



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pembangkit Listrik Terbaru dan Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang bersumber dari alam dan dapat terus diproduksi tanpa harus menunggu waktu jutaan tahun layaknya energi berbasis fosil. Sumber alam yang dimaksud dapat berasal dari matahari, panas bumi (*geothermal*), angin, air (*hydropower*) dan berbagai bentuk dari biomassa. Sumber energi tersebut tidak dapat habis dan dapat terus. Selain dapat dipulihkan kembali, energi terbarukan diyakini lebih bersih (ramah lingkungan), aman, dan terjangkau masyarakat. Penggunaan energi terbarukan lebih ramah lingkungan karena mampu mengurangi pencemaran lingkungan dan kerusakan lingkungan di banding energi non-terbarukan.

Jenis sumber energi terbarukan (*renewable energy*) yang dimiliki Indonesia cukup banyak. Jika dikelola dan dimanfaatkan dengan baik diyakini dapat menggantikan energi fosil.

##### 2.1.1 Panas bumi

Energi panas bumi berasal dari peluruhan radioaktif di pusat Bumi, yang membuat Bumi panas dari dalam, serta dari panas matahari yang membuat panas permukaan bumi. Ada tiga cara pemanfaatan panas bumi:

1. Sebagai tenaga pembangkit listrik dan digunakan dalam bentuk listrik
2. Sebagai sumber panas yang dimanfaatkan secara langsung menggunakan pipa ke perut bumi
3. Sebagai pompa panas yang dipompa langsung dari perut bumi

Panas bumi adalah suatu bentuk energi panas atau energi termal yang dihasilkan dan disimpan di dalam bumi. Energi panas adalah energi yang menentukan temperatur suatu benda. Energi panas bumi berasal dari energi hasil pembentukan planet (20%) dan peluruhan radioaktif dari mineral (80%). Gradien panas bumi, yang didefinisikan dengan perbedaan temperatur

antara inti bumi dan permukaannya, mengendalikan konduksi yang terus menerus terjadi dalam bentuk energi panas dari inti ke permukaan bumi.



**Gambar 2.1** Panas Bumi

### 2.1.3 Air

Energi air digunakan karena memiliki massa dan mampu mengalir. Air memiliki massa jenis 800 kali dibandingkan udara. Bahkan gerakan air yang lambat mampu diubah ke dalam bentuk energi lain. Turbin air didesain untuk mendapatkan energi dari berbagai jenis reservoir, yang diperhitungkan dari jumlah massa air, ketinggian, hingga kecepatan air. Energi air dimanfaatkan dalam bentuk:

1. Bendungan pembangkit listrik yang terbesar adalah *Three Gorges dam* di China.
2. Mikrohidro yang dibangun untuk membangkitkan listrik hingga 100 kilowatt. Umumnya dipakai di daerah terpencil yang memiliki banyak sumber air.
3. *Run-of-the-river* yang dibangun dengan memanfaatkan energi kinetik dari aliran air tanpa membutuhkan reservoir air yang besar.



**Gambar 2.2** Energi Air

### 2.1.4 Angin

Perbedaan temperatur di dua tempat yang berbeda menghasilkan tekanan udara yang berbeda, sehingga menghasilkan angin. Angin adalah gerakan materi (udara) dan telah diketahui sejak lama mampu menggerakkan turbin. Turbin angin dimanfaatkan untuk menghasilkan energi kinetik maupun energi listrik. Energi yang tersedia dari angin adalah fungsi dari kecepatan angin; ketika kecepatan angin meningkat, maka energi keluarannya juga meningkat hingga ke batas maksimum energi yang mampu dihasilkan turbin tersebut. Wilayah dengan angin yang lebih kuat dan konstan seperti lepas pantai dan dataran tinggi, biasanya diutamakan untuk dibangun "ladang angin".



**Gambar 2.3** Angin

### 2.1.5 Matahari

Karena kebanyakan energi terbarukan berasal adalah "energi surya" istilah ini sedikit membingungkan. Namun yang dimaksud di sini adalah energi yang dikumpulkan secara langsung dari cahaya matahari.

Tenaga surya dapat digunakan untuk:

1. Menghasilkan listrik menggunakan sel surya
2. Menghasilkan listrik Menggunakan menara surya
3. Memanaskan gedung secara langsung
4. Memanaskan gedung melalui pompa panas

Tentu saja matahari tidak memberikan energi yang konstan untuk setiap titik di bumi, sehingga penggunaannya terbatas. Sel surya sering digunakan

untuk mengisi daya baterai, di siang hari dan daya dari baterai tersebut digunakan di malam hari ketika cahaya matahari tidak tersedia.



