



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Terbaru dan Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang bersumber dari alam dan secara berkesinambungan 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 diperbarukan.⁴

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.

⁴ <http://informasitips.com/apa-itu-energi-terbarukan> diakses pada tanggal 22 Juli 2019 pukul 20.03



Gambar 2.1 Panas Bumi

2.1.2 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



2.1.3 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

2.1.4 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

2.1.5 Biomassa

Tumbuhan biasanya menggunakan fotosintesis untuk menyimpan tenaga surya, udara, dan CO₂. 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.³



Gambar 2.5 Biomassa

³ https://id.m.wikipedia.org/wiki/Energi_terbarukan diakses pada tanggal 22 Juli 2019 pukul 20.05



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.²

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.¹⁶

² 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.

¹⁶ 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.⁸

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 produktifitas 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.

⁸ 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.¹¹

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.¹

¹¹ 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.

¹ 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.⁶

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,

⁶ Ikhwanul Ikhsan, Analisis Pengaruh Pembenanagan 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.



Sulawesi Selatan dan Pantai Selatan Jawa. Angin dengan kecepatan ini tergolong berskala menengah dengan potensi kapasitas 10 hingga 100 kW.

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.¹⁵

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 Indonesia¹

¹⁵ Sutarno, Sumber Daya Energi (Yogyakarta:Penerbit Graha Ilmu,2013), hlm. 151.152.

¹ 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

Sumber gambar : idbussines.blogspot.com

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 (missal: 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 angin yang dihasilkan oleh angin. Akan tetapi dalam prakteknya daya turbin yang didapat lebih kecil karena terdapat beberapa factor.¹⁷

2.4.5 Jenis Turbin Angin

2.4.5.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin angin horisontal adalah model umum yang sering kita lihat pada turbin angin. Desainnya mirip dengan kincir angin, memiliki blade yang mirip propeller dan berputar pada sumbu vertikal.

Turbin angin horisontal memiliki shaft rotor dan generator pada puncak tower dan harus diarahkan ke arah angin bertiup. Turbin-turbin kecil mengarah ke angin dengan menggunakan wind plane yang diletakkan di rotor, sementara untuk turbin yang lebih besar dilengkapi dengan sensor yang terhubung dengan motor servo yang mengarahkan blade sesuai dengan arah angin. Sebagian besar turbin yang besar memiliki gearbox yang merubah kecepatan putar rotor yang ditransfer ke generator menjadi lebih cepat.

Karena tower menghasilkan turbulensi di belakangnya maka turbin biasanya mengarah ke arah angin dari depan. Blade turbin dibuat kaku untuk mencegah terdorong ke tower oleh angin yang kencang. Disamping itu, blade ditempatkan pada jarak yang mencukupi di depan tower dan kadang melengkung kedepan.

Down wind turbine atau turbin dengan arah angin dari belakang juga dibuat, meskipun adanya masalah turbulensi, karena turbin ini tidak membutuhkan mekanisme yang mengharuskan searah dengan angin. Disamping itu dalam keadaan angin kencang blade dibolehkan untuk melengkung yang menurunkan area sapuan dan resistansi angin. Namun dikarenakan turbulensi

¹⁷ Wikipedia.2010. Turbin Angin.http://id.wikipedia.org/wiki/turbin_angin.Indonesia



dapat menyebabkan fatigue, dan keandalan sangat dibutuhkan maka sebagian besar turbin angin horisonal menggunakan jenis upwind.

Kelebihan Turbin Angin Horisontal

1. Tovernya yang tinggi memungkinkan untuk mendapatkan angin dengan kekuatan yang lebih besar. Pada beberapa area, setiap 10 meter ada kenaikan tambahan kekuatan angin 20% dan peningkatan daya 34%.
2. Efisiensi lebih tinggi, karena blades selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin, menerima daya sepanjang putaran. Sebaliknya pada turbin vertikal, melibatkan gaya timbal balik yang membutuhkan permukaan airfoil untuk mundur melawan angin sebagian bagian dari siklus . Backtracking melawan angin menyebabkan efisiensi lebih rendah.

