

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II. 2.1 Studi Literatur

II.2.1.1 Definisi Energi Terbarukan

Teknologi Energi Baru Terbarukan (EBT) adalah sumber energi alami yang dapat diperbaharui atau dipulihkan secara alami dalam waktu yang relatif singkat. Sumber energi ini tidak terbatas dan dapat digunakan tanpa menghabiskan sumber daya secara permanen. Pemanfaatan energi terbarukan tidak hanya bertujuan untuk menjaga keberlanjutan lingkungan tetapi juga untuk meningkatkan ketersediaan sumber daya energi yang tersedia.

Kemajuan dalam energi terbarukan telah signifikan dalam beberapa dekade terakhir, didorong oleh inovasi teknologi, penurunan biaya, dan peningkatan kesadaran lingkungan. Salah satu perkembangan utama adalah penurunan biaya produksi. Misalnya, biaya panel surya fotovoltaik telah menurun drastis, membuat energi surya lebih terjangkau dan kompetitif dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Demikian pula, penurunan biaya turbin angin dan peningkatan efisiensi telah membuat energi angin menjadi salah satu sumber energi terbarukan paling murah di banyak tempat.

Kemajuan teknologi juga memainkan peran penting. Inovasi dalam teknologi baterai, terutama baterai lithium-ion untuk pengembangan kendaraan listrik sekarang ini. Telah memungkinkan penyimpanan energi yang lebih efisien, memungkinkan integrasi yang lebih baik dari energi terbarukan yang tidak konsisten seperti surya dan angin. Selain itu, penerapan jaringan listrik pintar (smart grids) memungkinkan integrasi yang lebih efisien dari berbagai sumber energi terbarukan, meningkatkan keandalan dan stabilitas sistem tenaga listrik.

Kapasitas energi terbarukan juga telah meningkat secara signifikan. Banyak negara telah mengembangkan proyek energi terbarukan skala besar, seperti ladang angin lepas pantai dan pembangkit listrik tenaga surya berskala utilitas. Pertumbuhan microgrids dan sistem pembangkit listrik terdistribusi memungkinkan penyediaan energi terbarukan yang lebih lokal dan mandiri, meningkatkan ketahanan energi komunitas. Inovasi dalam teknologi energi

terbarukan juga terus berlanjut. Contohnya adalah pengembangan panel surya berteknologi tinggi seperti sel surya berbasis perovskit yang lebih efisien dan murah. Dalam sektor energi angin, inovasi meliputi desain turbin angin baru, termasuk turbin angin berporos vertikal dan turbin angin lepas pantai yang lebih besar dan lebih efisien. Dalam energi hidro, terdapat peningkatan teknologi pembangkit listrik tenaga air skala kecil dan sistem tenaga air laut (pasang surut dan ombak).

Selain itu, ada kemajuan dalam sistem energi terbarukan terpadu. Sistem hybrid yang menggabungkan berbagai sumber energi terbarukan dengan sistem penyimpanan energi semakin umum, meningkatkan keandalan dan kontinuitas pasokan energi. Teknologi Internet of Things (IoT) digunakan untuk mengoptimalkan pengoperasian dan pemeliharaan sistem energi terbarukan, meningkatkan efisiensi dan penghematan biaya.

Kemajuan-kemajuan ini menunjukkan bahwa energi terbarukan semakin menjadi bagian integral dari sistem energi global, membantu mengurangi emisi karbon dan mempercepat transisi menuju masa depan yang lebih berkelanjutan.

II 2.1.2 Kondisi Energi Terbarukan (EBT) di Indonesia

Penggunaan energi di Indonesia hingga saat ini masih didominasi oleh energi tak terbarukan yang bersumber dari fosil, seperti minyak bumi dan batu bara. Namun, ketersediaan sumber daya fosil ini semakin lama semakin menipis. Untuk mengantisipasi hal tersebut, muncul energi baru terbarukan yang dianggap sebagai alternatif terbaik. Kehadiran energi baru terbarukan ini menjadi fokus utama pemerintah Indonesia, tidak hanya untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil, tetapi juga untuk menciptakan energi yang bersih dan ramah lingkungan. Pemerintah memiliki tanggung jawab untuk memastikan bahwa sumber energi ini dapat dimanfaatkan secara maksimal demi kesejahteraan rakyat Indonesia, dalam rangka mencapai salah satu cita-cita bangsa, yaitu memajukan kesejahteraan umum. Seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk, kebutuhan akan energi terus meningkat. Perkembangan teknologi yang pesat juga turut mendorong peningkatan kebutuhan energi, terutama kebutuhan tenaga listrik dalam kehidupan sehari-hari.

Kemajuan dalam energi terbarukan telah signifikan dalam beberapa dekade terakhir, didorong oleh inovasi teknologi, penurunan biaya, dan peningkatan kesadaran lingkungan. Salah satu

perkembangan utama adalah penurunan biaya produksi. Misalnya, biaya panel surya fotovoltaik telah menurun drastis, membuat energi surya lebih terjangkau dan kompetitif dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Demikian pula, penurunan biaya turbin angin dan peningkatan efisiensi telah membuat energi angin menjadi salah satu sumber energi terbarukan paling murah di banyak tempat.

Energi listrik sebagai hasil dari pemanfaatan kekayaan alam dan teknologi memiliki peran penting dalam mencapai tujuan pembangunan nasional. Energi listrik menjadi kebutuhan primer masyarakat. Pergeseran ini terlihat jelas dalam kehidupan masyarakat di masa depan dengan kemajuan teknologi, seperti pengembangan kompor elektrik, transportasi elektrik, dan peralatan lain yang berbasis listrik sebagai penggerakannya.

Kebutuhan masyarakat akan energi listrik terus bertumbuh setiap tahunnya. Dalam waktu yang akan datang, kebutuhan listrik akan terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk, investasi, dan perkembangan teknologi, termasuk dalam sektor pendidikan. Untuk memenuhi kebutuhan listrik yang terus meningkat, pemerintah terus berupaya mengembangkan teknologi dan membangun pembangkit tenaga listrik sesuai dengan asumsi pertumbuhan ekonomi dan proyeksi kebutuhan listrik. Program pembangunan pembangkit listrik ini merupakan bagian dari proyek pembangunan ketenagalistrikan yang bertujuan untuk menerapkan asas manfaat secara maksimal, sesuai dengan Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan.

Undang-Undang tersebut menjelaskan bahwa penyediaan tenaga listrik untuk memenuhi kebutuhan masyarakat di seluruh Indonesia dapat dilakukan oleh badan usaha milik negara, badan usaha milik daerah, badan usaha swasta, koperasi, dan swadaya masyarakat. Selain itu, Undang-Undang Ketenagalistrikan memberikan prioritas utama kepada badan usaha milik negara dalam usaha penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum, dengan salah satu badan usaha tersebut adalah Perusahaan Listrik Negara (PLN). PLN memiliki hak dan wewenang khusus serta tanggung jawab dalam pembangkitan, transmisi, dan distribusi tenaga listrik di seluruh wilayah Indonesia sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 1972. PLN memiliki kewajiban untuk menyediakan tenaga listrik dalam jumlah yang cukup kepada masyarakat di seluruh Indonesia secara berkelanjutan, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

II 2.2 Energi Dan Sumber Energi

II 2.2.1 Energi Dalam Peradaban Manusia

Sepanjang sejarah peradaban manusia, perkembangan selalu berkaitan erat dengan pemanfaatan energi. Sejak awal, energi matahari dan kayu bakar telah menjadi sumber energi utama. Sekitar 5000 tahun yang lalu, manusia mulai memanfaatkan angin untuk menggerakkan perahu sebagai alat transportasi. Selanjutnya, sekitar 2500 tahun yang lalu, manusia mulai menggunakan kincir angin dan air untuk memproses hasil pertanian. Kincir-kincir ini kemudian juga digunakan untuk menaikkan air ke permukaan yang lebih tinggi dan membantu dalam proses pengolahan kayu.

Sekitar 3000 tahun yang lalu, orang Mesir mulai menggunakan minyak tanah sebagai sumber penerangan dengan cara membakarnya. Minyak tanah ini dikumpulkan dari permukaan air di tempat-tempat tertentu di mana minyak mengapung. Di sisi lain, penduduk asli Amerika sudah menggunakan batubara untuk pembakaran, terutama dalam proses pembuatan bejana atau pot dari tanah liat. Sementara itu, orang Tiongkok kuno memanfaatkan energi dari pembakaran gas alam untuk menguapkan air laut demi mendapatkan garam. Gas alam ini dialirkan dari sumur-sumur dangkal. Pada saat yang sama, manusia mulai menggunakan energi panas bumi (geotermal) untuk kebutuhan pemanasan, dengan mengalirkan air panas dari mata air panas ke rumah-rumah mereka.

Secara bertahap, manusia terus belajar memanfaatkan berbagai sumber energi yang berbeda. Namun, hingga 150 tahun yang lalu, cahaya matahari dan kayu bakar masih menjadi sumber energi utama bagi manusia. Bahkan, hingga saat ini, di beberapa bagian dunia, sumber energi tersebut masih dominan. Jelas bahwa sejarah peradaban manusia sangat erat kaitannya dengan perkembangan dalam pemanfaatan energi. Tingkat kemajuan suatu negara pun sering diukur berdasarkan tingkat konsumsi energinya. Di era modern ini, ketergantungan manusia pada energi mencakup hampir semua aspek kehidupan. Sulit membayangkan bagaimana kita dapat bertahan hidup tanpa listrik, transportasi, atau berbagai aktivitas lain yang bergantung pada energi.

II 2.2.2 Sumber Energi Tak Terbarukan

Sumber energi tak terbarukan adalah sumber energi yang ketersediaannya terbatas dan tidak mengalami proses pembentukan kembali di alam dalam skala waktu yang manusiawi. Contoh sumber energi tak terbarukan termasuk energi fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam.

Minyak Bumi

Minyak bumi diperoleh dari dalam perut bumi melalui pengeboran sumur minyak, kemudian diangkut ke kilang pengolahan untuk diubah menjadi berbagai jenis bahan bakar. Produk olahan minyak bumi, seperti gas, bensin, minyak tanah, dan solar, memiliki berbagai kegunaan seperti untuk memasak dan sebagai bahan bakar kendaraan atau pembangkit listrik. Meskipun mudah digunakan dan tersedia dalam jumlah besar dengan harga relatif murah dibandingkan bahan bakar non-fosil lainnya, cadangan minyak bumi terbatas. Pembakaran minyak bumi juga menghasilkan gas pencemar yang berbahaya dan berkontribusi pada pemanasan global.

Salah satu lokasi penghasil minyak bumi di Jawa Barat adalah Kilang Minyak Balongan, Indramayu. Kilang ini beroperasi sejak 1994 dan merupakan salah satu kilang terbesar di Indonesia, dengan kapasitas produksi mencapai 123.000 barel per hari. Kilang Balongan memproses minyak mentah menjadi berbagai produk seperti Premium, Pertamax, Solar, dan LPG. Kilang ini sangat penting bagi Pertamina karena berperan dalam pengembangan produk baru dan penerapan standar internasional.

Batu Bara

Batu bara adalah bahan bakar fosil yang diperoleh melalui penambangan bawah tanah atau tambang terbuka. Biasanya digunakan untuk pembangkit listrik dan industri karena harga lebih murah dan ketersediaannya melimpah dibandingkan dengan bahan bakar lain seperti minyak bumi dan gas alam. Namun, penggunaan batu bara memiliki beberapa kekurangan, termasuk ketersediaan terbatas, dampak negatif terhadap kesehatan, serta kontribusi yang tinggi terhadap emisi karbondioksida dan pencemaran lingkungan seperti hujan asam.

Di Indonesia, batu bara utamanya ditemukan di daerah Jawa Barat seperti Bogor, Sukabumi, dan Purwakarta. Meskipun produksi tahunan batu bara di Bogor tidak sebanyak di Kalimantan atau Sumatera, daerah ini tetap menjadi salah satu penghasil batu bara utama di Jawa Barat.

Gas Alam

Gas alam dihasilkan dari sumur gas dan biasanya dialirkan melalui pipa ke lokasi penggunaannya. Selain itu, gas alam dapat dicairkan dan disimpan dalam tangki khusus sebagai gas alam cair, yang kemudian dapat diangkut melalui transportasi darat, laut, atau udara. Gas alam cair ini sering dikenal sebagai LPG (Liquefied Petroleum Gas). Penggunaan gas alam meliputi pembangkit listrik melalui pembakaran turbin gas, keperluan memasak di rumah tangga, dan sebagai bahan baku dalam industri.

Dibandingkan dengan bahan bakar fosil lainnya, gas alam dianggap sebagai bahan bakar yang paling bersih karena menghasilkan emisi karbon dioksida dan sulfur yang lebih sedikit daripada batu bara. Namun, gas alam memiliki kekurangan sebagai berikut:

- Gas alam merupakan sumber energi tidak terbarukan sehingga akan habis.
- Produksi gas alam memerlukan investasi yang besar.

Cadangan gas alam di Jawa Barat tersebar di 6 kabupaten dan 1 kota. Kabupaten Subang menjadi penghasil gas alam terbesar di Jawa Barat, diikuti oleh Kabupaten Karawang, Indramayu, Majalengka, Kabupaten Bekasi, dan Kota Bekasi.

II 2.2.3 Dampak Pemanfaatan Energi Fosil / Energi Tak Terbarukan

Eksplorasi dan pemanfaatan sumber energi alam untuk memenuhi kebutuhan manusia dapat berdampak negatif terhadap lingkungan, mencakup udara, iklim, air, dan tanah. Proses pembakaran bahan bakar fosil untuk menghasilkan energi menghasilkan emisi gas pencemar seperti karbon dioksida (CO₂), nitrogen oksida (NO_x), dan sulfur dioksida (SO₂). Gas-gas ini berperan dalam pembentukan hujan asam, pembentukan smog, dan berkontribusi terhadap pemanasan global. Hasil pengkajian menunjukkan bahwa penggunaan energi fosil memiliki dampak serius terhadap lingkungan, seperti penipisan cadangan sumber daya, pemanasan global, hujan asam, dan dampak turunannya seperti gelombang pasang, perubahan iklim, kerusakan

ekosistem, serta lonjakan harga minyak dan lain-lain. Ini menjadi permasalahan serius yang akan dihadapi di masa mendatang.

II 2.3 Energi Terbarukan

Sumber energi terbarukan adalah jenis energi yang proses pembentukannya berlangsung secara terus-menerus, sehingga ketersediaannya melimpah dan tidak akan pernah habis. Contoh sumber energi terbarukan meliputi energi matahari, energi panas bumi, energi angin, energi air, bioenergi, dan energi samudera. Jenis-jenis sumber energi terbarukan beserta teknologinya akan dibahas lebih lanjut di bawah ini.

II 2.3.1 Energi Panas Bumi

Menurut Amstead (1983:32), energi panas bumi adalah sumber daya panas alami yang ada di dalam bumi, hasil interaksi antara panas yang dipancarkan oleh magma dan air tanah di sekitarnya. Air yang terpanaskan terperangkap di batuan dekat permukaan bumi, bisa dimanfaatkan secara ekonomis.

Energi panas bumi (geothermal) merupakan energi yang diperoleh dari panas yang tersimpan di dalam bumi. Panas ini terdapat dalam bentuk air panas, uap, batuan dengan mineral tambahan, serta gas-gas lainnya yang tidak dapat dipisahkan dari sistem panas bumi. Untuk memanfaatkannya, proses penambangan diperlukan untuk mengekstraksi sumber panas bumi ini. Energi panas bumi berasal dari aktivitas tektonik di dalam bumi sejak planet ini terbentuk. Panas bumi mengalir secara terus-menerus dari dalam bumi ke permukaan, dan dapat muncul dalam bentuk gunung berapi, mata air panas, dan geyser.

Di dalam kerak bumi, terkadang terdapat aliran air yang sangat dekat dengan batuan panas, dengan suhu mencapai hingga 148°C. Air ini tidak berubah menjadi uap karena tidak ada kontak dengan udara. Ketika air panas ini mencapai permukaan melalui celah atau rekahan dalam kerak bumi, terbentuklah mata air panas yang dikenal sebagai hot spring. Hot spring alami ini sering dimanfaatkan sebagai kolam air panas dan menjadi objek wisata populer. Kondisi yang memungkinkan magma berada dekat dengan permukaan bumi, memanaskan batuan dan air tanah di reservoir, hanya terjadi di sedikit lokasi di permukaan bumi. Kebanyakan lokasi ini terletak di

sepanjang Cincin Api Pasifik atau dikenal sebagai Ring of Fire, yang meliputi gugusan gunung berapi di kepulauan dan pinggir benua yang membentang.

Energi panas bumi telah lama digunakan untuk memanaskan air dan ruangan selama musim dingin. Saat ini, penggunaan energi panas bumi lebih umum untuk menghasilkan listrik. Pada tahun 2007, kapasitas pembangkit listrik tenaga panas bumi yang terpasang di seluruh dunia mencapai sekitar 10 Giga Watt, menyumbang sekitar 0,3% dari total produksi energi listrik global. Sebelumnya, panas bumi hanya digunakan untuk aktivitas seperti mandi, mencuci, dan memasak. Namun, kini penggunaan fluida panas bumi telah berkembang untuk berbagai aplikasi, termasuk pemanas dan pendingin ruangan, rumah kaca, pengeringan hasil pertanian dan peternakan, pengeringan kayu, serta aplikasi non-listrik lainnya.

Daerah panas bumi atau medan panas bumi adalah area di permukaan bumi di mana terdapat energi panas bumi dalam kondisi hidrologi-batuan tertentu, disebut sistem panasbumi. Energi panas bumi umumnya ditemukan di sekitar gunung berapi, baik yang aktif maupun mati.

Air permukaan yang bersentuhan dengan batuan panas dapat terperangkap di reservoir di atas batuan panas, tertutup oleh batuan impermeable, sehingga uap air dan air panas tertekan pada suhu dan tekanan tinggi. Untuk memanfaatkan energi panas bumi, perlu dilakukan kegiatan pemboran dan pembangunan pipa penampungan.

Energi panas bumi dipilih sebagai energi alternatif karena beberapa keunggulan:

Indigenous: Dapat dimanfaatkan di tempat dengan sumber panas bumi atau melalui proses tertentu.

Renewable: Dapat diperbarui dengan menjaga cadangan air dalam sistem panasbumi. Tanpa pengelolaan yang baik, sumber panasbumi dapat menurun atau hilang. **Sustainable:** Dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan karena dapat diperbarui dalam waktu relatif singkat. **Ekonomis:**

a. Konstruksi pembangkit energi panasbumi membutuhkan lahan yang lebih kecil.

b. Biaya pemakaian energi panasbumi lebih murah daripada bahan bakar fosil.

Ramah lingkungan:

- a. Teknik reinjeksi air limbah ke dalam bumi mengurangi pencemaran dan memperbarui air kondensat ke dalam reservoir.
- b. Gas buang dari energi panas bumi, terutama CO₂, dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti pembuatan minuman kaleng dan dry ice, lebih ramah lingkungan dibandingkan gas buang dari bahan bakar fosil yang berkontribusi pada pemanasan global dan kerusakan ozon.

Energi panas bumi disini dapat dimanfaatkan menjadi listrik, dengan melalui proses Panas bumi dibawah permukaan akan memanaskan air tanah, air ini kemudian akan menjadi uap ketika dipanaskan dan uap ini akan menjadi penggerak turbin generator listrik, dan listrik ini akan dialirkan ke transmisi PLN untuk di distribusikan ke daerah sekitar. Tidak hanya itu proses perubahan energi panas bumi menjadi listrik, namun ada beberapa proses lainnya seperti berikut ini :

Proses untuk mengubah energi panas bumi menjadi listrik melibatkan beberapa langkah utama yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

- **Pengeboran Sumur Panas Bumi** Proses dimulai dengan pengeboran sumur panas bumi di lokasi yang memiliki potensi panas bumi yang cukup. Sumur ini dapat mencapai kedalaman yang dalam di mana suhu bumi lebih tinggi dari permukaan.
- **Pengumpulan Fluida Panas:** Air atau cairan lainnya yang mengandung panas bumi diekstraksi dari sumur panas bumi. Fluida ini dapat berupa air panas atau uap.
- **Pemisahan Panas:** Fluida yang diambil dari sumur panas bumi kemudian dipisahkan antara air dan uap. Uap dari fluida panas digunakan untuk menggerakkan turbin.
- **Pembangkitan Listrik:** Uap dari fluida panas digunakan untuk menggerakkan turbin. Turbin ini terhubung dengan generator listrik yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.
- **Konversi dan Distribusi:** Energi listrik yang dihasilkan dari generator kemudian diubah melalui transformator untuk meningkatkan tegangan listrik sehingga dapat didistribusikan melalui jaringan listrik untuk digunakan oleh masyarakat.

