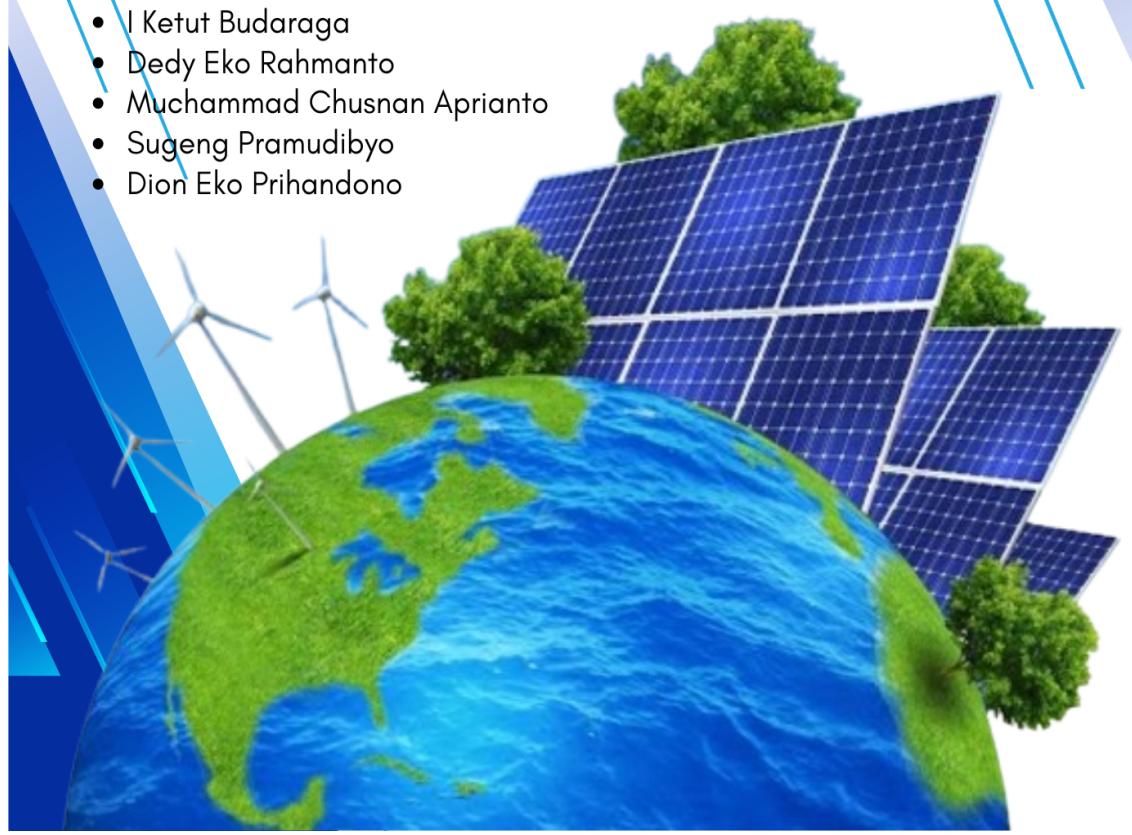


TEKNOLOGI ENERGI TERBARUKAN

Penulis :

- Ropiudin
- Rusman
- Risse Entikaria Rachmanita
- I Ketut Budaraga
- Dedy Eko Rahmanto
- Muhammad Chusnan Aprianto
- Sugeng Pramudibyo
- Dion Eko Prihandono



TEKNOLOGI ENERGI TERBARUKAN

**Ropiudin
Rusman**

Risse Entikaria Rachmanita

I Ketut Budaraga

Dedy Eko Rahmanto

Muchammad Chusnan Aprianto

Sugeng Pramudibyo

Dion Eko Prihandono



CV HEI PUBLISHING INDONESIA

TEKNOLOGI ENERGI TERBARUKAN

Penulis:

Ropiudin

Rusman

Risse Entikaria Rachmanita

I Ketut Budaraga

Dedy Eko Rahmanto

Muchammad Chusnan Aprianto

Sugeng Pramudibyo

Dion Eko Prihandono

ISBN: 978-623-8722-45-7

Editor: Purnama Wirawan, S.Si, M.Si

Penyunting: Uitmardi, ST

Desain Sampul dan Tata Letak: Ririn Novitasari SE

Penerbit : CV HEI PUBLISHING INDONESIA

Nomor IKAPI 043/SBA/2023

Redaksi :

Jl. Air Paku No.29 RSUD Rasidin, Kel. Sungai Sapih, Kec Kuranji

Kota Padang Sumatera Barat

Website : www.HeiPublishing.id

Email : heipublishing.id@gmail.com

Cetakan pertama, September 2024

Hak cipta dilindungi undang-undang

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

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan judul Teknologi Energi Terbarukan dapat diselesaikan.

Buku ini membahas tentang Pengenalan Energi Terbarukan, Teknologi Berbasis Energi Surya PV, Teknologi Berbasis Energi Surya Termal, Teknologi Berbasis Energi Biomassa, Teknologi Berbasis Energi Air, Teknologi Berbasis Energi Angin, Teknologi Berbasis Energi Panas Bumi, Prospek Dan Peran Energi Terbarukan Di Masa Depan.

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 terutama seluruh penulis kolaborator yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur bagi semua kalangan yang mudah dipahami, dan bermanfaat terutama dalam rangka pembuatan produk pangan yang diminati oleh konsumen.

Padang, September 2024

Penulis

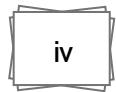
DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB 1 MENGENAL ENERGI TERBARUKAN.....	1
1.1 Pentingnya Energi	1
1.2 Apa itu Energi Terbarukan.....	1
1.3 Sejarah Energi Terbarukan	2
1.4 Jenis-jenis Energi Terbarukan.....	4
1.5 Keuntungan dan Kelemahan Energi Terbarukan.....	5
1.6 Perbandingan Energi Terbarukan dengan Energi Non Terbarukan.....	7
1.7 Teknologi Pendukung Energi Terbarukan	8
1.8 Masa Depan Energi Terbarukan.....	10
1.9 Potensi dan Prospek Energi Terbarukan di Indonesia	12
DAFTAR PUSTAKA.....	15
BAB 2 TEKNOLOGI BERBASIS ENERGI SURYA PV	17
2.1 Pengantar.....	17
2.2 Prinsip Dasar Fotovoltaik (PV)	19
2.3 Teknologi dan Material PV.....	22
2.4 Tantangan dan Masa Depan Teknologi PV	25
2.5 Kesimpulan.....	25
DAFTAR PUSTAKA.....	26
BAB 3 TEKNOLOGI BERBASIS ENERGI SURYA TERMAL	27
3.1 Pendahuluan	27
3.2 Surya Termal.....	29
3.3 Aplikasi Teknologi Berbasis Energi Surya Termal	31
3.3.1 Kompor Surya.....	31
3.3.2 Kolektor Surya.....	35
DAFTAR PUSTAKA.....	40
BAB 4 TEKNOLOGI BERBASIS ENERGI BIOMASSA.....	41
4.1 Pendahuluan.....	41
4.2 Manfaat Energi Biomassa	49
4.3 Tantangan Energi Biomassa.....	51
4.4 Penutup	54

DAFTAR PUSTAKA	56
BAB 5 TEKNOLOGI BERBASIS ENERGI AIR	57
5.1 Pendahuluan.....	57
5.2 Konsep Teoritis	58
5.2.1 Siklus Hidrologi Air	58
5.2.2 Tekanan Hidrostatik Air	59
5.2.3 Debit Air	59
5.2.4 Tinggi Jatuh Air	60
5.2.5 Potensi Daya Air.....	61
5.3 Jenis-Jenis Turbin Air	62
5.4 Daya Mekanik Turbin Air.....	63
5.5 Pemilihan Jenis Turbin Air yang Sesuai	64
5.6 Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala Mikrohidro	64
5.7 Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala Besar	68
5.8 Pembangkitan Listrik dari Pipa Distribusi Air	70
5.9 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut.....	71
DAFTAR PUSTAKA	73
BAB 6 TEKNOLOGI BERBASIS ENERGI ANGIN.....	75
6.1 Pendahuluan.....	75
6.2 Teknologi Turbin Angin	75
6.2.1 Turbin Angin Sumbu Horisontal	76
6.2.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal	77
6.3 Analisis Lokasi Energi Angin	78
6.4 Energi Angin di Perkotaan	80
6.5 Dampak Lingkungan.....	82
DAFTAR PUSTAKA	84
BAB 7 TEKNOLOGI BERBASIS PANAS BUMI	87
7.1 Pendahuluan.....	87
7.2 Pemanfaatan Energi Panas Bumi sebagai Pembangkit Listrik.....	88
7.3 Tantangan Energi Panas Bumi	92
7.4 Penutup	99
DAFTAR PUSTAKA	101
BAB 8 PROSPEK DAN PERAN ENERGI TERBARUKAN DI MASA DEPAN.....	103
8.1 Pendahuluan	103
8.2 Prospek Energi Terbarukan.....	105

8.3 Peran Energi Terbarukan	106
8.4 Masa Depan Energi Terbarukan.....	107
DAFTAR PUSTAKA.....	111

BIODATA PENULIS



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Perbandingan energi terbarukan dan energi non terbarukan	7
Tabel 3.1. Keuntungan dan Kerugian Energi Surya	28



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Sumber energi terbarukan dan energi non terbarukan	2
Gambar 1.2. Sistem energi cerdas.....	12
Gambar 1.3. PLTS Terapung Cirata (Indonesia): terbesar se-asia tenggara, terbesar ketiga di dunia	14
Gambar 3.1. Periode Puncak Iradiasi Matahari.....	28
Gambar 3.2. Prinsip Dasar Kompor Surya.....	33
Gambar 3.3. Kompor Surya Tipe Kotak.....	34
Gambar 3.4. Kompor Surya Tipe Parabola.....	35
Gambar 3.5. Kolektor Surya Plat Datar	37
Gambar 3.6. Kolektor Surya Konsentrator.....	38
Gambar 3.7. Kolektor Tabung Vakum.....	39
Gambar 5.1. Siklus hidrologi air	58
Gambar 5.2. Tekanan hidrostatik air	59
Gambar 5.3. Pengukuran kecepatan aliran air menggunakan current meter	60
Gambar 5.4. Pengukuran beda tinggi pada survei potensi tenaga air menggunakan theodolite	61
Gambar 5.5. Turbin reaksi tipe Kaplan.....	62
Gambar 5.6. Turbin impuls.....	63
Gambar 5.7. Turbin Chart	64
Gambar 5.8. Skema umum sistem PLTMH.....	65
Gambar 5.9. PLTMH Jamus 1 dan 2.....	66
Gambar 5.10. Mikrohidro Turbin Francis di Perkebunan Gunung Pasang Jember	67
Gambar 5.11. PLTMH Gunung Sawur 2	68
Gambar 5.12. Skema PLTA.....	69
Gambar 5.13. Transmisi interkoneksi	69
Gambar 5.14. Pemanfaatan pipa distribusi air untuk pembangkit listrik.....	70
Gambar 5.15. Sistem pelampung naik-turun	71
Gambar 5.16. Turbin angin aksial dengan energy gelombang laut	72
Gambar 6.1. Mesin Turbin Angin	76
Gambar 7.1. Proses Kerja Pembangkit Listrik Panas Bumi	90

BAB 1

MENGENAL ENERGI TERBARUKAN

1.1 Pentingnya Energi

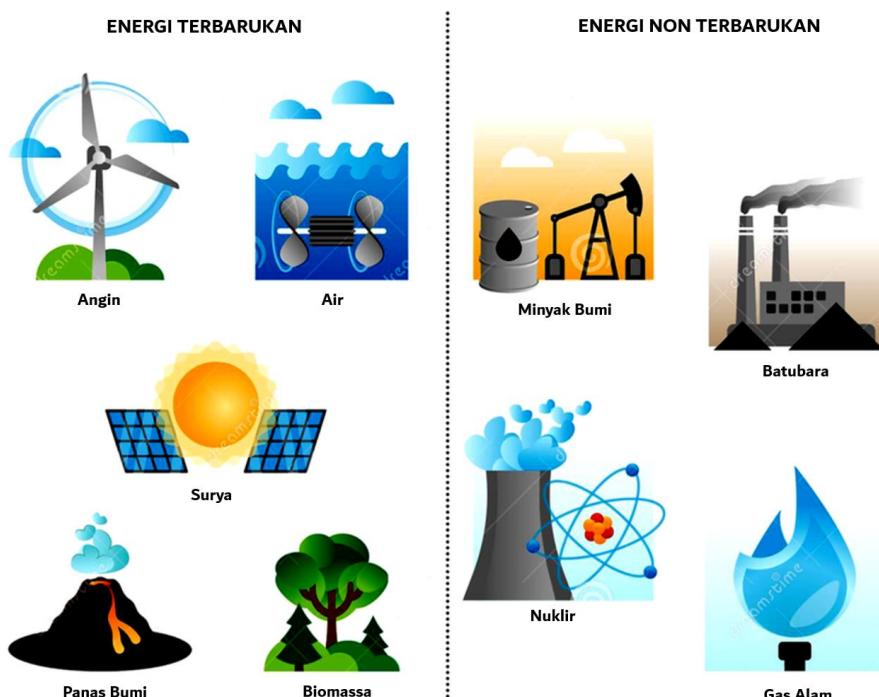
Energi adalah penggerak utama dalam pertumbuhan ekonomi, kemajuan, dan kemakmuran suatu bangsa. Permintaan energi yang meningkat di berbagai sektor menimbulkan tekanan besar pada sumber daya. Pertumbuhan ekonomi suatu negara tercermin dari ketersediaan dan konsumsi energinya. Menipisnya sumber daya dan meningkatnya polusi lingkungan memerlukan pemanfaatan sumber daya yang optimum dan perencanaan energi yang tepat untuk mencapai keamanan energi.

Pasokan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batubara, dan gas alam akan habis dalam beberapa ratus tahun. Industrialisasi, urbanisasi, pertumbuhan populasi, dan kekhawatiran terhadap perubahan iklim telah menempatkan banyak negara dalam posisi krisis energi fosil. Negara-negara di dunia perlu mengambil langkah tegas untuk menyeimbangkan pembangunan ekonomi dengan keberlanjutan lingkungan. Oleh karena itu, pengembangan sumber energi terbarukan sangat penting untuk memenuhi kebutuhan energi masa depan yang berkelanjutan.

1.2 Apa itu Energi Terbarukan

Energi terbarukan merujuk pada sumber energi yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui secara alami dalam skala waktu yang relevan dengan keberlangsungan hidup manusia. Sumber energi terbarukan ini tidak terbatas dan dapat diperbaharui melalui proses alami seperti matahari, biomassa, air, angin, dan panas bumi. Energi terbarukan dihasilkan tanpa menghasilkan emisi gas rumah kaca atau polusi udara yang signifikan, sehingga dianggap sebagai alternatif yang lebih bersih dan ramah lingkungan daripada bahan bakar fosil. Pemanfaatan energi terbarukan juga dapat membantu mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional yang terbatas dan berkontribusi pada diversifikasi

energi suatu negara. Dengan karakteristiknya yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, energi terbarukan menjadi fokus utama dalam upaya global untuk mengurangi dampak negatif perubahan iklim dan menciptakan sistem energi yang berkelanjutan.



Gambar 1.1. Sumber energi terbarukan dan energi non terbarukan

1.3 Sejarah Energi Terbarukan

Sejarah dan perkembangan energi terbarukan telah melalui berbagai tahapan penting sepanjang waktu. Berikut adalah sejarah dan perkembangan energi terbarukan:

1. Awal Penggunaan Energi Terbarukan: Penggunaan energi terbarukan telah dimulai sejak zaman kuno, seperti pemanfaatan tenaga angin untuk menggerakkan kapal layar dan penggunaan air untuk menggerakkan roda air. Meskipun pada awalnya penggunaan energi terbarukan lebih bersifat lokal dan terbatas, namun konsep ini telah ada sejak ribuan tahun yang lalu.

2. Revolusi Industri: Perkembangan energi terbarukan mengalami lonjakan signifikan selama Revolusi Industri di abad ke-18 dan ke-19. Penggunaan tenaga air dan uap menjadi kunci dalam menggerakkan mesin-mesin industri, pada saat itu merupakan bentuk awal dari pemanfaatan energi terbarukan dalam skala yang lebih besar.
3. Abad ke-20: Pada abad ke-20, terjadi peningkatan signifikan dalam pengembangan energi terbarukan. Pembangkit listrik tenaga air, tenaga angin, dan tenaga surya mulai dikembangkan secara komersial. Selain itu, krisis energi pada tahun 1970-an mendorong minat yang lebih besar terhadap energi terbarukan sebagai alternatif yang lebih berkelanjutan dan mandiri.
4. Perkembangan Teknologi: Perkembangan teknologi dalam bidang energi terbarukan semakin pesat seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. Inovasi dalam bidang panel surya, turbin angin, sel bahan bakar, dan teknologi energi ombak menjadi fokus utama dalam upaya meningkatkan efisiensi dan daya saing energi terbarukan.
5. Kesadaran Lingkungan: Kesadaran akan pentingnya perlindungan lingkungan dan penurunan emisi gas rumah kaca telah mendorong pemerintah dan industri untuk lebih fokus pada pengembangan energi terbarukan. Banyak negara mulai mengadopsi kebijakan dan target energi terbarukan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi dampak negatif perubahan iklim.
6. Masa Depan Energi Terbarukan: Saat ini, energi terbarukan semakin diakui sebagai salah satu solusi utama dalam mengatasi tantangan energi global. Dengan terus berkembangnya teknologi dan meningkatnya investasi dalam sektor energi terbarukan, diharapkan energi terbarukan akan menjadi pilar utama dalam transformasi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan di masa depan.

Sejarah dan perkembangannya yang panjang dan beragam, energi terbarukan terus menjadi fokus utama dalam upaya menciptakan sistem energi yang lebih berkelanjutan, bersih, dan ramah lingkungan untuk generasi mendatang.

1.4 Jenis-jenis Energi Terbarukan

Energi terbarukan merupakan sumber energi yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui secara alami. Jenis-jenis sumber energi terbarukan meliputi:

1. Energi Surya (*Solar Energy*)

- a. Energi Surya: Energi surya dimanfaatkan melalui panel surya untuk menghasilkan listrik (energi fotovoltaik) atau untuk pemanasan (energi termal).
- b. Energi Fotovoltaik: Mengubah sinar surya langsung menjadi listrik menggunakan sel surya.
- c. Energi Termal: Memanfaatkan iradiasi surya untuk pengeringan, memanaskan fluida termal untuk keperluan pemanas air, pemanas ruangan, atau pembangkit listrik.

2. Energi Biomassa (*Biomass Energy*)

- a. Bahan Bakar Biomassa: Menggunakan bahan organik seperti kayu, limbah pertanian, dan limbah organik lainnya untuk menghasilkan energi.
- b. Biogas: Menghasilkan gas metana dari proses dekomposisi bahan organik untuk digunakan sebagai bahan bakar.

3. Energi Air (*Hydropower*)

- a. Tenaga Air: Memanfaatkan energi air yang mengalir dari sungai atau bendungan untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan listrik.
- b. Pembangkit Listrik Tenaga Air: Bendungan dan turbin air digunakan untuk mengkonversi energi potensial air menjadi energi listrik.
- c. Energi Gelombang (*Wave Energy*): Memanfaatkan energi kinetik gelombang laut untuk menghasilkan listrik seperti gelombang permukaan dan saluran air berombak.
- d. Energi Pasang Surut (*Tidal Energy*): Memanfaatkan perbedaan ketinggian air laut antara pasang dan surut untuk menghasilkan energi listrik melalui turbin air.

4. Energi Angin (*Wind Energy*)

- a. Pembangkit Listrik Angin: Turbin angin digunakan untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik.

- b. Energi Angin Darat: Turbin angin terestrial yang umum di daratan.
 - c. Energi Angin Laut (*Offshore*): Turbin angin yang dipasang di perairan untuk memanfaatkan angin yang konsisten dan kuat.
5. Energi Panas Bumi (*Geothermal Energy*)
- a. Panas Bumi: Memanfaatkan panas yang dihasilkan dari dalam bumi untuk menghasilkan listrik atau pemanasan.
 - b. Pembangkit Listrik Panas Bumi: Menggunakan uap atau air panas dari reservoir panas bumi untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan listrik.

Setiap jenis sumber energi terbarukan memiliki karakteristik, kelebihan, dan tantangan tersendiri dalam pemanfaatannya. Dengan diversifikasi sumber energi terbarukan, diharapkan dapat menciptakan sistem energi yang lebih berkelanjutan, ramah lingkungan, dan mandiri.

1.5 Keuntungan dan Kelemahan Energi Terbarukan

Energi terbarukan memiliki berbagai keuntungan dan kelemahan yang perlu dipertimbangkan dalam pengembangannya.

Keuntungan Energi Terbarukan

1. Ramah Lingkungan
 - a. Mengurangi emisi gas rumah kaca dan polusi udara karena tidak menggunakan bahan bakar fosil.
 - b. Mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan seperti pencemaran udara dan air.
2. Sumber Energi yang Tidak Terbatas
Sumber energi terbarukan seperti matahari, biomassa, air, angin, dan panas bumi adalah sumber energi yang tidak terbatas dan dapat diperbaharui secara alami.
3. Kemandirian Energi
 - a. Mengurangi ketergantungan pada impor bahan bakar fosil dari negara lain.
 - b. Meningkatkan keamanan energi negara dengan memanfaatkan sumber energi lokal.

4. Penghematan Biaya Jangka Panjang

Meskipun investasi awal infrastruktur energi terbarukan bisa mahal, biaya operasional dan pemeliharaan cenderung lebih rendah dari energi konvensional dalam jangka panjang.

5. Penciptaan Lapangan Kerja

Industri energi terbarukan dapat menciptakan lapangan kerja baru dalam bidang teknologi, konstruksi, dan pemeliharaan.

Kelemahan Energi Terbarukan

1. Ketergantungan pada Cuaca

Energi terbarukan seperti surya dan angin sangat tergantung pada kondisi cuaca yang tidak selalu konsisten, sehingga memerlukan penyimpanan energi yang efisien.

2. Infrastruktur dan Investasi Awal

Memerlukan investasi awal yang besar dalam infrastruktur dan teknologi energi terbarukan yang mungkin menjadi hambatan bagi beberapa negara atau perusahaan.

3. Ketersediaan Lahan dan Sumber Daya

Beberapa jenis energi terbarukan seperti biomassa dan hidroelektrik memerlukan lahan yang luas dan sumber daya air yang cukup, yang dapat menimbulkan konflik dengan penggunaan lahan lainnya.

4. Ketidakpastian Kebijakan

Perubahan kebijakan pemerintah atau kurangnya dukungan politik dapat menghambat perkembangan energi terbarukan.

5. Tantangan Teknologi

Pengembangan teknologi penyimpanan energi yang efisien dan murah masih menjadi tantangan dalam memaksimalkan pemanfaatan energi terbarukan.

Pemahaman mengenai keuntungan dan tantangan energi terbarukan ini diharapkan dapat digunakan untuk merumuskan strategi yang tepat guna mempercepat transisi energi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

1.6 Perbandingan Energi Terbarukan dengan Energi Non Terbarukan

Perbandingan antara energi terbarukan dan energi non terbarukan disajikan pada Tabel 1.1 yang memperlihatkan perbedaan antara energi terbarukan dan energi non terbarukan dalam berbagai aspek yang relevan.

Tabel 1.1. Perbandingan energi terbarukan dan energi non terbarukan

No.	Aspek	Energi Terbarukan	Energi Non Terbarukan
1	Asal Sumber Energi	Berasal dari sumber energi alami yang dapat diperbaharui seperti matahari, biomassa, air, angin, dan panas bumi.	Berasal dari sumber energi yang terbentuk dari sisa-sisa organisme hidup yang terperangkap dalam lapisan bumi seperti minyak, gas, dan batu bara.
2	Dampak Lingkungan	Lebih ramah lingkungan karena menghasilkan emisi gas rumah kaca yang lebih rendah dan tidak menyebabkan polusi udara.	Menghasilkan emisi gas rumah kaca yang tinggi dan menyebabkan polusi udara serta pencemaran lingkungan.
3	Ketersediaan Sumber Energi	Sumber energi terbarukan bersifat tidak terbatas dan dapat diperbaharui secara alami.	Sumber energi fosil bersifat terbatas dan akan habis pada suatu saat.
4	Ketergantungan pada Cuaca	Beberapa jenis energi terbarukan seperti surya dan angin tergantung pada kondisi cuaca	Tidak tergantung pada kondisi cuaca karena dapat diakses dan digunakan kapan saja.

No.	Aspek	Energi Terbarukan	Energi Non Terbarukan
		yang tidak selalu konsisten.	
5	Biaya Produksi dan Operasional	Meskipun memerlukan investasi awal yang besar, biaya operasional dan pemeliharaan cenderung lebih rendah dalam jangka panjang.	Biaya produksi dan operasional cenderung lebih murah dalam skala besar, meskipun biaya lingkungan tidak selalu tercakup.
6	Keamanan Energi	Meningkatkan keamanan energi negara dengan memanfaatkan sumber energi lokal dan diversifikasi pasokan energi.	Rentan terhadap fluktuasi harga dan ketergantungan pada impor energi dari negara lain.
7	Dampak Sosial dan Ekonomi	Menciptakan lapangan kerja baru dalam industri energi terbarukan dan memberikan manfaat sosial ekonomi bagi masyarakat lokal.	Dapat menyebabkan konflik terkait penggunaan lahan, kerusakan lingkungan, dan dampak negatif pada kesehatan masyarakat.

1.7 Teknologi Pendukung Energi Terbarukan

Perkembangan teknologi pendukung energi terbarukan memainkan peran krusial dalam mempercepat transisi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan dan efisien. Teknologi penyimpanan energi seperti baterai dan hidrogen memungkinkan penyimpanan energi berlebih untuk digunakan saat produksi rendah, sementara sistem manajemen energi cerdas mengoptimalkan pengelolaan



produksi, distribusi, dan konsumsi energi. Selain itu, inovasi teknologi energi terbarukan terus menghasilkan peningkatan efisiensi dan pengurangan biaya, memperluas penerapan energi ramah lingkungan di seluruh dunia.

1. Teknologi Penyimpanan Energi

- a. **Baterai:** Baterai merupakan salah satu teknologi penyimpanan energi yang penting untuk energi terbarukan seperti surya dan angin. Baterai dapat menyimpan energi yang dihasilkan saat produksi energi berlebih dan mengalirkan energi saat produksi energi rendah.
- b. **Hidrogen:** Sistem penyimpanan energi berbasis hidrogen juga menjadi solusi penting untuk energi terbarukan. Hidrogen dapat dihasilkan melalui elektrolisis air saat energi berlebih, kemudian disimpan dan digunakan kembali sebagai sumber energi saat diperlukan.

2. Sistem Manajemen Energi

- a. Sistem manajemen energi adalah teknologi yang memungkinkan pengelolaan efisien dari produksi, distribusi, dan konsumsi energi. Dengan sistem manajemen energi yang cerdas, energi terbarukan dapat diintegrasikan dengan jaringan listrik yang ada secara optimum, optimisasi penggunaan energi, dan mengurangi pemborosan.
- b. Teknologi ini memungkinkan monitoring dan kontrol yang baik terhadap sumber energi terbarukan, sehingga meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem energi secara keseluruhan.

3. Inovasi Teknologi Terbarukan

- a. Inovasi terus mendorong perkembangan teknologi energi terbarukan seperti panel surya yang lebih efisien, biokonversi biomassa, turbin air, turbin angin yang kuat dan hemat ruang, serta teknologi panas bumi yang efektif.
- b. Pengembangan material baru, desain sistem yang lebih pintar, dan integrasi teknologi informasi menjadi bagian dari inovasi energi terbarukan untuk meningkatkan kinerja, menurunkan biaya, dan memperluas penerapan energi terbarukan.

Adanya teknologi penyimpanan energi, sistem manajemen energi yang cerdas, dan inovasi berkelanjutan dalam teknologi

terbarukan, diharapkan dapat mempercepat transisi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan, efisien, dan ramah lingkungan.