Kekurangan Turbin Angin Horisontal

1. Dibutuhkan konstruksi tower yang besar untuk mensupport beban blade, gear box dan generator.
2. Komponen-komponen dari turbin angin horisontal (blade, gear box dan generator) harus diangkat ke posisinya pada saat pemasangan.
3. Karena tinggi, maka turbin ini bisa terlihat pada jarak yang jauh, banyak penduduk lokal yang menolak adanya pemandangan ini.
4. Membutuhkan kontrol ya sebagai mekanisme untuk mengarahkan blade ke arah angin
5. Pada umumnya membutuhkan sistem pengereman atau peralatan yaw pada angin yang kencang untuk mencegah turbin mengalami kerusakan.



Gambar 2.6 Turbin Angin Sumbu Horizontal

2.4.5.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin vertikal memiliki shaft rotor vertikal. Kegunaan utama dari penempatan rotor ini adalah turbin angin tidak perlu diarahkan ke arah angin bertiup. Hal ini sangat berguna pada daerah dimana arah angin sangat variatif atau memiliki turbulensi.

Dengan sumbu vertikal, generator dan komponen primer lainnya dapat ditempatkan dekat dengan permukaan tanah, sehingga tower tidak perlu support dan hal ini menyebabkan maintenance lebih mudah. Kekurangan utama dari turbin angin vertikal adalah menciptakan dorongan saat berputar.

Sangat sulit untuk memasang turbin angin di tower, sehingga jenis tower ini biasanya di install dekat dengan permukaan. Kecepatan angin lebih lambat pada altitude yang rendah, sehingga energi angin yang tersedia lebih rendah.

Kelebihan Turbin Vertikal :

1. Tidak diperlukan mekanisme yaw
2. Sebuah turbin angin bisa terletak dekat tanah, sehingga lebih mudah untuk menjaga bagian yang bergerak.
3. turbin vertikal memiliki kecepatan startup angin rendah dibandingkan turbin horisontal



4. turbin vertikal dapat dibangun di lokasi di mana struktur yang tinggi dilarang.

Kekurangan Turbin Vertikal:

1. Kebanyakan turbin vertikal memiliki penurunan efisiensi dibanding turbin horisontal, terutama karena hambatan tambahan yang mereka miliki sebagai pisau mereka memutar ke angin. Versi yang mengurangi drag menghasilkan lebih banyak energi, terutama yang menyalurkan angin ke daerah kolektor.
2. Memiliki rotor terletak dekat dengan tanah di mana kecepatan angin lebih rendah dan tidak mengambil keuntungan dari kecepatan angin tinggi di atas.
3. Karena tidak umum digunakan terutama karena kerugian serius yang disebutkan di atas, mereka muncul baru untuk mereka yang tidak akrab dengan industri angin. Hal ini sering membuat mereka subjek klaim liar dan penipuan investasi selama 50 tahun terakhir.⁵



Gambar 2.7 Turbin Angin Sumbu Vertikal

⁵ <http://www.satuenergi.com/2015/10/jenis-jenis-turbin-angin-serta.html>



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

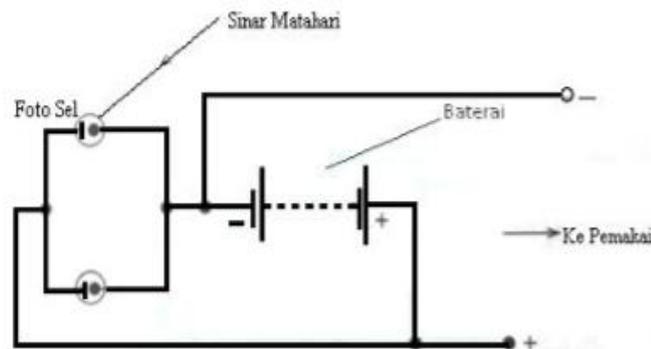
Panel Surya biasanya memiliki umur 20-25 tahun yang biasanya dalam jangka waktu tersebut pemilik panel surya tidak akan mengalami penurunan efisiensi yang signifikan. Namun, meskipun dengan kemajuan teknologi yang semakin canggih, sebagian besar panel surya komersial saat ini hanya mencapai efisiensi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