Proses ini memanfaatkan panas bumi yang alaminya untuk menghasilkan listrik secara berkelanjutan dan umumnya memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan

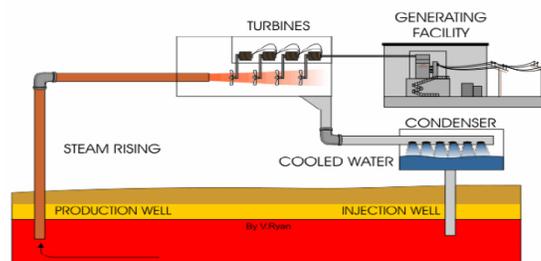
dengan pembangkit listrik dari bahan bakar fosil. Metode ini berkontribusi terhadap diversifikasi sumber energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

Sistem pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP), seperti halnya sistem pembangkit listrik pada umumnya, menggunakan uap untuk memutar turbin yang menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik. Pembangkit ini memiliki komponen yang mirip dengan pembangkit listrik lain yang tidak berbasis panas bumi, seperti generator, turbin sebagai penggerak generator, heat exchanger, chiller, pompa, dan sebagainya. Teknologi pembangkit listrik tenaga panas bumi dibagi menjadi tiga jenis utama:

1. **Dry steam** (uap kering): Menggunakan uap langsung dari sumber panas bumi untuk menggerakkan turbin.
2. **Flash steam** (uap flash): Menggunakan air panas dari sumber untuk menghasilkan uap, kemudian uap ini digunakan untuk memutar turbin.
3. **Binary cycle** (siklus biner): Menggunakan fluida kerja organik yang lebih rendah mendidihnya daripada air untuk menghasilkan uap dari panas yang diserap dari sumber panas bumi. Uap ini kemudian digunakan untuk memutar turbin.

Setiap jenis teknologi ini memiliki karakteristik dan aplikasi yang berbeda tergantung pada suhu dan kondisi sumber panas bumi yang digunakan.

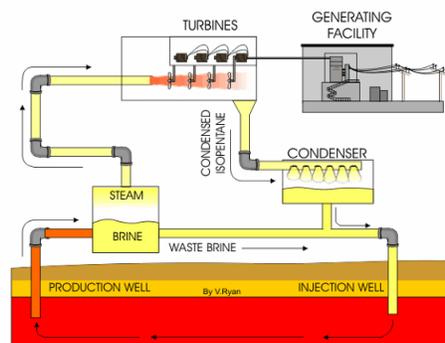


Gambar 2. 1 diagram PLTP dry steam

Dalam sistem dry steam, uap panas diambil langsung dari bawah permukaan bumi. Sistem ini digunakan ketika fluida yang keluar dari sumur produksi berupa uap. Uap ini langsung digunakan

untuk memutar turbin, yang kemudian mengubah energi panas bumi menjadi energi mekanik untuk menggerakkan generator dan menghasilkan listrik.

Sementara itu, pembangkit listrik tenaga panas bumi dengan jenis Flash System memanfaatkan sumber panas bumi yang mengandung air dengan suhu lebih dari 182°C. Sistem ini adalah yang paling umum digunakan. Air panas dialirkan ke atas melalui pipa sumur produksi dengan tekanan alami. Saat air mencapai permukaan, tekanannya menurun dan sebagian air berubah menjadi uap. Uap tersebut kemudian dipisahkan dari air dan digunakan untuk memutar turbin. Sisa air dan uap yang telah terkondensasi kembali disuntikkan ke dalam reservoir melalui sumur injeksi, menjaga keberlanjutan dan pembaruan sumber energi ini.



Gambar 2. 2 Diagram PLTP flash system

Wilayah PLTP di Jawa Barat :

Wilayah PLTP terbagi menjadi beberapa lokasi di daerah Jawa barat, mengambil wilayah di Jawa barat karena lokasi ini menjadi salah satu provinsi pembangkit panas bumi terbanyak di Indonesia.

1. PLTP Kamojang

Lokasi	WKP	Kamojang	Darajat,	Jawa	Barat
Pemilik	IPB	: PT	Pertamina	Geothermal	Energy
Total Kapasitas : 235 MWe					

2. PLTP Salak

Lokasi WKP Cibereum parabakti, Jawa barat
Pemilik IPB : PT Pertamina Geothermal Energy
Total Kapasitas : 376,8 MWe

3. PLTP Darajat

Lokasi WKP Kamojang Darajat, Jawa Barat
Pemilik IPB : PT Pertamina Geothermal Energy
Total Kapasitas : 270 Mwe

4. PLTP Wayang Windu

Lokasi WKP Pangalengan, Jawa Barat
Pemilik IPB : PT Pertamina Geothermal Energy
Total Kapasitas : 227 MWe

5. PLTP Patuha

Lokasi WKP Pangalengan, Jawa Barat
Pemilik IPB : PT Geo Dipa Energy
Total Kapasitas : 55 MWe

6. PLTP Karaha

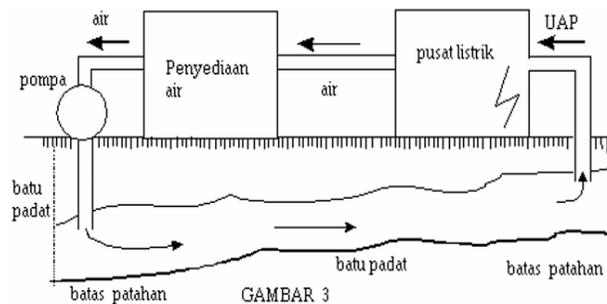
Lokasi WKP Karaha Cakra Buana, Jawa Barat
Pemilik IPB : PT Pertamina Geothermal Energy
Total Kapasitas : 30 MWe

Dilansir dari Buku Profil dan Statistik Energi dan Sumber Daya Mineral Jawa Barat, provinsi ini memiliki potensi panas bumi yang besar.

Energi Panas Bumi “Batuan Panas”

Pada beberapa lokasi, batuan panas di dalam perut bumi bersentuhan langsung dengan magma, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi panas bumi. Proses ini melibatkan

penyuntikan air ke dalam batuan panas untuk menghasilkan uap panas. Uap panas tersebut kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan energi listrik.



Gambar 2. 4 skema pembangkitan listrik energi panas bumi "batuan panas"

Secara umum, batuan panas terletak jauh di dalam perut bumi, sehingga pemanfaatannya memerlukan teknik pengeboran khusus yang memerlukan biaya cukup tinggi. Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) menjanjikan, terutama karena kemampuannya untuk menghasilkan listrik tanpa mencemari lingkungan, sebuah aspek penting dalam teknologi modern. Jika pemanfaatan energi panas bumi terus berkembang, kota-kota di sekitar sumber energi panas bumi, yang biasanya berada di daerah pegunungan, dapat memenuhi kebutuhan listrik mereka dengan PLTP. Selain itu, surplus energi listrik dari PLTP dapat disalurkan ke daerah lain, membantu mengurangi ketergantungan pada pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batu bara atau diesel, yang keduanya menyebabkan pencemaran udara.

Energi Panas Bumi Di Indonesia

Di Indonesia terdapat ratusan potensi panas bumi, tersebar sepanjang jalur vulkanik dari Barat Sumatera, melewati Pulau Jawa, Bali, Nusa Tenggara, hingga berbelok ke arah utara melalui Maluku dan Sulawesi. Penelitian menunjukkan bahwa sistem panas bumi di Indonesia umumnya berupa sistem hidrotermal dengan suhu tinggi ($>225^{\circ}\text{C}$), dengan hanya beberapa yang memiliki suhu sedang ($150\text{-}225^{\circ}\text{C}$). Interaksi tiga lempeng tektonik utama di Indonesia—lempeng Pasifik, lempeng India-Australia, dan lempeng Eurasia—berperan penting dalam pembentukan sumber energi panas bumi. Tumbukan antara lempeng-lempeng ini menciptakan zona penunjaman (subduksi), seperti di bawah Pulau Jawa-Nusa Tenggara (kedalaman $160\text{-}210\text{ km}$) dan Pulau Sumatera (kedalaman sekitar 100 km).

Perbedaan kedalaman ini mempengaruhi jenis magma yang dihasilkan, dengan magma di bawah Pulau Sumatera lebih dangkal, sementara di Pulau Jawa atau Nusa Tenggara lebih dalam dan terkait erupsi gunung api dengan endapan vulkanik yang lebih besar. Reservoir panas bumi di Pulau Jawa cenderung lebih dalam dan terletak dalam batuan vulkanik, sementara di Sumatera terdapat dalam batuan sedimen pada kedalaman yang lebih dangkal. Sistem panas bumi di Sumatera berkaitan dengan gunung api andesit-riolitik, sedangkan di Pulau Jawa, Nusa Tenggara, dan Sulawesi terkait dengan kegiatan vulkanik yang lebih cair, seperti andesit-basaltis.

Di ujung utara Pulau Sulawesi, karakteristik geologi menunjukkan kesamaan dengan Pulau Jawa, di mana tumbukan antara lempeng-lempeng India-Australia dan Eurasia menghasilkan sesar regional yang memanjang sepanjang Pulau Sumatera, memberikan jalur bagi sumber-sumber panas bumi yang terkait dengan gunung-gunung api muda.

II 2.3.2 Energi Air

Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan pembangkit listrik tenaga air (PLTA) karena kondisi topografi yang bergunung-gunung dan berbukit-bukit, serta banyaknya sungai dan danau/waduk yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi air. PLTA telah terbukti tidak merusak lingkungan, mendukung diversifikasi energi dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan, serta membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar minyak (BBM) dengan menggunakan bahan lokal.

Potensi energi air di Indonesia mencapai 74.976 MW, dengan mayoritasnya (70.776 MW) terletak di luar Pulau Jawa. Namun, yang baru dimanfaatkan sekitar 3.105,76 MW, dengan sebagian besar di Pulau Jawa. Setiap pembangunan PLTA didasarkan pada kelayakan teknis, ekonomis, dan studi dampak lingkungan.

Faktor-faktor yang dipertimbangkan dalam pembangunan PLTA meliputi ketersediaan sumber energi, permintaan energi listrik, biaya pembangkitan, serta karakteristik untuk mendukung beban dasar atau puncak.

Indonesia memiliki potensi energi air yang besar karena kondisi topografi yang bergunung, berbukit, dan keberadaan danau/waduk sebagai sumber utama aliran sungai. Potensi energi air di

Indonesia mencapai 75.091 MW, tersebar di seluruh wilayah, namun pemanfaatannya baru sekitar 7,2%. Sebagian besar energi air dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik, di mana PLTA telah terbukti handal dengan menyumbang 66% dari total kapasitas 7 GW pembangkit listrik energi baru dan terbarukan pada tahun 2019 (Institute for Essential Services Reform).

Selain PLTA, energi air juga dimanfaatkan melalui pembangkit listrik tenaga minihidro (PLTM) dan mikrohidro (PLTMH), menggunakan aliran sungai atau irigasi dengan variasi daya yang dihasilkan. Selain sebagai pembangkit listrik, energi air juga dapat berfungsi sebagai penyimpan energi alternatif melalui teknologi pumped storage. Teknologi ini bekerja dengan menyimpan energi dalam bentuk air pada bak besar yang dipompa dari level rendah ke level tinggi (Donalek, 2020).

Energi air memanfaatkan energi kinetik aliran air dari sumber energi potensial seperti danau dan bendungan dengan ketinggian tertentu. Indonesia, dengan topografi yang bergunung dan berbukit, memiliki potensi besar dalam energi air. Potensi energi air di Indonesia diperkirakan mencapai 94.449 MW, dengan 75.091 MW dapat dimanfaatkan sebagai PLTA, dan 19.358 MW sebagai PLTM dan PLTMH (Harsoyo et al., 2015).

Potensi energi air di Indonesia belum dimanfaatkan secara maksimal. Menurut laporan Ditjen Ketenagalistrikan pada Januari 2020, energi air yang sudah dimanfaatkan hingga tahun 2019 mencapai 5.976,03 MW, atau sekitar 6,4% dari total potensi yang tersedia.

Pemanfaatan energi air sebagai pembangkit listrik telah dimulai sejak awal abad ke-19. Teknologi ini mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik melalui aliran air, yang telah teruji dan dapat mencapai efisiensi hingga 90%. Meskipun membutuhkan lahan yang luas untuk pembuatan reservoir, hydropower ini dianggap ramah lingkungan. Berikut adalah beberapa jenis pemanfaatan energi air untuk pembangkit listrik berdasarkan kapasitas daya dan teknologinya (Imam Kholiq, 2015).

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) merupakan jenis pembangkit listrik yang digunakan untuk daya/kapasitas lebih dari 5.000 kW. Struktur PLTA mencakup waduk (reservoir), bendungan (dam), gerbang kontrol, penstock, turbin air, generator, dan jaringan listrik pendukung lainnya.

Umumnya, PLTA terhubung ke jaringan listrik utama (on grid) untuk mendistribusikan energi ke konsumen dengan kapasitas besar.

Contoh PLTA di Indonesia adalah PLTA Waduk Cirata di Jawa Barat, yang merupakan PLTA terbesar dengan daya mencapai 1.008 MW dan mampu menghasilkan energi listrik rata-rata sebesar 1,428 Giga Watt Hour (GWh) per tahun. PLTA ini terintegrasi dengan jaringan listrik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di pulau Jawa-Bali (Harsoyo et al., 2015).

Wilayah PLTA Terbesar di Indonesia

1. PLTA Saguling

PLTA Saguling, yang terletak di Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat, memanfaatkan sumber daya air dari Waduk Saguling yang berada pada ketinggian 643 meter di atas permukaan laut. Waduk ini adalah salah satu dari tiga waduk utama yang membendung aliran Sungai Citarum, sungai terbesar di Jawa Barat.

Selain berfungsi sebagai pembangkit listrik dengan kapasitas 700 MW dan menghasilkan 2.156 GWh listrik setiap tahun, PLTA Saguling juga memiliki peran ganda. Waduk Saguling tidak hanya menyimpan air untuk menggerakkan turbin dan generator listrik, tetapi juga digunakan untuk kegiatan perikanan dan menjadi destinasi wisata yang menarik.

Dengan kapasitas energi yang besar, PLTA Saguling memainkan peran penting dalam memenuhi kebutuhan listrik di sekitarnya, termasuk untuk rumah tangga, industri, dan sektor lainnya. Keberadaannya mencerminkan pemanfaatan optimal sumber daya alam untuk mendukung sektor energi sekaligus mendukung keberlanjutan ekosistem sungai dan pariwisata.

2. PLTA Koto Panjang

PLTA Koto Panjang, yang terletak di Kabupaten Kampar, Riau, adalah proyek pembangkit listrik yang memanfaatkan Sungai Kampar sebagai sumber daya utamanya. Saluran masuk intake dam untuk PLTA ini berada di Rantau Berangin. Waduk yang merupakan bagian penting dari PLTA Koto Panjang memiliki luas 124 km², dengan kapasitas tampung sebesar 1.545 juta m³ dan kapasitas tampung aktif sekitar 1.040 m³. Waduk ini memainkan

peran krusial dalam menyediakan air untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan energi listrik.

Keberadaan PLTA Koto Panjang di Riau tidak hanya mencerminkan pemanfaatan sumber daya alam yang ada, khususnya Sungai Kampar, tetapi juga menyoroti peran strategisnya dalam mendukung kebutuhan energi di wilayah tersebut. Proyek ini merupakan contoh nyata kontribusi pembangkit listrik terbarukan terhadap ketahanan energi dan pembangunan daerah.

3. PLTA Asahan I (PLTA Toba)

PLTA Asahan I terletak di hulu Sungai Asahan, Kabupaten Toba Samosir, Sumatera Utara. Pembangkit listrik ini merupakan contoh bagus dari pengembangan energi air di Indonesia, dengan konsep eksploitasi tiga pembangkit listrik di sektor sungai tersebut.

Mulai beroperasi pada tahun 2011, PLTA Asahan I diakui sebagai pembangkit listrik tenaga air pertama dengan pendekatan desain yang inovatif. Dengan kapasitas total mencapai 180 MW, terbagi dalam dua unit pembangkit masing-masing 90 MW, PLTA Asahan I menjadi penyumbang utama energi terbarukan di Sumatera Utara.

4. PLTA Batang Toru

PLTA Batang Toru terletak di Sungai Batang Toru, Kabupaten Tapanuli Selatan, Sumatra Utara, dan merupakan proyek pembangkit listrik yang mengesankan dengan kapasitas total 4x127,5 MW. Dengan luas proyek mencapai 122 hektare, PLTA Batang Toru dibangun di atas Area Penggunaan Lain (APL), menandakan komitmen untuk memanfaatkan lahan secara efisien.

Proyek ini dirancang sebagai sistem run-of-river, di mana operasinya disesuaikan dengan debit air sungai. Keunggulan utama PLTA Batang Toru adalah tidak memerlukan waduk

besar seperti pada umumnya pembangkit listrik tipe reservoir. Pendekatan ini tidak hanya efisien dalam penggunaan lahan tetapi juga lebih ramah lingkungan.

Dengan konsep run-of-river, PLTA Batang Toru membuktikan bahwa pembangkit listrik dapat diintegrasikan dengan lingkungan sekitar tanpa merusak ekosistem air dan lahan yang ada. Dengan kapasitas yang besar, PLTA Batang Toru memiliki potensi besar untuk menjadi penyokong utama pasokan listrik di wilayah Sumatera Utara, serta mendukung pertumbuhan dan keberlanjutan energi di daerah tersebut.

5. PLTA Bakaru

PLTA Bakaru, yang dikelola oleh PT Perusahaan Listrik Negara, adalah aset penting yang terletak di Kecamatan Lembang, Kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan. Pada tahun 2008, PLTA Bakaru memiliki kapasitas terpasang sebesar 400 MegaWatt, berperan penting dalam memenuhi kebutuhan pasokan listrik di wilayah tersebut.

Waduk PLTA Bakaru memiliki volume bersih harian sebesar 2 juta meter kubik, menunjukkan kapasitas penyimpanan yang besar untuk menghasilkan energi listrik. Generator PLTA Bakaru dilengkapi dengan kapasitas terpasang sebesar 126 MegaWatt, mencerminkan efisiensi tinggi dalam produksi energi.

6. PLTA Cirata

PLTA Cirata, yang terletak di tiga kabupaten di Jawa Barat—Purwakarta, Cianjur, dan Bandung Barat—menawarkan daya tarik khusus dengan adanya keramba jaring apung dan berbagai tempat wisata di sekitar waduknya. Lokasi ini menjadi pilihan ideal bagi para penggemar memancing yang mencari pengalaman yang berbeda.

Selain sebagai destinasi rekreasi, PLTA Cirata juga merupakan pembangkit listrik tenaga air terbesar di Asia Tenggara. Dengan kapasitas terpasang total mencapai 1.008 MW, PLTA ini menghasilkan sekitar 1.428 GWh listrik setiap tahun.

PLTA Cirata terdiri dari dua bagian utama, yaitu PLTA Cirata I dan II, masing-masing dilengkapi dengan empat unit pembangkit yang memiliki kapasitas terpasang 126 MW per unit. Keunikan PLTA Cirata tidak hanya terletak pada kapasitasnya sebagai pembangkit

listrik, tetapi juga pada berbagai atraksi wisata menarik yang ditawarkan di sekitar waduknya.

7. PLTA Wonogiri

PLTA ini memanfaatkan debit air dari Waduk Gajah Mungkur, yang awalnya dibangun untuk mengendalikan banjir di Sungai Bengawan Solo. Selain menyediakan pasokan air minum untuk Kota Wonogiri dan sekitarnya, PLTA ini juga menghasilkan listrik sebesar 12,4 MegaWatt. Waduk Gajah Mungkur juga berfungsi sebagai tempat rekreasi, menawarkan fasilitas kapal boat untuk menikmati perairannya.

8. PLTA Riam Kanan

PLTA Riam Kanan, yang terletak di Kabupaten Banjar, Kalimantan Selatan, merupakan komponen penting dalam sistem kelistrikan wilayah Barito. Pembangkit ini berfungsi untuk menyediakan pasokan listrik bagi Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan.

PLTA Riam Kanan mengoperasikan pembangkitnya dengan memanfaatkan debit air dari Waduk Gajah Mungkur. Waduk ini awalnya dibangun untuk mengendalikan banjir di Sungai Bengawan Solo dan juga menyediakan air minum untuk Kota Wonogiri dan sekitarnya. PLTA Riam Kanan memiliki kapasitas pembangkit listrik sebesar 12,4 MegaWatt.

Selain sebagai sumber air untuk pembangkit listrik, Waduk Gajah Mungkur juga menawarkan fasilitas rekreasi menarik, termasuk kapal boat yang memungkinkan pengunjung menikmati perairannya.

9. PLTA Sigura-Gura Samosir

PLTA Sigura Gura, yang terletak di Sumatera Utara, merupakan proyek penting yang memanfaatkan Danau Toba sebagai sumber airnya. Dikelola oleh PT Indonesia Asahan Aluminium (Inalum), pembangkit ini terdiri dari tiga bendungan yang tersebar sepanjang 14,5 kilometer di sekitar Danau Toba.

Keistimewaan PLTA Sigura Gura tidak hanya terletak pada fungsinya sebagai pembangkit listrik, tetapi juga pada infrastruktur yang digunakannya. Pembangkit ini menampilkan stasiun bawah tanah pertama di Indonesia, yang terletak pada kedalaman 200 meter di bawah permukaan tanah.

