

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian yang dilakukan penulis dalam pelaksanaannya memanfaatkan tulisan-tulisan/penelitian yang berhubungan dengan judul yang diambil sebagai referensi dan bahan pertimbangan penulis dalam penyelesaian tugas akhir, dan berikut adalah beberapa hasil penelitian yang dimanfaatkan penulis :

6. Dalam penelitian yang telah dilakukan dengan judul Evaluasi dan Optimasi Sistem *Off-Grid* Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH) Bayu Baru, Bantul, D.I. Yogyakarta menyimpulkan bahwa dengan kapasitas 90kW dan dengan potensi energi matahari dan kecepatan angin yang ada, melalui perangkat lunak Homer PLTH Bayu Baru dapat menghasilkan energi listrik maksimal sebesar 100.395kWh/tahun. Kinerja turbin angin PLTH Bayu Baru melalui pengukuran secara langsung di lapangan dan perhitungan terhadap keluaran turbin angin pada PLTH Bayu Baru, pada kecepatan angin rata-rata 5.54 m/s, turbin angin 1kW/240V menghasilkan efisiensi rata-rata 32,29%, turbin angin 2kW/240V menghasilkan efisiensi rata-rata 21.68%, sedangkan kinerja panel surya PLTH Bayu Baru melalui pengukuran daya keluaran secara langsung dari terbit matahari hingga terbenamnya matahari, hasilnya untuk PV 10kW/48V mempunyai daya puncak dengan efisiensi 7.35%, PV 4kW/240V mempunyai daya puncak dengan efisiensi 5.33%. (Pradityo, 2015).
7. Dalam penelitian yang berjudul Evaluasi dan Optimasi Ukuran Komponen Penyusun Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Sistem Inovasi Daerah Pantai Baru dalam hasil simulasinya mengatakan bahwa terjadi *capacity shortage* 80%. Daya yang bisa dihasilkan PLTH Baru adalah 20% untuk memenuhi beban dengan daya PV 20491 kWh/tahun dan daya kincir 8184 kWh/tahun. Hasil optimasi dengan *net present cost* dan *cost of energi* yang rendah merupakan konfigurasi PLTH dengan daya 136610 kWh/tahun dan layak untuk menjual listrik. Kesimpulan lainnya yaitu Optimasi PLTH dengan

*capacity shortage 0%, hourly loads 0%, solar power output 0%* bisa didapatkan dengan menambahkan baterai. Kontribusi pv 98% dari daya yang dihasilkan PLTH. (Pakha, 2014).

8. Penelitian dan pengukuran dalam tulisan berjudul Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya sistem 48 V untuk Beban Warung Kuliner di Sekitar Area PLTH Pandansimo menyimpulkan bahwa efisiensi daya yang dihasilkan panel surya pada bulan Agustus 2016 berkisar antara 17.51%-31.99%. Pada persentase seperti ini daya yang dihasilkan oleh panel surya pada PLTS sistem 48 V bisa dikatakan buruk. Kesimpulan lain yang didapatkan yaitu Efisiensi daya digunakan pada beban warung kuliner pada bulan Agustus 2016 berkisar antara 35.37%-74.03%. Pada persentase seperti ini daya yang dihasilkan oleh panel surya pada PLTS sistem 48 V bisa dikatakan cukup baik. (Wijaya, 2017).
9. Menurut Ramadoni Syahputra (2017) mengenai Model Pembangkit Listrik Tenaga Angin, Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta menyatakan bahwa metode pembuatan model pengendalian DFIG pada pembangkit listrik tenaga angin menggunakan teknik neoru-fuzzy dalam perangkat lunak Matlab Simulink dengan pembangkit listrik tenaga angin berkapasitas 9 MW yang terdiri dari 6 turbin angin berkapasitas 1,5 MW. Hasil penelitian memberikan pengendalian kecepatan sehingga walaupun kecepatan angin yang menerpa angin sangat minim, tetapi putaran generator induksi sebagai pembangkit energi listrik masih dapat normal dan masih dapat menghasilkan energi listrik.

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Energi Alternatif dan Terbarukan**

Energi alternatif merupakan pengganti dari energi berbahan konvensional. Energi terbarukan ialah energi yang tidak di khawatirkan jumlahnya karena energi ini berasal dari alam yang berkelanjutan. Semakin berkurangnya bahan bakar konvensional dimasa kini tentu saja energi alternatif dan terbarukan sangatlah diperlukan. Apalagi dengan meningkatnya kebutuhan akan energi semakin

melonjak, serta berkurangnya jumlah yang bersal dari minyak maupun batubara. Oleh sebab itu, munculah berbagai alternatif sebagai substitusi dari energi minyak dan batubara tersebut. Energi alternatif meliputi energi surya, energi angin, energi air, energi panas bumi, dan energi ombak.