**Gambar 2.4** Matahari

### 2.1.6 Biomassa

Tumbuhan biasanya menggunakan fotosintesis untuk menyimpan tenaga surya, udara, dan CO<sub>2</sub>. Bahan bakar bio (*biofuel*) adalah bahan bakar yang diperoleh dari biomassa - organisme atau produk dari metabolisme hewan, seperti kotoran dari sapi dan sebagainya. Ini juga merupakan salah satu sumber energi terbarukan. Biasanya biomassa dibakar untuk melepaskan energi kimia yang tersimpan di dalamnya, pengecualian ketika biofuel digunakan untuk bahan bakar fuel cell (misal *direct methanol fuel cell* dan *direct ethanol fuel cell*). Biomassa dapat digunakan langsung sebagai bahan bakar atau untuk memproduksi bahan bakar jenis lain seperti biodiesel, bioetanol, atau biogas tergantung sumbernya. Biomassa berbentuk biodiesel, bioetanol, dan biogas dapat dibakar dalam mesin pembakaran dalam atau pendidih secara langsung dengan kondisi tertentu.



**Gambar 2.5** Biomassa



## 2.2 Pembangkit listrik Tenaga Hybrid

Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid adalah pembangkit listrik yang terdiri lebih dari 1 macam pembangkit dimana menggabungkan beberapa sumber energi yang dapat diperbaharui (renewable) dengan dan atau yang tidak dapat diperbaharui (unrenewable). Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid merupakan salah satu alternative system pembangkit yang diaplikasikan pada daerah-daerah yang sukar dijangkau oleh system pembangkit besar seperti PLN atau PLTD. Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid ini memanfaatkan renewable energy sebagai sumber utama (primer) yang di kombinasikan dengan Diesel Generator sebagai sumber energi cadangan (sekunder). Pada Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid, renewable energy yang digunakan dapat berasal dari energi matahari, angin, dan lain-lain yang dikombinasikan dengan Diesel-Generator Set sehingga menjadi suatu pembangkit yang lebih efisien, efektif dan handal untuk dapat mensuplai kebutuhan energi listrik.<sup>1</sup>

## 2.3 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH)

PLTH adalah suatu system pembangkit listrik yang memadukan beberapa jenis pembangkit listrik, pada umumnya antara pembangkit listrik berbasis energi terbarukan ada pula pembangkit listrik berbasis tenaga angin dengan tenaga matahari.

Untuk mengetahui sistem kerja pembangkit hibrida ini, hal-hal yang perlu dipertimbangkan antara lain : karakteristik beban pemakaian dan karakteristik pembangkitan daya khususnya dengan memperhatikan potensi energi alam yang ingin dikembangkan berikut karakteristik kondisi alam itu sendiri, seperti pergantian siang dan malam, kemudian pergantian musim dan sebagainya.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Faisal.2016. "Mengenal Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid". diakses dari <https://suryautamaputra.co.id/blog/2016/05/03/sistem-pembangkit-listrik-tenaga-hybrid/> diakses pada tanggal 16 Juli 2019 pukul 22:10.

<sup>2</sup> Ulya, "Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid", diakses dari <https://ulydays.com/pembangkit-listrik-tenaga-hybrid/> diakses pada tanggal 16 Juli 2019 pukul 22.19.



---

## 2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Pembangkit listrik tenaga angin atau sering dikenal pembangkit listrik tenaga bayu adalah pembangkit listrik yang menggunakan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit ini dapat mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Sistem pembangkitan listrik menggunakan angin sebagai sumber energi merupakan sistem alternatif yang sangat berkembang pesat, mengingat angin merupakan salah satu energi yang tidak terbatas di alam.<sup>3</sup>

### 2.4.1 Energi Angin

Salah satu energi terbarukan yang berkembang pesat di dunia saat ini adalah energi angin. Energi angin merupakan energi terbarukan yang sangat fleksibel. Energi angin dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan misalnya pemompaan air untuk irigasi, pembangkit listrik, pengering atau pencacah hasil panen, aerasi tambak ikan/udang, pendingin ikan pada perahu-perahu nelayan dan lain-lain. Selain itu, pemanfaatan energi angin dapat dilakukan di mana-mana, baik di daerah landai maupun dataran tinggi, bahkan dapat diterapkan di laut, berbeda halnya dengan energi air.

