



BAB II

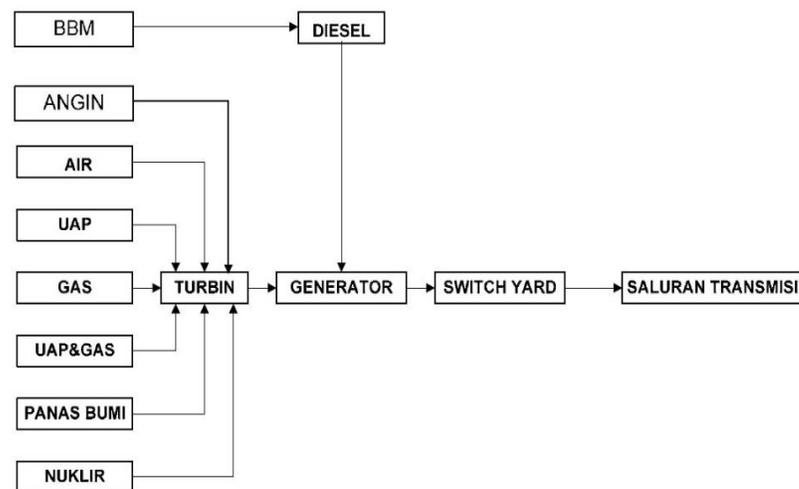
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik

Pembangkit listrik adalah bagian dari alat industri yang dipakai untuk memproduksi dan membangkitkan tenaga listrik dari berbagai sumber tenaga, seperti PLTU, PLTN, PLTA, PLTB, PLTS, PLTH dan lain-lain.

Bagian utama dari pembangkit listrik ini adalah generator, yakni mesin yang berputar yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip medan magnet dan penghantar listrik. Mesin generator ini diaktifkan dengan menggunakan berbagai sumber energi yang sangat bermanfaat dalam suatu pembangkit listrik.

2.2 Jenis – Jenis Pembangkit



Gambar 2.1 Jenis – Jenis Pembangkit Listrik



2.2.1 Pembangkit Tenaga Bayu/Angin (PLTB)

Konsumsi energi fosil dalam pemenuhan energi listrik sangat besar dan lambat laun menimbulkan dampak buruk terhadap lingkungan. Dampak buruk yang paling terasa saat ini adalah global warming (pemanasan global). Semakin banyaknya dampak buruk yang timbul akibat penggunaan energi fosil ini, menyebabkan banyak negara membangun dan mengembangkan berbagai macam pembangkit listrik dengan energi alternatif. Salah satunya adalah pembangkit listrik tenaga bayu/angin (PLTB).²

Pembangkit listrik tenaga Bayu/angin (PLTB) merupakan pembangkit listrik yang dapat mengkonversi energi angin menjadi energi listrik. Energi angin memutar turbin/kincir angin turbin angin yang berputar menyebabkan berputarnya rotor generator sehingga dapat menghasilkan energi listrik.

Sebuah turbin angin lebih menyerupai baling-baling pesawat ketimbang turbin uap atau rotor gas, Menurut Fay dan Golomb (2002) *“The wind turbine blades are long and slender, the tip of the blade moves at a speed much greater than the wind speed”*. Turbin angin bergerak dengan kecepatan yang jauh lebih besar dari kecepatan angin. Sebuah baling-baling mesin ini dirancang untuk menghasilkan daya dorong yang besar sehingga turbin angin dapat menghasilkan listrik.

2.2.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin (PLTB)

Suatu pembangkit listrik dari energi angin merupakan hasil dari penggabungan beberapa turbin angin sehingga dapat menghasilkan listrik. Pada mulanya energi angin memutar sudut-sudut turbin, lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator yang letaknya dibagian belakang turbin angin. Generator mengubah energi putar rotor menjadi energi listrik dengan prinsip hukum faraday, yaitu bila terdapat penghantar didalam suatu medan magnet, maka pada kedua ujung penghantar tersebut akan dihasilkan beda potensial, ketika poros generator

²Dr. Hamdi, M.SI. Energi Terbarukan Hlm 139



berputar, maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya menghasilkan tegangan dan arus listrik.