Dengan pengelolaan yang efisien dan teknologi mutakhir, PLTA Sigura Gura menjadi salah satu kontributor utama dalam penyediaan energi listrik di Sumatera Utara, menegaskan peran penting PLTA dalam memanfaatkan sumber daya air untuk kebutuhan kelistrikan.

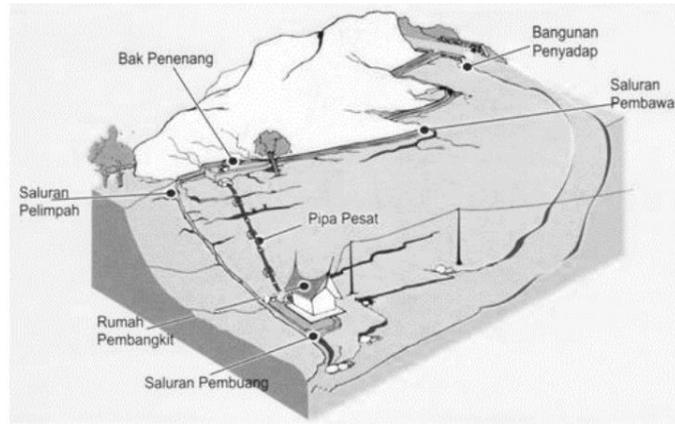
Proses Pembangkit Listrik Tenaga Air

Proses pembangkitan listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dimulai dengan masuknya air dari waduk atau danau melalui saluran masuk menuju turbin. Saat air mengalir melalui turbin, energi kinetik dari aliran tersebut menggerakkan turbin untuk berputar. Gerakan turbin ini kemudian dipindahkan ke generator yang terhubung, di mana energi mekanis dari turbin diubah menjadi energi listrik. Listrik yang dihasilkan kemudian dialirkan melalui transformator untuk meningkatkan tegangan agar dapat ditransmisikan melalui jaringan transmisi listrik dengan efisiensi yang lebih baik.

Akhirnya, energi listrik ini didistribusikan ke berbagai konsumen, seperti rumah tangga, industri, dan kota-kota, untuk memenuhi kebutuhan listrik mereka sehari-hari, dengan cara listrik dihasilkan dari generator dan arus listrik ditransmisikan dari pembangkit listrik hingga ke substasiun (gardu) listrik dalam tegangan tinggi, dari gardu tersebut langsung di distribusikan dengan tenaga rendah ke rumah rumah penduduk. Proses ini menunjukkan konversi energi potensial air menjadi sumber energi listrik yang dapat diandalkan dan ramah lingkungan.

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) dan Mikohidro (PLTMH)

PLTM dan PLTMH adalah jenis pembangkit listrik tenaga air yang dibedakan berdasarkan kapasitas daya yang dihasilkan. PLTM dikategorikan untuk pembangkit dengan daya antara 100 kW hingga 5.000 kW, sementara PLTMH menghasilkan daya kurang dari 100 kW. Kedua jenis ini umumnya dibangun di saluran irigasi atau sungai yang berada di daerah berbukit, dimana terdapat energi mekanik dari aliran air yang dimanfaatkan.

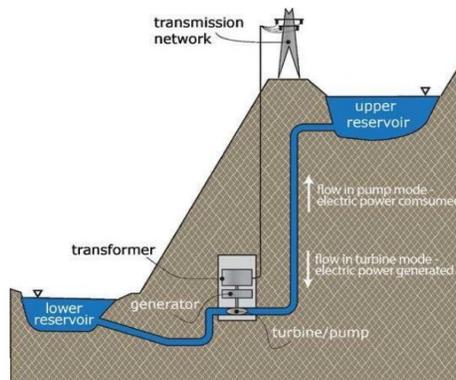


Gambar 3. 1 Ilustrasi sistem pada PLTMH

PLTA *Pumped Storage*

Salah satu tantangan utama dari *pumped storage* adalah pemilihan lokasi yang sesuai. Teknologi ini membutuhkan ketinggian geografis dan ketersediaan air yang memadai. Karena itu, area yang ideal untuk pengembangan *pumped storage* biasanya berada di daerah perbukitan atau pegunungan yang juga memiliki potensi keindahan alamnya. Selain itu, aspek sosial dan ekologis juga perlu dipertimbangkan dalam pengembangan proyek pumped storage.

Skema *pumped storage* terhubung dengan jaringan listrik lainnya dan memiliki kemampuan untuk menjalankan fungsi kontrol frekuensi, kontrol jaringan, melakukan restart sistem, serta menyediakan cadangan saat terjadi pemadaman listrik (Ion, Petrescu, and Petrescu, 2015).



Gambar 3. 2 Ilustrasi teknologi *Pumped Storage*

II 2.3.3 Bio Energi/Biomassa

Biomassa adalah bahan atau senyawa organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik sebagai produk maupun limbah. Contoh biomassa termasuk pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja, dan kotoran ternak. Bagi manusia, biomassa merupakan sumber utama serat, bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan, dan berbagai produk lainnya.

Dalam proses fotosintesis yang menghasilkan biomassa, klorofil yang terdapat di dalam daun tumbuhan berfungsi seperti sel surya, menyerap energi dari sinar matahari dan mengubah karbon dioksida serta air menjadi senyawa yang mengandung karbon, hidrogen, dan oksigen (hidrokarbon).

Biomassa Sebagai Sumber Energi

Potensi biomassa di Indonesia yang bisa digunakan sebagai sumber energi jumlahnya sangat melimpah. Potensi biomassa Indonesia sebesar 146,7 juta ton per tahun. Sementara potensi biomassa yang berasal dari sampah untuk tahun 2020 diperkirakan sebanyak 53,7 juta ton. Limbah yang berasal dari hewan maupun tumbuhan semuanya potensial untuk dimanfaatkan dan dikembangkan. Tanaman pangan dan perkebunan menghasilkan limbah yang cukup besar, yang dapat dipergunakan untuk keperluan lain seperti bahan bakar nabati. Pemanfaatan limbah sebagai bahan bakar nabati memberi tiga keuntungan langsung:

1. Peningkatan Efisiensi Energi Kandungan energi yang terdapat pada limbah cukup besar dan akan terbuang percuma jika tidak dimanfaatkan.
2. Penghematan Biaya Membuang limbah seringkali lebih mahal daripada memanfaatkannya.
3. Pengurangan Kebutuhan Tempat Penimbunan Sampah Penyediaan tempat penimbunan akan menjadi lebih sulit dan mahal, khususnya di daerah perkotaan.

Selain digunakan untuk mengelola limbah, biomassa kini semakin banyak dikembangkan sebagai sumber energi utama. Tanaman seperti kelapa sawit, jarak, dan kedelai banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk pembuatan biodiesel. Sementara itu, tanaman seperti ubi kayu, jagung, sorgum, dan sagu sering dipakai sebagai bahan baku untuk produksi bioetanol.

Selain sebagai kebutuhan primer, biomassa juga dimanfaatkan sebagai sumber energi, terutama untuk jenis biomassa dengan nilai ekonomis rendah, seperti limbah atau sisa bahan setelah produk utamanya diambil. Sumber energi biomassa termasuk dalam kategori energi terbarukan, karena proses produksinya yang berkelanjutan. Di Indonesia, biomassa merupakan sumber daya alam yang sangat penting, dengan berbagai produk primer seperti serat, kayu, minyak, dan bahan pangan. Selain memenuhi kebutuhan domestik, produk biomassa juga diekspor dan berperan sebagai tulang punggung dalam penghasilan devisa negara.

Bioenergi adalah energi yang diperoleh, dibangkitkan, atau berasal dari biomassa. Biomassa sendiri adalah bahan-bahan organik berumur relatif muda yang berasal dari tumbuhan dan hewan. Sumber biomassa ini termasuk produk dan limbah dari berbagai industri budidaya seperti pertanian, perkebunan, kehutanan, peternakan, dan perikanan.

Limbah pertanian adalah bahan yang dihasilkan dari sektor pertanian, baik berupa sisa-sisa tanaman maupun material yang tidak terpakai dari kegiatan pertanian. Limbah ini mencakup berbagai jenis material, seperti sisa tanaman, daun, ranting, sekam padi, jerami, dan kotoran ternak. Pengelolaan limbah pertanian yang efektif sangat penting untuk mencegah pencemaran lingkungan, meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, serta mendukung keberlanjutan pertanian. Limbah pertanian dapat diolah menjadi kompos, pakan ternak, atau bahan bakar alternatif seperti biogas, yang tidak hanya membantu mengurangi limbah, tetapi juga memberikan manfaat ekonomi bagi petani.

Limbah pertanian di masyarakat sangat melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal. Di Indonesia, potensi limbah pertanian sebagai sumber energi diperkirakan mencapai 200 juta ton per tahun, yang berasal dari residu pertanian, kehutanan, perkebunan, dan limbah padat atau sampah kota. Ini termasuk hutan produktif dan perkebunan yang mencakup area seluas 23 juta hektar.

Limbah pertanian, yang juga dikenal sebagai biomassa, mengandung bahan organik tinggi seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang memiliki kadar energi. Meskipun biomassa tersedia dalam jumlah besar, perlakuan khusus diperlukan karena kandungan energi biomassa biasanya lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar minyak. Oleh karena itu, pemanfaatan energi biomassa memerlukan teknik yang tepat untuk mengoptimalkan penggunaannya.

Jenis jenis limbah yang dapat dijadikan biomassa meliputi :

- Limbah Pertanian

Limbah pertanian ada beberapa macam seperti sisa sisa tanaman jerami, tongkol jagung, sekam padi, seresah tanaman seperti tanaman yang telah mati mencakup daun, cabang, ranting, bunga, dan buah yang gugur di permukaan tanah. Ini bisa berupa bagian tanaman yang masih utuh atau yang telah mengalami pelapukan sebagian.

- Limbah Perkebunan

Limbah dari tanaman perkebunan seperti serat kelapa sawit, cangkang kelapa, dan daun tebu.

- Limbah Kehutanan

Kayu sisa dari penebangan, serpihan kayu, dan dedaunan.

- Limbah Peternakan

Kotoran hewan dan sisa makanan ternak.

- Limbah perikanan

Sisa-sisa ikan dan organisme laut lainnya yang tidak digunakan.

Konversi Energi Biomassa

Penggunaan biomassa untuk menghasilkan panas dimulai dengan pembakaran langsung, di mana biomassa dibakar untuk menghasilkan panas. Panas yang dihasilkan dari pembakaran ini kemudian dikonversi menjadi energi listrik melalui proses yang melibatkan turbin dan generator. Proses dimulai dengan biomassa yang dibakar dalam boiler untuk menghasilkan uap. Uap ini kemudian dialirkan ke turbin untuk menghasilkan putaran yang akan menggerakkan generator. Putaran dari turbin dikonversi menjadi energi listrik melalui magnet-magnet dalam generator.

Untuk mengkonversi biomassa menjadi bahan bakar yang dapat dimanfaatkan, diperlukan berbagai teknologi konversi. Beberapa teknologi utama untuk konversi biomassa adalah sebagai berikut:

1. **Pembakaran Langsung:** Teknologi yang paling sederhana di mana biomassa dapat langsung dibakar. Beberapa jenis biomassa mungkin perlu dikeringkan dan didensifikasi sebelum digunakan agar praktis dalam penggunaannya.
2. **Konversi Termokimiawi:** Teknologi yang menggunakan perlakuan termal untuk memicu reaksi kimia dalam menghasilkan bahan bakar.
3. **Konversi Biokimiawi:** Teknologi yang melibatkan mikroba dalam proses konversi untuk menghasilkan bahan bakar.

Setiap teknologi konversi memiliki perbedaan dalam alat yang digunakan dan jenis bahan bakar yang dihasilkan. Secara umum, teknologi konversi biomassa menjadi bahan bakar dapat dibedakan menjadi tiga kategori utama.

Pemanfaatan Energi Biomassa

Biobriket

Biobriket adalah salah satu metode untuk mengkonversi sumber energi biomassa menjadi bentuk lain dengan cara dimampatkan sehingga menjadi lebih terstruktur. Briket dikenal dalam bentuk batubara, namun tidak hanya batubara yang dapat dijadikan briket. Contoh lain dari biomassa yang dijadikan briket termasuk sekam, arang sekam, serbuk gergaji, serbuk kayu, dan limbah biomassa lainnya.

Pembuatan briket relatif tidak sulit, dan alat yang digunakan bervariasi dari pengempa manual hingga mesin semi mekanis dan otomatis.

Gasifikasi Biomassa

Salah satu metode yang efektif untuk memanfaatkan energi biomassa adalah melalui gasifikasi. Proses gasifikasi, yang telah dikenal sejak abad lalu, kini kembali menarik perhatian global karena kemampuannya mengubah biomassa menjadi sumber energi terbarukan. Kemajuan terbaru dalam

teknologi gasifikasi biomassa menunjukkan bahwa metode ini memiliki potensi besar untuk menjadi sumber energi yang signifikan.

Dengan penerapan teknologi gasifikasi secara intensif dalam pembangkit listrik dan energi termal, biaya produksi dapat ditekan sehingga menjadi lebih kompetitif dan menguntungkan. Selain itu, teknologi ini memiliki potensi untuk mendorong pertumbuhan ekonomi dan menciptakan peluang kerja di daerah pedesaan melalui penyediaan energi dari tanaman energi. Selain manfaat ekonomi, teknologi ini juga dapat berkontribusi pada perbaikan lingkungan, seperti meningkatkan curah hujan, membuat lingkungan lebih hijau, dan menurunkan suhu di sekitar industri dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan.

Tujuan gasifikasi biomassa adalah untuk memanfaatkan sumber daya alam dan sumber daya manusia yang ada di pedesaan semaksimal mungkin, guna memenuhi kebutuhan listrik masyarakat, terutama di desa-desa terpencil, sehingga kesejahteraan dapat merata. Selain itu, teknologi ini juga bertujuan untuk menjaga lingkungan hidup dengan memanfaatkan energi hijau (*green energy*).

Gasifikasi biomassa adalah suatu proses dekomposisi termal dari bahan organik yang dilakukan dengan memberikan panas tinggi dan membatasi pasokan oksigen. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan synthesis gas (syngas) sebagai produk utama, yang terdiri dari karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂), dan metana (CH₄). Selain itu, proses ini juga menghasilkan sejumlah kecil bio-arang, abu, dan sisa material yang tidak terbakar (inert) sebagai produk sampingan (Eggen dan Kraatz, 1976).

Proses gasifikasi biomassa terjadi dalam sebuah ruangan yang disebut reaktor gasifikasi, di mana pembakaran dilakukan secara tidak sempurna untuk menjaga suhu tinggi yang diperlukan dalam proses ini.

Ada tiga tipe dan modifikasi utama dari reaktor gasifikasi yang dikenal, yaitu:

Up Draft (Counter Current) Gasifikasi

Tipe gasifikasi yang paling sederhana adalah gasifikasi aliran atas (updraft), di mana biomassa dimasukkan dari bagian atas reaktor dan bergerak ke bawah. Proses ini menghasilkan gas dan bio-

arang. Udara untuk pembakaran dimasukkan dari bawah, sementara syngas keluar dari atas. Biomassa sebagai bahan bakar bergerak berlawanan arah dengan aliran syngas (aliran berlawanan) dan melewati beberapa zona, yaitu zona pengeringan, zona distilasi, zona reduksi, dan zona oksidasi/pembakaran.

Down Draft (Co Current) Gasifikasi

Pada tipe gasifikasi aliran bawah (down draft), biomassa dimasukkan dari bagian atas reaktor bersama dengan udara untuk proses pembakaran. Gas hasil produksi mengalir dari bawah reaktor. Dalam tipe ini, aliran biomassa dan udara searah (co-current flow) dan melewati zona pengeringan, zona pirolisis, dan zona reduksi, mirip dengan pada tipe aliran atas (up draft). Keunggulan utama dari tipe down draft adalah kemampuannya menghasilkan gas produksi dengan kandungan tar yang rendah..

Cross Draft Gasifikasi

Pada tipe cross draft gasifikasi, udara dan biomassa dimasukkan secara diagonal ke dalam reaktor, menciptakan pola aliran gas yang melintasi reaktor dari satu sisi ke sisi lainnya.

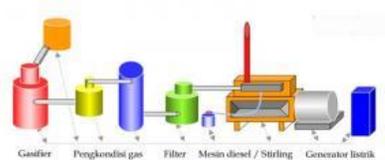
Reaksi Kimia pada Proses Gasifikasi

Pembakaran dalam proses gasifikasi membutuhkan udara dalam jumlah yang lebih sedikit dibandingkan dengan kebutuhan stokiometrik pembakaran. Udara disuplai ke dalam reaktor melalui kipas/blower untuk memenuhi kebutuhan oksigen.

Selain itu, gasifikasi akan membantu mengatasi masalah penanganan dan pemanfaatan limbah pertanian, perkebunan, dan kehutanan. Ada tiga bagian utama perangkat gasifikasi, yaitu:

1. **Unit Pengkonversi Bahan Baku (Umpan) Menjadi Gas (Reaktor Gasifikasi):** Bagian ini bertanggung jawab untuk mengubah bahan baku biomassa menjadi gas melalui proses pemanasan dengan jumlah oksigen terbatas.
2. **Unit Pemurnian Gas:** Setelah gas dihasilkan dari reaktor gasifikasi, gas ini perlu dimurnikan untuk menghilangkan kotoran dan zat-zat yang tidak diinginkan agar gas tersebut layak digunakan sebagai bahan bakar.

3. **Unit Pemanfaatan Gas:** Gas yang telah dimurnikan kemudian digunakan untuk berbagai keperluan, seperti pembangkit listrik, bahan bakar untuk mesin, atau aplikasi industri lainnya.



Gambar 4. 1 skema gassifikasi biomassa dan sistem pembangkit daya

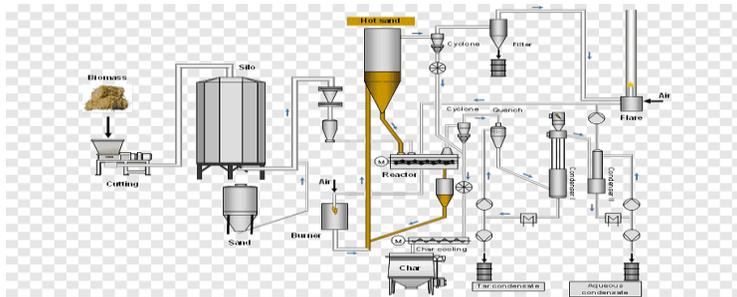
Pirolisis

Pirolisis, atau disebut juga thermolisis, adalah proses dekomposisi kimia dengan menggunakan pemanasan tanpa kehadiran oksigen. Proses pirolisis menghasilkan produk berupa bahan bakar padat (karbon), cairan berupa campuran tar, dan beberapa zat lainnya.

Ada beberapa tingkatan proses pirolisis, yaitu pirolisis primer dan pirolisis sekunder.

- **Pirolisis Primer:** Pirolisis ini terjadi pada bahan baku (umpan).
- **Pirolisis Sekunder:** Pirolisis ini terjadi pada partikel dan gas/uap hasil pirolisis primer.

Penting untuk diingat bahwa pirolisis adalah proses penguraian yang terjadi karena panas lebih dari 150°C. Oleh karena itu, keberadaan O₂ harus dihindari dalam proses ini karena dapat memicu reaksi pembakaran.



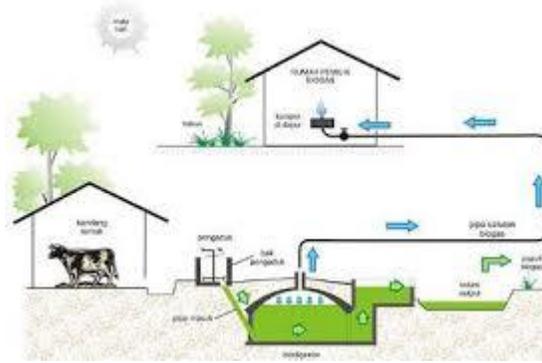
Gambar 4. 2 alir proses pirolisis biomassa

Liquifikasi

Liquifikasi adalah proses perubahan wujud dari gas menjadi cairan, yang terjadi melalui kondensasi dengan pendinginan, atau perubahan dari padat menjadi cairan melalui peleburan. Proses ini juga bisa terjadi dengan pemanasan, penggilingan, dan pencampuran dengan cairan lain untuk memutuskan ikatan. Dalam konteks energi, liquifikasi terjadi pada batubara dan gas, di mana keduanya diubah menjadi bentuk cairan untuk menghemat transportasi dan memudahkan dalam pemanfaatan.

Biokimia

Pemanfaatan energi biomassa melibatkan proses biokimia seperti hidrolisis, fermentasi, dan anaerobic digestion. Anaerobic digestion adalah proses biokimia di mana bahan organik atau selulosa diuraikan menjadi CH_4 dan gas lainnya. Proses anaerobic digestion ditunjukkan dalam Gambar 5. Selain itu, proses pembuatan etanol dari biomassa termasuk dalam konversi biokimiawi. Biomassa yang kaya karbohidrat atau glukosa dapat difermentasi menjadi etanol dan CO_2 setelah mengalami hidrolisis menjadi glukosa terlebih dahulu. Etanol yang dihasilkan dari fermentasi umumnya memiliki kadar air tinggi dan perlu didistilasi hingga mencapai kadar etanol di atas 99.5% agar sesuai untuk digunakan sebagai pengganti bensin.