Dalam beberapa tahun terakhir, energi terbarukan mulai dikembangkan oleh negara-negara maju dan juga negara-negara berkembang. Dengan tujuan dapat mengurangi penggunaan energi tidak terbarukan atau bahan bakar fosil yang mana pada saat ini ketersediaannya semakin berkurang, sehingga dengan mengembangkan energi terbarukan dapat memenuhi kebutuhan energi di masa depan.

Energi fosil masih menjadi pilihan dalam kehidupan sehari-hari karena kemudahan dalam mengaksesnya. Pada 2013 konsumsi energi final dalam negeri yang paling dominan adalah penggunaan bahan bakar minyak (BBM) yang meliputi avtur, avgas, bensin, minyak tanah, minyak solar, minyak diesel, dan minyak bakar sebesar 43%, diikuti penggunaan batu bara 19%, gas 14%, dan lainnya.

Indonesia mempunyai potensi beberapa energi terbarukan yang bisa dikembangkan untuk memasok kebutuhan listrik dalam skala yang besar, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), Biofuel dan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). Namun dalam pengimplementasiannya, pembangunan dan pengembangan pembangkit-pembangkit tersebut masih mengalami kendala sehingga sampai saat ini belum bisa optimal dan berjalan sesuai harapan.

Dalam Perpres no 22 tahun 2017 di sebutkan bahwa pasokan energi primer EBT dalam bauran energi primer tahun 2025 sebesar 23,0% dan pada tahun 2050 sebesar 31,2%. Dimana porsi bauran energi primer EBT tersebut sudah sesuai dengan target energi primer EBT. Berdasarkan hasil pemodelan untuk mencapai sasaran bauran EBT dalam KEN maka kapasitas penyediaan pembangkit listrik EBT tahun 2025 harus sekitar 45,2 GW dan pada tahun 2050 sekitar 167,7 GW.

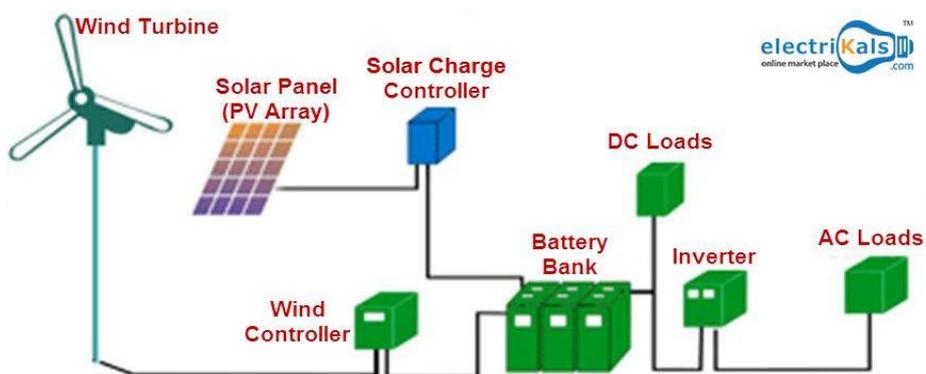
## 2.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* adalah sebuah sistem pembangkit listrik yang umumnya menggabungkan dua buah sumber energi listrik yang kemudian dijadikan menjadi satu sistem pembangkit listrik. Penggabungan dari dua buah sumber energi listrik yaitu agar kedua sumber energi dapat saling melengkapi ketika salah satu sumber tidak dapat menghasilkan listrik. Sistem PLTH ini merupakan salah satu cara untuk menyediakan energi listrik di daerah terpencil sulit dijangkau dan pengembangan jaringan listrik skala besar memerlukan biaya yang terlalu tinggi serta biaya transportasi bahan bakar diesel juga sangat tinggi.

Sistem PLTH biasanya merupakan penggabungan antara sumber energi (*Photovoltaic*) PV, turbin angin, mikro hidro dan generator. Ukuran sistem pembangkit yang dibangun bisa bervariasi disesuaikan dengan beban yang terpasang dalam sistem. Sistem PLTH dapat dibangun untuk mensuplai satu atau beberapa rumah hingga satu daerah terpencil yang tentunya biaya pembangunannya berbanding lurus dengan besar energi listrik yang dihasilkan.

### 2.2.2.1 Konfigurasi Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH)

Berikut adalah bentuk dari sistem pembangkit listrik tenaga hibrid yang merupakan penggabungan antara pembangkit listrik tenaga bayu dan angin dengan pembangkit listrik tenaga surya. Dapat dilihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Skema Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTB-PLTS).