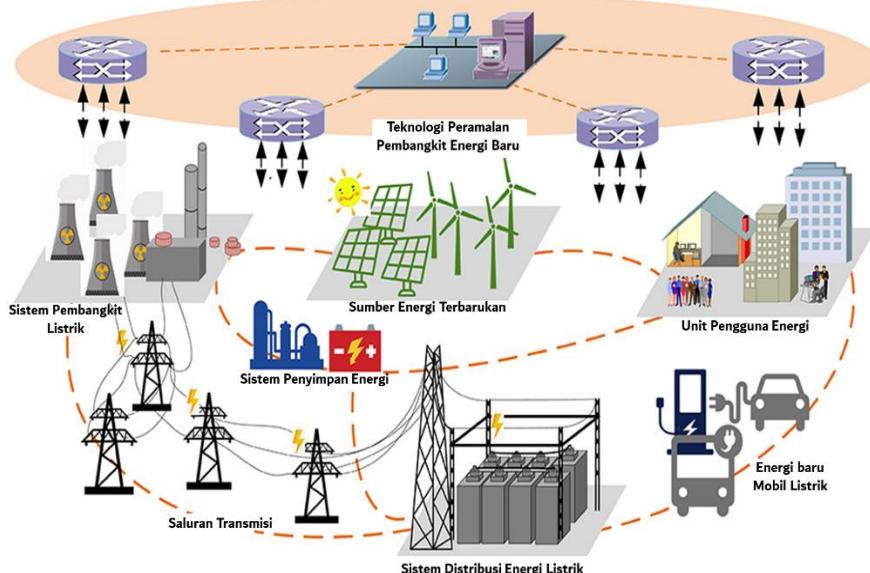
1.8 Masa Depan Energi Terbarukan

Masa depan energi terbarukan menjanjikan perubahan signifikan dalam cara kita menghasilkan dan menggunakan energi. Kecenderungan utama seperti peningkatan kapasitas instalasi energi terbarukan, penurunan biaya, dan inovasi teknologi menunjukkan kemajuan pesat dalam sektor ini. Teknologi berperan penting dalam meningkatkan efisiensi, mengembangkan sistem penyimpanan energi, dan menciptakan sistem manajemen energi yang cerdas. Selain itu, integrasi energi terbarukan dalam sistem energi global membutuhkan fleksibilitas, interkoneksi jaringan, dan dukungan kebijakan yang kuat. Dengan potensi untuk mengurangi emisi karbon dan menciptakan ekosistem energi yang lebih berkelanjutan, masa depan energi terbarukan terlihat sangat cerah.

- 1. Kecenderungan dan Prediksi Masa Depan**
 - a. Peningkatan Kapasitas: Kecenderungan utama dalam energi terbarukan adalah peningkatan kapasitas instalasi energi terbarukan seperti panel surya, turbin angin, dan pembangkit listrik tenaga air.
 - b. Penurunan Biaya: Prediksi menunjukkan bahwa biaya energi terbarukan terus menurun seiring dengan kemajuan teknologi dan skala ekonomi, membuat teknologi energi terbarukan semakin kompetitif dibandingkan energi fosil.
 - c. Inovasi Teknologi: Inovasi terus mendorong pengembangan teknologi energi terbarukan yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan mudah diakses.
- 2. Peran Teknologi dalam Perkembangan Energi Terbarukan**
 - a. Efisiensi Energi: Teknologi terus meningkatkan efisiensi energi terbarukan, seperti peningkatan konversi energi surya dan angin menjadi listrik yang lebih efisien.
 - b. Penyimpanan Energi: Pengembangan teknologi penyimpanan energi seperti baterai dan hidrogen menjadi kunci dalam memastikan ketersediaan energi terbarukan yang stabil dan dapat diandalkan.

- c. Sistem Manajemen Energi: Teknologi sistem manajemen energi yang cerdas memainkan peran penting dalam mengintegrasikan energi terbarukan ke dalam jaringan listrik global dengan cara yang efisien dan berkelanjutan.
- 3. Integrasi Energi Terbarukan dalam Sistem Energi Global
 - a. Fleksibilitas Sistem: Integrasi energi terbarukan memerlukan sistem energi global yang lebih fleksibel dan adaptif untuk mengakomodasi fluktuasi dalam produksi energi terbarukan.
 - b. Interkoneksi Jaringan: Interkoneksi antarjaringan listrik regional dan internasional dapat memungkinkan pertukaran energi terbarukan antar negara dan benua, meningkatkan keandalan pasokan energi.
 - c. Kebijakan Dukungan: Dukungan kebijakan yang kuat dari pemerintah dan lembaga internasional diperlukan untuk mendorong investasi dalam energi terbarukan dan mempercepat transisi menuju sistem energi yang berkelanjutan.

Kecenderungan positif ini memainkan peran yang krusial terhadap teknologi energi terbarukan dan integrasi energi terbarukan dalam sistem energi global, masa depan energi terbarukan terlihat cerah dengan potensi untuk mengurangi emisi karbon, meningkatkan keberlanjutan, dan menciptakan ekosistem energi yang lebih berkelanjutan.



Gambar 1.2. Sistem energi cerdas

1.9 Potensi dan Prospek Energi Terbarukan di Indonesia

1. Sumber Daya Energi Terbarukan di Indonesia
 - a. Energi Surya: Indonesia memiliki iradiasi surya yang cukup sepanjang tahun, memberikan potensi besar untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga surya.
 - b. Energi Biomassa: Sumber daya biomassa seperti limbah pertanian, limbah kelapa sawit, dan limbah organik lainnya dapat digunakan untuk produksi bioenergi di Indonesia.
 - c. Energi Air: Indonesia memiliki potensi besar untuk pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) karena memiliki banyak sungai dan bendungan.
 - d. Energi Angin: Daerah pesisir dan pegunungan di Indonesia memiliki potensi energi angin yang signifikan untuk pembangkit listrik tenaga angin.
 - e. Energi Panas Bumi: Indonesia memiliki potensi panas bumi yang besar yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga panas bumi.

2. Inisiatif dan Proyek Energi Terbarukan di Indonesia
 - a. Program 35 GW: Pemerintah Indonesia telah meluncurkan program 35 GW untuk meningkatkan kapasitas pembangkit listrik, termasuk target signifikan untuk energi terbarukan seperti surya, biomassa, air, angin, dan panas bumi.
 - b. Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi: Indonesia telah mengembangkan beberapa proyek pembangkit listrik tenaga panas bumi di daerah potensial seperti Jawa Barat dan Sulawesi.
 - c. Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya: Proyek-proyek pembangkit listrik tenaga surya juga sedang dikembangkan di berbagai wilayah di Indonesia untuk memanfaatkan potensi energi surya yang melimpah.
3. Tantangan dan Peluang Pengembangan di Masa Depan
 - a. Tantangan
 - 1) Infrastruktur: Keterbatasan infrastruktur listrik dan jaringan transmisi dapat menjadi hambatan dalam pengembangan energi terbarukan di daerah terpencil.
 - 2) Kebijakan dan Regulasi: Ketidakpastian kebijakan dan regulasi dapat menghambat investasi dalam energi terbarukan di Indonesia.
 - 3) Pembiayaan: Keterbatasan akses terhadap pembiayaan dan investasi dapat menjadi tantangan dalam pengembangan proyek energi terbarukan.
 - b. Peluang
 - 1) Kemitraan Publik-Swasta: Kerjasama antara pemerintah, sektor swasta, dan lembaga keuangan dapat membuka peluang investasi dalam energi terbarukan.
 - 2) Pengembangan Teknologi: Pengembangan teknologi energi terbarukan yang inovatif dan efisien dapat meningkatkan daya saing sektor energi terbarukan di Indonesia.
 - 3) Peningkatan Kesadaran: Peningkatan kesadaran masyarakat tentang pentingnya energi terbarukan dapat membuka peluang untuk pengembangan proyek-proyek energi terbarukan yang lebih luas.

Potensi energi terbarukan yang besar di Indonesia, dukungan inisiatif pemerintah yang sedang berjalan, serta tantangan dan peluang yang dihadapi, Indonesia memiliki prospek yang cerah dalam pengembangan energi terbarukan untuk mendukung keberlanjutan energi dan mengurangi emisi karbon.



Gambar 1.3. PLTS Terapung Cirata (Indonesia): terbesar se-asia tenggara, terbesar ketiga di dunia

DAFTAR PUSTAKA

- Anoop, S., Olsen, I.S., & Pant, D. 2013. Life Cycle Assessment of Renewable Energy Sources. *Wakefield: Springer Science & Business Media.*
- Bansal, R.C., & Zobaa, A.F. (Eds.). 2021. *Handbook of renewable energy technology & systems*. World Scientific.
- Bhatia, S.C. (Ed.). 2014. *Advanced renewable energy systems, (Part 1 and 2)*. CRC Press.
- del Río, P., & Ragwitz, M. (Eds.). 2023. *Handbook on the Economics of Renewable Energy*. Edward Elgar Publishing.
- Kaltschmitt, M., Streicher, W., & Wiese, A. (Eds.). 2007. Renewable energy: technology, economics and environment. Springer Science & Business Media.
- Kumar, A, Pachauri, R. K, Mondal, A.K, Singh, V K, & Sharma, A.K (Eds.). 2024. *Clean and Renewable Energy Production*. John Wiley & Sons.
- Nelson, V.C. 2011. *Introduction to renewable energy*. CRC press.
- Pozhitkov, A., & boB. Gudgel. 2024. *Renewable Energy at Home: A Hands-on Guide to Crafting Your Own Power Plant*. Elektor.
- Pugalendhi, S., Gitanjali, J., Shalini, R., & Subramanian, P. 2024. *Handbook on Renewable Energy and Green Technology*. CRC Press.
- Ropiudin, & Syska, K. (2023). Analisis Kualitas Biobriket Karbonisasi Limbah Bambu Dengan Perekat Tepung Singkong dan Tepung Nasi Aking. *Jurnal Agritechno*, 1-12.
- Ropiudin, Carollina, T., Priswanto, P., & Syska, K (2023). Performance Analysis of Horizontal Axis Wind Turbine as a Pump Energy Source for Agricultural Irrigation using Homer Software. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 11(3), 231-243.
- Ropiudin, Romadhon, M. E, Priswanto, P., & Kuncoro, P. H. (2023). Manajemen Perencanaan Energi Listrik Kabupaten Banjarnegara Bersumber pada PLTA Mrica Menggunakan LEAP (The Low Emissions Analysis Platform). *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 11(1), 1-12.

- Stutzmann, M., & Csoklich, C. 2022. *The physics of renewable energy*. Switzerland: Springer.
- Stutzmann, M., & Csoklich, C. 2022. *The physics of renewable energy*. Switzerland: Springer.
- Zobaa, A.F., & Bansal, R.C. 2011. *Handbook of renewable energy technology*. World Scientific.

BAB 2

TEKNOLOGI BERBASIS ENERGI SURYA PV

2.1 Pengantar

Energi surya memiliki sejarah yang kaya dan potensi besar untuk menjadi pilar utama dalam sistem energi masa depan. Dengan berbagai aplikasi, manfaat lingkungan, serta perkembangan teknologi yang berkelanjutan, energi surya siap untuk memainkan peran kunci dalam mencapai kehidupan yang lebih berkelanjutan. Meskipun tantangan tetap ada, inovasi dan investasi dalam teknologi ini dapat mempercepat transisi ke sistem energi berbasis energi terbarukan.

Penggunaan energi surya bukanlah konsep baru; jejaknya dapat ditelusuri kembali ke ribuan tahun yang lalu. Pada zaman kuno, manusia telah menggunakan energi dari matahari untuk kegiatan sehari-hari. Bangsa Yunani dan Romawi kuno memanfaatkan energi matahari untuk memanaskan tempat mandi umum dan rumah mereka dengan menggunakan orientasi bangunan yang optimal terhadap sinar matahari. Selain itu, pada abad ke-7 SM, bangsa Yunani menggunakan kaca yang diatur dengan cara tertentu untuk menyalaikan api dengan memfokuskan sinar matahari.

Energi surya adalah salah satu sumber energi terbarukan yang paling melimpah di planet bumi. Matahari memancarkan sekitar 173.000 terawatts energi ke bumi setiap saat, yang jauh melebihi kebutuhan energi manusia saat ini (Lewis, 2007). Keberlanjutan energi surya menjadikannya solusi jangka panjang yang berharga untuk memenuhi kebutuhan energi global tanpa merusak lingkungan.

Teknologi energi surya dapat digunakan dalam berbagai aplikasi yang luas, mulai dari pemanasan air, penerangan, hingga pembangkit listrik skala besar. Sel surya fotovoltaik mampu mengonversi sinar matahari secara langsung menjadi listrik. Selain itu, teknologi pemusatan tenaga surya (concentrated solar power, CSP) memanfaatkan cermin atau lensa untuk mengumpulkan dan memperbesar cahaya matahari, kemudian menggunakan energi

termal yang dihasilkan untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan listrik (Tsoutsos, Frantzeskaki, & Gekas, 2005).

Penggunaan energi surya sebagai alternatif dari bahan bakar fosil memberikan berbagai manfaat lingkungan. Produksi listrik dari sumber surya menghasilkan emisi gas rumah kaca yang jauh lebih rendah, yang membantu mengurangi dampak perubahan iklim dan polusi udara. Selain itu, energi surya mengurangi ketergantungan pada sumber energi tidak terbarukan, mengurangi risiko geopolitik terkait dengan pasokan energi, dan membantu menciptakan energi yang lebih merata di berbagai wilayah dunia (Jacobson & Delucchi, 2011).

Seiring dengan kemajuan teknologi dan peningkatan skala produksi, biaya panel surya telah menurun secara signifikan dalam beberapa dekade terakhir. Menurut Kajikawa, Inoue, & Goh, (2011), harga per watt dari sel surya telah turun drastis, yang menjadikan teknologi ini semakin terjangkau dan menarik baik untuk pengguna perumahan maupun industri. Penerapan energi surya juga memberikan peluang ekonomi melalui penciptaan lapangan kerja di sektor produksi, instalasi, dan pemeliharaan sistem surya. Hal ini berkontribusi pada pembangunan ekonomi regional dan nasional.

Meskipun energi surya memiliki banyak keuntungan, beberapa tantangan teknik dan ekonomi masih perlu diatasi. Efisiensi konversi energi, penyimpanan energi yang efektif, dan pengintegrasian ke dalam jaringan listrik adalah beberapa tantangan teknis yang memerlukan inovasi lebih lanjut. Selain itu, meski harga telah menurun, biaya awal pemasangan tetap menjadi kendala bagi banyak individu dan bisnis (Hegedus & Luque, 2011).

Masa depan energi surya terlihat sangat cerah dengan banyaknya penelitian yang berfokus pada peningkatan efisiensi, pengembangan material baru seperti perovskit, dan integrasi sistem PV dengan penyimpanan energi berbasis baterai (Haegel et al., 2017). Selain itu, teknologi surya hibrid yang mengombinasikan PV dengan teknologi lain, seperti angin atau hidro, menciptakan solusi yang lebih andal dan efisien untuk penyediaan energi.

2.2 Prinsip Dasar Fotovoltaik (PV)

Fotovoltaik (PV) adalah teknologi yang mengubah sinar matahari secara langsung menjadi listrik menggunakan semikonduktor yang menunjukkan efek fotovoltaik. Efek fotovoltaik adalah proses di mana foton (partikel cahaya) yang diserap oleh material semikonduktor menghasilkan aliran listrik. Teknologi ini memanfaatkan modul PV yang terdiri dari sel-sel surya untuk mengkonversi energi matahari menjadi tenaga listrik yang dapat digunakan untuk kebutuhan berbagai aplikasi.

Komponen Sel Surya

1. Material Semikonduktor

Material semikonduktor merupakan inti dari sel surya PV. Material yang umum digunakan adalah silikon, baik dalam bentuk monokristalin maupun polikristalin. Selain silikon, material semikonduktor lainnya, seperti cadmium telluride (CdTe) dan copper indium gallium selenide (CIGS), juga digunakan dalam teknologi thin-film.

2. Lapisan Penampang

Sel surya terdiri dari dua lapisan utama material semikonduktor, biasanya tipe-p (positif) dan tipe-n (negatif):

Lapisan tipe-n: Diproduksi dengan mencampurkan (doping) silikon dengan fosfor yang memiliki elektron tambahan.

Lapisan tipe-p: Diproduksi dengan mencampurkan silikon dengan boron yang memiliki kurang elektron, menghasilkan "lubang" positif.

Gabungan dua lapisan ini membentuk persimpangan p-n yang merupakan kunci untuk menghasilkan listrik melalui efek fotovoltaik.

Proses Efek Fotovoltaik

1. Absorpsi Foton

Ketika cahaya matahari mengenai permukaan sel surya, foton dari sinar matahari diserap oleh material semikonduktor. Energi dari foton ini dipindahkan ke elektron dalam semikonduktor, memberikan cukup energi bagi elektron untuk melewati pita energi konduksi dari pita valensi.

2. Pembentukan Electron-Hole Pairs

Peningkatan energi elektron menyebabkan pelepasan dari ikatan atomnya, meninggalkan "lubang" di pita valensi. Elemen pasangan elektron-lubang ini merupakan basis untuk arus listrik dalam sirkuit eksternal.

3. Pemisahan Elektron dan Lubang

Persimpangan p-n dalam sel surya menciptakan medan listrik internal yang memisahkan elektron dan lubang, mencegah mereka untuk rekombinasi segera. Elektron mengalir ke lapisan tipe-n dan lubang ke lapisan tipe-p.

4. Pengumpulan Arus Listrik

Elektron dan lubang yang dipisahkan dikumpulkan oleh elektroda di setiap lapisan. Elektron kemudian mengalir melalui sirkuit eksternal, menghasilkan arus listrik. Aliran ini dapat digunakan untuk melakukan pekerjaan seperti menyalakan lampu atau mengisi daya baterai.

Jenis-jenis Teknologi Sel Surya PV

1. Sel Surya Monokristalin

Sel surya monokristalin terbuat dari silikon kristal tunggal yang memiliki efisiensi tinggi dan umur panjang. Sel ini biasanya dicirikan oleh sudut sel yang dipotong (sebagai bagian dari proses pembuatan) dan warnanya yang seragam.

Kelebihan:

Efisiensi tinggi (20-22%)

Umur panjang

Kekurangan:

Biaya produksi yang relatif tinggi

2. Sel Surya Polikristalin

Sel surya polikristalin dibuat dari silikon yang terdiri dari banyak kristal kecil. Mereka memiliki efisiensi yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan monokristalin tetapi lebih ekonomis untuk diproduksi.

Kelebihan:

Biaya lebih rendah dibandingkan monokristalin

Proses pembuatan lebih sederhana

Kekurangan:

Efisiensi lebih rendah (15-18%)

3. Sel Surya Thin-Film

Thin-film PV mencakup berbagai material seperti amorphous silicon, CdTe, dan CIGS. Mereka lebih fleksibel, ringan, dan dapat diaplikasikan pada permukaan yang lebih luas.

Kelebihan:

Fleksibilitas desain

Kinerja yang baik dalam kondisi cahaya rendah dan suhu tinggi

Kekurangan:

Efisiensi lebih rendah dibandingkan dengan sel silikon kristal (sekitar 10-12%)

Umur pakai lebih pendek

Efisiensi dan Faktor yang Mempengaruhi

1. Efisiensi Konversi

Efisiensi konversi sel surya adalah persentase dari energi cahaya matahari yang dapat diubah menjadi listrik. Efisiensi ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jenis material semikonduktor, kualitas produksi, dan desain sel surya.

2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Efisiensi

Spektrum Cahaya: Hanya sebagian dari spektrum cahaya matahari yang dapat diserap dan digunakan oleh sel surya.

Suhu: Efisiensi sel surya dapat menurun pada suhu tinggi.

Penempatan dan Sudut: Sudut kemiringan dan orientasi panel terhadap matahari mempengaruhi jumlah cahaya yang diterima.

Kotoran dan Bayangan: Debu, kotoran, atau bayangan pada permukaan panel dapat menurunkan efisiensi.

3. Inovasi untuk Meningkatkan Efisiensi

Penelitian terus-menerus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi sel surya, termasuk penggunaan material baru seperti perovskit, dan pengembangan teknologi tandem yang menggabungkan berbagai jenis sel untuk meningkatkan penyerapan spektrum cahaya yang lebih luas.

2.3 Teknologi dan Material PV

Teknologi fotovoltaik (PV) mengacu pada pemanfaatan semikonduktor untuk mengubah energi dari sinar matahari langsung menjadi listrik. Revolusi dalam teknologi PV melibatkan inovasi material dan peningkatan efisiensi sel surya, yang membuatnya semakin ekonomis dan dapat diandalkan sebagai sumber energi terbarukan.

Jenis-Jenis Teknologi PV

1. Sel Surya Silikon Kristalin

Silikon adalah material paling umum digunakan dalam teknologi PV karena kelimpahannya dan sifat semikonduktornya yang baik. Terdapat dua jenis utama dalam kategori ini: monokristalin dan polikristalin.

a. Sel Surya Monokristalin

Sel surya monokristalin dibuat dari silikon murni yang dikristalkan menjadi satu kristal besar. Ciri khasnya adalah tampilannya yang

*Keunggulan:

- 1) Efisiensi tinggi (20-22%)
- 2) Umur panjang

*Kekurangan:

- a. Biaya produksi yang tinggi
- b. Proses manufaktur yang kompleks

b. Sel Surya Polikristalin

Sel surya polikristalin dibuat dari silikon yang terdiri dari banyak kristal kecil yang dikristalkan bersama. Sel ini memiliki permukaan yang terlihat berbintik-bintik akibat batas kristal yang berbeda.

*Keunggulan:

- 1) Biaya lebih rendah dibandingkan monokristalin
- 2) Proses pembuatan lebih sederhana

*Kekurangan:

- 1) Efisiensi lebih rendah (15-18%)
- 2) Umur relatif lebih pendek dibandingkan monokristalin

2. Sel Surya Thin-Film

Teknologi thin-film mengurangi penggunaan material semikonduktor melalui deposisi lapisan tipis (thin-film) dari bahan aktif pada substrat seperti kaca, plastik, atau logam. Jenis ini termasuk sel surya amorphous silicon (a-Si), cadmium telluride (CdTe), dan copper indium gallium selenide (CIGS).

a. Amorphous Silicon (a-Si)

Sel a-Si dibuat dengan mengendapkan silikon amorf pada substrat, yang memberikan fleksibilitas dalam desain dan memungkinkan produksi pada skala besar.

*Keunggulan:

- 1) Relatif murah untuk diproduksi
- 2) Fleksibilitas desain

*Kekurangan:

- 1) Efisiensi lebih rendah (sekitar 10%)
- 2) Degradasi kinerja lebih cepat (efek Staebler-Wronski)

b. Cadmium Telluride (CdTe)

CdTe adalah bahan semikonduktor yang sangat efisien dalam menyerap cahaya dan digunakan dalam sel surya thin-film.

*Keunggulan:

- 1) Biaya produksi rendah
- 2) Efisiensi tinggi dibandingkan thin-film lainnya (sekitar 17-18%)

*Kekurangan:

- 1) Potensi masalah lingkungan karena penggunaan kadmium, yang beracun

c. Copper Indium Gallium Selenide (CIGS)

CIGS memiliki efisiensi tertinggi di antara teknologi thin-film lainnya dan dapat disimpan pada berbagai substrat.

*Keunggulan:

- 1) Efisiensi tinggi (18-20%)
- 2) Fleksibilitas desain

*Kekurangan:

- 1) Proses produksi yang kompleks
- 2) Relatif lebih mahal dibandingkan a-Si dan CdTe

Inovasi dalam Material dan Teknologi PV

1. Perovskite Solar Cells

Perovskit adalah kelas material inovatif yang menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan efisiensi sel surya. Perovskite memiliki struktur kristal yang unik dan dapat diproduksi dengan proses yang lebih sederhana dan murah dibandingkan dengan silikon.

*Keunggulan:

- 1) Tingkat efisiensi yang terus meningkat (saat ini efisiensi lebih dari 25%)
- 2) Proses produksi yang lebih sederhana

*Kekurangan:

- 1) Stabilitas jangka panjang belum sepenuhnya teruji
- 2) Sensitivitas terhadap kelembapan

2. *Dye-Sensitized Solar Cells* (DSSC)

DSSC menggunakan pewarna untuk menyerap sinar matahari dan menghasilkan elektron. Sel ini menawarkan fleksibilitas tinggi dalam aplikasi desain dan bisa diproduksi dengan biaya rendah.

*Keunggulan:

- 1) Biaya produksi rendah
- 2) Fleksibilitas desain

*Kekurangan:

- 1) Efisiensi lebih rendah (sekitar 10-12%)
- 2) Stabilitas jangka panjang yang rendah

3. Tandem Solar Cells

Sel surya tandem menggabungkan dua atau lebih sel surya dengan material semikonduktor yang berbeda untuk meningkatkan efisiensi konversi cahaya melalui penyerapan spektrum cahaya yang lebih luas.

*Keunggulan:

- 1) Efisiensi sangat tinggi (di atas 30%)
- 2) Potensi untuk mengeksplorasi spektrum cahaya yang lebih luas

*Kekurangan:

- 1) Kompleksitas manufaktur
- 2) Biaya produksi yang tinggi



2.4 Tantangan dan Masa Depan Teknologi PV

1. Efisiensi Konversi dan Biaya:

Meskipun efisiensi teknologi PV terus meningkat, mencapai keseimbangan yang optimal antara biaya produksi yang rendah dan efisiensi tinggi tetap menjadi tantangan utama.

2. Stabilitas dan Daya Tahan:

Beberapa teknologi material baru seperti perovskite menghadapi tantangan dalam hal stabilitas jangka panjang dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan.

3. Dampak Lingkungan:

Penggunaan bahan-bahan beracun dalam produksi sel PV (misalnya, kadmium dalam CdTe) memerlukan prosedur pengelolaan dan daur ulang yang ketat.

Masa Depan

Perkembangan dalam teknologi PV menjanjikan peningkatan efisiensi dan penurunan biaya yang berkelanjutan. Beberapa tren masa depan yang diantisipasi meliputi:

1. Lebih banyak aplikasi perovskite dan tandem solar cells:
2. Penelitian terus dilakukan untuk meningkatkan stabilitas dan efisiensi.
3. Integrasi PV ke dalam bangunan
4. Building-integrated photovoltaics (BIPV) yang tidak hanya efisien secara energi tetapi juga estetis.
5. Peningkatan penyimpanan energi
6. Integrasi dengan baterai dan solusi penyimpanan energi lainnya untuk menstabilkan pasokan energi.

2.5 Kesimpulan

Teknologi dan material dalam industri PV terus berkembang dengan cara yang luar biasa, dari silikon kristalin hingga inovasi seperti perovskite dan tandem solar cells. Setiap teknologi memiliki kelebihan dan tantangan tersendiri. Masa depan teknologi PV sangat cerah dengan potensi besar untuk mengatasi masalah energi global melalui inovasi yang terus-menerus dan peningkatan efisiensi serta penurunan biaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Chopra, K. L., Paulson, P. D., & Dutta, V. (2004). "Thin-Film Solar Cells: An Overview". **Progress in Photovoltaics: Research and Applications*
- Fraas, L. M. (2014). "Low-Cost Solar Electric Power". Springer.
- Green, M. A., & Bremner, S. P. (2017). "Energy Conversion Approaches and Materials for High-Efficiency III-V Photovoltaic Cells". **Nature Materials**, 16(1), 23-34.
- Haegel, N. M., Margolis, R., Buonassisi, T., Feldman, D., Froitzheim, A., Garabedian, B., ... & Green, M. A. (2017). "Terawatt-scale photovoltaics: Trajectories and challenges". **Science**, 356(6334), 141-143.
- Kalogirou, S. A. (2009). "Solar Energy Engineering: Processes and Systems". Academic Press.
- O'Regan, B., & Grätzel, M. (1991). "A Low-Cost, High-Efficiency Solar Cell Based on Dye-Sensitized Colloidal TiO₂ Films". **Nature**, 353, 737-740.
- Snaith, H. J. (2013). "Perovskites: The Emergence of a New Era for Low-Cost, High-Efficiency Solar Cells". **Journal of Physical Chemistry Letters**.

BAB 3

TEKNOLOGI BERBASIS ENERGI SURYA TERMAL

3.1 Pendahuluan

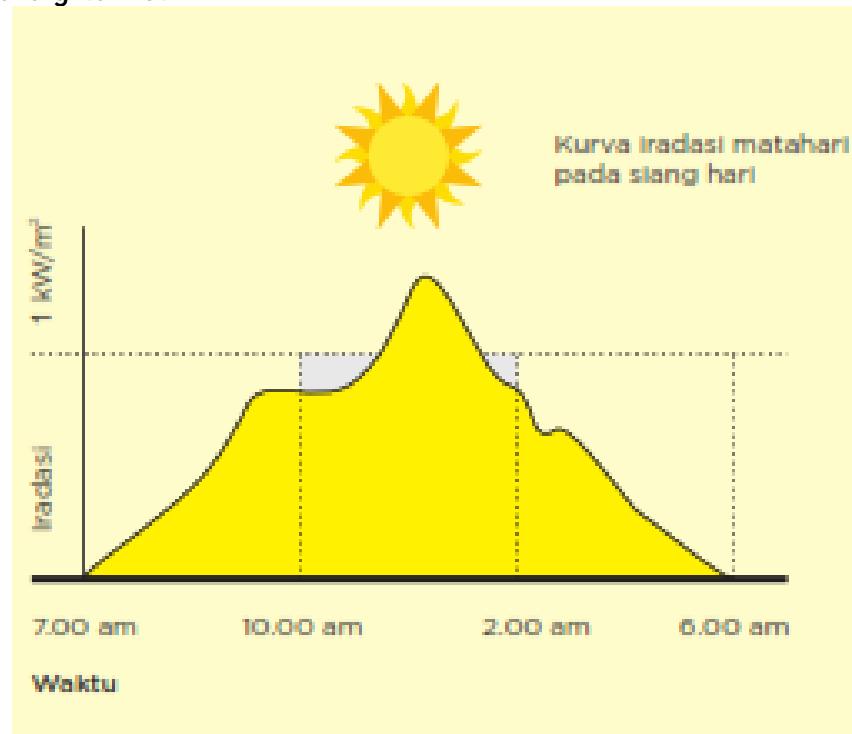
Matahari adalah sumber energi primer yang esensial dalam mendukung kehidupan. Baik tumbuhan maupun manusia memerlukan sinar matahari untuk pertumbuhan dan perkembangan mereka. Energi dari matahari, yang terdiri dari irradiasi, bisa digunakan sebagai sumber energi terbarukan atau non-konvensional.