Gambar 4. 3 skema pembentukan biogas

Densifikasi

Untuk meningkatkan manfaat biomassa secara efisien, salah satu metodenya adalah dengan membentuknya menjadi briket atau pellet. Briket atau pellet memudahkan dalam penanganan biomassa dengan tujuan meningkatkan densitasnya serta mempermudah penyimpanan dan pengangkutan. Secara umum, densifikasi (pembentukan briket atau pellet) memiliki beberapa keuntungan, antara lain: meningkatkan nilai kalor per unit volume, memudahkan penyimpanan dan pengangkutan, serta menghasilkan produk dengan ukuran dan kualitas yang seragam.

Karbonisasi

Karbonisasi adalah proses untuk mengkonversi bahan organik menjadi arang. Selama proses ini, zat-zat mudah terbakar seperti CO, CH₄, H₂, formaldehid, methana, formik acid, dan asam asetat dilepaskan, bersama dengan zat-zat yang tidak terbakar seperti CO₂, H₂O, dan tar cair. Gas-gas yang terlepas selama proses ini memiliki nilai kalor yang tinggi dan dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan panas dalam proses karbonisasi. Biomassa ini tersendiri di Indonesia memiliki pembangkit listrik yaitu PLTB.

Di Indonesia, pengembangan sumber energi biomassa telah mengalami perkembangan signifikan dari waktu ke waktu. Salah satu contohnya adalah pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) yang dimulai di Gorontalo pada 21 Juli 2014. PLTBm pertama ini, yang dikenal sebagai PLTBm Pulubala, diharapkan oleh Dahlan Iskan dapat menjadi contoh bagi daerah lain untuk mengadopsi teknologi serupa. PLTBm Pulubala memanfaatkan potensi tongkol jagung yang melimpah di Provinsi Gorontalo.

Dari Gorontalo, pengembangan PLTBm meluas ke berbagai daerah di Indonesia, termasuk Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah. Beberapa PLTBm yang dibangun memiliki kapasitas hingga 10 MW dan beberapa di antaranya juga mengintegrasikan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Biogas (PLTBg).

Selain itu, di ibu kota Jakarta, rencananya juga akan dibangun Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) di Marunda oleh anak perusahaan PT PLN (Persero), yaitu PT Indonesia Power. Proyek ini merupakan bagian dari upaya untuk memanfaatkan dan mengolah sampah yang ada di Jakarta Utara menjadi sumber energi listrik.

Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBM) tersebar di berbagai lokasi di Indonesia, terutama di daerah-daerah agraris yang memiliki potensi biomassa yang tinggi. Beberapa lokasi PLTBM di Indonesia meliputi Jawa, Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, dan pulau-pulau lainnya yang memiliki sumber daya biomassa yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

PLTBm telah dibangun di tiga desa di Pulau Siberut, Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat, yaitu Saliguma, Madobag, dan Matotonan, dengan total kapasitas 700 kW. PLTBm ini dirancang untuk menerangi 1.233 Kepala Keluarga (KK). Potensi penghematan yang diharapkan dari PLTBm dibandingkan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) adalah sebesar Rp 14 miliar per tahun.

II 2.3.4 Energi Laut

Secara teknis, energi laut adalah energi yang dapat dihasilkan dari energi kinetik pergerakan mekanik air laut, energi potensial dari perbedaan ketinggian muka air laut, serta perbedaan temperatur air laut. Energi laut dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan teknologi yang telah berkembang pesat di dunia internasional. Energi-energi tersebut merupakan energi terbarukan karena berasal dari proses alam yang berkelanjutan (Kementerian ESDM, 2012).

Sumber energi dari air laut di Indonesia meliputi berbagai bentuk, seperti suhu air, arus, dan gelombang. Air laut, yang berasal dari lautan, memiliki rasa asin karena terdiri dari 96,5% air tawar dan 3,5% komponen lain, termasuk garam, gas terlarut, bahan organik, dan partikel yang tidak terlarut. Kandungan garam dalam air laut bervariasi, tergantung pada sumber mineral garam

di bebatuan dan tanah, serta pada proses pengangkutan garam oleh aliran sungai dan akumulasi dari ombak yang menerjang pantai. Dengan waktu, air laut menjadi asin karena kandungan garam yang tinggi. Garam ini menjadikan air laut sebagai elektrolit yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik, seperti yang dijelaskan oleh Prastuti (2017). Penelitian Prastuti (2017) menunjukkan bahwa air laut dapat digunakan sebagai elektrolit dalam sel baterai untuk pembangkit tenaga listrik terbarukan.

Energi laut (ocean energy) adalah energi kinetik yang terdapat dalam air laut dan dapat diubah menjadi bentuk energi lain, terutama energi listrik, melalui turbin dan generator. Secara umum, energi laut dapat dibagi menjadi tiga kategori utama:

1. Energi ombak (wave energy)
2. Energi pasang surut (tidal energy)
3. Konversi energi panas laut (ocean thermal energy conversion)

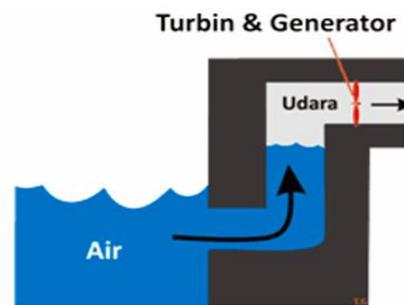
Energi Ombak

Ombak terjadi karena angin yang bertiup di permukaan laut. Meskipun ombak memiliki potensi energi yang besar, diperlukan teknologi khusus untuk mengubah energi kinetik ombak tersebut menjadi energi listrik.

Ada beberapa metode untuk mengubah energi ombak menjadi energi listrik tersebut:

- ***Oscillating Water Column (OWC)*** adalah teknologi yang memanfaatkan gelombang air laut untuk menghasilkan energi listrik. Teknologi ini menggunakan gelombang laut untuk memutar turbin. Proses ini terjadi karena udara terkompresi dalam ruang tertutup ketika

gelombang laut masuk, yang mendorong turbin untuk berputar (Partjiman et al., 2018). Sistem OWC menghasilkan listrik dengan memanfaatkan perubahan tinggi dan rendahnya level air laut dalam kolom osilasi yang berlubang. Gelombang laut menyebabkan perubahan tekanan udara di dalam kolom, membuat turbin berputar akibat tekanan udara yang dihasilkan. Tenaga mekanik dari tinggi gelombang dan tenaga kinetik dari kecepatan gelombang digunakan untuk menggerakkan generator, yang selanjutnya menggerakkan turbin atau generator (Royyana et al., 2015).



Gambar 5. 1 Diagram Oscillating Water Column

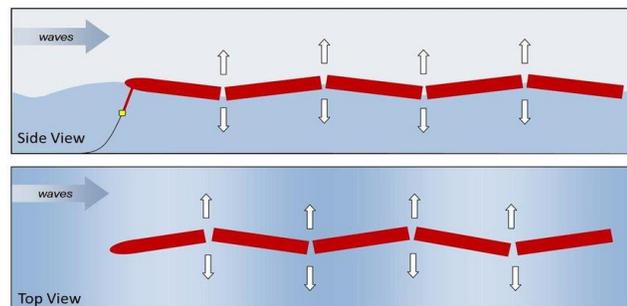
Berdasarkan penelitian terdahulu juga diperoleh hasil bahwa wilayah perairan laut yang ada di Indonesia berpotensi untuk diterapkan PLTGL yang berupa sistem kolom air berosilasi atau OWC. Akan tetapi tidak semua wilayah dapat diterapkan karena beberapa tempat menghasilkan daya yang kecil seperti Selat Malaka. Namun, banyak wilayah yang berpotensi untuk teknologi OWC, seperti perairan Selat Banten hingga Jawa, perairan wilayah selatan Jawa Tengah dan Jawa Timur, serta perairan laut Arafuru (Utami, 2010). Menurut Safitri dkk (2016), analisis dan pengkajian mereka menunjukkan bahwa wilayah yang memiliki potensi tinggi dalam menghasilkan daya listrik, khususnya di musim barat, mencapai nilai sebesar 831.370,47 Watt di Pantai Temajuk Kabupaten Sambas, Pantai Pulau Karimata Kabupaten Kayong Utara, dan Pantai Pulau Bawal Kabupaten Ketapang. Daya listrik tertinggi tercatat di Pantai Pulau Karimata, Kabupaten Kayong Utara.

- **Pelamis** adalah nama perusahaan yang merancang teknologi pembangkit listrik dengan nama yang sama (sebelumnya dikenal sebagai Ocean Power Delivery). Teknologi ini menggunakan tabung-tabung berbentuk seperti ular yang mengapung di permukaan laut untuk menghasilkan listrik. Setiap tabung memiliki panjang lebih dari 100 meter dan

terbagi menjadi empat segmen. Ketika ombak melintasi perangkat ini, tabung-tabung silinder bergerak secara vertikal dan lateral. Gerakan ini mendorong piston di antara segmen-segmen yang menggerakkan cairan hidrolik bertekanan melalui sebuah motor untuk menghasilkan listrik. Untuk menjaga agar tabung tidak terbawa arus laut, setiap tabung diikat ke dasar laut dengan menggunakan jangkar khusus.



Gambar 5. 2 alat pelamis salah satu alat pembangkit listrik tenaga ombak.



Gambar 5. 3 Ilustrasi pergerakan pelamis

- **Renewable Energy Holdings** menghasilkan pembangkit listrik dari energi gelombang laut dengan memasang peralatan di dasar laut dekat tepi pantai, mirip dengan teknologi Pelamis. Mereka menggunakan prinsip gerakan naik-turun ombak untuk menggerakkan piston di dalam sebuah silinder, yang kemudian menghasilkan energi listrik.

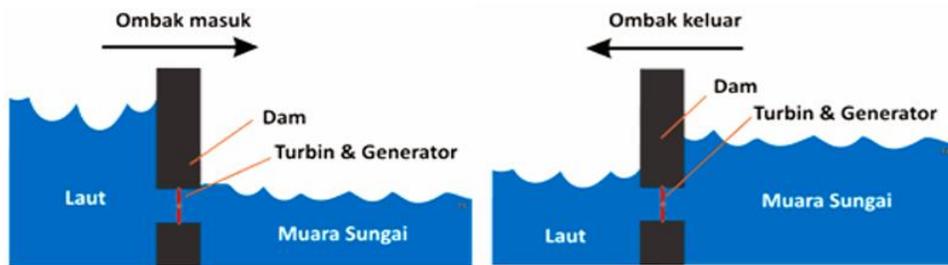


Gambar 5. 4 pembangkit listrik tenaga ombak Renewable energy holdings

Energi Pasang Surut

Pasang surut menggerakkan jumlah air yang besar setiap hari, dan pemanfaatannya dapat menghasilkan energi dalam jumlah yang signifikan. Dalam sehari, terjadi hingga dua kali siklus pasang surut. Karena siklus ini dapat diprediksi (sekitar setiap 12,5 jam), pasokan listrik dari energi pasang surut cenderung lebih dapat diandalkan dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga gelombang. Dan memanfaatkan energi pasang surut itu ada dua cara untuk memanfaatkannya, diantaranya:

- **Dam pasang surut (*tidal barrages*)** adalah metode yang mirip dengan pembangkit listrik tenaga air konvensional yang terdapat di waduk atau dam sungai. Perbedaannya terletak pada struktur bendungan yang dirancang khusus untuk memanfaatkan siklus pasang surut. Dam ini biasanya dibangun di muara sungai tempat air sungai bertemu dengan air laut. Saat air laut mengalami pasang atau surut, air akan mengalir melalui terowongan yang terletak di dalam dam untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan energi listrik.



Gambar 5. 5 Gerakan air dalam muara sungai ketika terjadi pasang: pasang naik (kiri); pasang surut (kanan)

Pembangkit listrik tenaga pasang surut (PLTPs) terbesar di dunia terletak di muara sungai Rance di utara Perancis. Pembangkit listrik ini telah dibangun sejak tahun 1966 dan memiliki kapasitas sebesar 240 MW. PLTPs La Rance menggunakan teknologi canggih dan beroperasi secara otomatis, hanya memerlukan dua orang untuk pengoperasian pada akhir pekan dan malam hari. PLTPs terbesar kedua di dunia terletak di Annapolis, Nova Scotia, Kanada, dengan kapasitas 16 MW.



Gambar 5. 6 Pembangkit listrik tenaga pasang surut terbesar di dunia, La Rance, Brittany, Perancis.

(sumber: <http://www.theecologist.org>)

Turbin lepas pantai (*Offshore Turbines*) adalah turbin angin yang dipasang di laut dalam, menggunakan air laut sebagai medium untuk menggerakkan turbin. Metode ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga pasang surut dan turbin angin darat:

1. **Biaya Instalasi Lebih Murah:** Meskipun biaya awalnya bisa lebih tinggi daripada turbin angin darat, biaya instalasi turbin lepas pantai cenderung lebih murah dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga pasang surut yang memerlukan infrastruktur tambahan seperti dam.

2. **Dampak Lingkungan Lebih Kecil:** Pembangunan turbin lepas pantai cenderung memiliki dampak lingkungan yang lebih sedikit daripada pembangunan dam untuk pembangkit listrik tenaga pasang surut. Turbin ini juga tidak mengganggu ekosistem sungai atau estuari.
3. **Fleksibilitas Lokasi:** Turbin lepas pantai dapat dipasang di berbagai lokasi di laut yang memiliki potensi angin yang baik, tanpa memerlukan kondisi geografis yang khusus seperti pembangkit listrik tenaga pasang surut. Ini memungkinkan pemanfaatan sumber daya energi terbarukan di lebih banyak wilayah.

Dengan keunggulan-keunggulannya ini, turbin lepas pantai menjadi pilihan yang menarik untuk menghasilkan energi terbarukan secara efisien dan ramah lingkungan di berbagai bagian dunia.

Beberapa bentuk turbin lepas pantai untuk pembangkit listrik tenaga pasang surut:

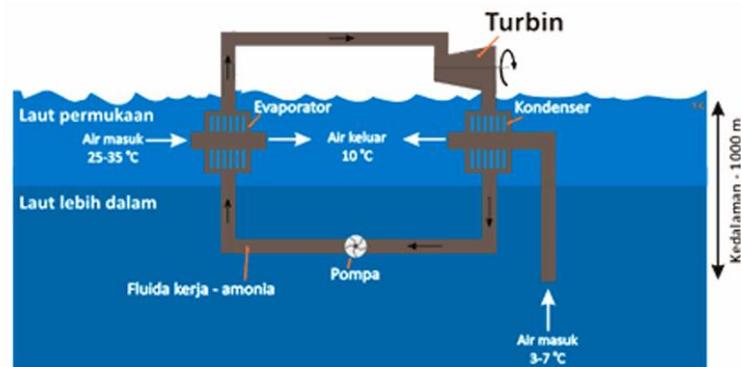


Gambar 5. 7 Berbagai jenis turbin lepas pantai yang digerakkan oleh arus pasang surut. (dari berbagai sumber)

Energi Panas Laut

Secara alami, terdapat perbedaan temperatur antara air di permukaan laut dan di kedalaman laut. Permukaan laut umumnya memiliki suhu yang lebih tinggi karena menyerap panas dari sinar matahari. Perbedaan ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik melalui konversi energi panas laut (Ocean Thermal Energy Conversion atau OTEC).

Untuk dapat memanfaatkan OTEC, diperlukan perbedaan temperatur minimal 25°C antara air hangat di permukaan laut dan air laut yang lebih dingin di kedalaman. Teknologi OTEC umumnya menggunakan fluida kerja yang mudah menguap, seperti amonia. Diagram pada Gambar 8.7 menunjukkan sistem pembangkit listrik tenaga panas laut dengan menggunakan siklus tertutup dan fluida kerja amonia.



Gambar 5. 8 Pembangkit listrik tenaga panas laut dengan siklus tertutup

Pembangkit listrik tenaga panas laut dengan siklus tertutup menggunakan perbedaan temperatur antara air laut hangat di permukaan dan air laut dingin di kedalaman untuk menghasilkan energi listrik. Teknologi ini umumnya memanfaatkan fluida kerja yang mudah menguap, seperti amonia atau bahan lainnya, untuk menggerakkan turbin dan generator listrik. Konsep ini menjaga fluida kerja tetap dalam siklus tertutup, di mana uap dari fluida kerja yang diuapkan oleh panas permukaan laut didinginkan kembali menjadi cairan menggunakan pendingin air laut yang lebih dingin dari kedalaman laut.

Lokasi Energi Laut di Indonesia

Energi laut di Indonesia dapat dimanfaatkan di berbagai lokasi strategis di sepanjang pantai-pantai dan perairan kepulauan. Berikut beberapa lokasi potensial untuk pengembangan energi laut di Indonesia:

1. **Pantai Selatan Jawa:** Pantai selatan Jawa memiliki gelombang laut yang cukup besar dari Samudra Hindia, menjadikannya potensial untuk teknologi energi ombak.

2. **Perairan Maluku:** Maluku memiliki perbedaan pasang surut yang signifikan antara laut terbuka dan Teluk Maluku, yang dapat dimanfaatkan untuk instalasi pembangkit listrik tenaga pasang surut (tidal barrages).
3. **Pulau-pulau di Nusa Tenggara:** Pulau-pulau di Nusa Tenggara memiliki arus laut yang kuat dan beragam, yang dapat dimanfaatkan untuk penggunaan turbin air arus laut.
4. **Perairan Sulawesi:** Perairan sekitar Sulawesi memiliki potensi besar untuk konversi energi panas laut (OTEC) karena suhu laut yang relatif tinggi.
5. **Perairan Kalimantan:** Pantai-pantai di sekitar Kalimantan memiliki potensi untuk energi ombak dan pasang surut, dengan arus laut yang kuat di beberapa selat dan muara sungai.
6. **Perairan Papua:** Perairan di sekitar Papua memiliki kondisi alam yang beragam, termasuk arus laut yang kuat di sekitar kepulauan, yang dapat dimanfaatkan untuk energi laut.

Pengembangan energi laut di Indonesia masih dalam tahap awal, tetapi potensi yang besar ini menawarkan kesempatan untuk diversifikasi sumber energi dan mendukung keberlanjutan energi nasional di masa depan.

Potensi Manfaat Energi Laut Bagi Masyarakat

Energi laut dari gelombang, arus, dan perbedaan suhu air laut (OTEC) memiliki potensi untuk menghasilkan energi listrik yang bermanfaat bagi masyarakat, terutama dalam konteks perikanan. Energi gelombang laut diperoleh dari pergerakan gelombang laut ke arah dan dari daratan. Indonesia, dengan wilayah lautnya yang luas, memiliki potensi besar dalam menghasilkan energi listrik dari sumber yang terbarukan ini, meskipun pemanfaatannya belum optimal. Keunggulan dari pembangkit listrik ini adalah tidak menimbulkan polusi karena menggunakan energi alam yang dapat diperbaharui, meskipun biaya instalasi dan perawatannya cukup mahal.

II 2.3.5 Energi Angin

Energi angin telah dimanfaatkan manusia sejak zaman kuno. Dahulu, energi angin digunakan untuk menggerakkan perahu layar serta dalam pengolahan dan proses pertanian. Saat ini, energi angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang digunakan untuk pembangkit listrik. Pemanfaatan energi angin dapat dilakukan di berbagai lokasi dengan potensi angin, baik di dataran rendah maupun tinggi, dan bahkan di laut. Sebelum membangun sistem pembangkit energi angin,

penting untuk mengidentifikasi area dengan potensi energi angin yang tinggi untuk memastikan penggunaannya optimal. Angin adalah udara yang bergerak dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah karena perbedaan suhu yang tidak merata akibat pemanasan atmosfer oleh sinar matahari. Udara yang bergerak ini memiliki massa, kerapatan, dan kecepatan. Karena massa dan kecepatan tersebut, angin memiliki energi kinetik dan energi potensial, dengan energi kinetik biasanya lebih dominan dibandingkan energi potensial.

Secara umum, Indonesia masuk dalam kategori negara tanpa angin, mengingat bahwa kecepatan angin minimum rata-rata yang secara ekonomis dapat dikembangkan sebagai penyedia jasa energi adalah 4m/dt. Kendati demikian, ada beberapa wilayah di mana sumber energi angin kemungkinan besar layak dikembangkan. Wilayah-wilayah tersebut antara lain Nusa Tenggara Timur (NTT), Nusa Tenggara Barat (NTB), Sulawesi Selatan dan Tenggara, Pantai Utara dan Selatan Jawa, dan Karimun Jawa.

