

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Potensi Sumber Daya Energi di Indonesia^[1]

Indonesia merupakan negara yang kaya dengan sumber daya energi baik energi yang bersifat sumber tidak terbarukan maupun yang bersifat sumber terbarukan. Eksplorasi sumber daya energi lebih banyak difokuskan pada energi fosil yang bersifat tidak terbarukan sedangkan energi yang bersifat terbarukan relatif belum banyak dimanfaatkan.

Menipisnya sumber daya energi tidak terbarukan, maka dikembangkanlah penemuan energi yang bersumber energi terbarukan, seperti tenaga air, panas bumi, mikrohidro, biomassa, matahari, dan angin. Sumber – sumber energi terbarukan pada umumnya tersedia di berbagai lokasi, sehingga cukup baik untuk dimanfaatkan pada daerah – daerah yang masih sulit terjangkau oleh pasokan energi konvensional. Energi terbarukan menjadi solusi dari menurunnya sumber daya tidak terbarukan dikarenakan relatif mudah didapat, dapat diperoleh dengan gratis, dan tidak menghasilkan limbah.

Tabel 2.1 Potensi Energi Terbarukan di Indonesia

No.	Energi Terbarukan	Potensi		Kapasitas Pembangkit Yang Sudah Terpasang
		Nilai	Satuan	
1.	Tenaga Air	75.67	GW	420.000 MW
2.	Panas Bumi	27.00	GW	800.00 MW
3.	Micro Hydro	458.75	MW	84.00 MW
4.	Biomasa	49.81	GW	302.40 MW
5.	Matahari	4.80	KWh/m ² /hari	8.00 MW
6.	Angin	9.29	GW	0.50 MW

(Sumber : <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/Blueprint>

[PEN_tgl_10_Nop_2007.pdf](#))

^[1] Virgiawan, Resita.2017.*Perancangan sistem hybrid pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga matahari untuk penerangan lampu jalan didusun taipa desa soreang kabupaten takalar*.Universitas Hasanudin



Pengembangan pemanfaatan sumber daya energi terbarukan ini bukan berarti terbebas dari segala kendala. Kendala yang menghambat pengembangan energi terbarukan bagi produksi energi listrik, seperti biaya investasi pembangunan yang tinggi menimbulkan masalah finansial pada penyediaan modal awal dan kontinuitas penyediaan energi listrik rendah, karena sumber daya energinya sangat bergantung pada kondisi alam yang perubahannya tidak menentu. Energi terbarukan dapat dimanfaatkan pada desa – desa di daerah yang tidak terjangkau jaringan dari PLN.

2.2 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.

2.2.1 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

(Sumber : <https://www.aktual.com/esdm-tahun-2021-indonesia-menjadi-penghasil-energi-panas-bumi-terbesar-di-dunia/>)

2.2.2 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

(Sumber : <http://kuplukluntur.blogspot.com/2012/11/cara-kerja-pembangkit-listrik-tenaga-air.html>)

2.2.3 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 Energi Angin

(Sumber : <https://www.shutterstock.com/5080412-stock-footage-wind-turbines-for-aeolian-electricity.html>)

2.2.4 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 Energi Matahari

(Sumber : <http://suryautamaputra.co.id/blog/2016/03/06/pemanfaatan-energi-matahari/>)

2.2.5 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.

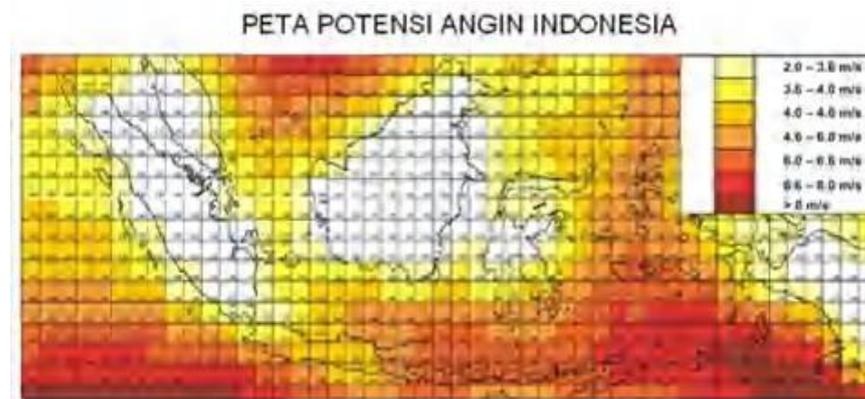


Gambar 2.5 Biomassa

(Sumber : https://www.flickr.com/photos/fotos_dos_ornelas/2149063022/)

2.3. Sumber Energi Angin^[1]

2.3.1. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)



Gambar 2.6 Peta Potensi Angin di Indonesia

(Sumber : <https://www.slideshare.net/AbdurrahmanArum/seri-panduan-investasi-ebt-indonesia-angin>)

Energi angin merupakan salah satu potensi energi terbarukan yang dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap kebutuhan energi listrik domestik, khususnya wilayah terpencil. Pembangkit energi angin yang biasa disebut pembangkit listrik tenaga angin ini bebas polusi dan sumber energinya yaitu angin tersedia di mana pun, maka pembangkit ini dapat menjawab masalah lingkungan hidup dan ketersediaan sumber energi.

Pembangkit listrik tenaga angin di Indonesia menghadapi beberapa masalah penting yang harus dipecahkan karena menghambat pengembangan dan mengurangi minat masyarakat untuk memakai energi angin ini, yaitu :

- a. Rendahnya distribusi kecepatan angin di Indonesia, daerah di Indonesia rata – rata hanya memiliki kecepatan angin pada kisaran 2,5 – 6 m/s.
- b. Besarnya fluktuasi kecepatan angin di Indonesia, yang berarti profil kecepatan angin selalu berubah secara drastis dengan interval yang cepat.