Besarnya energi listrik yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Rotor (kincir) : rotor turbin sangat bervariasi jenisnya, diameter rotor akan berbanding lurus dengan daya listrik. Semakin besar diameter semakin besar pula listrik yang dihasilkan, dilihat dari jumlah sudut rotor (baling-baling), sudut dengan jumlah sedikit berkisar 3 – 6 buah lebih banyak digunakan.
2. Kecepatan angin kecepatan akan mempengaruhi kecepatan putaran rotor akan menggerakkan generator.
3. Jenis generator : generator terbagi dalam beberapa karakteristik yang berbeda, generator yang cocok untuk sistem konversi energi angin (SKEA) adalah generator yang dapat menghasilkan arus listrik pada putaran rendah.

Karena energi angin tidak tersedia sepanjang hari, maka ketersediaan listrik juga tidak menentu. Oleh karena itu, digunakan alat penyimpan energi yang berfungsi sebagai back up energi listrik. Ketika beban penggunaan daya listrik masyarakat meningkat atau ketika kecepatan angin suatu daerah sedang menurun, maka kebutuhan permintaan akan daya listrik tidak dapat terpenuhi, oleh karena itu, kita perlu menyimpan sebagian energi yang dihasilkan ketika terjadi kelebihan daya pada saat turbin angin berputar kencang. Contoh sederhana alat penyimpanan energi listrik ini adalah aki mobil.

2.2.3 Syarat Angin Untuk PLTB

Tidak semua jenis angin dapat digunakan untuk memutar turbin PLTB klasifikasi dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik ditunjukkan pada tabel :



Tabel 2.1 Tabel Kondisi Angin

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	24.5 – 32.6	102.4 – 117.0	55.4 – 63.4
12	> 32.6	> 118	63.4

Tabel 2.2 Tingkatan kecepatan angin 10 Meter di atas permukaan tanah

Kelas angin	Kecepatan angin m/d	Kondisi Alam di Daratan
1	0.00 – 0.02	
2	0.3 – 1.5	Angin tenang, asap lurus keatas
3	1.6 – 3.3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3.4 – 6.4	Wajah terasa ada angin, daun bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5.5 – 7.9	Debu jalan, kertas berterbangan, ranting pohon bergoyang
6	9.0 – 10.7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7	10.8 – 13.8	Ranting pohon besar bergoyang, air berombak kecil
8	13.9 – 17.1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa ditelinga
9	17.2 – 20.7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20.8 – 24.4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24.5 – 28.4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28.5 – 32.6	Menimbulkan kerusakan parah
13	32.7 – 35.9	Tornado

Klasifikasi angin pada kelompok 3 adalah batas minimum dan angin pada kelompok 8 adalah batas maksimum energi angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.



2.2.4 Turbin Angin

Turbin angin atau kincir angin (sebutan bagi unit kecil) adalah turbin yang digerakan oleh angin, yaitu udara yang bergerak diatas permukaan bumi. Sudah sejak dahulu angin berjasa pada kehidupan manusia. Para nelayan sangat tergantung pada angin untuk berlayar.¹¹

Disamping itu turbin angin digunakan untuk memompa air dan menggiling jagung. Namun, dengan ditemukannya mesin uap dan motor bakar, penggunaan kincir angin berkurang karena daya yang dihasilkan relatif kecil.

Walaupun demikian penggunaan turbin angin terus berkembang untuk memanfaatkan energi angin secara efektif, khususnya didaerah terpencil. Hal tersebut juga sudah terjadi jauh sebelum krisis energi pada tahun 1973. Banyak negara, termasuk Russia, USA, Jerman, Inggris, dan perancis, menaruh minat mengembangkan turbin angin berskala besar, dalam kurun waktu antara tahun 1900 – 1950.

Bagi pembangkitan energi listrik, kincir angin telah digunakan di Denmark pada tahun 1890. Kincir angin tersebut menggunakan sudu-sudu dari kain layar. Dalam beberapa dekade terakhir ini, kekhawatiran akan habisnya energi fosil telah mendorong pengembangan dan penggunaan turbin angin. Pada saat ini angin menjadi sumber energi yang berkembang paling cepat, kira-kira dengan laju pertumbuhan 30% dalam satu tahun, sejak 1996. Kapasitas pembangkitan energi listrik global sekarang sudah mencapai lebih dari 23.000 MW cukup untuk keperluan lebih dari 10 juta rumah tangga di negara industri maju. Sehubungan dengan hal tersebut banyak negara telah memiliki peta angin, antara lain Kanada, USA, Jerman, Spanyol, dan Denmark.