Energi surya yang sampai ke bumi berbentuk radiasi elektromagnetik, serupa dengan gelombang radio tetapi berfrekuensi berbeda. Radiasi ini diukur berdasarkan kepadatan dayanya pada permukaan yang menerima dan disebut radiasi surya. Di luar atmosfer bumi, radiasi surya memiliki nilai rata-rata sebesar 1.353 W/m^2 , yang dikenal sebagai konstanta surya. Energi total yang mencapai permukaan bumi adalah konstanta surya dikurangi oleh radiasi yang terserap dan terpantul oleh atmosfer, dikenal sebagai radiasi surya global (Sitompul, 2011).

Radiasi surya global terdiri dari radiasi langsung dari matahari dan radiasi tersebar yang dipancarkan oleh gas, molekul gas, debu, dan uap air di atmosfer. Intensitas radiasi surya meningkat dari pagi hingga puncaknya di tengah hari, mencapai sekitar 1 kW/m^2 , dan kemudian menurun hingga sore hari. Indonesia, yang terletak di khatulistiwa, menikmati sumber energi surya yang melimpah dengan intensitas rata-rata sekitar $4,8 \text{ kWh/m}^2$ per hari (Anhar dkk, 2017). Indonesia memiliki waktu sinar matahari rata-rata 8,2 jam per hari dengan suhu udara rata-rata 28°C (Dwicaksono dan Rangkuti, 2017).

Energi surya dapat dikonversi langsung menjadi bentuk energi lain melalui tiga proses: heliochemical, helioelectrical, dan heliothermal. Proses heliochemical utamanya adalah fotosintesis, yang merupakan sumber dari semua bahan bakar fosil. Proses helioelectrical melibatkan produksi listrik melalui sel surya,

sedangkan proses heliothermal mengubah radiasi surya menjadi energi termal.



Gambar 3.1. Periode Puncak Iradasi Matahari (Tim Contained Energi Indonesia, 2010)

Keuntungan dan kerugian dari energi surya dijelaskan dalam Tabel 3.1:

Tabel 3.1. Keuntungan dan Kerugian Energi Surya

Keuntungan	Kerugian
<ol style="list-style-type: none">1. Tersedia secara bebas dan tanpa biaya dari alam.2. Bersahabat dengan lingkungan dan tidak menimbulkan kebisingan.3. Independen dari kebutuhan bahan bakar fosil seperti minyak, gas, dan batubara.4. Menawarkan peluang pasar	<ol style="list-style-type: none">1. Memerlukan wilayah yang luas untuk maksimalisasi penangkapan radiasi matahari.2. Memiliki biaya investasi awal yang signifikan, terutama untuk sistem fotovoltaik (PV).3. Efisiensi dari peralatan pemanfaatan energi surya

Keuntungan	Kerugian
<p>yang baik di industri alat dan mesin pertanian yang menggunakan energi matahari.</p> <p>5. Cocok untuk penggunaan di lokasi terisolasi seperti daerah pegunungan dan pantai.</p> <p>6. Tidak membutuhkan biaya operasional.</p> <p>7. Proses instalasi yang sederhana.</p> <p>8. Alat untuk memanfaatkan panas radiasi matahari (surya termal) dapat dibuat dengan mudah sesuai kebutuhan yang fleksibel dan praktis.</p> <p>9. Energi listrik hasil konversi energi matahari dapat disimpan dalam baterai untuk digunakan di malam hari atau saat cuaca mendung.</p>	<p>masih tergolong rendah.</p> <p>4. Perlu komponen ekstra untuk penyimpanan energi surya, yang meningkatkan biaya investasi awal karena tidak dapat beroperasi saat tidak ada matahari atau di malam hari.</p> <p>5. Beroperasi secara tidak konsisten atau terputus-putus, bergantung pada kondisi cuaca.</p>

3.2 Surya Termal

Panas yang diperoleh dari radiasi matahari dapat dimanfaatkan menggunakan alat yang disebut kolektor surya. Kolektor ini menangkap radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energi panas, yang bisa digunakan untuk langsung atau tidak langsung memanaskan air atau udara. Beberapa kegunaan dari energi termal ini termasuk pemanas air (*water heater*), pengering hasil pertanian (*solar dryer*), alat untuk distilasi atau desalinasi (*solar still*), dan alat memasak (*solar cooker*).

Untuk memaksimalkan penggunaan energi matahari, telah dikembangkan dua teknologi utama, yaitu energi surya termal dan energi surya fotovoltaik. Energi surya termal biasa digunakan untuk kegiatan memasak, mengeringkan hasil pertanian dari berbagai sektor seperti perkebunan, perikanan, dan kehutanan, serta untuk memanaskan air.

Energi termal surya, juga dikenal sebagai *solar thermal energy* (STE), merupakan teknologi dan bentuk energi yang menggunakan panas dari matahari untuk keperluan pemanasan atau produksi listrik dalam sektor industri, residensial, dan komersial. Teknologi STE ini berbeda dari panel surya fotovoltaik, yang mengkonversi energi foton dari radiasi matahari langsung menjadi listrik melalui tegangan dan arus.

Menurut Administrasi Informasi Energi Amerika Serikat, kolektor panas surya dibagi menjadi tiga kategori: suhu rendah, menengah, dan tinggi. Kolektor suhu rendah biasanya adalah panel datar yang digunakan untuk memanaskan kolam renang. Kolektor suhu menengah, juga berupa panel datar, dipakai untuk memanaskan air atau udara dalam aplikasi perumahan dan komersial. Di sisi lain, kolektor suhu tinggi menggunakan cermin atau lensa untuk fokuskan sinar matahari dan biasanya diaplikasikan dalam industri untuk menghasilkan panas sampai 300 °C dan tekanan 20 bar, serta untuk produksi listrik.

Solar Thermal Energy (STE) menawarkan keuntungan ekonomis atas sistem fotovoltaik berkat teknologi Penyimpanan Energi Termal/*Thermal Energy Storage* (TES). TES memungkinkan penyimpanan sementara energi panas berlebih dalam bentuk cairan, seperti air atau garam cair, yang kemudian dapat digunakan saat sinar matahari tidak memadai. Kelebihan ini memastikan produksi energi lebih stabil, bahkan saat awan menghalangi matahari dan mengurangi pantulan panas dari cermin. Selain itu, TES dapat meningkatkan durasi operasi pabrik secara penuh. Namun, teknologi TES tidak kompatibel dengan sistem fotovoltaik karena tidak terlibat dalam produksi energi dari panas matahari.

Penyimpanan energi memungkinkan untuk mengakumulasi energi selama periode permintaan listrik yang rendah dan mengalirkannya ketika permintaan tinggi, sehingga meningkatkan

nilai ekonomi dari kWh yang terjual. Ini dapat membantu menutupi biaya penyimpanan energi. Dengan kemampuan menyimpan energi, STE bisa dianggap sebagai kapasitas tetap, yang sangat berharga dalam sistem jaringan listrik karena dapat mengatur waktu penghasilan daya listrik mereka.

Kolektor energi panas matahari bersuhu tinggi, yang juga disebut sebagai sistem tenaga surya terkonsentrasi, *Concentrated Solar Power plant* (CSP), memanfaatkan teknologi yang menggunakan cermin dan lensa untuk fokuskan panas matahari. Energi panas ini digunakan untuk memanaskan minyak atau cairan lain, menghasilkan uap bertekanan tinggi dan bersuhu tinggi. Uap tersebut kemudian menggerakkan turbin yang memutar generator untuk menghasilkan listrik.

Karena sistem ini mengandalkan mesin panas (*heat engine*), salah satu tantangan utamanya adalah batasan efisiensi dan kehilangan energi melalui proses Carnot yang terjadi akibat radiasi panas. Di samping itu, kondensor dalam siklus uap Rankine harus mampu mendinginkan cairan. Jika sistem tidak dapat mendinginkan cairan hingga mencapai suhu rendah yang diharapkan, maka efisiensi Carnot akan menurun.

Selain itu, sepanjang hari matahari bergerak melintasi langit. Mengingat ukuran besar sistem ini dan kemampuannya untuk menangkap banyak energi, sistem dilengkapi dengan pelacak surya yang mengikuti arah matahari. Hal ini bertujuan untuk memaksimalkan durasi waktu sistem menghasilkan listrik.

3.3 Aplikasi Teknologi Berbasis Energi Surya Termal

3.3.1 Kompor Surya

Kompor surya adalah perangkat memasak yang beroperasi berdasarkan energi termal, digunakan untuk mengolah makanan. Panas untuk memasak diperoleh melalui bahan reflektif yang meningkatkan suhu kompor akibat penyerapan irradiasi dari matahari. Biasanya, kompor ini digunakan untuk merebus air, dan dalam penggunaannya, panas matahari yang terkumpul secara langsung oleh kompor tidak akan melebihi 100°C. Efisiensi pemanasan dan efektivitas penggunaan panas dapat ditingkatkan dengan memilih

material pengumpul yang memiliki konduktivitas tinggi, yang memungkinkan penyerapan dan transmisi panas yang efisien.

Marwani (2011) menggambarkan bahwa ketika radiasi matahari mengenai permukaan kolektor, ini menghasilkan peningkatan suhu. Ada tiga jenis bentuk permukaan kolektor: datar, parabolik silindris, dan parabolik bulat. Kompor surya bekerja dengan memanfaatkan radiasi termal yang mengenai kolektor, yang kemudian dipantulkan ke titik api. Suhu menjadi sangat tinggi di titik api ini. Panci, yang digunakan sebagai media memasak, harus ditempatkan tepat di titik api agar energi termal yang terfokus dapat mengenai dasar panci, memfasilitasi transfer panas ke panci dan memasak makanan di dalamnya. Marwani (2011) juga mencatat beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja kompor surya, yaitu:

1. Durasi penyinaran pada kompor;
2. Intensitas radiasi termal matahari;
3. Reflektivitas material kolektor;
4. Luas permukaan kolektor;
5. Bentuk geometris dan posisi titik api pada kolektor;
6. Orientasi permukaan kolektor relatif terhadap sinar matahari yang masuk;
7. Karakteristik menyerap panas dari panci atau alat memasak;
8. Besar kehilangan energi kalor ke lingkungan.

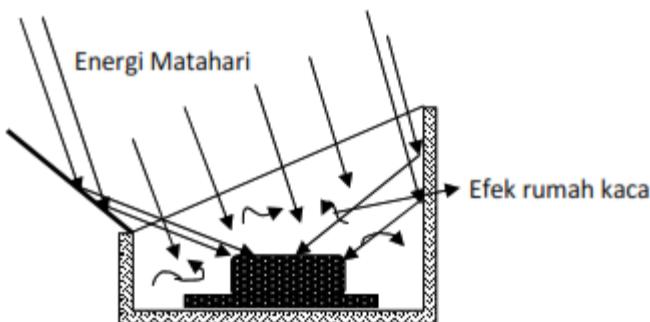
1. Prinsip Kerja Kompor Surya

Prinsip kerja dasar dari kompor surya adalah meningkatkan suhu untuk proses pemanasan, memurnikan air, dan berfungsi sebagai oven untuk mengolah pangan. Hal ini tercapai melalui pantulan radiasi matahari yang masuk ke dalam kompor. Di bagian atas kompor, terdapat kaca yang berfungsi untuk mengisolasi panas, menciptakan efek rumah kaca yang kemudian panasnya diserap oleh absorber di kompor. Absorber ini biasanya terdiri dari plat dan wajan berwarna hitam yang dapat menyerap panas secara efisien. Suhu dalam kompor akan terus meningkat sejalan dengan intensitas sinar matahari yang diterima.

Menurut Muin dkk (2017), prinsip-prinsip pemanasan pada kompor surya meliputi:

- a. Pemanfaatan panas (*Heat gain*);

- b. Kehilangan panas (*Heat loss*);
- c. Penyimpanan panas (*Heat storage*).



Gambar 3.2. Prinsip Dasar Kompor Surya (Muin dkk, 2011)

Dalam operasi kompor surya, ada beberapa prinsip yang digunakan untuk memanfaatkan energi dari radiasi matahari sebagai sumber energi. Berikut adalah beberapa prinsip dasar dalam memperoleh energi untuk kompor surya:

a. Refleksivitas (Pemantulan)

Prinsip pemantulan ini diwujudkan melalui penggunaan reflektor yang berfungsi untuk memfokuskan panas pada titik api, yaitu area tempat piring diletakkan. Reflektor bisa berupa cermin, foil aluminium, atau lensa yang mampu memantulkan radiasi matahari dan memusatkan panas, sehingga meningkatkan suhu pada kompor.

b. Absorbsivitas (Penyerapan)

Absorbsivitas adalah proses penyerapan yang dilakukan oleh bahan-bahan berwarna hitam untuk meningkatkan efektivitas konversi cahaya menjadi panas. Bahan absorber memainkan peran penting dalam menangkap lebih banyak panas yang kemudian digunakan dalam proses memasak.

c. Memerangkap Panas

Proses ini melibatkan penangkapan atau isolasi panas di dalam kompor untuk meningkatkan suhu di dalamnya. Hal ini penting untuk memastikan bahwa radiasi yang masuk tidak terlepas ke lingkungan sekitar. Penggunaan material isolasi seperti kaca

transparan atau plat plastik bening adalah krusial untuk menjaga suhu kompor tetap tinggi selama proses pemanasan.

2. *Tipe Kompor Surya*

Berikut ini adalah beberapa tipe kompor surya:

a. Kompor Surya Tipe Kotak/Oven Surya

Menurut Sitompul (2011) dalam sebuah modul pelatihan energi terbarukan, kompor surya tipe kotak, atau sering juga disebut oven surya, memiliki desain berbentuk kotak yang kedap udara. Interior kompor ini didesain gelap dengan sebuah penutup di bagian atas yang terbuat dari kaca atau cermin, berfungsi untuk menangkap dan menjebak panas matahari di dalam ruangan kompor. Prinsip kerjanya mirip dengan kolektor surya pelat datar.

Dalam penggunaannya, kompor surya tipe kotak memanfaatkan dua jenis sinar: radiasi langsung dan radiasi baur. Radiasi langsung difokuskan langsung ke objek yang akan dipanaskan, seperti panci, sedangkan radiasi baur adalah sinar yang sampai ke objek secara tidak langsung, biasanya melalui pantulan dari reflektor (Muin dkk, 2017).



Gambar 3.3. Kompor Surya Tipe Kotak (Sitompul, 2011)

b. Kompor Surya Tipe Parabola

Prinsip pengoperasian kompor surya tipe parabola mirip dengan kolektor parabola atau konsentrator. Kompor ini menggunakan serangkaian cermin yang disusun secara parabolik dan memiliki tempat untuk panci yang diletakkan di

titik fokus parabola, yang juga dikenal sebagai penerima atau receiver. Kompor parabola sering digunakan untuk keperluan berskala besar karena kemampuannya memfokuskan sinar matahari langsung ke panci, mempercepat proses memasak dengan suhu yang lebih tinggi (Sitompul, 2011).

Menurut (Amri, dkk, 2020) sinar radiasi langsung pada kompor tipe parabola difokuskan langsung ke panci, membuat kompor ini sangat efisien. Namun, penggunaannya membutuhkan perhatian khusus agar sinar matahari terus terfokus pada panci, mengoptimalkan hasil masakan.



Gambar 3.4. Kompor Surya Tipe Parabola (Sitompul, 2011)

3.3.2 Kolektor Surya

Kolektor surya secara umum adalah perangkat penukar panas yang berperan dalam menangkap iradiasi dari matahari dan mengubahnya menjadi energi termal yang bermanfaat melalui medium fluida kerja (Nasution, 2018). Komponen utama dari kolektor surya meliputi:

1. Cover, yang berfungsi mengurangi kehilangan panas melalui konveksi ke lingkungan sekitar.
2. Absorber, yang bertugas menyerap panas dari radiasi sinar matahari.
3. Kanal (pipa tabung), berfungsi untuk mengalirkan fluida kerja.

4. Isolator, berperan untuk membatasi kehilangan panas dari absorber ke lingkungan melalui konduksi.
 5. Kerangka, berfungsi sebagai struktur pendukung dan penahan beban kolektor.
- 1) Prinsip Kerja Kolektor Surya

Prinsip kerja kolektor surya terutama berdasarkan pada penangkapan dan konversi energi radiasi matahari menjadi energi panas. Berikut ini adalah langkah-langkah dasar dalam fungsi kolektor surya:

- a. Penyerapan Radiasi Matahari: Permukaan kolektor, yang biasanya dilapisi dengan bahan yang memiliki tingkat penyerapan tinggi (seperti cat hitam), menyerap radiasi matahari. Permukaan ini sering disebut sebagai absorber.
- b. Konversi Energi: Energi yang diserap oleh absorber berubah menjadi panas.
- c. Transmisi Panas: Panas ini kemudian ditransfer ke fluida kerja yang berada di dalam kolektor. Fluida ini bisa berupa air atau larutan antifreeze dalam sistem pemanas air, atau udara dalam sistem pemanas udara.
- d. Isolasi: Untuk memaksimalkan efisiensi, kolektor biasanya dilengkapi dengan isolasi di bagian belakang dan sisi-sisinya. Hal ini mengurangi kehilangan panas ke lingkungan.
- e. Penggunaan Panas: Panas yang ditransfer ke fluida kerja kemudian digunakan langsung (seperti dalam pemanasan ruangan atau air) atau disimpan dalam sistem penyimpanan panas untuk penggunaan di kemudian hari.

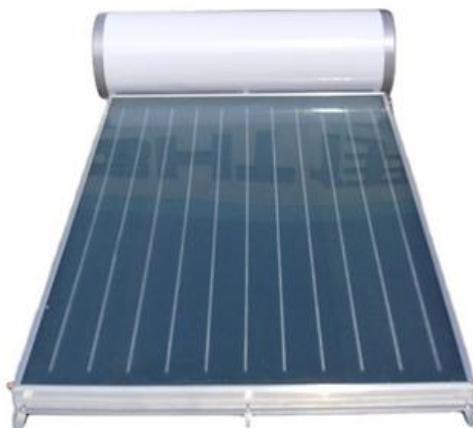
Kolektor surya bisa dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan cara mereka mengumpulkan dan mengkonversi energi, seperti kolektor pelat datar, kolektor tabung vakum, dan kolektor parabolik atau konsentrator yang mampu memfokuskan sinar matahari ke sebuah titik untuk menghasilkan suhu yang lebih tinggi. Setiap jenis memiliki karakteristik desain yang memungkinkan efisiensi energi dan aplikasi yang berbeda tergantung kebutuhan spesifik.

2) Tipe Kolektor Surya

Berdasarkan ukuran dan bentuk dari absorber, kolektor surya dapat dikategorikan menjadi tiga tipe, yaitu:

a. Kolektor Surya Pelat Datar (*Flat-Plate Collector*)

Tipe ini ideal untuk aplikasi yang memerlukan energi termal pada suhu di bawah 100°C. Ciri khas dari tipe ini adalah absorber yang berbentuk pelat datar, terbuat dari bahan dengan konduktivitas termal yang tinggi dan dicat hitam, seperti yang digambarkan pada Gambar 3.5 Kolektor pelat datar efektif menangkap radiasi matahari langsung dan tersebar (beam dan diffuse), tidak memerlukan sistem pelacak matahari, dan membutuhkan perawatan yang minimal. Aplikasi umum dari kolektor tipe pelat datar termasuk pemanas air, pemanas ruangan, pendinginan udara, dan pemanasan dalam proses industri. Komponen pendukung dalam kolektor pelat datar termasuk penutup transparan (kaca), absorber (aluminium), insulasi, dan kerangka.



Gambar 3.5. Kolektor Surya Plat Datar (id.chinagomon.com)

b. Kolektor Surya Konsentrator (*Concentrating Solar Collectors/Compound Parabolic Collector*)

Tipe ini cocok untuk aplikasi yang memerlukan energi panas pada suhu antara 100° hingga 400°C. Kolektor surya jenis ini memiliki kemampuan untuk memfokuskan radiasi cahaya matahari ke sebuah receiver, yang meningkatkan jumlah energi

panas yang diserap oleh absorber. Kolektor ini dibedakan dengan komponen konsentratornya yang terbuat dari bahan dengan tingkat transmisivitas yang tinggi. Untuk memastikan cahaya matahari terus menerus difokuskan pada tabung absorber, konsentrator perlu dirotasi, proses yang dikenal sebagai tracking. Temperatur fluida yang melebihi 400°C dapat dicapai dengan sistem kolektor ini. Secara umum, bentuk kolektor surya tipe parabola terlihat seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Kolektor Surya Konsentrator (alibaba.com)

c. Kolektor Tabung Vakum (*Evacuated Tube Collectors*)

Tipe ini dirancang untuk menghasilkan energi panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan tipe kolektor surya lainnya. Keunggulannya terletak pada efisiensi transfer panas yang tinggi dan rendahnya tingkat kehilangan panas. Ini dicapai karena fluida kerja yang berada di antara absorber dan penutupnya berada dalam kondisi vakum, yang efektif meminimalisir kehilangan panas melalui konveksi dari permukaan luar absorber ke lingkungan sekitar.



Gambar 3.7. Kolektor Tabung Vakum (id.chinagomon.com)

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, A.A, Nuruddin, M., Rachmanita, R. E 2020. Uji Performa Kompor Surya Tipe Parabola Silinder Menggunakan Reflektor Cermin dengan Variasi Bahan Absorber. Jurnal Energi dan Manufaktur Vol. 13 No. 1, April 2020 (8-14). Universitas Udayana.
- Anhar, A.S., Sara, D.S., dan Siregar, H.D. 2017. Desain Prototype Sel Surya Terkonsentrasi Menggunakan Lensa Fresnel. Jurnal Online Teknik Elektro Vol.2 No.3. Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh.
- Dwicaksono, M.B., dan Rangguti, C. 2017. Perancangan, Pembuatan, Dan Pengujian Kompor Energi Matahari Portabel Tipe Parabola Kipas. Seminar Nasional Cendekiawan Ke 3. Universitas Trisakti. Jakarta.
- Marwani. 2011. Potensi Penggunaan Kompor Energi Surya Untuk Kebutuhan Rumah Tangga. Prosiding Seminar Nasional Avoer Ke-3. Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Muin, A, Veranika, R.M., dan Badil, I. 2017. Perancangan Kompor Surya Serbaguna dengan Susunan Absorber Yang Berfariasi. Jurnal Desiminasi Teknologi. Universitas Tridinanti. Palembang.
- Nasution, Muslih. 2018. Perancangan Kolektor Surya Pemanas Air Untuk Kebutuhan Rumah Tangga Dengan Kapasitas 600 L/Jam. Penerbit : Teknik Mesin, Universitas Islam Sumatera Utara.
- Sitompul, Rislima. 2011. Teknologi Energi Terbarukan Yang Tepat Untuk Aplikasi Di Masyarakat Pedesaan. Pnpm Support Facility (PSF). Jakarta.

BAB 4

TEKNOLOGI BERBASIS ENERGI BIOMASSA

4.1 Pendahuluan

Kebutuhan energi di Indonesia masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil yang terbatas, sehingga mulai berpaling kepada energi terbarukan. Di Indonesia, penerapan energi terbarukan secara masif masih didominasi oleh Solar Photovoltaic (PV), sedangkan energi terbarukan lainnya seperti energi angin dan biomassa masih sangat minim.

Energi biomassa adalah salah satu bentuk energi terbarukan yang diperoleh dari bahan organik. Teknologi berbasis energi biomassa memanfaatkan bahan-bahan seperti kayu, limbah pertanian, kotoran hewan, dan tanaman energi untuk menghasilkan energi. Ada berbagai metode dan teknologi yang digunakan untuk mengonversi biomassa menjadi energi yang dapat digunakan, seperti listrik, panas, atau bahan bakar cair. Berikut adalah beberapa teknologi utama berbasis energi biomassa:

1. Pembakaran Langsung (*Direct Combustion*)

Pembakaran langsung adalah cara paling umum untuk menghasilkan energi dari biomassa. Bahan biomassa dibakar untuk menghasilkan panas, yang kemudian dapat digunakan untuk memanaskan air dan menghasilkan uap. Uap ini bisa menggerakkan turbin untuk menghasilkan listrik. Contoh dari teknologi ini adalah boiler industri dan pembangkit listrik tenaga uap berbasis biomassa.

Pembakaran langsung (*direct combustion*) adalah metode yang paling umum digunakan dalam konversi energi biomassa menjadi energi yang dapat digunakan, seperti listrik dan panas. Proses ini melibatkan pembakaran biomassa secara langsung untuk menghasilkan panas.

Bahan baku biomassa seperti kayu, sisa tanaman, limbah pertanian, dan limbah kayu dikumpulkan dari berbagai sumber. Bahan baku ini kemudian diolah untuk menghilangkan

kelembaban berlebih dan diubah menjadi bentuk yang lebih mudah ditangani, seperti pelet atau briket, untuk meningkatkan efisiensi pembakaran.

Pada proses pembakaran dalam Boiler, Biomassa dibakar dalam boiler untuk menghasilkan panas. Panas ini digunakan untuk memanaskan air hingga berubah menjadi uap. Penggunaan Uap, uap yang dihasilkan kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin yang terhubung dengan generator listrik, menghasilkan listrik.

Keuntungan Pembakaran Langsung adalah: Sederhana dan Teruji, proses pembakaran langsung relatif sederhana dan sudah digunakan secara luas di banyak negara, teknologi ini telah terbukti efektif dan andal selama bertahun-tahun; Efisiensi Energi, dengan teknologi boiler modern, efisiensi energi dapat ditingkatkan, mengurangi kehilangan energi selama proses pembakaran; dan Diversifikasi Sumber Energi, membantu diversifikasi sumber energi dengan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

Kemudian, pada tantangan pembakaran langsung: Emisi dan Polusi Udara, meskipun ada teknologi kontrol polusi, pembakaran biomassa masih dapat menghasilkan emisi partikulat dan gas berbahaya yang perlu dikelola dengan baik. Ketersediaan dan Kualitas Bahan Baku, ketersediaan biomassa yang berkelanjutan dan kualitas bahan baku sangat penting untuk menjaga efisiensi dan keberlanjutan operasi. Efisiensi Energi, meskipun efisiensi telah meningkat, pembakaran langsung masih kurang efisien dibandingkan beberapa metode konversi energi biomassa lainnya, seperti gasifikasi dan pirolisis.

Pembakaran Langsung dapat diaplikasikan pada: Pembangkit Listrik, banyak pembangkit listrik skala kecil hingga menengah menggunakan pembakaran biomassa untuk menghasilkan listrik. Pemanas Rumah Tangga, di beberapa negara, pembakaran langsung digunakan dalam pemanas rumah tangga, seperti tungku pellet; dan Industri seperti pabrik kertas dan pabrik gula sering menggunakan limbah biomassa mereka sendiri untuk memenuhi kebutuhan energi internal.

2. Gasifikasi (*Gasification*)

Gasifikasi adalah proses di mana biomassa dipanaskan pada suhu tinggi dengan kontrol oksigen yang terbatas, menghasilkan gas sintesis atau "syngas". Syngas ini dapat digunakan untuk menghasilkan listrik, panas, atau sebagai bahan bakar dalam mesin pembakaran internal.

Gasifikasi adalah proses konversi biomassa menjadi gas sintesis atau "syngas" melalui pemanasan bahan organik dalam kondisi kurang oksigen. Syngas ini terutama terdiri dari karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂), dan sedikit metana (CH₄). Syngas dapat digunakan untuk berbagai aplikasi energi, termasuk produksi listrik, panas, dan bahan bakar cair.

Proses Gasifikasi terdiri dari Pengumpulan dan Pengolahan Bahan Baku, Biomassa seperti kayu, limbah pertanian, dan limbah organik lainnya dikumpulkan dari berbagai sumber. Bahan baku ini diolah untuk mencapai ukuran dan kadar kelembaban yang sesuai agar proses gasifikasi lebih efisien.

Tahapan Gasifikasi adalah: Pengeringan (*Drying*), Biomassa dipanaskan untuk menguapkan kelembaban yang tersisa; Pirolisis (*Pyrolysis*), pada tahap ini, biomassa terdekomposisi menjadi tar, gas yang mudah terbakar, dan arang padat (*biochar*); Oksidasi (*Oxidation*), sebagian kecil udara atau oksigen ditambahkan untuk membakar sebagian dari tar dan gas yang mudah terbakar, menghasilkan panas yang diperlukan untuk gasifikasi; dan Reduksi (*Reduction*), reaksi kimia antara arang, CO₂, dan H₂O menghasilkan syngas.

Keuntungan Gasifikasi dapat dilihat dari: Efisiensi Energi, gasifikasi lebih efisien dibandingkan pembakaran langsung karena menghasilkan syngas yang bisa digunakan lebih fleksibel dalam berbagai aplikasi energi; Produksi Syngas, syngas dapat dibakar langsung untuk menghasilkan listrik dan panas, atau diolah lebih lanjut menjadi bahan bakar cair seperti metanol atau diesel sintetis; dan Pengurangan Emisi, dibandingkan dengan pembakaran langsung, gasifikasi dapat menghasilkan emisi yang lebih rendah, terutama jika syngas dibersihkan sebelum digunakan.