^[1] Virgiawan, Resita.2017.*Perancangan sistem hybrid pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga matahari untuk penerangan lampu jalan didusun taipa desa soreang kabupaten takalar*.Universitas Hasanudin



Peta persebaran potensi angin Indonesia diatas dapat dilihat bahwa distribusi kecepatannya relatif rendah. Rata – rata kecepatan angin yang rendah mengakibatkan generator yang dipasang harus dirancang untuk berputar secara optimal pada kecepatan angin yang rendah yang kemungkinan terjadinya paling besar. Fluktuasi kecepatan angin sering melonjak tinggi selama beberapa saat. Umumnya perancangan generator berputar secara optimal pada kecepatan angin rendah, maka generator tidak akan kuat menahan kecepatan angin yang tinggi dan akibatnya generator akan rusak.

Turbin angin yang dipasang di Indonesia biasanya tidak dirancang untuk berputar secara optimal pada kecepatan rendah yang kemungkinan terjadinya paling besar tersebut. Turbin angin yang dipasang di Indonesia dirancang untuk berputar secara optimal pada kecepatan angin yang sedikit lebih tinggi dari pada kecepatan angin yang rendah didaerah tersebut. Solusi ini menimbulkan masalah baru yaitu turbin tidak akan berputar dengan baik pada kecepatan yang sangat rendah (yaitu sering terjadi juga karena besarnya fluktuasi). Daya yang dihasilkan tidak terbangkitkan pada kecepatan rendah. Sistem turbin angin di Indonesia sering tidak menghasilkan daya (karena kecepatan sangat rendah cukup sering terjadi).

Angin selalu bertiup dari tempat dengan tekanan udara tinggi ke tempat dengan tekanan udara yang lebih rendah. Angin akan bergerak secara lengkung dari udara bertekanan tinggi ke udara bertekanan rendah jika tidak ada gaya lain yang mempengaruhi. Perputaran bumi pada sumbunya, akan menimbulkan gaya yang akan mempengaruhi arah pergerakan angin. Alat ukur untuk mengetahui besaran kecepatan angin adalah anemometer. Anemometer adalah sebuah alat pengukur kecepatan angin yang banyak dipakai dalam bidang meteorologi dan geofisika atau stasiun perkiraan cuaca. Nama alat ini berasal dari kata Yunani *anemos* yang berarti angin. Perancang pertama dari alat ini adalah Leon Battista Alberti pada tahun 1450. Anemometer ini juga dapat mengukur besarnya tekanan angin



Gambar 2.7 Alat Ukur Angin (Anemometer)

(Sumber: <https://www.thoughtco.com/history-of-the-anemometer-1991222>)

2.3.2. 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 di terapkan 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.



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 pengembangan sumber-sumber energi alternatif 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^{1[2]}.

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^[3].

2.3.3 Kecepatan Angin

Hal yang biasanya dijadikan patokan untuk mengetahui potensi angin adalah kecepatannya. Biasanya yang menjadi masalah adalah kestabilan kecepatan

[2] 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.

[3] Nursuhud, Djati dan Astu Pudjanarsa, *Mesin Konversi Energi* (Yogyakarta: Penerbit Andi, 2013). hlm. 37.



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^[4].

^[4] Ikhwanul Ikhsan, 2011. *Analisis Pengaruh Pembenanakan Terhadap Kincir Angin Tipe Propeller pada Wind Tunnel Sederhana*. Universitas Hasannudin hlm. 8. diunduh pada tanggal 16 Juli 2019 pukul 23.30.



2.3.4 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. 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^[5]. 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^[3]

Tabel 2.2 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

^[5] Sutarno.2013. *Sumber Daya Energi*. Yogyakarta: Graha Ilmu, hlm. 151.152.

^[3] Nursuhud, Djati dan Astu Pudjanarsa, *Mesin Konversi Energi* (Yogyakarta: Penerbit Andi, 2013). hlm 38.



2.3.5 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 faktor^[6].

2.3.5.1 Jenis Turbin Angin^[1]

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

^[6] Wikipedia.2010. Turbin Angin. http://id.wikipedia.org/wiki/turbin_angin.Indonesia

^[1] Virgiawan, Resita.2017. *Perancangan sistem hybrid pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga matahari untuk penerangan lampu jalan didusun taipa desa soreang kabupaten takalar*. Universitas Hasanudin. hlm 11-16

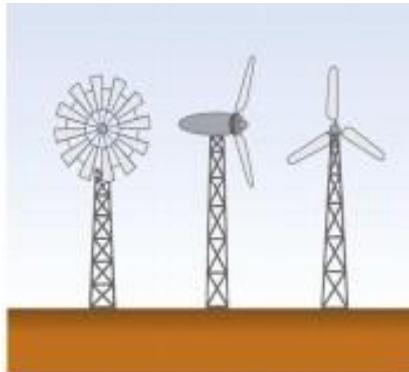


digandengkan ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah gearbox yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar. Karena sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, turbin biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara.

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 ditekuk sehingga mengurangi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resintensi angin dari bilah-bilah itu.

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di pucak 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 motor servo. Sebagian besar memiliki sebuah gearbox yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar. Sebuah menara menghasilkan turbulensi dibelakangnya, maka turbin biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara. Bilah – bilah turbin dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Bilah – bilah itu kemudian diletakkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan.

Turbulensi menyebabkan kerusakan struktur menara, dan realibilitas begitu penting, maka sebagian besar TASH merupakan mesin upwind (melawan arah angin). 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 ditekuk sehingga mengurangi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resintensi angin dari bilah – bilah itu.



Gambar 2.8 Turbin angin sumbu horizontal

(Sumber: <https://www.slideshare.net/IlhamDarmawan2/pembangkit-listrik-karakteristik-angin>)

Kelebihan turbin angin sumbu horizontal (TASH) yaitu 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. Sejumlah lokasi geseran angin setiap sepuluh meter ke atas, kecepatan angin meningkat sebesar 20%.