Pemanfaatan energi angin ini, selain dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil, diharapkan juga dapat meningkatkan efektifitas dan efisiensi sistem pertanian, yang pada gilirannya akan meningkatkan produktivitas masyarakat pertanian. Walaupun pemanfaatan energi angin dapat dilakukan di mana saja, daerah-daerah yang memiliki potensi energi angin yang tinggi tetap perlu diidentifikasi agar pemanfaatan energi angin ini lebih kompetitif dibandingkan dengan energi alternatif lainnya. Oleh karena itu studi potensi pemanfaatan energi angin ini sangat tepat dilakukan guna mengidentifikasi daerah-daerah berpotensi. Angin selama ini dipandang sebagai proses alam biasa yang kurang memiliki nilai ekonomis bagi kegiatan produktif masyarakat.

---

<sup>3</sup> Lugiromadoni, "Pembangkit Listrik Tenaga Angin", diakses dari lugiromadoni.blogspot.com pada tanggal 16 Juli 2019 pukul 22.45.



Secara umum, pemanfaatan tenaga angin di Indonesia memang kurang mendapat perhatian. Sampai tahun 2004, kapasitas terpasang dari pemanfaatan tenaga angin hanya mencapai 0.5 MW dari 9.29 GW potensi yang ada (DESDM, 2005). Padahal kapasitas pembangkitan listrik tenaga angin di dunia telah berkembang pesat dengan laju pertumbuhan kumulatif sampai dengan tahun 2004 melebihi 20 persen per tahun. Dari kapasitas terpasang 5 GW pada tahun 1995 menjadi hampir 48 GW pada akhir tahun 2004 tersebar dalam 74,400 turbin angin di sekitar 60 negara (BTM Consults ApS, 2005). menunjukkan laju pertumbuhan energi angin tahunan dunia.

Untuk mendukung *program diversifikasi energi* dan *Kebijakan Energi Hijau Nasional* (Pengembangan Energi Terbarukan dan Konservasi Energi), sudah semestinya kajian – kajian pengembangan sumber - sumber energi alternative khususnya energi terbarukan lebih disemarakkan untuk berbagai kepentingan. Studi potensi pemanfaatan tenaga angin ini merupakan satu tahapan penting dalam pengembangan dan pemasyarakatan penggunaan energi terbarukan untuk berbagai kegiatan produktif masyarakat di daerah - daerah di wilayah Indonesia.<sup>4</sup>

Energi angin (*wind energy*) merupakan sumber energi yang juga dapat dikatakan berasal dari energi matahari melalui radiasi panas matahari melalui radiasi panas matahari di permukaan bumi yang berbeda-beda sehingga menimbulkan perbedaan temperatur dan rapat massa udara di permukaan bumi yang mengakibatkan terjadinya perbedaan tekanan hingga kemudian menjadi aliran udara. Aliran udara tersebut dapat dipercepat dengan adanya perputaran bumi pada porosnya dengan kecepatan putar konstan.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> Maulana, “Pemanfaatan Energi Angin”, diakses dari <http://kokomaulana-st.blogspot.com/2014/05/pemanfaatan-energi-angin.html/>, pada tanggal 16 Juli 2019 pukul 23.00.

<sup>5</sup> Nursuhud, Djati dan Astu Pudjanarsa, *Mesin Konversi Energi* (Yogyakarta: Penerbit Andi, 2013), hlm. 37.





### 2.4.2 Kecepatan Angin

Hal yang biasanya dijadikan patokan untuk mengetahui potensi angin adalah kecepatannya. Biasanya yang menjadi masalah adalah kestabilan kecepatan angin. Sebagaimana diketahui, kecepatan angin akan berfluktuasi terhadap waktu dan tempat. Misalnya di Indonesia, kecepatan angin pada siang hari bisa lebih kencang dibandingkan malam hari. Pada beberapa lokasi bahkan pada malam hari tidak terjadi gerakan udara yang signifikan. Untuk situasi seperti ini, perhitungan kecepatan rata-rata dapat dilakukan dengan catatan pengukuran kecepatan angin dilakukan secara kontinyu.

Untuk udara yang bergerak terlalu dekat dengan permukaan tanah, kecepatan angin yang diperoleh akan kecil sehingga daya yang dihasilkan sangat sedikit. Semakin tinggi akan semakin baik. Pada keadaan ideal, untuk memperoleh kecepatan angin di kisaran 5-7 m/s, umumnya diperlukan ketinggian 5-12 m. Faktor lain yang perlu diperhatikan untuk turbin angin konvensional adalah desain baling-baling. Untuk baling-baling yang besar (misalnya dengan diameter 20 m), kecepatan angin pada ujung baling-baling bagian atas kira-kira 1,2 kali dari kecepatan angin ujung baling-baling bagian bawah. Artinya, ujung baling-baling

pada saat di atas akan terkena gaya dorong yang lebih besar daripada pada saat di bawah. Hal ini perlu diperhatikan pada saat mendesain kekuatan baling-baling dan tiang (menara) khususnya pada turbin angin yang besar. Jika kecepatan angin di baling-baling atas dan bawah berbeda secara signifikan, maka yang perlu diperhitungkan selanjutnya adalah pada kecepatan angin berapa turbin angin dapat menghasilkan daya optimal. Kecepatan angin juga dipengaruhi oleh kontur dari permukaan. Di daerah perkotaan dengan banyak rumah, apartemen dan perkantoran bertingkat, kecepatan angin akan rendah.