bakar fosil. Karena peralatan rumah saat ini berjalan di *alternating current* (AC), panel surya harus memiliki *power inverter* yang mengubah arus *direct current* (DC) dari sel surya menjadi *alternating current* (AC).

Posisi ideal panel surya adalah menghadap langsung ke sinar matahari (untuk memastikan efisiensi maksimum). Panel surya modern memiliki perlindungan *overheating* yang baik dalam bentuk semen konduktif termal.

Pada prinsipnya, pembangkit listrik tenaga surya terdiri dari sekelompok foto sel yang mengubah sinar matahari menjadi gaya gerak listrik (ggl) untuk mengisi baterai aki (B). Dari baterai aki (B) energi listrik dialirkan ke pemakai. Pada waktu banyak sinar matahari (siang hari), baterai aki (B) diisi oleh foto sel. Tetapi pada saat malam hari, foto sel tidak menghasilkan energi listrik, maka energi listrik diambil dari baterai aki (B) tersebut.



Gambar 2.9 Foto sel dan baterai aki (B) sebagai sumber listrik⁹

a) Teori Muatan Listrik

Muatan listrik pertama kali ditemukan oleh *Thales*, seorang ilmuwan Yunani sekitar lebih dari 2500 tahun yang lalu. Dia memperhatikan bulu ayam yang ditarik oleh batu amber yang telah digosok kain wol. Ia menciptakan kata *electricity* yang artinya listrik. Muatan listrik ada dua macam yaitu muatan listrik positif (+) atau proton, dan muatan listrik negatif (-) atau elektron. Satuan ukurannya adalah coulomb (C). Muatan listrik sejenis akan tolak menolak dan muatan listrik tidak sejenis akan tarik-menarik. Teori atom juga terkait dengan bahasan muatan listrik.

⁹ Djiteng, Marsudi.2005.*Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga. Hal 132



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.

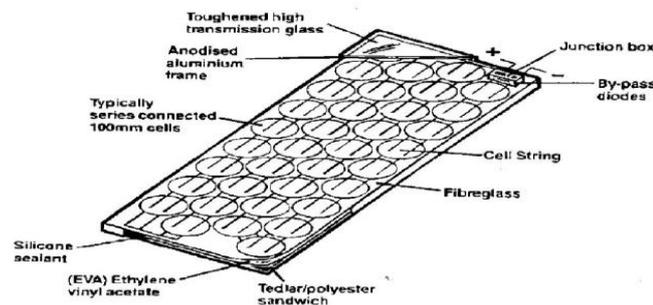
Untuk menerangkan pengertian adanya sifat kelistrikan pada suatu benda, perlu dipahami adanya konsep atom yang dimunculkan oleh para ahli di antaranya, teori atom Dalton, Thompson, Rutherford dan Bohr. Secara umum dapat dijelaskan bahwa:

- 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.



Gambar 2.10 Konfigurasi sebuah modul fotovoltaik.¹³

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:

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

Dimana:

P = Daya (Watt)

V = Tegangan(Volt)

I = Arus (Ampere)

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



➤ Efisiensi

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

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

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

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

Dimana:

η = Efisiensi (%)

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

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

I_r = Intensitas cahaya matahari (Watt/m²)

A = Luas permukaan solar cell (m²)

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.¹⁰

¹⁰ Agus, Maryadi. 2002. *Kajian Kondisi Permukaan Solar Cell Terhadap Energi listrik yang dihasilkan*. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya



d) Jenis-jenis Sel Surya

Ber macam-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%.