Jenis Jenis Angin

Angin terjadi sebagai akibat dari sirkulasi udara di permukaan bumi yang dipengaruhi oleh penyinaran matahari dan rotasi bumi, yang menghasilkan perbedaan tekanan dan berat jenis udara. Perbedaan ini menyebabkan pergerakan udara yang kita kenal sebagai angin. Berdasarkan prinsip terjadinya, angin dapat dibedakan dengan jenis jenis sebagai berikut:

- Angin Laut dan Angin Darat :

Angin jenis ini terjadi karena adanya perbedaan suhu antara daratan dan lautan. Lautan memiliki kapasitas termal yang lebih besar, sehingga cenderung mempertahankan suhu yang lebih stabil daripada daratan. Pada malam hari, ketika suhu udara di daratan menurun lebih cepat daripada di laut, terjadi perbedaan suhu yang signifikan antara keduanya. Suhu laut yang relatif lebih tinggi menyebabkan udara di atasnya menjadi lebih hangat dan naik, menciptakan area tekanan rendah di atas laut. Di sisi lain, udara di atas daratan yang lebih dingin memiliki tekanan yang relatif lebih tinggi. Akibat dari perbedaan tekanan ini, udara bergerak dari daerah yang memiliki tekanan tinggi (daratan) ke daerah yang memiliki tekanan rendah (laut). Fenomena ini menyebabkan angin malam hari bertiup dari daratan ke laut.

Pada siang hari, saat sinar matahari lebih intens, daratan lebih cepat menghangat daripada laut. Hal ini mengakibatkan udara di atas daratan menjadi lebih panas, naik, dan menciptakan tekanan rendah di atas daratan. Sebaliknya, udara di atas laut yang lebih dingin memiliki tekanan yang lebih tinggi. Akibatnya, angin siang hari akan bertiup dari laut ke daratan, membawa udara yang lebih sejuk dari laut ke daratan yang lebih hangat.

Dengan demikian, angin jenis ini terjadi karena dinamika kompleks antara perbedaan suhu, kapasitas termal daratan dan laut, serta perubahan tekanan udara yang dipengaruhi oleh siklus harian penyinaran matahari.

- **Angin Lembah :**

Angin lembah adalah angin yang bertiup dari arah lembah ke arah puncak gunung, yang biasanya terjadi pada siang hari. Fenomena ini terjadi karena perbedaan suhu antara lembah yang cenderung lebih dingin dan puncak gunung yang lebih hangat. Pada siang hari, sinar matahari memanaskan daratan lebih cepat daripada air di lembah, sehingga udara di sekitar lembah menjadi lebih panas dan naik ke puncak gunung. Udara yang naik ini menciptakan area tekanan rendah di puncak gunung, sementara udara dingin dari lembah mengalir menggantikan udara yang naik tersebut, membentuk aliran udara dari lembah ke puncak gunung yang kita kenal sebagai angin lembah.

- **Angin Musim :**

Angin ini dikenal sebagai angin Muson, yaitu angin periodik yang biasanya terjadi di Samudra Hindia dan wilayah selatan Asia. Angin Muson Barat, atau Muson Barat, bertiup dari Benua Asia menuju Benua Australia selama musim dingin dan sebaliknya pada musim panas. Ketika melintasi perairan luas seperti samudra, angin ini membawa curah hujan tinggi yang berkontribusi pada musim hujan di Indonesia. Fenomena ini umumnya terjadi pada bulan Desember, Januari, dan Februari, dengan puncaknya biasanya terjadi pada bulan Januari.

Sementara itu, Angin Musim Timur, atau Muson Timur, bergerak dari Benua Australia (selama musim dingin) menuju Benua Asia (selama musim panas). Angin ini mempengaruhi musim kemarau di Indonesia karena melewati jalur sempit dan berbagai gurun. Musim kemarau di Indonesia biasanya terjadi pada bulan Juni, Juli, dan Agustus, dengan puncaknya umumnya pada bulan Juli.

Angin Permukaan :

Kecepatan dan arah angin ini dipengaruhi oleh perbedaan tekanan udara yang disebabkan oleh perbedaan material permukaan Bumi dan ketinggiannya. Secara umum, daerah dengan perbedaan tekanan udara yang besar cenderung memiliki angin yang lebih kuat. Ketinggian juga dapat mempengaruhi intensitas pusat tekanan udara.

- Angin Topan :

Angin topan adalah pusaran angin kencang yang sering terjadi di wilayah tropis, antara garis balik utara dan selatan. Fenomena ini disebabkan oleh perbedaan tekanan dalam sistem cuaca di daerah tersebut. Angin topan dapat mencapai kecepatan sangat tinggi dan sering disertai dengan hujan lebat serta gelombang laut yang tinggi. Peristiwa ini dapat memiliki dampak yang signifikan terhadap kehidupan dan infrastruktur di daerah yang terkena dampaknya.

Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Sistem pembangkit listrik tenaga angin terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu tiang penyangga (tower), turbin dan komponennya, generator, serta sistem penyimpanan dan konversi listrik AC-DC. Ketika angin bertiup, bilah kincir angin berputar dan menggerakkan turbin. Turbin ini terhubung langsung dengan generator di dalam bodi turbin, yang mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik dalam bentuk arus bolak-balik (AC).

Karena angin tidak selalu stabil dalam kecepatan dan arahnya, tegangan listrik AC yang dihasilkan juga bersifat fluktuatif. Untuk menjaga konsistensi dan stabilitas listrik yang dihasilkan, tegangan listrik AC dari generator umumnya dikonversi terlebih dahulu menjadi tegangan DC menggunakan sebuah proses penyearah (rectification), kemudian disimpan dalam baterai untuk digunakan pada

Sementara itu, turbin angin sumbu vertikal beroperasi dengan prinsip serupa, namun bilahnya berputar dalam bidang yang sejajar dengan tanah, seperti mixer kocokan telur. Setiap jenis turbin angin memiliki ukuran dan tingkat efisiensi yang berbeda. Untuk memilih jenis turbin angin yang paling sesuai dengan aplikasi tertentu, diperlukan kombinasi pengetahuan dan pengalaman.



Gambar 6. 3 Jenis-jenis baling kincir angin
(sumber: <http://indone5ia.wordpress.com>)

Pemilihan turbin yang tepat harus didasarkan pada karakteristik angin di lokasi pemasangan turbin. Dengan kata lain, turbin harus sesuai dengan kondisi angin untuk mencapai daya keluaran yang optimal. Kincir angin jenis multi-blade dan Savonius cocok digunakan di lokasi dengan kecepatan rata-rata angin rendah. Di sisi lain, kincir angin tipe Propeller paling umum digunakan karena mampu beroperasi dalam rentang kecepatan angin yang lebih tinggi.

Berikut adalah nama bagian-bagian dari sebuah kincir angin :

- **Gearbox:** Komponen ini berfungsi untuk mengubah putaran rendah dari kincir angin menjadi putaran tinggi.
- **Brake System:** Komponen ini penting saat angin bertiup terlalu kencang, yang dapat menyebabkan putaran berlebih pada generator. Dampak dari putaran berlebih ini termasuk overheating, kerusakan pada rotor, dan risiko arus berlebih pada generator.
- **Generator:** Ada beberapa jenis generator yang digunakan dalam sistem turbin angin, seperti generator serempak (synchronous generator), generator tak-serempak

(asynchronous generator), rotor sangkar, rotor belitan, dan generator magnet permanen. Generator serempak memungkinkan pengaturan tegangan dan frekuensi keluaran dengan mengatur arus medan, meskipun jarang digunakan karena biaya tinggi dan kompleksitas sistem kontrolnya. Generator tak-serempak lebih umum digunakan dalam sistem turbin angin dan mikrohidro, baik pada sistem fixed-speed maupun variable speed.

- **Penyimpan Energi:** Pada sistem turbin angin mandiri (stand alone), baterai digunakan untuk menyimpan energi listrik berlebih yang dihasilkan oleh turbin angin.
- **Tower:** Secara umum, tower dapat dibedakan menjadi tiga jenis: Guyed, Lattice, dan Mono-structure. Setiap jenis tower memiliki karakteristik tersendiri dalam hal biaya, perawatan, efisiensi, dan kesulitan dalam pembuatannya.



Gambar 6. 5 Berbagai tipe tower sistem pembangkit listrik tenaga angin: Guyed (kiri) Lattice (tengah)- Mono structure (kanan)

Karakteristik Kerja Turbin Angin

Setiap turbin angin memiliki karakteristik kerja yang menjadi panduan bagi pengguna dalam memilih turbin yang sesuai untuk lokasi tertentu. Karakteristik ini mencakup daerah kerja angin yang dapat dibagi menjadi tiga bagian: (a) *cut-in speed*, (b) kecepatan kerja angin rata-rata (kecepatan nominal), dan (c) *cut-out speed*.

Secara ideal, turbin angin dirancang dengan kecepatan cut-in seminimal mungkin, kecepatan nominal yang sesuai dengan potensi angin lokal, dan kecepatan cut-out semaksimal mungkin. Namun, secara mekanis, sulit untuk mencapai kondisi ini karena kompensasi dari perancangan

turbin angin dengan nilai kecepatan maksimal (V_{cutoff}) yang besar adalah V_{cut} dan V_{rated} yang relatif juga besar.

Berikut adalah daftar Lokasi PLTB di Indonesia

Meliputi:

1. PLTB Sidrap di Kabupaten Sidenreng Rappang, Sulawesi Selatan: PLTB Sidrap merupakan pembangkit terbesar di Indonesia dan Asia Tenggara yang mulai beroperasi secara komersial pada awal 2018. PLTB Sidrap memiliki kapasitas 75 megawatt (MW) dengan 30 turbin kincir angin berkapasitas masing-masing 2,5 MW.
2. PLTB Tolo di Kabupaten Jeneponto, Sulawesi Selatan: PLTB Tolo merupakan pembangkit terbesar kedua di Indonesia yang beroperasi komersial sejak tahun 2019. Pembangkit listrik ini memiliki kapasitas 72 MW dengan 20 turbin kincir angin berkapasitas masing-masing 3,6 MW.
3. PLTB Tanah Laut di Kalimantan Selatan: PLTB Tanah Laut akan melengkapi daftar PLTB yang beroperasi di Indonesia. Pengembang PLTB Tanah Laut adalah konsorsium Pace Energy Pte. Ltd & PT Juvisk Tri Swarna. Pembangunan PLTB ini direncanakan dalam tiga tahap, dengan tahap pertama berkapasitas 70 MW, tahap kedua 20 MW, dan tahap ketiga 60 MW.

Proses PLTB Menjadi Listrik

Cara kerja PLTB dimulai dengan angin yang mengenai baling-baling atau turbin angin. Baling-baling ini terdiri dari beberapa bilah yang dipasang pada sumbu. Ketika angin mengenai baling-baling, energi kinetik angin tersebut akan menggerakkan turbin untuk berputar, dan disalurkan ke generator, di bagian generator itulah energi putaran dari angin tersebut diubah menjadi energi listrik.

II 2.3.6 Energi Surya Termal

Energi surya termal adalah bentuk energi matahari yang dikonversi menjadi energi panas. Matahari bertindak sebagai benda hitam yang memancarkan radiasi secara ideal pada suhu sekitar 5800 K. Energi yang dihasilkan oleh panel surya berasal dari radiasi global, yang merupakan

kombinasi dari tiga jenis radiasi: radiasi langsung, radiasi hamburan, dan radiasi reflektif (albedo) yang diserap oleh panel. Penempatan panel surya dalam sistem pembangkit harus disesuaikan dengan lokasi instalasinya. Misalnya, di area yang bersalju, albedo tinggi dari permukaan salju dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan jumlah radiasi yang diterima oleh panel.

Energi Panas Surya

Aplikasi Energi Panas Matahari

Energi matahari dapat dengan mudah diubah menjadi panas, yang kemudian dapat digunakan untuk berbagai aplikasi seperti pemanas air, pengeringan, dan bahkan pembangkit listrik melalui sistem tenaga surya termal. Potensi pengembangan dan pemanfaatan energi panas matahari sangat baik, terutama di daerah sekitar garis khatulistiwa, termasuk Indonesia, di mana matahari bersinar sepanjang tahun. Ini menjadikan energi matahari sebagai sumber energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil serta menurunkan emisi karbon. Kemajuan teknologi, seperti kolektor surya dan panel surya termal, terus berkembang, membuka peluang untuk aplikasi yang lebih luas di berbagai sektor, dari rumah tangga hingga industri.

Berikut berbagai pemanfaatan energi matahari sebagai sumber panas secara langsung :

- Pemanas air
- Kompor matahari
- Pengeringan
- Distilasi air kotor

Pemanas Air Tenaga Surya

Secara umum, air panas diperoleh dengan memanaskan air menggunakan berbagai metode, seperti kompor minyak, gas, kayu bakar, atau listrik. Namun, sebagian besar listrik juga dihasilkan melalui pembakaran bahan bakar fosil, seperti batubara dan gas alam. Penggunaan bahan bakar fosil berkontribusi pada polusi udara karena emisi gas hasil pembakaran. Secara global, pemanasan air di rumah menyumbang sekitar 30% dari total emisi CO₂. Jika pemanfaatan tenaga surya untuk memenuhi 60% hingga 95% kebutuhan air panas harian dapat ditingkatkan, maka pengurangan

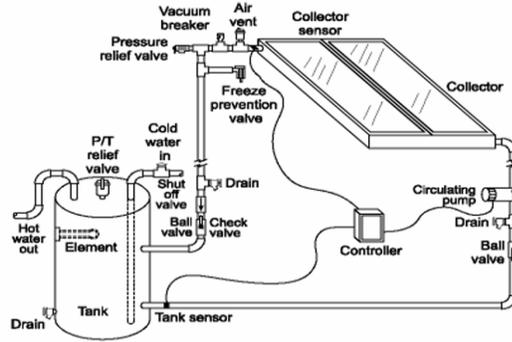
emisi CO₂ bisa mencapai 25%. Penggunaan sistem tenaga surya juga dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, yang secara langsung berkontribusi pada penurunan emisi CO₂. Selain itu, bahan bakar fosil adalah sumber energi yang tidak terbarukan dan akan habis pada suatu saat nanti.

Sistem pemanas air tenaga surya biasanya terdiri dari dua komponen utama yaitu, kolektor surya dan tangki penyimpanan. Selain itu, sistem ini juga mencakup beberapa komponen tambahan seperti sistem perpipaan, keran, penukar panas, pengontrol, sistem cadangan, dan berbagai komponen lainnya.

Kolektor surya berfungsi untuk mengumpulkan panas dari sinar matahari. Panas yang dikumpulkan kemudian diserap oleh media penyerap berupa cairan, baik air maupun campuran air dan glycol, ataupun zat cair lainnya. Untuk daerah empat musim, cairan yang sering digunakan adalah campuran air dengan glycol untuk mencegah pembekuan dalam kolektor surya pada musim dingin. Di daerah tropis seperti Indonesia, biasanya cairan yang digunakan dalam kolektor surya adalah air. Cairan bertemperatur rendah memasuki kolektor surya melalui inlet, kemudian setelah menyerap panas di kolektor, cairan tersebut keluar melalui outlet dengan suhu yang lebih tinggi. Proses sirkulasi ini berlangsung terus-menerus selama matahari bersinar dan dapat meningkatkan suhu air yang melewati kolektor. Pada malam hari, sirkulasi dihentikan untuk menghindari kehilangan panas (*heat loss*) melalui kolektor surya.

Tangki penyimpan panas mengandung air bersih dan berfungsi untuk menyimpan panas yang dikumpulkan oleh kolektor surya. Tangki ini menyerap panas dari cairan yang beredar dari kolektor. Proses penyerapan panas biasanya dilakukan dengan menggunakan penukar panas (*heat exchanger*) yang terbuat dari bahan dengan konduktivitas termal tinggi.

Pada hari-hari cuaca mendung atau ketika sinar matahari tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan air panas melalui kolektor, diperlukan sistem pemanas cadangan. Sistem cadangan ini bisa berupa pemanas listrik atau pemanas berbahan bakar gas. Jika menggunakan pemanas listrik, alat pemanas biasanya dipasang langsung pada tangki penyimpanan panas. Untuk pemanas berbahan bakar gas, panas disalurkan dari tungku pemanas ke tangki penyimpanan menggunakan mekanisme yang mirip dengan kolektor surya.



Gambar 6. 6 Diagram sebuah pemanas air tenaga surya
 (sumber: <http://www.dnr.mo.gov/energy/renewables/solar6.htm>)

Pembangkitan Listrik Tenaga Panas Matahari

Panas surya yang dihasilkan dari sistem terkonsentrasi melalui pemantulan ini dapat menghasilkan temperatur tinggi. Temperatur yang tinggi digunakan untuk memanaskan fluida yang selanjutnya dilewatkan turbin untuk memutar generator dan menghasilkan listrik.



*Gambar 6. 7 Berbagai bentuk sistem pembangkit panas tenaga surya untuk pembangkit listrik
(sumber: dari berbagai sumber di internet)*

Indonesia memiliki potensi besar untuk pengembangan teknologi surya thermal karena letaknya yang berada di garis khatulistiwa, sehingga mendapatkan sinar matahari sepanjang tahun. Beberapa lokasi yang cocok untuk pengembangan surya thermal di Indonesia antara lain:

1. **Pulau Jawa:** Pulau Jawa memiliki populasi yang padat dan kebutuhan energi yang tinggi. Beberapa daerah seperti Jawa Tengah dan Jawa Timur memiliki potensi besar untuk pengembangan surya thermal.
2. **Bali:** Sebagai destinasi wisata utama, Bali memiliki kebutuhan energi yang besar dan juga mendapatkan sinar matahari yang melimpah sepanjang tahun.
3. **Nusa Tenggara Timur (NTT):** NTT memiliki potensi surya thermal yang tinggi karena intensitas sinar matahari yang tinggi sepanjang tahun. Daerah seperti Kupang dan Labuan Bajo adalah contoh yang baik.
4. **Sulawesi Selatan:** Daerah seperti Makassar memiliki potensi besar untuk pengembangan surya thermal karena mendapatkan banyak sinar matahari.
5. **Sumatera Selatan:** Daerah seperti Palembang memiliki potensi besar untuk pengembangan surya thermal.
6. **Kalimantan Timur:** Dengan adanya banyak area terbuka dan sinar matahari yang melimpah, daerah ini memiliki potensi untuk pengembangan energi surya thermal.

Pengembangan teknologi surya thermal di lokasi-lokasi ini dapat membantu memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat di Indonesia dengan cara yang ramah lingkungan.

II 2.3.7 Energi Surya Listrik

Energi Listrik Tenaga Surya

Sel Surya

Sel surya, dalam bahasa Inggris disebut solar cells, merupakan perangkat yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik secara langsung. Proses ini dikenal sebagai efek fotovoltaiik atau Photovoltaic (PV). Efek fotovoltaiik terjadi ketika foton dari cahaya

matahari diserap oleh bahan semikonduktor dalam sel surya, menyebabkan elektron-elektron dalam bahan tersebut terlepas dan menghasilkan arus listrik.

Sel surya terbuat dari berbagai jenis bahan semikonduktor, yang paling umum adalah silikon. Sel surya dapat dikategorikan ke dalam beberapa jenis berdasarkan bahan dan teknologi pembuatannya, seperti sel surya monokristalin, polikristalin, dan thin-film.

- **Sel surya monokristalin:** Terbuat dari satu kristal silikon tunggal dan dikenal memiliki efisiensi yang tinggi dan umur panjang.
- **Sel surya polikristalin:** Terbuat dari banyak kristal silikon yang diolah bersama, biasanya lebih murah tetapi dengan efisiensi sedikit lebih rendah dibandingkan monokristalin.
- **Sel surya thin-film:** Menggunakan lapisan tipis dari bahan semikonduktor yang didepositkan pada substrat seperti kaca, plastik, atau logam, lebih fleksibel dan ringan, tetapi efisiensinya lebih rendah dibandingkan dengan jenis kristalin.

Sel surya sering digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari kalkulator dan jam tangan bertenaga surya, hingga sistem tenaga surya di rumah, gedung komersial, dan pembangkit listrik skala besar. Selain itu, sel surya juga digunakan dalam satelit dan kendaraan luar angkasa untuk menyediakan sumber energi yang dapat diandalkan dan berkelanjutan.

Penggunaan sel surya memberikan banyak manfaat, termasuk pengurangan emisi gas rumah kaca, pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan potensi penghematan biaya energi dalam jangka panjang. Teknologi sel surya terus berkembang dengan tujuan meningkatkan efisiensi dan menurunkan biaya produksi, sehingga dapat lebih luas diadopsi sebagai sumber energi utama di masa depan.

