

KONVERSI ENERGI DAN SISTEM PEMBANGKIT



Penulis:

Ahmad Thamrin Dahri, Aminatus Sa'diyah,
Silvana Dwi Nurherdiana, Rianto Wibowo,
Bambang Winardi, Dodi Satriawan,
Fathan Mubina Dewadi, Habibi Santoso

ISBN 978-623-198-407-4



9

786231

984074

KONVERSI ENERGI DAN SISTEM PEMBANGKIT

**Ahmad Thamrin Dahri
Aminatus Sa'diyah
Silvana Dwi Nurherdiana
Rianto Wibowo
Bambang Winardi
Dodi Satriawan
Fathan Mubina Dewadi
Habibi Santoso**



PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

KONVERSI ENERGI DAN SISTEM PEMBANGKIT

Penulis :

Ahmad Thamrin Dahri
Aminatus Sa'diyah
Silvana Dwi Nurherdiana
Rianto Wibowo
Bambang Winardi
Dodi Satriawan
Fathan Mubina Dewadi
Habibi Santoso

ISBN : 978-623-198-407-4

Editor : Mila Sari, M.Si.

Dede Ahsani, S.T.

Penyunting: Yuliatri Novita, M.Hum.

Desain Sampul dan Tata Letak : Tri Putri Wahyuni, SPd.

Penerbit : PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jl. Pasir Sebelah No. 30 RT 002 RW 001
Kelurahan Pasie Nan Tigo Kecamatan Koto Tangah
Padang Sumatera Barat
Website : www.globaleksekuatifteknologi.co.id
Email : globaleksekuatifteknologi@gmail.com

Cetakan pertama, Juni 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 kehadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan judul Konversi Energi dan Sistem Pembangkit. Buku ini membahas tentang pengantar konversi energi dan sistim pembangkit, konversi energi dan sistem pembangkit, klasifikasi energi baru dan terbarukan, mekanisme konversi energi ke energi listrik non konvensional, jenis *renewable* energi, *anaerobic digestion*, *hydropower*, desain mesin konversi energi.

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

Padang, Juni 2023
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL.....	vi
BAB 1 PENGANTAR KONVERSI ENERGI DAN SISTIM PEMBANGKIT	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Tranformasi Energi Pada Pabrik dan Bangunan.....	2
1.3 Definisi Energi, Konversi Energi dan Sistem Konversi Energi dalam Suatu Sistem.....	4
1.3.1 Energi	4
1.3.2 Konversi Energi	4
1.3.3 Sistim Konversi Energi Dalam Suatu Sistem	5
1.4 Bentuk Energi	5
1.5 Mesin Konversi Energi.....	6
1.7 Jenis Sumber pembangkit.....	7
1.7 Macam-macam Sistim Pembangkit.....	8
1.9 Sistim pembangkit bersumber energi dapat didaur ulang/terbarukan (<i>Renewable/Non-Depleted Energy Resources</i>).....	10
DAFTAR PUSTAKA.....	14
BAB 2 KONVERSI ENERGI DAN SISTEM PEMBANGKIT	15
2.1 Pendahuluan.....	15
2.2 Energi.....	15
2.2.1 Definisi Energi.....	16
2.2.2 Sistem Konversi Energi.....	16
2.2.3 Sumber Energi.....	16
2.2.2 Mesin Konversi Energi.....	24
DAFTAR PUSTAKA.....	26
BAB 3 KLASIFIKASI ENERGI BARU DAN TERBARUKAN	27
3.1 Pendahuluan.....	27
3.2 Energi Baru.....	29
3.2.1 Energi Nuklir.....	29
3.2.2 Energi Gasifikasi Batubara.....	31
3.3 Energi Terbarukan	32
3.3.1 Energi Matahari	32
3.3.2 Energi Hidrogen.....	33
3.3.3 Energi Air.....	35
3.3.2 Energi Angin.....	37
DAFTAR PUSTAKA.....	39
BAB 4 MEKANISME KONVERSI ENERGI KE ENERGI LISTRIK NON KONVENSIONAL.....	43
4.1 Pendahuluan.....	43
4.2 Energi Air Ke Energi Listrik.....	43

4.2.1 Mekanisme Konversi Energi Air ke Energi Listrik	43
4.2.2 Daya Listrik Terbangkitkan	44
4.3 Energi Angin Ke Energi Listrik.....	45
4.3.1 Mekanisme Konversi Energi Angin ke Energi Listrik.....	45
4.3.2 Daya Listrik Terbangkitkan	46
4.4 Energi Surya Ke Energi Listrik.....	47
4.4.1 Mekanisme Konversi Energi Surya ke Energi Listrik	47
4.4.2 Daya Listrik Terbangkitkan	49
4.5 Energi Biomassa Ke Energi Listrik	50
4.5.1 Mekanisme Konversi Energi Biomassa ke Energi Listrik	50
4.5.2 Daya Listrik Terbangkitkan	51
4.6 Energi Gelombang Laut Ke Energi Listrik.....	51
4.6.1 Mekanisme Konversi Energi Gelombang Laut ke Energi Listrik.....	51
4.6.2 Daya Listrik Terbangkitkan	52
4.7 Energi Panas Bumi Ke Energi Listrik	53
4.7.1 Mekanisme Konversi Energi Panas Bumi ke Energi Listrik.....	53
4.7.2 Daya Listrik Terbangkitkan	54
DAFTAR PUSTAKA.....	56
BAB 5 JENIS RENEWABLE ENERGI.....	57
5.1 Pendahuluan	57
5.2 Jenis Energi Terbarukan.....	59
5.2.1 Tenaga Angin	59
5.2.2 Energi Laut.....	61
5.2.3 Energi Surya.....	64
5.2.4 Energi Panas Bumi	65
5.2.5. Tenaga air.....	66
5.2.6 Biomassa.....	67
DAFTAR PUSTAKA.....	69
BAB 6 ANAEROBIC DIGESTION	71
6.1 Pendahuluan	71
6.2 <i>Anaerobic Digestion</i>	72
10.3 <i>Proses Anaerobic Digester</i>	76
10.4 Proses Biologis	78
6.5 Kondisi dan variabel yang Mempengaruhi <i>Anaerobic Digester</i>	81
6.5.1 Jumlah Komponen Padat.....	82
6.5.2 Suhu.....	83
6.5.3 Waktu retensi	84
10.5.4 pH.....	84
6.5.5 Rasio Karbon terhadap Nitrogen (C/N Rasio).....	85
6.5.6 Pencampuran.....	85
6.5.7 Organic Loading Rate / Volatile Solids	85
DAFTAR PUSTAKA.....	87

BAB 7 HYDROPOWER.....	89
7.1 Pendahuluan.....	89
7.2 Energi Air.....	89
7.3 Manfaat dari Energi Air.....	91
DAFTAR PUSTAKA.....	94
BAB 8 DESAIN MESIN KONVERSI ENERGI	99
8.1 Pendahuluan.....	99
8.2 Kriteria desain	99
8.3 Desain Pembangkit Listrik Tenaga Angin.....	100
8.3.1 Sudu (<i>Blade</i>).....	103
8.3.2 Menghitung Laju Volume.....	104
8.3.3 Daya turbin angin.....	105
8.3.4 Luas area terpapar angin (<i>Swept Area</i>)	106
8.4 Turbin uap	107
DAFTAR PUSTAKA.....	110
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 6.7 Proses Hidrolisis Pada <i>Anaerobic Digester</i>	80
Gambar 6.8 Proses Asidogenesis Pada <i>Anaerobic Digester</i>	81
Gambar 6.9 Proses Metanogenesis Pada <i>Anaerobic Digester</i>	81
Gambar 6.10 Parameter yang Harus Diperhatikan didalam Proses <i>Anaerobik Digester</i>	82
Gambar 6.11 Rentang Kandungan Komponen Padat pada Proses <i>Anaerobic Digester</i>	83
Gambar 6.12 Rentang Suhu pada Proses <i>Anaerobic Digester</i>	83
Gambar 6.13 Waktu Retention <i>Anaerobik digester</i>	84
Gambar 7.1. Sumber-Sumber Energi.....	89
Gambar 7.2. Skema Pembangkit Listrik Tenaga Air.....	90
Gambar 7.3. Negara dengan Penghasil Energi Alternatif di Dunia.....	91
Gambar 7.4. Manfaat dari Energi Air	92
Gambar 8.1. Jenis Turbin Angin.....	101
Gambar 8.2. Kecepatan angin yang melewati rotor	101
Gambar 8.3. Penampang profil sudut	104
Gambar 8.4. Siklus Renkine Ideal.....	107

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Jenis energi	21
Tabel 6.1 Komposisi Produk Biogas (Anaerobic Digester Plant)	79
Tabel 8.1. Hubungan tip speed ratio (TSR) dengan jumlah sudu turbin	102

BAB 1

PENGANTAR KONVERSI ENERGI DAN SISTIM PEMBANGKIT

Oleh Ahmad Thamrin Dahri

1.1 Pendahuluan

Prinsip kelayakan umum yang diilustrasikan oleh keragaman termasuk teknologi energi penggunaan akhir, desain, ekonomi, dan faktor lingkungan.

Pada dasarnya, untuk memaksimalkan efisiensi energi, diperlukan pengurangan kerugian yang diperoleh pada setiap proses untuk mencapai konversi energi. Pada saat yang sama, sistem manajemen energi memastikan bahwa energi yang dibutuhkan selalu tersedia di mana saja dengan kualitas tinggi. Tujuan ini harus sepenuhnya dicapai melalui manajemen produksi dan persyaratan lingkungan yang tepat. Empat fase utama dari program manajemen energi adalah: (1) analisis data historis, (2) audit energi dan keuangan, (3) analisis teknis dan rekomendasi investasi berdasarkan studi kelayakan, dan (4) informasi dan pelatihan staf pelet. Untuk memenuhi tujuan program manajemen energi Anda, Anda harus menutupnya. Bergantung pada standar perusahaan Anda dan biaya energi dalam anggaran perusahaan Anda, Anda dapat melibatkan konsultan internal atau eksternal untuk menyiapkan sistem manajemen energi Anda dalam beberapa cara.

Untuk mengelola penghematan konversi energi di setiap sektor, perlu untuk mengidentifikasi beberapa parameter efisiensi energi utama sebelum dan sesudah menerapkan langkah-langkah konservasi energi.

Langkah-langkah dasar di atas harus diikuti bersama untuk hasil terbaik.

Pada tahun 1970-an, sistem manajemen energi menjadi salah satu fungsi inti manajemen industri. Naiknya harga energi dan laporan menipisnya sumber daya energi global memaksa pemerintah dan perusahaan swasta untuk mengatasi situasi tersebut. Pada tahun-tahun berikutnya, kaitan antara konsumsi energi dan dampak lingkungan menjadi semakin nyata, meningkatkan kesadaran publik akan masalah ini di seluruh dunia.

Namun, penerapan strategi efisiensi energi secara luas sangat terhambat oleh kurangnya pengetahuan tentang teknik manajemen energi dan kurangnya pemahaman yang mendalam tentang investasi modal ini.

1.2 Tranformasi Energi Pada Pabrik dan Bangunan

Manajemen energi dirangkum dalam Gambar 1.1 dan merupakan pendekatan holistik yang mencakup aliran energi dari perbatasan ke konsumen akhir dan proses transformasi terkait.

- Energi diangkut sebagai bahan bakar atau sebagai komoditas yang dibeli secara lokal (jaringan listrik, pipa gas, pipa air, dll.) dan diubah secara lokal dalam skala besar (transformator daya, boiler, siklus gabungan, dan kogenerasi). Pengguna. Energi yang dibutuhkan oleh pengguna akhir juga dapat dihasilkan secara lokal dari sumber energi terbarukan seperti energi matahari dan angin. Perubahan lebih lanjut di pabrik dan pabrik menghasilkan berbagai bentuk energi turunan yang cocok untuk penggunaan akhir. Tujuan utamanya adalah untuk memeriksa efisiensi semua perangkat konversi dan menjaganya dalam kondisi terbaik.

1.3 Definisi Energi, Konversi Energi dan Sistem Konversi Energi dalam Suatu Sistem.

1.3.1 Energi

Energi adalah pengertian yang tidak dapat ditafsirkan secara ringkas dan tepat. Energi itu abstrak dan sulit dibuktikan, tetapi Anda bisa merasakannya. Makna yang sering disebut dengan energy atau tenaga banyak diberikan oleh manusia. Istilah krisis energi berarti krisis bahan bakar, khususnya krisis minyak. Bahan bakar mengandung energi (panas). Minyak tanah menghasilkan energi panas yang digunakan untuk memanaskan peralatan dan mesin. Energi adalah gerak dalam kehidupan sehari-hari, misalnya seorang anak yang bergerak atau berlari dikatakan penuh energi. Energi sering dikaitkan dengan usaha. Seseorang yang kuat dalam bekerja keras dapat diartikan memiliki tenaga atau kekuatan yang besar. Oleh karena itu, energi dapat diartikan sebagai gerak, gaya, dan tenaga yang dapat menghasilkan usaha.

1.3.2 Konversi Energi

Menurut hukum pertama termodinamika, energi adalah kekal. Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi tidak dapat dimusnahkan, tetapi dapat diubah menjadi bentuk lain. Artinya energi tidak dimusnahkan, tetapi diubah menjadi bentuk lain dan digunakan untuk keperluan energi lain (konversi). Artinya, bentuk energi ini dapat diubah menjadi bentuk energi lain. Gaya yang menggerakkan benda juga dapat digunakan untuk mentransfer energi dari satu sistem ke sistem lainnya. Transmisi energi ini merupakan kemampuan sistem untuk menghasilkan kerja yang memberikan manfaat positif bagi kebutuhan manusia. Oleh karena itu, energi adalah jumlah yang dapat disimpan, diubah, dan dipindahkan dari satu sistem ke sistem lainnya, tetapi jumlah totalnya tetap konstan.

Energi adalah besaran turunan dengan satuan Nm atau Joule. Energi dan usaha adalah satu kesatuan. Pada saat yang sama, pekerjaan itu adalah kerja keras. Pada saat yang sama, usaha

dapat didefinisikan sebagai upaya untuk memindahkan benda pada titik $S(m)$ dengan gaya F (Newton). Konversi bentuk energi ini disebut transmisi. Perpindahan energi karena perbedaan suhu disebut kalor.

13.3 Sistem Konversi Energi Dalam Suatu Sistem

Energi sistem tertentu dapat diubah menjadi kerja. Artinya, ketika energi ini dimasukkan ke dalam sistem, ia dapat mengembang dan berfungsi. Sebagai contoh sistem konversi energi, bahan bakar bensin (supercharged) dimasukkan ke dalam silinder mesin yang mengubah energi dari mesin pembakaran dalam seperti sepeda motor. Energi yang tersimpan dalam bensin/supermolekul seperti ikatan atom (C_8H_{18} /isooctane atau nilai kalor) dilepaskan saat silinder dinyalakan dan diubah menjadi energi panas/termal. Energi panas yang ditangkap memungkinkan panas yang dihasilkan mendorong piston/piston ke dalam silinder, yang menggerakkan piston/piston. Piston Piston bergerak dengan mengubah energi. Kerja diciptakan dengan mengubah energi kinetik menjadi energi mekanik. Kerja ini merupakan hasil dari kekuatan sistem untuk benar-benar memenuhi kebutuhan masyarakat seperti :

Kemampuan melakukan perjalanan jauh dari satu tempat ke tempat lain. Tingkat keberhasilan konversi energi disebut efisiensi.

1.4 Bentuk Energi

Berikut ini berbagai bentuk dari energi, antara lain :

a. Energi Mekanik

Energi disimpan sebagai energi kinetik atau potensial yang dapat diubah atau diubah untuk menghasilkan kerja/usaha.

b. Energi Listrik

Energi yang terkait dengan aliran elektron, dinyatakan dalam watt-jam. Arus mengalir ketika konduktor listrik melewati medan magnet. Modus transisi adalah aliran elektron melalui jenis konduktor tertentu.

c. Energi Kimia

Energi dihasilkan oleh interaksi elektron ketika dua atau lebih elektron berinteraksi untuk menghasilkan senyawa yang stabil. Energi kimia hanya dapat eksis sebagai energi yang tersimpan. Nilai maksimum reaksi eksotermik disebut kJ, BTU, atau kkal jika energi dilepaskan selama reaksi. Ketika energi diserap selama reaksi kimia, itu disebut reaksi endotermik.

d. Energi Nuklir

Energi disimpan dalam bentuk reaksi yang dapat dilepaskan oleh interaksi partikel di dalam inti. Energi ini dilepaskan ketika partikel mencoba mencapai keadaan stabil. Reaksi nuklir dapat terjadi pada fusi radionuklir, fisi nuklir, dan fusi nuklir.

e. Energi Panas (Kalor)

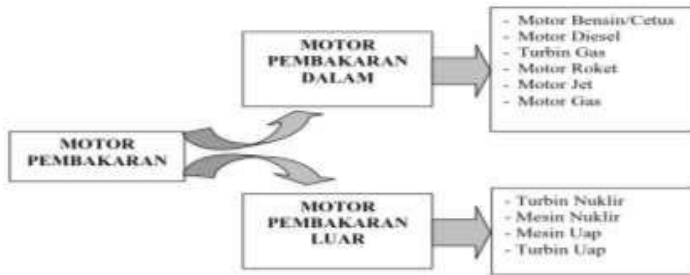
Bentuk dasar energi dalam arti lain adalah energi yang dapat diubah/diubah secara keseluruhan menjadi energi panas/termal. Sebaliknya, transfer/konversi energi panas menjadi energi lain dibatasi oleh hukum kedua termodinamika. Bentuk sementara dari energi dan panas juga merupakan bentuk energi yang tersimpan, yaitu. panas laten atau panas sensibel dalam bentuk entalpi.

1.5 Mesin Konversi Energi

Transformator listrik adalah mesin yang dapat mengubah satu bentuk energi menjadi bentuk energi lainnya. Konverter energi dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu:

1. Mesin Konversi Energi Konvensional

Konverter energi tradisional biasanya menggunakan sumber energi tak terbarukan, kecuali turbin air. Mesin dapat dibagi menjadi mesin pembakaran internal, mesin cair dan mesin berpendingin air.



Gambar 1.2. Skema Motor Pembakaran

2. Mesin Konversi Energi Non-konvensional

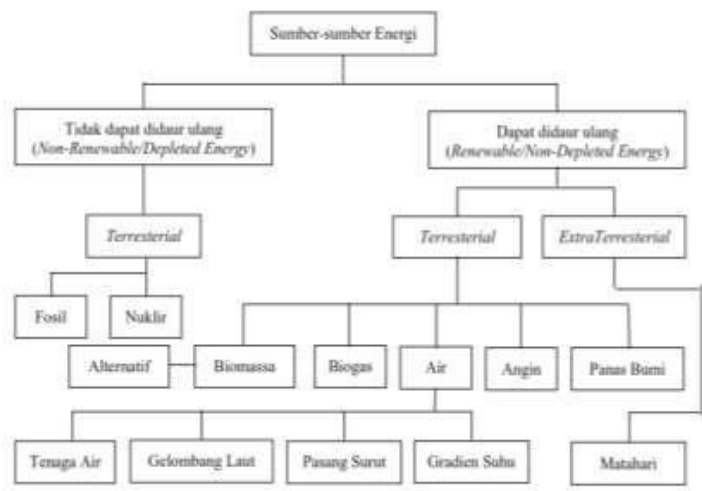
Mesin menggunakan sumber daya terestrial dan ekstraterestrial. Ada berbagai sistem konversi energi yang unik seperti: Sistem Tenaga Panas Bumi, Sistem Tenaga Fotovoltaik, Sistem Tenaga Angin, Pembangkit Listrik Tenaga Panas Lepas Pantai (OTEC), Pembangkit Listrik Pasang Surut, Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang, Sistem Pembangkit Uap Nuklir, Pembangkit Listrik Tenaga Hidrodinamik (MHD).

1.7 Jenis Sumber pembangkit

Sumber energi adalah tempat dihasilkannya energi yang dapat digunakan dalam kehidupan manusia. Sumber energi dibagi sebagai berikut:

1. Diperoleh/berasal dari bumi (*Terrestrial*).
2. Diperoleh/berasal dari luar bumi (*Extra terrestrial*).
3. Diperoleh/bersasal dari sifatnya.

Sumber energi bumi dapat dibagi menjadi sumber energi terbarukan atau habis dan sumber energi utuh atau tidak terbarukan. Sumber energi terbarukan atau daur ulang seperti kayu, biomassa dan biogas. Sumber energi ekstraterrestrial adalah sumber energi yang tidak habis-habisnya atau tidak habis-habisnya seperti energi matahari dan energi sinar kosmik. Energi yang tidak dapat diperbarui atau dapat digunakan meliputi minyak bumi, batu bara, dan gas alam.



Gambar 1.3. Diagram Klasifikasi Sumber Pembangkit

1.7 Macam-macam Sistim Pembangkit

Sistim pembangkit terbagi atas dua jenis dari sumber energi, yaitu:

1. Sistim pembangkit bersumber energi yang dapat habis (Non Renewable/Depleted Energy Resources).

Pada umumnya sumber energi yang paling umum adalah pertambangan atau bahan bakar fosil dari perut bumi: minyak bumi, gas alam, batu bara, dan uranium (energi nuklir). Berbagai sumber energi yang dapat dikonsumsi dari bumi (tanah) dan sulit didaur ulang adalah sumber energi tradisional.

a. Sistem Pembangkit Bersumber Energi Fosil

Energi fosil disimpan dalam bentuk minyak tanah, batu bara dan gas alam. Bahan bakarnya berasal dari fosil yang telah terkubur di bawah tanah selama miliaran tahun. Minyak bumi berasal dari fosil hewan laut dan darat, dan karbon berasal dari fosil pohon. Bahan bakar fosil ditambang di bawah tanah, minyak dan gas dikembangkan dengan pengeboran, dan penambangan batu bara dilakukan di atas atau di bawah tanah. Sistem tenaga bahan bakar fosil, umumnya Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), menggunakan uap hasil pembakaran batu bara, minyak, atau gas alam yang dinyalakan dalam ketel berisi air. Air mendidih dipanaskan menjadi uap bertekanan tinggi dan digunakan untuk menggerakkan turbin yang menggerakkan generator.

b. Sistem Pembangkit Bersumber Energi Nuklir

Sumber energi ini merupakan sumber energi yang diperoleh dari proses penambangan lain dan mengandung logam non besi (uranium). Energi nuklir dapat dikembangkan melalui proses fisi dan fusi. Fisi nuklir adalah reaksi di mana inti atom dipisahkan oleh tumbukan dengan inti lain, menghasilkan energi, atom bermassa rendah, dan radiasi elektromagnetik, sedangkan fusi nuklir adalah reaksi di mana dua atau lebih inti atom bergabung untuk membentuk atom baru. menghasilkan energi. , juga disebut reaksi bersih. Pembangkit listrik yang menggunakan energi nuklir sebagai sumber energinya sering disebut pembangkit listrik tenaga nuklir. Pembangkit listrik tenaga nuklir (CNP) berfungsi seperti pembangkit listrik konvensional lainnya, hanya saja panas yang digunakan untuk menghasilkan uap bukan dengan membakar bahan bakar fosil menjadi uap, melainkan dengan fisi nuklir (uranium). sistem pembangkit. Kinerjanya mirip dengan PLTU yang menggunakan uap untuk menggerakkan turbin dan generator.

1.9 Sistim pembangkit bersumber energi dapat didaur ulang/terbarukan (*Renewable/Non-Depleted Energy Resources*)

Ada dua energi dalam sistem produksi ini: terbarukan dan esensial. Energi yang diekstraksi dari tanah, seperti biomassa dan kayu bakar, dapat digunakan kembali. Energi tersebut tidak harus berasal dari dalam bumi (bumi) seperti energi panas bumi, air laut, angin, dll, tetapi energi yang disuplai dari luar adalah matahari.

- a) Sistem Tenaga Biomassa Biomassa adalah proses daur ulang fotosintesis di mana energi matahari memainkan peran kunci. Daun menyerap energi matahari dan melepaskan CO₂ untuk pertumbuhan. Energi matahari yang diserap oleh tanaman diubah menjadi energi kimia dalam bentuk energi yang tersimpan. Tumbuhan ini dapat melepaskan energi yang tersimpan saat dikeringkan atau dibakar. Mungkin juga melalui proses menciptakan bahan bakar potensial.
- b) Etanol, metana atau bahan bakar cair dan gas lainnya (minyak makan). Nilai energi herba kering adalah 4800 kkal/kg. Ada beberapa cara untuk mengubah biomassa menjadi bahan bakar.
 1. Proses Pirolisis
 2. Proses Hidrogasifikasi
 3. Proses Hidrogenisasi
 4. Proses Distalasi Distrutif
 5. Proses Hidrolisa Asam.