➤ Generasi Ketiga, EFG the Edge Defined Film Growth Ribbon

Proses ini menumbuhkan *wafer monokristal* seperti pita langsung dari cairansilikon 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%.

➤ 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 fotovoltaiik. Efisiensi sel *amorphous silicon* berkisar 6% sampai dengan 9%.¹³

¹³, Iman , Permana. 2008. *Pengenalan Teknologi Tenaga Surya*. Bandung: PPPPTK BMTI. Hal : 33-35



2. Solar Charge Controller

Solar Charge Controller pada dasarnya berfungsi untuk mengatur pengisian (*charging*) dan pemakaian (*discharging*) listrik dari panel ke baterai, agar tidak *overload*. Pada saat baterai terisi penuh, alat pengatur akan memutuskan hubungan antara modul *photovoltaic* dan baterai, sedangkan pada saat baterai kosong, alat pengatur akan memutuskan hubungan antara baterai dengan beban.



Gambar 2.11 *Solar Charge Controller*

Solar Charge Controller memiliki karakteristik yaitu:

- a) Penurunan arus pengisian dari modul *photovoltaik*, yaitu membatasi tegangan agar tidak melampaui tegangan batas atas.
- b) Membatasi DOD (*Depth of discharge*) dengan pemutus arus otomatis kerangkaian beban, ketika tegangan baterai turun dibawah tegangan batas bawah.

Untuk menentukan nilai arus *Solar Charge Controller* yang dibutuhkan diperoleh dari hasil bagi antara daya modul surya yang digunakan dibagi dengan tegangan keluaran modul surya.

$$I_{SCC} = P_{\text{module}} / V_{\text{Module}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

I_{SCC} = Kapasitas arus pada *module* (Ampere)

P_{module} = Kapasitas daya modul surya (*Watt Peak*)



$$V_{\text{Module}} = \text{Kapasitas tegangan modul surya (Volt)}^{12}$$

3. Baterai atau Aki

Baterai merupakan sumber arus searah yang digunakan dalam pusat listrik. Baterai harus selalu diisi melalui penyearah (*rectifier*). Ada dua 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 hitam 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 kostik (KOH). Untuk daerah panas dengan suhu diatas 25°C , baterai asam timah hitam lebih cocok dari pada baterai basa nikel kadmium.

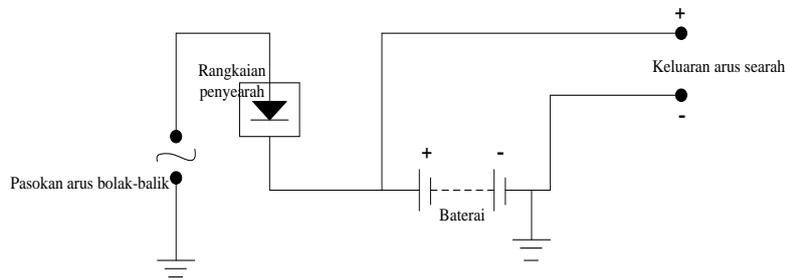


Gambar 2.12 Baterai / Aki

Pemeliharaan baterai terutama meliputi :

- a) Pemantauan tegangan
- b) Berat jenis elektrolit
- c) Ventilasi ruangan

¹² Modul No, ET-PLTS-S01-03. *Pengenalan Teknologi Tenaga Surya*. Diedit oleh Iman Permana. PPPPTK Bidang Mesin dan Teknik Industri. Edisi 1. Bandung. 2008. Hal : 40



Gambar 2.13 Rangkaian baterai atau aki⁹

Istilah akkumulator atau *accu* ini berasal dari istilah asing “*Accumularem*” yang mempunyai arti mengumpulkan atau menyimpan. Dalam garis besarnya akkumulator itu bekerja sebagai berikut :

➤ Pengisian

Akkumulator ini diberikan tenaga listrik berasal dari arus searah. Didalam akkumulator, tenaga (energi listrik) ini mengerjakan proses-proses kimia, sehingga dapat dikatakan bahwa “Tenaga listrik dari luar diubah kembali menjadi tenaga kimia didalam akkumulator dan kemudian disimpan didalamnya”.