Perkembangan Teknologi Sel Surya

Perkembangan sel surya berawal dari penemuan efek fotovoltaik oleh Edmond Becquerel pada tahun 1839. Berikut ini beberapa catatan berkaitan dengan sejarah perkembangan teknologi sel surya dari masa ke masa:

1. **1839 - Penemuan Efek Fotovoltaik:** Edmond Becquerel menemukan efek fotovoltaik saat melakukan eksperimen dengan elektroda dalam larutan elektrolit. Dia menemukan bahwa arus listrik meningkat ketika elektroda terkena cahaya.
2. **1876 - Sel Fotovoltaik Padat Pertama:** William Grylls Adams dan Richard Evans Day menemukan bahwa selenium menghasilkan listrik ketika terkena cahaya, menciptakan sel fotovoltaik padat pertama.
3. **1954 - Sel Surya Silicon Komersial Pertama:** Bell Laboratories mengembangkan sel surya pertama yang efisien menggunakan silikon, yang memiliki efisiensi konversi sekitar 6%. Ini menjadi dasar untuk sel surya modern.
4. **1960-an - Penggunaan dalam Satelit:** Sel surya mulai digunakan dalam satelit luar angkasa, seperti satelit Vanguard 1, yang menunjukkan keandalan teknologi ini di lingkungan ekstrem.
5. **1970-an - Krisis Energi dan Penelitian Intensif:** Krisis energi pada tahun 1973 mendorong penelitian dan pengembangan lebih lanjut dalam teknologi sel surya, dengan fokus pada peningkatan efisiensi dan pengurangan biaya produksi.
6. **1980-an - Panel Surya Terpadu:** Mulai dikembangkan panel surya terpadu yang dapat digunakan dalam instalasi rumah tangga dan komersial. Perbaikan dalam proses manufaktur juga membantu mengurangi biaya.
7. **2000-an - Peningkatan Efisiensi dan Pengurangan Biaya:** Teknologi sel surya terus berkembang dengan munculnya sel surya thin-film, perovskite, dan sel multi-junction yang menawarkan efisiensi lebih tinggi. Penurunan biaya produksi membuat energi surya lebih terjangkau dan lebih luas diadopsi.
8. **2010-an - Adopsi Massal dan Teknologi Baru:** Banyak negara mulai mengadopsi energi surya sebagai bagian dari solusi energi terbarukan mereka. Teknologi baru seperti sel surya tandem dan organik terus diteliti untuk meningkatkan efisiensi lebih lanjut.

Hingga saat ini, terdapat beberapa jenis sel surya yang berhasil dikembangkan oleh para peneliti, menghasilkan panel sel surya yang memiliki efisiensi relatif tinggi dengan biaya pembuatan yang lebih rendah. Beberapa jenis sel surya yang umum termasuk:

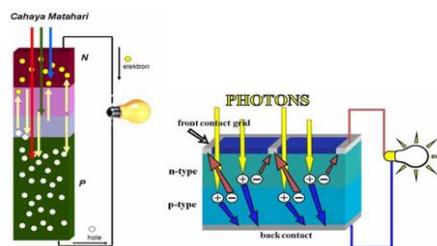
- **Sel Surya Monokristalin:** Dibuat dari satu kristal silikon, memiliki efisiensi tinggi dan umur panjang, tetapi biaya produksinya relatif lebih tinggi.

- **Sel Surya Polikristalin:** Dibuat dari banyak kristal silikon, biasanya lebih murah tetapi efisiensinya sedikit lebih rendah dibandingkan dengan sel monokristalin.
- **Sel Surya Thin-Film:** Menggunakan lapisan tipis bahan semikonduktor, lebih fleksibel dan ringan, meskipun efisiensinya lebih rendah dibandingkan jenis kristalin.
- **Sel Surya Perovskite:** Menawarkan potensi efisiensi tinggi dengan biaya produksi yang lebih rendah, tetapi masih dalam tahap pengembangan untuk memastikan stabilitas jangka panjang.

Teknologi sel surya terus berkembang dengan tujuan meningkatkan efisiensi, menurunkan biaya, dan memperluas aplikasi penggunaannya dalam berbagai bidang, termasuk di sektor rumah tangga, komersial, dan industri.

Cara Kerja Sel Surya

Umumnya, sel surya terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon. Proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi karena sel surya terdiri dari dua jenis semikonduktor: semikonduktor jenis n dan jenis p. Semikonduktor jenis n memiliki kelebihan elektron dan muatan negatif, sedangkan semikonduktor jenis p memiliki kelebihan "hole" (kekurangan elektron) dan muatan positif. Kedua jenis semikonduktor ini dihubungkan membentuk sambungan p-n, yang merupakan elemen kunci dari sel surya. Biasanya, semikonduktor jenis n ditempatkan di lapisan atas sambungan p yang menghadapi cahaya matahari, dan lapisan ini umumnya lebih tipis dibandingkan dengan semikonduktor jenis p.

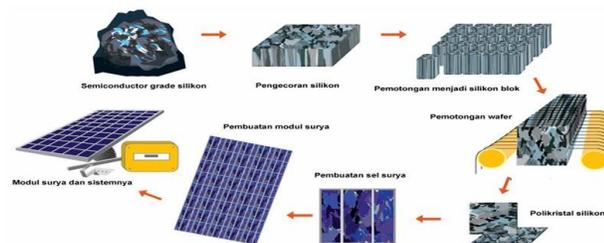


Gambar 7. 1 Proses Terbentuknya Arus Listrik Pada Sel Surya

Saat cahaya matahari mengenai sambungan p-n, elektron dalam semikonduktor jenis n menyerap energi dari cahaya dan terlepas dari materi semikonduktor. Proses ini menciptakan lubang (hole) di semikonduktor n, membentuk pasangan elektron-lubang. Ketika kedua jenis semikonduktor ini

dihubungkan melalui rangkaian kabel, elektron akan mengalir dari semikonduktor jenis n ke semikonduktor jenis p melalui kabel. Aliran elektron ini menghasilkan arus listrik yang dapat digunakan untuk berbagai perangkat, seperti lampu.

Secara umum, bahan baku sel surya adalah semikonduktor yang ditemukan di alam. Istilah "sel surya" merujuk pada unit individu yang menghasilkan listrik dari bahan semikonduktor tersebut. Setiap sel surya dapat menghasilkan listrik dengan voltase yang relatif kecil. Untuk mendapatkan voltase yang lebih tinggi, beberapa sel biasanya digabungkan secara paralel. Kombinasi beberapa sel ini dikenal sebagai modul surya.



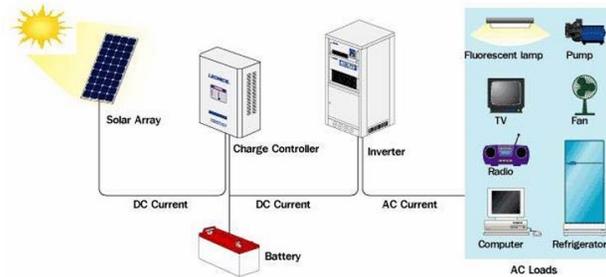
Gambar 7.2 Tahapan Proses Pengolahan Bahan Dasar Sel Surya Hingga Terbentuk Modul Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Dalam pemasangannya, sistem PLTS dapat dibedakan menjadi tiga golongan besar masing-masing:

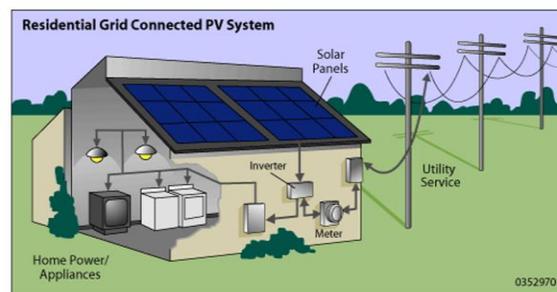
- **Sistem Stand-Alone:** Sistem ini berfungsi secara mandiri untuk menyediakan energi listrik sesuai kebutuhan. Biasanya, sistem stand-alone dipasang di lokasi terpencil di mana tidak ada sumber listrik lain. Untuk memastikan pasokan listrik saat malam hari atau saat sinar matahari tidak tersedia, sistem PLTS stand-alone dilengkapi dengan baterai penyimpanan. Selain itu, sistem ini memerlukan komponen tambahan seperti pengontrol pengisian (charge controller) dan inverter untuk mendukung perangkat yang memerlukan listrik AC. Diagram sistem PLTS stand-alone yang mendukung berbagai kebutuhan listrik rumah tangga dapat ditemukan di halaman berikut. Beberapa perangkat listrik, seperti kalkulator

tenaga surya dan pompa air tenaga surya (yang berfungsi hanya di siang hari), mungkin tidak memerlukan baterai.



Gambar 7. 3

Pada musim panas saat energi matahari melimpah, listrik yang dihasilkan oleh panel surya akan disalurkan ke jaringan listrik milik pemerintah. Pemilik sistem PLTS akan menerima kompensasi atas energi yang disumbangkan ke jaringan ini. Sebaliknya, saat musim dengan sedikit sinar matahari, pemilik sistem PLTS akan mengambil energi dari jaringan listrik negara untuk memenuhi kebutuhan listrik mereka, dan mereka akan membayar tagihan listrik sesuai dengan konsumsi mereka.



Gambar 7. 4 sistem grid connected PLTS dalam satu rumah



*Gambar 7. 5 PLTS Grid Connected dalam skala besar, Rovigo, Italy
(sumber: <http://energyunion.eu>)*

Lokasi PLTS yang tersebar saat ini di Indonesia

1. PLTS Likupang

PLTS Likupang, yang terletak di Desa Wineru, Sulawesi Utara, adalah salah satu pembangkit listrik tenaga surya terbesar di Indonesia. Dengan 64.620 panel surya yang terpasang di area seluas 29 hektar, PLTS Likupang mulai beroperasi sebagai sumber energi listrik pada 5 September 2019.



Gambar 7. 6 PLTS Likupang (Sumber:Liputan6)

Secara umum, panel surya di PLTS Likupang dapat menghasilkan daya listrik sekitar 15 megawatt setiap harinya. Ini menjadikannya salah satu pembangkit listrik tenaga surya terbesar di Indonesia, yang berkontribusi pada penguatan jaringan listrik PLN di wilayah Sulawesi Utara-Gorontalo. Pembangunan PLTS Likupang dimulai setelah

penandatanganan Power Purchase Agreement (PPA) pada akhir tahun 2017 dan berhasil diselesaikan dalam waktu 1,5 tahun. Fasilitas ini dilengkapi dengan 120 unit array box, 24 set inverter, dan 6 kotak PV, serta memiliki kontrak jual-beli listrik yang berlaku selama 20 tahun. Skema kontrak yang diterapkan adalah Build, Own, Operate, Transfer (BOOT).

2. PLTS Oelpuah

PLTS Oelpuah terletak di bagian utara Desa Oelpuah, Kecamatan Kupang Tengah, Kabupaten Kupang, Nusa Tenggara Timur (NTT). Pembangkit ini dimiliki oleh PT Lembaga Elektronik Nasional (LEN) dan bertujuan untuk membantu PLN mengatasi defisit dalam sistem Timor yang sering mengalami pemadaman bergilir pada siang hari. PLTS Oelpuah mulai beroperasi pada akhir Desember 2016, menandai langkah awal dalam mengatasi masalah pemadaman tersebut.

PLTS Oelpuah memiliki kapasitas total panel surya sebesar 5 MW dan terletak di lahan seluas 7,5 hektar, yang dipenuhi ribuan panel surya. Setiap panel dapat menghasilkan daya sekitar 230 watt. Sebagai alternatif yang lebih ekonomis dibandingkan penggunaan mesin diesel yang memerlukan banyak solar, PLTS Oelpuah beroperasi setiap hari dari pukul 07.30 hingga 17.00 WITA. PLTS ini biasanya menghasilkan antara 3 hingga 4 MW, meskipun



Gambar 7. 7 PLTS Oelpuah (Sumber : Jabartoday)

angka ini dapat bervariasi tergantung pada kondisi cuaca yang mempengaruhi sinar matahari yang tersedia.

3. PLTS Waduk Cirata

PLTS Terapung Cirata, yang terletak di Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat, menjadi pusat perhatian sebagai pembangkit listrik tenaga surya terbesar di Asia dan yang pertama di Indonesia yang mengapung di atas waduk.



Gambar 7. 8 PLTS Waduk Cirata (Sumber:Monkeykompas)

Dibangun oleh PT Pembangkit Jawa-Bali Investasi (PJI), anak perusahaan PT PLN yang berkolaborasi dengan Masdar, PLTS Waduk Cirata adalah proyek panel surya ramah lingkungan terbesar di Asia Tenggara, dengan kapasitas sebesar 145 MW. Proyek ini tidak hanya mencakup luas area mencapai 200 hektar, tetapi juga dilengkapi dengan 340.000 panel surya yang mampu menghasilkan 245 juta kWh energi bersih setiap tahunnya.

PLTS Terapung Cirata tidak hanya mampu menyuplai listrik untuk lebih dari 50.000 rumah, tetapi juga berperan dalam mengurangi emisi karbon sekitar 200.000 ton per tahun.

4. PLTS CCA (CocaCola Amatil)



Gambar 7. 9 PLTS CCA (CocaCola Amatil) (Sumber: Tempo.co)

Pada September 2020, PLTS CCA (Coca-Cola Amatil) di Cikarang Barat diresmikan sebagai pembangkit listrik tenaga surya dengan atap terbesar di ASEAN. Proyek ini

diharapkan dapat mempercepat pengembangan energi terbarukan di Indonesia dan menciptakan panel surya terbesar di Asia Pasifik. PLTS CCA meliputi area seluas 72.000 m² dan memiliki kapasitas puncak sebesar 7,13 MWp, yang setara dengan produksi 9,6 juta kWh per tahun.

II 2.3.8 Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir

Unit terkecil dari materi yang kehilangan karakteristik dasar materi disebut atom. Karena sifat-sifat atom berbeda dari materi itu sendiri, atom tidak memiliki sifat dasar materi. Atom digambarkan sebagai bola dengan inti atom di tengah dan kulit atom di sekelilingnya. Elektron, yang memiliki muatan negatif, bergerak di sekitar inti atom dan berada di kulit atom. Di dalam inti, terdapat proton dan neutron. Proton memiliki muatan positif, sedangkan neutron bersifat netral atau tidak bermuatan listrik.

Sejarah Perang Dunia II sering dihubungkan dengan penggunaan senjata nuklir. Pada 9 Agustus 1945, Amerika Serikat menjatuhkan dua bom nuklir di kota Hiroshima dan Nagasaki, yang menandai titik penting dalam perang. Serangan ini juga memiliki dampak yang signifikan bagi Indonesia, yang pada saat itu masih berada di bawah pendudukan Jepang. Setelah lebih dari tiga abad dijajah oleh Belanda dan tiga setengah tahun oleh Jepang, Indonesia semakin dekat dengan kemerdekaannya pada 17 Agustus 1945, bersamaan dengan kekalahan Jepang oleh pasukan Sekutu.

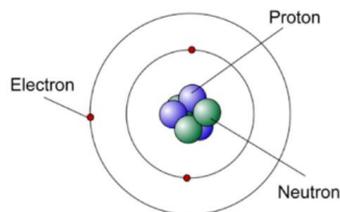
Teknologi nuklir sering dianggap sebagai sesuatu yang jarang mempengaruhi kehidupan sehari-hari dan sering kali hanya dikenal melalui risiko atau bahaya yang ditimbulkannya. Sebagian besar orang lebih sadar akan potensi bahaya dari teknologi ini dibandingkan dengan manfaat yang dapat diperolehnya. Akibatnya, teknologi nuklir sering kali diasosiasikan dengan konsep negatif dan ide-ide yang tidak menguntungkan. Di kalangan masyarakat umum, istilah "nuklir" sering kali dikaitkan dengan bom, terutama karena tantangan dan masalah yang muncul dalam pengembangan teknologi ini.

Dalam bidang sains, istilah "nuklir" merujuk pada segala sesuatu yang berkaitan dengan inti atom. Misalnya, fisika nuklir adalah disiplin yang mempelajari fenomena yang terjadi di dalam inti atom. Inti atom sendiri adalah elemen kunci dalam reaksi nuklir. Selain itu, istilah "reaktor nuklir" merujuk pada fasilitas di mana reaksi nuklir dilakukan secara aman dan terkendali.

Atom adalah unit terkecil dari materi, sedangkan inti atom merupakan bagian yang jauh lebih kecil dari sebuah atom. Ketika membahas ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir, kita sering kali menghadapi perdebatan yang kompleks. Berbagai fenomena fisik dan informasi terkait nuklir telah ditemukan, namun banyak di antaranya masih dalam tahap penelitian. Saat ini, berbagai proyek penelitian besar yang melibatkan banyak ilmuwan terus dilakukan untuk mengumpulkan data dan memajukan ilmu pengetahuan serta teknologi nuklir.

Penemuan reaksi fisi nuklir oleh Otto Hahn dan Fritz Strassmann pada tahun 1938 menandai awal dari sejarah perkembangan ilmu dan teknologi nuklir. Dalam penelitian mereka, mereka menembakkan neutron lambat ke dalam elemen uranium-235 (U-235). Hasil eksperimen menunjukkan bahwa inti atom U-235 dapat pecah menjadi inti-inti yang lebih kecil dengan massa yang lebih ringan.

Neutron cepat, dengan kecepatan dua hingga tiga kali kecepatan cahaya, menghasilkan energi yang dilepaskan sebagai panas sebesar 200 Mega elektron volt (MeV).



Gambar 8. 1 Model Atom (Sumber: <http://info-pasid.blogspot.com/2012/07/teori - model- atom.html>)

Reaksi yang ditemukan oleh Hahn dan Strassmann berbeda secara signifikan dari reaksi kimia umum yang dipahami pada waktu itu. Dalam reaksi kimia biasa, unsur-unsur yang terlibat tetap ada dalam produk reaksi karena reaksi terjadi antar unsur kimia. Namun, dalam proses nuklir yang melibatkan inti atom U-235, inti atom tersebut tidak lagi dapat ditemukan setelah terjadi fisi. Oleh karena itu, proses ini dikenal sebagai reaksi nuklir.

Fakta bahwa inti U-235 terpecah menjadi dua inti yang lebih kecil menyebabkan peristiwa ini sering disebut sebagai reaksi fisi. Persamaan ekuivalensi massa dan energi, yang diajukan oleh Albert Einstein melalui persamaan $E = mc^2$ (di mana E adalah energi dalam joule, m adalah massa dalam kilogram, dan c adalah kecepatan cahaya, yaitu 300.000 km/detik), telah dibuktikan dan diterima oleh masyarakat umum serta ilmuwan.

Nuklir, khususnya senyawa radioaktif, telah digunakan secara luas hingga saat ini di berbagai industri, termasuk hidrologi, farmasi, pengawetan makanan, pertanian, peternakan, dan sterilisasi. Ini mencakup aplikasi di luar bidang energi. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), yang memanfaatkan tenaga nuklir untuk menghasilkan listrik dengan biaya yang relatif terjangkau, aman, dan andal, adalah salah satu penerapan teknologi nuklir yang saat ini sedang dikembangkan dan diterapkan secara ekstensif dalam industri energi, tanpa merusak lingkungan. Teknologi nuklir di pembangkit listrik tenaga nuklir telah dikembangkan secara komersial sejak tahun 1954.

Prinsip Dasar PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir)

Proses produksi uap dari panas berbeda antara pembangkit listrik tenaga nuklir dan pembangkit listrik konvensional. Pembangkit listrik konvensional menghasilkan panas melalui pembakaran bahan bakar fosil seperti minyak, batu bara, dan gas, sementara pembangkit listrik tenaga nuklir memperoleh panas dari reaksi fisi inti atom bahan bakar uranium. Seperti generator biasa, generator uap dalam pembangkit listrik tenaga nuklir menggunakan panas yang dihasilkannya untuk menghasilkan uap, yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan turbin dan generator dalam memproduksi listrik. Selama proses produksi energi, pembangkit listrik tenaga nuklir tidak mengeluarkan asap atau debu yang mengandung logam berat, CO₂, SO₂, atau NO_x ke atmosfer.

Pemenuhan Energi

Dulu, Indonesia dikenal sebagai negara dengan sumber energi yang melimpah, namun situasinya kini telah berubah. Diperkirakan bahwa Indonesia memiliki sekitar 321 miliar barel minyak, 507 triliun standar kaki kubik gas alam, 50 miliar ton batu bara, dan 27.000 megawatt energi panas bumi, yang mencakup sekitar 1,2 persen dari potensi energi dunia (0,02 persen dari total potensi dunia). Pada tahun 2002, terdapat sekitar 5 miliar barel cadangan minyak terbukti, 90 TSCF

cadangan gas alam yang dikonfirmasi, dan 5 miliar ton cadangan batu bara terbukti. Jika produksi tetap pada tingkat tahun 2002 dan tidak ada penemuan cadangan baru, cadangan minyak diperkirakan akan habis dalam sepuluh tahun, cadangan gas alam dalam tiga puluh tahun, dan cadangan batu bara dalam lima puluh tahun. Menurut Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), cadangan minyak saat ini hanya akan cukup untuk memenuhi kebutuhan selama tujuh tahun ke depan, sebagaimana diungkapkan dalam kongres pertama organisasi profesi praktisi akuntansi sumber daya alam dan lingkungan yang diadakan di Baturaden pada 12 Desember 2013.

Kelebihan dan Kekurangan

Semua pembangkit listrik, termasuk pembangkit listrik tenaga nuklir, beroperasi secara seragam. Untuk memanaskan air yang akan menjadi uap, digunakan bahan bakar (baik berupa batu bara, gas, atau uranium). Turbin diputar oleh uap dan turbin pada gilirannya menggerakkan generator untuk menghasilkan tenaga.