Bahan bakar dihasilkan dari proses biomassa, dikenal dengan istilah bahan bakar alternatif. Misalnya:

- a. Buah Bitangul, nama latinnya *Upilum*, sebagai sumber energi alternatif. Biodiesel dapat dibuat dari biji bit gula. Pertama, biarkan biji lobak mengering sepanjang hari. Kemudian bungkus dengan kertas saring. Setelah ditahan dan dikejar selama satu jam. Bungkus juga biji

bit dengan kertas yang telah dilapisi dengan cairan petroleum eter. Air yang menetes dari kertas saring menjadi biodiesel yang menguap dan berubah menjadi kuning pucat seperti solar. 5 bendungan akan menghasilkan 24 ml solar dalam 2 jam.

- b. Minyak jarak atau nama latinnya *Ricinus Communis* merupakan tumbuhan yang sudah lama dikenal masyarakat Indonesia. Tumbuhan ini digunakan sebagai bahan bakar pesawat Jepang pada masa invasi Indonesia tahun 1942-1945. Hampir semua tumbuhan dapat digunakan bila minyak (trigliserida) digunakan. dalam produksi wijen Minyak wijen menyumbang sekitar 55% atau 33% dari itu.
- c. Perbandingan dengan jagung sebagai pengganti penting bahan baku utama dalam produksi etanol (campuran bahan bakar). Oleh karena itu, permintaan akan produk ini diperkirakan akan meningkat tajam dalam kondisi mendatang. Bioetanol (C_2H_5OH) adalah cairan biokimia yang menggunakan mikroorganisme untuk memfermentasi gula dari sumber karbohidrat. Proses produksi anggur organik terdiri dari tiga langkah:
 - 1. Persiapan bahan baku,
 - 2. Fermentasi,
 - 3. Permurniaan (Destilasi).
- d. Sistem energi biogas

Sistim biogas adalah sumber energi bersih dan murah yang terbuat dari kotoran hewan dan kotoran ternak yang diuraikan oleh proses mikroba anaerobik untuk menghasilkan gas yang mengandung 70% CH_4 (metana). Sistem produksi metana meliputi:

- 1. Tangki pemcampur
- 2. Pencerna (digester)
- 3. Tangki penampung gas
- 4. Pembakar gas (burning).

5. Kotoran hewan atau sampah organik (busuk) sebagai bahan baku.

Dalam produksi biogas yaitu :

Kotoran dan pembusukan dicampur dengan air, ditambahkan ke tangki pencampur dan diaduk untuk membentuk pasta yang disebut pupuk kandang, yang ditambahkan ke tangki fermentasi untuk menghasilkan biogas. Biogas disimpan dalam tangki bahan bakar.

e. Sistim Pembangkit Bersumber Tenaga Air

Selain tenaga air, air juga merupakan sumber energi terbarukan. Energi air yang menggerakkan turbin bergantung pada energi potensial air pada ketinggian tertentu. Energi potensial air diubah menjadi energi mekanik dengan bantuan turbin dan menjadi energi listrik dengan bantuan generator. Gaya eksternal yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga air tergantung pada jumlah air yang mengalir dan ketinggian air terjun. Negara kita memiliki potensi energi yang sangat besar. Karena kemungkinan menggunakan pembangkit listrik tenaga air kecil dan menengah, pembangkit listrik tenaga air kecil dan mikro mulai terbentuk di tempat-tempat dengan sumber energi potensial yang relatif sedikit.

- f. Sistem Pembangkit Energi Gelombang Laut Sumber energi listrik berasal dari energi potensial gelombang laut yang mengalir melalui suatu sistem mekanisme piston-piston yang bergerak bolak-balik sesuai frekuensi gelombang. Saat ini sedang dikembangkan beberapa sistem energi gelombang yang dapat digunakan sebagai sumber energi listrik alternatif.
- g. Sistem pasang surut. Perbedaan ketinggian antara pasang surut dan pasang tinggi adalah sumber energi.

Ada tempat di dunia ini dengan perbedaan ketinggian hingga 10 meter. Perbedaan ketinggian ini cukup besar untuk turbin air aliran rendah yang besar, namun mampu menghasilkan daya ratusan megawatt.

- h. Sistem reproduksi berdasarkan gradien panas laut. Suatu sistem pembangkit listrik yang menggunakan perbedaan suhu antara permukaan laut dan kedalaman air tertentu untuk menghasilkan listrik. Perbedaan suhu mengontrol sistem transfer energi. Gradien temperatur air laut ini dikenal dengan istilah OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion). Suhu permukaan laut diperoleh dari panas yang dihasilkan oleh radiasi matahari dengan menggunakan teknik gradien termal (diferensial), maka istilah energi gradien suhu, yang diklasifikasikan sebagai energi matahari.
- i. Turbin angin. Ini adalah sumber energi yang diperoleh dari perbedaan tekanan di permukaan bumi dan menghasilkan arus udara (angin). Adanya radiasi matahari yang menghangatkan permukaan bumi menyebabkan perbedaan suhu, dan kepadatan massa udara mempengaruhi perbedaan tekanan. Karena bumi berputar pada porosnya sendiri, arus udara bisa semakin cepat.
- j. Sistem pembangkit listrik panas bumi. Ini adalah sejumlah besar energi tanah yang dapat digunakan sebagai sumber energi. Suhu bumi naik secara harfiah 30°C untuk setiap kilometer yang tenggelam, tetapi magma sepanas 250°C dapat terbentuk di permukaan, kecuali di dekat gunung berapi aktif. Suhu panas bumi 25 km di bawah permukaan bisa mencapai 750°C . Kedalaman penambangan yang sesuai secara teknis adalah kurang dari 10 km pada suhu operasi $150\text{-}150^{\circ}\text{C}$.

DAFTAR PUSTAKA

- Albert Thumann, P.E., C.E.M (1987) *Plant engineers and managers guide to energy conservation*, 3rd edn. USA.
- Boyle G (2004) *Renewable energy: power for a sustainable future*. Boyle Editor Capehart BL.
- Kharchenko NV, Kharchenko VM (2013) *Advanced energy systems*. CRC, USA.
- Moran MJ, Shapiro HN (1988) *Fundamentals of engineering thermodynamics*. Wiley, Canada.
- Petrecca, G. (2014). *Energy Conversion and Management* (p. 25). Springer, New York.
- Ristinen R, Kraushaar J (2005) *Energy and environment renewable energy sustainable*. Wiley, USA.

BAB 2

KONVERSI ENERGI DAN SISTEM PEMBANGKIT

Oleh Aminatus Sa'diyah

2.1 Pendahuluan

Konversi energi atau *Energy Conversion* merupakan suatu perubahan bentuk energi menjadi energi lain. Hukum konservasi energi menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan tetapi dapat berubah bentuk menjadi energi lain. Fenomena konversi energi dapat ditemukan pada kehidupan sehari-hari mulai sistem sederhana sampai kompleks, salah satunya adalah perubahan energi listrik menjadi energi cahaya yang dimanfaatkan sebagai penerangan, atau perubahan energi panas menjadi energi listrik pada sistem pembangkit. (Rizal, 2013)

Pada penerapannya, terdapat klasifikasi dan jenis energi yang sangat erat kaitannya dengan konversi energi. Energi ini menjadi sumber terciptanya energi baru yang dapat dikembangkan sesuai dengan kebutuhan disiplin ilmu baik untuk bidang saintifik, teknik maupun terapan.

2.2 Energi

Prinsip konversi energi pertama kali dicetuskan berdasarkan penemuan James Watt berupa mesin uap. Mesin uap pertama kali yang berhasil diciptakan menggunakan energi batubara yang mengubah energi panas menjadi energi gerak

mesin. Penemuan ini menjadi titik awal perkembangan penelitian dan teknologi konversi energi di industri. (Caturwati, 2017)

2.2.1 Definisi Energi

Energi memiliki dua karakteristik yakni *regenerative energy* dan *non-degenerative energy*. *Regenerative energy* atau biasa dikenal dengan “energi yang dapat diperbarui” merupakan energi yang disediakan oleh alam secara kontinyu dan dapat diproses kembali setelah dimanfaatkan menjadi energi lain. Sebagai contohnya adalah energi panas matahari, energi panas bumi, energi angin, dan energi arus laut. Sedangkan energi non degenerative merupakan energi yang disediakan oleh alam namun dengan jumlah terbatas seperti gas alam, batu bara, kayu serta bahan tambang lainnya yang tidak dapat diproses lagi setelah dimanfaatkan dalam satu bentuk energi. (Tole Sutikno, 2019)

2.2.2 Sistem Konversi Energi

Secara umum, energi terbagi menjadi dua klaster utama yakni energi transisional dan energi tersimpan. Energi transisional merupakan energi yang bergerak dan dapat berpindah melintasi suatu boundary sistem. Sedangkan energi tersimpan (Stored energy) merupakan energi yang memiliki wujud seperti massa dan posisi dalam medan gaya. Secara garis besar, energi dikelompokkan menjadi enam yaitu energi mekanik, energi listrik, energi elektromagnetik, energi kimia, energi nuklir dan energi termal atau panas. (Hasbullah, 2009)

2.2.3 Sumber Energi

Energi mekanik merupakan energi yang dimiliki oleh suatu benda karena sifat geraknya yaitu energi potensial dan energi kinetik. Energi potensial merupakan energi yang dimiliki benda

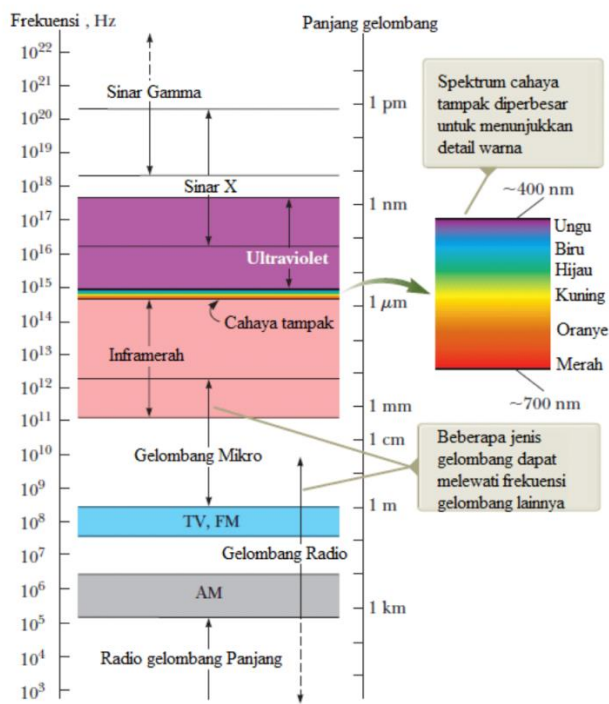
karena posisi atau kedudukannya terhadap kerangka acuan tertentu. Sebagai contoh adalah energi potensial bumi yang tergantung pada massa benda, gravitasi bumi dan ketinggian benda. Lain halnya dengan energi kinetik yang dimiliki oleh benda karena geraknya, makin besar kecepatan suatu benda yang bergerak makin besar energi kinetik yang dihasilkan. Semakin besar massa benda yang bergerak, makin besar pula energi kinetik yang dimilikinya.

Salah satu bentuk energi dalam sistem konversi yang paling banyak dimanfaatkan adalah energi listrik. Energi listrik merupakan suatu energi yang dihasilkan akibat dari adanya interaksi akumulasi elektron yang menghasilkan arus. Memiliki satuan daya dan waktu (Watt jam / Wh) dimana energi transisinya berupa aliran elektron dan stored energy-nya berupa medan elektrostatis dan medan induksi. Medan elektrostatis terbentuk karena adanya interaksi elektron pada pelat kapasitor, medan induksi atau medan elektromagnetik merupakan medan magnet yang timbul akibat adanya aliran elektron melalui suatu kumparan induksi.

Energi listrik memiliki kemampuan untuk melakukan atau menghasilkan usaha listrik dimana muatan akan berpindah dari satu titik/posisi ke titik yang lain. Energi listrik biasa dilambangkan dengan W dimana dalam perumusannya melibatkan fungsi dari muatan listrik Coulomb dan beda potensial. Satuan energi listrik yang sering digunakan adalah kalori, Joule, atau kWh. Energi listrik dapat dikonversikan menjadi energi lain diantaranya kalor, cahaya dan gerak. (Ahmad Wahid, 2014)

Energi elektromagnetik berkaitan dengan radiasi elektromagnetik, biasanya dinyatakan dalam satuan yang sangat kecil yaitu eV atau MeV. Radiasi elektromagnetik merupakan suatu bentuk energi murni yang tidak berkaitan dengan massa

benda, radiasi ini bersifat energi transisional yang bergerak dengan kecepatan cahaya. Energi elektromagnetik merambat dalam gelombang dengan karakter terukur berupa panjang gelombang, frekuensi, amplitudo, dan kecepatan. Kecepatan energi elektromagnetik yang bersifat konstan menyebabkan panjang gelombang dan frekuensinya berbanding terbalik.



Gambar 2.1. Spektrum gelombang elektromagnetik
(Sumber : (STPN, 2019))

Energi elektromagnetik dipancarkan atau dilepaskan oleh semua massa yang ada di alam semesta pada level yang berbeda, semakin tinggi level energi dalam suatu sumber energi maka semakin rendah panjang gelombang yang dihasilkan, dan semakin tinggi pula frekuensinya. Perbedaan karakteristik energi elektromagnetik digunakan sebagai dasar

pengelompokan energi tersebut sebagai contoh adalah radiasi gamma, sinar X yang dihasilkan dari keluarnya elektron dari orbitnya, radiasi termal akibat getaran atom, radiasi gelombang mikro, serta radiasi gelombang radio.

Energi kimia merupakan energi yang keluar sebagai hasil dari adanya interaksi antar elektron dimana atom dan molekul berkombinasi sehingga menghasilkan senyawa kimia yang lebih stabil. Energi kimia hanya dapat terjadi dalam bentuk energi tersimpan (*stored energy*), bila energi ini dilepas dalam suatu reaksi maka reaksinya disebut eksotermis dinyatakan dalam kJ dan kKal, bila dalam reaksi kimia energinya diserap disebut endotermis.

Energi nuklir merupakan energi yang hanya ada sebagai energi tersimpan yang dapat dilepas akibat interaksi partikel dalam inti atom. Energi ini dilepas sebagai hasil usaha partikel-partikel untuk memperoleh kondisi yang lebih stabil sebagai contoh adalah peluruhan radioaktif, serta reaksi fisi dan fusi. Energi nuklir dihasilkan melalui dua tahap yakni pembelahan inti melalui reaksi fisi dan penggabungan beberapa inti melalui reaksi fusi. Reaksi fisi pada uranium mampu menghasilkan neutron sebagai hasil sekunder dari inti atom yang lebih ringan. Neutron ini dapat menumbuk atau diserap kembali oleh inti uranium untuk membentuk reaksi fisi berikutnya.

Reaksi fisi berantai memiliki mekanisme yang terjadi dalam waktu sangat cepat sehingga reaksinya tak terkendali. Akibatnya, terjadi pelepasan energi skala besar dalam waktu singkat. Mekanisme ini sering terjadi pada fenomena bom nuklir yang memiliki energi dahsyat.



Gambar 2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir
(Sumber : BATAN)

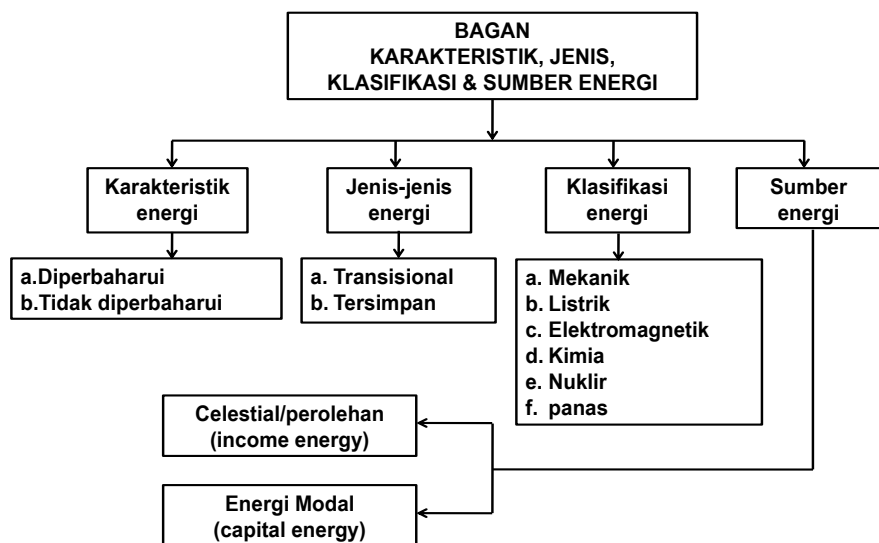
Energi termal merupakan bentuk energi dasar dimana semua energi dapat dikonversikan secara penuh menjadi energi panas, sebaliknya pengkonversian energi termal ke bentuk energi lain dibatasi oleh Hukum Termodinamika ke-2. Energi termal merupakan energi transisi, sedangkan energi tersimpannya berupa kalor dalam bentuk enthalpy dengan satuan kalori. Energi termal yang banyak dimanfaatkan salah satunya adalah energi geotermal atau energi panas bumi.

Tabel 2.1. Jenis energi

Sumber daya energi yang tersedia di Bumi	Lokasi			Dengan Bantuan											Proses Utama			
	Angkasa	Atmosfir	Bumi		Bumi									Bulan	Mata hari	Radiasi Matahari	Panas	Listrik
			Tanah	Air	Grafitasi	Rotasi	Magma	Organik	Kimia	Reaksi	Material	Air	Udara	Grafitasi	Grafitasi			
Bio Massa			X	X			X				X	X			X		X	X
Angin			X	X	X							X			X	X		X
Air			X	X	X						X				X	X		X
Batu bara			X				X								X		X	X
Minyak & gas bumi			X				X								X		X	X
Panas Bumi			X			X					X						X	X
Nuklir	X		X						X								X	X
Radiasi Surya	X		X	X											X		X	X
Pasang Surut			X	X	X						X		X	X		X		X
Sel bahan bakar			X					X										X
Panas laut			X								X				X			X
Ombak Laut			X									X			X	X		X
Arus Pancar		X		X								X			X			X

Sumber : (Anthony, 2020)

Sumber-sumber energi yang dihasilkan oleh bumi terbagi menjadi energi *income* yang berasal dari angkasa atau luar bumi dan energi kapital yang sudah ada di dalam bumi. Kedua energi ini dapat dimanfaatkan oleh manusia sebagai sumber energi untuk memenuhi kebutuhan hidup contohnya energi elektromagnetik matahari atau surya, energi potensial yang berasal dari bulan mengakibatkan pasang surut air laut untuk nelayan berlayar, serta energi panas bumi sebagai sumber energi alternatif yang bisa dikonversi menjadi tenaga listrik. (Suyono Thamrin, 2019)



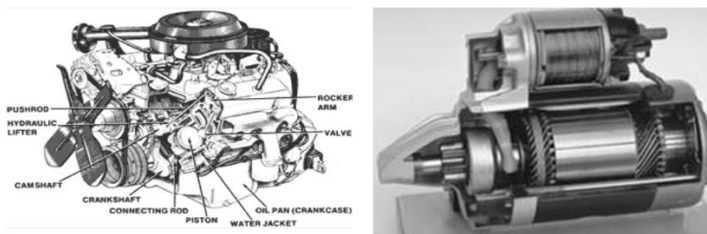
Gambar 2.3. Bagan klasifikasi Energi
(Sumber : (ITP, 2008))

Sumber energi yang berasal dari bumi terbagi menjadi dua yaitu renewable energi yang dapat didaur ulang atau diciptakan kembali, sebagai contoh adalah biomassa, biogas, biodiesel. Dan non-renewable energi yang tidak dapat diperbarui contohnya minyak bumi, batu bara, gas alam dan bahan tambang dari alam lainnya. Selain itu juga terdapat energi

non depleted yang bersifat abadi dan tidak pernah habis, contohnya energi surya dan kosmik. (Pieter de Vries, 2016)

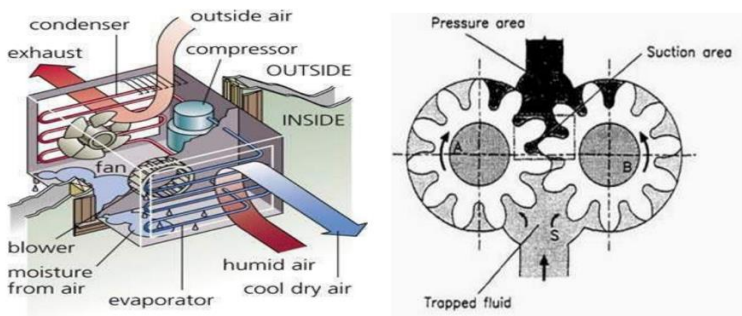
2.2.2 Mesin Konversi Energi

Mesin merupakan suatu perangkat yang dapat menghasilkan gerak/kerja, sehingga mesin konversi energi bisa didefinisikan sebagai perangkat atau pesawat yang dapat mengubah suatu energi menjadi energi lain dan menghasilkan kerja/usaha yang dimanfaatkan untuk kebutuhan manusia. Contoh mesin konversi energi diantaranya adalah motor bakar, motor starter, refrigerator, dan pompa. (Caturwati, 2017)



Gambar 2.4. Motor bakar (kiri), motor starter (kanan)
(Sumber : (Polimdo, 2020))

Motor bakar merupakan suatu perangkat yang dapat mengkonversi energi kimia menjadi energi mekanik yang bersumber dari bahan bakar multi-feedstock yang menyebabkan naik turunnya poros engkol. Motor starter merupakan perangkat yang dapat mengkonversi energi listrik menjadi energi gerak berupa putaran roda gigi sebagai penggerak mula suatu engine. (Handoyo, 2002)



Gambar 2.5. Mesin pendingin (kiri), pompa (kanan)

Refrigerasi adalah suatu sistem yang memungkinkan untuk mengatur suhu sampai mencapai suhu di bawah suhu lingkungan. Penggunaan refrigerasi sangat dikenal pada sistem pendingin udara pada bangunan, transportasi, dan pengawetan suatu bahan makanan dan minuman. Perangkat mesin pendingin dapat mengkonversi energi listrik menjadi energi panas/termal. Pompa merupakan suatu perangkat yang berfungsi mengubah energi gerak menjadi energi fluida atau cairan. (Edi Purwanto, 2014)

DAFTAR PUSTAKA

- Rizal, D. M. (2013). *Konversi Energi*. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.
- Caturwati, N. K. (2017). *Energi dan Mesin-mesin Konversi Energi*. Serang: Untirta Press.
- Tole Sutikno, d. (2019). *Konversi Energi : Manajemen, Prinsip dan Aplikasi*. Yogyakarta: UAD Press.
- Hasbullah, M. (2009). *Dasar Konversi Energi*. Surabaya: FPTK UPI.
- Ahmad Wahid, I. J. (2014). Analisis Kapasitas dan Kebutuhan Daya Listrik Untuk Menghemat Penggunaan Energi Listrik di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. *Jurnal Teknik Elektro UNTAN*.
- STPN. (2019). Modul 6. Gelombang Elektromagnetik. In STPN, *Matematika Teknik* (pp. 189-207). Yogyakarta: STPN.
- Pieter de Vries, M. C. (2016). *Buku Panduan Energi yang Terbarukan*. PNPM.
- Anthony, Z. (2020). *Dasar Konversi Energi*. ITP.
- ITP, F. (2008). *Dasar Konversi Energi*. Padang: ITP.
- Suyono Thamrin, D. A. (2019). *Energi Baru dan Terbarukan*. Bogor: Universitas Pertahanan.
- Polimdo. (2020). *Mesin Konversi Energi*. Manado: Polimdo.
- Handoyo, E. A. (2002, April). Unjuk Kerja Motor Bakar Bensin dengan Turbojet Accelerator. *Jurnal Teknik Mesin*, 4(1), 43-49.
- Edi Purwanto, K. R. (2014). Pengaruh Jenis Refrigerant dan Beban Pendinginan Terhadap Kemampuan Kerja Mesin Pendingin. *TURBO*, 3(1), 11-16.