Sementara kecepatan angin pada daerah lapang lebih tinggi. Kepadatan (porositas) di permukaan bumi akan menyebabkan angin mudah bergerak atau tidak. Faktor porositas ini juga penting untuk diperhatikan ketika mendesain turbin angin.<sup>6</sup>

### **2.4.3 Potensi Energi Pembangkit Listrik Tenaga Angin**

Kebutuhan akan energi listrik semakin berkembang di kehidupan masyarakat sehari-hari. Potensi energi bayu/angin adalah salah satu sumber energi alternative yang ramah lingkungan yang dapat dimanfaatkan dalam pemenuhan kebutuhan akan energi listrik. Permasalahannya adalah tidak semua daerah-daerah di dunia, khususnya daerah-daerah di Indonesia, memiliki potensi energi angin.

Pada saat ini, di beberapa daerah di dunia ditemukan potensi angin dengan kecepatan tinggi, yakni 6,9 m/detik. Daerah-daerah yang memiliki potensi besar tersebut berada di Eropa Utara (sepanjang laut utara), Amerika selatan dan Australia bagian Tasmania. Amerika Utara, yang memiliki potensi kecepatan angin yang paling tinggi, memiliki kecepatan angin yang paling konsisten berada di daerah Great Lakers dan angin laut sepanjang pantainya. Berdasarkan penelitian para ahli, angin berhembus dengan kecepatan 8,6 m/detik diatas lautan dan mendekati 4.5 m/detik ketika mencapai daratan.

Di Indonesia, hingga saat ini belum memiliki peta komorehensif mengenai informasi daerah-daerah mana saja yang memiliki potensi angin besar untuk menghasilkan listrik. Hal ini dikarenakan biaya yang dibutuhkan untuk pengembangannya sangat mahal, mencapai miliaran rupiah.

Sementara ini, berdasarkan hasil pemetaan LAPAN (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional) di 120 lokasi yang ada di Indonesia, didapatkan beberapa daerah yang memiliki kecepatan angin diatas 5 m/detik. Daerah-daerah tersebut adalah Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan dan Pantai Selatan Jawa. Angin dengan kecepatan ini tergolong berskala menengah dengan potensi kapasitas 10 hingga 100 kW.

---

<sup>6</sup> Ikhwanul Ikhsan, Analisis Pengaruh Pembenanann Terhadap Kincir Angin Tipe Propeller pada Wind Tunnel Sederhana. (Makasar: Penerbitan : Universitas Hasannudin ,2011) , hal. 8.diunduh pada tanggal 16 Juli 2019 pukul 23.30.



Meskipun demikian, dengan kecepatan angin, yang umumnya dibawah 5,9 m/detik secara ekonomi kurang layak untuk membangun pembangkit listrik. Hal ini disebabkan, ketika dibandingkan, biaya yang dibutuhkan untuk membangun pembangkit listrik tenaga bayu/angin ini lebih besar dari hasil yang bias didapatkan ketika pembangkit listrik ini dijalankan. Tetapi, bukan berarti pembangkit listrik tenaga bayu/angin ini tidak bermanfaat, butuh penelitian lebih lanjut untuk memaksimalkan potensi energi ini.

Di seluruh daerah Indonesia, lima unit kincir angin pembangkit berkapasitas masing-masing 80 kW sudah dibangun. Pada 2007, tujuh unit dengan kapasitas sama menyusul dibangun di empat lokasi, masing-masing di Pulau Selayar tiga unit, Sulawesi Utara dua unit, dan Nusa Penida, Bali, serta Bangka Belitung, masing-masing satu unit.<sup>7</sup>

Indonesia belum memiliki peta angin dimana pada setiap daerah dimonitori kecepatan angin sebagai referensi untuk pembangunan kincir angin dan untuk keperluan lainnya, seperti penerbangan. Potensi energi angin di Indonesia umumnya berkecepatan lebih dari 5 meter per detik (m/det). Hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (Lapan) pada 120 lokasi menunjukkan beberapa wilayah memiliki kecepatan angin 5 m/det, masing-masing Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan dan Pantai Jawa. Beberapa data hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (Lapan) terhadap kecepatan angin rata-rata di beberapa daerah di Indonesia<sup>8</sup>

---

<sup>7</sup> Sutarno, Sumber Daya Energi (Yogyakarta:Penerbit Graha Ilmu,2013), hlm. 151.152.