Pada saat ini, tantangan Gasifikasi meliputi: Teknologi dan Investasi, gasifikasi memerlukan investasi awal yang tinggi dan teknologi yang lebih kompleks dibandingkan pembakaran langsung; Pengelolaan Tar dan Kontaminan, proses gasifikasi menghasilkan tar dan kontaminan yang harus dikelola dengan baik untuk mencegah kerusakan peralatan dan polusi lingkungan; dan Ketersediaan Bahan Baku, seperti halnya semua teknologi berbasis biomassa, gasifikasi memerlukan pasokan biomassa yang berkelanjutan.

Kemudian, aplikasi Gasifikasi dapat diterapkan pada: Pembangkit Listrik, syngas digunakan untuk menggerakkan turbin gas atau mesin pembakaran internal yang menghasilkan Listrik; Kogenerasi (*Combined Heat and Power - CHP*), proses gasifikasi dapat digunakan untuk menghasilkan listrik dan panas secara bersamaan, meningkatkan efisiensi energi total; dan Produksi Bahan Bakar Sintetis, syngas dapat diubah menjadi bahan bakar cair seperti metanol, dimetil eter (DME), atau diesel sintetis melalui proses kimia seperti sintesis Fischer-Tropsch.

3. Pirolisis (*Pyrolysis*)

Pirolisis adalah pemanasan biomassa dalam kondisi tanpa oksigen untuk menghasilkan produk yang lebih stabil seperti bio-oil, biochar, dan gas pirolisis. Bio-oil dapat digunakan sebagai bahan bakar atau bahan baku kimia, sementara biochar dapat digunakan sebagai pupuk tanah yang meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi emisi karbon.

Pirolisis adalah proses konversi biomassa menjadi produk yang lebih stabil dan berguna melalui pemanasan dalam kondisi tanpa oksigen (atau sangat sedikit oksigen). Proses ini menghasilkan tiga produk utama: bio-oil, biochar, dan gas pirolisis. Berikut penjelasan rinci mengenai pirolisis dalam konteks energi biomassa:

Proses Pirolisis terdiri atas: Pengumpulan dan Pengolahan Bahan Baku, Biomassa seperti kayu, residu tanaman, limbah pertanian, dan limbah organik lainnya dikumpulkan dari berbagai sumber dan bahan baku ini diolah untuk mencapai ukuran dan kadar kelembaban yang sesuai agar proses pirolisis lebih efisien;

Tahapan Pirolisis, Biomassa dipanaskan dalam kondisi anaerob (tanpa oksigen) pada suhu yang bervariasi antara 300°C hingga 700°C, tergantung pada jenis pirolisis yang digunakan (lambat, cepat, atau flash); dan Degradasi Termal, pada suhu tinggi, molekul kompleks dalam biomassa terurai menjadi molekul yang lebih sederhana, menghasilkan bio-oil, biochar, dan gas pirolisis.

Terdapat banyak contoh Produk Pirolisis, seperti: Bio-Oil, cairan kental yang mengandung berbagai senyawa organik. Bio-oil dapat digunakan sebagai bahan bakar langsung, bahan baku untuk kimia, atau diproses lebih lanjut menjadi bahan bakar cair berkualitas tinggi; Biochar, arang padat yang kaya karbon. Biochar dapat digunakan sebagai bahan bakar padat, bahan peningkat kesuburan tanah (*soil amendment*), atau sebagai penyerap polutan dalam pengolahan air; dan Gas Pirolisis, gas yang terdiri dari hidrogen, karbon monoksida, metana, dan senyawa volatil lainnya. Gas ini dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan panas dan listrik, atau sebagai bahan baku untuk sintesis kimia.

Kemudian, jenis Pirolisis terbagi atas

- a. Pirolisis Lambat (*Slow Pyrolysis*):
 - 1) Suhu: 400°C - 500°C
 - 2) Waktu: Beberapa menit hingga beberapa jam
 - 3) Produk Utama: Biochar
 - 4) Aplikasi: Produksi biochar untuk pertanian dan penyimpanan karbon.
- b. Pirolisis Cepat (*Fast Pyrolysis*):
 - 1) Suhu: 500°C - 700°C
 - 2) Waktu: Sekitar 1-2 detik
 - 3) Produk Utama: Bio-oil
 - 4) Aplikasi: Produksi bio-oil sebagai bahan bakar cair dan bahan kimia.
- c. Pirolisis Flash (*Flash Pyrolysis*):
 - 1) Suhu: Di atas 700°C
 - 2) Waktu: Kurang dari 1 detik
 - 3) Produk Utama: Gas pirolisis
 - 4) Aplikasi: Produksi gas yang dapat digunakan untuk energi atau bahan baku kimia.

Keuntungan Pirolisis adalah: Efisiensi Energi, proses pirolisis dapat mengonversi biomassa menjadi produk yang lebih mudah disimpan dan ditransportasikan dengan efisiensi tinggi; Pengurangan Limbah, Pirolisis membantu mengurangi limbah biomassa dengan mengubahnya menjadi produk bernilai tambah; Penyerapan Karbon, Biochar yang dihasilkan dapat menyerap karbon dioksida dari atmosfer, berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim.

Tantangan Pirolisis dapat dilihat pada beberapa hal: Kualitas dan Stabilitas Produk, kualitas bio-oil sering bervariasi dan mungkin memerlukan pemrosesan lebih lanjut untuk aplikasi tertentu; Pengelolaan Gas dan Emisi, pengolahan gas pirolisis dan kontrol emisi memerlukan teknologi tambahan untuk memastikan proses yang bersih dan efisien; dan Skalabilitas, meskipun pirolisis efektif pada skala kecil hingga menengah, pengembangan teknologi untuk skala industri besar masih menjadi tantangan.

Aplikasi Pirolisis dapat diterapkan pada: Energi dan Bahan Bakar, Bio-oil dan gas pirolisis dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan untuk pembangkit listrik dan pemanas; Pertanian, Biochar digunakan untuk meningkatkan kesuburan tanah dan retensi air, serta sebagai alat mitigasi perubahan iklim; dan Pengolahan Limbah, pirolisis diterapkan dalam pengolahan limbah untuk mengurangi volume dan menghasilkan produk yang berguna.

4. Fermentasi (*Fermentation*)

Fermentasi adalah proses di mana mikroorganisme mengubah bahan organik menjadi etanol atau biogas. Contoh umum adalah produksi bioetanol dari tanaman seperti jagung atau tebu, dan produksi biogas dari limbah organik menggunakan anaerobic digester.

Fermentasi adalah salah satu metode konversi biomassa menjadi energi yang melibatkan mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik menjadi produk yang lebih sederhana, seperti etanol, biogas, dan hidrogen. Proses fermentasi dapat digunakan untuk mengubah berbagai jenis

bahan biomassa, termasuk tanaman, limbah pertanian, dan limbah organik, menjadi bahan bakar yang dapat digunakan. Berikut adalah penjelasan rinci mengenai fermentasi dalam konteks energi biomassa:

Proses Fermentasi terdiri atas: Pengumpulan dan Pengolahan Bahan Baku, bahan baku biomassa seperti tanaman penghasil gula (tebu, jagung), limbah pertanian, dan limbah organik dari rumah tangga dan industri dikumpulkan, dan bahan baku ini diolah untuk memecah selulosa menjadi gula sederhana yang dapat diperlakukan oleh mikroorganisme. Proses ini melibatkan hidrolisis enzimatik atau asam; Fermentasi, Mikroorganisme seperti ragi (*Saccharomyces cerevisiae*) atau bakteri anaerobik ditambahkan ke dalam bahan baku yang telah diolah, serta Mikroorganisme mengkonsumsi gula dan menghasilkan etanol atau biogas sebagai produk sampingan melalui proses metabolisme.

Terdapat beberapa produk Fermentasi seperti: Bioetanol, Etanol yang dihasilkan dari fermentasi gula atau pati, digunakan sebagai bahan bakar kendaraan (bioetanol) atau dicampur dengan bensin untuk meningkatkan oktan dan mengurangi emisi karbon; Biogas, campuran utama metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) yang dihasilkan dari fermentasi anaerobik limbah organic, digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik, pemanas, atau dimurnikan menjadi biometana yang dapat disalurkan melalui jaringan gas alam; dan Biohidrogen. Hidrogen yang dihasilkan dari fermentasi tertentu oleh bakteri khusus. Digunakan sebagai bahan bakar dalam sel bahan bakar (fuel cells) untuk menghasilkan listrik tanpa emisi karbon.

Keuntungan Fermentasi adalah: Sumber Energi Terbarukan, fermentasi memanfaatkan bahan baku terbarukan yang tersedia secara luas, termasuk limbah yang biasanya dibuang; Reduksi Emisi, produksi dan penggunaan bioetanol dan biogas dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dibandingkan dengan bahan bakar fosil; dan Pengelolaan Limbah, fermentasi mengurangi volume limbah organik dan menghasilkan produk yang bernilai tambah, seperti biofertilizer dari residu fermentasi.

Tantangan Fermentasi adalah: Ketersediaan Bahan Baku, pasokan bahan baku yang berkelanjutan dan berkualitas tinggi penting untuk menjaga efisiensi proses fermentasi; Efisiensi Konversi, proses fermentasi mungkin memerlukan optimasi lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi konversi biomassa menjadi produk akhir; dan Pemurnian Produk, Bioetanol dan biogas perlu dimurnikan sebelum dapat digunakan secara luas, yang memerlukan teknologi dan biaya tambahan.

Aplikasi Fermentasi dapat diterapkan pada: Produksi Bioetanol, skala industri untuk bahan bakar kendaraan dan skala kecil oleh beberapa komunitas lokal menghasilkan bioetanol dari limbah pertanian untuk kebutuhan energi local; Pembangkit Listrik Biogas, Biogas digunakan dalam pembangkit listrik skala kecil hingga menengah untuk menyediakan energi ke jaringan local; dan Pengelolaan Limbah, fermentasi anaerobik diterapkan dalam pengelolaan limbah kota dan industri untuk menghasilkan biogas sekaligus mengurangi volume limbah.

5. Pencairan Biomassa (*Biomass Liquefaction*)

Pencairan biomassa melibatkan konversi biomassa padat menjadi bahan bakar cair melalui proses termokimia atau biokimia. Bahan bakar cair ini dapat digunakan dalam mesin diesel atau sebagai pengganti bahan bakar minyak konvensional.

Pencairan biomassa, atau biomass liquefaction, adalah proses konversi biomassa menjadi bahan bakar cair, seperti bio-minyak (bio-oil) atau sintesis minyak bumi, melalui proses termokimia atau biokimia. Proses ini bertujuan untuk mengubah biomassa padat menjadi bahan bakar yang lebih mudah diangkut, disimpan, dan digunakan. Berikut adalah penjelasan rinci mengenai pencairan biomassa:

6. Anaerobic Digestion

Anaerobic digestion adalah proses biologis di mana mikroorganisme menguraikan bahan organik dalam kondisi tanpa oksigen untuk menghasilkan biogas (campuran utama metana dan karbon dioksida) dan digestate (produk akhir yang dapat digunakan sebagai pupuk). Biogas ini dapat dibakar untuk

menghasilkan listrik dan panas atau diolah lebih lanjut menjadi biometana untuk digunakan sebagai bahan bakar kendaraan.

Anaerobic digestion adalah proses biologis di mana mikroorganisme mengurai bahan organik dalam kondisi tanpa oksigen untuk menghasilkan biogas, yang terutama terdiri dari metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2), serta digestate, produk sampingan berupa bahan organik terurai. Proses ini umumnya dilakukan dalam sebuah reaktor anaerobik. Berikut adalah penjelasan lebih rinci mengenai anaerobic digestion dalam konteks energi biomassa:

4.2 Manfaat Energi Biomassa

Manfaat energi biomass adalah: Terbarukan. biomassa adalah sumber energi terbarukan yang bisa diperbarui melalui siklus pertumbuhan tanaman; Pengurangan Limbah, mengurangi jumlah limbah organik yang perlu dibuang dan mengubahnya menjadi sumber energi yang berguna; Penyerapan Karbon, tanaman menyerap karbon dioksida selama fotosintesis, yang membantu mengurangi emisi gas rumah kaca, dan Pengembangan Ekonomi Lokal, dapat meningkatkan ekonomi pedesaan dengan menciptakan lapangan kerja dalam produksi dan pengolahan biomassa.

Energi biomassa memiliki berbagai manfaat yang signifikan, baik dari segi lingkungan, ekonomi, maupun sosial. Berikut adalah beberapa manfaat utama dari penggunaan energi biomassa:

Manfaat Lingkungan

1. Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca:

Energi biomassa dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Ketika biomassa dibakar atau diolah, CO_2 yang dilepaskan sebanding dengan jumlah CO_2 yang diserap oleh tanaman selama pertumbuhannya, sehingga netral karbon dalam siklus hidupnya.

2. Pengelolaan Limbah:

Penggunaan limbah pertanian, limbah makanan, dan limbah organik lainnya untuk menghasilkan energi mengurangi volume limbah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA), mengurangi pencemaran tanah dan air.

3. Restorasi Lahan Terdegradasi:

Tanaman energi seperti miscanthus atau switchgrass dapat ditanam di lahan terdegradasi, membantu mengembalikan kesuburan tanah dan mengurangi erosi.

Manfaat Ekonomi

1. Diversifikasi Sumber Energi:

Energi biomassa membantu diversifikasi sumber energi dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, meningkatkan ketahanan energi nasional.

2. Penciptaan Lapangan Kerja:

Industri biomassa dapat menciptakan lapangan kerja baru di sektor pertanian, pengolahan, dan teknologi energi terbarukan, baik di daerah pedesaan maupun perkotaan.

3. Pengembangan Ekonomi Lokal:

Penggunaan biomassa sebagai sumber energi lokal dapat mengurangi pengeluaran untuk impor bahan bakar fosil dan menjaga aliran uang dalam ekonomi lokal.

Manfaat Sosial

1. Peningkatan Kesejahteraan Pedesaan:

Petani dan komunitas pedesaan dapat memperoleh manfaat ekonomi dari menanam tanaman energi atau menjual limbah pertanian untuk produksi energi biomassa.

2. Akses Energi yang Lebih Baik:

Energi biomassa dapat menyediakan sumber energi yang dapat diandalkan dan terjangkau untuk komunitas yang tidak memiliki akses ke jaringan listrik konvensional, meningkatkan kualitas hidup.

3. Keselamatan Energi:

Dengan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang harganya berfluktuasi dan rentan terhadap gangguan pasokan, biomassa memberikan kontribusi terhadap keselamatan energi nasional.

Manfaat Teknologi dan Inovasi

1. Pengembangan Teknologi Terbarukan:

Investasi dalam teknologi energi biomassa mendorong penelitian dan pengembangan teknologi baru yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

2. Pemanfaatan Teknologi Berkelanjutan:

Teknologi seperti anaerobic digestion, gasifikasi, dan pirolisis memungkinkan pemanfaatan limbah organik dan residu biomassa yang lebih efisien, mengurangi pemborosan sumber daya.

Manfaat Lingkungan Lokal

1. Pengurangan Polusi Udara:

Mengganti pembakaran bahan bakar fosil dengan biomassa dapat mengurangi polusi udara lokal, termasuk emisi partikel dan sulfur dioksida (SO_2), yang berdampak positif pada kesehatan masyarakat.

2. Konservasi Sumber Daya Alam:

Penggunaan limbah dan residu biomassa membantu mengurangi tekanan pada sumber daya alam lainnya, seperti kayu dan batu bara, mendukung keberlanjutan sumber daya alam.

Energi biomassa menawarkan berbagai manfaat yang signifikan dalam konteks lingkungan, ekonomi, sosial, dan teknologi. Penggunaan biomassa sebagai sumber energi terbarukan dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca, mengelola limbah, menciptakan lapangan kerja, dan mendukung pembangunan ekonomi lokal. Dengan demikian, energi biomassa memainkan peran penting dalam transisi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

4.3 Tantangan Energi Biomassa

Tantangan energi biomassa adalah: Keberlanjutan Pasokan, memastikan pasokan biomassa yang berkelanjutan dan tidak merusak lingkungan; Efisiensi Konversi, meningkatkan efisiensi teknologi konversi untuk memaksimalkan output energi; dan Dampak

Lingkungan, mengelola dampak lingkungan dari produksi dan pembakaran biomassa, seperti emisi polutan udara.

Meskipun energi biomassa menawarkan berbagai manfaat, ada sejumlah tantangan yang perlu diatasi untuk memaksimalkan potensinya sebagai sumber energi terbarukan. Berikut adalah beberapa tantangan utama dalam pengembangan dan penggunaan energi biomassa:

Tantangan Lingkungan

1. Emisi Polutan:

Pembakaran biomassa dapat menghasilkan polutan udara seperti partikulat (PM), nitrogen oksida (NOx), dan karbon monoksida (CO). Ini bisa mempengaruhi kualitas udara dan kesehatan masyarakat jika tidak dikelola dengan baik.

2. Penggunaan Lahan:

Penanaman tanaman energi dalam skala besar bisa bersaing dengan lahan untuk produksi pangan, menyebabkan perubahan penggunaan lahan dan dampak pada keanekaragaman hayati.

3. Keberlanjutan Sumber Biomassa:

Overeksplorasi sumber biomassa, seperti penebangan hutan untuk bahan baku, dapat menyebabkan deforestasi dan degradasi lahan, merusak ekosistem alami.

Tantangan Ekonomi

1. Biaya Produksi:

Produksi energi biomassa sering kali lebih mahal dibandingkan dengan energi fosil karena biaya bahan baku, pengolahan, dan teknologi yang lebih tinggi.

2. Skalabilitas:

Menyediakan biomassa dalam jumlah besar dan konsisten untuk kebutuhan energi skala besar bisa sulit, terutama jika sumber biomassa tersebar dan beragam.

3. Subsidi dan Insentif:

Energi biomassa masih memerlukan dukungan finansial, seperti subsidi dan insentif pemerintah, untuk bersaing dengan energi fosil yang sering kali disubsidi.

Tantangan Teknologi

1. Efisiensi Konversi:

Teknologi konversi biomassa menjadi energi, seperti pembakaran langsung, gasifikasi, pirolisis, atau fermentasi, harus terus ditingkatkan untuk mencapai efisiensi yang lebih tinggi dan mengurangi emisi.

2. Pengolahan dan Penyimpanan:

Biomassa sering kali memiliki kandungan air tinggi dan bervariasi dalam kualitas, yang bisa mempengaruhi efisiensi proses konversi dan memerlukan teknologi pengolahan dan penyimpanan yang canggih.

3. Pengembangan Infrastruktur:

Infrastruktur yang diperlukan untuk pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, dan distribusi biomassa dan produk energi biomassa sering kali masih kurang berkembang, terutama di daerah pedesaan.

Tantangan Sosial

1. Persaingan dengan Pangan:

Penanaman tanaman energi bisa bersaing dengan tanaman pangan untuk lahan dan sumber daya, yang bisa mempengaruhi ketahanan pangan terutama di daerah dengan lahan pertanian terbatas.

2. Penerimaan Masyarakat:

Kesadaran dan penerimaan masyarakat terhadap energi biomassa masih perlu ditingkatkan melalui edukasi dan sosialisasi manfaat dan potensi biomassa sebagai sumber energi.

3. Dampak pada Kehidupan Pedesaan:

Proyek energi biomassa besar bisa berdampak pada kehidupan masyarakat pedesaan, baik positif maupun negatif, dan memerlukan pendekatan yang mempertimbangkan kesejahteraan lokal.

Tantangan Kebijakan dan Regulasi

1. Konsistensi Kebijakan:

Kebijakan dan regulasi yang mendukung pengembangan energi biomassa sering kali tidak konsisten atau berubah-ubah, yang

bisa menciptakan ketidakpastian bagi investor dan pelaku industri.

2. Standar dan Sertifikasi:

Diperlukan standar dan sistem sertifikasi yang jelas untuk memastikan bahwa produksi biomassa dilakukan secara berkelanjutan dan tidak merusak lingkungan.

3. Dukungan Penelitian dan Pengembangan:

Penelitian dan pengembangan teknologi energi biomassa memerlukan dukungan yang lebih besar untuk meningkatkan efisiensi, mengurangi biaya, dan mengatasi tantangan teknis dan lingkungan.

Energi biomassa memiliki potensi besar untuk menjadi bagian penting dari portofolio energi terbarukan global, tetapi berbagai tantangan harus diatasi untuk mewujudkan potensinya secara penuh. Dengan menghadapi tantangan ini melalui inovasi teknologi, kebijakan yang konsisten, dan pendekatan yang berkelanjutan, energi biomassa dapat berkontribusi signifikan terhadap transisi energi yang lebih bersih dan berkelanjutan.

4.4 Penutup

Pembakaran langsung biomassa merupakan metode yang penting dalam portofolio energi terbarukan. Dengan manajemen yang tepat, teknologi ini dapat berkontribusi secara signifikan terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca dan diversifikasi sumber energi. Namun, untuk memaksimalkan manfaatnya, diperlukan perhatian khusus pada pengelolaan emisi dan keberlanjutan pasokan biomassa.

Gasifikasi biomassa menawarkan solusi yang efisien dan fleksibel untuk konversi energi biomassa. Dengan kemampuan untuk menghasilkan syngas yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, gasifikasi memiliki potensi besar untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Namun, untuk mencapai potensi penuh teknologi ini, tantangan dalam pengelolaan kontaminan dan kebutuhan investasi awal harus diatasi.

Pirolysis merupakan teknologi yang penting dalam konversi energi biomassa, menawarkan fleksibilitas dalam produk akhir yang

dihadirkan. Dengan kemampuan untuk menghasilkan bio-oil, biochar, dan gas pirolisis, teknologi ini dapat memainkan peran kunci dalam transisi menuju ekonomi yang lebih berkelanjutan dan rendah karbon. Namun, untuk memaksimalkan manfaatnya, tantangan terkait kualitas produk dan skalabilitas harus diatasi.

Fermentasi biomassa adalah teknologi kunci dalam konversi energi terbarukan yang menawarkan solusi untuk produksi bahan bakar yang ramah lingkungan dan pengelolaan limbah. Dengan kemampuannya untuk menghasilkan bioetanol, biogas, dan biohidrogen, fermentasi dapat berkontribusi signifikan dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menurunkan emisi gas rumah kaca. Tantangan utama seperti ketersediaan bahan baku dan efisiensi proses perlu terus diatasi melalui penelitian dan pengembangan teknologi.

Pencairan biomassa adalah proses penting dalam konversi biomassa menjadi bahan bakar cair yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi. Meskipun masih ada tantangan terkait efisiensi proses, biaya produksi, dan stabilitas produk, pencairan biomassa memiliki potensi besar untuk membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan meningkatkan penggunaan sumber energi terbarukan. Dengan penelitian dan pengembangan yang berkelanjutan, teknologi ini dapat menjadi komponen penting dalam portofolio energi terbarukan di masa depan.

Anaerobic digestion adalah metode yang efektif untuk mengonversi limbah organik menjadi sumber energi terbarukan, biogas, sambil mengurangi dampak lingkungan limbah organik yang dibuang. Meskipun ada tantangan dalam manajemen reaktor dan biaya investasi, potensi untuk menghasilkan energi bersih dan pupuk organik berkualitas tinggi membuat anaerobic digestion menjadi solusi menarik dalam upaya menuju masyarakat yang lebih berkelanjutan.

Dengan memanfaatkan berbagai teknologi ini, energi biomassa dapat menjadi bagian penting dari strategi energi terbarukan global, membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi dampak lingkungan dari produksi energi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahuja, D. (Ed.). (2008). Sustainable Bioenergy Production. Springer.
- Basu, P. (2018). Biomass Gasification, Pyrolysis and Thermal Conversion: Sustainable Energy Solutions. Academic Press.
- Bridgwater, A. V. (2018). Fast Pyrolysis of Biomass: Advances in Science and Technology. Royal Society of Chemistry.
- Chen, H., Yang, H., & Yan, R. (Eds.). (2017). Advanced Biofuels: Applications, Technologies, and Environmental Sustainability. CRC Press.
- Demirbas, A. (2016). Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory. Elsevier.
- Knothe, G. (2018). Biodiesel Production: Technologies, Challenges, and Advances. Springer.
- McKendry, P. (Ed.). (2002). Energy Production from Biomass (1st ed.). Routledge.
- Pandey, A., Larroche, C., Ricke, S. C., Dussap, C. G., & Gnansounou, E. (Eds.). (2019). Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous Biofuels (Second Edition). Academic Press.
- Pandey, A., Soccol, C. R., & Nigam, P. (2009). Biotechnology for Biofuel Production and Optimization. Springer.
- Singh, R. P., & Singh, R. L. (Eds.). (2019). Advances in Bioenergy: The Sustainability Challenge. Woodhead Publishing.

BAB 5

TEKNOLOGI BERBASIS ENERGI AIR

5.1 Pendahuluan

Air merupakan salah satu komponen utama yang ada di atas bumi. Sebagian besar permukaan bumi tertutup oleh air berupa lautan. Air berwujud cair pada suhu di antara 0 sampai 100°C dalam tekanan normal 1 atm. Air laut mempunyai massa jenis yang lebih tinggi dibandingkan dengan air tawar. Air tawar terdapat di sungai, danau, dalam hujan, membeku dalam bentuk es, dan sebagainya. Air merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui. Air dapat terbaharui ketersediaannya melalui proses yang disebut dengan siklus hidrologi.

Air sungai mengalir dari tempat yang tinggi (hulu) ke tempat yang lebih rendah (hilir). Aliran air memiliki energi kinetik yang berpotensi untuk diubah menjadi energi mekanik menggunakan mesin yang disebut dengan turbin air. Air yang diam dan tertampung dalam suatu tempat misalnya danau atau waduk memiliki energi potensial yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi mekanik melalui turbin air apabila air yang tertampung tersebut dialirkan. Energi air merupakan salah satu dari energi terbarukan dengan potensi yang sangat besar. Menurut Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral potensi tenaga air di Indonesia adalah sekitar 76,09 GW dan yang terpasang sebagai pembangkit listrik baru sekitar 5,29 GW atau sekitar 6%.

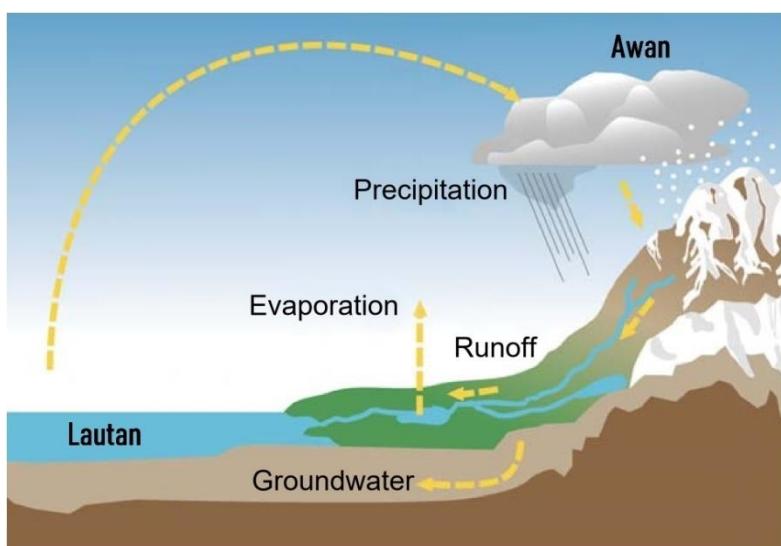
Turbin air dapat berputar karena aliran air yang melaluinya. Energi mekanik dari turbin air dapat secara langsung dimanfaatkan sebagai penggerak ataupun secara tidak langsung dengan cara mengubah energi mekanik tersebut menjadi energi listrik melalui generator listrik. Pemanfaatan turbin air yang paling banyak pada saat ini adalah untuk pembangkit listrik, sehingga sering disebut dengan pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Pembangkit listrik tenaga air ada yang dalam skala kecil dan ada yang skala besar tergantung dari kapasitas daya listrik yang dihasilkannya.

Turbin air memiliki berapa jenis dengan bentuk dan cara kerja yang berbeda untuk masing-masing jenis turbin. Pemilihan jenis turbin air disesuaikan dengan debit air dan tinggi jatuh air (*head*). Generator yang digunakan dapat disesuaikan dengan kecepatan putaran poros turbin air dan daya yang dihasilkannya.

5.2 Konsep Teoritis

5.2.1 Siklus Hidrologi Air

Air selalu tersedia di alam karena dapat memperbaharui diri melalui proses alam yang terjadi secara terus menerus . Proses tersebut disebut dengan siklus hidrologi (Gambar 5.1). Air mengalami penguapan dari lautan ataupun bagian permukaan bumi yang lain membentuk awan dan kemudian menjadi hujan (*precipitation*) yang jatuh di atas permukaan bumi. Air hujan sebagian akan menjadi aliran permukaan (*runoff*) serta sebagian akan terserap ke dalam tanah menjadi air tanah (*groundwater*) yang sebagiannya akan membentuk mata air menjadi sungai. Uap air yang mencapai puncak-puncak pegunungan yang sangat tinggi misalnya Himalaya akan membeku menjadi gletser yang apabila mencair akan menjadi sumber air.