BAB 3

KLASIFIKASI ENERGI BARU DAN TERBARUKAN

Oleh Silvana Dwi Nurherdiana

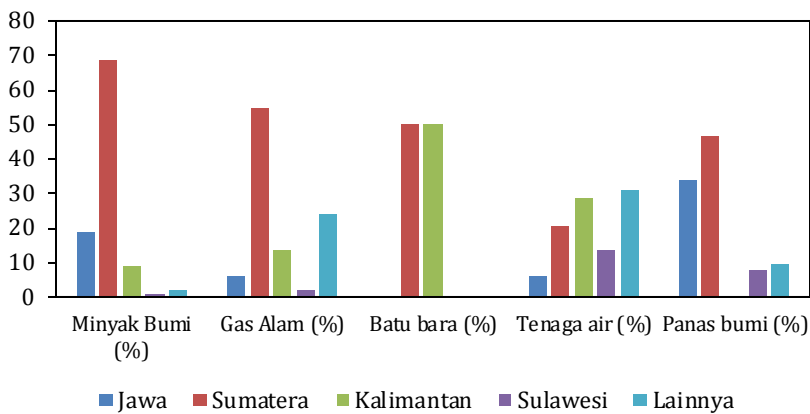
3.1 Pendahuluan

Ketersediaan energi masa depan menjadi topik yang sangat erat kaitannya dengan penentuan kesejahteraan manusia dan keberlanjutan kehidupan. Konsumsi energi cenderung tumbuh lebih cepat dibandingkan dengan pertumbuhan populasi yang dapat diproyeksikan akan meningkat 1,5% setiap tahunnya hingga tahun 2030 (Hasan et al., 2012).

Energi merupakan sebuah konsep termodinamika yang menjadi aspek penting dalam analisis teknik. Energi sebagai besaran kekal tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan, namun dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya yang dikenal sebagai Hukum pertama termodinamika. Hukum termodinamika kedua, jika sebuah energi diubah menjadi ke bentuk energi lainnya, maka energi yang tersisa diubah menjadi panas, maka setiap mesin tidak dapat mencapai efisiensi hingga 100% atau penurunan energi berguna. Pada suatu sistem tertutup, maka entropi atau derajat ketidakteraturan selalu mengalami kenaikan (Michaelides, 2020).

Satuan konsumsi energi pri).mer yang digunakan adalah *tonne of oil equivalent* = setara ton minyak (TOE) yang didefinisikan sebagai massa suatu jenis energi yang dapat menghasilkan energi setara dengan hasil pembakaran satu ton *crude* (minyak mentah). Energi yang dikonsumsi dalam skala

nasional saat ini ditunjukkan pada Gambar 3.1 yang terdiri dari energi tak terbarukan, energi baru dan terbarukan. Energi tak terbarukan merupakan energi yang bersumber dari bahan atau material yang proses produksinya jauh lebih lambat daripada pemakaiannya, sehingga akan habis jika dipakai secara terus menerus. Beberapa sumbernya adalah minyak bumi, gas bumi dan batu bara. Ketiga sumber tersebut merupakan hasil pelapukan fosil jutaan tahun lalu yang dapat dimanfaatkan sampai saat ini. Konsumsi minyak bumi secara berlebihan dapat meningkatkan emisi gas rumah kaca sehingga berdampak langsung pada kondisi alam dan kesejahteraan lingkungan (Sasana and Aminata, 2019).



Gambar 3.1. Ketersediaan Energi Primer di Indonesia
Sumber : (Hasan et al., 2012)

Kemajuan pemahaman akan sumber energi tersebut, pemerintah memperkenalkan pengertian energi baru dan terbarukan pada Undang –undang No 30 Tahun 2007. Energi baru bersumber dari bahan atau material tak terbarukan atau terbarukan yang diperoleh melalui proses teknologi baru tetapi memiliki siklus karbon yang panjang. Beberapa diantaranya adalah nuklir, hidrogen, dan gasifikasi batubara menjadi metana.

Sumber energi terbarukan berasal dari proses alam yang berkelanjutan, tersedia secara terus menerus dan dapat dikelola dengan baik dan bijak. Contoh sumbernya adalah panas bumi, bioenergi, air, angin dan cahaya matahari. Berdasarkan pada keunggulan yang dimiliki oleh energi baru dan terbarukan, pemerintah memberikan target bauran energi Indonesia sebesar 23% pada tahun 2025 dan 31% pada 2050 menuju perwujudan kemandirian dan ketahanan energi Indonesia. Penerapan energi baru dan terbarukan dimuat dalam kebijakan Pemerintah melalui Kebijakan Energi nasional Perpres No. 1 2014 yaitu terkait rencana pengelolaan energi tingkat nasional (Azhar and Satriawan, 2018).

3.2 Energi Baru

Sumber energi baru secara penuh dikelola oleh negara yang akan dimanfaatkan masyarakat secara luas, seperti nuklir, gasifikasi batubara menjadi metana yang akan dibahas pada sub bab berikut.

3.2.1 Energi Nuklir

Indonesia memiliki kedalaman pengalaman dan infrastruktur yang lebih besar dalam teknologi nuklir daripada negara lain di kawasan Asia Tenggara. Tercatat bahwa Indonesia memiliki tiga fasilitas terkait nuklir yang dioperasikan oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) yaitu di Serpong, Banten, di pinggiran barat Jakarta mampu memberikan energi 30 MW, Bandung, Jawa barat 2 MW, dan Yogyakarta, Jawa tengah 100 kW (Ratiko et al., 2020).

Pada dasarnya, atom sebagai unsur kimia terkecil menyimpan energi potensial sangat besar yang berpeluang untuk diubah ke energi listrik. Konversi ini dapat dilakukan menggunakan reaktor nuklir yang memiliki komponen inti yaitu *fuel bundle* sebagai bahan bakar seperti unsur uranium yang

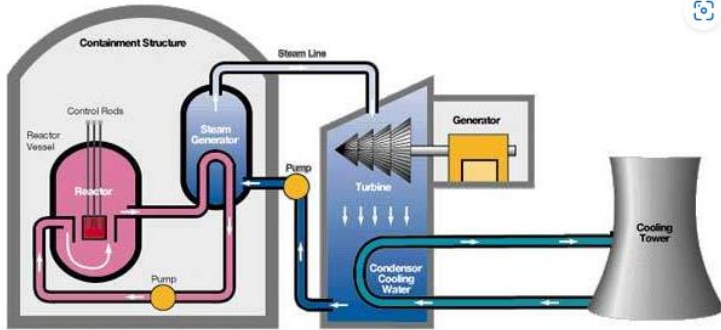
berbentuk silinder dengan nilai energi potensial setara dengan 800 kg batubara atau 560 L minyak bumi, *control rod* (tangkai kontrol) dan *coolant* (cairan pendingin) (Lenzen, 2008).

Reaksi nuklir diawali dengan penembakan neutron yang menabrak inti atom Uranium hingga menjadi tidak stabil. Atom uranium yang tidak stabil akan terbelahnya nukleus atom yang dikenal sebagai reaksi fisi. Reaksi tersebut melepaskan 3 neutron bebas, energi panas serta radiasi alpha, beta dan gamma. Ketiga neutron bebas akan menabrak nukelus uranium lainnya sehingga terjadi reaksi yang disebut sebagai reaksi nuklir berantai yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Reaksi Fisi Uranium
Sumber : (Vajpayee et al., 2021)

Control rod (tangkai kontrol) dan *coolant* (cairan pendingin) dalam sistem untuk menstabilkan kondisi di dalam reaktor. *Control rod* berperan untuk menangkap neutron bebas yang dihasilkan dari reaksi fisi sehingga jumlah reaksi nuklir dapat dikontrol. Suhu dan tekanan yang dihasilkan akan amat sangat tinggi sehingga dikontrol oleh *coolant* agar tetap berada pada kondisi aman. Selanjutnya, air yang menguap di dalam reaktor dapat menghasilkan uap bertekanan tinggi yang akan dialirkan dan dapat menggerakkan turbin yang tersambung dengan generator (Gambar 3.3). Perputaran generator akhirnya menghasilkan energi listrik, sementara uap air sisa penguapan akan masuk ke dalam kondensor hingga menghasilkan air yang akan masuk kembali ke reaktor inti (Ratiko et al., 2020).

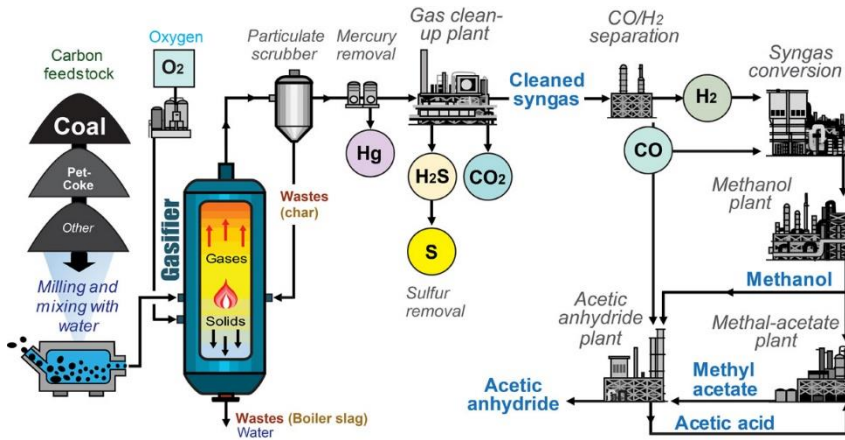


Gambar 3.3. Skema Reaktor Tenaga Nuklir ke Listrik
Sumber : ("Fuel Chemistry For Community," n.d.).

3.2.2 Energi Gasifikasi Batubara

Ketersediaan gas alam yang semakin menipis membuat peneliti beralih penggunaan batu bara untuk produksi energi bersih seperti hydrogen. Indonesia sebagai negara penghasil batubara terbesar di dunia memiliki sumber daya 50 Milyar ton dan cadangan batu bara 12 Milyar ton. Gasifikasi batubara adalah proses karbon terkonversi menjadi gas yang memiliki energi lebih besar dengan media gasifikasi. Gas yang dihasilkan adalah syngas berupa campuran karbonmonoksida (CO) dan hidrogen (H_2) serta produk minor metana dan uap air panas. Selanjutnya dilakukan reaksi *water-gas shift* yang merupakan reaksi bolak balik serta eksotermis seperti yang diilustrasikan di Gambar 3.4 (Wagner et al., 2008).

Teknologi membran digunakan untuk mengoptimasi perolehan produk campuran menjadi gas tunggal yang dapat diamnafaatkan selanjutnya. Salah satu contoh membran yang dapat dipalिकासikan adalah membran *water-gas shift* seperti polybenzimidazoles (PBIs) (Radcliffe et al., 2016).



Gambar 3.4. Skema Reaktor Gasifikasi Batubara serta Produk Turunannya

Sumber : ("Chemicals from Coal Gasification, Kentucky Geological Survey, University of Kentucky," n.d.).

3.3 Energi Terbarukan

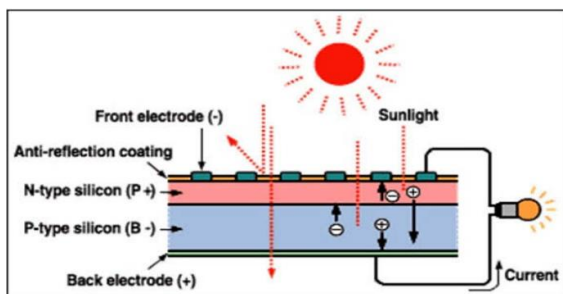
Energi terbarukan menyediakan energi yang dihasilkan dari sumber dan proses baru yang dilengkapi dengan proses terkendali dan berkesinambungan. Contoh dari energi terbarukan adalah energi matahari, energi hidrogen, air dan angin.

3.3.1 Energi Matahari

Energi yang bersumber dari cahaya matahari yang ketersediaanya melimpah di Indonesia karena keunggulannya sebagai negara beriklim tropis yang memiliki distribusi penyinaran antara 4,5 hingga 5,1 kWh.m⁻².hari⁻¹ (Azhar and Satriawan, 2018). Teknik penggunaannya dapat dibagi menjadi dua yaitu panel surya dan kolektor surya.

Pada panel surya, cahaya matahari langsung dikonfeksikan menjadi energi listrik yang diakibatkan dari efek fotovoltetik. Keunggulannya adalah harga terjangkau, ketersediaan yang

melimpah dan dapat mengurangi listrik di luar sistem (*off-grid*). Pada sistem kolektor surya, panas matahari dikumpulkan melalui kolektor surya yang desainya bervariasi untuk memperoleh panas optimal dan unggul untuk digabungkan secara simultan dengan sistem lain (Gambar 3.5).



Gambar 3.5. Siklus Perubahan Energi Matahari menjadi Energi Listrik menggunakan Sel Surya
(Sumber : (Harahap, 2020))

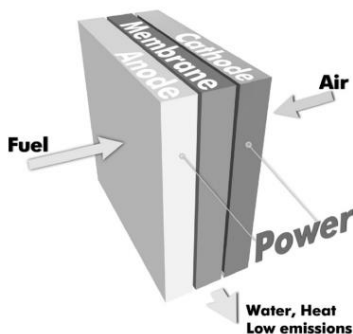
3.3.2 Energi Hidrogen

Hidrogen sebagai atom paling sederhana dalam sistem periodik unsur yang terdiri dari 1 proton dan 1 elektron. Hidrogen berasal dari bahasa Yunani yaitu *Hudor* yang berarti air dan *Gennan* yang berarti menghasilkan. Pada suhu ruang ditemukan dalam bentuk senyawa H_2 yang berbentuk gas, tidak berwarna, titik didih $-52,87\text{ }^{\circ}\text{C}$, titik leleh $-259,14\text{ }^{\circ}\text{C}$, tidak berbau dan mudah terbakar (Neef, 2009).

Energi berbasis hidrogen tanpa adanya proses melibatkan bahan bakar fosil telah diidentifikasi sebagai sumber energi bersih yang dapat membantu mencapai emisi nol. Keberadaan hidrogen di muka bumi sangat berlimpah, namun bergabung bersama dengan unsur oksigen menjadi air, sehingga dibutuhkan suatu teknologi pemisahan hidrogen dari molekul air. Beberapa teknik yang berhasil diimplementasikan adalah penerapan suhu dan energi tinggi yang berbahan bakar :1) fosil

(hidrogen cokelat), 2) campuran gas alam dan bahan bakar fosil yang emisinya dilepas ke alam (hidrogen abu-abu), 3) gas alam dan bahan bakar fosil yang emisinya ditangkap dan diproses kembali (hidrogen biru) dan tanpa bahan bakar fosil yang lebih ramah lingkungan (hidrogen hijau).

Energi hidrogen hijau dapat dilakukan dengan mengalirkan arus listrik yang kuat untuk membelah molekul menjadi dua elemen masing- masing yang dikenal sebagai proses elektrokimia (*fuel cell*) (gambar 3.6) (Momirlan and Veziroglu, 2002). Setiap sel bahan bakar ini memiliki dua elektroda yang disebut anoda dan katoda serta elektrolit yang dilengkapi dengan kartalis dapat membawa partikel bermuatan listrik dari satu elektroda ke elektrode lainnya. Keunggulan sel bahan bakar ini adalah rendah polusi dan menghasilkan produk samping berupa air.



Gambar 3.6. Skema Sel Bahan Bakar
(Sumber : (Edwards et al., 2008))

Cara kerja sel bahan bakar berbasis hidrogen adalah hidrogen dalam sel dialirkan menuju sisi anoda, sedangkan oksigen di dalam udara dialirkan menuju sisi katoda. Pada anoda terjadi pemisahan hidrogen menjadi elektron dan proton. Ion hidrogen ini kemudian akan menyeberang dan bertemu dengan oksigen dan elektron di katoda hingga menghasilkan air.

Elektron-elektron yang mengandung muatan listrik ini akan menuju katoda melalui jaringan eksternal. Aliran elektron-elektron inilah yang akan menghasilkan arus listrik. Oleh karena itu, sel bahan bakar ini dapat menghasilkan listrik secara kimiawi, bukan dengan pembakaran sehingga sel bahan bakar berikut tidak menggunakan hukum termodinamika yang membatasi pembangkit listrik secara konvensional. Beberapa kendala terkini terkait pengembangan energi hidrogen hijau ini adalah terkait efisiensi yang masih belum tercapai secara optimal seperti kendala pemilihan elektrolit yang nantinya akan menentukan desain elektroda. Saat ini, jenis elektrolit cair utama adalah alkali, karbonat cair dan asam fosfat, sedangkan elektrolit padat adalah membran proton dan oksida padat (Edwards et al., 2008).

3.3.3 Energi Air

Pada era modern ini, energi air atau hidro yang memiliki kontribusi banyak dalam pemenuhan kebutuhan energi manusia dan ramah lingkungan. Energi air adalah sebuah energi alternatif yang menarik karena dapat dikonversikan menjadi energi listrik melalui pemanfaatan alirannya. Energi air sudah dimanfaatkan dari masa lampau hingga saat ini untuk menjaga kelangsungan kehidupan. Pada masa lampau, pemanfaatan potensi aliran air hanya sebatas dikonversikan menjadi energi gerak untuk menggerakkan peralatan pendukung kebutuhan sehari-hari, seperti penggilingan gandum, jagung, beras hingga menjadi tepung, dan proses penggergajian kayu. Oleh karena itu, industri yang bersangkutan harus berada di bantaran air sungai yang memiliki aliran baik.

Seiring dengan berjalannya waktu, manusia mulai memahami dasar dari pemanfaatan energi listrik dan cara pembangkitannya. Maka, berbagai energi yang dari alam mencoba terus dikembangkan untuk menjadi energi listrik yang

dapat dimanfaatkan meski berada jauh dari aliran air. Salah satu energinya adalah teknologi mikro hidro yang mengubah energi gerak air menjadi energi listrik. Saat ini, badan pengelolanya disebut sebagai Pembangkit Listrik tenaga Air (PLTA). Arus listrik yang dihasilkan dapat didistribusikan ke jarak yang lebih jauh lagi hingga mencapai lokasi perkotaan (Gambar 3.7).

Prinsip kerja PLTA adalah mengubah energi kinetik aliran air menjadi energi listrik yaitu aliran air dari bendungan dengan kecepatan tinggi. Pada bagian bawah bendungan dibuat lubang saluran air hingga menuju turbin bawah tanah. Turbin berfungsi untuk mengubah energi kinetik dari gerakan air menjadi energi mekanik yang dapat menggerakkan generator listrik. Listrik yang dihasilkan generator akan dialirkan ke transformator yang kemudian diteruskan ke gardu induk. Turbin-turbin listrik yang digerakkan air kini sudah mulai dimanfaatkan dan dikembangkan di seluruh penjuru dunia (Taufiqurrahman and Windarta, 2020). Indonesia sendiri memiliki beberapa PLTA, salah satunya sejak di Waduk Cirata Jawa Barat (6200 ha) dengan kapasitas 1000 Mwatt dengan daya listrik hingga 1427 GWatt setiap tahun yang dioperasikan sejak 1980.



Gambar 3.7. Skema Pembangkit Listrik Tenaga Air
(Sumber : (Astro et al., 2020))

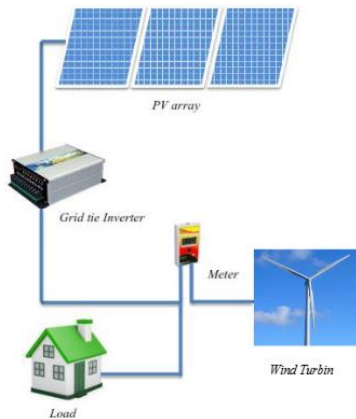
3.3.2 Energi Angin

Energi angin adalah energi kinetik yang terkandung dalam gerak angin yang bertiup yang tidak hanya menghasilkan kesejukan semata. Angin merupakan pergerakan udara di permukaan bumi yang diakibatkan oleh adanya perbedaan tekanan udara di satu lokasi dibandingkan dengan lokasi lainnya . Angin akan bertiup dari wilayah yang bertekanan udara tinggi menuju ke wilayah yang bertekanan udara rendah. Perbedaan tekanan ini dapat diakibatkan adanya proses pemanasan permukaan bumi oleh penerimaan sinar matahari yang berbeda. Seperti wilayah khatulistiwa akan memiliki suhu udara lebih tinggi sehingga kerapatan udaranya lebih ringan sehingga zona bertekanan udara rendah dan udara hangat akan naik ke atas. Hal ini mengakibatkan pergerakan udara hangat dari permukaan bumi ke atmosfer. Udara hangat yang naik ke atas ini kemudian akan digantikan oleh udara yang lebih dingin hingga mengakibatkan terjadinya angin di permukaan bumi (Habibie et al., 2011).

Pemanfaatan energi angin telah dimanfaatkan pada zaman dahulu yang hanya sebatas pemanfaatan energi mekanik untuk menggerakkan penggilingan biji dan hasil pertanian seperti yang dikenal di negara kincir angin yaitu Belanda. Selain itu, tenaga angin juga dimanfaatkan untuk memompa air dari dalam tanah. Penggunaan lainnya adalah tenaga menggerakkan kapal layar sebagai alat transportasi untuk berkiriman barang dan manusia.

Pemanfaatan saat ini adalah gerakan angin menjadi energi listrik melalui tenaga atau energi yang ditangkap baling-baling. Baling-baling yang berputar akan membuat generator berputar yang akan dikonversikan menjadi energi listrik yang dikenal sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Kecepatan angin yang dapat dimanfaatkan adalah sekitar 3-6 m/detik dengan hasil listrik 9290 MWatt. Perkembangan

teknologi juga tidak lepas dari semakin tingginya permintaan yang juga mempertimbangkan dengan adanya potensi di lokasi. Salah satunya adalah tenaga listrik yang dihasilkan dari kombinasi tenaga angin dan matahari seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8. Skema Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid
(Sumber : (Harmini and Nurhayati, 2018))

DAFTAR PUSTAKA

- Astro, R.B., Ngapa, Y.D., Toda, S.G., Nggong, A., 2020. Potensi Energi Air sebagai Sumber Listrik Ramah Lingkungan di Pulau Flores. *Opt. J. Pendidik. Fis.* 4, 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. *Adm. Law Gov. J.* 1, 398–412. <https://doi.org/10.14710/alj.v1i4.398-412>
- Chemicals from Coal Gasification, Kentucky Geological Survey, University of Kentucky [WWW Document], n.d. URL <https://www.uky.edu/KGS/coal/coal-for-chemical-gasification.php> (accessed 3.7.23).
- Edwards, P.P., Kuznetsov, V.L., David, W.I.F., Brandon, N.P., 2008. Hydrogen and fuel cells: Towards a sustainable energy future. *Energy Policy, Foresight Sustainable Energy Management and the Built Environment Project* 36, 4356–4362. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.036>
- Fuel Chemistry For Community [WWW Document], n.d. URL <https://personal.ems.psu.edu/~pisupati/ACSO Outreach/Nuclear.html> (accessed 3.3.23).
- Habibie, M.N., Sasmito, A., Kurniawan, R., 2011. Kajian Potensi Energi Angin di Wilayah Sulawesi dan Maluku. *J. Meteorol. Dan Geofis.* 12. <https://doi.org/10.31172/jmg.v12i2.99>
- Harahap, P., 2020. Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Yang Dihasilkan Dari Berbagai Jenis Sel Surya. *RELE Rekayasa Elektr. Dan Energi J. Tek. Elektro* 2, 73–80. <https://doi.org/10.30596/rele.v2i2.4420>
- Harmini, H., Nurhayati, T., 2018. Pemodelan Sistem Pembangkit Hybrid Energi Solar dan Angin. *Elektrika* 10, 28–32. <https://doi.org/10.26623/elektrika.v10i2.1167>
- Hasan, M.H., Mahlia, T.M.I., Nur, H., 2012. A review on energy scenario and sustainable energy in Indonesia. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 2316–2328. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.12.007>

- Lenzen, M., 2008. Life cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear energy: A review. *Energy Convers. Manag.* 49, 2178–2199.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.01.033>
- Michaelides, E.E., 2020. Thermodynamics and energy usage of electric vehicles. *Energy Convers. Manag.* 203, 112246.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112246>
- Momirlan, M., Veziroglu, T.N., 2002. Current status of hydrogen energy. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 6, 141–179.
[https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(02\)00004-7](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(02)00004-7)
- Neef, H.-J., 2009. International overview of hydrogen and fuel cell research. *Energy, WESC* 2006 34, 327–333.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.08.014>
- Radcliffe, A.J., Singh, R.P., Berchtold, K.A., Lima, F.V., 2016. Modeling and Optimization of High-Performance Polymer Membrane Reactor Systems for Water–Gas Shift Reaction Applications. *Processes* 4, 8.
<https://doi.org/10.3390/pr4020008>
- Ratiko, R., Wisnubroto, D.S., Nasrudin, N., Mahlia, T.M.I., 2020. Current and future strategies for spent nuclear fuel management in Indonesia | Elsevier Enhanced Reader. *Energy Strategy Rev.* 32, 1–11.
<https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100575>
- Sasana, H., Aminata, J., 2019. Energy Subsidy, Energy Consumption, Economic Growth, and Carbon Dioxide Emission: Indonesian Case Studies. *Int. J. Energy Econ. Policy* 9, 117–122. <https://doi.org/10.32479/ijeep.7479>
- Taufiqurrahman, A., Windarta, J., 2020. Overview Potensi dan Perkembangan Pemanfaatan Energi Air di Indonesia. *J. Energi Baru Dan Terbarukan* 1, 124–132.
<https://doi.org/10.14710/jebt.2020.10036>
- Vajpayee, V., Becerra, V., Bausch, N., Deng, J., Shimjith, S.R., Arul, A.J., 2021. Robust-optimal integrated control design technique for a pressurized water-type nuclear power plant. *Prog. Nucl. Energy* 131, 103575.
<https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2020.103575>

Wagner, N.J., Coertzen, M., Matjie, R.H., van Dyk, J.C., 2008.
Chapter 5 - Coal Gasification, in: Suárez-Ruiz, I., Crelling,
J.C. (Eds.), Applied Coal Petrology. Elsevier, Burlington, pp.
119–144. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045051-3.00005-1>

BAB 4

MEKANISME KONVERSI ENERGI KE ENERGI LISTRIK NON KONVENSIONAL

Oleh Rianto Wibowo

4.1 Pendahuluan

Sumber energi non konvensional atau sumber energi terbarukan merupakan sumber energi yang didapatkan dari sumber daya energi yang dapat dimanfaatkan terus-menerus atau berkelanjutan. Sumber energi non konvensional berasal dari bumi (terrestrial), dan juga berasal dari luar bumi (ekstraterrestrial). Ragam sumber energi terbarukan antara lain : energi aliran air, energi angin, energi surya,biomassa, gelombang laut, dan panas bumi.

