingkan dengan potensi energi panas bumi (*geothermal*), maka energi yang akan dihasilkan dari energi panas laut jauh lebih besar dua kali lipat. Namun, mengingat infrastruktur dan utilitas yang terbatas pengembangan energi panas laut lebih sedikit (Aprilia *et al.*, 2019). Namun, sumber energi ini dapat menjadi potensi yang baik untuk ke depannya. Berdasarkan teori ini, Indonesia juga memiliki potensi yang besar untuk mengembangkan sumber energi baru dan terbarukan, terutama untuk energi listrik, dengan memanfaatkan potensi dari laut.

Energi Panas Laut ini sering disebut sebagai *Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)*. Secara garis besar, metode energi panas laut ini memanfaatkan perbedaan yang ada di dalam laut dan di permukaan laut. Mengingat adanya penyerapan panas dari sinar matahari, besarnya suhu yang ada pada permukaan laut jauh lebih hangat dibandingkan yang berada di dalam laut. Perbedaan suhu ini yang akan mengubah fluida kerja menjadi uap dimana akan dimanfaatkan dalam proses pemutaran turbin.



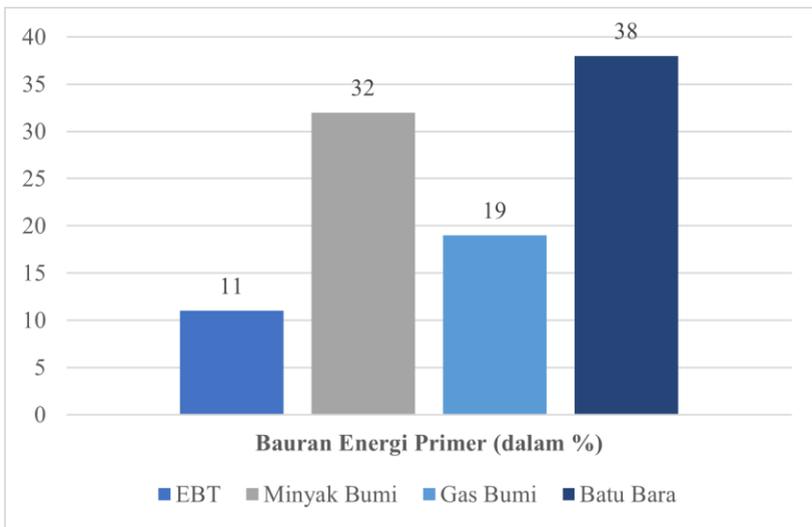
Gambar 46. Proses Kerja Energi Panas Laut
Sumber: (Nugroho *et al.*, 2019)



BAB 3.
ENERGI BARU
DAN
TERBARUKAN
DI INDONESIA

A. Perkembangan EBT di Indonesia dalam Angka

Berdasarkan data dari Kementerian Energi Sumber Daya dan Mineral (ESDM), perkembangan kondisi bauran energi yang melekat pada sumber daya alam (primer) di Indonesia masih dikuasai oleh energi fosil. Pada tahun 2021, pengaplikasian Energi Baru dan Terbarukan ada di angka 11% dan belum dimanfaatkan secara maksimal. Sumber energi yang berasal dari fosil masih mendominasi di angka 89%, dimana 38% pada penggunaan batu bara, 32% pada penggunaan minyak bumi, dan 19% pada penggunaan gas bumi (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2021).



Grafik 1. Kondisi Bauran Energi Primer di Indonesia Tahun 2021
Sumber: (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2021)

Kesepakatan Paris (*Paris Agreement*) telah ditandatangani oleh 195 negara, dengan Indonesia juga termasuk dalam negara yang menandatangani kesepakatan atau *agreement* tersebut. Selain itu, Indonesia juga tergabung dalam 164 negara-negara yang mengesahkannya. Dengan demikian, untuk memenuhi dan mencapai tanggung jawab

internasional ini, Indonesia menyusun dan melaksanakan target nasional dalam melakukan penurunan emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Untuk mencapai penurunan emisi GRK ini, sebesar 29% dilakukan melalui usaha mandiri negara pada tahun 2030, sedangkan target yang lebih besar yaitu sebesar 41% dengan bantuan internasional (IESR, 2017). Oleh karena itu, Indonesia secara konsisten untuk meningkatkan dan mengembangkan penggunaan energi baru dan terbarukan, terutama di bidang ketenagalistrikan.

Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) mengatakan bahwa Indonesia mempunyai sasaran penggunaan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) di bauran energi nasional sebesar 23% pada tahun 2025. Selain itu, target pada tahun 2050 adalah sebesar 31%. Berikut adalah target pembangunan pembangkit Energi Baru dan Terbarukan menurut Kementerian ESDM pada tahun 2016:

Tabel 4. Target Pembangunan Pembangkit Energi Baru dan Terbarukan

Jenis Pembangkit	Target 2025 (MW)	Target 2050 (MW)
Surya	6.379	45.000
Air dan Mikrohidro	20.960	45.379
Angin	1.807	28.607
Panas Bumi	7.241	17.546
Bioenergi	5.532	26.123
EBT Lainnya	3.128	6.383

Sumber: (IESR, 2017)

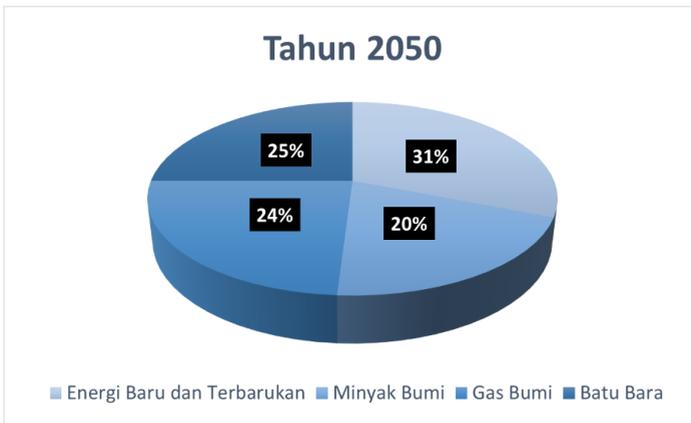
Dalam penerapan Energi Baru dan Terbarukan, Indonesia memiliki kemampuan yang sangat besar untuk menerapkannya pada berbagai macam jenis energi. Indonesia memiliki potensi energi terbarukan untuk ketenagalistrikan mencapai 443 GW, yang terdiri atas bioenergi surya, air, mikro-mini hidro, gelombang laut (tidal), panas bumi, dan angin. Berdasarkan data ini, di Indonesia, tenaga surya memiliki alokasi sumber

energi terbesar, yaitu lebih dari 207 MW, selanjutnya diikuti oleh potensi energi air serta energi angin (IESR, 2017).

Kebijakan Energi Nasional (KEN) dalam Peraturan Presiden No. 79 Tahun 2014 mengatakan bahwa terdapat target dalam pelaksanaan bauran energi di tahun 2025 dan tahun 2050 sebagai berikut.



Grafik 2. Target Bauran Energi Primer di Indonesia Tahun 2025
Sumber: (Suhud, Muhammad. Tumiwa, Fabby. Imelda, 2015)



Grafik 3. Target Bauran Energi Primer di Indonesia Tahun 2050
Sumber: (Suhud, Muhammad. Tumiwa, Fabby. Imelda, 2015)

B. Sustainable Development Goals (SDGs)

Sustainable Development Goals (SDGs) merupakan suatu rencana gerakan global yang telah disusun oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) dan disetujui oleh para kepala/pemimpin di dunia dengan tujuan utama untuk menghapuskan kemiskinan, melindungi lingkungan, dan mengurangi kesenjangan. SDGs ini melibatkan 194 negara, dari berbagai pelaku ekonomi dan masyarakat sipil dari seluruh penjuru dunia. SDGs ini diharapkan dapat berhasil diimplementasikan pada tahun 2030. Di dalamnya terdapat 17 tujuan yang dijabarkan menjadi 169 target. Berikut penjabaran 17 tujuan dari *Sustainable Development Goals* (Cahyadi *et al.*, 2021; Sustainable Development Goals, n.d.).