Turbin angin merupakan mesin yang ramah lingkungan. Kemajuan teknologi turbin angin telah memungkinkan pemanfaatan energi angin yang lebih murah. Dalam kurun waktu 10 tahun terakhir ini telah terjadi penurunan biaya per kWh sebesar kira-kira 50%. Pada waktu ini Jerman merupakan negara yang memiliki turbin angin dengan daya terpasang paling besar 8750 MW. Selanjutnya

¹¹Wiranto Arismunandar. 2000 Penggerak Mula Turbin



USA, 4300 MW, Spanyol 3300 MW, Denmark 2500 MW, dan Kanada 200 MW. Untuk mendorong pengembangan turbin angin, pemerintah Kanada merencanakan agar, pada tahun 2005, 20% dari energi listrik yang diperlukan dapat diperoleh dari sumber daya yang terbarukan, terutama energi angin.

2.2.5 Daya Angin

Energi angin berasal dari dua penyebab utama, yaitu dari :

1. Pemanasan udara atmosfer yang membangkitkan arus konveksi, dan
2. Gerakan relatif udara atmosfer terhadap perputaran bumi

Angin mengikuti suatu pola global tetapi bervariasi intensitas dan lamanya pada setiap titik di muka bumi.

Daya teoritik yang tersedia pada angin dapat dihitung dengan persamaan :

$$N_A = \frac{(1/2 \rho A C^3)}{1000} = \frac{\rho A C^3}{2000} \dots \dots \dots (2.1)$$

- Dimana : ρ = massa jenis udara, kg/m³
 = 1,201 kg/m³ pada 1000 m bar dan 290 K
 A = luas penampang melintang arus angin, m²
 C = kecepatan angin, m/s
 N_A = daya angin, kW

Boleh dikatakan bahwa kecepatan angin dibawah 30 km/h tidak memiliki nilai komersial yang menguntungkan sebagai mesin pembangkit tenaga listrik. Sedangkan untuk kecepatan angin lebih tinggi dari 50 km/h diperlukan struktur yang sehingga menjadi terlalu mahal dan dianggap tidak menguntungkan.

Apabila luas penampang A dianggap lingkaran dengan diameter D = diameter rotor turbin angin, maka $A = \frac{\pi}{4} D^2$ sehingga :

$$N_A = \frac{\pi}{8} \rho = \frac{D^2 C^3}{1000} = \frac{\pi}{8000} \rho D^2 C_o^3, Kw \dots \dots \dots (2.2)$$

Menurut Betz, seorang insinyur bangsa Jerman, besarnya energi yang maksimum dapat diserap dari angin adalah hanya 0.59259 dari energi yang tersedia [12]. Sedangkan hal tersebut juga dapat dicapai dengan daun turbin yang dirancang dengan sangat baik serta dengan kecepatan keliling daun pada puncak daun sebesar 6 kali kecepatan angin.



Pada dasarnya turbin angin untuk generator listrik (aerogenerator) hanya akan bekerja antara suatu kecepatan angin minimum, yaitu kecepatan start C_s , dan kecepatan nominalnya, C_R . Biasanya C_R/C_s berkisar antara 2 dan 3. Apabila langkah (pitch) dari daun turbin dapat diubah (variable pitch) pada kecepatan lebih tinggi dari C_R , maka turbin dapat terus bekerja pada daya nominal. Dalam hal tersebut daya maksimum tergantung dari kekuatan strukturnya. Pada beberapa sistem, keseluruhan rotor turbin dapat diputar sehingga tidak menghadap arus angin, untuk menghindari kerusakan pada kecepatan angin yang tinggi. Apabila faktor konversi rotor adalah K_R , maka daya yang dihasilkan turbin angin dari energi angin yang bisa diserap adalah

$$N_T = (N_A \times 0,59259) \times K_R \dots\dots\dots (2.3)$$

Atau

$$N_T = (N_A \times 0,59259 K_R) \times N_A \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\text{Atau } N_T = n_T N_A \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\text{Dimana } n_T = 0,59259 K_R \dots\dots\dots (2.6)$$

= efisiensi turbin angin

Efisien turbin angin tergantung dari kecepatan angin yang sesuai dengan titik rancangannya dan jenis rotor yang digunakan.

2.2.6 Jenis Turbin Angin

1. Turbin Angin Sumbu Horizontal

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.⁵

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

⁵<http://id.wikipedia.org/wiki/turbin/angin>



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 Turbin Angin Sumbu Horizontal merupakan mesin upwind (melawan arah angin). Meski memiliki permasalahan turbulensi, mesin downwind (menurut arah angin) dibuat karena tidak memerlukan mekanisme tambahan agar mereka tetap sejalan dengan angin, dan karena di saat angin berhembus sangat kencang, bilahbilahnya bisa ditekuk sehingga mengurangi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resintensi angin dari bilah-bilah itu.