Sumber-sumber energi berupa energi konvensional, maupun energi non konvensional dapat dikonversikan menjadi sumber-sumber energi sekunder, yakni energi listrik. Energi listrik memiliki nilai lebih jika dibandingkan dengan jenis sumber energi sekunder lainnya, kelebihan tersebut adalah energi listrik merupakan jenis energi yang dapat disimpan, dapat dipindahkan, dan dapat disitribusikan dengan mudah.

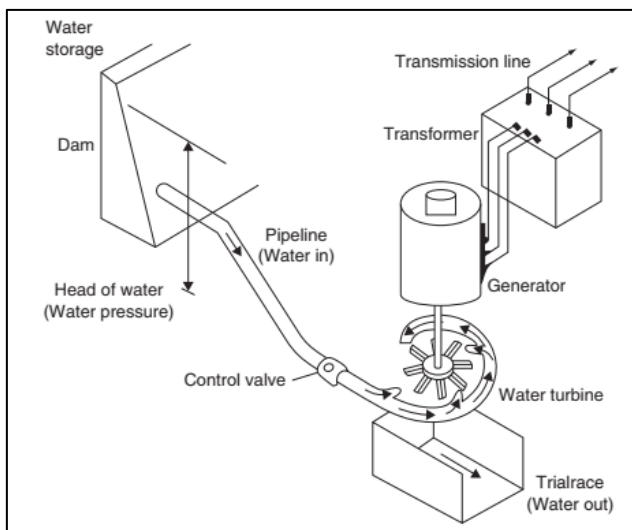
4.2 Energi Air Ke Energi Listrik

4.2.1 Mekanisme Konversi Energi Air ke Energi Listrik

Energi air merupakan energi yang diperoleh dari aliran air, baik karena kecepatannya (energi kinetik) maupun ketinggian jatuh air (energi potensial). Mekanisme konversi energi air menjadi energi listrik adalah dengan adanya energi aliran air di sungai yang kemudian di tampung pada sebuah bendungan,

selanjutnya dialirkan pada rangkaian pipa agar energi potensial air dapat diubah menjadi energi kinetik, sehingga pada akhirnya diubah kembali menjadi energi mekanis untuk memutar turbin.

Putaran turbin menyebabkan generator yang seporos dengan turbin dapat berputar, sehingga dengan proses tersebut selanjutnya membangkitkan induksi elektromagnetik yang menghasilkan energi listrik (hidayat, 2019). Mekanisme perubahan energi dari energi aliran air menjadi energi listrik dapat terlihat pada gambar 4.1 dibawah.



Gambar 4.1. Skema PLTA (Sumber : taufiqurrokhman,2021)

4.2.2 Daya Listrik Terbangkitkan

1. Daya Air

Air yang mengalir dengan debit (Q) dan memiliki tinggi jatuh (H) tertentu, akan membawa daya (P_{air}) yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_{air} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \text{ (Watt)} \quad (4.1)$$

dimana :

ρ : massa jenis air (kg/m^3)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

Q : debit aliran air (m^3/s)

H : tinggi jatuh air (m)

2. Daya Listrik Oleh Energi Air

Daya listrik yang akan didapatkan pada pembangkit listrik tenaga air, dapat dihitung seperti pada persamaan berikut :

$$P_{\text{listrik}} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_t \cdot \eta_g \quad (\text{Watt}) \quad (4.2)$$

dimana :

η_t : efisiensi turbin air

η_g : efisiensi generator

4.3 Energi Angin Ke Energi Listrik

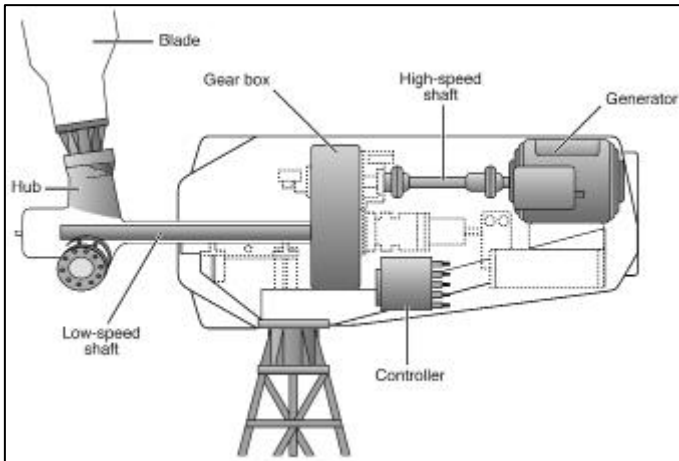
4.3.1 Mekanisme Konversi Energi Angin ke Energi Listrik

Mekanisme perubahan energi dari bentuk energi angin menjadi energi listrik dimulai dari energi angin yang memiliki energi kinetik yang selanjutnya akan memutar sudu-sudu turbin angin. Putaran sudu turbin diteruskan untuk memutar rotor pada generator di bagian belakang turbin angin.

Generator merubah energi gerak menjadi energi listrik dengan teori medan elektromagnetik, ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya karena terjadi perubahan fluks ini akan dihasilkan tegangan induksi dan arus listrik induksi.

Tegangan dan arus listrik induksi yang dihasilkan oleh generator ini berupa DC (*direct current*) yang akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan. Proses

mekanisme pembangkitan energi listrik oleh energi angin terlihat seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4.2. Turbin Angin (Sumber : sandlegenda.com, 2013)

4.3.2 Daya Listrik Terbangkitkan

1. Daya Angin

Tiupan angin yang memiliki massa (m) dan bergerak dengan kecepatan (v), maka akan membawa energi kinetik yang besarnya dirumuskan pada persamaan :

$$Ek = \frac{1}{2}mv^2 \text{ (Nm)} \quad (4.3)$$

Selanjutnya energi kinetik angin ini akan ditangkap oleh turbin angin untuk memutar rotor. Nilai daya angin (P_w) saat berhembus melintas luasan bidang (A) dengan kecepatan (v) dapat dihitung dengan perasamaan :

$$P_w = \frac{1}{2}(\rho Av)v^2 = \frac{1}{2}\rho Av^3 \text{ (watt)} \quad (4.4)$$

2. Daya Mekanik Turbin

Saat angin melewati turbin, terdapat dua jenis kecepatan yaitu v_1 kecepatan angin sebelum masuk turbin, dan v_2 kecepatan angin setelah keluar dari turbin, maka daya mekanik turbin diperoleh dari selisih energi kinetik angin sebelum dan setelah melewati turbin. Besarnya daya mekanik turbin angin dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_T = \frac{1}{2} \rho (A_1 v_1^3 - A_2 v_2^3) \quad (4.5)$$

3. Daya Listrik Oleh Energi Angin

Nilai pendekatan menentukan besarnya daya yang dibangkitkan oleh PLTB dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$P = k \cdot F \cdot A \cdot E \cdot V^3 \quad (\text{Watt}) \quad (4.6)$$

k : konstanta daya listrik ($= 1,37 \times 10^{-5}$)

E : efisiensi rotor

F : faktor daya ($= 0,5926$)

v : kecepatan angin (m/s)

A : luasan bidang impeler turbin.

4.4 Energi Surya Ke Energi Listrik

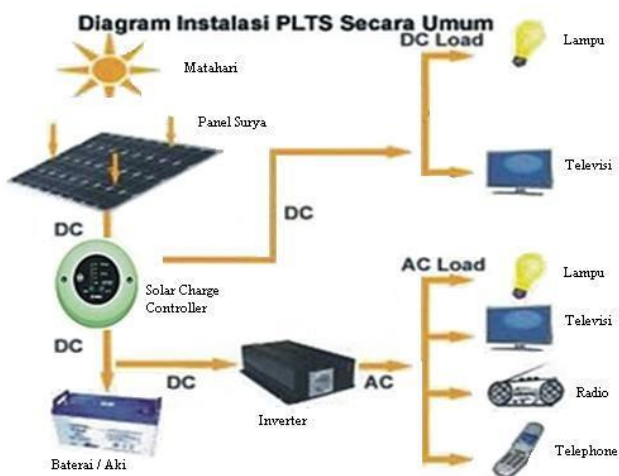
4.4.1 Mekanisme Konversi Energi Surya ke Energi Listrik

Mekanisme konversi energi dari energi surya menjadi energi listrik terjadi pada sel surya berdasarkan peristiwa efek fotolistrik (efek fotovoltaiik). Efek fotolistrik adalah efek yang terjadi akibat foton dengan panjang gelombang tertentu dan memiliki energi yang lebih besar daripada energi ambang semikonduktor. Energi foton tersebut diterima oleh elektron sehingga berpindah dari pita valensi (N) menuju pita konduksi

(P) sehingga meninggalkan *hole* pada pita valensi, selanjutnya dua buah muatan, yaitu pasangan elektron-hole, dibangkitkan.

Apabila Aliran elektron-hole dihubungkan ke beban listrik lewat penghantar, maka mengalirlah arus listrik pada penghantar tersebut. Arus listrik yang dihasilkan Sel Surya selanjutnya akan dikontrol oleh *Solar Charge Controller* untuk mengatur pengisian arus ke baterai, serta mengatur arus dari baterai menuju beban agar tidak *overloading*.

Energi listrik yang dihasilkan selanjutnya disimpan dalam baterai, yakni media penyimpanan tenaga listrik arus searah (DC) sebelum dimanfaatkan untuk beban. Agar energi listrik dari baterai dapat digunakan untuk mengoperasikan alat-alat listrik, dibutuhkan *inverter* yang fungsinya untuk mengkonversikan tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak balik (AC).



Gambar 4.3. Skema PLTS
(sumber : armand10dma.blogspot.com, 2011)

4.4.2 Daya Listrik Terbangkitkan

1. Daya Iradiansi Matahari

Energi kalor tiap satuan waktu yang dilepaskan dari matahari disebut sebagai energi radiasi / Luminositas yang besarnya dihitung dengan persamaan :

$$L = \sigma \cdot A \cdot T^4 \text{ (Watt)} \quad (4.7)$$

dimana :

L : luminositas/radiasi surya

A : luas matahari

σ : konstanta boltsmann

T : suhu matahari

Daya kalor yang diterima oleh bumi disebut sebagai iradiansi yang besarnya berbanding terbalik dengan kuadrat jarak rata-rata matahari ke bumi (d), besarnya daya iradiansi ini dapat dihitung dengan persamaan :

$$E = \frac{L}{4\pi d^2} \text{ (Watt)} \quad (4.8)$$

dimana :

d : jarak rata-rata matahari – bumi

2. Daya Listrik Sel Surya

Besarnya tegangan yang dapat dibangkitkan oleh sebuah sel surya adalah kurang lebih sebesar 0,5 volt. Sebagai contoh, jika terdapat panel surya bertegangan 12 volt, hal ini berarti terdapat minimal 24 sel agar menghasilkan tegangan seperti yang direncanakan (Fitriyah, 2015).

Kapasitas sel surya dinyatakan dalam nilai Watt Peak (WP), yang artinya sel surya tersebut menghasilkan daya maksimum saat matahari terik. Besarnya peak untuk 1 hari di asumsikan 4,5 jam atau dalam

perhitungannya digunakan sebagai faktor pengali waktunya adalah 4 jam.

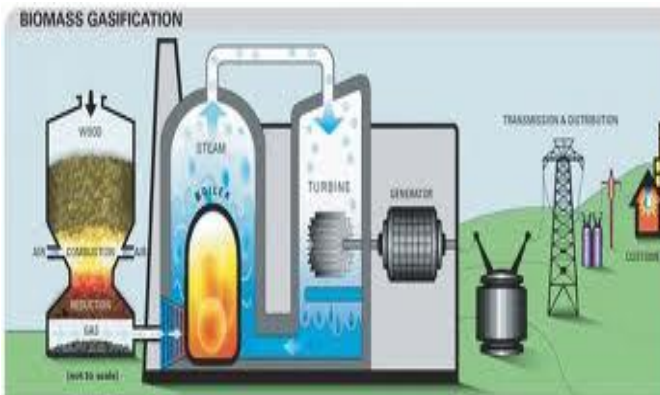
4.5 Energi Biomassa Ke Energi Listrik

4.5.1 Mekanisme Konversi Energi Biomassa ke Energi Listrik

Mekanisme perubahan biomassa menjadi energi listrik diawali dengan adanya proses yang merubah biomassa menjadi bahan bakar, seperti : bahan bakar padat, bahan bakar cair, biogas, biodiesel, gas metan, dan bioetanol.

Bahan bakar hasil pengolahan biomassa selanjutnya digunakan untuk menjalankan mesin diesel dan bensin atau untuk memanaskan air dalam boiler yang akan menghasilkan uap bertekanan guna memutar turbin gas atau turbin uap.

Putaran output mesin atau turbin tersebut selanjutnya diteruskan pada generator sehingga akan dihasilkan energi listrik. Mekanisme perubahan energi biomassa menjadi energi listrik ditunjukkan pada gambar 4.4.



Gambar 4.4. Skema PLT biogas (Sumber : zhanaruminate.com)

4.5.2 Daya Listrik Terbangkitkan

1. Energi pada Biomassa

Pada proses gasifikasi biomassa akan dihasilkan biogas dimana faktor utama besarnya jumlah energi yang terkandung pada biogas ini adalah jumlah massa (m) dan nilai kapasitas kalor (C). Besarnya energi pada biomassa dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Hamdi, 2016):

$$E = (1 - k_A) \cdot k \cdot m \cdot C \text{ (Joule)} \quad (4.9)$$

k_A : kadar air biomassa m : massa (kg)

k : konstanta residu biomassa C : kapasitas kalor (J/kg)

Jenis bahan bakar lain, akan memiliki jumlah energi yang kurang lebih sama dengan rumusan energi pada biogas yaitu tergantung pada jumlah massa dan kapasitas kalor dari bahan baku biomassa tersebut.

2. Daya Listrik Biomassa

Daya listrik biomassa merupakan energi biomassa yang dihasilkan tiap satuan waktu ($P_{\text{biomassa}} = \frac{E}{t}$), dan daya listrik yang didapatkan dari penggunaan energi biomassa untuk menggerakkan turbin dan generator akan didapatkan dengan perhitungan :

$$P_{\text{listrik}} = P_{\text{biomassa}} \cdot \eta_t \cdot \eta_g \text{ (Watt)} \quad (4.10)$$

η_t : efisiensi turbin

η_g : efisiensi generator

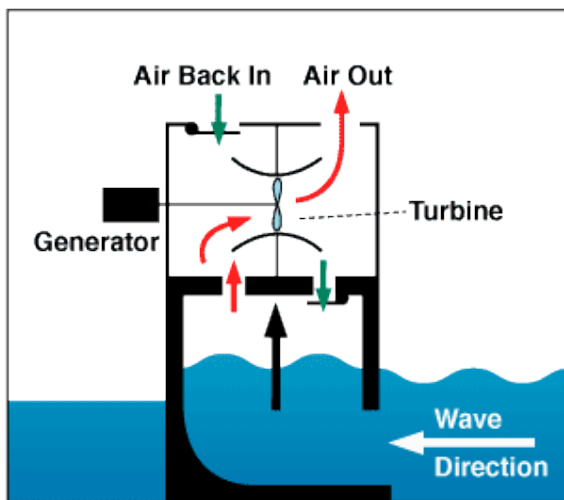
4.6 Energi Gelombang Laut Ke Energi Listrik

4.6.1 Mekanisme Konversi Energi Gelombang Laut ke Energi Listrik

Mekanisme perubahan energi gelombang laut menjadi energi listrik yaitu perubahan energi kinetik gelombang laut yang masuk dalam mesin konversi energi gelombang. Energi

kinetik selanjutnya digunakan untuk menggerakkan turbin, sehingga putaran rotor turbin akan memutar generator sehingga dihasilkannya energi listrik (Hamdi, 2016).

Salah satu metode mesin konversi energi gelombang menjadi energi kinetik untuk menggerakkan turbin adalah metode Oscilating Water Column (OWC). Pada teknologi OWC, digunakan tekanan udara dari ruangan kedap air untuk menggerak *whells turbine* yang selanjutnya memutar generator. Skema OWC untuk memanfaatkan energi gelombang laut terlihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Skema OWC (Sumber : bagustris.com, 2015)

4.6.2 Daya Listrik Terbangkitkan

1. Energi gelombang Laut

Gelombang laut membawa energi mekanik atau energi total gelombang, yaitu penjumlahan dari energi potensial gravitasi dan energi kinetik. Besarnya energi total yang dimiliki oleh gelombang laut adalah :

$$E_{\text{total}} = \frac{1}{2} \cdot w \cdot \rho \cdot g \cdot A^2 \cdot \lambda \quad (\text{Joule}) \quad (4.11)$$

dimana :

w : lebar chamber pada OWC

A : Amplitudo gelombang laut

λ : panjang gelombang laut

2. Daya Listrik Gelombang Laut

Besarnya energi gelombang laut yang dihasilkan tiap satuan waktu selanjutnya disebut sebagai daya gelombang ($P_{\text{gelombang}} = \frac{E_{\text{total}}}{t}$). Daya listrik terbangkitkan hasil konversi energi gelombang laut didapatkan dengan persamaan :

$$P_{\text{listrik}} = P_{\text{gelombang}} \cdot \eta_{\text{turbin}} \cdot \eta_{\text{generator}} \quad (\text{Watt}) \quad (4.12)$$

dimana :

η_{turbin} : efisiensi turbin

$\eta_{\text{generator}}$: efisiensi generator

4.7 Energi Panas Bumi Ke Energi Listrik

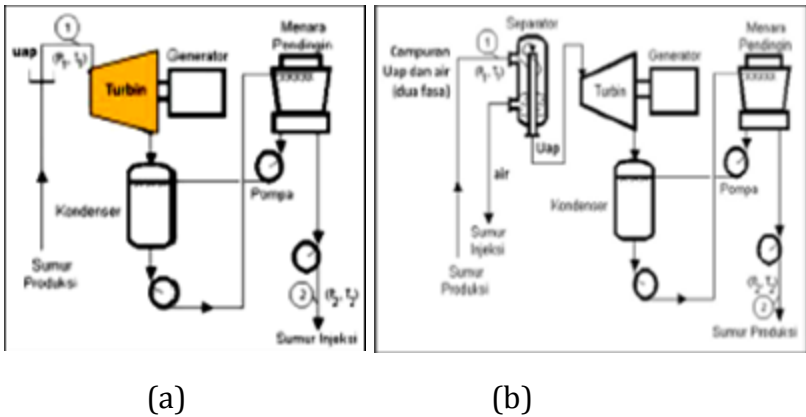
4.7.1 Mekanisme Konversi Energi Panas Bumi ke Energi Listrik

Energi panas bumi, adalah energi panas yang tersimpan dalam batuan di bawah permukaan bumi dan fluida yang terkandung didalamnya. Energi panas bumi yang muncul di permukaan dapat berupa uap (satu fasa) atau dapat juga berupa campuran uap dan air (dua fasa).

Apabila fluida panas di kepala sumur berupa fasa uap, maka mekanisme perubahan energi panas bumi menjadi energi listrik adalah dengan mengalirkan secara langsung menuju ke turbin uap, sehingga didapatkan energi mekanik putaran rotor

turbin. Putaran rotor turbin selanjutnya menggerakkan generator untuk membangkitkan energi listrik. Jika fluida panas yang keluar di kepala sumur berupa campuran uap dan air panas, maka digunakan alat pemisah atau separator agar uap panas saja yang diteruskan menuju ke turbin dan selanjutnya memutar generator untuk menghasilkan energi listrik.

Skema yang menunjukkan proses perubahan energi panas bumi menjadi energi listrik dalam sistem pembangkit listrik panas bumi terlihat seperti pada gambar 4.6.



Gambar 4.6. Skema Pembangkit Listrik Panas Bumi
(Sumber : Putra, 2015)

4.7.2 Daya Listrik Terbangkitkan

1. Laju energi kalor panas bumi

Energi kalor yang dibawa oleh fluida dari dalam perut bumi merupakan hasil penjumlahan antara nilai kalor dalam aliran air panas dan nilai kalor yang terkandung dalam uap panas. Besarnya laju energi kalor total panas bumi (H_{total}) dapat dihitung dengan persamaan:

$$H_{\text{total}} = \dot{m}_{\text{fluida}} (h_{\text{air}} + h_{\text{uap}}) \text{ (KWatt)} \quad (5.13)$$

dimana :

- H_{total} : laju aliran kalor fluida panas
 $\dot{m}_{\text{air}}$: laju aliran fluida panas (kg/s)
 h_{air} : entalpi air panas bumi (kj/kg)
 h_{uap} : entalpi uap panas bumi (kj/kg)

2. Daya listrik panas bumi

Energi kalor yang dibawa oleh uap panas menuju ke turbin uap, menghasilkan daya atau kerja turbin dengan persamaan :

$$W = \eta_{\text{turbin}} \cdot \dot{m}_{\text{uap}} \cdot (h_1 - h_2) \text{ (Kwatt)} \quad (5.14)$$

dimana :

- W : daya turbin
 $\dot{m}_{\text{uap}}$: laju aliran massa uap (kg/s)
 h_1 : entalpi uap sebelum masuk turbin uap
 h_2 : entalpi uap sesudah keluar turbin uap

Daya turbin selanjutnya diteruskan pada generator untuk menghasilkan daya listrik. Besarnya daya listrik yang dihasilkan dari konversi energi panas bumi didapat dengan persamaan :

$$P_{\text{listrik}} = W_{\text{turbin}} \cdot \eta_{\text{generator}} \text{ (KWatt)} \quad (4.15)$$

dimana :

- P_{listrik} : daya listrik terbangkitkan
 W_{turbin} : daya turbin uap
 $\eta_{\text{generator}}$: efisiensi generator

DAFTAR PUSTAKA

- Fitriyah,N. 2015. *Pembangkit Listrik Tenaga Surya* . Jakarta : Teknik Elektronika, Universitas Trisakti.
- Hamdi, 2016. *Energi Terbarukan*. Padang : Universitas Negeri Padang.
- Hidayat, W. 2019. *Prinsip Kerja dan Komponen - Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)*. Bandung: Universitas Jendral Achmad Yani.
- bagus.blogspot.com, *Pembangkit Listrik Gelombang Air Laut* , Januari 2019. <http://bagustris.blogspot.com/2015/01/student-note-pembangkit-listrik.html> (diakses : 4 April 2023).
- zhanaruminate.blogspot.com., *Pembangkit Listrik Tenaga Biogas*, Oktober 2014. <http://zhanaruminate.blogspot.com/2014/10/pembangkit-listrik-tenaga-biogas.html> (diakses : 4 April 2023).
- sanfordlegenda.blogspot.com. *Pembangkitan listrik memanfaatkan tenaga angin*, September 2013. <http://sanfordlegenda.blogspot.com/2013/09/Pembangkit-listrik-memanfaatkan-tenaga-angin.html>. (diakses : 2 April 2023)
- taufiqurrokhman.wordpress.com, *Teknik Pembangkit Listrik* ,4 April 2021. <https://taufiqurrokhman.wordpress.com/tag/plta/> (diakses : 2 April 2023)
- armand10dma.com. *Pembangkit Listrik Tenaga Surya*, 2 Agustus 2011 <http://armand10dma.blogspot.com/2011/08/v-behaviorurldefaultvmlo.html> (diakses : 2 April 2023)

BAB 5

JENIS RENEWABLE ENERGI

Oleh Bambang Winardi

5.1 Pendahuluan

Energi merupakan masalah terpenting dunia, karena dua alasan:

Pertama; sumbernya terbatas. Mengingat hubungan antara standar hidup dan penggunaan energi, situasinya semakin buruk dari tahun ke tahun.