1. SDGs Tujuan 01 membahas mengenai target, langkah-langkah, dan implementasi yang diambil untuk mengakhiri kemiskinan di seluruh dunia.
2. SDGs Tujuan 02 membahas mengenai target, langkah-langkah, dan implementasi yang diambil untuk mengatasi masalah kelaparan, mendapatkan ketahanan pangan, dan mengedepankan pertanian yang berkelanjutan.
3. SDGs Tujuan 03 membahas mengenai target, langkah-langkah, dan implementasi yang diambil untuk menetapkan kehidupan yang bugar dan sehat, serta mengedepankan kesejahteraan untuk semua orang di berbagai kalangan usia.
4. SDGs Tujuan 04 membahas mengenai target, langkah-langkah, dan implementasi yang diambil untuk memastikan semua anak didik mendapatkan pendidikan yang komprehensif dan berkualitas, serta mendukung agar semua manusia mendapatkan kesempatan belajar seumur hidup.
5. SDGs Tujuan 05 membahas mengenai target, langkah-langkah, dan implementasi yang diambil untuk memastikan tercapainya

ekualitas dan kesetaraan gender, terlaksananya pemberdayaan bagi semua kaum perempuan di semua usia.

6. SDGs Tujuan 06 membahas mengenai target, langkah-langkah, dan implementasi yang diambil untuk memastikan kesiapan, ketersediaan air bersih, dan pengelolaan air bersih dengan konsep sustainabilitas, serta ketersediaan dan kelayakan sanitasi yang dapat diperoleh semua manusia.
7. SDGs Tujuan 07 membahas mengenai target, langkah-langkah, dan implementasi yang diambil untuk memastikan dan menyakinkan adanya akses dan ketersediaan energi yang dapat dijangkau, berkelanjutan, dapat diandalkan, serta terkini bagi semua kalangan.
8. SDGs Tujuan 08 membahas mengenai target, langkah-langkah, dan implementasi yang diambil untuk memberi dukungan bagi perkembangan ekonomi yang adil, komprehensif, serta berkelanjutan, pekerjaan yang memadai, dan tenaga kerja yang produktif.
9. SDGs Tujuan 09 membahas mengenai target, langkah-langkah, dan implementasi yang diambil untuk menciptakan infrastruktur yang kokoh, memberi dorongan terhadap dunia industri yang komprehensif dan menggunakan konsep sustainabilitas, serta memastikan adanya pertumbuhan inovasi.
10. SDGs Tujuan 10 membahas mengenai target, langkah-langkah, dan implementasi yang diambil untuk menurunkan kesenjangan di dalam negara dan antar negara.
11. SDGs Tujuan 11 membahas mengenai target, langkah-langkah, dan implementasi yang diambil untuk menciptakan kota dan pemukiman yang komprehensif, aman, kokoh, serta berkelanjutan.

12. SDGs Tujuan 12 membahas mengenai target, langkah-langkah, dan implementasi yang diambil untuk meyakinkan pola produksi dan konsumsi yang berkelanjutan dalam masyarakat.
13. SDGs Tujuan 13 membahas mengenai target, langkah-langkah, dan implementasi yang diambil untuk menetapkan segera aksi dalam mengatasi perubahan iklim beserta dampaknya.
14. SDGs Tujuan 14 membahas mengenai target, langkah-langkah, dan implementasi yang diambil untuk memelihara dan menggunakan sumber daya laut, samudera, dan maritim secara berkelanjutan dalam pembangunan dengan konsep sustainabilitas.
15. SDGs Tujuan 15 membahas mengenai target, langkah-langkah, dan implementasi yang diambil untuk melestarikan, memperbaiki dan memberikan dorongan dalam hal pemanfaatan ekosistem daratan dan pengelolaan hutan dengan konsep sustainabilitas, melawan desertifikasi, mengendalikan dan membalikkan penurunan tanah. Selain itu juga, mengatasi atas kehilangan keanekaragaman hayati.
16. SDGs Tujuan 16 membahas mengenai target, langkah-langkah, dan implementasi yang diambil untuk memberi dorongan kepada masyarakat agar tercipta kedamaian dan komprehensif terhadap pembangunan berkelanjutan, melakukan penyediaan terhadap pintu keadilan bagi semua manusia, serta menciptakan lembaga-lembaga yang berdaya guna, akuntabel dan komprehensif pada semua kalangan.
17. SDGs Tujuan 17 membahas mengenai target, langkah-langkah, dan implementasi yang diambil untuk meneguhkan ukuran realisasi dan menghidupkan kembali kemitraan universal terhadap pembangunan dengan konsep sustainabilitas.