2. 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) di 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%.

3. Kelemahan Turbin Angin Sumbu Horizontal

1. 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.
2. Turbin Angin Sumbu Horizontal yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derck yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yangampil.
3. Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, gearbox, dan generator.
4. Turbin Angin Sumbu Horizontal yang tinggi bisa memengaruhi radar airport.
5. Ukurannya yang tinggi merintangi jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan lansekap.
6. Berbagai varian downwind menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbelensi.



7. Turbin Angin Sumbu Horizontal membutuhkan mekanisme control yaw tambahan untuk membelokkan kincir ke arah angin.

4. Turbin Angin Sumbu Vertical

Turbin angin sumbu vertikal/tegak (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. Turbin Angin Sumbu Vertikal 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.

5. Kelebihan Turbin Angin Sumbu Vertical

1. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
2. Karena bilah - bila rotornya vertikal, tidak dibutuhkan mekanismenya.
3. Sebuah Turbin Angin Sumbu Vertikal bisa diletakkan lebih dekat ke tanah, membuat pemeliharaan bagian-bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah.
4. 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 memberikan keaerodinamisan yang tinggi sembari mengurangi drag pada tekanan yang rendah dan tinggi.

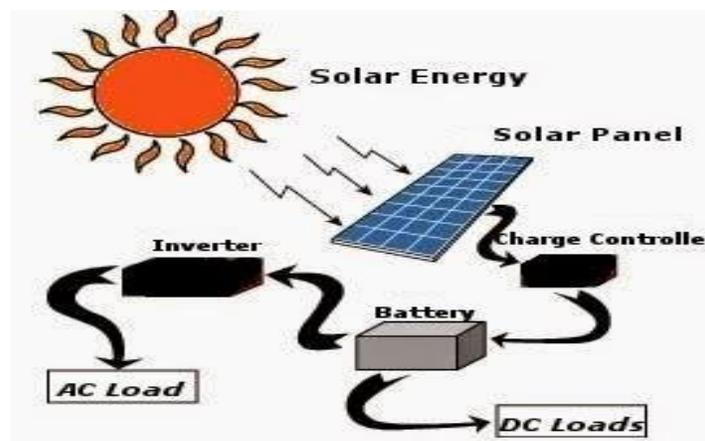
5. Desain Turbin Angin Sumbu Vertikal berbilah lurus dengan potongan melintang berbentuk kotak atau empat persegi panjang memiliki wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu daripada wilayah tiupan berbentuk lingkarannya Turbin Angin Sumbu Horizontal.
6. Turbin Angin Sumbu Vertikal memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada Turbin Angin Sumbu Horizontal. Biasanya Turbin Angin Sumbu Vertikal mulai menghasilkan listrik pada 10 km/jam (6 m.p.h.).
7. 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.
8. Turbin Angin Sumbu Vertikal bisa didirikan pada lokasi-lokasi dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.
9. 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).
10. Turbin Angin Sumbu Vertikal tidak harus diubah posisinya jika arah angin bembah.
11. Kincir pada Turbin Angin Sumbu Vertikal mudah dilihat dan dihindari burung.

6. Kekurangan Turbin Angin Sumbu Vertical

1. Kebanyakan Turbin Angin Sumbu Vertikal memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi Turbin Angin Sumbu Horizontal karena drag tambahan yang dimilikinya saat kincir berputar.
2. Turbin Angin Sumbu Vertikal tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.

3. Kebanyakan Turbin Angin Sumbu Vertikal mempunyai torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.
4. 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.

2.2.7 Pembangkit Listrik Tenaga Surya



Gambar 2.2 Sistem instalasi menggunakan solar panel

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), dan sel surya, serta sistem *photovoltaic* (PV) merupakan istilah yang saling berkaitan dan banyak dijumpai dalam menggunakan tenaga surya untuk pembangkitan listrik. Seperti diketahui, unsur utama yang memungkinkan diperolehnya energi listrik dari cahaya matahari secara langsung adalah sel surya. Energi Photovoltaic (PV) merupakan sumber tenaga listrik yang sesuai untuk berbagai penggunaan yang memerlukan listrik yang relatif terbatas. Bolehlah dikatakan, energi photovoltaic merupakan sumber tenaga listrik yang paling ekonomis untuk sistem aplikasi yang berdiri sendiri (otonomic, “stand alone application”). Apabila konsumsi tenaga listriknya yang diperlukan antara 500 watt jam sampai 1 kilowatt jam per hari. Salah satu contohnya adalah lampu penerangan untuk rumah tangga. Selain itu keandalan (reliability) sistem energi PV sangat tinggi dan memerlukan syarat yang minim.