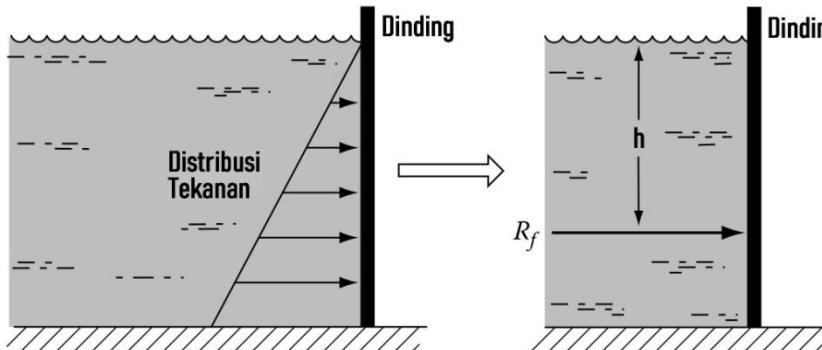
Gambar 5.1. Siklus hidrologi air (Cleveland, 2009).

5.2.2 Tekanan Hidrostatik Air

Air dalam kondisi diam memiliki tekanan hidrostatik yang merupakan hubungan antara massa jenis air dengan percepatan gravitasi dan kedalaman dari air tersebut. Tekanan hidrostatik air berbanding lurus dengan kedalaman air, sehingga semakin dalam air maka tekanan hidrostatiknya akan semakin besar, karena gaya yang bekerja pada setiap satuan luasnya semakin besar. Tekanan hidrostatik air dapat dihitung dengan persamaan 5.1.

$$p = \rho g h \quad (5.1)$$

p adalah tekanan hidrostatik (N/m^2 atau pascall); ρ adalah massa jenis air (kg/m^3); g adalah percepatan gravitasi (m/s^2); dan h adalah kedalaman air (m). Tekanan hidrostatik air dapat diilustrasikan seperti Gambar 5.2.



Gambar 5.2. Tekanan hidrostatik air (Janna. 2020)

5.2.3 Debit Air

Debit air merupakan volume air yang mengalir setiap satuan waktu di suatu tempat. Debit air biasanya dinyatakan dalam liter per detik (l/s) ataupun dalam meter kubik per detik (m^3/s). Debit air dapat diukur menggunakan alat ukur debit ataupun dihitung berdasarkan kecepatan aliran air dan luas penampang yang dilalui air. Penentuan debit untuk aliran air yang kecil dapat dilakukan secara langsung dengan menampung air yang mengalir menggunakan wadah dalam waktu tertentu menggunakan *stopwatch*. Debit air dihitung dengan cara membagi volume air yang tertampung dengan waktu yang dibutuhkan untuk menampung air tersebut. Pengukuran debit air dalam pipa dapat dilakukan dengan menggunakan flow meter.

Pengukuran kecepatan aliran air di saluran terbuka misalnya sungai atau saluran air dapat dilakukan dengan beberapa metode. Salah satu metode pengukuran kecepatan aliran air di saluran terbuka yang baik adalah menggunakan current meter (Gambar 5.3). Saluran dibagi terlebih dahulu menjadi beberapa segmen kemudian masing masing segmen diukur kecepatan alirannya menggunakan current meter.



Gambar 5.3. Pengukuran kecepatan aliran air menggunakan current meter (Dokumentasi Pribadi, 2020)

5.2.4 Tinggi Jatuh Air

Benda yang jatuh bebas dari ketinggian akan mengalami peningkatan kecepatan seiring dengan bertambahnya waktu. Hal itu karena adanya percepatan gravitasi. Semakin tinggi jatuhnya suatu benda maka kecepatan benda saat menyentuh permukaan bumi juga akan semakin tinggi. Hal itu berlaku juga untuk air apabila mengalami jatuh bebas. Air yang tertampung dalam suatu tempat dengan kedalaman tertentu apabila dialirkan akan memiliki kecepatan yang setara dengan benda jatuh bebas sesuai dengan kedalamannya. Perhitungan kecepatan air yang keluar dari sebuah lubang dengan

kedalaman tertentu dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut ini.

$$V_t = \sqrt{2 g h} \quad (5.2)$$

V_t adalah kecepatan air (m/s).

Beda tinggi dapat diukur menggunakan beberapa metode, salah satunya adalah dengan menggunakan theodolit (Gambar 5.4). Pengukuran beda tinggi atau tinggi jatuh air sangat diperlukan dalam kegiatan survei dan perencanaan potensi tenaga air. Pengukuran dilakukan menggunakan perlengkapan peralatan berupa theodolit, trimpot, dan rambu ukur. Pengukuran dilakukan dengan membidik dua titik rambu ukur yang berbeda menggunakan theodolit dari satu titik yang sama, sehingga dapat diketahui beda tinggi dari dua titik tersebut. Selain dapat menentukan beda tinggi, theodolit juga bisa untuk mengukur jarak antara theodolit dan rambu ukur.



Gambar 5.4. Pengukuran beda tinggi pada survei potensi tenaga air menggunakan theodolit (Rahmanto & Wibowo, 2020)

5.2.5 Potensi Daya Air

Potensi daya air dapat dihitung berdasarkan beda tinggi aliran air dan debit air yang mengalir. Semakin tinggi debit air maka potensi daya air juga akan semakin besar. Semakin tinggi perbedaan elevasi

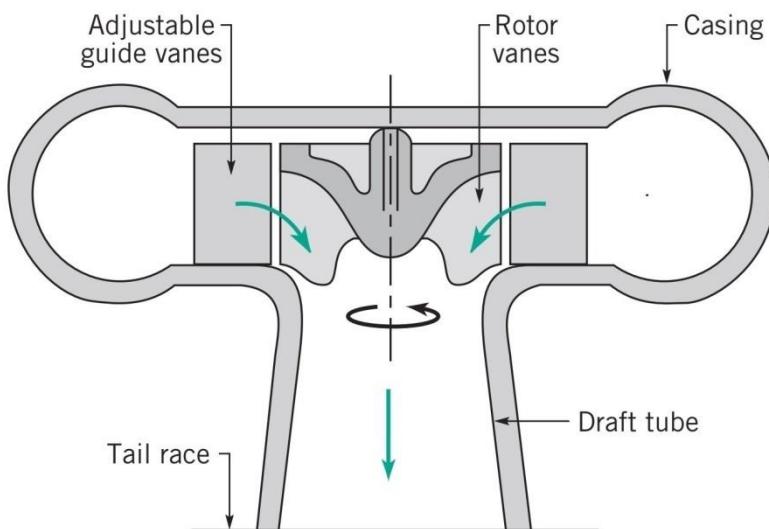
air maka potensi dayanya juga akan semakin besar. Potensi daya air dapat dihitung dengan persamaan 5.3.

$$P = \rho g h Q \eta \quad (5.3)$$

P adalah potensi daya air (watt); Q adalah debit air (m^3/s); dan η adalah efisiensi.

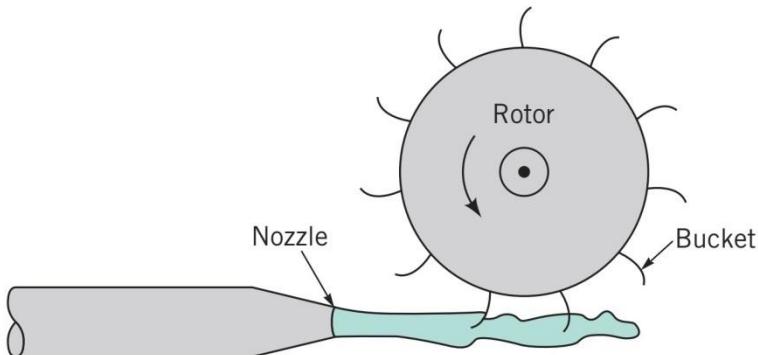
5.3 Jenis-Jenis Turbin Air

Turbin air berdasarkan mekanisme kerjanya ada 2 jenis yaitu turbin reaksi dan turbin impuls. Turbin reaksi adalah turbin yang berputar karena reaksi dari pergerakan air di dalam rumah turbin (Gambar 5.5). Turbin reaksi ada yang tipe aksial dan tipe radial. Contoh turbin reaksi tipe aksial adalah turbin Kaplan sedangkan turbin reaksi tipe radial adalah turbin Francis.



Gambar 5.5. Turbin reaksi tipe Kaplan (Hochstein & Gerhart, 2021)

Turbin impuls adalah turbin air yang berputar karena tumbukan air dari *nozzle* dengan kecepatan tinggi yang menghantam susunan *bucket* di rotor turbin (Gambar 5.6). Contoh turbin impuls adalah turbin pelton dan turbin turgo.



Gambar 5.6. Turbin impuls (Hochstein & Gerhart, 2021)

5.4 Daya Mekanik Turbin Air

Pergerakan air pada sistem turbin air akan memutar turbin dan menghasilkan daya mekanik pada bagian porosnya. Daya mekanik turbin air dapat dimanfaatkan secara langsung untuk menggerakkan mesin misalnya untuk penggilingan produk-produk hasil pertanian dan perkebunan. Daya mekanik turbin air dapat dihubungkan ke sebuah generator untuk menghasilkan listrik.

Daya mekanik turbin air dapat ditransmisikan tanpa mengubah kecepatan putaran porosnya ataupun dengan mengubah kecepatan putaran porosnya. Transmisi daya mekanik turbin air tanpa mengubah kecepatan porosnya dapat dilakukan menggunakan kopling tetap. Transmisi daya mekanik turbin air dengan mengubah kecepatan putaran poros dapat dilakukan dengan menggunakan *gearbox* ataupun menggunakan *pulley* dan *belt*. Daya mekanik dari turbin air dapat dihitung dengan persamaan umum sebagai berikut ini.

$$P = \omega T \quad (5.4)$$

P adalah daya mekanik (watt); ω adalah kecepatan sudut (rad/s) dan T adalah torsi (Nm). Oleh karena $1 \text{ phi} (\pi)$ radian adalah 180° yang sama dengan setengah putaran poros dan kecepatan putaran poros sering dinyatakan dalam rpm (revolusi per menit), maka persamaan 5.4 dapat disubstitusi menjadi sebagai berikut ini.

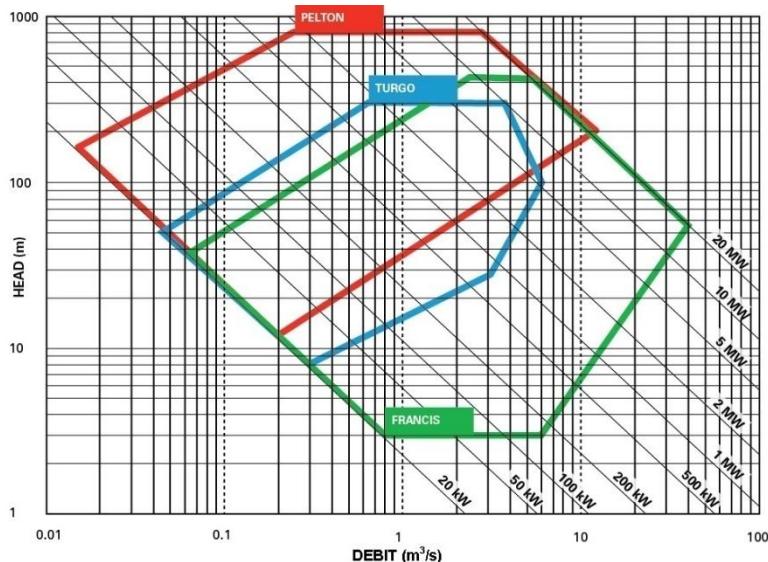
$$P = \frac{2\pi n T}{60} \quad (5.5)$$

n adalah putaran poros per menit (rpm).

5.5 Pemilihan Jenis Turbin Air yang Sesuai

Turbin air dipilih berdasarkan potensi air yang tersedia yang meliputi debit air dan headnya. Turbin air ada yang bekerja efektif pada head tinggi dan ada yang efektif apabila bekerja pada head rendah. Turbin dengan head rendah biasanya memerlukan debit air yang lebih besar.

Pemilihan jenis turbin air yang sesuai dapat dilakukan dengan menggunakan turbin chart (Gambar 5.7). Jenis turbin yang dipilih disesuaikan dengan debit dan head yang tersedia. Caranya adalah dengan membaca debit di sisi aksismya dan head di sisi ordinatnya sehingga ditemukan titik temu yang menunjukkan jenis turbin yang sesuai untuk kondisi tersebut.



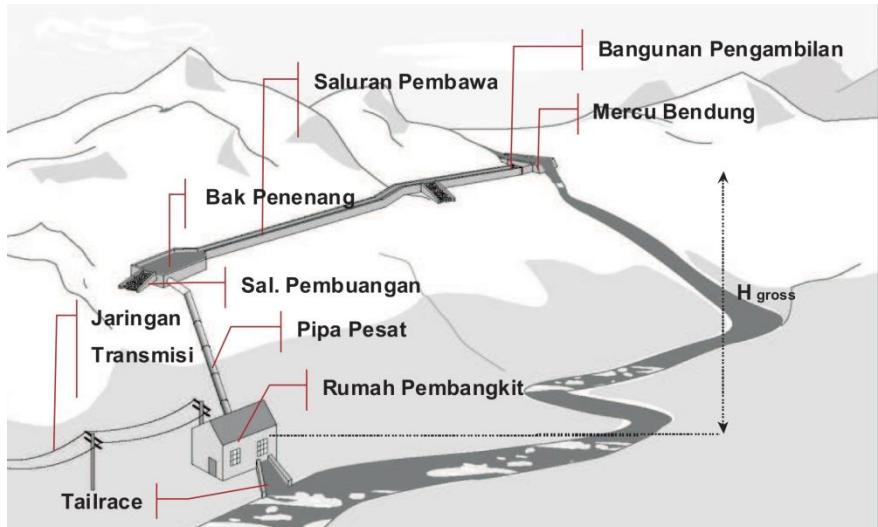
Gambar 5.7. Turbin Chart (Rahmanto & Wibowo, 2020)

5.6 Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala Mikrohidro

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik dengan kapasitas kurang dari atau sama dengan 100 kw. Beberapa referensi yang lain ada yang mengklasifikasikan PLTMH sebagai pembangkit listrik dengan daya kurang dari atau sama dengan 200 kw. PLTMH banyak terdapat di pedesaan terutama daerah pegunungan karena terdapat sumber air yang stabil dan tinggi jatuh

yang cukup baik. Potensi energi air yang banyak terdapat di Indonesia adalah Mikrohidro, baik di sungai maupun saluran air. Akan tetapi potensi tersebut masih banyak yang belum termanfaatkan. Jumlah PLTMH yang sudah terpasang di Indonesia untuk saat ini ada ribuan unit yang tersebar mulai Aceh hingga Papua.

PLTMH terdiri dari komponen sipil dan komponen mekanikal-elektrikal. Komponen bangunan sipil diantaranya adalah bendung, saluran pembawa, bak penenang, pipa pesat, rumah pembangkit, saluran pembuangan, dan tailrace. Komponen mekanikal-elektrikal meliputi turbin, transmisi daya mekanik, generator, pengendali beban, dan jaringan distribusi listrik. Skema umum sistem PLTMH adalah seperti Gambar 5.8.



Gambar 5.8. Skema umum sistem PLTMH (IMIDAP, 2008)

PLTMH sudah banyak dibangun di Indonesia sejak zaman kolonial Belanda untuk memenuhi kebutuhan energi di perkebunan-perkebunan milik kolonial Belanda. Hingga saat ini masih banyak PLTMH peninggalan zaman Belanda yang masih beroperasi dan ada juga yang sudah tidak beroperasi. Sebagian lagi sudah diremajakan dengan PLTMH yang menggunakan teknologi modern.

Contoh perusahaan perkebunan yang menggunakan PLTMH adalah Perkebunan teh Jamus yang berlokasi di Kabupaten Ngawi

Jawa Timur. Pada awalnya Perkebunan teh Jamus selama puluhan tahun menggunakan PLTMH peninggalan zaman Belanda yang sudah ada sejak sekitar tahun 1912 dengan kapasitas daya sekitar 30 kw yang berada di samping timur dari pabrik teh. Perkebunan teh Jamus membangun PLTMH baru pada sekitar tahun 2008 dengan lokasi yang berbeda dengan yang sebelumnya. Lokasi yang baru jaraknya lebih jauh dari pabrik akan tetapi mempunyai tinggi jatuh air yang jauh lebih besar sehingga menghasilkan daya listrik yang lebih besar hingga 100 kw dan sekarang dikenal dengan PLTMH Jamus 1. Beberapa tahun kemudian dibangun PLTMH Jamus 2 dengan kapasitas yang sama tepat disamping PLTMH Jamus 1, karena tingginya manfaat PLTMH dan juga ketersediaan debit air yang masih mencukupi. PLTMH Jamus 1 dan 2 menggunakan jenis turbin yang sama yaitu turbin Pelton poros horizontal produksi Heksa Hydro-Bandung (Gambar 5.9.).



Gambar 5.9. PLTMH Jamus 1 dan 2 (Dokumentasi pribadi, 2017)

Sumber tenaga mikrohidro tidak hanya dimanfaatkan energi listriknya saja, akan tetapi juga bisa langsung dimanfaatkan energi mekaniknya. Contohnya adalah mikrohidro di Perkebunan Gunung Pasang di Kecamatan Panti Kabupaten Jember-Jawa Timur. Mikrohidro di Perkebunan Gunung Pasang menggunakan turbin Francis yang merupakan peninggalan zaman Kolonial Belanda. Turbin Francis di Perkebunan Gunung Pasang (Gambar 5.10) dimanfaatkan

energi mekaniknya secara langsung untuk penggilingan keret di siang hari dan digunakan untuk pembangkit listrik di malam harinya.



Gambar 5.10. Mikrohidro Turbin Francis di Perkebunan Gunung Pasang Jember (Dokumentasi pribadi, 2018)

Pelaku usaha di bidang PLTMH ada beberapa di Indonesia. Salah satunya adalah CV. Hydro Cipta Mandiri yang berlokasi di Desa Sumberwuluh Candipuro Lumajang-Jawa Timur. CV. Hydro Cipta mandiri memiliki workshop untuk pembuatan dan perbaikan turbin mikrohidro dengan sumber energi listrik dari PLTMH. CV. Hydro Cipta Mandiri sudah membangun lebih dari seratus unit PLTMH yang tersebar di wilayah Indonesia. Selain itu CV. Hidro Cipta Mandiri juga mengelola dua buah PLTMH yaitu PLTMH Gunung Sawur 1 dan 2 (Gambar 5.11) yang melayani lebih dari 100 pelanggan meskipun sudah ada jaringan listrik PLN. PLTMH Gunung Sawur 1 dan 2 menggunakan turbin air Crossflow yang termasuk dalam turbin air impuls.

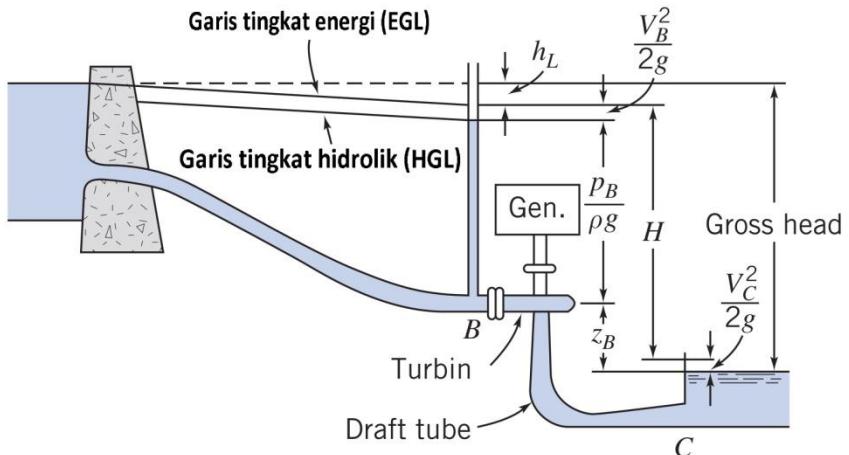


Gambar 5.11. PLTMH Gunung Sawur 2 (Dokumentasi pribadi, 2020)

5.7 Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala Besar

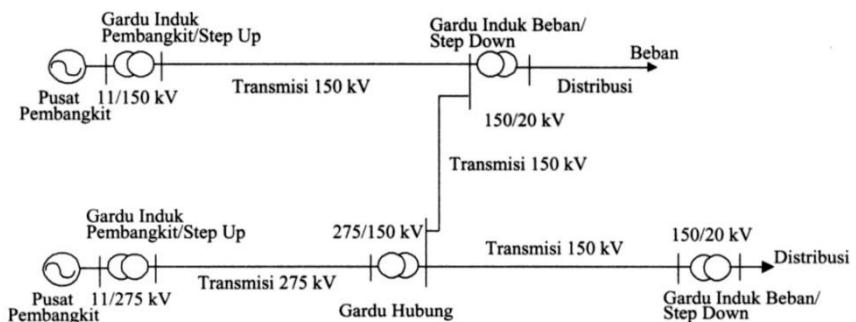
Pembangkit listrik skala besar sering disebut dengan PLTA. Kapasitas daya PLTA adalah lebih dari 1 megawatt. PLTA kecil memiliki daya antara 1 hingga 10 megawatt. PLTA sedang memiliki daya antara 10 hingga 100 megawatt dan PLTA besar memiliki kapasitas daya lebih dari 100 megawatt. Contoh PLTA kapasitas besar di Indonesia adalah PLTA Cirata di Purwakarta dengan kapasitas terpasang 1.008 megawatt yang merupakan PLTA terbesar ke dua di Asia Tenggara, sedangkan PLTA terbesar di dunia adalah Three Gorges Dam (Bendungan Tiga Ngarai) di China dengan kapasitas daya 22.500 megawatt.

PLTA sudah mulai ada di Indonesia sejak zaman kolonial Hindia Belanda. Pembangunan PLTA memiliki tujuan utama untuk mendukung sektor industri bagi kolonial Hindia Belanda. PLTA peninggalan zaman kolonial Hindia Belanda masih banyak yang beroperasi dengan baik hingga saat ini. Indonesia memiliki lebih dari 160 unit PLTA sebagai penyumbang sumber energi terbarukan. Skema umum PLTA adalah seperti Gambar 5.12.



Gambar 5.12. Skema PLTA (Singla et. al., 2021)

Listrik dari PLTA skala besar biasanya dihubungkan dengan jaringan tegangan tinggi maupun tegangan ekstra tinggi setelah dinaikkan tegangannya. Jaringan listrik tegangan tinggi ataupun ekstra tinggi dapat memungkinkan penggabungan listrik dari beberapa pembangkit listrik atau interkoneksi. Jaringan listrik tegangan ekstra tinggi dan tegangan tinggi dapat memungkinkan penyaluran listrik jarak jauh dengan kehilangan daya yang rendah. Skema transmisi listrik tegangan tinggi interkoneksi adalah seperti Gambar 5.13.

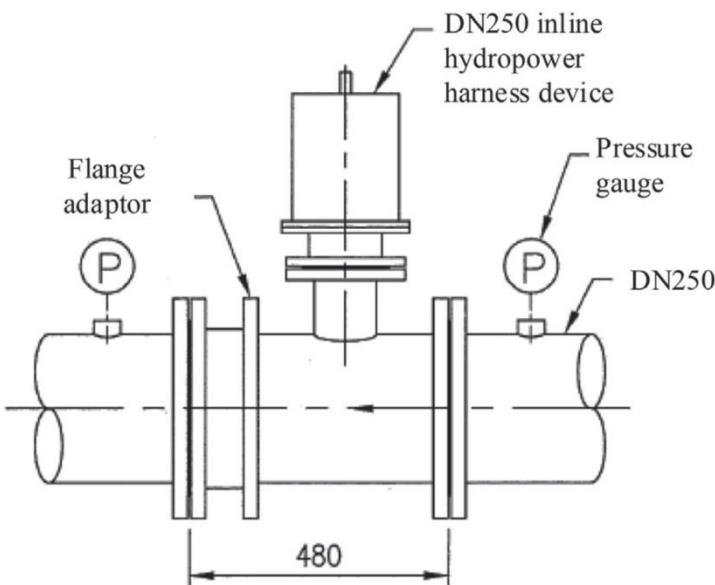


Gambar 5.13. Transmisi interkoneksi (Tobing, 2003)

5.8 Pembangkitan Listrik dari Pipa Distribusi Air

Distribusi air ke pemukiman penduduk dilakukan menggunakan pipa-pipa baik dari baja ataupun dari PVC. Pipa-pipa yang digunakan ada yang besar dan ada yang kecil tergantung dari debit air yang disalurkan. Beberapa pipa ada yang mempunyai ukuran yang sangat besar karena menyalurkan air dalam debit yang tinggi.

Pipa distribusi air yang menyalurkan air dengan debit yang tinggi dan kecepatan aliran air yang tinggi sebenarnya mirip dengan pipa pesat pada pembangkit listrik tenaga air. Hal itu menunjukkan bahwa pipa penyalur air mempunyai potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber tenaga pembangkit listrik. Beberapa negara sudah melakukan pememanfaatan pipa distribusi air untuk pembangkit listrik sehingga potensi energi yang ada dapat termanfaatkan menyumbang energi listrik. Contoh pemanfaatan pipa distribusi air sebagai pembangkit listrik adalah seperti Gambar 5.14.

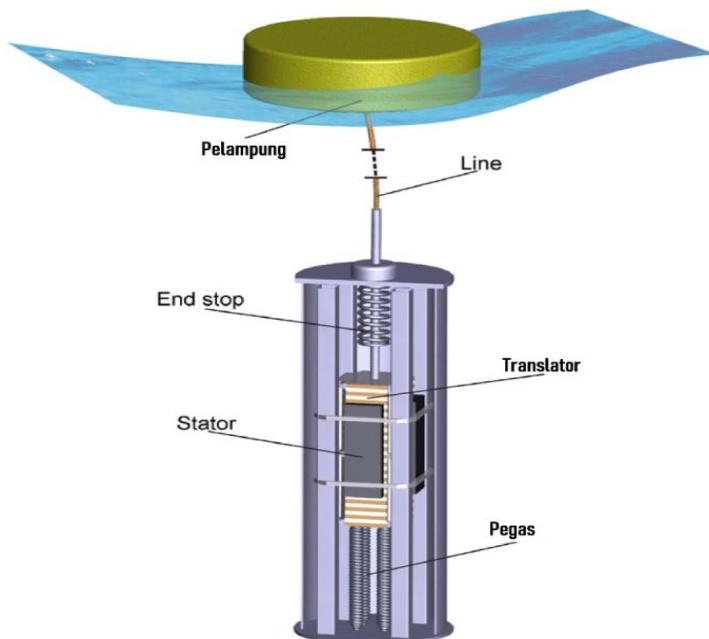


Gambar 5.14. Pemanfaatan pipa distribusi air untuk pembangkit listrik
(Ma et. al., 2018)

5.9 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut

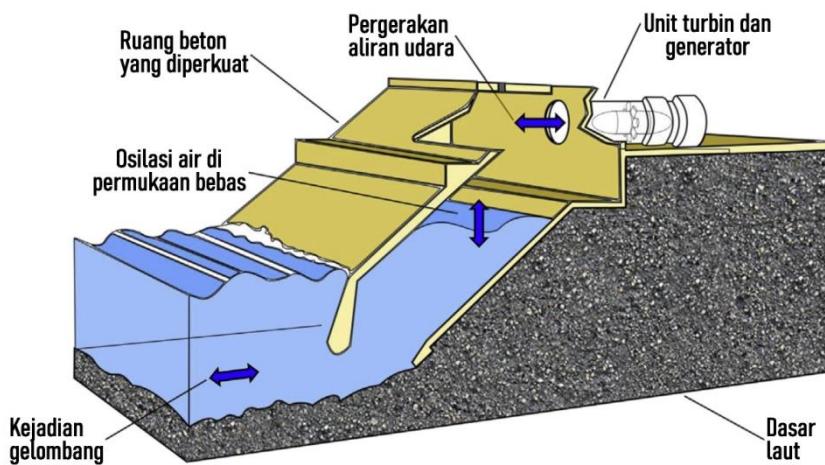
Sebagian besar permukaan bumi adalah lautan. Laut membentuk gelombang yang disebabkan oleh angin yang bertiup di atas permukaan laut. Terbentuknya gelombang laut sangat dipengaruhi oleh cuaca dan musim.

Gelombang laut menyebabkan perubahan tinggi permukaan dengan ritme tertentu yang juga membentuk aliran air. Gelombang laut berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber tenaga untuk menghasilkan energi listrik. Banyak penelitian yang telah dilakukan tentang pembangkit listrik tenaga gelombang laut. Ada beberapa metode yang digunakan untuk mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik. Salah satunya adalah dengan menggunakan pelampung. Pelampung akan naik dan turun seiring dengan naik turunnya permukaan laut. Naik dan turunnya pelampung menghasilkan gerakan resiprokal atau bolak-balik yang dapat digunakan untuk menggerakkan generator sehingga menghasilkan listrik (Gambar 5.15).