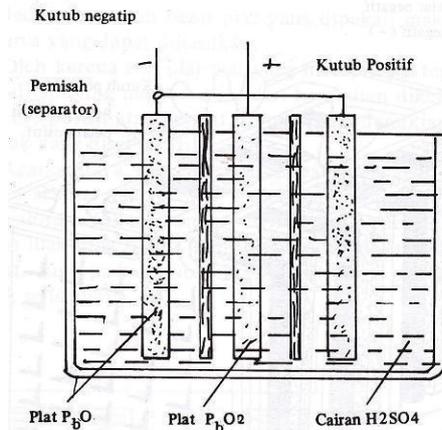
➤ Pengosongan (Pemakaian)

Kalau pada akumulator yang telah terisi dengan tenaga kimia dipasangkan suatu alat yang membutuhkan tenaga listrik maka terjadilah proses kimia didalam akkumulator yang menyebabkan “Tenaga kimia didalam akkumulator tadi diubah kembali menjadi tenaga listrik yang kemudian mengosongkan akkumulator”.

Prinsip dasar yang digunakan dalam akkumulator yaitu: prinsip polarisasi (mengutup). Polarisasi akan menyebabkan bahan kimia yang berada didalam elektrolit ini akan berubah sifatnya dan susunannya, sehingga bahan-bahan tersebut kemudian dapat membangkitkan potensial galvanis^[14]

⁹ Djiteng, Marsudi. 2005. *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga. Hal : 30

¹⁴ Suryatmo, F. 2014. *Dasar-Dasar Teknik Listrik*. Jakarta: Rineka Cipta. Hal : 43



Gambar 2.14 Susunan dan konstruksi akkumulator timah¹⁴

Gambar diatas menunjukkan suatu susunan akkumulator yang terdiri dari sebuah bak gelas atau ebonit yang didalamnya terisi oleh cairan asam belerang (H_2SO_4) sedikit-dikitnya dimasukkan 3 buah pelat yang terbuat dari *oxidaPlumbuis* (PO). Didalam susunan yang terdapat pada gambar 2.8 bahwa pelat yang berada ditengah-tengah separator itu akan menjadi pelat positif terbuat dari *Oxida Plumbuis* sedangkan untuk kutub negatifnya terbuat dari plumbum (Pb).

Perhatikan pada kutub negatif (terbuat dari Pb) ini didalam baknya disambung menjadi satu yang kemudian 2 kutub ini dikeluarkan diatas bak ebonit diaman masing-masing bekerja sebagai kutub positif dan kutub negatif. Jika terdapat lebih dari pada tiga pelat, pelat-pelat tersebut harus disusun sedemikian rupa sehingga satu pelat positif selalu diapit oleh pelat negatif. Besarnya kuat arus yang dapat dihasilkan oleh sebuah akkumulator tergantung dari luasnya pelat yang dipergunakan.

Pada akkumulator terdiri atas sel-sel yang mempunyai tegangan kira-kira 2 volt untuk masing-masing sel. Ketika pengisian dilakukan, tegangan pada ukuran 14-14,8 volt harus dipertahankan. Terdapat batas minimum dan maksimum tinggi permukaan air aki untuk masing-masing sel. Bila permukaan

¹⁴ Suryatmo, F. 2014. *Dasar-Dasar Teknik Listrik*. Jakarta: Rineka Cipta. Hal : 45



air akkumulator di bawah level minimum akan merusak fungsi sel aki. Jika air aki melebihi level maksimum, mengakibatkan air aki menjadi panas dan meluap keluar melalui tutup sel.¹⁴