Dengan demikian, penggunaan tenaga listrik dalam jumlah yang lebih tinggi dari 1 kilowatt, sistem PV juga merupakan pilihan yang tepat.⁹

2.2.8 Panel Surya

Panas matahari, di alam terdapat dalam jumlah cukup banyak. Akibat kinerja panas matahari, dengan keberadaan karbon dioksida, tumbuhan dapat menghasilkan karbohidrat dan oksigen, yang berguna untuk kelangsungan dan perkembangan kehidupan di muka bumi ini. Rekayasa manusia telah berhasil membuat sel – sel elektronik yang mampu mengumpulkan energi panas matahari. Hasilnya, dikenal dengan nama Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Model ini cukup potensial dikembangkan di daerah terpencil. PLTS merupakan sumber energi terbarukan yang berkelanjutan. PLTS merupakan pembangkit listrik yang ramah lingkungan, tidak pernah menghasilkan limbah dan polusi, sehingga sangat layak untuk dikembangkan. Singkat kata: energi matahari dapat diubah menjadi listrik dalam sel photovoltaic (Surya), namun untuk keperluan industri atau rumah tangga agar dapat berfungsi selama 24 jam. PLTS memerlukan baterai yang cukup besar dan dalam jumlah banyak dengan masa pakai terbatas.

Jenis Panel Surya :

⁹Sukandarrumidi, Herry Zadrak Kotta, Djoko Wintolo. Energi Terbarukan Konsep Dasar Menuju Kemandirian Energi

1. Monocrystalline

Merupakan panel surya yang paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan 24% kelemahan dari panel ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.



Gambar 2.3 Panel Surya Monocrystalline

2. Polykristal

Panel surya yang terbuat dari sel surya polykristal memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Sel surya polykristal memiliki susunan kristal yang orientasinya acak karena difabrikasi dengan proses pengecoran. Proses fabrikasinya memerlukan tenaga dan intensitas energi yang lebih kecil, yang tercermin pada harganya, penampilan panel polykristal hampir serupa dengan panel monokristal, Kadang-kadang lebih menarik karena permukaannya yang lebih berkilau, namun demikian efisiensi dan harganya lebih rendah dari panel monokristal.



Gambar 2.4 Panel Surya Polykristal

3. Semikristal

Jenis ini difabrikasi dengan proses pengecoran (casting). Sel surya semikristal memiliki struktur kristal dengan permukaan batas kristal yang sejajar dengan arah aliran listrik yang ditimbulkan pasangan.

Pada siang hari, sinar matahari yang jatuh pada panel yang surya yang dipasang di atap rumah diubah secara langsung menjadi energi listrik dan disalurkan melalui alat pengukur muatan baterai (BCR. PCB) ke baterai. Pada malam hari listrik yang tersimpan didalam baterai dialirkan melalui PCB/BCR ke alat rumah tangga yang memerlukan listrik seperti lampu, radio atau televisi. Untuk PLTS dengan panel surya berkapasitas 50 wp watt-peak (watt puncak) dengan kondisi cuaca seperti di Indonesia, energi yang diubah menjadi listrik per harinya rata-rata sama dengan energi yang diperoleh apabila panel surya bekerja bekerja pada kapasitas puncak selama empat jam.

2.2.9 Pembangkit Tenaga Hybrid (PLTH)

Pengertian Hybrid pada umumnya adalah penggunaan dua atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda. Tujuan utama dari sistem hybrid pada dasarnya adalah suatu sistem pembangkit listrik yang memadukan



beberapa jenis pembangkit listrik, pada umumnya antara pembangkit berbasis energi baru dan terbarukan.¹⁰

Sistem hybrid atau Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) merupakan salah satu alternatif sistem pembangkit yang tepat diaplikasikan pada daerah-daerah yang sukar dijangkau oleh sistem pembangkit besar seperti jaringan PLN atau PLTD, PLTH ini memanfaatkan Renewable Energy sebagai sumber utama (primer) yang dikombinasi dengan Solar Cell sebagai sumber energi cadangan (sekunder).