Gambar 5.15. Sistem pelampung naik-turun (Falcao, 2010)

Gelombang laut yang naik turun apabila terhubung dengan suatu ruangan tertutup yang berisi udara maka air gelombang laut akan mendorong dan menarik udara dalam ruangan tersebut. Apabila ruangan tertutup itu diberikan sebuah lubang yang terhubung dengan udara bebas maka udara akan berhembus keluar dan masuk ruangan karena pergerakan gelombang laut. Hal itu dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin angin sehingga dapat berputar dan generator yang terpasang padanya dapat menghasilkan energi listrik (Gambar 5.16). Salah satu jenis turbin yang dapat digunakan adalah turbin tipe aksial.



Gambar 5.16. Turbin angin aksial dengan energi gelombang laut
(Hashem et.al., 2018)

Energi gelombang laut memang mempunyai potensi yang besar. Akan tetapi proses pemanfaatannya cukup sulit apabila dibandingkan dengan energi air sungai atau bendungan. Hal itu karena sulitnya instalasi dan proses pembangunannya dan masih memerlukan penelitian yang lebih mendalam. Selain itu juga karena energi gelombang laut kurang stabil dan sangat dipengaruhi oleh cuaca dan musim.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, H. 2022. *Hydropower Technology: Potential, Challenges, and the Future.* pp. 89–107. Jakarta. Indonesia: BRIN Publishing
- Breeze, P. 2018. *Hydropower.* Academic Press. London
- Brookshier, P. 2004. Hydropower technology. *Encyclopedia of energy.* Vol 3 p. 333–341.
- Carrasco, F. 2011. Introduction to Hydropower. The English Press. Delhi
- Cleveland, C. J. (Ed.). 2009. *Concise encyclopedia of the history of energy.* Academic Press.
- Curto, D., Franzitta, V., & Guercio, A. 2021. Sea wave energy. A review of the current technologies and perspectives. *Energies.* Vol. 14 No. 20 6604.
- Falcao, A. F. D. O. 2010. Wave energy utilization: A review of the technologies. *Renewable and sustainable energy reviews,* Vol. 14 No. 3 p. 899–918.
- Falnes, J. 2007. A review of wave-energy extraction. *Marine structures.* Vol. 20 No. 4 p. 185–201
- Hasan, M. H., Mahlia, T. I., & Nur, H. 2012. A review on energy scenario and sustainable energy in Indonesia. *Renewable and sustainable energy reviews,* Vol. 16 No. 4 p. 2316–2328
- Hashem, I., Hameed, H. A., & Mohamed, M. H. 2018. An axial turbine in an innovative oscillating water column (OWC) device for sea-wave energy conversion. *Ocean Engineering,* Vol. 164 p. 536–562
- Hochstein, J. I., & Gerhart, A. L. 2021. *Young, Munson and Okiishi's A Brief Introduction to Fluid Mechanics.* John Wiley & Sons. New York
- IMIDAP. 2008. Pedoman Standardisasi Peralatan dan Komponen Pembangkit listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi-Departemen ESDM. Jakarta
- IMIDAP. 2010. Modul Pelatihan Studi Kelayakan Pembangunan Mikrohidro. Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi-Departemen ESDM

- Janna, W. S. 2020. *Introduction to fluid mechanics*. CRC press. Boca Raton
- Kowalska, B., Kowalski, D., Kwietniewski, M., & Rak, J. 2016. The concept of using energy generated by water flowing in pipes to power devices monitoring the water supply network. *WT Trans. Built Environ.* Vol. 165 p. 75-82
- Ma, T., Yang, H., Guo, X., Lou, C., Shen, Z., Chen, J., & Du, J. (2018). Development of inline hydroelectric generation system from municipal water pipelines. *Energy*. Vol. 144 p. 535-548.
- Pritchard, P. J. & Mitchell, J. W. 2016. *Fox and McDonald's introduction to fluid mechanics*. John Wiley & Sons. New York
- Rahmanto, D. E. & Femintasari, V. 2018. An investigation of dummy load energy in gunung sawur 1 microhydro power plant-Lumajang East Java. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 207, No. 1 p. 012060. IOP Publishing
- Rahmanto, D. E., & Femintasari, V. 2019. Teknoekonomi alat pemurni air menggunakan energi listrik terbuang di PLTMH Gunung Sawur 1 Lumajang. *Jurnal Agroteknologi*. Vol. 13 No. 01 p. 92-97
- Rahmanto, D. E., & Wibowo, M. J. 2020. Microhydo potential in Gunung Pasang plantation Panti Jember East Java. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 411, No. 1, p. 012068. IOP Publishing
- Rahmanto, D. E., Wibowo, M. J., Fahriannur, A., & Ghofur, A. 2022. Investigasi Listrik Mikrohidro di Perkebunan Gunung Pasang Kecamatan Panti Jember. *Jurnal Agroteknologi*. Vol. 16 No. 01 p. 29-36
- Schinez, V. 2009. Micro Hydro Power Scot Guide. GTZ Access to Modern Energy Services-Ethiopia. Adis Ababa
- Tobing, B. L. 2003. *Peralatan Tegangan Tinggi*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta

BAB 6

TEKNOLOGI BERBASIS ENERGI ANGIN

6.1 Pendahuluan

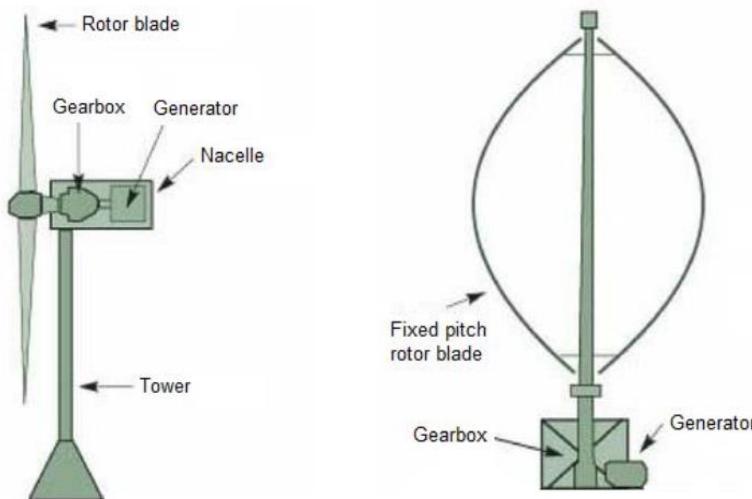
Penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi bagi manusia memiliki dampak terhadap lingkungan. Penggunaan energi terbarukan dapat mengurangi dampak tersebut. Salah satu bentuk energi terbarukan yang dimanfaatkan di era modern ini adalah energi angin. Teknologi berbasis angin memanfaatkan daya angin melalui penggunaan turbin untuk menghasilkan bentuk energi lain sebagai contoh energi listrik (Ozkan et al., 2024).

Menilik dari sejarah, energi angin telah digunakan oleh manusia berabad-abad lalu untuk keperluan pelayaran, perkebunan, dan pengairan pertanian. Saat ini, teknologi modern telah mampu memanfaatkan energi angin dengan tingkat efisiensi tinggi, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit energi listrik.

Energi angin memiliki berbagai keunggulan yaitu tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca dan mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil (Ozkan et al., 2024). Namun, implementasi teknologi ini tidak mudah dikarenakan kebutuhan lahan yang luas untuk instalasi peralatan teknologi angin, variabilitas dari kecepatan angin mempengaruhi stabilitas energi listrik (Vallejo Díaz & Herrera Moya, 2024).

6.2 Teknologi Turbin Angin

Turbin angin mengubah energi angin menjadi energi listrik. Turbin angin diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu turbin sumbu horizontal dan turbin sumbu vertikal (Bhatia, n.d.). Mesin turbin sumbu horizontal memiliki bilah yang berotasi sepanjang sumbu horizontal. Sedangkan mesin turbin vertikal memiliki bilah yang berotasi sepanjang sumbu vertikal tegak lurus dengan landasan turbin (Ren et al., 2024).



(a) Bilah Sumbu Horisontal

(b) Bilah Sumbu Vertikal

Gambar 6.1. Mesin Turbin Angin (Bhatia, n.d.)

6.2.1 Turbin Angin Sumbu Horisontal

Turbin angin sumbu horisontal (Horizontal Axis Wind Turbine, HAWT) adalah salah satu teknologi kunci dalam pengembangan energi terbarukan yang memanfaatkan kekuatan angin untuk menghasilkan listrik. HAWT adalah jenis turbin angin yang paling umum digunakan di seluruh dunia karena efisiensinya dalam menangkap energi angin (Liu et al., 2024).

Turbin angin sumbu horisontal terdiri dari beberapa komponen utama yaitu rotor dengan baling-baling, *nacelle* (rumah mesin), dan menara. Rotor biasanya memiliki dua atau tiga baling-baling yang terpasang pada sumbu horizontal. Saat angin berhembus, baling-baling akan berputar dan menggerakkan rotor. Rotor ini terhubung ke generator melalui poros dan sistem transmisi untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik (Juan et al., 2024).

HAWT memiliki beberapa keunggulan yaitu:

1. Efisiensi Tinggi. HAWT dirancang untuk memaksimalkan penangkapan energi angin, terutama pada kecepatan angin yang tinggi. Baling-baling yang panjang memungkinkan turbin ini menangkap lebih banyak energi dibandingkan dengan turbin angin sumbu vertikal.

2. Teknologi yang Matang. HAWT telah melalui berbagai penelitian dan pengembangan selama beberapa dekade, menjadikannya teknologi yang sangat andal dan efisien. Banyak perusahaan besar telah mengadopsi HAWT dalam skala besar di ladang angin.
3. Skalabilitas: Turbin angin sumbu horizontal dapat dibangun dalam berbagai ukuran, mulai dari yang kecil untuk penggunaan rumah tangga hingga yang sangat besar untuk ladang angin komersial. Skalabilitas ini membuat HAWT fleksibel untuk berbagai aplikasi.

Meskipun memiliki banyak keunggulan, HAWT juga menghadapi beberapa tantangan. Salah satunya adalah kebutuhan akan area yang luas dan lokasi yang tepat dengan kecepatan angin yang konsisten. Selain itu, instalasi dan pemeliharaan turbin besar bisa menjadi mahal dan memerlukan teknologi dan tenaga ahli yang terlatih. Untuk mengatasi tantangan ini, inovasi terus dilakukan. Misalnya, pengembangan material yang lebih ringan dan lebih kuat untuk baling-baling, serta sistem pemantauan dan pemeliharaan jarak jauh yang menggunakan teknologi IoT (*Internet of Things*) untuk meningkatkan efisiensi operasional (Yang & Dong, 2024).

6.2.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*, VAWT) adalah salah satu jenis turbin angin yang dirancang untuk menangkap energi angin dari berbagai arah. Berbeda dengan turbin angin sumbu horizontal (HAWT), VAWT memiliki poros rotor yang tegak lurus terhadap tanah, memungkinkan beberapa keunggulan unik dalam aplikasi tertentu (Ren et al., 2024).

Turbin angin sumbu vertikal terdiri dari beberapa komponen utama: rotor dengan bilah vertikal, generator, dan gearbox yang biasanya ditempatkan di dekat tanah. Ada beberapa desain VAWT yang populer, termasuk tipe Savonius dan Darrieus.

Savonius memiliki desain yang sederhana dengan dua atau lebih bilah berbentuk setengah silinder yang berputar di sekitar poros vertikal. Desain ini sangat efektif pada kecepatan angin rendah dan sering digunakan untuk aplikasi skala kecil seperti penerangan perahu nelayan. Sedangkan, darrieus memiliki bilah berbentuk airfoil yang melengkung dan berputar di sekitar poros vertikal. Desain ini

lebih efisien pada kecepatan angin tinggi dan sering digunakan untuk aplikasi skala besar.

VAWT memiliki beberapa keunggulan yaitu (Juan et al., 2024):

1. Kemampuan Menangkap Angin dari Berbagai Arah. VAWT tidak memerlukan mekanisme untuk menghadap angin, sehingga dapat menangkap angin dari segala arah tanpa perlu penyesuaian posisi,
2. Pemeliharaan yang Lebih Mudah. Oleh karena generator dan gearbox dapat ditempatkan di dekat tanah, pemeliharaan VAWT menjadi lebih mudah dan lebih aman dibandingkan dengan HAWT yang memerlukan menara tinggi,
3. Desain yang Lebih Fleksibel: VAWT dapat dipasang lebih dekat ke tanah dan tidak memerlukan struktur menara yang besar, membuatnya cocok untuk area dengan ruang terbatas atau di lingkungan perkotaan.

Meskipun memiliki banyak keunggulan, VAWT juga menghadapi beberapa tantangan. Salah satunya adalah efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan HAWT dalam kondisi angin yang optimal. Selain itu, beberapa desain VAWT dapat menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut, yang dapat mengurangi stabilitas dan efisiensi sistem. Untuk mengatasi tantangan ini, berbagai inovasi terus dilakukan. Misalnya, pengembangan desain bilah yang lebih aerodinamis dan penggunaan material yang lebih ringan dan kuat (Vallejo Díaz & Herrera Moya, 2024). Penelitian juga terus dilakukan untuk menemukan konfigurasi bilah yang optimal untuk meningkatkan efisiensi dan stabilitas. VAWT memiliki potensi besar untuk digunakan dalam berbagai aplikasi, terutama di lingkungan perkotaan dan area dengan ruang terbatas. Desain yang lebih fleksibel dan kemudahan pemeliharaan membuat VAWT menjadi pilihan yang menarik untuk proyek-proyek energi terbarukan skala kecil hingga menengah.

6.3 Analisis Lokasi Energi Angin

Analisis lokasi energi angin menjadi krusial dalam memahami potensi dan karakteristik energi angin di suatu wilayah, serta menentukan lokasi yang optimal untuk pengembangan turbin angin.

Untuk kasus di Indonesia, Potensi energi angin di Indonesia cukup memadai, dengan kecepatan angin rata-rata berkisar antara $3,5 - 7 \text{ m.s}^{-1}$. Peta distribusi kecepatan angin, kecepatan maksimum dan minimum, serta peta distribusi produksi energi tahunan memberikan informasi yang berguna sebagai dasar penentuan lokasi dan pemilihan teknologi turbin yang tepat.

Potensi Lokasi Penempatan Turbin Angin juga telah dilakukan di negara lain seperti di Bangladesh. Bangladesh sedang menghadapi tantangan besar dalam memenuhi kebutuhan energinya yang terus meningkat akibat pertumbuhan populasi dan ekonomi. Salah satu solusi yang potensial adalah pemanfaatan energi angin. Penelitian yang dilakukan oleh Maliha Tasnim, Tasnia Islam Rifa, Tanvir Shahriar, dan Mohammad Ahsan Habib dari Departemen Teknik Mesin dan Produksi di Universitas Teknologi Islam ini bertujuan untuk mengidentifikasi lokasi-lokasi yang layak untuk penempatan turbin angin di Bangladesh (Tasnim et al., 2024).

Penelitian ini menggunakan data kecepatan angin selama 21 tahun yang dikumpulkan dari Asia-Pacific Data-Research Center (APDRC). Dengan menggunakan model distribusi Generalized Extreme Value Distribution (GEVD) dan Generalized Pareto Distribution (GPD), penelitian ini memperkirakan kecepatan angin ekstrem di beberapa lokasi. Selain itu, diagram wind rose digunakan untuk menganalisis penyebaran arah angin, yang penting untuk mengoptimalkan penempatan turbin angin. Lima lokasi potensial yang diidentifikasi adalah Bagerhat, Bandarban, Bogra, Kishoreganj, dan Munshiganj.

Berdasarkan analisis data, kecepatan angin rata-rata di lokasi-lokasi potensial ini berkisar antara 3 hingga 5 m.s^{-1} , yang dianggap sesuai untuk pemanfaatan energi angin. Selain itu, kecepatan angin ekstrem yang penting untuk produksi energi angin berkisar antara 6 hingga 14 m.s^{-1} . Analisis arah angin menunjukkan bahwa angin dominan bertiup dari arah tenggara selama musim monsun dengan frekuensi rata-rata 23%. Hasil ini menunjukkan bahwa lokasi-lokasi ini memiliki potensi besar untuk pengembangan energi angin.

Penelitian lain juga telah dilakukan tentang analisis lokasi yaitu Perencanaan Spasial Berbasis Data untuk Pengembangan Energi Angin Lepas Pantai (Sun et al., 2024). Penelitian ini menyajikan

kerangka kerja perencanaan spasial skala besar berbasis data untuk menentukan ukuran dan lokasi pengembangan energi angin lepas pantai. Studi ini menggunakan China sebagai studi kasus dan menggunakan kerangka kerja metodologis berbasis data untuk mengatasi masalah perencanaan kompleks sumber energi angin lepas pantai. Metodologi ini mempertimbangkan sekelompok kriteria kesesuaian: endowmen sumber daya, fitur oseanografi, interaksi Darat-Laut, dan potensi konflik dengan aktivitas maritim saat ini. Studi ini menggunakan algoritma Random Forest untuk memprediksi ukuran dan lokasi ideal fasilitas energi angin lepas pantai pada tingkat sel grid. Studi ini menggunakan algoritma regresi dan klasifikasi Random Forest untuk memodelkan ukuran dan lokasi ideal fasilitas energi angin lepas pantai. Validasi model dilakukan menggunakan dataset validasi independen. Kinerja prediksi dari model yang diusulkan menunjukkan bahwa model klasifikasi RF mencapai kinerja yang sangat baik dengan akurasi prediksi 91,8%, dan nilai AUC 0,972. Sementara itu, model regresi RF juga mencapai keunggulan dalam mensimulasikan ukuran kapasitas OWE secara andal dengan $R^2 = 0.491$ dan RMSE = 0.687.

Studi ini menyimpulkan bahwa model berbasis data yang diusulkan menunjukkan deviasi rendah dan keandalan tinggi. Ketidakpastian prediksi prediksi ukuran kapasitas untuk OWE lebih rendah daripada probabilitas instalasi. Studi ini juga menemukan bahwa ada hubungan positif yang signifikan antara ukuran kapasitas prediktif dan kesesuaian. Dengan tumpang tindih sinergis antara ukuran kapasitas ideal dan peta probabilitas, kapasitas angin lepas pantai di sepanjang wilayah pesisir China yang sesuai bisa mencapai 251GW. Studi ini menyarankan bahwa metodologi yang diusulkan dapat memberikan dukungan pengambilan keputusan yang solid, menginformasikan pembuatan kebijakan ke dalam energi angin lepas pantai, dan penggunaan ruang laut yang berkelanjutan.

6.4 Energi Angin di Perkotaan

Energi angin adalah salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan, termasuk di

wilayah perkotaan. Berikut adalah penjelasan rinci tentang potensi energi angin di perkotaan.

Karakteristik angin di perkotaan berbeda dengan di daerah terbuka. Di perkotaan, angin cenderung mengalami turbulensi akibat interaksi dengan bangunan dan struktur lainnya. Meskipun kecepatan angin di perkotaan umumnya lebih rendah dibandingkan dengan daerah terbuka, gedung-gedung tinggi dapat memanfaatkan kecepatan angin yang lebih tinggi di atapnya. Berikut adalah beberapa contoh potensi energi angin di beberapa kota:

1. Banyuwangi memiliki kecepatan rata-rata angin 2 m.s^{-1} atau 3,89 knots. Energi angin di daerah ini dapat dimanfaatkan sebagai penggerak turbin angin dengan daya efektif antara 0,24 hingga 6,48 W untuk diameter sapuan 1 m.
2. Jakarta memiliki kecepatan angin rata-rata $2,5 \text{ m.s}^{-1}$ dengan kecenderungan arah angin ke barat. Potensi penggunaan energi angin di Jakarta masih memungkinkan untuk dijadikan sebagai alternatif energi dengan daya listrik yang dapat dihasilkan mencapai 300 watt untuk blade 4 meter

Tantangan utama dalam pengembangan energi angin di perkotaan adalah kecepatan angin yang kurang serta dampak visual dan suara yang cukup bising (Vallejo Díaz & Herrera Moya, 2024). Namun, dengan semakin banyaknya gedung-gedung tinggi, peluang untuk memanen energi angin semakin menjanjikan. Posisi pemasangan turbin di atap gedung tinggi akan memperbesar peluang untuk mendapatkan kecepatan angin yang tinggi dan dengan intensitas turbulensi yang lebih rendah (Juan et al., 2024).

Potensi energi angin di perkotaan sangat besar dan menjanjikan, terutama dengan adanya gedung-gedung tinggi yang dapat memanfaatkan kecepatan angin yang lebih tinggi di atapnya. Meskipun terdapat tantangan seperti kecepatan angin yang kurang dan dampak visual serta suara, peluang untuk memanen energi angin di perkotaan tetap menjanjikan. Penelitian lebih lanjut dan studi kelayakan yang mendalam diperlukan untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi angin di perkotaan.

6.5 Dampak Lingkungan

Energi angin telah menjadi sorotan sebagai salah satu solusi paling menjanjikan untuk mengatasi krisis energi dan perubahan iklim. Dengan memanfaatkan kekuatan alam yang tak terbatas, teknologi ini menawarkan alternatif yang lebih bersih dan berkelanjutan dibandingkan dengan sumber energi fosil. Namun, seperti setiap teknologi, penggunaan energi angin juga memiliki implikasi terhadap lingkungan. Pemanfaatan teknologi tenaga angin misalnya penggunaan turbin memiliki dampak positif dan dampak negatif terhadap lingkungan (Guan et al., 2024).

Dampak positif penggunaan energi angin adalah sebagai berikut:

1. Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca. Energi angin merupakan sumber energi bersih yang tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca selama operasinya. Dengan menggunakan tenaga angin sebagai sumber listrik, negara dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak bumi, yang semakin langka dan menyebabkan dampak lingkungan yang serius. Penggunaan energi angin dalam kelistrikan telah turut serta dalam mengurangi emisi gas buang.
2. Sumber Energi Terbarukan dan Tak Terbatas. Angin adalah sumber energi yang tak terbatas, selama matahari masih bersinar dan atmosfer bergerak. Ini berarti bahwa energi angin dapat diperbaharui tanpa batas, berbeda dengan bahan bakar fosil yang terbatas dan tidak dapat diperbaharui.
3. Pemanfaatan Lahan Multifungsi. Turbin angin dapat didirikan di lahan yang juga dapat digunakan untuk pertanian atau kegiatan lainnya, sehingga tanah tersebut dapat dimanfaatkan ganda untuk tujuan pertanian dan pembangkit listrik. Hal ini memungkinkan penggunaan lahan yang lebih efisien dan tidak mengganggu aktivitas pertanian.
4. Biaya Operasional Rendah. Setelah instalasi awal, biaya operasional pembangkit listrik tenaga angin cenderung rendah karena energi angin tidak memerlukan bahan bakar dan memiliki sedikit kebutuhan pemeliharaan rutin. Ini membuat energi angin menjadi pilihan yang ekonomis dalam jangka panjang.

Selain itu, dampak negatif dari penggunaan teknologi energi angin adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh pada Habitat Satwa Liar. Pembangunan turbin angin dapat memengaruhi habitat satwa liar dan memengaruhi pemandangan alami. Misalnya, turbin angin dapat mengganggu migrasi burung dan habitat satwa liar lainnya.
2. Dampak Visual dan Suara. Turbin angin dapat menghasilkan suara yang cukup bising, dan hal ini bisa menjadi masalah jika pembangkit listrik tenaga angin terletak dekat dengan permukiman penduduk. Selain itu, keberadaan turbin angin yang besar dapat mengubah pemandangan alami dan menimbulkan dampak visual yang signifikan.
3. Ketergantungan pada Lokasi dan Kondisi Cuaca. Kinerja turbin angin sangat tergantung pada kecepatan dan konsistensi angin di lokasi tersebut. Produksi listrik dari pembangkit listrik tenaga angin dapat tidak stabil dan bervariasi dari waktu ke waktu karena dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan fluktuasi angin.
4. Kebutuhan Lahan yang Luas. Untuk menghasilkan daya yang signifikan, seringkali diperlukan banyak turbin angin, yang membutuhkan lahan yang luas untuk diinstalasi. Hal ini bisa menjadi tantangan terutama di daerah yang padat penduduk atau memiliki keterbatasan lahan.

Secara keseluruhan, meskipun terdapat beberapa dampak negatif, penggunaan teknologi berbasis energi angin masih lebih menguntungkan bagi lingkungan dibandingkan dengan penggunaan energi fosil. Energi angin membantu mengurangi emisi gas rumah kaca, memanfaatkan sumber daya yang tak terbatas, dan memiliki biaya operasional yang rendah. Namun, dampak negatif seperti pengaruh pada habitat satwa liar, dampak visual dan suara, serta ketergantungan pada lokasi dan kondisi cuaca perlu dikelola dengan baik. Dengan penelitian dan inovasi lebih lanjut, diharapkan dampak negatif dari penggunaan energi angin dapat diminimalisir, sehingga energi angin dapat menjadi solusi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhatia, A. (n.d.). *Wind Energy Design and Fundamentals Course No: R06-004 Credit: 6 PDH*(Issue 877).
- Guan, J., Hu, J., & Li, B. (2024). How to restore ecological impacts from wind energy? An assessment of Zhongying Wind Farm through MSPA-MCR model and circuit theory. *Ecological Indicators*, 163. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112149>
- Juan, Y. H., Rezaeiha, A., Montazeri, H., Blocken, B., & Yang, A. S. (2024). Improvement of wind energy potential through building corner modifications in compact urban areas. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2024.105710>
- Liu, L., Wu, M., Mao, Y., Zheng, L., Xue, M., Bing, L., Liang, F., Liu, J., & Liu, B. (2024). Offshore wind energy potential in Shandong Sea of China revealed by ERA5 reanalysis data and remote sensing. *Journal of Cleaner Production*, 464. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142745>
- Ozkan, O., Coban, M. N., & Destek, M. A. (2024). Navigating the winds of change: Assessing the impact of wind energy innovations and fossil energy efficiency on carbon emissions in China. *Renewable Energy*, 228. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120623>
- Ren, L., Zhang, W., Wang, Y., Wang, H., Yang, H., Yao, P., & Zhu, Z. (2024). Distribution characteristics and assessment of wind energy resources in the coastal areas of Guangdong. *Sustainable Horizons*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.horiz.2023.100081>
- Sun, Y., Ai, H., Li, Y., Wang, R., & Ma, R. (2024). Data-driven large-scale spatial planning framework for determining size and location of offshore wind energy development: A case study of China. *Applied Energy*, 367. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123388>
- Tasnim, M., Rifa, T. I., Shahriar, T., & Habib, M. A. (2024). Wind energy deployment in Bangladesh: Investigating feasible locations and their characteristics. *Energy Reports*, 11, 4338–4355. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.04.013>

- Vallejo Díaz, A., & Herrera Moya, I. (2024). Urban wind energy with resilience approach for sustainable cities in tropical regions: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 199). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114525>
- Yang, Z., & Dong, S. (2024). A novel framework for wind energy assessment at multi-time scale based on non-stationary wind speed models: A case study in China. *Renewable Energy*, 226. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120406>

BAB 7

TEKNOLOGI BERBASIS PANAS BUMI

7.1 Pendahuluan

Energi panas bumi adalah salah satu sumber energi terbarukan yang berasal dari panas di dalam air panas, uap air, batuan, mineral ikutan, dan gas lain di dalam sistem panas bumi. Biasanya terhubung dengan gunung berapi, air panas ini terbentuk saat air di dalam reservoir panas bumi dipanaskan oleh magma, mencapai suhu 240-310°C. Air panas atau uap panas tersebut bisa digunakan untuk menghasilkan energi listrik melalui pengeboran dan turbin. Setelah digunakan, fluida panas ini kembali disuntikan ke dalam reservoir agar sistem panas bumi tetap berjalan. Jadi, kegiatan panas bumi tidak akan berdampak pada pasokan air bersih untuk rumah tangga, karena fluida yang digunakan berasal dari reservoir panas bumi pada kedalaman 1.500 hingga 2500 meter. Indonesia memiliki potensi panas bumi yang besar.

Negara Indonesia mempunyai gunung berapi yang membentang dari Pulau Sumatra, Jawa, Bali Sulawesi, Nusa Tenggara, Maluku sampai Papua. Hal ini karena lokasi Indonesia yang berada pada *ring of fire* atau cincin api pasifik. Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada tahun 2021, Indonesia mempunyai potensi panas bumi mencapai 23.766 gigawatt (GW) atau 23.766 MW. Ada sekitar 70 Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) dari 331 potensi panas bumi di Indonesia dan sisanya merupakan wilayah terbuka. Potensi panas bumi di Indonesia dibagi menjadi dua yaitu sumber daya dan cadangan, dengan potensi sumber daya terdiri atas spekulatif dan hipotesis, serta potensi cadangan terdiri atas terduga, mungkin, dan terbukti. *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2022* mencatat potensi energi panas bumi di Indonesia, sekitar 23.766 MW yang tersebar dari pulau Sumatera: 9.517 MW, Jawa: 8.050 MW, Bali: 335 MW, Nusa Tenggara: 1.399 MW, Kalimantan: 175 MW, Sulawesi: 3.071 MW, Maluku: 1.144 MW, Papua: 75 MW.