Kedua; proses untuk mengubah bahan bakar fosil sangat berbahaya bagi lingkungan.

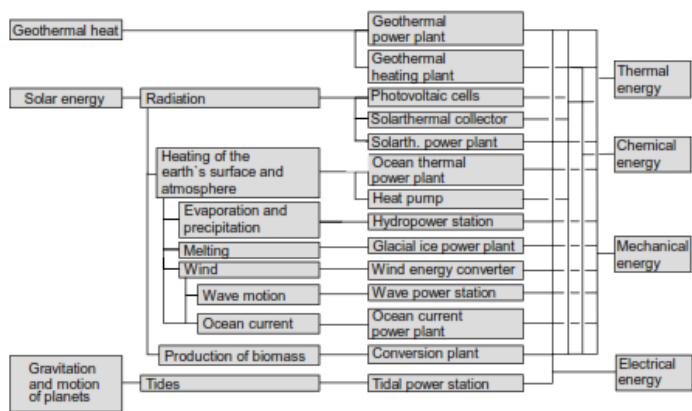
Untungnya, aliran energi yang terjadi secara alami dan diproduksi berulang dapat dimanfaatkan untuk manusia. Sumber utama dari sebagian besar energi ini adalah matahari, gravitasi, dan rotasi bumi.

Energi terbarukan adalah energi yang diperoleh dari aliran energi yang terus menerus atau berulang-ulang di lingkungan alam. Sistem energi terbarukan merupakan sistem “alternatif” jika mampu menyediakan sebagian atau seluruh kebutuhan energi yang dipenuhi oleh energi fosil. Sistem seperti itu juga berkelanjutan karena pasokan energi akan terus menerus, seperti matahari terus bersinar, gravitasi berlaku pada benda-benda dan bumi berputar. Bahan bakar fosil, di sisi lain, seperti batu bara, minyak bumi dan gas adalah bahan bakar konvensional yang tidak memiliki keberlanjutan.

Pembangkit listrik tenaga air, biomassa klasik dan kayu misalnya digunakan selama berabad-abad yang akan tersedia selamanya.

Agar berkelanjutan sistem konversi energi harus memenuhi syarat : Ketahanan dan kebersihan, Sistem energi harus memiliki prospek yang baik untuk bertahan tanpa batas waktu.(S Uygur, 2018)

Sumber energi terbarukan saat ini memasok antara kurang lebih 20% dari total permintaan energi dunia. Pasokan didominasi oleh biomassa tradisional, kebanyakan kayu bakar digunakan untuk memasak dan memanaskan, terutama di negara-negara berkembang di Afrika, Asia dan Latin Amerika. Kontribusi besar juga diperoleh dari penggunaan tenaga air dengan hampir 20% dari pasokan listrik global yang disediakan oleh sumber ini. Energi baru terbarukan sumber (energi matahari, energi angin, bio-energi modern, energi panas bumi, dan tenaga air) saat ini berkontribusi sekitar 2%. Sejumlah penelitian potensi energi terbarukan untuk pasokan energi global, menunjukkan pada paruh kedua abad 21 berkontribusi berkisar antara 20-50 % tergantung pada kebijakan setempat.(Herzog, Lipman and DM Kammen, 1989)



Gambar 5.1. Penggunaan energi terbarukan
 Sumber : (Kaltschmitt and Streicher, 2007)

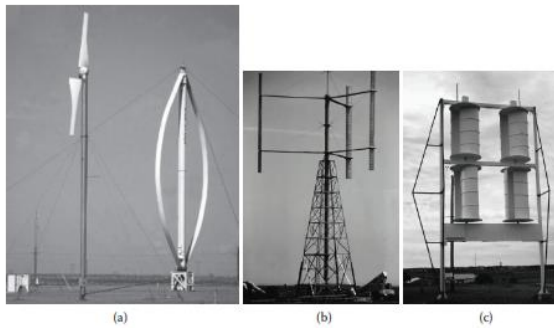
5.2 Jenis Energi Terbarukan

5.2.1 Tenaga Angin

Kincir angin, seperti kincir air, telah lama digunakan manusia untuk menggiling jagung dan memompa air. Pelaut kuno menggunakan tenaga angin untuk mengarungi kapal mereka. Dengan berkembangnya pembangkit berbahan bakar fosil dan pembangkit listrik tenaga air, terjadi penurunan penggunaan tenaga angin karena semakin turunnya biaya produksi metode baru. Kesulitan lain dengan tenaga angin adalah masalah penyimpanan energi. Energi tidak dapat tersedia, sesuai permintaan, karena ketidakpastian angin. Karena dua alasan ini, tidak ada upaya lebih lanjut untuk mengembangkan tenaga angin untuk pembangkit listrik skala besar.

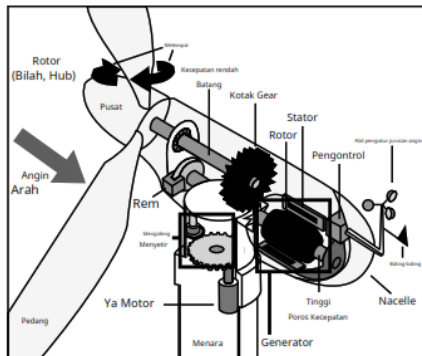
Namun, dalam beberapa tahun terakhir, sebagai akibat dari krisis energi di dunia, telah diputuskan untuk menyelidiki semua cara yang mungkin untuk mengembangkan tenaga, sebagai alternatif untuk pembangkit berbahan bakar. Angin dapat memasok sebagian besar permintaan energi dunia. Perkiraan oleh seorang Profesor Amerika menunjukkan potensi tenaga angin. Menurutnyanya sekitar 350.000 kincir angin masing-masing berkapasitas sekitar 1250 KW hingga 2200 KW dapat mengembangkan daya sebesar 190.000 MW. Dengan kemajuan pengetahuan aerodinamika, dimungkinkan untuk membangun pembangkit listrik tenaga angin yang lebih besar dan lebih efisien. (A Maczulak, 2010)

Turbin angin merupakan salah satu peralatan sebagai penghasil putaran. Turbin angin selanjutnya diklasifikasikan berdasarkan orientasi sumbu rotor terhadap tanah: turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertical. (Yuniarti and Aji IW, 2019)



Gambar 5.2. Contoh turbin angin yang berbeda
Sumber : (S Uygur, 2018)

Sistem total terdiri dari turbin angin dan beban, yang juga disebut sistem konversi energi angin. Turbin angin besar terdiri dari rotor (bilah), penambah kecepatan (gearbox), sistem konversi, kontrol, dan menara. Output dari turbin angin, energi kinetik rotasi, dapat diubah menjadi energi mekanik, listrik, atau panas. Secara umum, itu adalah energi listrik. Generator terhubung langsung ke jaringan melalui inverter. (A Maczulak, 2010)(Kaltschmitt and Streicher, 2007)



Gambar 5.3. Diagram komponen utama turbin angin besar
Sumber : (V Nelson, 2011)

5.2.2 Energi Laut

Lautan menutupi lebih dari 70% permukaan bumi, Jenis Energi laut yang bisa dimanfaatkan meliputi : energi gelombang laut, pasang surut, atau energi panas yang tersimpan di laut. Meskipun matahari mempengaruhi semua aktivitas laut, terutama pasang surut dihasilkan oleh tarikan gravitasi bulan, dan gelombang laut dihasilkan terutama oleh angin. Sebuah rentetan (bendungan) biasanya digunakan untuk mengubah energi pasang surut menjadi listrik dengan memaksa air melalui turbin, mengaktifkan generator.

Matahari menghangatkan air permukaan lebih banyak daripada air laut dalam, dan perbedaan suhu ini menyimpan energi panas. Energi panas laut digunakan untuk banyak aplikasi, termasuk pembangkit listrik. Ada tiga jenis sistem konversi listrik: siklus tertutup, siklus terbuka, dan hibrida. Sistem siklus tertutup menggunakan air permukaan laut yang hangat untuk menguapkan fluida kerja, yang memiliki titik didih rendah, seperti amonia. Uap mengembang dan memutar turbin. Turbin kemudian mengaktifkan generator untuk menghasilkan listrik. Sistem siklus terbuka sebenarnya merebus air laut dengan beroperasi pada tekanan rendah. Ini menghasilkan uap yang melewati turbin/generator.

5.2.2.1 Energi Pasang Surut

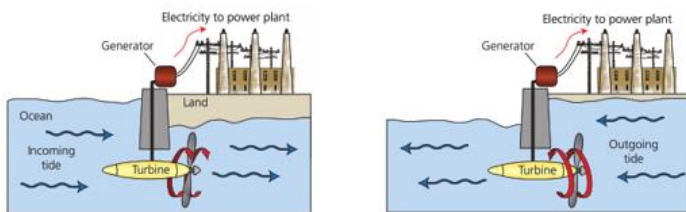
Pasang surut terjadi karena gaya tarik gravitasi bulan dan matahari di permukaan bumi. Pengaruh bulan terhadap bumi dalam hal pasang surut lebih besar daripada pengaruh matahari, bahkan melalui gaya gravitasi matahari pun lebih besar.

Sistem pembangkitan yang paling sederhana untuk pembangkit pasang surut terdiri dari bendungan, yang dikenal sebagai rentetan, melintasi sebuah saluran masuk. Pintu air di rentetan memungkinkan cekungan pasang surut untuk mengisi air pasang yang masuk dan mengosongkan

melalui sistem turbin pada air pasang keluar, juga dikenal sebagai pasang surut. Ada sistem dua arah yang menghasilkan listrik pada pasang masuk dan keluar. (M A Laughton, 2003)

Turbin pasang surut pada dasarnya adalah turbin angin yang dapat ditempatkan di mana saja yang memiliki aliran pasang surut yang kuat. Teknologi pada pasang surut mirip dengan bendungan pada Pembangkit Listrik Tenaga Air tetapi dapat dibangun sebagai struktur mandiri, tidak sepenuhnya melintasi muara, dan umumnya memiliki biaya dan dampak lingkungan yang jauh lebih rendah.

(V Nelson, 2011)



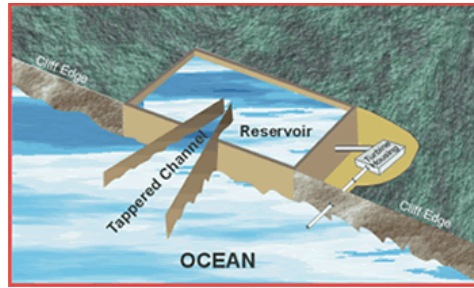
Gambar 5.4. Energi Pasang Surut

Sumber : (A Maczulak, 2010)

5.2.2.2 Energi Gelombang

Gelombang disebabkan oleh angin yang bertiup di atas permukaan laut. Ada energi yang luar biasa dalam gelombang laut. Kekuatan total gelombang yang pecah di sekitar garis pantai dunia diperkirakan mencapai 2-3 juta megawatt.

Salah satu cara untuk memanfaatkan energi gelombang adalah membengkokkan atau memfokuskan gelombang ke saluran sempit, meningkatkan kekuatan dan ukurannya. Ombak kemudian dapat disalurkan ke bak penangkap atau digunakan langsung untuk memutar turbin. (A Maczulak, 2010)

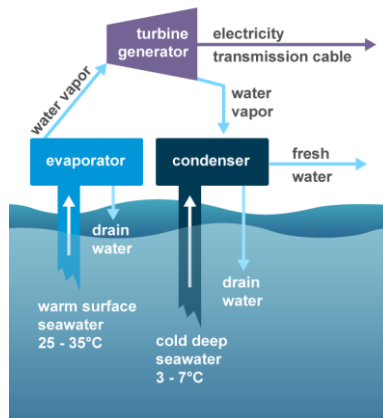


Gambar 5.5. Energi Gelombang Laut
Sumber : (M A Laughton, 2003)

5.2.2.3 Energi Panas Laut

Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) atau Konversi energi panas laut adalah beroperasi dengan mengekstraksi energi dari perbedaan suhu yang ada antara air permukaan hangat lautan dan perairan yang lebih dalam di lokasi tersebut. Secara keseluruhan, OTEC dipandang sebagai salah satu sistem tenaga listrik yang paling ramah dalam hal dampak lingkungan. (M A Laughton, 2003)

Sistem OTEC membutuhkan perbedaan suhu 20°C dari air dingin di kedalaman 1.000 m dari permukaan laut. Sistem dapat ditempatkan dekat pantai. (V Nelson, 2011)

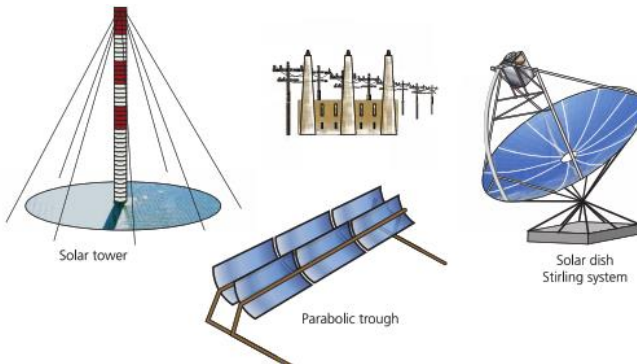


Gambar 5.6. Energi Panas Laut
Sumber : <https://www.eia.gov/>

5.2.3 Energi Surya

Energi matahari adalah sumber energi yang paling mudah tersedia dan gratis sejak zaman prasejarah. Diperkirakan energy matahari yang setara dengan lebih dari 15.000 kali konsumsi energi komersial tahunan dunia mencapai bumi setiap tahun.

Ada dua kategori dasar teknologi yang mengubah sinar matahari menjadi bentuk energi yang berguna, Pertama, sistem tenaga panas matahari menggunakan radiasi matahari terfokus untuk menghasilkan uap, yang kemudian digunakan untuk memutar turbin penghasil listrik. Kedua, modul fotovoltaik surya (PV) mengubah sinar matahari secara langsung menjadi listrik. Sistem tenaga panas matahari menggunakan berbagai teknik untuk memfokuskan sinar matahari untuk memanaskan perantara cairan, yang dikenal sebagai cairan transfer panas yang kemudian digunakan untuk menghasilkan uap. Uap kemudian digunakan dalam sebuah turbin uap konvensional untuk menghasilkan listrik. (Herzog, Lipman and DM Kammen, 1989)(Johansson *et al.*, 2004)



Gambar 5.7. Kolektor Parabola
Sumber : (A Maczulak, 2010)

Fotovoltaik Surya (PV):Fotovoltaik adalah istilah teknis untuk listrik tenaga surya. Sel PV biasanya terbuat dari silikon, elemen yang secara alami melepaskan elektron saat terkena

cahaya. Jumlah elektron yang dilepaskan dari sel silikon bergantung pada intensitas cahaya yang mengenainya. Sel silikon ditutupi dengan kisi-kisi logam yang mengarahkan elektron mengalir di jalur untuk menciptakan arus listrik. Arus ini keluar ke kabel yang terhubung ke baterai atau alat DC. Biasanya, satu sel menghasilkan daya sekitar 1,5 watt. Sel-sel individu dihubungkan bersama untuk membentuk solar panel atau modul, mampu menghasilkan daya 3 hingga 110 Watt. Beberapa aplikasi untuk sistem PV adalah pencahayaan untuk bangunan, penerangan jalan (lihat Gambar 8), pencahayaan pedesaan.

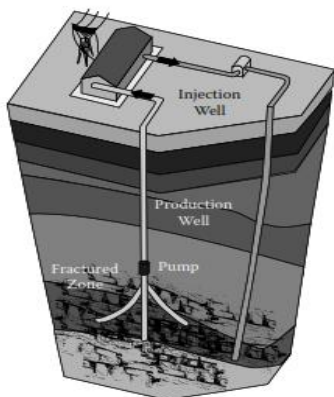


Gambar 5.8. Fotovoltaik Domestik dan Lampu Jalan
Sumber : (M A Laughton, 2003)

5.2.4 Energi Panas Bumi

Banyak pembangkit listrik panas bumi beroperasi di seluruh dunia. Sudah menjadi rahasia umum bahwa bumi terbuat dari cairan panas yang disebut 'magma'. Kenaikan suhu rata-rata terhadap kedalaman bumi adalah 1°C untuk setiap kedalaman 35 sampai 40 meter. Pada kedalaman 3 hingga 4 Km air mendidih dan pada kedalaman sekitar 15 Km suhu berkisar antara 1000°C hingga 1200°C . Selain itu, lelehan magma juga mengandung air yang dikeluarkannya dalam bentuk uap yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik. (Herzog, Lipman and DM Kammen, 1989)

Meskipun tenaga panas bumi tampaknya ideal karena terjadi secara alami, namun memiliki keterbatasan. Kelemahan terbesar adalah bahwa lubang panas bumi alami tidak tersedia secara luas. Ventilasi buatan dibor di tanah untuk mencapai batuan panas di bawahnya dan kemudian disuntikkan dengan air untuk menghasilkan uap. (S Uygur, 2018)



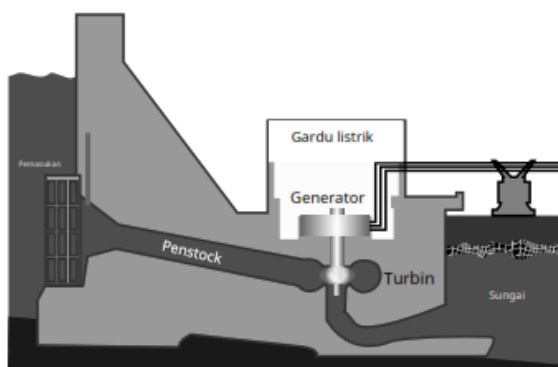
Gambar 5.9. Proses Energi Panas Bumi
Sumber : (V Nelson, 2011)

5.2.5. Tenaga air

Pemanfaatan air untuk energi mekanik sudah berlangsung berabad-abad, awalnya untuk aplikasi seperti menggiling sereal, dan kemudian untuk berbagai keperluan industry juga digunakan untuk pembangkit listrik sejak 1881. Teknologi ini telah berkembang dari kincir air kayu hingga turbin Francis, Kaplan, Pelton, Cross-flow, dan Turgo pada abad ke-20.(M A Laughton, 2003)(FM Fadul, 2009)

Air memiliki energi kinetik ketika mengalir dari elevasi yang lebih tinggi ke elevasi yang lebih rendah. Energi tersebut digunakan untuk memutar turbin. Di pembangkit listrik tenaga air skala besar, volume air yang besar ditampung oleh bendungan di dekat generator dan turbin. Air dibiarkan

mengalir ke sistem pembangkit listrik melalui saluran yang disebut penstock. Air bertekanan tinggi yang dikontrol memutar turbin, memungkinkan generator menghasilkan arus listrik. Pembangkit mini hidro dan mikro hidro (biasanya didefinisikan sebagai pembangkit kurang dari 10 MW, 2 MW dan 100kW) juga memainkan peran kunci di banyak negara untuk elektrifikasi pedesaan. (Herzog, Lipman and DM Kammen, 1989)



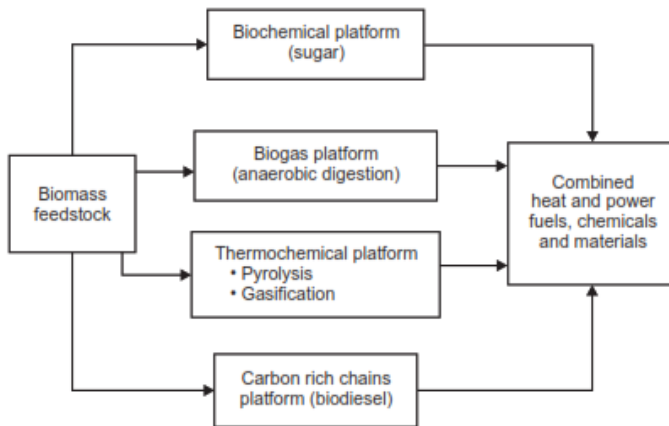
Gambar 5.10. Diagram pembangkit listrik tenaga air
Sumber : (V Nelson, 2011)

5.2.6 Biomassa

Penggunaan biomassa merupakan urutan kedua setelah tenaga air sebagai produksi energi terbarukan. Biomassa memiliki kapasitas lebih dari 7.000 MW. Biomassa sebagai bahan bakar terdiri dari bahan organik seperti limbah industri, limbah pertanian, kayu, dan kulit kayu. Biomassa dapat dibakar langsung di pembangkit listrik yang dirancang khusus, atau digunakan untuk menggantikan hingga 15% batubara sebagai bahan bakar di pembangkit listrik biasa. (A Frazier, 2008)

Penggunaan biomassa sebagai bahan bakar lebih bersih daripada batu bara karena memiliki lebih sedikit belerang, yang berarti lebih sedikit belerang dioksida yang akan dipancarkan ke atmosfer. Biomassa juga dapat digunakan secara tidak langsung,

karena menghasilkan gas metana melalui proses modern yang disebut gasifikasi. Metana dapat menghasilkan tenaga dengan membakar dalam boiler untuk menghasilkan uap penggerak turbin uap atau melalui pembakaran internal di turbin gas dan mesin reciprocating. (Herzog, Lipman and DM Kammen, 1989)



Gambar 5.11. Proses konversi energi biomassa.

Sumber : (Bhatia and Gupta, 2018)

DAFTAR PUSTAKA

- A Frazier (2008) *Renewable Energy For Beginners*.
- A Maczulak (2010) *Renewable energy: sources and methods*.
Library of Congress Cataloging-in-Publication
- Bhatia, S. and Gupta, R. (2018) 'Textbook of Renewable Energy',
Journal of Chemical Information and Modeling, 110(9)
- FM Fadul (2009) *Renewable Energy Focus Handbook*. Elsevier.
- Herzog, A., Lipman, T. and DM Kammen (1989) 'Renewable
energy sources', *Energy and Resources Group Renewable
and Appropriate Energy Laboratory*
- Johansson, T. B. *et al.* (2004) 'The Potentials of Renewable
Energy: Thematic background paper', *International
Conference for Renewable Energy*.
- Kaltschmitt, M. and Streicher, W. (2007) *Renewable Energy*.
Springer.
- M A Laughton (2003) *Renewable Energy Soources*. Elsevier
Applied Science.
- V Nelson (2011) *Introduction To Renewable Energy*. CRC Press is
an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa
business.
- S Uygur (2018) *Renewable Energy Systems*. Lecture Notes.
- Yuniarti and Aji IW (2019) *Modul Pembelajaran Pembangkit
Tenaga Listrik*. Universitas Negeri Yogyakarta.

BAB 6

ANAEROBIC DIGESTION

Oleh Dodi Satriawan

6.1 Pendahuluan

Ketertarikan pada proses konversi biomassa telah meningkat dalam beberapa dekade terakhir karena kebutuhan untuk menggantikan sumber energi tak terbarukan dengan alternatif yang lebih berkelanjutan, sembari menambahkan nilai pada biomassa limbah, dan meningkatkan pengembalian ekonomi serta kelayakan proses. Penggantian sebagian sumber daya fosil untuk menghasilkan senyawa kimia, energi, dan bahan bakar dapat dicapai dengan penggunaan biomassa terbarukan secara efisien, seperti limbah pertanian dan limbah padat perkotaan. Karena banyaknya jumlah yang tersedia, biomassa merupakan bahan baku yang menarik untuk produksi bahan kimia, bahan bakar, dan energi, oleh karena itu, menjadi sumber daya yang menginspirasi bioekonomi.