<sup>8</sup> Nursuhud,Djati dan Astu Pudjanarsa, Mesin Konversi Energi (Yogyakarta:Penerbit Andi,2013), hlm.38

Tabel 2.1 Potensi angin berdasarkan kecepatannya

Kelas Angin	Kecepatan angin m/d	Kecepatan angin km/jam	Kecepatan angin knot/jam
1	0,3 ~ 1.5	1 ~ 5.4	0.58 ~ 2.92
2	1.6 ~ 3.3	5.5 ~ 11.9	3.11 ~ 6.42
3	3.4 ~ 5.4	12.0 ~ 19.5	6.61 ~ 10.5
4	5.5 ~ 7.9	19.6 ~ 28.5	10.7 ~ 15.4
5	8.0 ~ 10.7	28.6 ~ 38.5	15.6 ~ 20.8
6	10.8 ~ 13.8	38.6 ~ 49.7	21 ~ 26.8
7	13.9 ~ 17.1	49.8 ~ 61.5	27 ~ 33.3
8	17.2 ~ 20.7	61.6 ~ 74.5	33.5 ~ 40.3
9	20.8 ~ 24.4	74.6 ~ 87.9	40.5 ~ 47.5
10	24.5 ~ 28.4	88.0 ~ 102.3	47.7 ~ 55.3
11	28.5 ~ 32.6	102.4 ~ 117.0	55.4 ~ 63.4
12	> 32.6	>118	63.4

#### 2.4.4 Turbin Angin

Turbin Angin atau dalam bahasa sederhana kincir angin merupakan turbin yang digerakkan oleh angin, yaitu udara yang bergerak diatas permukaan bumi. Penggunaan turbin angin terus mengalami perkembangan guna memanfaatkan energi angin secara efektif, terutama pada daerah-daerah dengan aliran angin yang relative tinggi sepanjang tahun. Sebagai pembangkit listrik, turbin angin telah digunakan di Denmark sejak tahun 1890. Dalam beberapa decade terakhir ini, kekhawatiran akan habisnya energi fosil telah mendorong pengembangan dan penggunaan turbin secara meluas dalam mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat dengan prinsip konversi energi. Pada saat ini, angin merupakan salah satu sumber energi perkembangan relative cepat dibandingkan sumber energi lainnya. Walaupun demikian sampai saat ini ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (misal: PLTD atau PLTU). Pengkajian potensi angin pada suatu daerah dilakukan



dengan cara mengukur serta menganalisa kecepatan maupun arah angin. Dasar dari alat untuk merubah energi angin adalah kincir angin. Meskipun masih terdapat susunan dan perencanaan yang beragam, biasanya kincir angin digolongkan menjadi dua tipe (horizontal dan vertical). Sesuai dengan ketentuan Betz, sebuah turbin angin yang ideal akan mengubah  $16/27$  (59%) dari energi anhin yang dihasilkan oleh angin. Akan tetapi dalam prakteknya daya turbin yang didapat lebih kecil karena terdapat beberapa factor.<sup>9</sup>

## 2.4.5 Jenis Turbin Angin

### 2.4.5.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah gearbox yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar. Karena sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, turbin biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara. Bilah-bilah turbin dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Sebagai tambahan, bilah-bilah itu diletakkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan. Karena turbulensi menyebabkan kerusakan struktur menara, dan realibilitas begitu penting, sebagian besar TASH merupakan mesin upwind (melawan arah angin). Meski memiliki permasalahan turbulensi, mesin downwind (menurut jurusan angin) dibuat karena tidak memerlukan mekanisme tambahan agar mereka tetap sejalan dengan angin,

dan karena di saat angin berhembus sangat kencang, bilah-bilahnya bisa diteuk sehingga mengurangi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resintensi angin dari bilah-bilah itu.

---

<sup>9</sup> Wikipedia.2010. Turbin Angin. [http://id.wikipedia.org/wiki/turbin\\_angin.Indonesia](http://id.wikipedia.org/wiki/turbin_angin.Indonesia)



#### Kelebihan Turbin Angin Sumbu Horizontal :

Dasar menara yang tinggi membolehkan akses ke angin yang lebih kuat di tempat-tempat yang memiliki geseran angin (perbedaan antara laju dan arah angin antara dua titik yang jaraknya relatif dekat di dalam atmosfer bumi. Di sejumlah lokasi geseran angin, setiap sepuluh meter ke atas, kecepatan angin meningkat sebesar 20%.