Gambar 47. Sustainable Development Goals (SDGs) 2030
Sumber: (Cahyadi *et al.*, 2021)

Melihat dari 17 tujuan SDGs di atas, SDGs tujuan 07 membahas mengenai keberlangsungan energi bersih dan terbarukan di Indonesia untuk mendukung pelaksanaan dan pengaplikasian EBT. SDGs tujuan 07 ini mempunyai tujuan, yaitu meyakinkan adanya akses terhadap energi yang bisa dijangkau, dapat diandalkan, berkonsep sustainabilitas, dan terkini

bagi semua kalangan. SDGs Tujuan berikut memiliki tiga poin target yang akan dicapai di tahun 2030, yaitu sebagai berikut.

1. Meyakinkan adanya ketersediaan akses yang menyeluruh terhadap penyediaan dan servis energi yang terjangkau, canggih, terkini, dan dapat diandalkan di tahun 2030.
2. Meyakinkan terciptanya pengembangan energi terbarukan secara substantif dalam bauran energi global di tahun 2030.
3. Melipatgandakan laju perbaikan ketepatangunaan energi di tahun 2030, dengan melakukan upaya sebagai berikut.
 - a. Memperluas pada bidang kerjasama internasional dalam menyediakan fasilitas dan akses pada penelitian dan perkembangan teknologi energi yang bersih. Di antaranya adalah energi dengan konsep keberlanjutan, ketepatangunaan energi dan penggunaan teknologi dengan bahan bakar fosil yang lebih *clean* dan berkembang, serta mendukung penanaman modal dalam hal sarana dan prasarana (*infrastructure*) terkait teknologi energi bersih dan energi pada tahun 2030.
 - b. Memperbanyak prasarana dan mengembangkan kualitas teknologi dalam hal penyediaan servis energi yang terkini dan berkelanjutan untuk semua negara yang sedang berkembang, terutama pada negara yang kurang berkembang, negara dengan kepulauan kecil, negara berkembang yang dibatasi oleh daratan-daratan. Hal ini disesuaikan kembali pada bantuan program masing-masing daerah di tahun 2030 (Sustainable Development Goals, n.d.).

LATIHAN SOAL
BAGIAN B

Soal

1. Jelaskan pengertian sumber energi baru menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 79 Tahun 2014!
2. Jelaskan mengenai sumber energi tak terbarukan dan sebutkan contohnya!
3. Jelaskan mengenai sumber energi terbarukan dan sebutkan contohnya!

Jawaban

REFERENSI

- Alat Uji Lingkungan. (2018). *Energi Biomassa, Energi Alternatif yang Dapat Diperbaharui*. <https://alatujilingkungan.id/energi-biomassa-energi-alternatif-yang-dapat-diperbaharui/>
- Alifdini, I., Widodo, A. B., Sugianto, D. N., & Andrawina, Y. O. (2016). *Identifikasi Potensi Energi Pasang Surut Menggunakan Alat Floating DAM di Perairan Kalimantan Barat, Indonesia*. Desember.
- Aprilia, E., Aini, A., Frakusya, A., & Safril, A. (2019). Potensi Panas Laut Sebagai Energi Baru Terbarukan di Perairan Papua Barat dengan Metode Ocean Thermal Energy Conversion (Otec). *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 6(2), 7–14. <https://doi.org/10.36754/jmkg.v6i2.118>
- Astro, R. B., Ngapa, Y. D., Toda, S. G., & Nggong, A. (2020). Potensi Energi Air Sebagai Sumber Listrik Ramah Lingkungan di Pulau Flores. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 4(2), 125–133. <https://doi.org/10.37478/optika.v4i2.710>
- Azhar, M., & Satriawan, D. A. (2018). Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional. *Administrative Law and Governance Journal*, 1(4), 398–412. <https://doi.org/10.14710/alj.v1i4.398-412>
- Azirudin, T. (2019). Potensi Energi Angin di Atas Bangunan Bertingkat Di Pangkalan Kerinci, Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau. *Ketenagalistrikan Dan Energi Terbarukan*, 18(1), 23–28.
- Bae, Y. H., Kim, K. O., & Choi, B. H. (2010). Lake Sihwa tidal power plant project. *Ocean Engineering*, 37(5–6), 454–463. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2010.01.015>
- Cahyadi, F., Parlinggomon, B. T. P., & Kawuryan, D. A. (2021). Derajat Pemahaman Publik: Sebuah Pijakan Bagi Kolaborasi SDGs Indonesia. In *Internation NGO Forum on Indonesian Development*.
- Daryanto. (2007). Kajian Potensi Angin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu. *Balai Pptagg – Upt-Lagg, April*, 32.