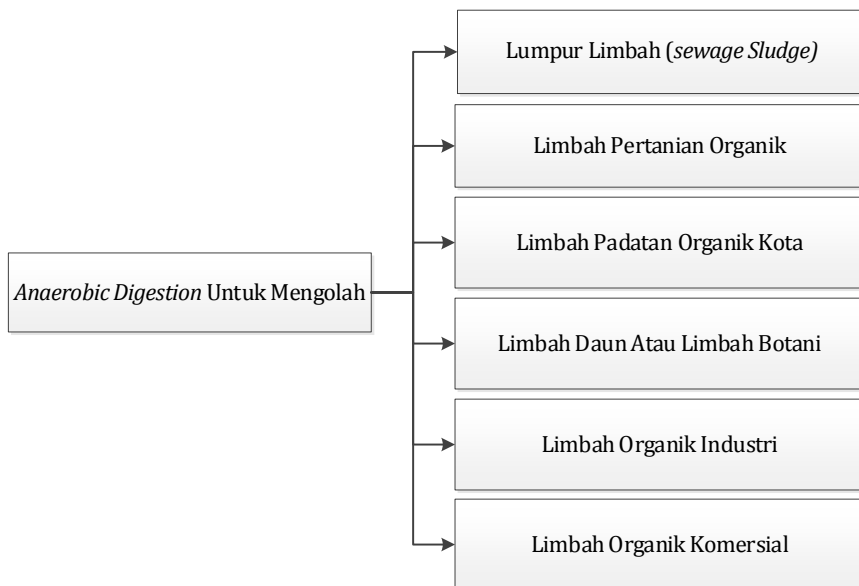
Bioenergi, misalnya, adalah energi terbarukan dan bersih yang berasal dari biomassa dan limbah, yang sangat menarik perhatian saat ini karena kekhawatiran akan menipisnya cadangan bahan bakar fosil dan peningkatan produksi gas rumah kaca. Energi dari biomassa dapat dihasilkan melalui proses biokimia, biologi, dan termokimia. Berbagai sumber biomassa dan limbah dapat digunakan untuk menghasilkan energi, yang dapat diklasifikasikan sebagai tanaman energi (tanaman energi herba, tanaman energi berkayu, tanaman industri, tanaman pertanian, dan peternakan); limbah pertanian (sisa tanaman dan kotoran hewan); residu kehutanan (pohon

dan semak); dan limbah industri dan kota (limbah rumah tangga, limbah industri, dan pengolahan fase cair limbah kota).

Residu organik yang dihasilkan dalam proses industri dan dari aktivitas manusia telah menarik perhatian otoritas dari beberapa negara tidak hanya karena jumlah yang besar yang dihasilkan tetapi juga karena dampak yang ditimbulkan oleh pembuangannya. Jumlah limbah ini tergantung pada beberapa faktor seperti pertumbuhan penduduk, industrialisasi, dan tingginya konsumsi produk oleh masyarakat. Pengelolaan residu organik yang tidak memadai telah menjadi isu yang menonjol di beberapa negara termasuk Indonesia. Saat ini, TPA masih menjadi tujuan akhir paling umum untuk limbah di Indonesia. Namun, undang-undang saat ini menyarankan target untuk eliminasi limbah biodegradable dan pengolahan awal dari rumah tangga untuk mencegah atau mengurangi efek negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, yaitu untuk mengurangi, menggunakan kembali, atau mendaur ulang limbah padat untuk memulihkan bahan dan energi, melestarikan sumber daya alam. Pembuangan limbah tersebut merupakan operasi yang kompleks dan menimbulkan dampak lingkungan yang melampaui batas. Pada subbab ini akan berfokus pada pemanfaatan limbah organik untuk dapat diolah menjadi energi dengan proses *anaerobic digester*.

6.2 Anaerobic Digestion

Anaerobic digestion merupakan proses yang memecah bahan organik menjadi komponen kimia yang lebih sederhana tanpa oksigen. Proses *anaerobic digestion* ini dapat sangat berguna untuk mengolah limbah organik yang timbul seperti: lumpur limbah (*sewage sludge*), limbah pertanian organik, limbah padatan organik kota, limbah daun atau limbah botani, limbah organik industri dan limbah organik komersial.



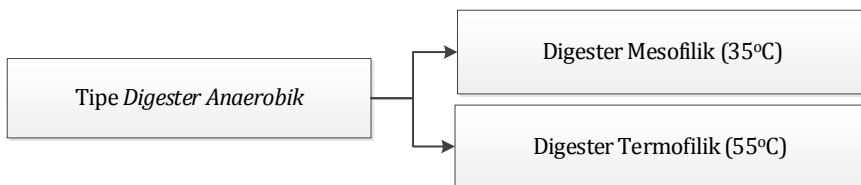
Gambar 6.1 Macam-macam Limbah yang dapat Digunakan didalam Proses *Aerobic Digestion*

Sebelum dicerna, bahan baku harus menjalani *pra-treatment*. Ada berbagai jenis pra-perawatan tergantung pada bahan baku. Tujuan dari perlakuan *pra-treatment* bahan baku berupa ¹⁾untuk mencampur bahan baku yang berbeda, ²⁾untuk menambahkan air atau ³⁾untuk menghilangkan bahan yang tidak diinginkan seperti padatan yang tidak diinginkan dan bahan inert (misalnya plastik, kaca), ⁴⁾untuk memungkinkan kualitas digestate yang lebih baik, ⁵⁾pencernaan yang lebih efisien dan ⁶⁾menghindari kegagalan dalam proses pengolahan.



Gambar 6.2 Tujuan Dilakukannya Pra-Treatment Bahan Baku pada Proses *Anaerobic Digester*

Proses pencernaan bahan organik sendiri berlangsung di dalam digester, yang dapat diklasifikasikan pengaruh pencernaan bahan organiknya dalam kaitannya dengan suhu, kadar air bahan baku dan jumlah stage (single atau multi-stage). Setiap digester memiliki karakteristik dan sifat masing-masing sehingga lebih cocok untuk bahan baku tertentu. Saat ini digester mesofilik (35°C) lebih banyak digunakan daripada digester termofilik (55°C) tetapi perbedaannya cenderung menurun. Dahulu lebih banyak digester basah daripada digester kering tetapi tidak ada tren yang jelas. Proses multistage bertujuan untuk mengoptimalkan pencernaan dan meningkatkan kontrol proses dengan memisahkan tahapan pencernaan bahan organik. Hanya beberapa dari digester yang digunakan saat ini. Terakhir, proses batch lebih murah dan tidak rumit, tetapi ada juga yang kurang efisien.



Gambar 6.3 Jenis *Digester Anaerobic*.

Produk samping dari proses *anaerobic digester*, biogas dan digestate, dapat digunakan untuk menciptakan sumber pendapatan. Biogas dapat ditingkatkan efisiensinya dengan menghilangkan karbon dioksida dan uap air, serta kemudian digunakan dalam unit *combined heat and power* (CHP) untuk menghasilkan listrik dan panas. Hasil produk samping *digestater* dapat digunakan sebagai pupuk atau diolah lebih lanjut menjadi kompos untuk meningkatkan kualitasnya.

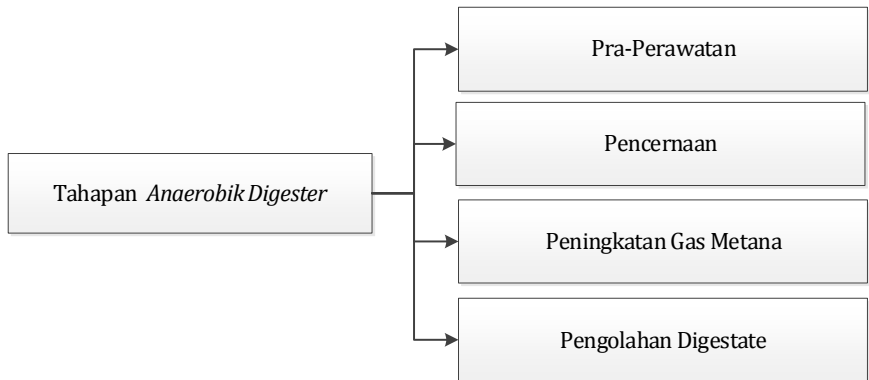
Bukti sejarah menunjukkan bahwa proses *anaerobic digester* adalah salah satu teknologi tertua. Namun, industrialisasi *anaerobic digester* dimulai pada tahun 1859 dengan pabrik *anaerobic digester* pertama di Bombay. Pada tahun 1895, biogas diambil dari fasilitas pengolahan limbah dan digunakan sebagai bahan bakar lampu jalan di Exeter, Inggris. Penelitian yang dipimpin oleh Buswell dan lainnya pada tahun 1930-an mengidentifikasi bakteri anaerobik dan kondisi yang mendorong produksi metana.

Seiring pemahaman tentang proses *anaerobic digester* dan manfaatnya meningkatkan efisiennsinya, peralatan dan teknik operasional yang lebih canggih bermunculan untuk mendukung dan meningkatkan tingkat efisiensi dari *anaerobic digester*. Hasilnya adalah penggunaan tangki tertutup dan sistem pemanas dan pencampuran untuk mengoptimalkan *anaerobic digester*. Terlepas dari peningkatannya, *anaerobic digester* kurang berkembang karena biaya perawatan unit anerobic yang cukup tinggi dan biaya batu bara atau minyak bumi yang rendah.

Anaerobic digester hanya digunakan untuk pengolahan pencernaan lumpur air limbah yang mana negara-negara berkembang seperti India dan Cina menggunakan teknologi tersebut. Sistem *anaerobic digester* skala kecil sebagian besar digunakan untuk keperluan energi dan sanitasi yang dilaporkan banyak terjadi kegagalan. Namun demikian, perbaikan teknis dan kenaikan harga energi telah menyebabkan diversifikasi pengolahan limbah dan pabrik *anaerobic digester* berukuran lebih besar.

10.3 Proses *Anaerobic Digester*

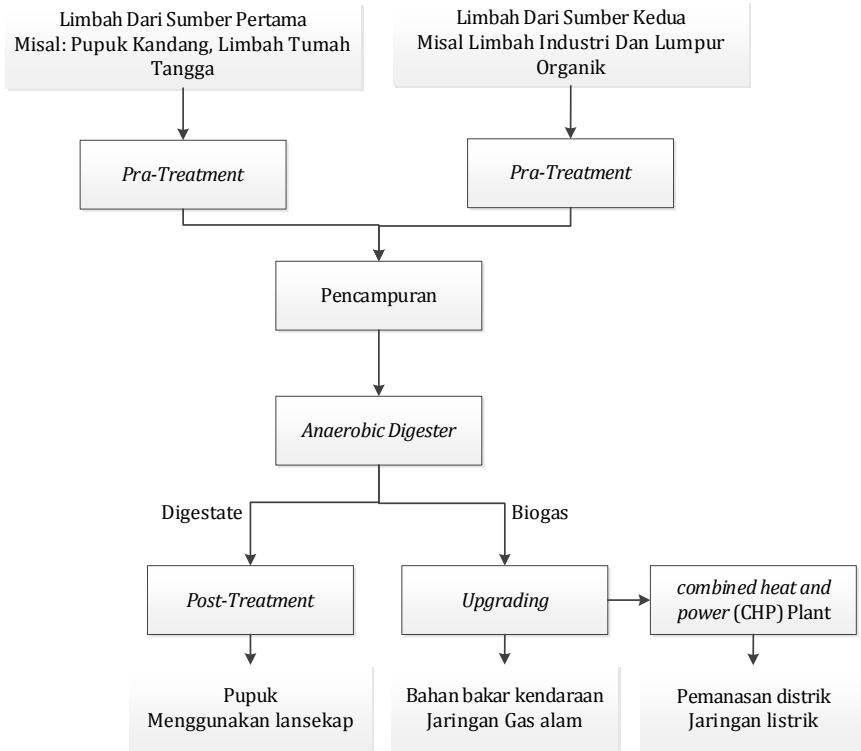
Ada dua kemungkinan tujuan penggunaan *anaerobic digester* yaitu berupa ¹⁾untuk mengolah limbah biodegradable atau ²⁾menghasilkan produk yang dapat dijual (panas/listrik, amandemen tanah). Energi didapatkan dengan menguburkan *anaerobic digester* kedalam tanah. Dalam hal ini, tujuannya adalah untuk menghasilkan biogas sebanyak mungkin dan menguburkan kedalam tanah yang tanahnya memiliki kualitas yang baik atau padat. Namun demikian, penggunaan *anaerobic digester* yang paling penting adalah menggabungkan pengelolaan limbah, memanfaatkan produk yang didapat serta menggunakan produk sampingan yang dihasilkan dari proses *anaerobic digester*. Khusus untuk pengelolaan limbah *anaerobic digester*, kecil kemungkinan bahwa *anaerobic digester* akan menjadi pengolahan yang layak tanpa menggunakan biogas dan digestate. Kualitas *anaerobic digester* akan bervariasi tergantung pada bahan baku dan kontaminasinya. Penggunaan biogas dan digestate juga dapat melibatkan perawatan lebih lanjut, seperti pengomposan digestate. Proses *anaerobic digester* selanjutnya dapat dibagi menjadi empat tahap yang berupa pra-perawatan, pencernaan, peningkatan gas metana dan pengolahan digestate.



Gambar 6.4 Tahapan Proses *Anaerobic Digester*

Tingkat pre-treatment tergantung pada jenis bahan baku yang diolah didalam *anaerobic digester*. Misalnya feses atau kotoran hewan perlu dicampur, sedangkan sampah kota atau sampah rumah tangga perlu dipilah dan dicacah. Tahap pencernaan berlangsung di digester. Ada banyak jenis digester dengan suhu berbeda, alat pencampur, dan lain-lain. Digester bisa kering atau basah tergantung pada konten padat bahan baku yang digunakan. Dengan demikian bahan baku dapat dicampur dengan air dan limbah cair lain organik yang sesuai seperti lumpur limbah organik atau cairan organik yang disirkulasi ulang dari limbah digester.

Biogas yang dihasilkan pada tahap digester harus ditingkatkan karena mengandung kotoran yang dapat merusak boiler atau mesin. Hidrogen sulfida dan uap air perlu dihilangkan untuk boiler serta gabungan unit panas dan unit power. Penghilangan karbon dioksida akan diperlukan jika gas akan digunakan sebagai gas alam atau bahan bakar kendaraan. Skema di pada gambar 10.2 menunjukkan proses umum dari instalasi *co-digestion plant*. *Co-digestion* maksudnya berupa ada dua jenis limbah yang berbeda dicampur. Terkadang dua jenis limbah yang berbeda dicampur ini dapat meningkatkan tahap pencernaan di *anaerobic digester*.



Gambar 6.5 Proses umum pada *Anaerobic Digester Plant*.

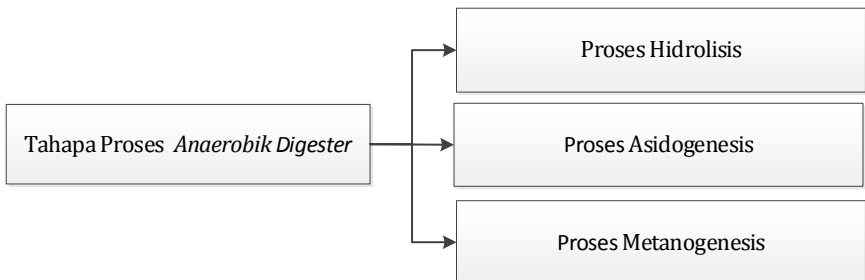
10.4 Proses Biologis

Pencernaan anaerobic (*anaerobic digester*) adalah proses dekomposisi dan pembusukan yang terjadi secara alami, dimana bahan organik dipecah menjadi komponen kimia yang lebih sederhana dalam kondisi anaerobic (tidak ada oksigen). Mikroorganisme anaerob mencerna bahan organik dengan tanpa adanya oksigen untuk menghasilkan metana dan karbon dioksida sebagai produk akhir dalam kondisi ideal. Biogas yang diproduksi di *anaerobic digester plant* biasanya mengandung sejumlah kecil hidrogen sulfida (H_2S) dan amonia (NH_3), serta sejumlah kecil gas lainnya. Tabel 10.1 menunjukkan komposisi produk biogas (*anaerobic digester plant*) yang dihasilkan.

Tabel 6.1 Komposisi Produk Biogas (*Anaerobic Digester Plant*)

No.	Senyawa	Satuan	Jumlah
1.	Metana (CH ₄)	%vol	55 - 70
2.	Karbon dioksida (CO ₂)	%vol	30 - 54
3.	Karbon monoksida (CO)	ppm	0
4.	Volatile Organic Compound (VOC)	%vol	0
5.	Amonia (NH ₃)	ppm	± 100
6.	Hidrogen sulfida (H ₂ S)	ppm	± 500
7.	Nitrogen (N ₂)	%vol	0 - 2
8.	Hidrogen (H ₂)	%vol	0

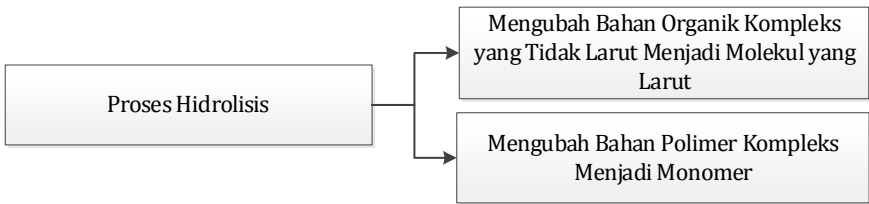
Ilmu yang mendasari *anaerobic digester* sedikit rumit dan prosesnya akan mudah dipahami jika dibagi menjadi tiga tahap utama yaitu hidrolisis, asidogenesis dan metanogenesis. Selama hidrolisis, bakteri fermentasi mengubah bahan organik kompleks yang tidak larut, seperti selulosa, menjadi molekul yang larut seperti asam lemak, asam amino, dan gula.



Gambar 6.6 Tahapan proses *anaerobic digester*

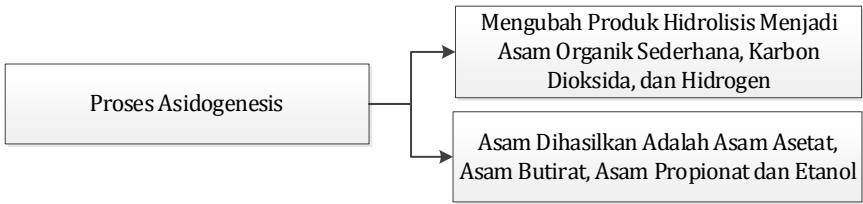
Bahan polimer kompleks dihidrolisis menjadi monomer, misalnya selulosa menjadi gula atau alkohol. Aktivitas hidrolitik sangat penting dalam limbah dengan kandungan organik tinggi dan dapat menjadi pembatas laju reaksi. Bahan kimia dapat

ditambahkan selama langkah ini untuk mempersingkat waktu pencernaan dan memberikan hasil metana yang lebih tinggi.



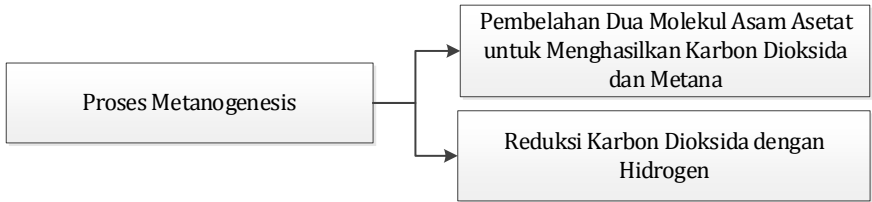
Gambar 6.7 Proses Hidrolisis Pada *Anaerobic Digester*

Pada tahap kedua (asidogenesis), bakteri asetogenik juga dikenal sebagai pembentuk asam, mengubah produk dari tahap pertama (hidrolisis) menjadi asam organik sederhana, karbon dioksida, dan hidrogen. Asam utama yang dihasilkan adalah asam asetat, asam butirat, asam propionat dan etanol.



Gambar 6.8 Proses Asidogenesis Pada *Anaerobic Digester*

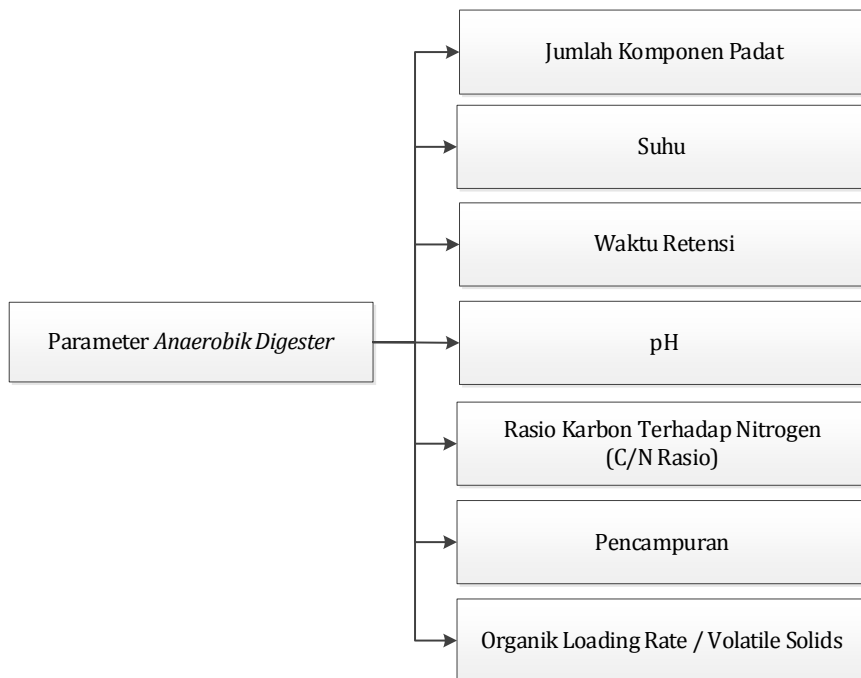
Akhirnya metana diproduksi selama proses metanogenesis oleh bakteri yang disebut pembentuk metana (bakteri metanogen) yang dilakukan dengan dua cara yaitu dengan pembelahan dua molekul asam asetat untuk menghasilkan karbon dioksida dan metana, atau dengan reduksi karbon dioksida dengan hidrogen. Reaksi asetat adalah penghasil utama metana karena terbatasnya jumlah hidrogen yang tersedia. Penting untuk dicatat bahwa beberapa bahan organik, seperti lignin, tetap ada efektif tercerna, seperti tentu saja inklusi non-organik dalam limbah.



Gambar 6.9 Proses Metanogenesis Pada *Anaerobic Digester*

6.5 Kondisi dan variabel yang Mempengaruhi *Anaerobic Digester*

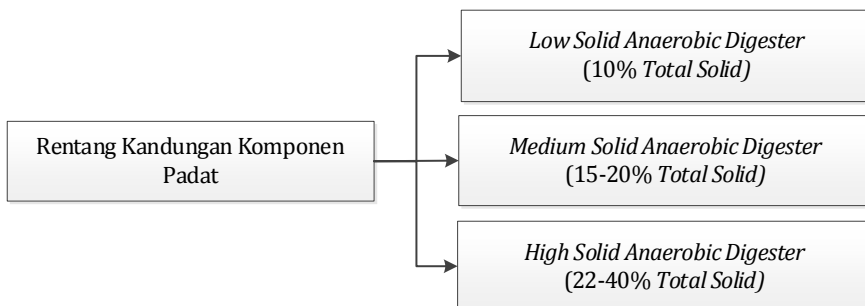
Ada beberapa kondisi dan variabel yang harus diperhatikan untuk mendapatkan pemecahan senyawa organik yang tepat pada *anaerobic digester*. Parameter operasi digester harus dikontrol untuk meningkatkan aktivitas mikroba dan dengan demikian meningkatkan efisiensi *anaerobic digester*. Beberapa parameter ini berupa jumlah komponen padat, suhu, waktu retensi, pH, rasio karbon terhadap nitrogen (C/N rasio), pencampuran bahan organik, dan organik loading rate atau (laju pemuatan organik) / Volatile Solids.



Gambar 6.10 Parameter yang Harus Diperhatikan didalam Proses *Anaerobik Digester*

6.5.1 Jumlah Komponen Padat

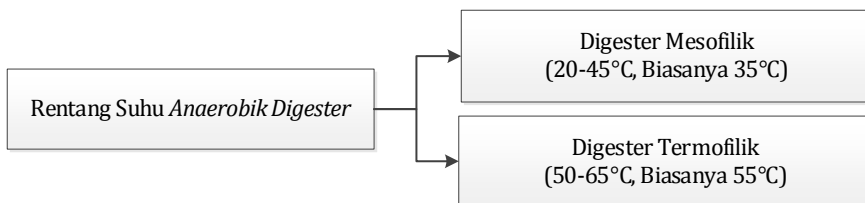
Ada tiga rentang kandungan komponen padat yang berbeda pada sistem *anaerobic digester*. Tiga rentang kandungan ini berupa ¹⁾sistem *low solid anaerobic digester* yang mengandung kurang dari 10% *total solid*, ²⁾sistem *medium solid anaerobic digester* yang mengandung 15-20% *total solid* dan ³⁾sistem *high solid anaerobic digester* yang mengandung kisaran antara 22-40% *total solid*. Ketika kandungan padatan total meningkat, volume digester berkurang, karena kebutuhan air yang lebih rendah.