Energi panas bumi merupakan salah satu sumber energi yang ramah lingkungan karena berasal dari panas dalam bumi yang terus dihasilkan melalui proses radioaktif alami. Keunggulan dari energi panas bumi sebagai pembangkit listrik adalah emisi gas rumah kaca yang dihasilkan jauh lebih rendah daripada pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Selain itu, energi panas bumi tersedia sepanjang waktu dan dapat diandalkan, tidak seperti energi surya atau angin yang tergantung pada cuaca. Meskipun pengembangan proyek energi panas bumi memerlukan investasi awal yang tinggi, biaya operasional dan pemeliharaan biasanya lebih rendah.

7.2 Pemanfaatan Energi Panas Bumi sebagai Pembangkit Listrik

Ada beberapa pengaplikasian energi panas bumi misalnya untuk pembangkit listrik dan berbagai aplikasi penggunaan langsung panas lainnya. Contohnya termasuk pemanasan langsung misalnya pemandian air panas, dan budidaya ikan. Jika kita bandingkan dengan energi terbarukan lainnya seperti energi angin atau tenaga panas matahari yang tergantung pada cuaca dan intensitas sinar matahari, produksi energi dari pembangkit listrik panas bumi relatif stabil. Itulah mengapa panas bumi dianggap unggul karena dapat menjadi alternatif untuk memenuhi kebutuhan listrik dasar yang biasanya dihasilkan dari pembangkit listrik bahan bakar fosil atau energi nuklir.

1. Komponen Pembangkit Listrik Energi Panas Bumi

Ada beberapa komponen utama yang berfungsi untuk mengubah panas bumi menjadi listrik. Berikut adalah komponen-komponen kunci dalam pembangkit listrik panas bumi:

a. Sumur Produksi

Sumur ini digunakan untuk mengekstraksi uap atau air panas dari dalam reservoir geotermal di bawah permukaan bumi.

b. Pipa Pengangkut

Pipa ini mengangkut uap atau air panas dari sumur produksi ke pembangkit listrik.

c. Separator

Pada pembangkit dengan sistem flash steam atau dry steam, separator digunakan untuk memisahkan uap dari air panas.

Uap kemudian dialirkan ke turbin, sedangkan air panas yang tersisa dapat diinjeksikan kembali ke bumi.

d. Turbin

Turbin adalah komponen yang dihubungkan dengan generator dan digunakan untuk mengubah energi uap menjadi energi mekanik. Uap menggerakkan bilah turbin, yang kemudian memutar generator.

e. Generator

Generator merupakan sebuah perangkat yang berfungsi mengubah energi mekanik dari turbin menjadi energi listrik.

f. Kondenser

Setelah uap melewati turbin, uap tersebut harus didinginkan agar bisa kembali menjadi air dan digunakan kembali atau dibuang. Kondenser adalah komponen yang mendinginkan uap menjadi air. Proses pendinginan ini dapat menggunakan air dari sumber eksternal atau pendingin udara.

g. Pompa Injeksi

Pompa ini digunakan untuk menginjeksikan kembali air dingin ke dalam bumi setelah digunakan dalam proses pembangkitan listrik. Penginjeksian ini penting untuk menjaga tekanan dan keberlanjutan reservoir panas bumi.

h. Menara Pendingin (*Cooling Tower*)

Pada beberapa sistem, menara pendingin digunakan untuk membuang panas dari sistem pendingin (kondenser). Ini membantu menjaga efisiensi sistem dengan memastikan bahwa uap dapat dikondensasikan dengan efektif.

i. Sumur Injeksi

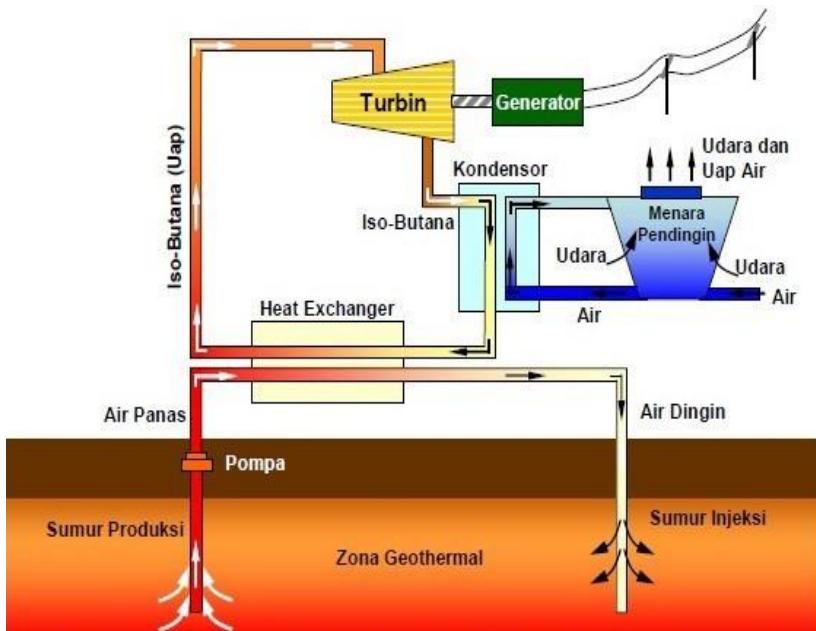
Sumur ini digunakan untuk mengembalikan air yang sudah didinginkan kembali ke reservoir panas bumi, menjaga keseimbangan dan keberlanjutan sumber daya panas bumi.

j. Sistem Pengendalian dan Pemantauan

Sistem ini mencakup perangkat keras dan perangkat lunak untuk memantau dan mengendalikan operasi pembangkit listrik, termasuk tekanan, suhu, dan aliran fluida.

Setiap komponen ini berperan penting dalam memastikan operasi yang efisien dan berkelanjutan dari pembangkit listrik panas bumi.

2. Cara Kerja Pembangkit Listrik Energi Panas Bumi



Gambar 7.1. Proses Kerja Pembangkit Listrik Panas Bumi

Pembangkit listrik panas bumi memanfaatkan panas yang berasal dari dalam bumi untuk menghasilkan listrik. Adapun beberapa tahapan cara kerja pada pembangkit listrik panas bumi adalah :

- Pengeboran Sumur, tahapan pertama dalam proses pembuatan pembangkit listrik panas bumi dimulai dengan pengeboran sumur ke dalam reservoir panas bumi, yang berada jauh di bawah permukaan bumi. Sumur ini digunakan untuk mengekstraksi air panas atau uap dari reservoir.
- Tahapan kedua adalah produksi uap atau air panas. Setelah pengeboran sumur selesai, air panas atau uap diangkat ke

permukaan. Suhu air atau uap ini bervariasi antara 240-3100C tergantung pada kedalaman dan lokasi reservoir. Pada suhu tinggi, air bisa langsung berubah menjadi uap.

- c. Tahap ketiga adalah konversi panas menjadi energi, uap atau air panas yang dihasilkan digunakan untuk memutar turbin. Ada tiga jenis utama pembangkit listrik panas bumi berdasarkan metode konversi panasnya:
 - 1) *Dry Steam Plants*: Menggunakan uap kering dari reservoir untuk langsung memutar turbin.
 - 2) *Flash Steam Plants*: Menggunakan air panas yang dialirkan ke tangki tekanan rendah, menyebabkan air mendidih dengan cepat dan berubah menjadi uap yang digunakan untuk memutar turbin.
 - 3) *Binary Cycle Plants*: Memanfaatkan air panas untuk memanaskan cairan kerja (biasanya organik) dalam sistem tertutup. Cairan ini memiliki titik didih lebih rendah dan berubah menjadi uap untuk memutar turbin. Setelah melewati turbin, uap didinginkan kembali dan digunakan kembali.
- d. Tahapan selanjutnya yaitu pemutaran generator, turbin akan memutar generator sehingga menghasilkan listrik.
- e. Pendinginan dan Injeksi Kembali, untuk menjaga tekanan dan suhu serta menjaga kelestarian lingkungan maka uap atau air didinginkan kembali dan di injeksikan kembali ke dalam reservoir.

Keunggulan dari pembangkit listrik energi panas bumi adalah bahwa pembangkit listrik ini menggunakan sumber energi terbarukan, memiliki gas karbon yang rendah, dan dapat beroperasi secara terus menerus tanpa bergantung pada kondisi cuaca. Namun, pembangkit listrik ini juga memerlukan investasi awal yang besar untuk pengeboran dan instalasi serta berpotensi menyebabkan perubahan geologi lokal.

7.3 Tantangan Energi Panas Bumi

Ada beberapa tantangan terkait pemanfaatan energi panas bumi terutama berkaitan dengan isu sosial. Banyak masyarakat masih kurang memahami dampak lingkungan dari penggunaan energi panas bumi, sehingga penting bagi semua pihak untuk meningkatkan pemahaman mereka agar tidak terjadi kesalahpahaman. Selain menyoroti keunggulan energi panas bumi, penggunaannya juga harus sesuai dengan rencana pembangunan pro-lingkungan dan harus dihindari dari potensi pencemaran atau kerusakan lingkungan.

Tantangan selanjutnya adalah terkait dengan pendanaan. RUPTL telah menetapkan target, dan salah satunya adalah target untuk mengembangkan energi panas bumi, yang tentunya membutuhkan dukungan dari Geo Dipa. RUPTL menargetkan kapasitas energi panas bumi yang terpasang hingga tahun 2028 adalah sekitar 6 GW, namun saat ini baru mencapai 2 GW. Artinya, masih ada kekurangan sekitar 4 GW dalam waktu 10 tahun ke depan. Selain itu tantangan lainnya adalah perkembangan teknologi pada era revolusi industri 4.0, yang meliputi teknologi kecerdasan buatan, pengembangan dan pemanfaatan kendaraan listrik, serta energi terbarukan dan pengembangan teknologi informasi. Panas bumi merupakan salah satu solusi, terutama karena Indonesia memiliki sumber daya gunung berapi yang sangat besar. Yang perlu dilakukan hanyalah memanfaatkannya.

1. *High-Relief Terrain*

Salah satu kendala pengembangan panas bumi adalah lokasi yang berada di daerah vulkanik yang cenderung memiliki lereng curam dan batuan keras vulkanik yang seperti piroklastik dan lahar yang tidak terkonsolidasi dengan baik. Adanya area alterasi hidrotermal yang cukup besar pada daerah vulkanik menyebabkan bahaya erupsi hidrotermal dan potensi bahaya gas H₂S. Menurut (Hochstein & Sudarman, 2008) keberadaan potensi energi panas bumi di Indonesia yang membentang sepanjang busur vulkanik, memiliki topografi tinggi dan biasanya dikenali melalui manifestasi permukaan yang melepaskan air atau uap panas ke permukaan tanah.

Secara umum, lereng pegunungan umumnya juga mengandung lapisan batuan piroklastik yang rapuh dan tidak terkonsolidasi, sehingga akan menyulitkan proses pengangkutan peralatan selama proses pembangunan proyek panas bumi terutama pada proses pengeboran. Menurut Utami (2010), area panas bumi di Indonesia karena karakteristik unik area vulkanik di mana panas, batu, dan cairan berinteraksi secara alami, aktif, dan dinamis, hal ini akan menjadi tantangan tersendiri pada saat proses melakukan pekerjaan sipil.

2. Kondisi Geografis Indonesia Sebagai Negara Kepulauan

Sebagai negara kepulauan yang membentang dari sabang di ujung barat dan merauke di ujung timur, Indonesia terdiri dari kurang lebih 17.000 pulau, dengan luas daratan mencapai 1.811.569 km² dan luas lautan mencapai 93.000 km². Potensi sumber energi panas bumi di Indonesia tersebar luas mulai dari pulau Weh di Provinsi Aceh hingga Kepulauan Maluku dan Papua di bagian timur. Karena kondisi daerah berupa kepulauan maka transportasi alat berat yang digunakan dalam kegiatan produksi dan eksplorasi panas bumi akan menjadi tantangan tersendiri, karena harus melintasi banyak selat dan lautan.

Pulau-pulau di bagian timur Indonesia pada saat ini sedang mengalami peningkatan permintaan listrik. Salah potensi sebagai solusi permasalahan tersebut yaitu pembangkit listrik energi panas bumi. Namun, Indonesia belum bisa memanfaatkan keuntungan tersebut. Sebagai contoh, pertumbuhan ekonomi rata-rata sebesar 5,3% per tahun dalam 5 tahun terakhir yang terjadi di pulau Flores Provinsi Nusa Tenggara Timur (ESDM, 2017).

Provinsi Nusa Tenggara Timur dengan berbagai jenis sumber daya alamnya, mulai tambang emas dan mangan di Pulau Timor, serta sektor pariwisata dan perikanan yang sedang berkembang, dipastikan akan mengalami permintaan pasokan listrik. Selain itu, penjualan listrik PLN di wilayah ini telah meningkat sebanyak 12,5% per tahun dalam 5 tahun terakhir, dengan sebagian besar permintaan berasal dari sektor perumahan yang menggunakan 58,64% dari total listrik. Karena kondisi ini, PLN memperkirakan bahwa permintaan listrik di provinsi ini akan naik sekitar 8,9% per

tahun selama sepuluh tahun mendatang (ESDM, 2017). Namun, akibat pembangunan proyek pembangkit listrik dan transmisi yang masih tertunda, provinsi Nusa Tenggara Timur saat ini masih kekurangan pasokan listrik. Salah satunya penyebab tertundanya proyek tersebut adalah masalah logistik dan kesulitan pengiriman peralatan ke bagian Timur Indonesia sehingga meningkatkan biaya proyek pengembangan energi panas bumi di pulau-pulau Indonesia bagian timur.

3. Infrastruktur yang Pembangunannya Belum Merata

Pembangunan infrastruktur seperti akses jalan, moda transportasi dan jaringan listrik di Indonesia yang belum merata menyebabkan kendala pengangkutan peralatan yang digunakan pada pembangunan pembangkit listrik panas bumi. Menurut Sandee (2016) karena Indonesia merupakan negara kepulauan salah satu kendala yang dihadapi yaitu tingginya biaya pengiriman domestik akibat transportasi antar pulau. Pengangkutan logistik dan peralatan pengeboran akan menjadi lebih sulit dikarenakan lokasi keberadaan sumber potensial panas bumi Indonesia umumnya berada di kawasan hutan pegunungan yang jauh dari akses jalan raya, baik jalan Nasional, jalan Provinsi maupun jalan Kabupaten. Biaya pengembangan proyek panas bumi menjadi semakin tinggi seiring tingginya biaya transportasi logistik dan mobilisasi peralatan. Hal ini berdampak pada investasi di bidang panas bumi ini menjadi kurang menarik jika dibandingkan dengan pengembangan energi di bidang lainnya seperti tenaga surya, tenaga angin, tenaga air, atau minyak bumi dan gas alam.

4. (*Single Buyer System*) Energi Listrik dengan Pembeli Tunggal

Pengembangan panas bumi saat ini menggunakan sistem pembeli tunggal energi listrik atau *single buyer system* adalah sebuah model dalam industri listrik di mana satu entitas, disebut single buyer karena bertanggung jawab untuk membeli listrik dari berbagai produsen dan menjualnya kepada konsumen atau perusahaan distribusi. Dalam sistem ini, produsen listrik tidak berurusan langsung dengan konsumen akhir, tetapi menjual energi mereka ke pembeli tunggal, yang kemudian menyalurkan listrik

tersebut kepada pelanggan. Hal menyebabkan pengembang mengalami kesulitan dalam menentukan harga jual yang sesuai. Karena sistem *single buyer* akan menghilangkan mekanisme pasar dan pemerintah secara berkala harus membuat tarif yang dapat mengantisipasi naik turunnya biaya operasional, tarif yang dipatok tersebut akan sulit disepakati oleh kedua belah pihak (penjual dan pembeli).

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada tahun 2008 mengeluarkan Permen No. 14/2008 yang mengatur tentang harga tender untuk sistem energi panas bumi. Perhitungan Biaya Pokok Penyediaan (BPP) atau harga maksimum dalam proses tender panas bumi akan dihitung berdasarkan persentase biaya yang dikeluarkan untuk pembangkit listrik PLN. Harga maksimum pada proyek dengan kapasitas antara 10-55 MW, adalah 85% dari BPP pada tegangan tinggi atau tegangan sedang dari sistem listrik lokal. Sedangkan harga maksimum pada proyek dengan kapasitas di atas 55 MW, adalah 80% dari BPP pada tegangan tinggi dari sistem listrik lokal. Pada tahun 2009, terdapat penetapan tarif listrik baru semua jenis generator, termasuk pembangkit listrik tenaga panas bumi. Hal ini sesuai dengan peraturan Kementerian ESDM No. 5/2009 yang menetapkan tarif listrik baru bagi. Sesuai peraturan ini berdasarkan jenis energi, lokasi, kapasitas, dan faktor kapasitas maka PLN harus membuat patokan harga sendiri. Sejak berlakunya peraturan baru ini, maka peraturan ESDM tahun 2008 No.14 sudah tidak berlaku lagi. Namun, PLN masih belum menjelaskan perkiraan harga mereka sendiri dan masih dapat bernegosiasi harga Penjualan Tenaga Listrik Bahan Bakar (PJBL) terhadap harga penawaran yang diajukan oleh pemenang tender. Pada tahun 2009, pemerintah menerbitkan dua peraturan tambahan. Pertama, tentang penetapan tarif listrik untuk energi terbarukan skala kecil (hingga 10 MW) atau daya berlebih pada Permen No.31/2009. Kedua, ada PerMen ESDM No. 32/2009 yang menetapkan 9,7 sen USD/kWh untuk harga tertinggi proyek energi panas bumi. Namun, Permen No. 32/2009 ini masih belum memberikan kejelasan tarif, karena masih belum adanya keterkaitan antara harga PJBL dan harga penawaran.

Pada tahun 2011 Kementerian ESDM menerbitkan peraturan lain guna mengaitkan harga penawaran dan harga PJBL, yang memastikan jika harga penawaran akan digunakan pada tarif PJBL (Peraturan ESDM No. 02/2011). Pada Permen ini tarif plafon yang diterapkan tetap sama, hal ini mengakibatkan proyek pengembangan panas bumi skala kecil tidak ekonomis untuk dilaksanakan. Saat ini, PLN sedang melakukan pengembangan energi panas bumi di beberapa Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) di Indonesia yang bertujuan mengurangi biaya eksplorasi dan produksi sehingga dapat menurunkan harga tarif listrik. WKP Tulehu merupakan salah satu contoh lapangan panas bumi yang sedang dikelola PLN yang berlokasi di Provinsi Maluku.

5. Lokasi Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) yang Berada di Kawasan Konservasi Cagar Alam dan Taman Nasional

Potensi panas bumi di Indonesia terutama terletak di dalam kawasan hutan konservasi atau cagar alam. Menurut Mujiyono dan Tiess (2013), sekitar 80% sumber energi panas bumi berada di hutan lindung. Menurut Undang-Undang Kehutanan No. 39/2004, pengeboran di hutan lindung tidak diizinkan, yang menghambat pengembangan panas bumi di Indonesia. Dibutuhkan lahan yang luas untuk pembangunan infrastruktur pengeboran dan unit PLTP, dan jika pengembang tidak memiliki hak atas tanah, pengembangan WKP tidak dapat dilakukan. Hal ini akan sulit mencapai target pemanfaatan panas bumi yang ditetapkan oleh pemerintah, terutama untuk WKP yang masih dalam tahap eksplorasi. Masih belum jelasnya penggunaan antara lahan antara kawasan hutan dan taman nasional merupakan hal yang rumit untuk dirampangkan karena memerlukan perijinan lintas kementerian dan banyak aspek yang harus terlibat dalam proses perijinan. Hal ini berpotensi menciptakan proses perijinan yang rumit dan panjang. Saat ini pemerintah masih mengevaluasi proses perijinan proyek pengembangan panas bumi yang lengkap. Pada masa mendatang diharapkan ada suatu sistem perijinan satu pintu yang dapat meningkatkan efisiensi proses perijinan.

6. Minimnya Program Edukasi Atau Penyuluhan Terhadap Masyarakat Lokal Terkait Proyek Panas Bumi

Banyaknya masyarakat yang menolak pembangunan energi panas bumi yang disebabkan oleh kurangnya pemahaman tentang pentingnya pembangunan energi listrik panas bumi, menjadi salah satu tantangan tersendiri. Hambatan ini biasanya terjadi saat proyek panas bumi masih dalam tahap eksplorasi, di mana pemerintah daerah, perusahaan pengembang, dan masyarakat lokal masih saling mengenal dan belum memiliki rasa percaya satu saling mempercayai dengan pihak-pihak terkait. Selama 3 atau 6 bulan sebelum pelaksanaan proyek sebaiknya sudah dilakukan edukasi dan penyuluhan tentang pembangunan proyek panas bumi bagi masyarakat, sehingga dengan meningkatkan frekuensi sosialisasi secara bertahap sesuai dengan tingkat penerimaan masyarakat. Setelah melakukan sosialisasi, pengembang bekerjasama dengan pemerintah daerah dalam proses pembebasan lahan. Dengan demikian, diharapkan masyarakat dapat memahami pentingnya keberadaan proyek panas bumi di daerah mereka.

7. Kesulitan Pembebasan Tanah

Purba et.al. (2018) juga menjelaskan ada beberapa tantangan pada saat melakukan pembebasan tanah untuk proyek panas bumi. Pertama adalah masih kurangnya kepercayaan dari masyarakat kepada perusahaan pengembang panas bumi, masyarakat takut ditipu mengenai penawaran harga ganti rugi lahan. Penyebab lainnya adalah para pemilik lahan masih banyak yang belum memahami mekanisme mekanisme jual beli tanah yang menyebabkan mereka enggan menjual lahan milik mereka karena takut tidak diberikan ganti rugi yang sesuai. Alasan lain adalah lahan di Indonesia masih dimiliki oleh satu desa secara komunal bukan secara pribadi perseorangan. Hal ini menyebabkan lamanya proses jual beli lahan karena semua hal yang terkait tanah harus di musyawarahkan terlebih dahulu, apalagi jika ada anggota masyarakat yang tidak setuju dengan keputusan ini.

Kedua adalah masyarakat meminta lahan pengganti sesuai dengan kebutuhan mereka. Masyarakat umumnya lebih memilih

diberikan lahan pengganti yang dapat merkea gunakan sebagai sawah atau kebun. Hal ini menjadi sulit diberikan terutama di daerah pegunungan, pengembang pastinya kesulitan menemukan area tanah yang datar yang bisa dijadikan lahan pengganti sehingga menyulitkan kesepakatan jual-beli.

Ketiga, lahan yang memiliki sumber panas bumi termasuk dalam kawasan konservasi taman nasional atau hutan lindung. Hal ini menjadi kendala karena pembangunan proyek panas bumi berada di bawah pengawasan Kementerian ESDM sementara pengelolaan kawasan hutan lindung dan taman nasional berada di bawah Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Sehingga para pengembang sering harus menunggu hingga kedua instansi pemerintah tersebut berkomunikasi dan berkoordinasi terkait permasalahan lahan yang dibutuhkan oleh pengembang.

8. Minimnya Tenaga Ahli Panas Bumi di Indonesia Saat Ini

Menurut RUEN tahun 2017, target pemerintah Indonesia adalah menambahkan pembangkit listrik panas bumi hingga mencapai 7.241,5 MW pada tahun 2025. Namun, hingga akhir tahun 2017, hanya 1.808,5 MW kapasitas yang terpasang, sehingga untuk mencapai target tersebut masih memerlukan tambahan 5.432,5 MW. Seiring peningkatan kapasitas hampir empat kali lipat, maka terjadi peningkatan kebutuhan akan tenaga kerja, baik staf maupun ahli. Menurut Umam et.al. (2018), tambahan kapasitas sebanyak 5.433 MW akan membutuhkan sekitar 23.000 tenaga kerja tambahan. Berdasarkan perhitungan dari Jennejohn (2010), diprediksi Indonesia membutuhkan sekitar 87.000 orang per tahun, termasuk para insinyur, ahli pengeboran, ahli geofisika, geokimia, ahli geologi, ahli hidrologi, dan tenaga kerja terampil lainnya guna pengoperasian dan pemeliharaan proyek pengembangan lapangan panas bumi (Smillie et al., 2015).

Salah satu cara cepat untuk memenuhi kebutuhan sumber daya manusia panas bumi adalah dengan mengundang tenaga kerja asing yang memiliki pengalaman dalam proyek panas bumi. Namun, mengundang pekerja asing akan meningkatkan biaya produksi karena mereka membutuhkan gaji yang tinggi. Selain itu, ada regulasi yang membatasi penggunaan tenaga kerja asing

dalam proyek panas bumi, kecuali untuk transfer pengetahuan. Belum ada standar kompetensi khusus untuk personel panas bumi yang terdokumentasi. Semua persyaratan untuk orang kunci dalam pengeboran masih mengacu pada pengalaman dan kompetensi di industri minyak dan gas. Ini dapat mengancam keselamatan kerja dan lingkungan.

7.4 Penutup

Teknologi panas bumi sebagai pembangkit listrik menawarkan solusi yang signifikan dalam menghadapi tantangan energi global, khususnya dalam transisi menuju sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Potensi besar yang dimiliki oleh panas bumi untuk menghasilkan listrik dengan emisi karbon yang rendah membuatnya menjadi komponen penting dalam portofolio energi masa depan.

Selama penelitian ini, telah diidentifikasi bahwa teknologi panas bumi memiliki sejumlah keunggulan, termasuk stabilitas pasokan energi, ketersediaan sepanjang waktu, dan dampak lingkungan yang relatif rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik berbasis fosil. Namun, tantangan seperti biaya awal yang tinggi, kebutuhan akan teknologi pengeboran yang canggih, serta risiko lingkungan dan seismik perlu ditangani dengan strategi yang tepat. Untuk masa depan, beberapa langkah strategis dapat dianjurkan:

1. Pengembangan Teknologi

Inovasi dalam teknologi pengeboran dan konversi energi dapat meningkatkan efisiensi dan menurunkan biaya produksi energi panas bumi.

2. Kebijakan dan Regulasi

Dukungan dari pemerintah dalam bentuk insentif, regulasi yang mendukung, dan investasi infrastruktur sangat diperlukan untuk mendorong perkembangan sektor ini.

3. Edukasi dan Kesadaran Publik

Meningkatkan kesadaran dan pemahaman publik tentang manfaat energi panas bumi dapat membantu dalam mengatasi hambatan sosial dan politik yang mungkin ada.

4. Kerja Sama Internasional

Mengingat distribusi sumber daya panas bumi yang global, kerjasama internasional dalam penelitian, pengembangan, dan pengelolaan sumber daya sangat penting.

Dengan komitmen yang kuat dari semua pihak terkait, panas bumi dapat berkontribusi secara signifikan dalam mencapai tujuan keberlanjutan global. Di masa depan, peran panas bumi sebagai sumber energi bersih dan andal diharapkan terus berkembang, membantu mengurangi dampak perubahan iklim dan memperkuat ketahanan energi global.

DAFTAR PUSTAKA

- Bertani, R. (2016). Geothermal power generation in the world 2010–2014 update report. *Geothermics*, 60, 31-43.
- DiPippo, R. (2016). *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact*. Butterworth-Heinemann.
- Dickson, M. H., & Fanelli, M. (2004). *Geothermal Energy: Utilization and Technology*. Earthscan.
- Garg, S. K., & Combs, J. (2015). Approaches to production forecasting for geothermal reservoirs with an application to a large fractured reservoir. *Geothermics*, 55, 24-38.
- Hochstein, M. P., & Hunt, T. M. (Eds.). (2010). *Geothermal energy in the Asia Pacific: geothermal resources and development*. New Zealand Geothermal Association.
- Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 2682 K/21/MEM/2008 tentang Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2008 s.d. 2027.
- Lund, J. W., Freeston, D. H., & Boyd, T. L. (2010). Direct utilization of geothermal energy 2010 worldwide review. *Geothermics*, 39(2), 129-144.
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (Permen ESDM) Nomor 31 Tahun 2009 tentang pedoman teknis dalam menyusun Rencana Induk Gas Bumi Nasional.
- Pruess, K., & Garcia, J. (2002). Multiphase flow dynamics during boiling in a porous medium. *Journal of Hydrology*, 275(1-2), 69-85.
- Purba, D.P., Dimwani, W., & Adityatama, D.W. (2018a). Basic Considerations in Minimizing the Uncertainty During Developing Geothermal Exploration Drilling Strategy in Indonesia. Proceedings 7th ITB International Geothermal Workshop 2018. Bandung, Indonesia.
- Richard W. Asplund, *Profiting from Clean Energy: a Complete Guide to Trading Green in Solar, Wind, Ethanol, Fuel Cell, Power Efficiency, Carbon Credit Industries, and More*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2008.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2003 tentang Panas Bumi.