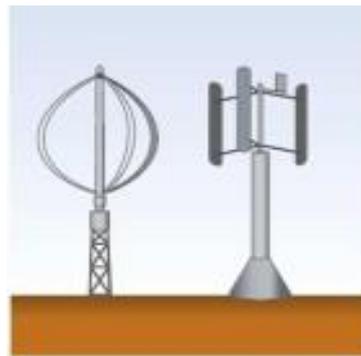
Kelemahan turbin angin sumbu horizontal (TASH):

- a. Menara yang tinggi serta bilah yang panjang sulit diangkut dan juga memerlukan biaya besar untuk pemasangannya, bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin.
- b. TASH 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. TASH yang tinggi bisa memengaruhi radar airport.
- e. Ukurannya yang tinggi merintangangi jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan landscape.
- f. Berbagai varian downwind menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi.

2. Turbin angin sumbu vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal atau memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Turbin dengan sumbu yang vertikal, generator serta gearbox bisa ditempatkan didekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Desain turbin 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. Drag 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 energy angin yang sedikit. Aliran udara didekat tanah dan objek 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. Tinggi puncak atap yang dipasangi menara turbin kira – kira 50% dari tinggi bangunan, ini merupakan titik optimal bagi energy angin yang maksimal dan turbulensi angin yang minimal.



Gambar 2.9 Turbin angin sumbu vertikal

(Sumber: <https://www.slideshare.net/IlhamDarmawan2/pembangkit-listrik-karakteristik-angin>)

Kelebihan turbin angin sumbu vertikal (TASV):

- a. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar



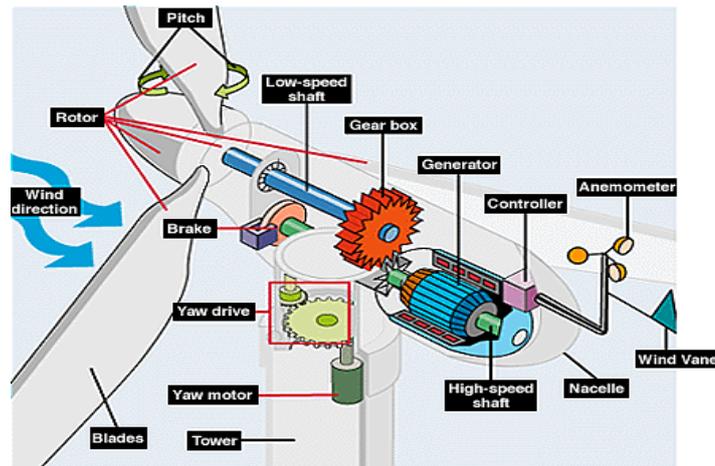
- b. Bisa diletakkan lebih dekat ke tanah, membuat pemeliharaan bagian – bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah.
- c. Memiliki sudut airfoil (bentuk bilah sebuah baling – baling yang terlihat secara melintang) yang lebih tinggi, memberikan kearodinamisan yang tinggi sembari mengurangi drag pada tekanan yang rendah dan tinggi.
- d. Desainnya berbilah lurus dengan potongan melintang berbentuk kotak atau empat persegi panjang memiliki wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu dari pada wilayah tiupan berbentuk lingkarannya turbin angin sumbu horizontal.
- e. TASV memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah dari pada TASH biasanya TASV mulai menghasilkan listrik pada 10 km/jam (6 m.p.h).
- f. 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
- g. Tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah

Kekurangan turbin angin sumbu vertikal (TASV):

- a. Kebanyakan TASV memproduksi energy hanya 50% dari efisiensi TASH karena drag tambahan yang dimilikinya saat kincir berputar.
- b. Tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi
- c. Kebanyakan TASV mempunyai torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energy untuk mulai berputar
- d. Sebuah TASV yang menggunakan kabel untuk menyanggahnya memberi tekanan pada bantalan dasar karena semua berat rotor dibebankan pada bantalan. Kabel yang di kaitkan ke puncak bantalan meningkatkan daya dorong ke bawah saat angin bertiup.

2.3.5.2 Komponen – komponen Turbin Angin^[7]

Agar turbin angin dapat bekerja dengan baik, berikut adalah komponen-komponen yang terdapat pada turbin angin, dapat dilihat pada gambar 2.7 komponen yang terdapat pada *wind turbin*.



Gambar 2.10 Komponen yang terdapat pada *Wind Turbin*

(Sumber: <http://www.getsttpln.com/2014/03/komponen-pltb.html>)

Adapun komponen-komponen yang terdapat pada turbin angin, yaitu :

- a. **Anemometer** : Mengukur kecepatan angin dan mengirimkan data kecepatan angin ke pengontrol.
- b. **Blades** : Kebanyakan turbin baik dua atau tiga pisau. Angin bertiup di atas menyebabkan pisau pisau untuk "mengangkat" dan berputar.
- c. **Brake** : Sebuah cakram rem, yang dapat diterapkan dalam mekanik, listrik, hidrolis atau untuk menghentikan rotor dalam keadaan darurat.
- d. **Controller** : pengontrol mesin mulai dengan kecepatan angin sekitar 8-16 mil per jam (mph) dan menutup mesin turbin sekitar 55 mph. tidak beroperasi pada kecepatan angin sekitar 55 mph di atas, karena dapat rusak karena angin yang kencang.
- e. **Gear box** : Gears menghubungkan poros kecepatan tinggi di poros kecepatan rendah dan meningkatkan kecepatan sekitar 30-60 rotasi per menit (rpm),

^[7] Dr.Hamdi,M.Si.*Energi Terbarukan 2016*.Rawamangun.Jakarta



sekitar 1000-1800 rpm, kecepatan rotasi yang diperlukan oleh sebagian besar generator untuk menghasilkan listrik. gearbox adalah bagian mahal (dan berat) dari turbin angin dan insinyur generator mengeksplorasi "direct-drive" yang beroperasi pada kecepatan rotasi yang lebih rendah dan tidak perlu kotak gigi.