- Jenis-Jenis Akkumulator

- Akkumulator Basah

Akkumulator jenis ini masih perlu diberi air akkumulator yang dikenaldengan sebutan zuur. Kelemahan akkumulator tipe basah ini yaitu tingkat penguapan cairan yang tinggi, yang dapat menyebabkan karat pada benda logam sekitar akkumulator, bahkan dapat memperpendek umur pemakaian akkumulator. Saat pengisian (*recharge*), akan keluar uap dari lubang kecil seperti jarum dipenutup cell. Dalam kondisi normal, uap yang keluar tidak terlalu besar, kecuali pada kondisi pengisian yang berlebih. Pada akkumulator yang sudah berumur, pengupan akan lebih besar.

- Akkumulator kering

Akkumulator sebenarnya adalah *maintenance free battery*. Pengertian “kering” pada istilah diatas sebetulnya agak kurang tepat karena sebetulnya aki tersebut tetap menggunakan liquid H_2SO_4 sebagai salah satu unsur utama fungsi aki yaitu sebagai media penyimpanan listrik. Keunggulan unsur Ca dalam pembuatan cell atau plat adalah mempunyai sifat penguapan air sedikit berbanding dengan yang unsurutamanya menggunakan Pb (Plumbum)/timah hitam, oleh sebab itu unsur Ca ini cocok dipakai pada maintenance free baterai.

- Cara Kerja Akkumulator

Dalam akkumulator terdapat elemen dan sel untuk penyimpan arus yang mengandung asam sulfat(H_2SO_4) tiap sel berisikan pelat positif dan pelat negatif. Pada pelat positif terkandung oksid timah coklat (PbO_2), sedangkan pelat negatif mengandung timah coklat (Pb). Pelat-pelat ditempatkan pada

¹⁴ Suryatmo, F. 2014. *Dasar-Dasar Teknik Listrik*. Jakarta: Rineka Cipta. Hal : 53



batang penghubung. Pemisah/sparator menjadi isolasi diantara pelat itu, agar baterai *acid* mudah beredar disekeliling pelat. Bila ketiga unsur kimia ini berinteraksi, muncullah arus listrik.¹⁴

- Kapasitas Baterai

Kapasitas suatu baterai menyatakan berapa lama kemampuannya untuk memberikan aliran listrik pada tegangan tertentu yang dinyatakan dalam ampere-jam (Ah), karena tidak mungkin suatu baterai dikosongkan penuh 100 %, maka perlu diperhitungkan tingkat pengosongannya, biasanya antara 50%-75%, tergantung dari jenis baterainya dan karakteristik dari baterai. Lamanya waktu pengisian baterai dan lamanya baterai tersebut bisa memback-up beban yang digunakan, dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = I \times T \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

Q = Muatan Listrik (coulomb)

I = Arus (Ampete)

T = Waktu (Hour)⁹

- Hubungan Baterai

Besar tegangan dan arus baterai dapat dihasilkan dengan melakkan dua cara menghubungkan baterai. Hubungan seri, berfungsi untuk menghasilkan jumlah tegangan yang lebih besar sesuai yang direncanakan. Hubungan paralel, berfungsi untuk memperoleh arus listrik yang besar sesuai yang direncanakan.⁹

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \dots\dots\dots (2.7)$$

¹⁴ Suyatmo, F. 2004. *Teknik Listrik Instalasi Penerangan*. Jakarta: Rineka Cipta. Hal : 45

⁹ Djiteng, Marsudi. 2005. *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga. Hal : 24

⁹ Djiteng, Marsudi. 2005. *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga. Hal : 25



4. Inverter

Inverter adalah suatu rangkaian yang mampu mengubah tegangan DC menjadi AC. Ada dua jenis inverter yang umum digunakan pada sistem tenaga listrik yaitu:



Gambar 2.15 Inverter

- a) Inverter dengan frekuensi dan tegangan keluar yang konstan CVCF (*Constant Voltage Constant frequency*).
- b) Inverter dengan frekuensi dan tegangan keluaran yang berubah-ubah. Umumnya inverter dengan frekuensi yang berubah-ubah digunakan pada pemakaian khusus seperti pemakaian pada pompa listrik 3 fasa dengan menggunakan sumber tegangan dc. Kerugian cara ini adalah bahwa sistem hanya dapat digunakan pada pemakaian khusus saja, sedangkan keuntungannya adalah kemampuan untuk menggerakkan sistem (beban) dengan sumber yang berubah-ubah seperti misalnya *photovoltaic* atau *solar cell*.