#### Kelemahan Turbin Angin Sumbu Horizontal :

- a. Menara yang tinggi serta bilah yang panjangnya bisa mencapai 90 meter sulit diangkut. Diperkirakan besar biaya transportasi bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin.
- b. Turbin Angin Sumbu Horizontal yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yangampil.
- c. Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, gearbox, dan generator.
- d. Turbin Angin Sumbu Horizontal yang tinggi bisa memengaruhi radar airport.
- e. Ukurannya yang tinggi merintangikanjangkauan pandangan dan mengganggu penampilan lansekap.
- f. Berbagai varian downwind menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi.
- g. Turbin Angin Sumbu Horizontal membutuhkan mekanisme kontrol yaw tambahan untuk membelokkan kincir ke arah angin.



**Gambar 2.6** Turbin Angin Sumbu Horizontal

#### **2.4.5.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal**

Turbin angin sumbu vertikal/tegak (atau TASV) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. VAWT mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. Dengan sumbu yang vertikal, generator serta gearbox bisa ditempatkan di dekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Tapi ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. *Drag* (gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar. Karena sulit dipasang di atas menara, turbin sumbu tegak sering dipasang lebih dekat ke dasar tempat ia diletakkan, seperti tanah atau puncak atap sebuah bangunan. Kecepatan angin lebih pelan pada ketinggian yang rendah, sehingga yang tersedia adalah energi angin yang sedikit. Aliran udara di dekat tanah dan obyek yang lain mampu menciptakan aliran yang bergolak, yang bisa menyebabkan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan getaran, diantaranya kebisingan dan *bearing wear* yang akan meningkatkan biaya pemeliharaan atau mempersingkat umur turbin angin. Jika tinggi puncak atap



yang dipasang menara turbin kira-kira 50% dari tinggi bangunan, ini merupakan titik optimal bagi energi angin yang maksimal dan turbulensi angin yang minimal.

Kelebihan Turbin Angin Sumbu Vertikal :

- a. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
- b. Karena bilah-bilah rotornya vertikal, tidak dibutuhkan mekanisme yaw.
- c. Sebuah Turbin Angin Sumbu Vertikal bisa diletakkan lebih dekat ke tanah, membuat pemeliharaan bagian-bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah.
- d. Turbin Angin Sumbu Vertikal memiliki sudut airfoil (bentuk bilah sebuah baling-baling yang terlihat secara melintang) yang lebih tinggi, memberikan keaerodinamisan yang tinggi sembari mengurangi *drag* pada tekanan yang rendah dan tinggi.
- e. Desain Turbin Angin Sumbu Vertikal berbilah lurus dengan potongan melintang berbentuk kotak atau empat persegi panjang memiliki wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu daripada wilayah tiupan berbentuk lingkarannya Turbin Angin Sumbu Horizontal.
- f. Turbin Angin Sumbu Vertikal memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada TASH. Biasanya TASV mulai menghasilkan listrik pada 10 km/jam (6 m.p.h.)
- g. Turbin Angin Sumbu Vertikal biasanya memiliki *tip speed ratio* (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung sebuah bilah dengan laju sebenarnya angin) yang lebih rendah sehingga lebih kecil kemungkinannya rusak di saat angin berhembus sangat kencang.
- h. Turbin Angin Sumbu Vertikal bisa didirikan pada lokasi-lokasi dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.
- i. Turbin Angin Sumbu Vertikal yang ditempatkan di dekat tanah bisa mengambil keuntungan dari berbagai lokasi yang menyalurkan angin serta meningkatkan laju angin (seperti gunung atau bukit yang puncaknya datar dan puncak bukit),



### Kekurangan Turbin Angin Sumbu Vertikal :

- a. Kebanyakan Turbin Angin Sumbu Vertikal memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi Turbin Angin Sumbu Horizontal karena drag tambahan yang dimilikinya saat kincir berputar.
- b. Turbin Angin Sumbu Vertikal tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.
- c. Kebanyakan Turbin Angin Sumbu Vertikal mempunyai torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.
- d. Sebuah Turbin Angin Sumbu Vertikal yang menggunakan kabel untuk menyanggahnya memberi tekanan pada bantalan dasar karena semua berat rotor dibebankan pada bantalan. Kabel yang dikaitkan ke puncak bantalan meningkatkan daya dorong ke bawah saat angin bertiup.<sup>10</sup>



**Gambar 2.7** Turbin Angin Sumbu Vertikal

---

<sup>10</sup> <http://www.satuenergi.com/2015/10/jenis-jenis-turbin-angin-serta.html>  
<https://benergi.com/jenis-turbin-angin-lengkap-dengan-kekurangan-dan-kelebihannya>

## 2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

### 2.5.1 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya merupakan sumber energy surya yang mengubah energi menjadi energi listrik. Pembangkit listrik bisa dilakukan dengan dua cara yaitu secara langsung dengan menggunakan photovoltaic dan secara tidak langsung dengan pemusatan energi surya.