Pada PLTH, Renewable Energy yang digunakan ini untuk penelitian menggunakan dari energi angin, yang dikombinasikan dengan energi matahari sehingga akan menjadi suatu pembangkit yang lebih efisien, efektif dan handal untuk dapat mensuplai kebutuhan energi listrik baik sebagai penerangan rumah atau kebutuhan pendukung untuk industri kecil di daerah pantai baru. Dengan adanya kombinasi dari sumber-sumber energi tersebut, diharapkan dapat menyediakan catu daya listrik yang kontinu dengan efisiensi yang paling optimal.

2.2.10 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH)

PLTH adalah suatu sistem 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.

Merupakan solusi untuk mengatasi krisisnya berbahan fosil dan ketiadaan listrik di daerah terpencil, pulau-pulau kecil dan pada daerah perkotaan, umumnya terdiri atas : modul surya, turbin angin, baterai, dan peralatan kontrol yang reintegrasi. Tujuan PLTH ini adalah mengkombinasi keunggulan dari setiap pembangkit sekaligus menutupi kelemahan masing-masing pembangkit untuk kondisi-kondisi tertentu, sehingga secara keseluruhan sistem dapat beroperasi lebih ekonomis dan efisien. Mampu menghasilkan daya listrik secara efisien pada berbagai kondisi pembebanan.

¹⁰Ulya, Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid



Untuk mengetahui unjuk kerja sistem pembangkit hybrid 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.

2.3 Daya Listrik

Daya listrik adalah suatu kapasitas atau kemampuan melakukan energi atau usaha. Besaran dari daya adalah usaha dalam satuan waktu. Sedangkan daya listrik yaitu bagian dari besarnya beda potensial kuat arus hambatan dan waktu, daya listrik didefenisikan sebagai laju energi yang dibutuhkan. Daya listrik ini berkaitan dengan energi listrik tiap detik.³

Satuan daya listrik dalam satuan international adalah watt. Satu watt adalah besar daya ketika energi satu joule dibebaskan dalam sidang waktu detik:

$$P = \frac{W}{t} \dots\dots\dots (2.6)$$

Kapasitas dari daya listrik diberi satuan watt atau joule/detik (J/s). Satuan energi listrik sering disebut kilo watt (KW), bisa dinyatakan satu kw = 1.000 Watt, sedangkan untuk kapasitas lebih besar diberi satuan mega watt (MW) dinyatakan 1 MW =1000.000 watt. Jika dinyatakan dalam joule maka satu watt perdetik (Ws) = 1 Joule jika daya listrik tersebut dinyatakan dengan jam atau hourse (h) maka 1 Wh = 3.600 Joule. Dengan demikian penggunaan daya listrik dalam waktu tertentu dinyatakan dalam satuan joule.

$$P = \frac{V.I.t}{t} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

P = Daya listrik, dalam satuan watt

V = Tegangan Listrik dalam satuan volt

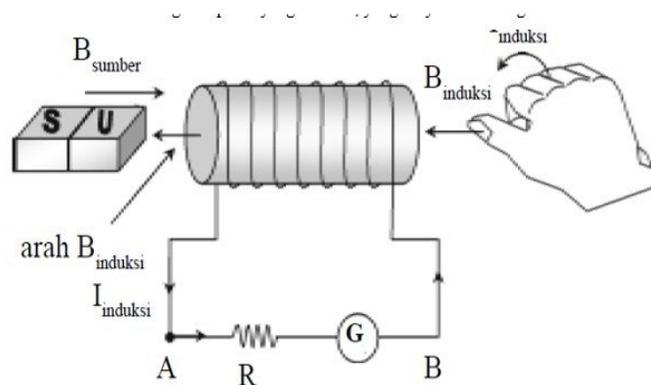
I = Arus yang mengalir, Dalam satuan ampere

³Dr.Hantje Ponto, DEA., MAP. Dasar Teknik Listrik

2.4 Generator

Generator ialah suatu mesin listrik yang digunakan untuk mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik. Tenaga mekanis digunakan untuk memutar kumparan kawat penghantar dalam medan magnet atau sebaliknya memutar magnet di antara kumparan kawat penghantar. Tenaga mekanis dapat berasal dari uap, tenaga potensial air, motor diesel, motor bensin dan lain-lain.⁶

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh generator dapat berupa arus bolak-balik (AC) maupun arus searah (DC), hal ini tergantung dari konstruksi generator dan sistem pengambilan arusnya. Oleh sebab itu ada dua macam generator yaitu generator DC dan generator AC. Kedua jenis generator sebenarnya mempunyai prinsip yang sama kecuali pada proses penyearahan arus-arusnya.