Sedangkan jenis gelombang yang dihasilkan inverter ada 3 jenis, pemilihan dari ketiga jenis gelombang ini sangat penting dalam menentukan jenis inverter dalam memenuhi kebutuhannya. Ketiga jenis gelombang itu adalah :

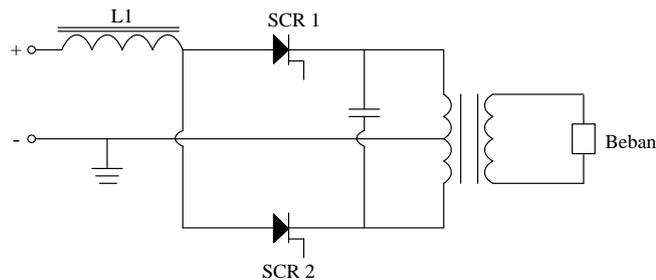
- *Sine wave* inverter, yaitu inverter yang memiliki tegangan output dengan bentuk gelombang sinus murni. Inverter jenis ini dapat memberikan supply tegangan ke beban (Induktor) atau motor listrik dengan efisiensi daya yang baik.



- *Sine wave modified* inverter, yaitu inverter dengan tegangan output berbentuk gelombang kotak yang dimodifikasi sehingga menyerupai gelombang sinus. Inverter jenis ini memiliki efisiensi daya yang rendah apabila digunakan untuk mensuplay beban induktor atau motor listrik.
- *Square wave* inverter, yaitu inverter dengan output berbentuk gelombang kotak, inverter jenis ini tidak dapat digunakan untuk mensuplai tegangan ke beban induktif atau motor listrik.

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam memilih *inverter* DC ke AC yaitu:

- Kapasitas beban yang akan di *supply* oleh inverter dalam Watt, usahakan memilih inverter yang beban kerjanya mendekati dengan beban yang hendak kita gunakan agar efisiensi kerjanya maksimal.
- Sumber tegangan *input* inverter yang akan digunakan, *input* DC 12 Volt atau 24 Volt.
- Bentuk gelombang *output* inverter, *Sinewave* ataupun *square wave* untuk tegangan *output* AC inverter. Hal ini berkaitan dengan kesesuaian dan efisiensi inverter DC ke AC tersebut.



Gambar 2.16 Rangkaian dasar inverter

2.6 Daya Pada Panel Surya

Daya listrik adalah besaran listrik yang menyatakan besarnya energi yang digunakan untuk mengaktifkan komponen atau peralatan listrik/elektronik. Intensitas cahaya menentukan besarnya daya dari energi sumber cahaya yang



sampai pada seluruh permukaan sel surya. Jika luas permukaan sel surya (A) dengan intensitas tertentu, maka daya masukan sel surya adalah :

$$P_{in} = I_r \cdot A \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana

P_{in} = daya yang diterima akibat irradiance matahari (watt)

I_r = Intensitas Cahaya (W/m^2)

A = Luas permukaan sel surya (m^2)

Besar daya keluaran sel surya (P_{out}) yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus hubungan singkat (I_{sc}), dan *fill factor* (FF) yang dihasilkan oleh sel surya dapat dihubungkan dengan rumus :

$$P_{out} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

P_{out} = Daya yang dibangkitkan oleh sel surya (watt)

V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka pada sel surya (volt)

I_{sc} = Arus hubung singkat pada sel surya (ampere)