- Direktorat Bioenergi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2016). *Pedoman investasi BioEnergi di Indonesia*.
- Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE). (2020a). *Belajar Pengelolaan Mikrohidro dari Lembah Derita*.
<https://ebtke.esdm.go.id/post/2020/01/09/2442/belajar.pengelolaan.mikrohidro.dari.lembah.derita>
- Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE). (2020b). *Menengok Ladang Panel Surya Terbesar di Indonesia*.
- Ernawati, F. (2017). *Pengaruh Pembelajaran dengan Menggunakan Metode Simulasi PHET Terhadap Hasil Belajar dan Keaktifan Peserta Didik Kelas VIII SMP Kanisius Wonogiri pada Pokok Bahasan Energi Potensial, Energi Kinetik, dan Energi Mekanik*.
- Hakim, R. R. Al. (2020). *Model Energi Indonesia, Tinjauan Potensi Energi Terbarukan Untuk Ketahanan Energi di Indonesia: Literature Review*. 1(1), SNF2016-ERE-73-SNF2016-ERE-76.
<https://doi.org/10.21009/0305020614>
- Hamid, A. A. (2007). Kalor dan Termodinamika. *Diktat Kuliah Termodinamika*, 1-51.
- Hemu, A. A. (2021). *Pengembangan potensi geothermal sebagai sumber energi alternatif*.
- Herlambang, S., Rina, S., Santosa, P. B., & Sutiono, H. T. (2017). Biomassa sebagai Sumber Energi Masa Depan. In *Buku Ajar*.
- Hindarto, D. E., Samyanugraha, A., & Nathalia, D. (2018). #pasarkarbon: Pengantar Pasar Karbon untuk Pengendalian Perubahan Iklim. *Pasar Karbon Untuk Pengendalian Perubahan Iklim*, 126(Pasar karbon), 8.
<https://www.slideshare.net/dickyedwin/pasarkarbon>
- IESR. (2017). *Energi Terbarukan: Energi Untuk Kini dan Nanti* (Vol. 53, Issue 9, pp. 1689-1699).
- Ihwan, A., & Sota, I. (2010). Kajian Potensi Energi Angin untuk Perencanaan Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) di Kota Pontianak. *Jurnal Fisika*

FLUX, 7(2), 130–140.

- Indonesia Environment & Energy Center. (2016). *Lebih Aman dan Ramah Lingkungan, Energi Panas Bumi harus Terus Dikembangkan*. <https://environment-indonesia.com/articles/lebih-aman-dan-ramah-lingkungan-energi-panas-bumi-harus-terus-dikembangkan/>
- Indonesia Environment & Energy Center. (2020). *Pemanfaatan Tenaga Air untuk PLTA Telah Miliki Payung Hukum*. <https://environment-indonesia.com/articles/pemanfaatan-tenaga-air-untuk-plta-telah-miliki-payung-hukum/>
- Iqsyah, A. M. H., & Riswan. (2018). *Perancangan Pembangkit Listrik Kincir Angin Menggunakan Empat Sumbu Horizontal*.
- Jukic, T., & Jerkovic, I. (2008). *Sustainable Urban Energy Planning. Sustainable Urban Planning and Energy*.
- Kandi, & Winduono, Y. (2012). *Energi dan Perubahannya*.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2021). *Eksisting Kondisi Energi Indonesia*. www.esdm.go.id
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 09/PRT/M/2016 Tentang Tata Cara Pelaksanaan Kerjasama Pemerintah dan Badan Usaha dalam Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Air/Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro/Pembangkit, Pub. L. No. 09/PRT/m/2016 (2016).
- Kompasiana. (2012). *Potensi Energi Panas Bumi di Daerah Cincin Api Indonesia*. <https://www.kompasiana.com/hferdinando/5516e553a33311f17aba7e0c/potensi-energi-panas-bumi-di-daerah-cincin-api-indonesia>
- LP2M Universitas Medan Area. (2020). *Tips Hebat untuk Menjadikan Energi Surya Solusi yang Efektif untuk Anda*. <https://lp2m.uma.ac.id/2020/11/12/tips-hebat-untuk-menjadikan-energi-surya-solusi-yang-efektif-untuk-anda/>
- Luhur, E. S., Muhartono, R., & Suryawati, S. H. (2013). Analisis Finansial Pengembangan Energi Laut di Indonesia. *J. Sosek KP*, 8, 25–37.