- f. **Generator** : Biasanya standar induksi generator yang menghasilkan listrik dari 60 siklus listrik AC.
- g. **High-speed shaft** : drive generator
- h. **Low-speed shaft** : Mengubah poros rotor kecepatan rendah sekitar 30-60 rotasi per menit.
- i. **Nacelle** : nacelle berada di atas menara dan berisi gear box, poros kecepatan rendah dan tinggi, generator, kontrol, dan rem.
- j. **Pitch** : Blades yang berbalik, atau nada, dari angin untuk mengontrol kecepatan rotor dan menjaga rotor berputar dalam angin yang terlalu tinggi atau terlalu rendah untuk menghasilkan listrik.
- k. **Rotor** : pisau dan terhubung bersama-sama disebut rotor.
- l. **Tower** : Menara yang terbuat dari baja tabung (yang ditampilkan di sini), beton atau kisi baja. Karena kecepatan angin meningkat dengan tinggi, menara tinggi memungkinkan turbin untuk menangkap lebih banyak energi dan menghasilkan listrik lebih banyak.
- m. **Wind direction** : Ini adalah turbin "pertama", yang disebut karena beroperasi melawan angin. turbin lainnya dirancang untuk menjalankan "melawan arah angin," menghadap jauh dari angin.
- n. **Wind vane** : Tindakan arah angin dan berkomunikasi dengan yaw drive untuk menggerakkan turbin dengan koneksi yang benar dengan angin.
- o. **Yaw drive** : digunakan untuk menjaga rotor menghadap ke arah angin sebagai perubahan arah angin.
- p. **Yaw motor** : kekuatan drive yaw.

2.3.5.3 Cara Kerja Turbin Angin

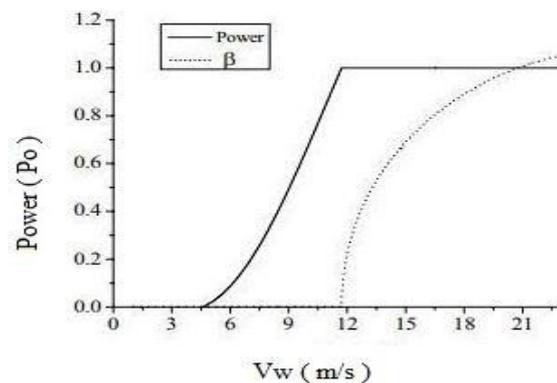
Energi angin memutar turbin angin. Kemudian angin akan memutar sudut turbin, lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator di bagian belakang turbin angin. Generator mengubah energi gerak menjadi energi listrik dengan teori medan elektromagnetik, yaitu poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetik permanen.

Setelah itu di sekeliling poros terdapat stator yang bentuk fisisnya adalah kumparan-kumparan kawat yang membentuk loop. Ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya karena terjadi perubahan fluks ini akan dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu.

Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik untuk akhirnya digunakan oleh masyarakat. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (*alternating current*) yang memiliki bentuk gelombang kurang lebih sinusoidal. Energi Listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan.

2.3.5.4 Karakteristik Turbin Angin

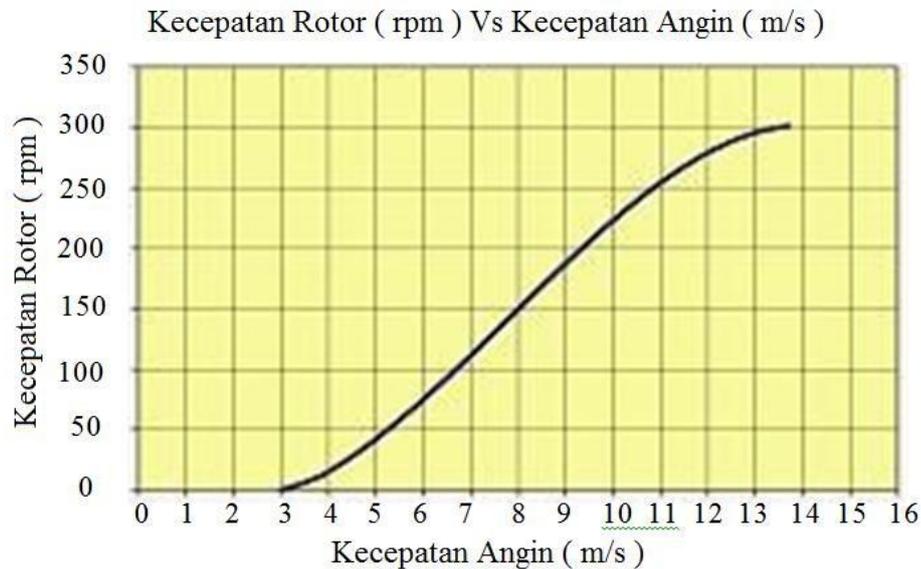
Turbin angin sebagaisalah satu alat penghasil energ memiliki beberapa karakteristik yang perlu kita ketahui diantaranya sebagai berikut.



Gambar 2.11 Hubungan Daya Output terhadap Kecepatan Angin

Dari persamaan dan kurva di atas kita bisa mengetahui bahwa semakin cepat kecepatan angin maka akan semakin besar daya yang dihasilkan, akan tetapi terjadi kejenuhan pada kecepatan angin tertentu sehingga daya tidak bertambah melainkan konstan dan sama halnya juga dengan kecepatan rotor

tergantung dari kecepatan angin untuk memutar turbin angin dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2.12 Hubungan Kecepatan Rotor terhadap Kecepatan Angin

2.3.6 Keuntungan dan Kerugian PLTB^[1]

Keuntungan pembangkit listrik tenaga angin yaitu sebagai pembangkit tenaga listrik yang cepat di dunia, penghemat listrik energy angin sebagai energy yang murah dibandingkan energy lainnya, dan dengan energy angin maka bisa menggantikan bahan bakar fosil sebagai sumber energy. Energy angin tidak akan pernah habis dipakai, dapat berkontribusi dalam ketahanan energy dunia di masa depan sumber energy yang ramah lingkungan dan bebas polusi, tidak menghasilkan gas rumah kaca dan tidak menghasilkan limbah beracun.