Gambar 2.5 Ilustrasi percobaan faraday

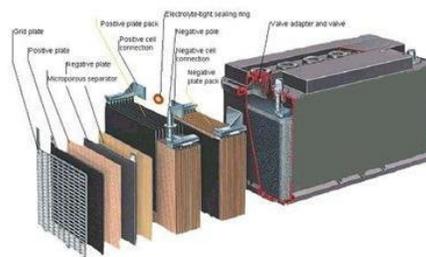
Percobaan Faraday akan dijelaskan secara ringkas. Perhatikan gambar 2.3 Ujung-ujung kumparan dihubungkan dengan sebuah galvano meter. Apabila batang magnet didorong masuk ke dalam kumparan maka jarum galvanometer akan bergerak dan kembali diam bila batang magnet diubah arah geraknya (ditarik) jarum galvanometer juga bergerak sesaat dan kembali diam seperti semula bila batang magnet dihentikan menariknya. Arah simpangan jarum penunjuk berlawanan arah antara saat magnet dimasukkan dan dikeluarkan.

⁶Irwan Iftadi. Kelistrikan Industri

2.5 Baterai

Baterai merupakan sumber arus searah yang digunakan dalam pusat listrik. Baterai harus selalu diisi melalui penyearah (*rectifier*) kutub negatif dari baterai sebaiknya ditanahkan untuk memudahkan deteksi gangguan hubung tanah pada instalasi arus searahnya. Ada 2 macam baterai yang dapat digunakan dipusat listrik, yaitu baterai asam dengan kutub timah hitam dan baterai basa yang menggunakan nikel kadmium sebagai kutub. Baterai Asam timah menggunakan PbO_2 sebagai kutub positif dan sebagai kutub negatif adalah Pb. Sedangkan sebagai elektrolit digunakan larutan asam sulfat H_2SO_4 . Baterai basa nikel kadmium menggunakan nikel hidroksida (NiOH) sebagai kutub positif dan kadmium (Cd) sebagai kutub negatif. Sedangkan sebagai elektrolit digunakan larutan potas kostik (KOH). Untuk daerah panas dengan suhu di atas $25^\circ C$, baterai asam timah hitam lebih cocok daripada baterai basa nikel kadmium.¹

Baterai untuk *solar cell* sendiri mempunyai dua tujuan penting dalam sistem fotovoltai; pertama adalah untuk memberikan daya listrik kepada sistem ketika daya tidak disediakan oleh array panel-panel surya, kedua adalah untuk menyimpan kelebihan daya yang ditimbulkan oleh panel-panel setiap kali daya itu melebihi beban.



Gambar 2.6 Baterai untuk Sel Surya

¹Djiteng Marsudi, Pembangkitan Energi Listrik



2.6 Inverter

Inverter adalah Rangkaian elektronika daya yang digunakan untuk mengkonversikan tegangan searah (DC) ke suatu tegangan bolak-balik (AC). Ada beberapa topologi inverter yang ada sekarang ini, dari yang hanya menghasilkan tegangan keluaran kotak bolak-balik (push-pull inverter) sampai yang sudah bisa menghasilkan tegangan sinus murni (tanpa harmonisa). Inverter satu fasa, tiga fasa sampai dengan multifasa dan ada juga yang namanya inverter multilevel.

Ada beberapa cara teknik kendali yang digunakan agar inverter mampu menghasilkan sinyal sinusoidal, yang paling sederhana adalah dengan cara mengatur keterlambatan sudut penyalan inverter di tiap lengannya.⁷

Dalam industri, Inverter merupakan alat atau komponen yang cukup banyak digunakan karena fungsinya untuk mengubah listrik DC menjadi AC. Meskipun secara umum kita menggunakan tegangan AC untuk tegangan masukan/ input dari Inverter tersebut. Inverter digunakan untuk mengatur kecepatan motor-motor listrik/servo motor atau bisa disebut converter drive. Cuma kalau untuk servo lebih dikenal dengan istilah servo drive. Dengan menggunakan inverter, motor listrik menjadi variable speed. Kecepatannya bisa diubah-ubah atau disetting sesuai dengan kebutuhan.

Inverter seringkali disebut sebagai Variabel Speed Drive (VSD) atau Variable Frequency Drive (VFD). Pada dunia otomatisasi industri, inverter sangat banyak digunakan. Aplikasi ini biasanya terpasang untuk proses linear (parameter yang bisa diubah-ubah). Linear nya seperti grafik sinus, atau untuk sistem axis (servo) yang membutuhkan putaran/aplikasi yang presisi.