Gambar 6.11 Rentang Kandungan Komponen Padat pada Proses *Anaerobic Digester*

6.5.2 Suhu

Anaerobic digester dapat terjadi pada dua rentang suhu utama yaitu ¹⁾kondisi mesofilik, antara 20-45°C, biasanya 35°C, dan ²⁾ Kondisi termofilik, antara 50-65°C, biasanya 55°C.



Gambar 6.12 Rentang Suhu pada Proses *Anaerobic Digester*.

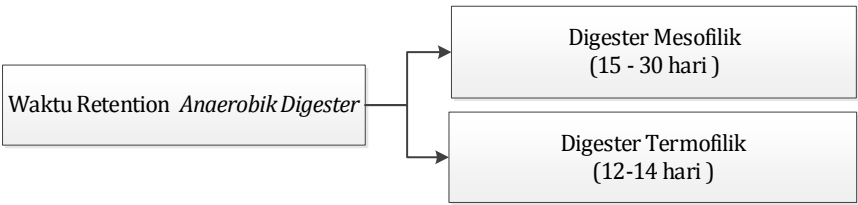
Suhu optimum pada proses destruksi *anaerobic digester* dapat bervariasi tergantung pada komposisi bahan baku dan jenis digester, tetapi pada sebagian besar suhu proses *anaerobic digester* tersebut harus dipertahankan pada keadaan relatif konstan untuk mempertahankan laju produksi gas.

Digester termofilik lebih efisien dalam hal waktu retensi, laju pemuatan, dan produksi gas nominal, tetapi membutuhkan input panas yang lebih tinggi dan memiliki kepekaan yang lebih besar terhadap variabel operasi dan lingkungan, yang membuat

prosesnya lebih bermasalah daripada destruksi mesofilik. Sterilisasi limbah juga terkait dengan suhu. Semakin tinggi suhu akan lebih efektif dalam menghilangkan patogen, virus dan benih.

6.5.3 Waktu retensi

Waktu retensi adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai degradasi sempurna bahan organik. Waktu retensi bervariasi tergantung pada parameter prosesnya, seperti suhu proses dan komposisi limbah. Waktu retensi untuk limbah yang diolah dalam digester mesofilik berkisar antara 15 hingga 30 hari dan 12-14 hari untuk digester termofilik.



Gambar 6.13 Waktu Retention *Anaerobik digester*

6.5.4 pH

Nilai pH optimal untuk tahap asidogenesis dan metanogenesis berbeda. Selama asidogenesis, asam asetat, laktat, dan propionat terbentuk sehingga pH turun. pH rendah dapat menghambat asidogenesis dan pH di bawah 6,4 dapat menjadi racun bagi bakteri pembentuk metana (kisaran optimal untuk metanogenesis adalah antara 6,6 dan 7). Kisaran pH optimal untuk semua adalah antara 6,4 dan 7,2.

6.5.5 Rasio Karbon terhadap Nitrogen (C/N Rasio)

Hubungan antara jumlah karbon dan nitrogen yang ada dalam bahan organik diwakili oleh rasio C/N. Rasio C/N yang optimal dalam digester anaerobik adalah antara 20 dan 30. Rasio C/N yang tinggi merupakan indikasi konsumsi nitrogen yang cepat oleh metanogen dan menghasilkan produksi gas yang lebih rendah. Di sisi lain, rasio C/N yang lebih rendah menyebabkan akumulasi amoniak dan nilai pH melebihi 8,5 yang bersifat toksik bagi bakteri metanogenik. Rasio C/N optimal dari bahan baku dapat dicapai dengan mencampurkan limbah dengan rasio C/N rendah dan tinggi, seperti limbah padat organik yang dicampur dengan limbah rumah tangga atau kotoran hewan.

6.5.6 Pencampuran

Pencampuran di dalam digester, meningkatkan kontak antara mikroorganisme dan substrat dan meningkatkan kemampuan populasi bakteri untuk mendapatkan nutrisi. Pencampuran juga mencegah pembentukan buih dan perkembangan gradien suhu di dalam digester. Namun pencampuran yang berlebihan dapat mengganggu mikroorganisme dan karena itu pencampuran lambat lebih disukai. Dalam kasus co-digestion, bahan baku yang berbeda harus dicampur sebelum memasuki digester untuk memastikan homogenitas yang cukup.

6.5.7 Organic Loading Rate / Volatile Solids

Organic loading rate adalah ukuran kapasitas konversi biologis dari sistem *anaerobic digester*. Pemberian input (bahan organik) di atas *organic loading rate* secara terus menerus akan menghasilkan produk biogas (metana) yang relatif rendah karena akumulasi zat penghambat dalam *digester slurry* (asam lemak). Dalam keadaan seperti itu, laju pengumpanan sistem

harus dikurangi. *Organic loading rate* adalah parameter kontrol yang sangat penting dalam sistem kontinu. Banyak plant biogas melaporkan kegagalan sistem karena kelebihan pemberian bahan organik. *Organic loading rate* dinyatakan dalam kg *chemical oxygen demend* (COD) atau *volatile solids* (VS) per meter kubik reaktor. Ini terkait dengan waktu retensi untuk bahan baku tertentu dan volume reaktor anaerobik.

Volatile solids mewakili bahan organik dalam sampel yang diukur sebagai kandungan padat dikurangi kandungan abu, seperti yang diperoleh dari pembakaran sempurna limbah pakan. *Volatile solids* terdiri dari fraksi *biodegradable volatile solids* (BVS) dan fraksi *refractory volatile solids* (RVS). Kandungan *volatile solids* yang tinggi dengan *refractory volatile solids* yang rendah lebih cocok untuk *anaerobic digester*.

DAFTAR PUSTAKA

- Brier, J. and lia dwi jayanti (2020) *Anaerobic Waste-Wastewater Treatment and Biogas Plants*. New York: CRC Press.
- Curt Gooch, P.. *et al.* (2010) *Feasibility Study of Anaerobic Digestion and Biogas Utilization Options for the Proposed Lewis County Community Digester*. New York: Cornell University.
- Gomez, C. da C., Guest, C. and Seadi, T. Al (2015) *Biogas from AD*. BIOEXELL Training Manual.
- Guebitz, G.M. *et al.* (2015) *Biogas Science and Technology Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*. Switzerland: Springer.
- Gupta, V.K. and Tuohy, M.G. (2023) *Biogas: Fundamentals, Proses, dan Operation*, Springer. Springer.
- Kavya, Y. (2014) *Biogas Production From Agricultural Wastes And Feasibility Study To Enrich Biogas Manures*. Acharya N. G. Ranga Agricultural University.
- Renac (2011) *Biogas Technology and Biomass, Renewables Academy*. Renewables Academy.
- Rosato, M.A. (2017) *Managing Biogas Plants: A Practical Guide*, CRC Press. CRC Press.
- Seadi, T. Al *et al.* (2008) *Biogas Handbook*. Denmark: Published by University of Southern Denmark Esbjerg.
- Treichel, H. and Fongaro, G. (2019) *Improving Biogas Production: Technological Challenges, Alternative Sources, Future Developments*. 9th edn. Switzerland: Springer.
- Wellinger, A., Murphy, J. and Baxter, D. (2013) *The Biogas Handbook: Science, Production and Applications*, Woodhead Publishing. Woodhead Publishing.

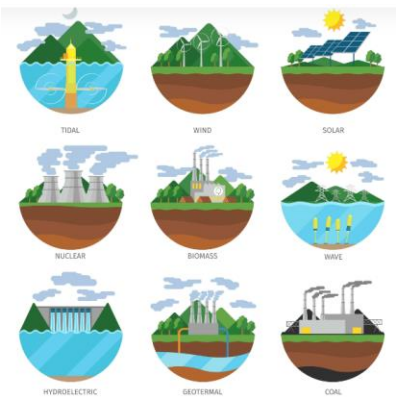
BAB 7

HYDROPOWER

Oleh Fathan Mubina Dewadi

7.1 Pendahuluan

Hydropower merupakan sesuatu tenaga pengganti untuk membuat menciptakan energi listrik dengan menggunakan air untuk menghidupkan mesin (Wibowo & Dewadi, 2022). Ketika air yang mengalir dibekuk serta diganti jadi listrik, itu diucapkan daya air (Dewadi, 2021). Dengan adanya tenaga pembaruan ini, pastinya sesuatu negeri bisa memenuhi kehidupan dalam waktu jauh dengan menggunakan beberapa tanggul idiberbagai titik wilayah (Mekanik Hydro, 2022). Berikut akan dijelaskan mengenai sumber energi pada gambar 7.1.

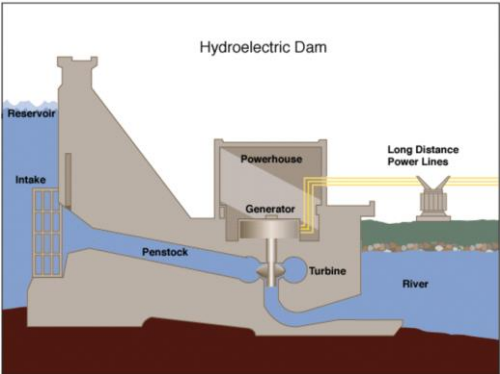


Gambar 7.1. Sumber-Sumber Energi (Akupintar, 2023)

7.2 Energi Air

Hydropower merupakan sesuatu tenaga pengganti untuk membuat menciptakan energi listrik dengan menggunakan air untuk menghidupkan mesin (Surbakti, et al., 2022). Dengan

icara isimpel, iHydropower iataupun idaya iair imerupakan itenaga iyang idiperoleh idari iair iyang imengalir i(Wibowo, et al., 2021). iGenerator itenaga iyang imenggunakan iair iumumnya idicoba idengan imetode imembatasi igerakan iair i(Abbas, et al., 2020). iberikut iakan idijelaskan imengenai iskema ipembangkit ilistrik itenaga iair ipada igambar i7.2.

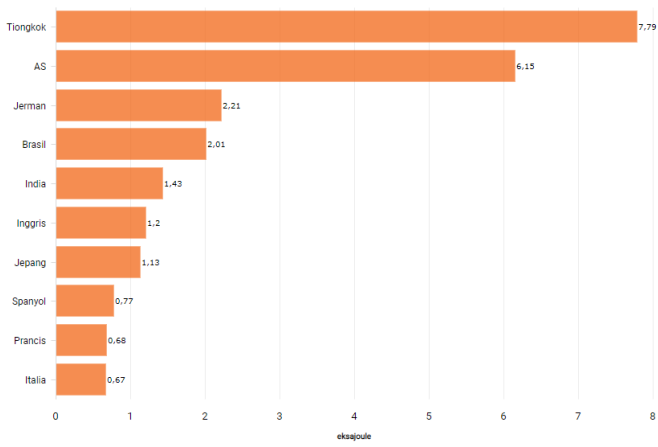


Gambar i7.2. iSkema iPembangkit ilistrik iTenaga iAir
i(Rianta, 2022)

i Tampaknya, iair itidak ihendak imenurun ikala idipakai idalam icara ieksploitasi itenaga iitu i(Dewadi, 2021). iSebabnya, idaur iair imerupakan isistem ipengisian ikesekian iyang itidak iterdapat ibatasnya iserta iselalu, idaya iair idikira iselaku itenaga iterbarukan i(Dewadi, et al., 2021). iTidak ihanya ilebih igo igreen, ieksploitasi iair ibisa imensupport idaur ialam iyang ilebih ibagus itetapi iwajib idisertain idengan iperlengkapan iyang imensupport i(Dewadi & Dewadi, 2022).

Sebagian isarana igenerator ilistrik idaya iair idibantu ioleh itenaga ikinetik iair iyang imengalir idikala iberanjak ike iambang i(Dewadi, et al., 2021). i iTurbin iserta igenerator imengganti itenaga ijadi ilistrik, iyang isetelah iitu idimasukkan

ike jaringan listrik dibuat dipakai di rumah, ibidang usaha, iserta pabrik (Nanda, et al., 2022). Berikut akan dijelaskan mengenai daftar negara dengan penghasil energi alternatif terbanyak di dunia pada gambar 7.3.



Gambar 7.3. Negara dengan iPenghasil iEnergi iAlternatif di iDunia i(Pahlevi, 2021)

Dengan adanya tenaga *Hydropower*, sesuatu negeri khususnya Indonesia yang banyak pangkal alam amat efisien dibuat mempergunakan tenaga alam ini dibuat dijadikan listrik (Dewadi, et al., 2021). Tidak hanya air banyak yang bisa dipakai dengan *free, hydropower* pula menciptakan tenaga bersih tanpa pencemaran serta leluasa kontaminasi hawa. Pangkal tenaga ini pula senantiasa diperbaharui otomatis oleh alam kala masa hujan datang (Nanda, et al., 2022).

7.3 Manfaat dari Energi Air

Hingga dari itu supaya air tidak terbuang percuma, penguasa wajib ekstra membagikan sarana drainase yang pas bagus dibuat keinginan daur *hydropower* iataupun dibuat

saluran ipengasingan imengarah ilaut i(Murtalim, 2020). iTidak iselamanya iberhasil imanis, inyatanya iterdapatnya iHydropower ipula iberakibat ibagian iminus iyang ibutuh ijadi imemo iberarti i(Nanda, et al., 2022). Berikut iakan idijelaskan imengenai imanfaat idari ienergi iair iyang iakan idijelaskan ipada igambar i7.4.



Gambar i7.4. iManfaat idari iEnergi iAir i(Khalid, 2020)

Ditinjau idari ibagian iminus, ipangkal ilistrik iyang itergantung ipada iair iini ibisa imengganggu ikehidupan ifauna ilaut iserta ipangkal ialam i(Sitorus , et al., 2022). iPola ievakuasi iikan ijuga ihendak itersendat iyang ikesimpulannya mengganggu ipopulasi iikan i(Dewadi, et al., 2021).

Dampak iyang ilain idari ihydropower imerupakan iturunnya itingkatan izat iasam idalam iair iyang imematikan ilingkungan iikan i(Raja Ma’arof, et al., 2021). iBila iperihal iini itidak iterdapat ipemantauan ispesial, ihingga iekosistem ilaut

ihendak iambruk ialhasil ikehidupan iwarga ibisa itersendat (Supriyono, et al., 2022).

SOAL-SOAL LATIHAN

1. Jelaskan isecara ispesifik ialasan ikebutuhan ienergi iair idi iera imodern iini (Della, et al., 2022)!
2. Perlukan iriset ikeberlanjutan imengenai iair iagar isemakin iinovatif (Dewadi, 2016)?
3. Apakah ijenis-jenis iair isesuai ikadar ipH isangat imenentukan ikualitas iperforma iPLTA (Dewadi, 2021)?
4. Jelaskan ipengaruh ienergi iair idari isisi idistribusi ienergi iskala imassal (Dewadi, 2022)!
5. Bagaimana iperlindungan ikomponen ielektrika ijika isumber ienergi iair isangat isensitif iterhadap ilistrik (Mulyadi & Dewadi, 2021)?
6. Jelaskan ikomponen-komponen idasar iPLTAir i(Nanda, et al., 2022)!
7. Adakah iyang ilebih iefisien idari ienergi iair? ijika iada ijelaskan isecara irinci i(Farahdiansari, et al., 2021)!
8. Seberapa ibesar iefektivitas ipenerapan iPLTAir idi isungai idan idi ilaut i(Jati, et al., 2022)?
9. Perlukah ikombinasi isumber ienergi idi iwilayah iperairan i(A, et al., 2022)? ijelaskan isecara idetil i(Wibowo, et al., 2022)!
10. Bagaimana iperan imasyarakat idalam imenghadapi ikrisis iair isusah i(Dimyati, et al., 2021)?

DAFTAR PUSTAKA

- Farahdiansari, iA. iP., iDewadi, iF. iM. i& iRahdiana, iN., i2021. iAnalisis iUnjuk iKerja iBBM idengan iEco-Racing isebagai iCampuran iBBM iyang iEkonomis. i*JTMMX*, iII(1), ipp. i1-5.
- Wibowo, iC., iSukarno, iS., iNursanti, iY. iB. i& iDewadi, iF. iM., i2022. iKebutuhan iPerguruan iTinggi idi iWonogiri isebagai iBagian idari iPengembangan iSumber iDaya iManusia. i*VISIONER i: iJurnal iPenelitian iKomunikasi idan iSosial iPolitik i*, iIV(1), ipp. i20-27.
- Abbas, iA. iet ial., i2020. i*Implementation iof iclustering iunsupervised ilearning iusing iKMeans imapping itechniques*. iMedan, iIOP iConf. iSeries: iMaterials iScience iand iEngineering.
- A. i& iDewadi, iF. iM., i2022. iPerancangan iMesin iRoll iPlat iListrik isebagai iPeningkatan iEfisiensi iKerja idi iIndustri iManufaktur. i*Jurnal iMekanika iTerapan*, iIII(1), ipp. i18-25.
- A, iF. iM. iet ial., i2022. iOptimization iof iVapor iCompression iType ifor iDesalination iof iSeawater iUsing ithe iDFMA iMethod. i*Jurnal iTeknik iMesin iMechanical iXplore i(JTMMX)*, iIII(1), ipp. i1-8.
- A. iet ial., i2021. iAnalisis iRancangan iSel iSurya iuntuk iKebutuhan iCadangan iEnergi iListrik idi iKolam iWilayah iGraha iRaya iBintaro, iTangerang iSelatan. i*JTMMX*, iII(1), ipp. i6-12.
- Akupintar, i2023. i*APakupintar*. i[Online] iAvailable iat: i<https://akupintar.id/belajar/-/online/materi/modul/12-mia/fisika/sumber-energi/sumber-energi-terbarukan-dan-tak-terbarukan/45161001> [Accessed i14 iMaret i2023].

- Della, iR. iH. iet ial., i2022. iKesehatan i& iKeselamatan iKerja iEra iSociety i5.0. i1st ied. iPurbalingga: iEureka iMedia iAksara.
- Dewadi, iF. iM., i2016. iPerancangan iMesin iRoll iPelat iDengan iPenggerak iMotor iListrik iAc i1 iFasa iKapasitas iDaya iListrik i180 iW, iJakarta: iInstitut iSains idan iTeknologi iAl-Kamal.
- Dewadi, iF. iM., i2021. iAnalisis iEfektivitas iLiquid iSection iHeat iExchanger idengan iTube iin iTube iHeat iExchanger idari iSisi iAplikatif. iJTMMX, iIII(1), iapp. i28-36.
- Dewadi, iF. iM., i2021. iEfisiensi iPada iSepeda iListrik iDengan iDinamo iSepeda iSebagai iGenerator. iPraxis i: iJurnal iSains, iTeknologi, iMasyarakat idan iJejaring, iIV(1), iapp. i13-23.
- Dewadi, iF. iM., i2021. iPembelajaran idan iPengenalan iMusik idalam iMelatih iDaya iIngat iAnak. iJECED: iJournal iof iEarly iChildhood iEducation iand iDevelopment, iIII(1), iapp. i15-23.
- Dewadi, iF. iM., i2021. iPengaruh iAnalisis iManajemen iStres iKinerja iPerusahaan iterhadap iPencapaian iKinerja iKaryawan iOptimal iberdasarkan iPengalaman iPemuda iKreatif iKavling iRawa iBunga, iTangerang iSelatan. iBukit iTinggi, iIAIN iBukit iTinggi.
- Dewadi, iF. iM., i2022. iKlasifikasi iPerpindahan iPanas. iIn: iR. iPido, ied. iPerpindahan iPanas: iDasar idan iPraktisi idari iPerspektif iAkademisi idan iPraktisi. iBandung: iIndie iPress, iapp. i1-8.
- Dewadi, iF. iM., iDahlan, iD. i& iMaulana, iE., i2019. iFrame ie-Bike iOptimization iCapacity i48V. iJOJAPS, iVolume iXIV, iapp. i129-138.
- Dimiyati, iD. iet ial., i2021. iEvaluasi iKekuatan iResistance iSpot iWeldingPada iProses iTailor iWelded iBlankssMenggunakanMill-SteelBeda iKetebalan.

- iBorobudur iEngineering iResearch i(BENR)*, il(1), pp. i96-107.
- Jati, iR. iR., iSofiyanti, iB. i& iDewadi, iF. iM., i2022. iPengenalan iMaterial iYang iDigunakan iDalam iProses iPengelasan iBerdasarkan iSpesifikasi iMaterial. *iEmpowerment: iJurnal iPengabdian iMasyarakat*, il(3), pp. i300-305.
- Khalid, iH., i2020. *iIEC*. i[Online] iAvailable iat: ihttps://environment-indonesia.com/6-manfaat-efisiensi-energi-penghematan-energi/ [Accessed i14 iMaret i2023].
- K, iNanda, iR. iA., iA. i& iDewadi, iF. iM., i2022. iPelatihan iPemanfaatan iAquaponik iBagi iWarga iKavling iRawa iBunga, iTangerang iSelatan. *iJournal iof iEntrepreneurship iand iCommunity iInnovations*, il(1), pp. i16-21.
- K, iNanda, iR. iA. i& iDewadi, iF. iM., i2022. iPengukuran iIntensitas iCahaya iMenggunakan iSensor iBH-1750 iBerdasarkan iMikrokontroler: iStudi iKawasan iKampus iUBP iKarawang. *iPraxis*, iV(1), pp. i74-81.
- K. iet ial., i2022. iArchimedes' iPrinciple iApplied ito iBuoy iDesign ifor iMeasuring iPurposes iin iOffshore illumination iConditions. *iJTMMX*, iIII(1), pp. i40-48.
- K. iet ial., i2021. iA iReport ion iMetal iForming iTechology iTTransfer ifrom iExpert ito iIndustry ifor iImproving iProduction iEfficiency. *iMechanical iEngineering ifor iSociety iand iIndustry*, il(2), pp. i96-103.
- M., iDewadi, iF. iM., iA. i& iSigalingging, iW. iS., i2021. iPengaruh iParameter iTemperatur iQuenching iterhadap iSifat iMekanik idan iStruktur iMikro iRear iHub iSpindles. *iBuana illmu*, iV(2), pp. i101-118.
- M., i2020. *iAnalisis iUnjuk iKerja iEco iRacing isebagai iSuplemen iPenghemat iBahan iBakar*. iMalang, iUniversitas iWidyagama iMalang.

- Mekanik iHydro, i2022. iHydropower. i[Online] i
Available iat:
ihhttps://www.ciptahydropower.com/hydropower-adalah/
[Accessed i14 iMaret i2023].
- Mulyadi, iD. i& iDewadi, iF. iM., i2021. iAnalisis iRancangan iSel
iSurya iuntuk iKebutuhan iCadangan iEnergi iListrik idi
iKolam
- iWilayah iGraha iRaya iBintaro, iTangerang iSelatan. iJurnal
iTeknik iMesin iMechanical iXplore, iIII(1), iipp. i6-12.
- Nanda, iR. iA. iet ial., i2022. iPerancangan idan iPerakitan
iElektronika iMikrokontroler iBasis iIoT iuntuk iStudi
iPengukuran iSistem iHVAC. iJTMMX, iVII(1), iipp. i43-55.
- Pahlevi, iR., i2021. idatabooks. i[Online] i
Available iat:
ihhttps://databoks.katadata.co.id/datapublish/2021/11/12/
/10-negara-dengan-konsumsi-energi-terbarukan-terbesar
[Accessed i14 iMaret i2023].
- Raja iMa'arof, iR. iA., iSaputra, iO. i. iA., iDewadi, iF. iM. i& iNoor,
iA., i2021. iEngaging iStudents: iBlending iClass iActivities
iwith iIndustry-linked iTeaching iApproach iin iOccupational
iSafety iand iHealth iCourse iDelivery, iKuala iLumpur:
iUniversiti iKuala iLumpur.
- Rianta, iM. iG., i2022. iIndonesiaRe. i[Online] i
Available iat:
ihhttps://indonesiare.co.id/en/article/mengenal-
pembangkit-listrik-tenaga-air-plta
[Accessed i14 iMaret i2023].
- S. iet ial., i2021. iPengaruh iPenahanan iSuhu iReaktor ipada
iPengujian iLDPE idengan iDebit iAir i46 iL/Min. iJTMMX,
iII(1), iipp. i19-27.
- Sitorus i, iE. iet ial., i2022. iKesehatan idan iKeselamatan iKerja
iEra iSociety i5.0. iIndonesia, iPatent iNo. i000338122.