Kerugian pembangkit listrik tenaga angin kerugian energy angin, hal pertama adalah ketersediaan angin. Angin kencang sering ditemui di beberapa tempat membuat pemanfaatan energy angin menjadi sangat mudah, sementara di beberapa tempat angin tidak cukup kuat untuk menciptakan listrik yang memadai. Kerugian dari pembangkit listrik tenaga angin selain itu yaitu membuat bising,

^[1] Virgiawan, Resita.2017.*Perancangan sistem hybrid pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga matahari untuk penerangan lampu jalan didusun taipa desa soreang kabupaten takalar*.Universitas Hasanudin.hlm 16-17



karena pembangkit tenaga angin menggerakkan rotor yang di turbin angin yang digerakkan oleh baling turbin angin.

2.4. Pengaruh Daya yang Dibangkitkan Energi Angin pada Turbin

Energi kinetik pada turbin bisa dirumuskan :

$$E_k = 1/2 mv^2 \dots\dots\dots 2.1$$

Karena massa bisa diganti dengan kerapatan udara ρ , Luas area A, dan kecepatan v, maka bisa ditulis:

$$m = \rho Av \dots\dots\dots 2.2$$

Sehingga bila persamaan (1) dan (2) digabungkan maka:

$$P_w = 1/2 \rho Av^3 \dots\dots\dots 2.3$$

Dengan ;

P_w adalah daya angin (Watt)

ρ adalah kerapatan udara (kg/m^3) (pada 15o C dan tekanan 1 atm, $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$) ($A = (\pi/4)D^2$),

v adalah kecepatan angin (m/s)

Daya yang bisa ditangkap oleh turbin :

$$P_o = \frac{1}{2} (v^2 - v_o^2) \dots\dots\dots 2.4$$

P_o adalah daya yang bisa diekstrasi turbin/daya output turbin (Watt)

V adalah kecepatan *upstream* yang melewati turbin

V_o adalah kecepatan *downstream* yang melewati turbin

Karena kecepatannya tidak selalu tetap maka kita mengambil rata-rata dari kecepatan *upstream* dan *downstream* yaitu $\frac{1}{2}(v+v_o)$ maka persamaan (2) menjadi :

$$m = \rho A \left(\frac{v+v_o}{2} \right) \dots\dots\dots 2.5$$

Dan daya yang bisa diektraksi menjadi :

$$P_o = \frac{1}{2} \left[\rho A \left(\frac{v+v_o}{2} \right) \right] (v^2 + v_o^2) \dots\dots\dots 2.6$$

Persamaan ini menjadi :

$$P_o = \frac{1}{2} \rho A v^3 \frac{(1 + \frac{v_o}{v}) [1 - (\frac{v_o}{v})^2]}{2} \dots\dots\dots 2.7$$

$$P_o = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p \dots\dots\dots 2.8$$

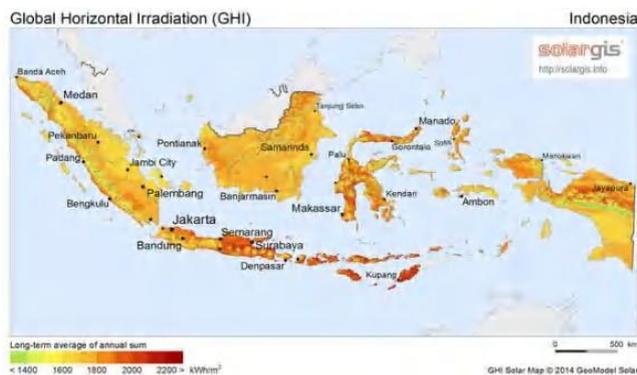
$$C_p = \frac{(1 + \frac{v_o}{v}) [1 - (\frac{v_o}{v})^2]}{2} \dots\dots\dots 2.9$$

Dengan C_p adalah koefisien daya atau efisiensi turbin.

2.5 Sumber Energi Surya^[1]

2.5.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Energy surya merupakan energy yang potensial dikembangkan di Indonesia, mengingat Indonesia merupakan negara yang terletak di daerah khatulistiwa. Energy surya yang dapat dibangkitkan untuk seluruh daratan Indonesia yang mempunyai luas 2 juta km² adalah sebesar 5,10 mW atau 4,8 kWh/m²/hari atau setara dengan 112.000 gWp yang didistribusikan.



Gambar 2.13 Intensitas Radiasi Matahari di Indonesia

(Sumber : <https://janaloka.com/potensi-energi-matahari-di-indonesia/>)

^[1] Virgiawan, Resita.2017.*Perancangan sistem hybrid pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga matahari untuk penerangan lampu jalan didusun taipa desa soreang kabupaten takalar.*Universitas Hasanudin.hlm 17-19



Pembangkit listrik tenaga Matahari adalah moda baru pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan. Pembangkit listrik tenaga Matahari adalah moda baru pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan. Panas yang ditangkap kemudian digunakan untuk menghasilkan uap panas bertekanan, yang akan dipakai untuk menjalankan turbin sehingga energi listrik dapat dihasilkan. Prinsip panel surya adalah penggunaan sel surya atau sel photovoltaic yang terbuat dari silikon untuk menangkap sinar Matahari. Sel surya sudah banyak dipakai untuk kalkulator tenaga surya. Panel surya sudah banyak dipasang di atap bangunan dan rumah di daerah perkotaan untuk mendapatkan listrik dengan gratis.