Prinsip kerja inverter adalah mengubah input motor (listrik AC) menjadi DC dan kemudian dijadikan AC lagi dengan frekuensi yang dikehendaki sehingga motor dapat dikontrol sesuai dengan kecepatan yang diinginkan.

⁷Mujang Dwi, pengertian dasar inverter

Fungsi Inverter adalah untuk merubah kecepatan motor AC dengan cara merubah Frekuensi Outputnya:

$$F = \text{Frekuensi(Hz)}$$

$$p = \text{Jumlah Kutub}$$

Jika sebelumnya banyak menggunakan sistem mekanik, kemudian beralih ke motor slip maka saat ini banyak menggunakan semikonduktor.



Gambar 2.7 Inverter

2.7 *Charger Controller*

Solar Charge Controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. Solar charge controller mengatur overcharging (kelebihan pengisian - karena batere sudah penuh) dan kelebihan voltase dari panel surya/solar cell. Kelebihan voltase dan pengisian akan mengurangi umur baterai. Solar charge controller menerapkan teknologi Pulse width modulation (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Panel surya / solar cell 12 Volt umumnya memiliki tegangan output 16 - 21 Volt. Jadi tanpa solar charge controller, baterai akan rusak oleh over-charging dan ketidakstabilan tegangan. Baterai umumnya di-charge pada tegangan 14 - 14.7 Volt. Beberapa fungsi detail dari solar charge controller adalah sebagai berikut:

1. Mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari overcharging, dan overvoltage.



2. Mengatur arus yang dibebaskan/ diambil dari baterai agar baterai tidak full discharge, dan overloading.
3. Monitoring temperatur baterai.

Untuk membeli solar charge controller yang harus diperhatikan adalah:

1. Voltage 12 Volt DC / 24 Volt DC.
2. Kemampuan (dalam arus searah) dari controller. Misalnya 5 Ampere, 10 Ampere, dsb.
3. Full charge dan low voltage cut.

Seperti yang telah disebutkan di atas solar charge controller yang baik biasanya mempunyai kemampuan mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari panel surya / solar cell berhenti. Cara deteksi adalah melalui monitor level tegangan baterai. Solar charge controller akan mengisi baterai sampai level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan drop, maka baterai akan diisi kembali.

Solar Charge Controller biasanya terdiri dari : 1 input (2 terminal) yang terhubung dengan output panel surya / solar cell, 1 output (2 terminal) yang terhubung dengan baterai / aki dan 1 output (2 terminal) yang terhubung dengan beban (load). Arus listrik DC yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk ke panel sel surya karena biasanya ada 'diode protection' yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel surya / solar cell ke baterai, bukan sebaliknya.⁸

Charge Controller bahkan ada yang mempunyai lebih dari 1 sumber daya, yaitu bukan hanya berasal dari matahari, tapi juga bisa berasal dari tenaga angin atau pun mikrohidro. Di pasaran sudah banyak ditemui charge controller 'tandem' yaitu mempunyai 2 input yang berasal dari matahari dan angin. Untuk ini energi yang dihasilkan menjadi berlipat ganda karena angin bisa bertiup kapan saja, sehingga keterbatasan waktu yang tidak bisa disuplai energi matahari secara full, dapat disupport oleh tenaga angin. Bila kecepatan rata-rata angin terpenuhi maka daya listrik per bulannya bisa jauh lebih besar dari energi matahari.

⁸<http://www.panel Surya.com>



2.8 Beban Listrik

Beban listrik adalah segala sesuatu yang ditanggung oleh pembangkit listrik atau bisa disebut segala sesuatu yang membutuhkan tenaga/daya listrik. Dalam kehidupan sehari-hari contoh beban listrik adalah setrika listrik, lampu listrik, television, kompor listrik, dll. Beban listrik dikatakan juga sebagai hambatan/resistan (Resistance) dalam ilmu listrik dimana dapat dirumuskan pada hukum ohm.

Hukum Ohm adalah suatu pernyataan bahwa besar arus listrik yang mengalir melalui sebuah penghantar selalu berbanding lurus dengan beda potensial yang diterapkan kepadanya. Sebuah benda penghantar dikatakan mematuhi hukum ohm apabila nilai resistansinya tidak bergantung terhadap besar dan polaritas beda potensial yang dikenakan kepadanya.⁴

⁴<http://ilmu-listrik.weebly.com/beban-listrik.html>