Dari konfigurasi sistem PLTH diatas ada beberapa komponen yang digunakan dalam sistem, antara lain :

- a. *Photovoltaic Array* : komponen yang digunakan untuk mengubah energi panas matahari menjadi energi listrik. *PV array* adalah kumpulan beberapa modul PV yang dirangkai seri ataupun paralel. Jumlah dan besaran *output* tegangan dan arus disesuaikan dengan kebutuhan beban. Ada beberapa faktor yang memengaruhi kinerja *PV array* yaitu bahan pembuat PV, hambatan listrik beban, intensitas penyinaran matahari, suhu temperatur panel PV dan bayangan.
- b. *Wind Turbine* : kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. *Wind turbine* ini memanfaatkan angin untuk menggerakkan motor agar dapat berputar dan menghasilkan listrik.
- c. Generator : generator berfungsi sebagai pembangkit listrik cadangan ketika sistem PLTH antara PLST-PLTB tidak dapat menghasilkan listrik untuk memenuhi kebutuhan beban. Spesifikasi generator disesuaikan dengan kebutuhan beban untuk menghindari *low voltage*.
- d. *Photovoltaic Controller* : komponen ini digunakan untuk mengatur tegangan dari PV yang masuk ke baterai. *PV controller* bekerja dengan cara memutus tegangan masuk ke baterai agar baterai tidak mengalami *overvoltage* dan *overcharging*.
- e. *Wind Controller* : fungsi dari komponen ini ialah mencegah terjadinya kelebihan tegangan pada saat *wind turbine* sedang men-charge baterai. Pada saat baterai telah terisi penuh maka *wind controller* akan memutus aliran tegangan dari *wind turbine* ke baterai.
- f. *Diesel Controller* : komponen ini digunakan untuk mengontrol secara otomatis penggunaan bahan bakar untuk diesel yang disesuaikan dengan beban yang disuplai oleh diesel pada saat tegangan dari PLTH (PLTS-PLTB) tidak dapat memenuhi kebutuhan beban.

- g. *Battery Charger* : komponen ini merupakan salah satu komponen penting dalam sistem PLTH ini karena komponen ini berfungsi sebagai pengatur arus listrik yang masuk dari PV maupun arus listrik yang keluar ke baterai, dan juga untuk menjaga baterai agar tidak mengalami *overcharge*.
- h. *Inverter / System Controller* : Tegangan dari PLTS-PLTB merupakan tegangan searah (DC) sehingga agar bisa disalurkan dan digunakan oleh beban, tegangan tersebut harus diubah menjadi tegangan bolak-balik (AC). Alat yang digunakan adalah *inverter*, *inverter* adalah rangkaian elektronika daya yang digunakan untuk mengkonversikan tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC).
- i. *House* (beban) : beban adalah peralatan yang membutuhkan aliran listrik agar dapat digunakan untuk kebutuhan rumah tangga atau industri.

#### **2.2.2.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH)**

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 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

### 2.2.3 PLTS Fotovoltaik

Menurut I K. Agus Setiawan, dkk (2014) Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fotovoltaik atau biasa disebut PLTS Fotovoltaik merupakan sebuah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi sinar matahari sebagai sumber energinya yaitu dengan cara memanfaatkan iradiasi cahaya matahari (teknologi fotovoltaik) yang akan menghasilkan energi listrik yang kemudian akan dialirkan melalui jaringan menuju ke pengguna. PLTS Fotovoltaik memanfaatkan energi cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC yang kemudian akan diubah menjadi listrik AC apabila diperlukan.

Secara umum PLTS Fotovoltaik terdiri dari beberapa komponen utama yaitu, generator sel surya (PV generator) yang berupa susunan modul surya pada suatu sistem penyangga, *inverter* untuk mengubah arus DC menjadi arus AC, *solar charge controller* dan baterai untuk sistem penyimpanan PLTS serta sistem kontrol dan monitoring operasi PLTS.

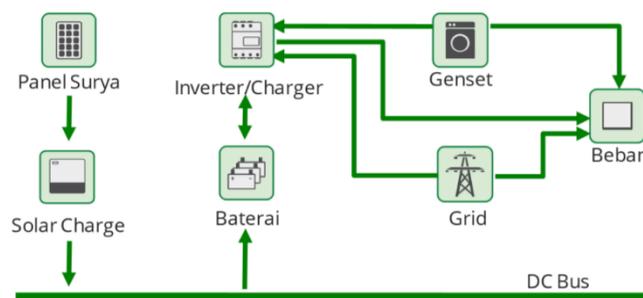
Faktor utama yang dapat mempengaruhi produksi energi listrik pada PLTS Fotovoltaik yaitu iradiasi matahari, temperatur modul surya, dan *shading* yang terjadi selama sistem beroperasi. Iradiasi matahari akan mempengaruhi arus listrik yang dihasilkan dari PLTS, temperatur modul surya akan mempengaruhi tegangan yang dihasilkan oleh PLTS, dan *shading* akan mempengaruhi iradiasi matahari yang diterima panel surya pada proses pembangkitan yang dapat mempengaruhi performa dari PLTS.