- Lukas, Daniel Rohi, H. H. T. (2017). Studi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(1), 17–23. <https://doi.org/10.9744/jte.10.1.17-23>
- Mediastika, C. E. (2013). *Hemat Energi & Lestari Lingkungan melalui Bangunan*.
- Nanang, R., Gunarto, & Sarwono, E. (2017). Study Eksperimental Berbagai Macam Jenis Sudu Turbin Angin Sumbu Horizontal Skala Laboratorium. *Repository Universitas Muhammadiyah Pontianak*, 3(2), 113–120.
- Nugroho, A. W., Suryoatmojo, H., & Anam, S. (2019). *Studi Kelayakan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut di Balikpapan*.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional, (2014).
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007 Tentang Energi, (2007).
- Perdana, Y., Wardiah, I., & Yohanes, E. (2018). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Prosiding SNRT (Seminar Nasional Riset Terapan)*, November, 63–70.
- Pertamina. (2014). *Seluk Beluk LPG di Indonesia*. <https://pertamina.com/id/news-room/energia-news/seluk-beluk-lpg-di-indonesia>
- Pertamina. (2021). *Sinergi PIS dan PGN Tingkatkan Utilisasi LNG Domestik*. <https://www.pertamina.com/id/news-room/energia-news/sinergi-pis-dan-pgn-tingkatkan-utilisasi-lng-domestik>
- PT. Geo Dipa Energi (Persero). (2022). *Energi Listrik Terbarukan*.
- Pusat Asesmen dan Pembelajaran Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan RI. (2020). *Asesmen Kompetensi Umum*. <https://hasilun.puspendik.kemdikbud.go.id/akm/akm/soal?j=3&l=6&s=281>
- Rachmi, A., Prakoso, B., Hanny Berchmans, Devi Sara, I., & Winne. (2020). Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS atap di Indonesia. *PLTS*

Atap, 94.

- Setyono, J. S., Mardiansjah, F. H., & Astuti, M. Febrina K. (2019). Potensi pengembangan energi baru dan energi terbarukan di kota semarang. *Riptek*, 13(2), 177–186.
- Sinaga, N., & Diponegoro, U. (2021). *Pemanfaatan energi terbarukan, efisiensi dan konservasi energi. October*.
- Spasić, V. (2021). *Hydropower plant operator to install 10 MW solar power plant in BiH*. <https://balkangreenenergynews.com/hydropower-plant-operator-to-install-10-mw-solar-power-plant-in-bih/>
- Suhud, Muhammad. Tumiwa, Fabby. Imelda, H. (2015). *Panduan Pelatihan Panas Bumi untuk Organisasi Masyarakat Sipil* (Vol. 008904, Issue c).
- Sustainable Development Goals. (n.d.). *Sustainable Development Goals*. <https://www.sdg2030indonesia.org/>
- Swardika, I. K., & Santiary, P. A. W. (2019). Karakteristik Potensi Angin Sebagai Sumber Energi Terbarukan Di Indonesia Dari Data Satelit Remote Sensing. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 5(1), 26. <https://doi.org/10.31884/jtt.v5i1.164>
- Syahputra, R. (2016). Rekayasa Dan Pengkondisian Energi Terbarukan. In *Repository.Umy.Ac.Id*.
- Tae, V., Jasron, J. U., Nurhayati, & Koehuan, V. A. (2015). *Perencanaan Turbin Wells Sistem Osilasi Kolom Air pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Kapasitas 10 kW. October*.
- Undang-Undang No. 21 Tahun 2014 Tentang Panas Bumi, (2014).
- Wahyudiana, Y. (2019). Perubahan Lingkungan Air dan Dampaknya Terhadap Produksi Listrik di PLTA Cirata. *Tedc*, 13(3), 324–332.
- Widayana, G. (2012). PEMANFAATAN ENERGI SURYA. *Jurnal Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan*, 9(1), 37. <https://doi.org/10.23887/jptk-undiksha.v9i1.2876>
- Zainal, M. P. (2016). *Inilah Manfaat Energi Surya (Matahari) Bagi Kehidupan*. <http://abulyatama.ac.id/?p=598>