### 2.5.2 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Komponen-komponen yang diperlukan untuk instalasi listrik tenaga surya, terdiri dari:

#### 1. Panel Surya/Solar Panel

Panel Surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. Mereka disebut surya atas matahari atau "sol" karena matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Panel surya sering kali disebut sel *photovoltaic*, *photovoltaic* dapat diartikan sebagai "cahaya-listrik". Sel surya atau sel PV bergantung pada efek *photovoltaic* untuk menyerap energi Matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan.



**Gambar 2.8** Panel Surya

Panel Surya biasanya memiliki umur 20-25 tahun yang biasanya dalam jangka waktu tersebut pemilik panel surya tidak akan mengalami penurunan efisiensi yang signifikan. Namun, meskipun dengan kemajuan teknologi yang semakin canggih, sebagian besar panel surya komersial saat ini hanya mencapai efisiensi 15% dan hal ini tentunya merupakan salah satu alasan utama mengapa industri energi surya masih tidak dapat bersaing dengan bahan





sejenis akan tolak menolak dan muatan listrik tidak sejenis akan tarik-menarik. Teori atom juga terkait dengan bahasan muatan listrik.

Sifat-sifat muatan listrik antara lain :

- listrik terdiri dari dua jenis muatan yaitu muatan positif dan negatif,
- muatan listrik akan saling berinteraksi, muatan sejenis tolak menolak dan muatan tidak sejenis tarik-menarik.

Untuk menerangkan pengertian adanya sifat kelistrikan pada suatu benda, perlu dipahami adanya konsep atom yang dimunculkan oleh para ahli di antaranya, teori atom Dalton, Thompson, Rutherford dan Bohr. Secara umum dapat dijelaskan bahwa:

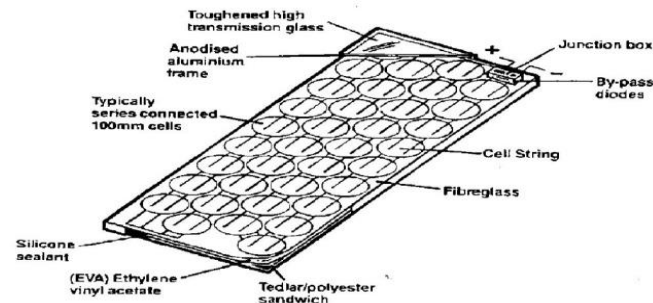
- Benda terdiri atas atom-atom sejenis.
- Setiap atom terdiri atas sebuah inti yang dikelilingi oleh satu atau lebih elektron.
- Inti atom bermuatan positif, elektron bermuatan negatif.
- Inti atom terdiri atas proton yang bermuatan positif dan neutron yang tidak bermuatan listrik.

#### b) Hubungan Sel Surya Secara Seri dan Pararel

Pada umumnya modul surya mampu bertahan 20 hingga 25 tahun, khususnya untuk modul *mono-crystalline*. Modul tipe ini dirancang untuk masa operasi 30 tahun pada saat perancangan dengan acuan kondisi *lab-test*. Sel-sel silikon itu sendiri tidak mengalami kerusakan atau degradasi bahkan setelah puluhan tahun pemakaian.

Namun demikian, output modul akan mengalami penurunan dengan berjalannya waktu. Degradasi ini diakibatkan oleh dua faktor utama, rusaknya lapisan atas sel (*ethylene vinyl acetate-EVA*) dan lapisan bawah (*polyvinyl fluoride film*) secara perlahan-lahan, serta kerusakan secara alami

EVA yang terjadi secara bertahap di antara lapisan gelas dan sel-sel itu sendiri.<sup>[13]</sup>



**Gambar 2.10** Konfigurasi sebuah modul fotovoltaik.<sup>[14]</sup>

Sel Fotovoltaik yang dihubungkan secara seri dibungkus untuk membentuk sebuah kesatuan mekanik. Kesatuan seperti ini dinamakan sebuah modul fotovoltaik. Satu sel surya menghasilkan tegangan sebesar 0,45 Volt. Tegangan ini sangat rendah untuk dapat dimanfaatkan secara praktis, sehingga diperlukan sejumlah sel surya yang dihubungkan secara seri.