### 2.2.3.1 Konfigurasi PLTS

Menurut Ismail G. (2018) PLTS Fotovoltaik secara umum mempunyai 2 macam konfigurasi yaitu konfigurasi *DC Coupling* dan konfigurasi *AC Coupling*. Sistem PLTS Fotovoltaik ini terdiri dari dua macam sistem listrik yakni DC dan AC. Saat sistem ini menggunakan baterai maka keluaran dari panel surya akan menghasilkan dua poin koneksi. Keluaran dari panel surya tersebut dapat dihubungkan ke bagian DC ataupun bagian AC dari sistem listrik. Pengaplikasian dari kedua sistem konfigurasi ini yang akan membedakan perangkat yang akan kita gunakan

#### a. Konfigurasi *DC Coupling*

Dalam konfigurasi sistem *DC Coupling*, keluaran dari panel surya tersebut akan menuju ke *solar charge controller* dan menuju ke busbar DC yang kemudian akan mengisi baterai. Kemudian arus listrik DC akan diubah menjadi arus listrik AC dengan menggunakan *inverter/charger (bi-directional inverter)* dan siap digunakan untuk perangkat yang menggunakan arus listrik AC. Dalam konfigurasi sistem *DC Coupling*, *inverter* sangat berperan penting karena penghubung semua sumber listrik yang kemudian akan mengisi baterai karena semua proses harus melalui *inverter/charger*. Pada gambar 2.2 berikut merupakan skema konfigurasi sistem *DC Coupling*.

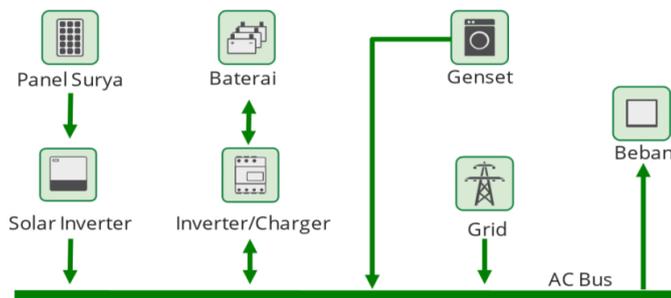


**Gambar 2.2** *DC Coupling*

sumber : hexamitra.co.id)

## b. Konfigurasi AC Coupling

Sementara itu pada konfigurasi sistem *AC Coupling*, keluaran dari panel surya tersebut akan menuju ke solar *inverter*. Hasil dari solar *inverter* sudah berbentuk arus listrik AC dan menuju ke *busbar* AC. Kemudian dari *busbar* AC listrik yang dihasilkan tadi dapat digunakan langsung untuk perangkat yang menggunakan arus listrik AC. Pada gambar 2.3 berikut merupakan skema konfigurasi sistem *AC Coupling*.



Gambar 2.3 AC Coupling

(sumber : hexamitra.co.id)

Untuk sistem yang menggunakan baterai, *inverter/charger* (*bi-directional inverter*) akan dihubungkan dengan *busbar* AC. Dalam keadaan normal maka *inverter/charger* akan mengisi baterai, sedangkan dalam keadaan membutuhkan energi yang lebih dikarenakan energi yang dihasilkan panel surya kurang, maka *inverter/charger* akan mengubah arus listrik DC dari baterai menjadi arus listrik AC sehingga dapat membantu kekurangan energi tadi. Pada sistem konfigurasi *AC Coupling* semua perangkat memiliki fungsi yang sama.