FF = *Fill Factor* (faktor pengisi)

Faktor pengisi (*fill factor*, FF) merupakan nilai rasio tegangan dan arus pada keadaan daya maksimum dan tegangan *open circuit* (V_{oc}) dan arus *short circuit* (I_{sc})⁷

$$FF = \frac{V_{oc} - I_n (V_{oc} + 0,72)}{V_{oc} + 1} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka pada sel surya (volt)

2.7 Arus dan Tegangan

Arus dan Tegangan Atom adalah partikel terkecil penyusun materi, atom terdiri dari partikel-partikel sub-atom yang tersusun atas elektron, proton, dan neutron dalam berbagai gabungan. Elektron adalah muatan listrik negatif (-) yang

⁷ Klaus , Joger, dkk. 2014. *Solar Energy Fundamentals, Technology, and Systems*. Delf University of Technology. Hal : 102



paling mendasar. Elektron dalam cangkang terluar suatu atom disebut elektron valensi.

Apabila energi eksternal seperti energi kalor, cahaya, atau listrik diberikan pada materi, elektron valensinya akan memperoleh energi dan dapat berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi. Jika energi yang diberikan telah cukup, sebagian dari elektron-elektron valensi terluar tadi akan meninggalkan atomnya dan statusnya pun berubah menjadi elektron bebas. Gerakan elektron-elektron bebas inilah yang akan menjadi arus listrik dalam konduktor logam. Gerak atau aliran elektron disebut arus (I), dengan satuan ampere. Sebagian atom kehilangan elektron dan sebagian atom lainnya memperoleh elektron. Keadaan ini akan memungkinkan terjadinya perpindahan elektron dari satu objek ke objek lain. Apabila perpindahan ini terjadi, distribusi muatan positif dan negatif dalam setiap objek tidak sama lagi. Objek dengan jumlah elektron yang berlebih akan memiliki polaritas listrik negatif (-). Objek yang kekurangan elektron akan memiliki polaritas listrik positif (+). Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya 196 positif (+).

Besaran muatan listrik ditentukan oleh jumlah elektron dibandingkan dengan jumlah proton dalam suatu objek. Simbol untuk besaran muatan elektron ialah Q dan satuannya adalah coulomb. Besarnya muatan $1\text{ C} = 6,25 \times 10^{18}$ elektron. Kemampuan muatan listrik untuk mengerahkan suatu gaya dimungkinkan oleh keberadaan medan elektrostatik yang mengelilingi objek yang bermuatan tersebut. Suatu muatan listrik memiliki kemampuan untuk melakukan kerja akibat tarikan atau tolakan yang disebabkan oleh gaya medan elektrostatiknya.

Kemampuan melakukan kerja ini disebut potensial. Apabila satu muatan berbeda dari muatan lainnya, di antara kedua muatan ini pasti terdapat beda potensial. Satuan dasar beda potensial adalah volt (V). Karena satuan inilah beda potensial V sering disebut sebagai voltage atau tegangan. Daya listrik yang dihasilkan oleh sel surya merupakan hasil perkalian dari tegangan keluaran dengan banyaknya elektron yang mengalir atau besarnya arus, hubungan tersebut ditunjukkan pada persamaan 1.



Sedangkan nilai rata-rata daya yang dihasilkan selama titik pengujian ditunjukkan pada persamaan dibawah ini⁷

$$P = V \times I \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan:

P = Daya keluaran (Watt)

V= Tegangan keluaran (Volt)

I = Arus (Ampere)

$$\text{Prata-rata} = \frac{p_1+p_2+\dots+p_n}{n} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan:

Prata = Daya rata rata (Watt)

P₁ = Daya pada titik pengujian ke satu

P₂ = Daya pada titik pengujian ke dua

P_n = Daya pada titik pengujian ke n

⁷ Klaus , Joger, dkk. 2014. *Solar Energy Fundamentals, Technology, and Systems*. Delf University of Technology. Hal 59