Energi surya memiliki keunggulan – keunggulan dibandingkan dengan energy fosil, diantaranya :

- a. Sumber energy yang mudah didapatkan
- b. Ramah lingkungan
- c. Sesuai untuk berbagai macam kondisi geografis
- d. Instalasi, pengoperasian dan perawatan mudah
- e. Listrik dari energy surya dapat disimpan dalam baterai.

Energi surya berupa radiasi elektromagnetik yang dipancarkan ke bumi berupa cahaya matahari yang terdiri atas foton atau partikel energi surya yang dikonversikan menjadi energi listrik. Energi surya yang sampai pada permukaan bumi disebut sebagai radiasi surya global yang diukur dengan kepadatan daya pada permukaan daerah penerima. Rata – rata nilai dari radiasi surya atmosfer bumi adalah 1353 W/m yang dinyatakan sebagai konstanta surya. Intensitas radiasi surya dipengaruhi oleh waktu siklus perputaran bumi, kondisi cuaca meliputi kualitas dan kuantitas awan, pergantian musim dan posisi garis lintang. Intensitas radiasi sinar matahari di Indonesia berlangsung 4 – 5 jam per hari.

Efisiensi pemanfaatan PLTS dibutuhkan perencanaan yang baik dan akurat yaitu, sebagai berikut:

- a. Jumlah daya yang akan dibutuhkan dalam pemakaian sehari hari (watt/hour)

- b. Jumlah panel yang harus dipasang
- c. Berapa unit baterai yang diperlukan untuk kapasitas yang diinginkan dan penggunaan tanpa sinar matahari

Besarnya biaya dalam penentuan harga sebuah solar panel didasarkan atas perhitungan harga per Watt Peak (WP), ini berlaku di pasar internasional untuk penentuan harga sebuah solar panel.

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 2.14 Panel Surya

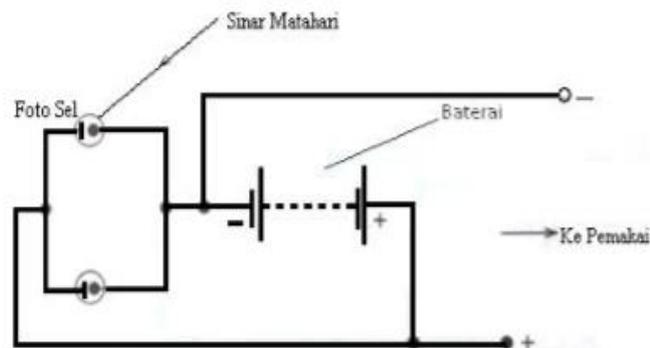
(Sumber : <https://wholesaler.alibaba.com/w/wholesale-PV+Solar+Panel.html>)

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. Dari baterai aki, energi listrik dialirkan ke pemakai. Pada waktu banyak sinar matahari (siang hari), baterai aki diisi oleh foto sel. Tetapi pada saat malam hari, foto sel tidak menghasilkan energi listrik, maka energi listrik diambil dari baterai aki tersebut^[11].



Gambar 2.15 Foto Sel dan Baterai Aki sebagai Sumber Listrik^[11]

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

^[11] Marsudi. Djiteng. 2005. *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga. Hal : 132



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.

Sifat-sifat muatan listrik antara lain :

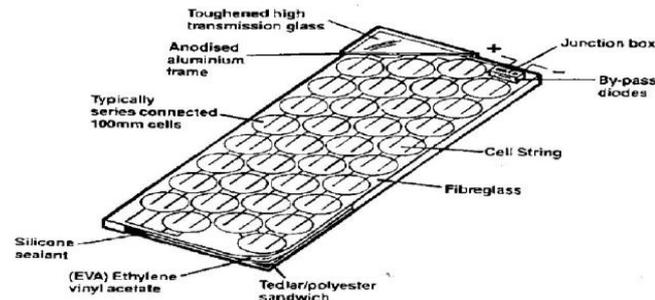
- Listrik terdiri dari dua jenis muatan yaitu muatan positif dan negatif, muatan listrik akan saling berinteraksi, muatan sejenis tolak menolak dan muatan tidak sejenis tarik-menarik.
- Untuk menerangkan pengertian adanya sifat kelistrikan pada suatu benda, perlu dipahami adanya konsep atom yang dimunculkan oleh para ahli di antaranya, teori atom Dalton, Thompson, Rutherford dan Bohr. Secara umum dapat dijelaskan bahwa:
 - o Benda terdiri atas atom-atom sejenis.
 - o Setiap atom terdiri atas sebuah inti yang dikelilingi oleh satu atau lebih elektron.
 - o Inti atom bermuatan positif, elektron bermuatan negatif.
 - o 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^[12].



Gambar 2.16 Konfigurasi Sebuah Modul Fotovoltaik

(Sumber : Permana, Iman. 2008. *Pengenalan Teknologi Tenaga Surya*. Bandung)

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:

$$P = V \times I \quad 2.10$$

Dimana:

P = Daya (Watt)

V = Tegangan(Volt)

I = Arus (Ampere)

^[12] Permana, Iman. 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:

$$\eta = \frac{P_{\text{output}}}{P_{\text{input}}} \times 100\% \quad 2.11$$

$$P_{\text{input}} = I_r \times A \quad 2.12$$

$$P_{\text{output}} = V \times I \quad 2.13$$

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:

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

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

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^[13]

d) Jenis-jenis Sel Surya

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

^[13] Maryadi, Agus. 2002. *Kajian Kondisi Permukaan Solar Cell Terhadap Energi listrik yang dihasilkan*. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya



- 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 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%

- Generasi Keempat (*Thin Film*)