BAB 8

PROSPEK DAN PERAN ENERGI TERBARUKAN DI MASA DEPAN

8.1 Pendahuluan

Masa depan energi di Indonesia tidak lepas dari potensi yang dimilikinya dalam mengembangkan energi alternatif sehingga mampu mendukung lingkungan yang bersih serta mencegah pemanasan global. Beberapa alternatif energi yang memiliki potensi dikembangkan antara lain: tenaga air, tenaga angin, geothermal, etanol biomasa dan biofuel turunan ke dua yang berasal dari limbah pertanian, limbah kayu, dan limbah lainnya, sistem kogenerasi *fuel-cell* untuk rumah tangga, dan lainnya (dalam proses peneliti). Untuk itulah salah satu kepentingan nasional dari Pemerintah Indonesia memenuhi ketersediaan energi bersih dan terjangkau telah menjadi tujuan pembangunan berkelanjutan 2030. Keberlanjutan energi menjadi isu global serta memerlukan komitmen pemerintah pusat maupun pemerintah lokal untuk turut melaksanakan tujuan tersebut. Kebijakan energi baru dan energi terbarukan ini tertuang dalam Peraturan Pemerintah No. 79 tahun 2014 tentang kebijakan energi nasional (KEN). Pada dokumen kebijakan ini, energi baru dan energi terbarukan ditargetkan akan mencapai 23% pada tahun 2025, sementara pada tahun 2050 minimal mencapai 31%. Dalam hal ini Pemerintah Indonesia memiliki tekad untuk merumuskan dan menerapkan Kebijakan Energi Nasional (KEN) yang transparan dan terukur. Upaya ini bertujuan menjadi pedoman dalam pengelolaan energi nasional. Untuk itulah prinsip keadilan, keberlanjutan, dan ketahanan lingkungan, dengan tujuan menciptakan kemandirian energi dan ketahanan energi nasional yang kuat menjadi pegangan KEN dalam merumuskan kebijakan. Arsita (2021) menyatakan bahwa dalam kebijakan KEN mengacu pada Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 79 tahun 2014, yang didesain oleh Dewan Energi Nasional (DEN) dan disahkan melalui persetujuan DPR RI.

Keberadaan energi terbarukan di masa mendatang sangat penting, seperti energi matahari, angin, air, dan bio-masa, memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan sumber energi konvensional berbasis fosil, seperti minyak bumi, batubara, dan gas alam. Beberapa aspek pendukung keberadaan energi terbarukan di masa mendatang sebagai berikut,

1. Penurunan Biaya: Biaya energi terbarukan terus menurun seiring dengan perkembangan teknologi dan skala produksi yang lebih besar. Panel surya dan turbin angin, misalnya, semakin terjangkau, membuatnya lebih mudah diadopsi secara luas.
2. Ketersediaan Sumber Daya Alam: Energi terbarukan berdasarkan sumber daya alam yang melimpah, seperti matahari dan angin, yang dapat ditemukan di hampir seluruh dunia. Ini berarti energi terbarukan dapat diakses secara luas tanpa tergantung pada pasokan terbatas.
3. Ramah Lingkungan: Energi terbarukan menghasilkan sedikit atau bahkan tidak ada emisi gas rumah kaca dan polusi udara, yang membantu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan perubahan iklim.
4. Kemandirian Energi: Energi terbarukan dapat membantu negara-negara menjadi lebih mandiri dalam pasokan energi. Dengan kemandirian energy ini dapat mengurangi ketergantungan pada impor bahan bakar fosil dan fluktuasi harga yang terkait dengannya.
5. Inovasi Teknologi: Penelitian terus berlanjut untuk meningkatkan efisiensi dan kapasitas teknologi energi terbarukan. Penemuan baru dalam penyimpanan energi, seperti baterai *lithium-ion* yang lebih baik, juga akan memperkuat prospek energi terbarukan.
6. Penciptaan Lapangan Kerja: Industri energi terbarukan menciptakan banyak lapangan kerja baru, dari produksi hingga instalasi dan pemeliharaan peralatan.
7. Pengembangan Infrastruktur: Pemerintah dan perusahaan swasta sedang berinvestasi dalam pengembangan infrastruktur energi terbarukan, seperti jaringan listrik terbarukan dan instalasi panel surya dan turbin angin.

Namun, ada beberapa tantangan yang perlu diatasi dalam mengoptimalkan potensi energi terbarukan, termasuk ketidakstabilan pasokan (misalnya, kurangnya angin atau sinar matahari), masalah penyimpanan energi, dan masalah sosial seperti konflik tanah dan pengaruh terhadap komunitas lokal. Meskipun ada tantangan ini, prospek energi terbarukan di masa mendatang tetap sangat positif, dan terus menjadi fokus utama dalam upaya global untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, meningkatkan keberlanjutan, dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Keberlanjutan masa depan bumi dan kehidupan manusia akan sangat bergantung pada perkembangan dan adopsi energi terbarukan.

8.2 Prospek Energi Terbarukan

Prospek energi terbarukan di Indonesia yang dengan keragaman kekayaan alamnya dan dengan posisinya yang strategis mempunyai potensi untuk mengembangkan *eco-technology*. Istilah Ekologi-teknologi ini diciptakan dengan melihat potensi pemberdayaan masyarakat dan pemberdayaan regional yang pada akhirnya mampu mensejahterakan masyarakatnya melalui swasembada energi dan optimalisasi pemanfaatan sumber daya. Kondisi geografis Indonesia yang tersebar di ribuan pulau dan kepulauan menjadi salah satu prospek yang perlu dipertimbangkan dalam menyediakan energi yang tidak terpusat, melainkan juga melalui swasembada energi secara lokal/wilayah. Swasembada dengan mengkombinasikan antara energi terbarukan dan tidak terbarukan merupakan salah satu prospek yang patut dilaksanakan guna memenuhi kebutuhan energi di masa datang. E. Kampire (2022) dalam tulisannya menyatakan bahwa dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan yang tersedia secara lokal akan dapat mengurangi biaya energi dalam waktu jangka panjang. Selain daripada itu juga akan meningkatkan efisiensi penggunaan energi baik dalam lingkup lokal maupun nasional.

Sementara hal positif lainnya dengan mengembangkan konsep *eco-technology* adalah potensi terciptanya lapangan kerja baru. Hal ini dapat meningkatkan pendapatan masyarakat lokal, dan mendorong pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan di wilayah sekitarnya.

Dalam hal ini sektor energi terbarukan telah membuka peluang ekonomi yang luas. Investasi dalam energi terbarukan tidak hanya menciptakan lapangan kerja baru dalam instalasi, pemeliharaan, dan manufaktur, tetapi juga dapat merangsang pertumbuhan ekonomi lokal dan meningkatkan daya saing industri.

Pada masa yang akan datang prospek energi terbarukan tidak akan lepas dari perkembangan teknologi. Teknologi energi terbarukan terus berkembang dengan pesat. Misalnya, efisiensi panel surya meningkat, dan turbin angin menjadi lebih besar dan lebih efisien. Inovasi dalam penyimpanan energi, seperti baterai lithium-ion dan teknologi penyimpanan lainnya, juga memperbaiki kestabilan dan keandalan sistem energi terbarukan. Sejalan dengan upaya inovasi teknologi penyimpanan energi yang disampaikan oleh Z.Yang (2010) bahwa sangat penting pengembangan teknologi penyimpanan energy dalam rangka mendukung upaya *eco-technology energy* sehingga dengan teknologi penyimpan energi yang berkembang saat ini telah membuat model penyimpanan yang berkapasitas tinggi. Untuk itulah hasil upaya eco-technology dalam jumlah besar tidak akan sia-sia melalui adanya teknologi penyimpan yang berkapasitas tinggi dari berbagai sumber energi terbarukan.

Akhirnya yang menjadi perhatian utama dari semua hal di atas adalah kesadaran global tentang perubahan iklim dan dampak lingkungan dari bahan bakar fosil telah mendorong permintaan untuk solusi energi yang lebih bersih. Konsumen, perusahaan, dan institusi semakin memilih energi terbarukan sebagai bagian dari komitmen mereka terhadap keberlanjutan. Dari semua pernyataan di atas dapat disimpulkan bahwa prospek energi terbarukan sangat positif dan menjadi salah satu pilar utama untuk masa depan energi global yang lebih bersih, efisien, dan berkelanjutan.

8.3 Peran Energi Terbarukan

Bericara tentang energi terbarukan bukan hanya berbicara tentang peran yang sangat penting dalam mengatasi berbagai isu dan tantangan global seperti perubahan iklim, ketergantungan pada bahan bakar fosil, kebutuhan akan keamanan energi, tetapi juga semua yang terkait dengan kesehatan dan peningkatan kualitas hidup.

Peran yang tidak hanya melibatkan satu atau dua pemangku kepentingan saja tetapi juga terintegrasi dan bersinergi antar para pemangku kepentingan.

Pada tulisannya N. W. Jager (2020), menyatakan bahwa dengan melibatkan peran masyarakat dan pemangku kepentingan ketika proses pengambilan keputusan dan implementasi program lingkungan dapat mendorong adopsi perilaku berkelanjutan yang lebih luas. Untuk itulah partisipasi masyarakat dalam pengelolaan lingkungan dapat meningkatkan pemahaman dan kesadaran akan pentingnya perlindungan lingkungan, serta mendorong perubahan perilaku yang berkelanjutan. Sementara peran perilaku berkelanjutan dalam suatu sistem tata kelola lingkungan untuk pengembangan suatu wilayah yang berbasis energi terbarukan dapat diintegrasikan dalam sebuah kerangka konseptual yang menggambarkan interaksi antara tiga aspek penting, yaitu perilaku berkelanjutan, tata kelola lingkungan, dan pengembangan pemanfaatan sumber energi terbarukan. Melalui integrasi ketiga aspek ini, maka akan tercapai keberlanjutan lingkungan, ekonomi, dan sosial yang seimbang, serta memberikan kontribusi dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan secara keseluruhan. Ini sejalan dengan pernyataan dari J. M. Parente (2021) yang menyatakan bahwa perilaku berkelanjutan menjadi sentral peran dalam perkembangan tata kelola lingkungan. Perilaku berkelanjutan selalu melibatkan kesadaran dan tindakan yang bertanggung jawab terhadap lingkungan.

Lebih lanjut K Jermsittiparsert (2020), menyatakan bahwa pengembangan yang berbasis energi terbarukan dalam lingkup manajemen lingkungan juga mencakup pengelolaan infrastruktur, pemantauan dampak lingkungan, serta kebijakan atau regulasi yang mendukung praktik berkelanjutan. Untuk itulah tata kelola energi akan selalu bersinergi dalam mewujudkan dari era ekonomi hijau tetapi melangkah menuju pada ekonomi biru di masa yang akan datang.

8.4 Masa Depan Energi Terbarukan

Energi terbarukan akan menjadi energi masa depan yang digunakan oleh semua Negara. Masa depan energi terbarukan terlihat

sangat menjanjikan, dengan banyak potensi dan inovasi yang dapat membentuk upaya dunia dalam memenuhi kebutuhan energinya.

Di Indonesia sendiri telah dilakukan segala upaya dalam mendukung mengembangkan potensi dan inovasi energi terbarukan lewat pengaturan pemanfaatan energi. Dan hal ini adanya Peraturan Presiden (Perpres) yang mengatur pemanfaatan energi terbarukan, seperti tertuang dalam Perpres Nomor 4 Tahun 2016 tentang Percepatan Infrastruktur Ketenagalistrikan. Dengan Perpres ini memberikan wewenang kepada pemerintah pusat dan daerah untuk memberikan berbagai bentuk dukungan, termasuk insentif fiskal, kemudahan dalam perizinan, penetapan harga beli tenaga listrik dari berbagai sumber EBT, pembentukan badan usaha khusus untuk penyediaan tenaga listrik, dan subsidi terhadap terbarukannya energi (*Renewable Energy*) di Indonesia. Dalam rangka mewujudkan masa depan energi terbarukan maka diperlukan suatu transformasi teknologi.

Ada 2 (dua) proses dalam transformasi teknologi dan energi terbarukan terhadap penciptaan masa depan yang berkelanjutan dan efisien secara global, yaitu proses transisi dan proses integrasi. Proses transisi merupakan transformasi menuju keberlanjutan energi dengan memprioritaskan sumber daya terbarukan, seperti energi surya, angin, dan hidro. Hal ini memungkinkan pengurangan emisi karbon, mendukung mitigasi perubahan iklim, dan menciptakan lingkungan yang lebih bersih. Proses integrasi teknologi canggih dengan kecerdasan buatan dan *Internet of Things*, memainkan peran kunci dalam meningkatkan efisiensi operasional dan manajemen sumber daya. Transformasi energi tidak hanya berkaitan dengan mengurangi konsumsi energi, tetapi juga memberikan solusi inovatif untuk tantangan masa depan. Salah satu tantangannya adalah terkait dengan perubahan iklim global. Dengan kolaborasi lintas sektor dan inovasi terus-menerus, maka transformasi teknologi dan energi terbarukan bukan hanya merupakan langkah menuju keberlanjutan lingkungan, tetapi juga pendorong utama menuju masa depan yang berkelanjutan dan efisien secara global.

Hal lain yang diungkapkan oleh S.Soemantri B (2008) terkait dengan produksi etanol biomasa sebagai sumber energi terbarukan ini dapat diproduksi oleh minimal 120 negara di dunia. Sedangkan jika

diproduksi dari sumber energi fosil hanya dihasilkan oleh 15 negara penghasil minyak saja. Dengan pernyataan ini, maka ketergantungan energi dapat diminimalkan dan setiap negara akan mampu melakukan swa-sembada energi. Indonesia sebagai negara agraris memiliki potensi yang sangat besar dalam mengembangkan biofuel sebagai sumber energi terbarukan, baik bioetanol maupun biodiesel untuk menggantikan atau menjadi campuran pada bahan bakar fosil dalam rangka mengurangi konsumsi bahan bakar minyak nasional.

Salah satu BUMN milik pemerintah (Pertamina) telah melakukan upaya pemanfaatan biofuel sebagai bahan bakar alternatif. Hal tersebut diamanatkan oleh Undang-undang No.30 tahun 2007 tentang energi untuk meningkatkan penggunaan energi terbarukan. Undang-undang ini kemudian diperkuat lagi oleh Peraturan Menteri (Permen) ESDM Nomor 32 tahun 2008 yang memuat mandatori Bahan Bakar Nabati (BBN) di Indonesia. Dibalik keberhasilan upaya tersebut, ditemukan bahwa pengadaan bioetanol juga mengalami kendala yang sama dengan biodiesel. Dalam pasar industri energi dunia, harga bioetanol yang lebih tinggi dari harga premium telah menyebabkan keengganahan masyarakat untuk menggunakan campuran bioetanol sebagai salah satu bahan bakar alternatif. Hal tersebutlah yang menjadi penyebab respon masyarakat terhadap bahan bakar bioetanol sangat rendah, sehingga produksi bio-ethanol dalam negeri justru diekspor ke luar negeri seperti Filipina.

Walaupun kondisi pasar energi dunia dan respon masyarakat yang rendah namun Pemerintah Indonesia tetap mengembangkan inovasi-inovasi *bio-fuel* yang dilakukan oleh tenaga ahli di bidang *bio-fuel*. Terlebih lagi secara Payung hukum terkait produksi, distribusi dan penggunaan biofuel juga sudah ada, sehingga produksi, perdagangan atau pemakaian biofuel di Indonesia bersifat legal. Dengan semua potensi tersebut, seharusnya Indonesia mampu mewujudkan kemadirian energi melalui pengembangan biofuel sebagai bahan bakar pengganti ataupun untuk campuran bahan bakar minyak. Selain daripada hal tersebut solusi pemberian insentif akan mendorong industri biofuel dalam negeri dan juga merangsang masyarakat untuk beralih menggunakan bahan bakar biofuel. Sementara pembatasan impor akan melindungi industri biofuel dalam negeri agar tidak mati karena terdesak oleh produk biofuel dari luar

negeri. Dengan meningkatnya dukungan kebijakan dan investasi dalam riset dan pengembangan, biaya energi terbarukan kemungkinan akan terus menurun.

Sebagai catatan akhir disampaikan bahwa teknologi energi terbarukan yang masih berkembang di masa yang akan datang yaitu seperti energi gelombang laut, energi pasang surut, dan energi hidrogen hijau, kemungkinan akan menjadi lebih penting dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsita, S. A., Saputro, G. E., & Susanto, S. , 2021. Perkembangan kebijakan energi nasional dan energi baru terbarukan Indonesia. *Jurnal Syntax Transformation*, 2(12), 1779-1788.
- Bahman, Z, 2020 "Hydrogen Energy: Challenges and Solution for a Cleaner future," Springer Nature Switzerland Press, hal. 155-171.
- E. Kampire, E. Mudaheranwa, R. Byiringiro, J. B. Barorukize, J. C. Habimana dan D. Ntakirutimana, 2022, "*The Possibility of Renewable Energy based Tourism in Rwanda: A proposal for Karongi Community in Western Province*," 2022 IEEE PES/IAS PowerAfrica, pp. 1-5.
- Ermawati, T. and Negara, S. D. 2014, Pengembangan Industri Energi Alternatif: Studi Kasus Energi Panas Bumi Indonesia. Jakarta: LIPI Press.
- E. Sulistyaningsih, 2022, "*Community Participation In Improving Environmental Protection and Effort Management*," IOP Conference Series. Earth and Environmental Science, vol. 1030, no. 1, p. 012021.
- Fauzi, A, Bahri, S. and Akuanbatin, H. 2000, "*Geothermal Development in Indonesia : an Overview of Industry Status and Future Growth*", Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, May 28 -June 10, 2000, (49), pp. 1109-1114. 126 Energi Baru Terbarukan Sebagai Energi Alternatif.
- K. Jermsittiparsert, (2020), "*Factors affecting firm's energy efficiency and environmental performance: the role of environmental management accounting, green innovation and environmental proactivity*," International Journal of Energy Economics and Policy, vol. 10, no. 3, pp. 325-331.
- J. M. Parente, R. Kesharwani dan E. Reitz, 2021, "*Differences in Perception and Engagement of Sustainable Behavior and the Effects of Gender*," Sustainability and Climate Change, vol. 14, no. 4, pp. 232-237.
- N. W. Jager, J. Newig, E. Challies dan E. Kochskämper, 2020, "*Pathways to implementation: Evidence on how participation in*

environmental governance impacts on environmental outcomes," Journal of Public Administration Research and Theory, vol. 30, no. 3, pp. 383-399.

S.Soemantri B, "Eco-technology: Indonesia's perspectives", Keynote speech, Asian Symposium on Eco-technology, October 18-19, 2008, Kanazawa, Japan.

Yaqin, N, 2014. Skenario Kebijakan Pengembangan Energi Baru Terbarukan Dalam Upaya Menjaga Ketahanan Energi Nasional Dan Membangun Green Energy Constellation Hingga Tahun 2025 (Studi Kasus pada Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi Kementeria. Jur. Adm. Publik Fak. Ilmu Adm. Univ. Brawijaya 2.

ZYang, 2010, "Status and Challenges in Electrochemical Energy Storage Technologies for Stationary Applications", Journal of Materials, Vol. 62, No. 9, pp. 13.

BIODATA PENULIS



Ropiudin, S.TP., M.Si.

Peneliti Senior Lab. Teknik Sistem Termal dan Energi Terbarukan
Dosen Program Studi Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Jenderal Soedirman

Penulis lahir di Cirebon tanggal 21 Juli 1977. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Teknik Pertanian Institut Pertanian Bogor dengan Peminatan Energi dan Elektrifikasi Pertanian dan melanjutkan S2 pada Program Studi Teknik Pertanian Institut Pertanian Bogor dengan Peminatan Teknik Energi Terbarukan. Saat ini penulis sedang menempuh jenjang doktoral pada Program Studi Ilmu Keteknikan Pertanian Institut Pertanian Bogor dengan kajian disertasi pada teknologi penyimpanan energi terbarukan. Matakuliah yang diampu yaitu energi terbarukan, teknologi bioenergi, audit energi, manajemen perencanaan energi terbarukan, energi dan elektrifikasi, pindah panas, dan termodinamika. Selain itu, penulis aktif di bidang penelitian dengan fokus penelitian pada teknik sistem termal dan energi terbarukan sebagai ketua tim peneliti dengan sumber biaya dari Rispro LPDP, Insinas, Hibah Pekerti, Hibah Bersaing, Inovasi Industri, Riset Terapan, sampai *Matching Fund*. Diseminasi teknologi ke masyarakat dilakukan bekerja sama dengan beberapa petani jagung, padi, gula kelapa, kopi, pala, cengkeh, serta pemerintah daerah dan desa guna memperkenalkan teknologi energi terbarukan

untuk diversifikasi energi dan efisiensi guna meningkatkan daya saing serta mendukung transisi energi bersih, *net zero emission, green economy*, dan pembangunan berkelanjutan.

Pengalaman dalam pengembangan institusi sebagai Ketua Program Studi Teknik Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Unsoed 2 Periode (2008-2012 dan 2012-2016), Sekretaris Pusat Penelitian Energi Baru dan Terbarukan LPPM Unsoed (2015-2019), serta kegiatan ad hoc lainnya di level fakultas, LPPM, LP3M, dan universitas, serta lembaga di luar kampus (PERTETA, METI, ADN, PII, dan WREN). Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: ropiudin@unsoed.ac.id

BIODATA PENULIS



Rusman, ST., MT., MM
Dosen Program Studi Teknika
Jurusan Kemaritiman Politeknik Negeri Samarinda

Penulis lahir di Pinrang tanggal 21 Maret 1974. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknika Jurusan Kemaritiman Politeknik Negeri Samarinda. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar dan melanjutkan S2 pada Jurusan Manajemen Keuangan Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi Patria Artha Makassar serta S2 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Penulis juga dalam proses menyelesaikan Program Doktor di Universiti Teknologi Malaysia. Penulis menekuni bidang Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat serta senang Menulis. Penulis mengajarkan matakuliah Konservasi Energi, Matematika Teknik serta Manajemen Energi.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: rusman@polnes.ac.id

BIODATA PENULIS



Risse Entikaria Rachmanita, S.Pd., M.Si.
Dosen Program Studi Teknik Energi Terbarukan
Jurusan Teknik Politeknik Negeri Jember

Penulis lahir di Mojokerto tanggal 14 Februari 1989. Penulis adalah dosen tetap pada Program Teknik Energi Terbarukan Jurusan Teknik Politeknik Negeri Jember. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Pendidikan Fisika di Universitas Negeri Malang dan melanjutkan S2 pada Program Studi Magister Fisika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Saat ini penulis menjabat sebagai Kepala Laboratorium Workshop Energi dan Mekanik sejak 2020. Selain menjalankan tridharma pendidikan tinggi, terlibat aktif dalam menulis artikel ilmiah dan pengelola jurnal ilmiah. Kegiatan penelitian dan pengabdian yang telah dilakukan berfokus pada pemanfaatan sumber energi terbarukan. Penulis aktif sebagai reviewer nasional vokasi kegiatan Program Kreatifitas Mahasiswa (PKM) sejak tahun 2021. Selain itu, penulis membimbing kegiatan PKM sejak tahun 2020 dan berhasil mengantarkan tim PKM hingga ke PIMNAS sejak tahun 2020. Pada tahun 2023, mendapatkan kesempatan untuk menjadi Juri PIMNAS 36 di Universitas Padjajaran. Buku pertama yang telah ditulis bersama tim dan telah dipublikasikan pada tahun 2023 berjudul "Dasar-Dasar Pemasangan Panel Surya". Buku kedua penulis berjudul "Biobriket Non Perekat Kotoran Sapi dan Arang Batok Kelapa" telah diterbitkan pada tahun 2024. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: risse_rachmanita@polije.ac.id.

BIODATA PENULIS



Prof.Dr.Ir. I Ketut Budaraga,M.Si.CIRR
Dosen Program Studi Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas EkaSakti.

Prof. Dr. Ir. I Ketut Budaraga, MSi. CIRR lahir di Desa Bulian Kecamatan Kubutambahan Kabupaten Buleleng Provinsi Bali pada tanggal 22 Juli 1968. Menamatkan SD No.1 Bulian tahun 1982, SMP 1 Singaraja tahun 1984. SMA Lab Unud Singaraja tahun 1987. Melanjutkan ke Fakultas Pertanian Universitas Mataram tahun 1987 dan tamat 1992. Melanjutkan pendidikan S2 tahun 1995 Ke Pasca sarjana program studi Teknik Pasca Panen IPB tamat 1998. Diberikan kesempatan lanjut ke S3 Ilmu pertanian tamat tahun 2016. Diangkat sebagai Dosen PNSD di Kopertis Wilayah X Padang di tempatkan di Fakultas Pertanian Universitas EkaSakti pada Program Studi Teknologi Hasil Pertanian. Pernah menjabat mulai wakil Wakil dekan III Fakultas Pertanian Universitas EkaSakti, Wakil Dekan 1 Fakultas Pertanian Universitas EkaSakti, Dekan Fakultas Pertanian Universitas EkaSakti, sekarang diberikan kepercayaan sebagai Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas EkaSakti. Terhitung mulai tanggal 1 Agustus 2023 diberikan kepercayaan oleh pemerintah menjadi guru besar bidang ilmu Teknologi Pengolahan. Punya semboyan hidup kembali ke alam (*back to nature*), banyak kajian-kajian yang sudah dipublikasi dijurnal Internasional terindeks scopus, jurnal nasional terindeks sinta seperti pemanfaatan hasil samping kelapa menjadi produk yang memiliki nilai tambah, penggunaan pengawet alami asap cair pada pengolahan pangan, serta pengolahan

pangan yang lain seperti pengolahan pisang, pembuatan keju cottage dengan penggumpal alami. Selama ini sudah pernah memperoleh paten sederhana pada tahun 2010 tentang kompor briket tahan panas, Pada tahun 2022 memperoleh paten sederhana berjudul Keju Cottage Dari Susu Sapi Dengan Penambahan Belimbing Wuluh. Informasi lebih lanjut bisa menghubungi email iketutbudaraga@unespadang.ac.id.

BIODATA PENULIS



Dedy Eko Rahmanto, S.TP, M.Si
Dosen Program Studi Teknik Energi Terbarukan
Politeknik Negeri Jember

Penulis lahir di Ngawi tanggal 19 Juli 1978. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Energi Terbarukan Politeknik Negeri Jember. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Program Studi Teknik Pertanian Universitas Jember pada tahun 2001. Penulis melanjutkan studi S2 di Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan Institut Pertanian Bogor pada tahun 2009 dan selesai pada tahun 2011.

Penulis menjadi dosen tetap di Program Studi Teknik Energi Terbarukan Politeknik Negeri Jember sejak tahun 2016 hingga saat ini dan pernah menjadi dosen luar biasa di Program Studi tersebut pada tahun 2013 hingga 2015. Penulis pernah menjadi pengampu di beberapa mata kuliah seperti: Teknologi Mikrohidro, Sifat dan kekuatan bahan, Perancangan Sistem Energi, Sistem Termal, Mesin Pendingin, Elektronika Daya, dan sebagainya. Penulis aktif melakukan kegiatan Tri Dharma Perguruan Tinggi yang meliputi kegiatan Pendidikan, Penelitian, dan Pengabdian kepada Masyarakat terutama terkait bidang Energi Terbarukan

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: dedy_eko@polije.ac.id

BIODATA PENULIS



Muhammad Chusnan Aprianto, S.Si., M.Sc.

Dosen Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer

Universitas Islam DR KHEZ Muttaqien

Penulis lahir di Cimahi tanggal 2 April 1982. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Islam DR KHEZ muttaqien. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Ilmu Fisika, Universitas Gadjah Mada dan S2 pada Jurusan Ilmu Lingkungan, Universitas Gadjah Mada. Penulis menekuni bidang Fisika Lingkungan.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail:

mchusnanaprianto@gmail.com.

BIODATA PENULIS



Sugeng Pramudibyo, M.Pd
Dosen Program Studi Pendidikan Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Negeri Gorontalo

Penulis lahir di Sidoarjo tanggal 16 Mei 1990. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo. Menyelesaikan pendidikan S1 Pendidikan Teknik Mesin pada tahun 2012 dan melanjutkan S2 pada Jurusan Pendidikan Kejuruan Universitas Negeri Malang pada tahun 2015. Beberapa kajian-kajian yang sudah dipublikasi di jurnal nasional terindeks sinta seperti pengaruh hasil belajar siswa, peningkatan motivasi belajar siswa melalui media pembelajaran digital, pemberdayaan masyarakat pesisir teluk tomini melalui teknopreneurship.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: sugeng@ung.ac.id

BIODATA PENULIS



Dion Eko Prihandono, S.T., M.Sc
Dosen Program Studi Desain Interior
Institut Desain dan Bisnis Bali

Penulis mulai tertarik pada dunia pendidikan/akademik pada tahun 2018. Pendidikan penulis, S1 diselesaikan pada tahun 1997 di Universitas Gadjah Mada pada Fakultas Teknik Jurusan Arsitektur. Sementara pendidikan S2 penulis di University Sains Malaysia pada Pasca Sarjana *Housing Building Planing* dimulai pada tahun 2019 dan diselesaikan pada tahun 2020. Pengalaman praktisi, penulis pernah bekerja di beberapa perusahaan swasta dalam dan luar negeri. Namun saat ini penulis memilih untuk fokus mengabdikan diri sebagai Dosen dan aktif mengajar di Institut Desain dan Bisnis Bali. Penulis memiliki minat dan keahlian di bidang Arsitektur, Interior desain, Bangunan Hijau, Keberlanjutan dan Manajemen. Selain peneliti, penulis juga aktif menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara yang sangat tercinta ini. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: dioneprihandono2323@gmail.com