### c) Perhitungan Energi Surya

Perhitungan energi surya dalam hal ini adalah daya dan efisiensi solar cell tersebut seperti dibawah ini:

#### ➤ Daya

Untuk menghitung besarnya daya sesaat diperoleh dari hasil perkalian tegangan dan arus yang dihasilkan oleh solar cell dengan persamaan berikut:

$$P = V \times I \quad (2.1)$$

Dimana:

P = Daya (Watt)

V = Tegangan(Volt)

I = Arus (Ampere)

#### ➤ Efisiensi

<sup>13</sup>, Permana, Iman. 2008. *Pengenalan Teknologi Tenaga Surya*. Bandung: PPPPTK BMTI. Hal :37

<sup>14</sup>, Permana, Iman. 2008. *Pengenalan Teknologi Tenaga Surya*. Bandung: PPPPTK BMTI. Hal :37



Sedangkan untuk menghitung nilai efisiensi dari solar cell dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{\text{output}}}{P_{\text{input}}} \times 100\% \quad (2.2)$$

$$P_{\text{input}} = I_r \times A \quad (2.3)$$

$$P_{\text{output}} = V \times I \quad (2.4)$$

Dimana:

$\eta$  = Efisiensi (%)

$P_{\text{input}}$  = Daya yang diterima pada solar cell (Watt)

$P_{\text{output}}$  = Daya yang keluar pada solar cell (Watt)

$I_r$  = Intensitas cahaya matahari (Watt/m<sup>2</sup>)

$A$  = Luas permukaan solar cell (m<sup>2</sup>)

$V$  = Tegangan (Volt)

$I$  = Arus (Ampere)

Dimana untuk mencari nilai efisiensi dari sebuah *solar cell* diperoleh dari perbandingan daya input (daya yang diserap oleh *solar cell*) output (daya yang dihasilkan pada *solar cell*). Adapun radiasi cahaya matahari itu sendiri harus diubah menjadi energi listrik. Dibawah ini adalah satuan konversi:

$$1 \text{ Lux} = 1 \text{ Lumen/m}^2$$

$$1 \text{ Lumen} = 0.0015 \text{ Watt}$$

Dari satuan konversi diatas maka dapat dicari berapa energi surya yang diterima oleh panel surya dari sinar matahari hanya mampu menghasilkan daya yang kecil dihasilkan dengan menghubungkan paralel.<sup>[15]</sup>

<sup>15</sup> Maryadi, Agus. 2002. *Kajian Kondisi Permukaan Solar Cell Terhadap Energi listrik yang dihasilkan*. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya

#### d) Jenis-jenis Sel Surya

Beragam-macam teknologi telah diteliti oleh para ahli di dunia untuk merancang dan membuat sel *photovoltaic* yang lebih baik, murah, dan efisien diantaranya adalah :

➤ Generasi Pertama Kristal (*Single Crystal*)

Konfigurasi normal untuk sel *photovoltaic* terdiri *p-n Junction Mono* Kristalsilikon material mempunyai kemurnian yang tinggi yaitu 99,999%. Efisiensi sel surya jenis *single kristal silikon* mempunyai efisiensi konversi yang cukup tinggi yaitu sekitar 16% sampai dengan 17%.

➤ Generasi Kedua Kristal (*Polikristal*)

Material monokristal harga per kilogram masih mahal, untuk menurunkan harga material, dikembangkan material lain yang disebut *Polikristal*. Efisiensi modul *photovoltaic* polikristal yang komersial mencapai 12% sampai dengan 14%.<sup>[16]</sup>

➤ Generasi Ketiga, EFG the Edge Defined Film Growth Ribbon

Proses ini menumbuhkan *wafer monokristal* seperti pita langsung dari cair silikon dengan menggunakan pita kapiler, dapat menghasilkan dengan lebar 5-10cm. Pada proses ini penumbuhan terjadi 5 m/menit dengan ketebalan 250-350 mikrometer, dengan efisiensi 13%.<sup>[17]</sup>

➤ Generasi Keempat (*Thin Film*)

Generasi ke-empat lapisan tipis atau thin film, mempunyai ketebalan sekitar 10 mm di atas substrat kaca/*steel* (baja) atau disebut *advanced sel* fotovoltaik. Efisiensi sel *amorphous silicon* berkisar 6% sampai dengan 9%.<sup>[18]</sup>

---

<sup>16</sup>Permana, Iman. 2008. *Pengenalan Teknologi Tenaga Surya*. Bandung: PPPPTK BMTI. Hal : 33

<sup>17</sup>Permana, Iman. 2008. *Pengenalan Teknologi Tenaga Surya*. Bandung: PPPPTK BMTI. Hal : 34

<sup>18</sup>Permana, Iman. 2008. *Pengenalan Teknologi Tenaga Surya*. Bandung: PPPPTK BMTI. Hal : 35