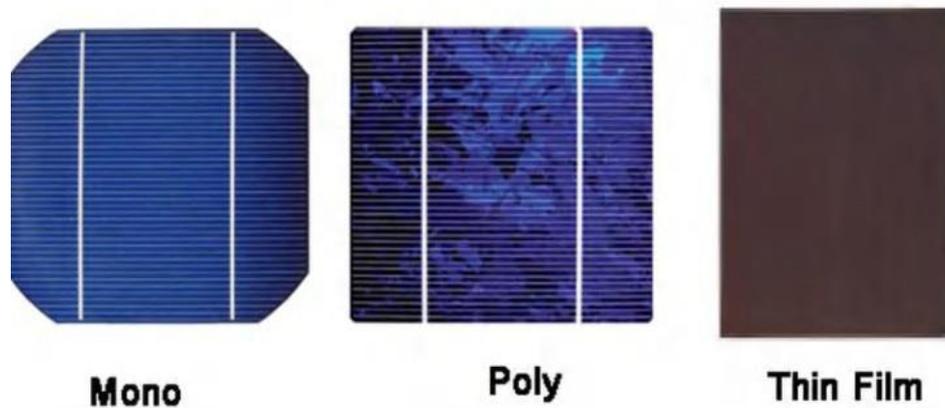
Generasi ke-empat lapisan tipis atau thin film, mempunyai ketebalan sekitar 10 mm di atas substrat kaca/*steel* (baja) atau disebut *advanced* sel fotovoltaik. Efisiensi sel *amorphous silicon* berkisar 6% sampai dengan 9%

2.5.3 Sel Surya Photovoltaik^[1]

Energy radiasi matahari diubah menjadi energy listrik dengan mempergunakan pembangkit listrik tenaga surya atau disebut juga teknologi photovoltaic yang terbuat dari bahan semi konduktor lainnya, yang disebut solar cell. Teknologi selain teknologi dari sumber energy yang tidak terbatas (cahaya matahari) juga terkenal ramah lingkungan sehingga memiliki daya guna yang tinggi. Teknologi ini membutuhkan area instalasi yang luas untuk dapat menyerap

^[1] Virgiawan, Resita.2017.*Perancangan sistem hybrid pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga matahari untuk penerangan lampu jalan didusun taipa desa soreang kabupaten takalar*.Universitas Hasanudin.hlm 19-20

sinar matahari. Daya listrik sebesar 100 mW akan membutuhkan luas tanah hingga 60 – 70 hektar.



Gambar 2.17 Jenis – jenis Sel Photovoltaic

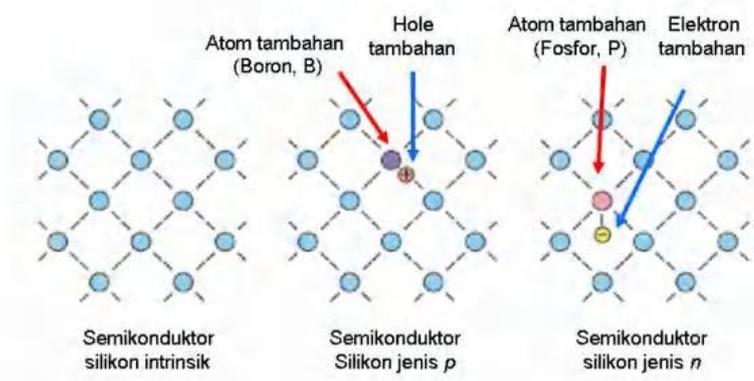
(Sumber: www.scribd.com, Agutus, 2008)

Cahaya matahari dapat diubah menjadi energy listrik melalui modul surya yang terbuat dari bahan semikonduktor. Bahan semikonduktor merupakan bahan semi logam yang memiliki partikel yang disebut electron – proton yang apabila digerakkan oleh energy dari luar akan membuat pelepasan electron sehingga menimbulkan arus listrik dan pasangan electron hole. Modul surya mampu meyerap cahaya sinar matahari yang mengandung gelombang elektromagnetik atau energy foton ini.

Energi foton pada cahaya matahari ini menghasilkan energy kinetic yang mampu melepaskan electron – electron ke pita konduksi sehingga menimbulkan arus listrik. Energi kinetic akan makin besar seiring dengan meningkatnya intensitas cahaya dari matahari. Intensitas cahaya matahari tertinggi diserap bumi di siang hari sering menghasilkan tenaga surya ang diserap bumi ada sekitar 120.000 terra Watt. Jenis logam yang digunakan juga akan menentukan kinerja dari pada sel.

2.5.3.1 Prinsip Kerja Sel Surya Photovoltaik^[1]

Sel surya konvensional bekerja menggunakan prinsip *p-n junction*, yaitu *junction* antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan – ikatan atom yang dimana terdapat electron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan electron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur atomnya. Kondisi kelebihan electron dan hole tersebut dapat terjadi dengan mendoping material dengan atom dopant. Mendapatkan material silikon tipe-p dengan cara, silikon didoping oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-n, silikon didoping oleh atom fosfor.



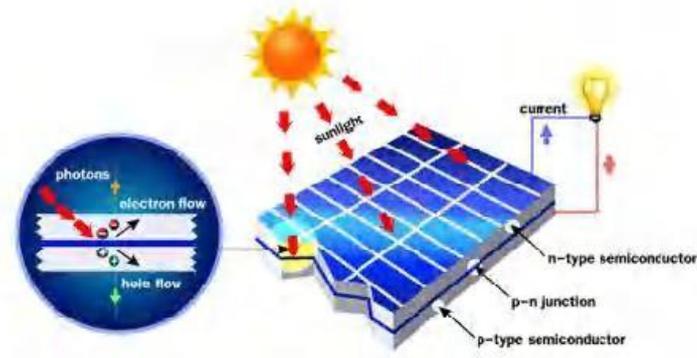
Gambar 2.18 Pendopingan Semikonduktor Tipe-p dan Tipe-n

(Sumber: Sigh, Jasprit, Mc. Graw.Hill,Inc., Singapura, 1995)

Peran dari *p-n junction* ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga electron dan hole dapat diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Semikonduktor tipe-p dan tipe-n ketika terkontak, maka kelebihan electron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-p. Aliran electron dan hole ini mengakibatkan bentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susunan *p-n junction* ini maka akan mendorong electron bergerak dari semikonduktor menuju kontak

^[1] Virgiawan, Resita.2017.*Perancangan sistem hybrid pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga matahari untuk penerangan lampu jalan didusun taipa desa soreang kabupaten takalar*.Universitas Hasanudin.hlm 23-26

38hotovol, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik dan sebaliknya hole bergerak menuju kontak positif menunggu electron 38hotov.