Perbedaan mencolok adalah bahwa pembangkit listrik tenaga nuklir menggunakan bahan bakar fisi daripada membakar bahan bakar fosil (bahan fisil). Bahan fisil berinteraksi dengan neutron dalam reaktor, memulai reaksi berantai yang melepaskan panas. Uap bertekanan tinggi dibuat menggunakan panas yang dihasilkan. Setelah itu, turbin ditenagai oleh uap. Pembangkit listrik tenaga nuklir ini menawarkan kelebihan dan kekurangan dibandingkan dengan pembangkit listrik konvensional, antara lain sebagai berikut:

Kelebihan : Energi termal dari pembelahan 1 kg U-235 murni sekitar 17 miliar kkal atau setara dengan energi termal yang dihasilkan dari pembakaran 2,4 juta kg (2.400 ton) batu bara.

Kekurangan :

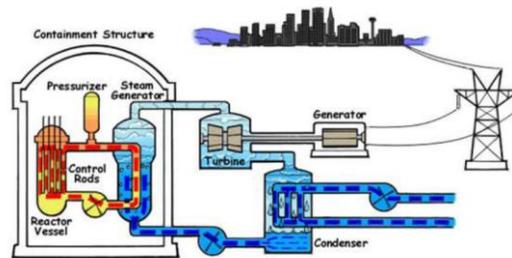
- Adanya risiko kecelakaan nuklir
- Dampak pada lingkungan

Secara garis besar PLTN tidak menghasilkan gas emisi seperti CO₂, SO₂, ataupun gas NO yang berpotensi menyebarkan hujan asam maupun pemanasan global. Limbah radioaktif berupa padat disimpan dalam ruang penyimpanan. Limbah ini tidak membahayakan.

Jenis Jenis PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir)

PWR (*Pressurized Water Reactor*)

PWR adalah jenis reaktor tenaga nuklir yang menggunakan air ringan biasa sebagai moderator neutron dan pendingin. Divisi Tenaga Nuklir Westinghouse kemudian mengubah desain reaktor ini menjadi produk komersial setelah awalnya dikembangkan oleh Laboratorium Tenaga Atom Westinghouse Bettis untuk digunakan pada kapal perang. Di Amerika Serikat, Shippingport melihat pembangunan reaktor PWR komersial pertama, yang berlangsung hingga 1982.



Gambar 8. 2 Skema dari Pressurized water reactor

(Sumber:<http://goplnindonesia.plogspot.com/2010/11/jenis-jenis-pltn.html>)

Reaktor PWR ini sedang dikembangkan dan dibangun oleh sejumlah besar bisnis selain Westinghouse, termasuk Asea Brown Boveri— Combustion Engineering (ABB—CE), Framatome, Krafwerk Union, Siemens, dan Mitsubishi. Jenis reaktor yang paling khas adalah yang ini.

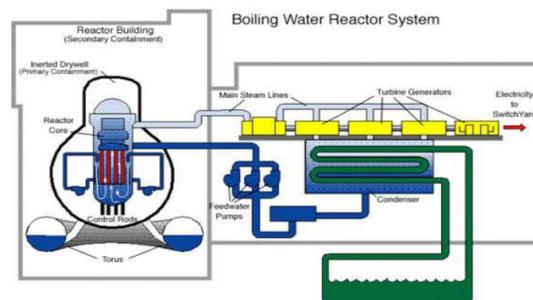
Jumlah reaktor yang digunakan untuk menghasilkan listrik melebihi 230 dan beberapa ratus juga digunakan untuk menggerakkan kapal. Dalam reaktor tipe PWR, aliran pendinginan utama di teras reaktor mencapai suhu 325 °C, membutuhkan perangkat pressurizer untuk menerapkan tekanan tertentu (sekitar 155 atm) untuk mencegah air mendidih. Panas dipindahkan dari penukar panas, generator uap, ke aliran pendingin sekunder, yang mendidih menjadi uap air dan menggerakkan turbin untuk menghasilkan energi. Uap tersebut kemudian dikondensasikan menjadi aliran pendingin sekunder di kondensor. Aliran ini kemudian kembali ke pembangkit uap, tempat dihasilkannya uap sekali lagi sebelum memasuki turbin.

Secara umum, reaktor nuklir (tipe PWR) beroperasi sebagai berikut untuk menghasilkan listrik. Reaksi fisi terjadi di inti reaktor sebagai akibat dari bahan bakar nuklir yang diledakkan oleh

neutron, yang melepaskan energi panas. Air bertekanan di loop primer kemudian mentransfer energi panas dari teras reaktor ke pembangkit uap. Air dari putaran sekunder dipanaskan di pembangkit uap, menghasilkan uap. Uap yang dihasilkan kemudian dikirim ke turbin uap, yang kemudian memutar generator dan menghasilkan tenaga.

BWR (Boiler Water Reactor)

Sejumlah PLTN juga menggunakan reaktor tipe BWR yang menggunakan air ringan sebagai pendingin dan moderator. General Electric dan Allis-Chambers menciptakan reaktor BWR (GE) pertama. Hanya desain General Electric yang bertahan sampai saat ini. Di Teluk Humboldt di California, sebuah reaktor BWR dengan desain oleh General Electric dibangun. Reaktor BWR juga dikembangkan dan dibangun oleh ASEAN-Atom, Kraftwerk Union, dan Hitachi. Meskipun ada banyak persamaan antara reaktor ini dan reaktor PWR, perbedaan utamanya adalah pada reaktor BWR, uap yang berputar dihasilkan tepat di teras reaktor.



Gambar 8. 3 Skema boiling water reactor (Sumber: http://ancjrit.blogspot.com/2011/06/sekelimut-tentang-pltn-pembangkit_27.html)

Hanya ada satu saluran aliran pendingin di reaktor BWR, dan memiliki tekanan rendah (sekitar 75 atm), memungkinkan aliran pendingin mendidih di teras dan mencapai suhu 285°C. Uap yang dihasilkan mengalir dari boiler ke turbin melalui pemisah uap dan pengering yang terletak di atas teras. Turbin harus disaring dan dilindungi dari radiasi selama waktu pemeliharaan karena air di sekitar teras terus-menerus terkontaminasi oleh peluruhan radioaktif. Karena sebagian besar bahan radioaktif di dalam air memiliki waktu paruh yang sangat singkat, termasuk N-16, yang memiliki waktu paruh hanya 7 detik, ruang turbin dapat dimasuki segera setelah reaktor padam. Generator

turbin kemudian diisi dengan uap. Setelah turbin diputar, uap dikondensasikan menjadi aliran pendingin di kondensor sebelum disuntikkan kembali ke reaktor untuk memulai kembali siklus.

Reaktor Air Didih Lanjut (Advance Boiling Water Reactor, ABWR)

Reaktor air mendidih lainnya, atau disingkat ABWR, adalah versi modifikasi dari reaktor air mendidih yang ada. Kondisi, keamanan, pengurangan limbah, kesederhanaan operasional, dan pertimbangan ekonomi menjadi prioritas perbaikan. Pompa internal, penggerak batang kendali, pengatur aliran uap, pendinginan teras darurat, cangkang reaktor beton prategang, turbin, alat pemanas untuk pemisah uap (penurun kelembapan), sistem kendali digital, dan lain-lain merupakan tipikal peralatan ABWR yang mengalami perubahan desain.

Reaktor CANDU

Uranium oksida alam adalah bahan bakar untuk reaktor CANDU (CANada Deuterium Uranium), sejenis reaktor air berat bertekanan. Atomic Energy Canada Limited (AECL), sebuah perusahaan Kanada, telah merancang reaktor ini sejak 1950. Reaktor ini membutuhkan moderator yang lebih efektif, seperti air berat, karena membakar uranium alami sebagai bahan bakar.

Moderator reaktor CANDU ditempatkan dalam tangki yang cukup besar yang dikenal sebagai calandria, yang terdiri dari tabung tekanan horizontal yang digunakan sebagai tangki bahan bakar. Tangki calandria ini didinginkan oleh aliran air berat bertekanan tinggi yang melewatinya dan dipanaskan hingga 290°C. Uap dihasilkan oleh aliran pendingin sekunder yang menerima panas dari aliran pendingin utama, seperti reaktor PWR. Dengan memisahkan tabung bahan bakar yang perlu diisi dari aliran pendingin, dimungkinkan untuk mengisi kembali tabung bertekanan yang digunakan sebagai wadah bahan bakar tanpa memadamkan reaktor.

Reaktor Tabung Tekan

Pendingin air ringan (ada juga air berat) dan moderator air berat, atau pendingin air ringan dan moderator grafit, dalam pipa calandria, membentuk inti reaktor tabung tekanan. Refrigeran dan moderator dipisahkan satu sama lain oleh pipa bertekanan sehingga dapat dipisahkan secara terpisah. Dalam praktiknya, ada kombinasi yang berbeda, seperti pendingin air ringan, moderator air berat (Canadian Deuterium Uranium, CANDU), pendingin air berat, moderator air berat

(Steam-Generating Heavy Water Reactor, SGHWR), dan pendingin air ringan dengan moderator grafit (Reaktor Berpendingin Air Tipe Saluran Grafit, RBMK). Inti reaktor terdiri dari banyak saluran bahan bakar yang disusun dalam tangki calandria dalam bentuk kisi kubus. Refrigeran mengalir melalui setiap saluran bahan bakar dalam pipa bertekanan, dan energi panas yang dihasilkan dari proses ini diubah menjadi energi penggerak turbin dan digunakan di pembangkit listrik, reaktor nuklir tipe kanal.

Pebble Bed Modular Reactor (PBMR)

Tingkat keamanan yang baik disediakan oleh PBMR. *Commonwealth Edison PECO Energy*, *British Nuclear Fuels Limited*, dan ESKOM yang berbasis di Afrika Selatan sebagai perusahaan reaktor memimpin proyek PBMR saat ini, yang merupakan kelanjutan dari inisiatif sebelumnya. Helium digunakan sebagai pendingin reaktor di PBMR, yang berjalan pada partikel uranium. Dioksida yang diperkaya disatukan dalam matriks grafit dan ditutup dengan silikon karbida yang memiliki diameter kurang dari 1 mm. Telah ditunjukkan bahwa bahan bakar ini dapat menahan suhu hingga 1600 °C dan tidak akan meleleh di bawah 3500 °C. Karena reaktor adalah sistem *pebble-bed*, bahan bakar dalam bola grafit akan bersirkulasi melalui inti reaktor.

Reaktor Magnox

Reaktor Magnox adalah reaktor gaya lama yang dapat memproduksi plutonium untuk senjata nuklir tetapi memiliki siklus bahan bakar yang pendek dan tidak efisien. Ada 11 fasilitas tenaga nuklir di Inggris yang menggunakan 26 reaktor Magnox ini, yang pertama kali dirancang di sana. Hanya 4 reaktor Magnox yang beroperasi di Inggris pada 2005, dan semuanya akan ditutup pada 2010.

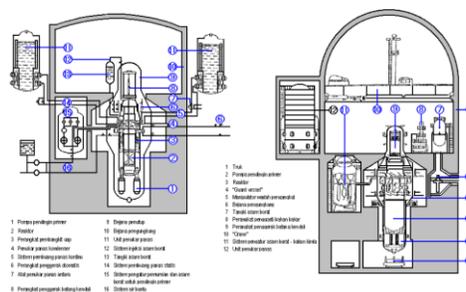
CO₂ bertekanan digunakan sebagai pendingin, grafit digunakan sebagai moderator, dan uranium alam digunakan sebagai bahan bakar. Logam Magnox berfungsi sebagai pengurung bahan bakar di reaktor Magnox. Sebuah kurungan bahan bakar logam uranium alam dengan penutup yang tidak dapat dioksidasi untuk menampung produk fisi disebut Magnox, dan dibuat terutama dari logam magnesium dengan sejumlah kecil aluminium dan logam lainnya.

Advanced Gas-Cooled Reactor (AGR)

Reaktor berpendingin gas generasi kedua yang dibangun oleh Inggris dikenal sebagai Advance Gas-Cooled Reactor (AGR). AGR merupakan pengembangan dari reaktor Magnox. Ini menggunakan pelet uranium oksida yang diperkaya dengan tingkat pengayaan 2,5 hingga 3,5 persen sebagai bahan bakar dan terkandung dalam tabung baja tahan karat. Setelah mencapai suhu 650°C selama perjalanan melalui teras, gas CO₂ memasuki tabung pembangkit uap. Turbin kemudian akan ditenagai oleh panas yang ditransfer dari uap yang dimasukkan. Sekali lagi memasuki teras, gas telah kehilangan panas.

Contoh PLTN Tipe PWR Kapasitas 200Mw

PLTN ini dirancang dengan daya keluaran sebesar 200 MW, tegangan 15 KV, dan frekuensi 50 Hz. Untuk mencapai target daya keluaran tersebut, diperlukan penyesuaian peralatan dan bahan bakar yang digunakan. PLTN memiliki beberapa komponen utama dalam pembangkitan energi listrik, antara lain reactor vessel, control rods, steam generator, steam turbine, generator, dan kondensator. Sistem pembangkit listrik tenaga nuklir ini menggunakan tipe PWR (pressurized water reactor) dengan fokus pada tingkat keamanan yang tinggi bagi operator dan lingkungan, lebih tinggi dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga nuklir tipe BWR (boiling water reactor).



Gambar 8. 4 Kontruksi Reactor Vessel

(Sumber: aji,Bintoro.2014 PWR Balai Diklat BAPETEN,Cisarua-Bogor)

Sistem Keselamatan Reaktor Nuklir

Sistem keselamatan yang digunakan pada reaktor nuklir mempunyai prinsip memperkecil kemungkinan terjadinya kecelakaan dan membatasi akibat kecelakaan apabila kecelakaan itu benar-benar terjadi. Sistem yang digunakan dikenal dengan nama "sistem pertahanan berlapis" (defense in depth). Pertahanan dilakukan pada komponen-komponen reaktor, sistem proteksi reaktor, konsep hambat ganda, pemeriksaan dan pengujian, dan operator.

Komponen reaktor dibuat dengan standar kualitas yang tinggi dan dapat diandalkan sehingga kemungkinan terjadi kegagalan komponen tersebut sangat kecil. Sistem proteksi reaktor dilakukan dengan memanfaatkan sifat-sifat alam yang menjamin keselamatan reaktor. Sistem ini dirancang untuk mentolerir kesalahan operator, sehingga jika operator lupa melakukan sesuatu, sistem akan memberi peringatan kepada operator atau dapat bekerja secara otomatis. Peralatan keselamatan juga dirancang dengan prinsip-prinsip berikut:

Untuk mencegah agar masyarakat tidak terkena radiasi yang mungkin masih dapat lolos dari hambatan-hambatan tersebut di atas, maka reaktor atau PLTN dibuat relatif jauh dari permukiman penduduk. Menjaga keselamatan reaktor nuklir juga dapat dilakukan dengan pemeriksaan dan pengujian semua sistem keselamatan dan komponen-komponen reaktor secara intensif. Dalam hal ini IAEA dapat mencabut izin operasi jika kondisi persyaratan tidak dipenuhi lagi.

Lokasi PLTN di Dunia

Chernobyl, Ukraina: Terkenal karena kecelakaan nuklirnya pada tahun 1986. Daya tidak tersedia (tutup setelah kecelakaan).

Fukushima, Jepang: Mengalami kecelakaan nuklir setelah gempa bumi dan tsunami tahun 2011. Daya tidak tersedia (tutup setelah kecelakaan).

Three Mile Island, Amerika Serikat: Lokasi dari kecelakaan nuklir pada tahun 1979. Daya Unit 1 - 819 MW, Unit 2 - 906 MW.

Cattenom, Prancis: Salah satu PLTN terbesar di Eropa. Unit 1-4 masing-masing 1300 MW.

Olkiluoto, Finlandia: Terletak di pulau Olkiluoto, memiliki reaktor PWR. Unit 1 - 880 MW, Unit 2 - 1600 MW (sedang dibangun).

Dungeness, Inggris: Terletak di pesisir Kent, memiliki dua reaktor AGR. Unit A - 550 MW, Unit B - 545 MW.

Palo Verde, Amerika Serikat: Terletak di Arizona, merupakan kompleks PLTN terbesar di dunia. Unit 1-3 masing-masing 1340 MW.

Kashiwazaki-Kariwa, Jepang: Terletak di prefektur Niigata, kompleks PLTN terbesar di dunia berdasarkan kapasitas. Unit 1-7 masing-masing 1100 MW (dengan pengecualian Unit 6).

Zaporizhzhia, Ukraina: Terletak di sungai Dnieper, kompleks PLTN terbesar di Eropa. Unit 1-6 masing-masing 950 MW..

Lokasi PLTN di Indonesia:

- Di Batan, Bandung dengan daya 60MW
- Di Serpong, Jakarta dengan daya 2MW

II 2.4 Konsep Futuristik

Futuristik

Futuristik merupakan pemahaman tentang gaya bangunan yang menuju masa depan, atau dapat disimpulkan bahwa futuristik memiliki bentuk gaya bangunan yang memiliki arti yang selaras dengan pandangan orang dalam mengamati, yaitu bangunan yang memiliki pengenalan masa depan (Choiriyani dan Lissimia, 2020).

Arsitektur futuristik dikenal dan berkembang pada abad ke-20, dengan bentuk bangunan pada saat itu ditandai oleh gaya klasik serta garis panjang yang mendatar. Futuristik dikenal di kota-kota Italia dan berlangsung dari tahun 1909 hingga 1944. Futuristik diartikan sebagai suatu pola pendekatan terbuka yang mengarah ke arsitektur, dan seiring berjalannya waktu, diinterpretasikan kembali oleh peneliti lain. Namun, dalam pengertian lain, futurisme merupakan bentuk bangunan yang dinamis, kontras, dengan penggunaan material dan teknologi yang maju. Karakter dari bangunan yang menerapkan arsitektur futuristik dapat dilihat dari ciri-ciri berikut:

- Bentuk gaya yang dapat menembus budaya dan bentuk geografis.

- Bentuk yang belum bisa terbayangkan atau disebut sebagai suatu khayalan serta idealis.
- Bentuk bangunan yang unik, dengan fungsi mengikuti bentuknya.
- Tidak adanya penggunaan ornamen pada bagian bangunan.
- Nilai tambah untuk bangunan dengan kesederhanaan.
- Bentuk yang seragam, sehingga bangunan tidak memiliki ciri khas dari arsitek itu sendiri, sulit dibedakan satu dengan yang lain.
- Penekanan pada ruang atau disebut sebagai "space".
- Menampilkan material dan bentuknya.

Arsitektur futuristik dalam buku "Futurism: An Anthology" mengemukakan bahwa karakter arsitektur futuristik tidak kekal atau bentuk yang sementara dalam artiannya seiring berjalannya waktu, arsitektur futuristik akan mengalami perubahan untuk menyesuaikan lingkungan dan keadaan sekitar (Fauzi, Sundari, dan Samra, 2019).

Konsep Futuristik

Futuristik memiliki konsep yang diterapkan pada bangunan sesuai dengan bentuk konsepnya. Berikut adalah bentuk konsep dari futuristik (Razak, Anisa, & Sari, 2017).

1. Merupakan suatu penampilan dari masa depan dan bentuk yang modern.
2. Kata lain dari futuristik diartikan sebagai futurisme yang artinya masa depan. Futurisme merupakan suatu bentuk gerak dalam seni yang menolak bentuk tradisional kedalam bangunan.
3. Futuristik berorientasi pada masa depan yang menggambarkan ungkapan waktu yang mengalami perputaran dari masa ke masa.

Dapat diartikan bahwa futuristik merupakan sebuah bentuk kebebasan dalam menyampaikan ide atau gagasan dan diungkapkan dalam tampilan bangunan, seolah-olah bangunan mengarah pada masa depan. Sudut pandang gambaran futuristik pada bangunan mengarah pada masa depan dengan mengikuti perkembangan dari masa ke masa.

Arsitektur futuristik memanfaatkan bentuk garis-garis yang miring atau diagonal dan bentuk elips dalam menciptakan unsur dinamis. Arsitektur futuristik merupakan suatu kunci dari perubahan dalam menemukan ide dan inspirasi yang baru. Futuristik dipahami sebagai salah satu upaya yang ditampilkan dengan bentuk kebebasan dan keberanian serta sejalan dengan manusia dan lingkungannya (Tyas, Wahyu, & Suroto, 2017).

Dalam pengertian futuristik, perlu adanya pemikiran terhadap pengenalan jangkauan estimasi atau arti lain berupa pendekatan bangunan futuristik dapat dilakukan dengan perkembangan dari kebutuhan manusia. Seiring berjalannya waktu, perkembangan arsitektur futuristik mengalami perubahan dengan perkembangan arsitektur dalam penggunaan teknologi tinggi pada tahun 1960 dengan bentuk ciri-ciri (Maulana, Hidayat, & Novan, 2018).

- Penggunaan struktur apa adanya.
- Bentuk yang bebas lebih cenderung berhubungan dengan alam.
- Transformasi garis menghasilkan perhitungan yang lebih baik.
- Mendekatkan dengan penemuan-penemuan berbagai hal-hal yang baru.
- Lambang perubahan, bentuk dinamis sebagai bentuk dari futuristik.