- Supriyono, iT. iet ial, i2022. iAnalisis iChassis iMobil iRobot iPenanaman iBibit iKangkung iMenggunakan iMetode iElemen iHingga. *iJTMMX*, iII(2), ipp. i1-8.
- Surbakti, iD., iWibowo, iC. i& iDewadi, iF. iM., i2022. iPerbaikan iGerobak iSampah isebagai iBagian idari iManajemen iSampah iSisi iHulu idi iLingkungan iPermata iPenggilingan iJakarta. *iIndonesian iJournal iof iEngagement, iCommunity iServices, iEmpowerment iand iDevelopment*, iII(2), ipp. i165-174.
- Wibowo, iC. i& iDewadi, iF. iM., i2022. iDesign iPressure iReduction iSystem i(PRS) iuntuk iCompressed iNatural iGas i(CNG) iKapasitas i30 iNm³/h idalam iSisi iTeknis idan iEkonomis. *iTEKINFO: iJurnal iPenelitian iTeknik idan iInformatika*, iII(2), ipp. i60-65.
- Wibowo, iC., iDewadi, iF. iM. i& iAfgani, iA. iA., i2021. iImpementasi iMaterial iTitanium ipada iSepeda iListrik isebagai iRangka iyang iEfisien. *iJTMMX*, iII(1), ipp. i13-18.

BAB 8

DESAIN MESIN KONVERSI ENERGI

Oleh Habibi Santoso

8.1 Pendahuluan

Definisi desain adalah rencana yang dibuat sebelum objek, komponen, struktur, atau sistem diproduksi atau dengan kata lain, desain adalah proses perencanaan dan perancangan suatu komponen/objek dengan tujuan agar objek yang diciptakan memiliki fungsi, nilai estetika dan manfaat bagi manusia.

8.2 Kriteria desain

Meskipun ada banyak kriteria penting yang digunakan seorang desainer untuk pembuatan desain, tetapi kriteria penting dalam desain adalah sebagai berikut:

1. Fungsi/kegunaan
2. Keamanan
3. Keandalan
4. Bahan
5. Biaya
6. Manufakturabilitas (dapat di produksi)
7. Pemasaran.

Pada proses perancangan komponen mesin oleh desainer tentunya akan mengalami banyak permasalahan yang harus di selesaikan. Masalah desain dapat diselesaikan dengan beberapa cara. Berikut ini prosedur umum untuk menyelesaikan masalah desain adalah sebagai berikut:

1. Mengenali tujuan dan kebutuhan. Hal pertama yang dilakukan adalah membuat keterangan lengkap tentang permasalahan desain, mengenai kebutuhan dan maksud/tujuan dari mesin yang akan dirancang.
2. Penyusunan langkah desain.
3. Pemilihan bahan. Pilihlah bahan yang paling cocok untuk setiap komponen mesin
4. Analisis gaya. Menentukan gaya yang bekerja pada setiap komponen mesin serta energi yang diteruskan pada setiap komponen mesin.
5. Desain elemen mesin (dimensi dan ketegangan). Tentukanlah bentuk dan dimensi komponen mesin, berdasarkan pertimbangan gaya yang bekerja pada elemen mesin dan tegangan yang dapat diijinkan untuk bahan yang akan digunakan.
6. Modifikasi. Ubah/modifikasi dimensi dengan berdasarkan pengalaman produksi sebelumnya. Pertimbangan [ada hal ini dapat menekan biaya produksi.
7. Gambar lengkap/detail. Gambarkan secara detail setiap bagian/komponen dan rakitan mesin dengan spesifikasi yang lengkap dan proses produksinya
8. Produksi. Pembuatan komponen mesin sebagaimana tercantum dalam gambar detail.

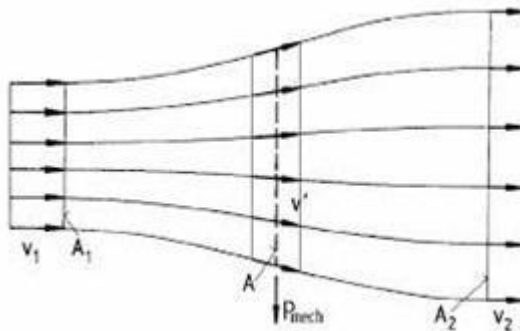
8.3 Desain Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Pembangkit listrik tenaga angin adalah jenis pembangkit listrik yang menggunakan sumber energi yang diperoleh dari tekanan angin di permukaan bumi dan merubahnya menjadi energi listrik.



Gambar 8.1. Jenis Turbin Angin
(Sumber : Hau,E. 2005)

Daya pada angin bisa diketahui dengan menggunakan persamaan hukum Betz. Persamaan tersebut menjelaskan mengenai kecepatan angin yang memasuki rotor (V_1), kecepatan angin di atas rotor (V') dan kecepatan angin setelah melalui rotor (V_2), hal ini dijelaskan pada gambar 5



Gambar 8.2. Kecepatan angin yang melewati rotor
(Gundtoft, 2009)

Berdasarkan Hukum Betz, dapat di ketahui besar daya angin yang melewati turbin dengan persamaan 1 berikut. (Wagner et al, 2009)

$$P_{wind} = \frac{E_{kin.wind}}{\Delta t} = \frac{\Delta V \rho v^2}{2 \Delta t} = \frac{Av \Delta t v^2 \rho}{2 \Delta t} = \frac{1}{2} A \rho v^3 \tag{1}$$

Kondisi pengoperasian rotor pada turbin bergantung pada dimensi sudu/bilah turbin berpengaruh pada rasio kecepatan puncak (*tip speed ratio*) (λ), diameter rotor pada turbin (D) dan jumlah sudu (B). Pada tahapan awal perancangan sudu turbin yang perlu diketahui adalah kecepatan putar rotor turbin (n) yang hubungan erat antara *tip speed ratio* (TSR) dengan kecepatan angin (v) yang akan dijelaskan dengan persamaan 2 (Wagner et al, 2009).

$$n = \frac{\lambda \ 60 \ v}{\pi \ D} \tag{2}$$

Menggunakan data kecepatan rotor pada turbin, kita dapat mengetahui koefisien daya rotor turbin (Cp) digunakan dan dapat disesuaikan dengan perbandingan antara Cp dan TSR. TSR dapat mempengaruhi jumlah sudu yang akan digunakan dalam desain turbin pada tipe Darrieus. Hal ini, dapat kita lihat dalam data tabel di bawah ini:

Tabel 8.1. Hubungan *tip speed ratio* (TSR) dengan jumlah sudu turbin

TSR (λ)	Jumlah Sudu (B)
1	8-24
2	6-12
3	4-6
4	3-4
<4	1-3

Sumber : Laysen, 1983

Melalui pendekatan hukum Betz kita dapat mengetahui besar *Tip speed ratio* (λ) untuk dapat menentukan sudut aliran angin (Φ) dan lebar atau chord sudu (C) tergantung jarak ke pusat putaran (r)(Laysen , 1983), hal ini menyesuaikan banyaknya sudu turbin (B) dan kondisi perbandingan gaya lift dan gaya drag turbin (Cl/Cd) yang dihitung menggunakan persamaan 3 dan 4.

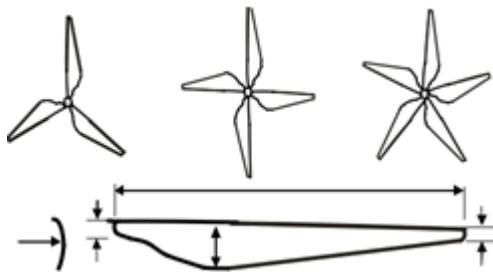
$$\Phi = \frac{2}{3} \arctan \frac{1}{\lambda} \quad (3)$$

$$C = \frac{8 \pi r}{B \frac{Cl}{Cd}} (1 - \cos \Phi) \quad (4)$$

8.3.1 Sudu (*Blade*)

Bilah/sudu merupakan bagian dari turbin angin yang berbentuk pelat datar. Pola sudu terbaik adalah pola yang mendekati struktur/bentuk *streamline*. Pengujian pada bentuk taper linier terbalik digunakan sebagai bentuk yang mendekati kondisi *streamline*. Untuk memperoleh hasil yang optimal dari sebuah turbin angin, maka perlu memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

1. Bentuk bilah terlihat seperti ulir atau pelintir, sehingga aerodinamika meningkat.
2. Untuk penghematan energi yang lebih efisien, flap sayap dipasang langsung pada rotor.
3. Untuk bilah yang ideal ada tiga bilah karena menghasilkan distribusi kekuatan dan keseimbangan yang lebih baik



Gambar 8.3. Penampang profil sudut
(sumber : Sayoga, dkk. 2014)

8.3.2 Menghitung Laju Volume

Energi kinetik dari angin di terima oleh sudu turbin angin untuk diteruskan memutar rotor. Besar penampang A , dimana angin bergerak dengan kecepatan v mengalami perpindahan volume pada satuan waktu disebut aliran volume (V) dengan persamaan:

$$V = v \cdot A \quad (5)$$

Dimana :

V : Laju volume (m^3/s)

v : Kecepatan angin (m/s)

A : Luas penampang (m^2)

Volume angin akan berbanding lurus dengan kerapatan udara (ρ) serta berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan. Dari uraian tersebut, berlaku persamaan:

$$M = \rho \cdot V = \rho \cdot v \cdot A \quad (6)$$

Dimana :

M : Massa udara (kg)

ρ : Kerapatan udara (kg/m^3)

A : Luas penampang turbin (m²)
 v : Kecepatan angin (m/s)

8.3.3 Daya turbin angin

Energi yang dihasilkan per satuan waktu dapat dicari dengan persamaan:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (7)$$

Dimana :

P_w : Daya angin yang bergerak dengan satuan (watt)

Daya Rotor

$$P_r = C_p \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (8)$$

Dimana :

P_r = Daya rotor (watt)

C_p = Daya koefisien pisau

Berdasarkan persamaan diatas, dapat diketahui rasio koefisien daya antara kekuatan angin dan kekuatan pada rotor, berlaku persamaan berikut :

$$C_p = \frac{\text{Daya rotor}}{\text{Daya angin}} \quad (9)$$

Persamaan daya yang berkaitan dengan sudu-sudu turbin adalah luas area sapuan atau diameter rotor. Oleh karena itu, panjang masing-masing sudu/bilah adalah faktor yang penting di ketahui dalam desain. Gaya yang di peroleh dari angin pada penampang dengan luas (A) dan jari-jari (R) dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_{\text{angin}} = \frac{1}{2} \rho v^2 A \quad (10)$$

Dengan dapat dihitungnya Gaya yang di berikan angin, maka torsi rotor (T_{motor}) dapat di hitung dengan persamaan:

$$T_{rotor} = CT \frac{1}{2} \rho . v^2 . A . R \tag{11}$$

CT adalah koefisien torsi yang besarnya bergantung pada torsi dan daya, sehingga CT dapat di peroleh dari persamaan berikut:

$$CT = \frac{C_p}{\lambda} \tag{12}$$

8.3.4 Luas area terpapar angin (*Swept Area*)

Luas area terpapar angin adalah area yang terkena paparan angin yang mengakibatkan turbin angin berputar dan menghasilkan putaran rotor. Luas area dapat di ketahui dengan persamaan berikut:

$$As = \frac{1}{4} \pi . D^2 \tag{13}$$

Keterangan:

As = Luas area terpapar angin

D = Daya Koefisien sudu

ρ = Masa jenis udara

Rotor solidity dapat di ketahui dengan menghitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{N . A_B}{A_s} \tag{14}$$

Keterangan:

N : Jumlah sudu turbin

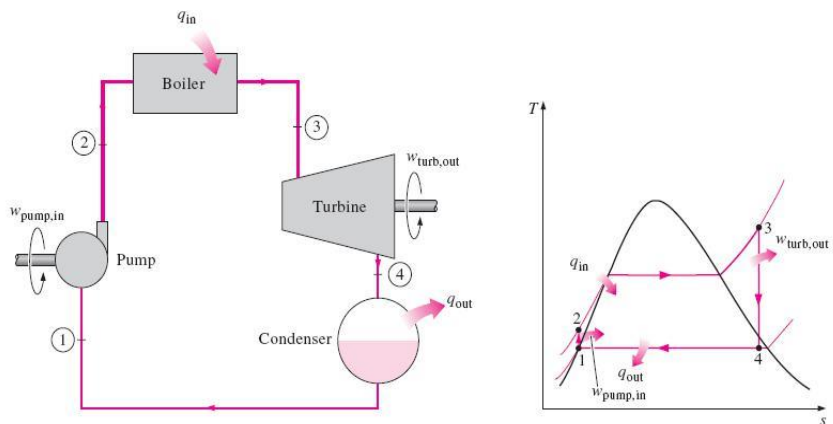
As : Luas area terpapar angin

AB : Luas area satu sudu turbin

Sebagian besar turbin angin sumbu horizontal dengan tingkat kepadatan tinggi atau area yang terkena angin dengan jumlah bilah yang banyak, akan berjalan lebih lambat dan menghasilkan torsi yang lebih tinggi. Jika kekuatannya rendah, nilai C_p akan meningkat dan untuk kekuatan tinggi pertama ternyata 20 kali lebih berat dari impeller 3 bilah

8.4 Turbin uap

Turbin uap adalah unit yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap. Perangkat ini berguna untuk menangkap aliran uap melalui nozel yang di ekspansikan ke sudu-sudu turbin untuk selanjutnya meneruskan putaran turbin ke generator.



Gambar 8.4. Siklus Renkine Ideal
Sumber: Chengel, Y dkk (2007)

Gambar 8.3. diatas menunjukkan siklus renkine ideal pada turbin uap yang menjadi acuan dalam desain turbin. berikut ini adalah proses yang terjadi pada siklus renkine ideal:

- 1-2: Kompresi isentropik dalam pompa pada wilayah cairan.
- 2-3: Perpindahan panas ke fluida kerja saat bersirkulasi melalui boiler.
- 3-4: Ekstraksi isentropik fluida kerja atau uap yang mengalir dan melewati turbin, hingga mencapai tekanan kondensor.
- 4-1: Perpindahan panas dari fluida kerja pada tekanan konstan melalui kondensor cair jenuh.

Untuk menyederhanakan analisis termodinamika siklus ini, proses di atas dapat disederhanakan dalam skema berikut. Kemudian analisis setiap siklus proses untuk setiap satuan massa dapat dituliskan sebagai berikut:

- a) Kerja pompa (W_p) = $h_2 - h_1 = v (P_2 - P_1)$
 - b) Penambahan kalor pada boiler (Q_{in}) = $h_3 - h_2$
 - c) Kerja turbin (W_T) = $h_3 - h_4$
 - d) Kalor yang terlepas dari kondensor (Q_{out}) = $h_4 - h_1$
 - e) Efisiensi termal siklus (η_{th}) = $\frac{W_{net}}{Q_{in}} = \frac{W_T - W_p}{Q_{in}}$
- $$\eta_{th} = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2}$$

Analisis kecepatan aliran uap

1. Kecepatan aktual keluar dari Nozle (C1) adalah:

$$C_1 = 91,5 \cdot \varphi \cdot \sqrt{H_0} \quad (\text{m/s}) \quad (1)$$

Dimana

H_0 = Besar penurunan kalor (entalphi drop)(kkal/kg)

φ = Koefisien gesek pada dinding Nosel (0,91 s/d 0,98)

2. Kecepatan uap keluar teoritis (C1)

$$C_{1t} = \frac{C_1}{\varphi} \quad (\text{m/s}) \quad (2)$$

3. Kecepatan tangensial sudu (U)

$$U = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} \quad (\text{m/s}) \quad (3)$$

Dimana:

d = diameter turbin (m)

n = Putaran poros turbin (rpm)

4. Kecepatan uap masuk sudu pertama

$$W_1 = \sqrt{C_1^2 + U^2 - 2UC_1 \cdot \cos \alpha_1} \text{ (m/s)} \quad (4)$$

5. Kecepatan mutlak radial uap keluar sudu gerak baris pertama (C_{2u})

$$C_{1u} = C_1 \cdot \cos \alpha_1 \quad \text{(m/s)} \quad (5)$$

6. Kecepatan mutlak radial uap keluar sudu gerak baris ke dua (C_{2u})

$$C_{2u} = C_2 \cdot \cos \alpha_2 \quad \text{(m/s)} \quad (6)$$

DAFTAR PUSTAKA

- Gundtoft, S. 2009. Wind Turbines. Denmark: University of Aarhus
- Adlie, T.A, dkk. 2015. Perancangan Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 Sudu Dengan Daya Output 1 KW. Jurnal Ilmiah Jurutera 02(02)
- Sayoga , dkk. 2014. Pengaruh variasi jumlah blade terhadap performa aerodinamik pada rancangan kincir angin 300 watt, Universitas Mataram
- Chengel, Yunus A., Boles, Michael A. 2007. *Thermodynamics an Engineering Approach in SI Units, 6th Edition*. McGraw-Hill, inc United States of America.
- Ismail, Pane. E dan Triyanti. 2017. *Optimasi Perancangan Turbin Angin Vertikal Tipe Darrieus Untuk Penerangan Di Jalan Tol*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta
- Santoso, H. 2018. Optimalisasi Untuk Menghasilkan Efisiensi Ideal Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Kapasitas 20 MW. *Jurnal String Universitas Indraprasta PGRI* 3 (2)
- Hau, E. 2006. Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics, 2nd Ed. Berlin: Springer
- Laysen, E.H. 1983. Introduction to Wind Energy Consultancy Service Wind Energy. Tesis tidak diterbitkan : Netherlands.
- Shlyakin, P. 1990. *Turbin Uap Teori dan Perancangan*. Jakarta : Erlangga.

BIODATA PENULIS



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

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Fajar

Penulis lahir di Ujung Padang tanggal 19 Oktober 1981. Penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Fajar. Penulis menyelesaikan Studi S1 - Sarjana Teknik (S.T.) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (Unhas) Tahun 2005 Konsentrasi Konversi Energi dan Studi S2 - Magister Teknik (M.T.) Program Strata Magister (S2) Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (Unhas) Tahun 2007 Konsentrasi Konversi Energi. Bergabung menjadi Dosen Yayasan Pendidikan Fajar pada Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Fajar sejak Tahun 2010 – sekarang. Penulis pengampu mata kuliah mesin-mesin fluida, perancangan mesin, motor bakar

BIODATA PENULIS



Aminatus Sa'diyah, S.Si., M.T.

Staf Dosen Jurusan Teknik Permesinan Kapal
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Penulis menyelesaikan pendidikan magister di Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2014, dan sarjana di Jurusan Fisika Universitas Airlangga pada tahun 2012. Saat ini aktif aktif mengajar sebagai dosen di Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya sejak 2015. Aktif melakukan penelitian di bidang Energi Terbarukan, khususnya Analisis Dampak Penerapan Bioteknologi pada ekologi dan lingkungan. Mengampu mata kuliah Fisika Terapan, Termodinamika dan Perpindahan Panas pada jurusan Teknik Permesinan Kapal. Bidang penelitian yang ditekuni adalah energi terapan untuk industri dan rumah tangga, Teknologi Energi Terbarukan, serta Manajemen Energi. Saat ini aktif menulis artikel ilmiah baik jurnal nasional maupun Internasional.

BIODATA PENULIS



Dr. Silvana Dwi Nurherdiana, S.Si

Dosen Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Dr. Silvana Dwi Nurherdiana, S.Si adalah Dosen aktif di Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur dan Anggota Organization for Women in Science in the Developing World (OWSD)- Indonesia. Penulis menyelesaikan studi Sarjana (S.Si) dan mengikuti program Pendidikan Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU) dalam menyelesaikan studi Doktor (Dr) di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Bidang minat penelitian penulis berpusat pada pengembangan teknologi membran dan waste for green initiatives. Penelitian sarjananya adalah bahan katalis berbasis Material Organic Framework (MOF) di bawah bimbingan Prof. Dra. Ratna Edianti, MS., Ph.D. Penelitian doktoralnya mempelajari preparasi, karakterisasi dan uji kinerja membran katalis serat berongga lapis ganda untuk oksidasi parsial metana menjadi syngas. Pelaksanaan penelitian telah bekerja sama dengan Advanced Membrane Technology Research Center (AMTEC), Universiti Teknologi Malaysia dan Department of Chemical Engineering, Imperial College London. Kajian dan penelitian ini mendapat dukungan dana dari Ditjen Dikti berupa beasiswa PMDSU. Saat ini, beberapa proyek penelitian telah dilakukan yang telah mendapat dukungan dari Grant Riset Sawit (GRS) dan Dana

Internal UPNVJT, serta terlibat aktif pada tahun 2022 sebagai Visiting Scientist dalam pengajian dan pemanfaatan Fly Ash Batu Bara (FABA) bersama ITS dan PT. PLN. Inovator pernah mendapatkan penghargaan untuk menghadiri ASEAN Workshop on XANES Simulation and In-Situ XAS Experiment (AWXIXE), Synchrotron Light Research Institute, Thailand dan The 4th Workshop on Transmission Electron Microscopy (TEM), Advance Method for Interpretation of TEM Data, Pusat Penelitian Fisika LIPI, Indonesia. Inovator juga aktif dalam publikasi ilmiah seminar dan jurnal baik nasional dan internasional. Inovator dapat dihubungi melalui email : silvana.dwi.tk@upnjatim.ac.id

BIODATA PENULIS



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

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus

Penulis lahir di Demak tanggal 30 Maret 1973. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Jakarta dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Penulis mengajar matakuliah Energi Terbarukan dan Manajemen Energi di Program Studi Teknik Mesin Universitas Muria Kudus, Jawa Tengah. Penulis menekuni bidang Menulis.

Email penulis : rianto.wibowo@umk.ac.id

BIODATA PENULIS



Ir. Bambang Winardi, M.Kom.

Dosen Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Penulis lahir di Banyuwangi tanggal 16 Juni 1961. Penulis adalah dosen tetap pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Elektro dan melanjutkan S2 pada Jurusan Sistem Informasi. Penulis menekuni bidang Menulis.

Berperan serta aktif dalam international conference yang didukung oleh IEEE, ICITACEE - International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (diselenggarakan tiap tahun, dipublikasikan di IEEE Explore dan terindex Scopus). Penulis dapat dihubungi di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Jl. Prof. Soedarto, S.H., Kampus Tembalang, Semarang, Telepon/Fax (024) 7460057.

Alamat e-mail: bambang.winardi@elektro.undip.ac.id

BIODATA PENULIS



**Dodi Satriawan, S.T., M.Eng., CPHCEP., CPMP., CPRW., CBOA.,
CNPHRP., CLMA., NNLP.**

Staf Dosen Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan,
Politeknik Negeri Cilacap

Penulis lahir di Bengkulu tanggal 07 Mei 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi D-IV Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Kimia, Universitas Sriwijaya dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Kimia, Magister Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Universitas Gadjah Mada. Penulis menekuni bidang bioproses, bioenergi, dan pengolahan air limbah.

BIODATA PENULIS



Fathan Mubina Dewadi

Dosen Universitas Buana Perjuangan Karawang

Fathan Mubina Dewadi merupakan pria yang berusia 30 tahun sudah tertarik dengan bidang Pendidikan tinggi sejak tahun 2015. Sejak lulus jurusan Teknik mesin program pascasarjana Universitas Pancasila. Kini penulis sedang bekerja sebagai dosen tetap program studi Teknik mesin di Universitas Buana Perjuangan Karawang. Kini kesibukan penulis ialah lebih menghabiskan waktu untuk mengajar dan menulis. Karya-karya yang telah dibuat dimuat di media *online*, jurnal nasional, jurnal internasional dan jurnal nasional bereputasi. Sudah lebih dari 50 karya yang telah dibuat dan sedang proses untuk pembuatan buku dan bab buku. Jurnal yang telah ditulis bekerjasama dengan para pakar di luar negara dan dalam negri.

BIODATA PENULIS



Habibi Santoso, S.T., M.T.

Dosen Program Studi DIII Pemeliharaan Mesin
Politeknik Negeri Media Kreatif Jakarta

Penulis lahir di Jakarta, pada tanggal 28 Juli 1985. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi DIII Pemeliharaan Mesin Politeknik Negeri Media Kreatif Jakarta. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Budi Utomo dan pada tahun 2010, dan menyelesaikan S2 pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasila pada tahun 2015. Pengalaman di industri dan konsultan *Mechanical & Electrical* selama 11 tahun.