Gambar 2.19 Prinsip Kerja Sel Surya Photovoltaic
(Sumber: www.scribd.com, Agustus, 2008)

2.5.4 Keuntungan dan Kerugian PLTS

Kuntungan menggunakan PLTS di Indonesia adalah, sebagai berikut:

- Sumber energy tersedia sepanjang tahun dan gratis
- Bebas polusi udara
- Tidak bising
- Tidak memerlukan 38ltern transmisi yang rumit
- Tidak menyebabkan efek pemanasan global
- Dapat ditempatkan didaerah terpencil
- Umur pakainya anjang kurang lebih 20 tahun
- Perawatannya sangat mudah dan 38ltern tanpa biaya

Kerugian menggunakan PLTS di Indonesia adalah, sebagai berikut:

- Biaya/harga pengadaan (investasi) PLTS tinggi
- Biaya distribusi dan pelayanan tinggi
- Harapan konsumen melebihi kemampuan teknologi PLTS, karena cara pandang konsumen sangat dipengaruhi oleh sifat listrik konvensional (PLN)
- Pengetahuan dan kesadaran masyarakat tentang peranan PLTS dalam memberikan energy listrik 38lternative ramah lingkungan terbatas.

2.6 Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH)

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^[14]

2.6.1 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 ^[15]

^[14] 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.

^[15] Ulya, "Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid", diakses dari <https://ulydays.com//pembangkit-listrik-tenaga-hybrid/> diakses pada tanggal 16 Juli 2019 pukul 22.19.



Cara kerja Pembangkit Listrik Sistem Hybrid Surya dengan Bayu tergantung dari bentuk beban atau fluktuasi pemakaian energi (load profile) yang mana selama 24 jam distribusi beban tidak merata untuk setiap waktunya. Load profile ini sangat dipengaruhi penyediaan energinya. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka kombinasi sumber energi antara Sumber energi terbarukan dan Diesel Generator atau disebut Pembangkit Listrik Sistem Hybrid adalah salah satu solusi paling cocok untuk sistem pembangkitan yang terisolir dengan jaringan yang lebih besar seperti jaringan PLN.

Pada umumnya PLTH bekerja sesuai urutan sebagai berikut :

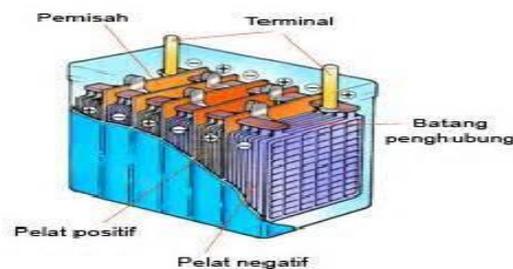
- a. Pada kondisi beban rendah, maka beban disuplai 100% dari baterai dan PV array, selama kondisi baterai masih penuh sehingga diesel tidak perlu beroperasi.
- b. Untuk beban diatas 75% beban inverter (tergantung setting parameter) atau kondisi baterai sudah kosong sampai level yang disyaratkan, diesel mulai beroperasi untuk mensuplai beban dan sebagian mengisi baterai sampai beban diesel mencapai 70- 80% kapasitasnya (tergantung setting parameter). Pada kondisi ini Hybrid Controller bekerja sebagai charger (merubah tegangan AC dari generator menjadi tegangan DC) untuk mengisi baterai.
- c. Pada kondisi beban puncak baik diesel maupun inverter akan beroperasi dua-duanya untuk menuju paralel sistem apabila kapasitas terpasang diesel tidak mampu sampai beban puncak. Jika kapasitas genset (generating set) cukup untuk mensuplai beban puncak, maka inverter tidak akan beroperasi paralel dengan genset.

2.7. Baterai

Baterai Aki atau sering disebut *accumulator*, adalah salah satu komponen utama dalam kendaraan bermotor, baik mobil atau sepeda motor. Aki dapat digunakan untuk menyimpan dan memberikan tenaga listrik. Pada proses pengisian, tenaga listrik diubah menjadi tenaga kimia, pada pembuangannya tenaga kimia yang tersimpan diubah menjadi tenaga listrik. Aki memiliki kapasitas sebuah sel

aki diukur dalam jam-Ampere (Ah), yang dimaksud dengan kapasitas adalah jumlah Ah yang dapat diberikan oleh sebuah sel yang berisi muatan sampai tegangannya turun menjadi kira-kira 1,83 V (99,1 %). Sebuah aki dengan kapasitas 100 Ah dapat memberikan arus 25 A selama 4 jam.

Terdapat 2 jenis aki yaitu aki basah dan aki kering. Aki basah merupakan jenis aki yang perlu diberi air aki yang dikenal dengan sebutan *accu zuur*. Sedangkan aki kering merupakan jenis aki yang tidak memakai cairan. Dalam aki terdapat elemen dan sel untuk penyimpanan arus yang mengandung asam sulfat (H_2SO_4). Tiap sel berisikan pelat positif dan pelat negatif. Pada pelat positif terkandung oksid timbal coklat (PbO_2), sedangkan pelat negatif mengandung timbal. Pada **Gambar 2.10** merupakan sel-sel aki.



Gambar 2.20 Sel Accu

Sumber : www.elektro.com

Aki memiliki 2 kutub/terminal, kutub positif dan kutub negatif. Biasanya kutub positif (+) lebih besar atau lebih tebal dari kutub negatif (-), untuk menghindarkan kelalaian bila aki hendak dihubungkan dengan kabel-kabelnya.