Ciri Utama Konsep Desain Futuristik

Ciri utama konsep desain futuristik meliputi penggunaan struktur yang inovatif dan teknologi canggih, bentuk bangunan yang organik dan dinamis untuk meniru atau menciptakan bentuk yang mengalir dan elips, integrasi teknologi tinggi seperti material maju dan sistem energi terbarukan, ketegasan dalam garis-garis desain dengan detail minimalis yang menonjolkan modernitas, serta fleksibilitas dan adaptabilitas yang memungkinkan penyesuaian dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan manusia.

Selain itu, desain futuristik juga merupakan simbol perubahan dan aspirasi terhadap masa depan yang lebih baik, mencerminkan kemajuan dan evolusi dalam arsitektur serta teknologi. Konsep ini tidak hanya mempertimbangkan aspek visual dan estetika, tetapi juga fungsionalitas, keberlanjutan, dan relevansi terhadap tantangan zaman modern.

Penggunaan warna yang memepererat citra futuristik Biasanya penggunaan warna di futuristik menggunakan warna yang cenderung terang , kadang pula terdapat yang menggunakan warna hitam atau abu abu, tetapi akan ditambahkan dengan kesan lampu led yang menyambung satu konsepnya.



*Gambar 9. 1 Contoh ruangan bergaya futuristik
(Sumber: pinterest)*

Desain futuristik sering kali menampilkan bentuk yang tidak lazim dan cenderung terlihat "aneh" bagi sebagian orang. Konsep futuristik sering dikenal dengan dominasi lengkungan, sering kali mengadopsi pola yang bulat atau lonjong, seolah-olah tanpa rangka didalam bangunannya.

Penggunaan pencahayaan dalam gaya futuristik sering kali mengandalkan lampu LED yang dapat menghasilkan cahaya sangat terang. Lampu LED sering kali dipasang secara tersembunyi di ruangan berdesain futuristik, menciptakan efek misterius dan unik di mana cahaya tersebar ke berbagai arah. Dengan demikian, interior rumah dengan gaya futuristik akan terlihat lebih luas dan terbuka.

II 2.5 Eduwisata

Eduwisata, merupakan istilah yang menggabungkan "edukasi" dan "wisata", mewakili sebuah pendekatan pembelajaran yang mengintegrasikan pengalaman wisata dengan tujuan edukatif.

Secara sangat lengkap, eduwisata adalah sebuah program atau kegiatan yang dirancang untuk memberikan pengalaman belajar yang mendalam dan berkesan, sambil mengeksplorasi berbagai objek wisata atau destinasi tertentu.

Tujuan Eduwisata

1. Pendidikan dan Pembelajaran: Memberikan pengalaman belajar yang langsung dan terlibat, memungkinkan peserta untuk memahami konsep-konsep akademis dan praktis secara lebih mendalam. Misalnya, melalui kunjungan ke situs bersejarah, museum, atau taman alam.
2. Pengembangan Pengetahuan: Menyediakan kesempatan untuk belajar tentang berbagai aspek pengetahuan, seperti sejarah, budaya, sains, lingkungan, dan keanekaragaman hayati. Peserta dapat melihat dan merasakan langsung apa yang dipelajari dari buku atau kelas.
3. Pengembangan Keterampilan: Mendorong pengembangan keterampilan praktis, sosial, dan kognitif, termasuk keterampilan observasi, analisis, kerjasama dalam tim, dan komunikasi efektif.
4. Peningkatan Apresiasi: Mengembangkan apresiasi terhadap warisan budaya, alam, dan keindahan alam semesta, serta mempromosikan sikap peduli terhadap lingkungan dan keberlanjutan.

Contoh Kegiatan Eduwisata

- Tur Budaya: Mengunjungi tempat-tempat bersejarah atau kawasan budaya untuk memahami sejarah, seni, dan tradisi lokal.
- Kunjungan ke Museum atau Pameran: Melihat koleksi artefak dan karya seni untuk memperdalam pemahaman tentang berbagai bidang pengetahuan.
- Ekspedisi Alam: Menjelajahi taman nasional atau ekosistem alami untuk mempelajari ekologi, keanekaragaman hayati, dan pentingnya konservasi.
- Lokakarya atau Pelatihan: Mengikuti kegiatan praktik langsung, seperti lokakarya sains, pelatihan pertanian, atau demonstrasi kerajinan tradisional.

Manfaat Eduwisata

- **Memotivasi Belajar:** Memancing minat dan motivasi belajar yang lebih besar melalui pengalaman langsung yang memikat dan menarik perhatian.
- **Memperluas Wawasan:** Membuka pandangan baru dan memperluas wawasan peserta tentang dunia di sekitar mereka, memperkaya pengalaman belajar mereka.
- **Memperkuat Ikatan Sosial:** Membangun hubungan sosial antara peserta, guru, dan sesama peserta melalui pengalaman berbagi yang unik dan berharga.
- **Mendorong Inovasi:** Merangsang pemikiran kreatif dan inovatif melalui eksplorasi dan diskusi yang terjadi selama kegiatan eduwisata.

Dengan demikian, eduwisata bukan hanya tentang perjalanan dan petualangan semata, tetapi juga merupakan sebuah investasi dalam pendidikan yang holistik dan berkelanjutan, mengembangkan potensi peserta untuk menjadi individu yang lebih berpengetahuan, berpenyayang terhadap lingkungan, dan mampu beradaptasi dengan perubahan zaman.

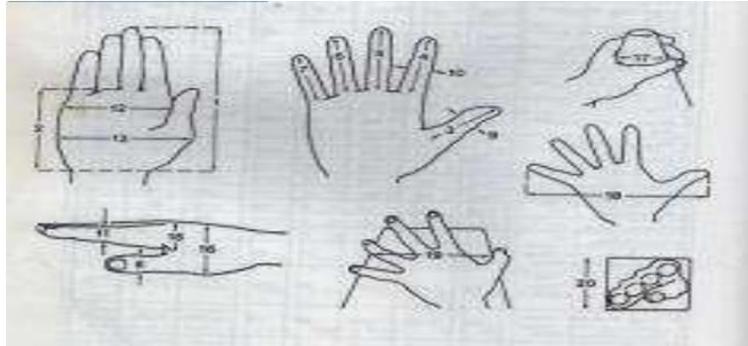
II 2.6 Antropometri

Antropometri adalah bagian dari ergonomi yang khusus mempelajari ukuran tubuh manusia, termasuk dimensi linear, isi, daerah ukuran lainnya, kekuatan, kecepatan, dan aspek lain dari gerakan tubuh. Secara definitif, antropometri dapat dijelaskan sebagai studi tentang ukuran dimensi tubuh manusia, mencakup daerah ukuran, kekuatan, kecepatan, dan aspek lain dari gerakan tubuh manusia. Menurut Stevenson (1989) dalam buku "Ergonomi: Konsep Dasar dan Aplikasinya", Nurmianto (1991) menjelaskan bahwa antropometri merupakan kumpulan data numerik yang terkait dengan karakteristik fisik tubuh manusia seperti ukuran, bentuk, dan kekuatan, serta penggunaan data ini dalam menangani masalah desain.

Pengukuran Antropometri Manusia

1. Pengukuran Tangan

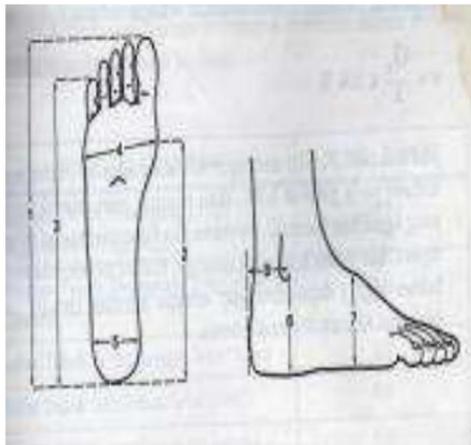
Yaitu dimensi tubuh antropometri tangan menjelaskan dimensi tubuh yang diukur.



Gambar 10. 1 Dimensi Pengukuran Tangan

2. Pengukuran Kaki

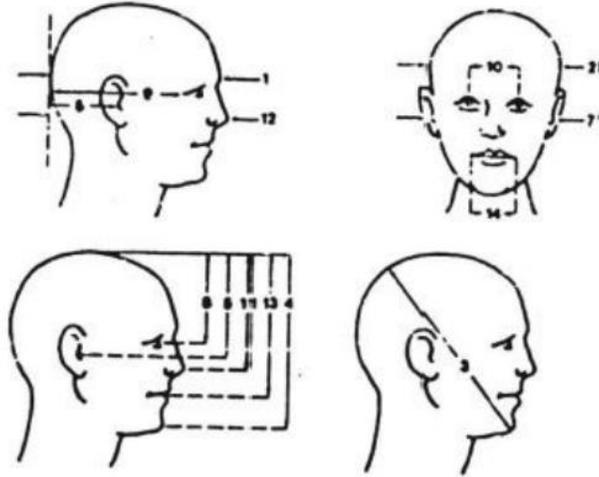
Yaitu dimensi tubuh antropometri kaki menjelaskan dimensi tubuh yang diukur.



Gambar 10. 2 Dimensi Pengukuran Kaki

3. Pengukuran Kepala

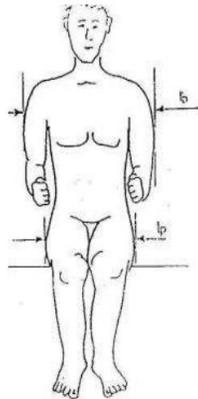
Yaitu dimensi tubuh antropometri tangan menjelaskan dimensi yang diukur



Gambar 10. 3 Dimensi pengukuran kepala

4. Pengukuran Lebar Bahu

Yaitu dimensi tubuh antropometri tangan menjelaskan dimensi yang diukur



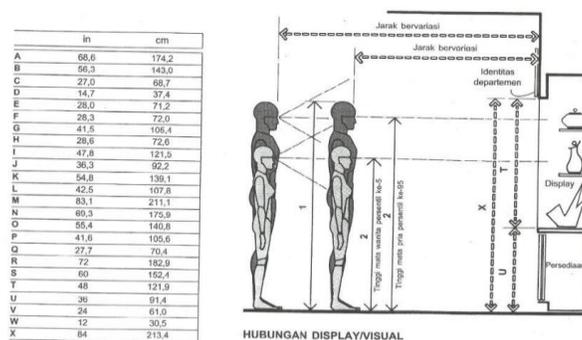
Gambar 10. 4 Dimensi Lebar Bahu Selanjutnya dimensi penjelasan Lebar Bahu

Antropometri Manusia di Ruang Pameran

Museum Nasional Indonesia, sebagai museum pendidikan, perlu mempertimbangkan kelompok usia atau menetapkan target audiens dalam pengembangan program pamerannya. Dengan

demikian, program tata pameran dapat lebih terfokus dan disesuaikan dengan tingkat pemahaman audiensnya. Antisipasi terhadap kebutuhan pengunjung potensial akan membantu dalam merancang pameran yang menarik dan atraktif. Pelayanan terhadap pengunjung juga harus memperhatikan reaksi psikologis manusia yang dipengaruhi oleh aktivitas fisik dan mekanik tubuh manusia.

Dalam proses perancangan ruang pameran, manusia menjadi fokus utama yang akan menghuni atau menggunakan ruang tersebut. Oleh karena itu, perlu mendapatkan perhatian khusus, dan segala hal yang berkaitan dengan perilaku manusia tersebut disebut sebagai Behavior.



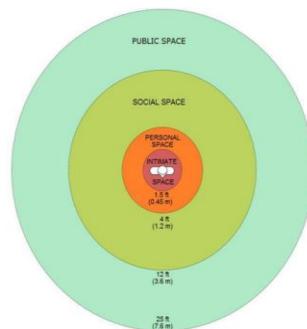
Gambar 10. 5 Hubungan Antropometri Manusia dengan Display Materi Koleksi (Julius Panero, 2003)

Ruang pameran tetap yang dirancang dengan baik harus mempertimbangkan respons terhadap kebutuhan psikologis dan sosial penggunaannya, serta memperhatikan konsep teritorialitas. Teritorialitas di sini mengacu pada ruang pribadi atau lingkungan pribadi yang berhubungan dengan tingkat kenyamanan individu. Edward Hall, seorang antropolog, mengemukakan bahwa terdapat empat jarak dasar yang umum digunakan untuk mengkaji perilaku manusia dan berperan dalam perancangan lingkungan.

- a. Jarak terdekat disebut intimate, dimana jarak ini berkisar dari kontak fisik hingga sekitar 6 inci = 15,24 sentimeter untuk jarak terdekat, dan hingga sekitar 18 inci = 45,72 sentimeter. Orang hanya mengizinkan orang lain memasuki area intimate ini dalam kondisi dan keadaan khusus.
- b. Jarak berikutnya adalah jarak pribadi, mulai dari sekitar 1,5 kaki = 45,72 sentimeter hingga 2,5 kaki = 76,2 sentimeter untuk jarak dekat, dan dari 2,5 kaki = 76,2 sentimeter hingga 4 kaki =

121,92 sentimeter untuk jarak jauh. Pada jarak ini, individu akan mempertahankan sedikit jarak antara dirinya dengan orang lain.

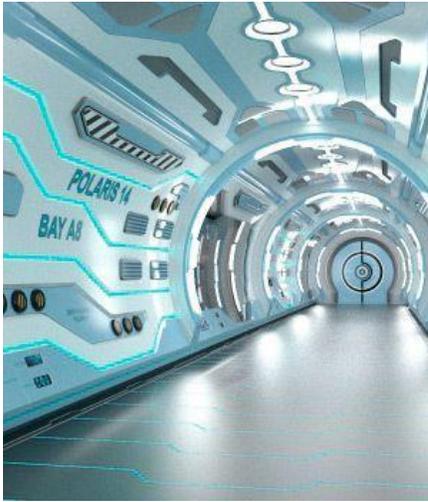
- c. Jarak sosial adalah jarak yang lebih jauh dari jarak pribadi. Jarak sosial berada di antara 4 kaki = 121,92 sentimeter hingga 7 kaki = 213,36 sentimeter untuk jarak dekat dalam tahap sosialisasi, dan dari 7 kaki = 213,36 sentimeter hingga 12 kaki = 365,76 sentimeter untuk jarak jauh dalam tahap sosialisasi.
- d. Area territorial terjauh adalah jarak publik, dimana jarak ini berada di luar 12 kaki = 365,76 sentimeter. Jarak ini merupakan jarak yang aman bagi individu untuk melarikan diri jika merasa terancam. Penerapan area territorial ini penting ketika perancang membuat keputusan tentang jarak antara perabot dengan perabot lainnya, atau luas area tempat berkumpul.



Gambar 10. 6 Area Territorial Personal

II 2.7 Studi Image

Studi Image	Deskripsi
-------------	-----------



Ruangan ini menjadi inspirasi, terutama di konsep lengkungan dan lekukan lampunya.



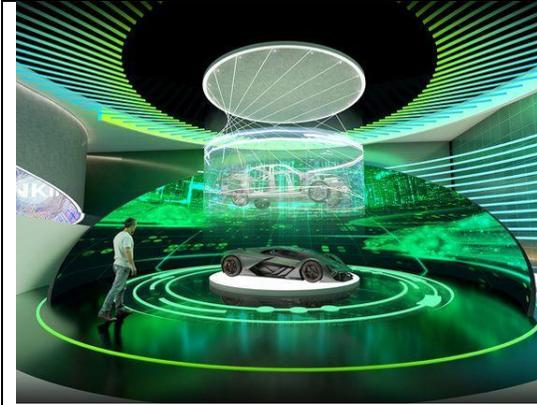
Gambar ruangan di samping menjadi inspirasi, dimana lekukan dan warna lampu yang menyambung dari atas sampai bawah



Ruangan di samping menjadi inspirasi untuk tone warna lampu dan ruangan yang akan mendominasi di perancangan ini.

II 2.8 Studi Preseden

Studi Preseden	Implementasi pada perancangan
	 <p data-bbox="745 814 1281 1066">Dari studi preseden di samping, terinspirasi untuk dari ceiling terhubung ke meja, di implementasikan ke perancangan ini dengan mengubah bentuk ke konsep kincir angin</p>
 <p data-bbox="586 1094 691 1115">A'DESIGN AWARD & COMPETITION</p> <p data-bbox="545 1549 691 1570">http://www.adesignaward.com</p>	 <p data-bbox="745 1591 1281 1682">Lekukan lantai dan ceiling senada, terinspirasi dari gambar studi di samping</p>



Bentuk Ceiling dan lantai lingkaran menyambung, terinspirasi dari gambar di samping

II 2.9 Studi Lapangan

Studi Lapangan Pertama

Nama Bangunan Studi Lapangan	Puspa Iptek Sundial
Lokasi Studi Lapangan	Parahyangan St Jl. Raya Padalarang No.427, Kertajaya, Padalarang, Bandung, West Java 40553
Jam Buka	Senin : 09.00 am-4.00 pm Selasa : 09.00 am-4.00 pm Rabu : 09.00 am-4.00 pm Kamis : 09.00 am-4.00 pm Jumat : 09.00 am-4.00 pm Sabtu : 09.00 am-4.00 pm

Akses Menuju Tempat



Bangunan Berada di tengah-tengah Bundaran Jalan, Akses menuju bangunan ini harus menyebrang jalan supaya dapat mengakses ke Area Bangunan.

Area Parkir



- Area parkir kendaraan Roda 4 atau Lebih



Area parkir Kendaraan Roda 2 .Lokasi area parkir cukup jauh dari lokasi area bangunan, pengunjung harus jalan sejauh sekitar 150m dan menyebrang melewati jalan raya untuk mengakses ke area bangunan

Kondisi Bangunan



- Maket Bangunan

Bentuk Bangunan ini menyerupai jam, dan bangunan ini mempunyai bagian yang fungsinya menjadi Sundial atau Jam Matahari, adalah penanda waktu yang memanfaatkan bayangan matahari dari sebuah tiang yang disebut gnomon.



Sirkulasi	Sirkulasi bangunan ini sesuai dengan bentuk bangunan yang lingkaran berbentuk jam. Berawal dari pintu masuk dari satu titik bangunan dan menyusuri bentuk lingkaran bangunan dan akan keluar di akhir titik bangunan dimana tempat awal masuk kedalam bangunan.
------------------	---

--	--

--	--



Di Lantai dua ini berisi puzzle puzzle dan hal hal yang berhubungan dengan teknologi terbaru dan sains. Lt. 3



Di Lantai 3 ini yaitu Lantai terakhir adalah bagian dari ujung bangunan, jika dilihat dari luar ini adalah bagian dari teknologi jam matahari itu atau bagian dari jarum jam nya yang bernama gnomon.

--	--

Fasilitas	<p>Lahan parkir</p>  <p>Parkiran Untuk Kendaraan roda 4 atau lebih</p>  <p>Parkiran untuk kendaraan roda 2</p>

Lt. 1



Di Lantai 1 ini , diperlihatkan beberapa koleksi benda, seperti maket gedung puspa iptek sundial, simulasi ombak, namun sayangnya simulasi ombak saat itu sedang rusak atau dalam perbaikan, dan ada koleksi interaktif pusaran air, magnet listrik.

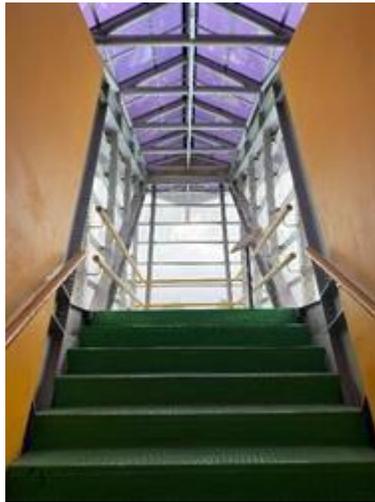


Lt. 2





Lt.3



View Lt.3 Bagian jam Matahari
(Jarum Gnomon)



Ini adalah penampakan dari tiang gnomon atau tiang yang disorot matahari, yang nanti bayangannya akan menunjukan terhadap nomor jam yang terdapat di bawah view lantai 3 tersebut, namun saat itu kondisi cuaca sedang mendung, jadi tidak terlihat bahwa jam sedang menunjukan pukul berapa.

Sistem Pencahayaan



Bagian yang di lingkari adalah pencahayaan alami, bagian itu tembus keatap bangunan, sehingga cahaya matahari bisa langsung menyorot kedalam ruangan saat di siang hari.



Bagian tengah ruangan disini menggunakan pencahayaan buatan, lampu disini menggunakan general

	<p>light dan diposisikan diatas setiap alat alat yang di pameran.</p>
--	---

Sistem Penghawaan



Sistem Penghawaan ruangan disini tersedia ventilasi yang cukup besar, menyatu sekaligus dengan sistem pencahayaan alami yang sudah disebutkan sebelumnya, karena diujung lubang ventilasi tersebut yaitu bagian atas bangunan itu ditutup dengan ram kawat. Menjadikan siklus udara cukup terjaga dengan baik.