### 2.2.3.2 Sistem Off-Grid, On-Grid, dan Hybrid

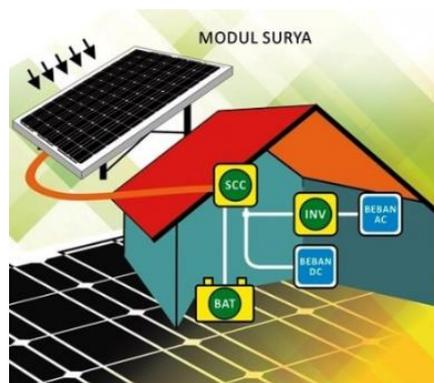
Menurut Sianipar R. (2014) secara umum tipe desain sistem PLTS terdiri 3 (tiga) macam, yaitu PLTS *Off-Grid* (sistem PLTS yang tidak terhubung dengan *grid*/berdiri sendiri, PLTS *On-Grid* (sistem PLTS yang terhubung dengan *grid*/sistem *eksisting*, dan PLTS *Hybrid* (sistem PLTS yang terhubung dengan satu

atau beberapa pembangkit listrik yang menggunakan sumber energi primer yang berbeda.

### 1) Sistem PLTS *Off-Grid*

Sistem PLTS *Off-Grid* merupakan sistem yang penyuplainya berasal dari panel surya saja tanpa ada sumber pembangkit jenis lainnya misalnya PLTD. Sistem ini hanya bergantung pada sinar matahari seutuhnya, karena panel surya tidak mungkin mendapatkan sinar matahari sepanjang hari. Sehingga sistem ini membutuhkan media penyimpanan energi yakni baterai. PLTS *Off-Grid* difokuskan untuk menyuplai daerah yang sangat terisolasi dimana sarana transportasi sangat sulit dijangkau. Maka, jika dibangun PLTD di lokasi tersebut akan timbul kesulitan dalam membawa BBM.

Dalam menentukan kapasitas dari panel surya dan baterai harus dilakukan secara akurat. Pada umumnya kapasitas dari baterai harus ditambah agar dapat mengatasi jika suatu hari tidak ada sinar matahari (berawan). Dalam perencanaan sistem ini, kapasitas PV harus menyuplai beban minimal nilai tingkat radiasinya rata-rata  $1 \text{ kW/m}^2$  dan mampu mengisi baterai dengan jumlah energi yang dibutuhkan pada periode *discharge*. Lama waktunya pengisian baterai bergantung pada lamanya penyinaran sinar matahari secara efektif atau *peak sun hour* (PSD) periode yakni sekitar 3-4 jam/hari. Dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Skema Sistem *Off-Grid*

(sumber : suryautamaputra.co.id)

## 2) Sistem PLTS *On-Grid*

Sistem PLTS *On-Grid* diprioritaskan untuk lokasi yang telah memiliki listrik dan beroperasi di siang hari. Sistem ini terhubung dengan sistem *eksisting*. Tujuan utama dari sistem PLTS *On-Grid* yaitu untuk mengurangi penggunaan BBM.

Sistem ini tidak dilengkapi dengan baterai. Agar PLTS *On-Grid* pada sistem induknya tetap stabil, maka kapasitasnya dari sistem ini dibatasi maksimum sebesar 20% dari beban pada siang hari. *Inverter* pada sistem ini memiliki kemampuan melepaskan hubungan pada saat *grid* kehilangan tegangan atau biasa disebut dengan *On Grid Inverter*. Dapat dilihat pada gambar 2.5.

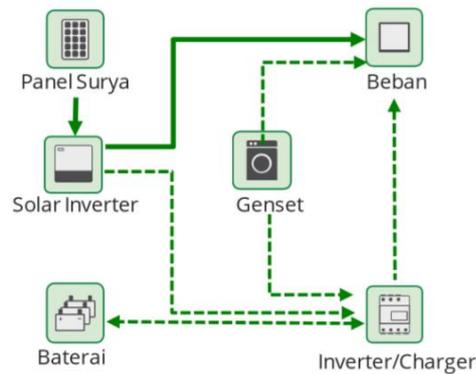


**Gambar 2.5** Skema Sistem *On-Grid*

(sumber : [suryautamaputra.co.id](http://suryautamaputra.co.id))

## 3) Sistem PLTS *Hybrid*

Sistem PLTS *Hybrid* merupakan PLTS yang pengoperasiannya terhubung dengan PLTD yang sudah ada pada lokasi tersebut. Pada sistem ini juga diharapkan mampu berkontribusi secara maksimal untuk menyuplai beban di lokasi tersebut khususnya pada siang hari. Agar sistem pada PLTS ini tidak mengalami gangguan maka PLTS ini harus dilengkapi baterai sebagai *buffer* atau *stabiliser*. Diharapkan dengan adanya baterai, PV dapat memberikan daya dan energi kepada beban selama periode siang hari (*hours of sun*). Dapat dilihat pada gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Skema Sistem *Hybrid*

(sumber : hexamitra.co.id)

Dalam menentukan kapasitas dari panel surya harus mempertimbangkan kemampuan dari panel surya untuk mengisi baterai pada saat menyuplai beban jika nilai iradiasi matahari yang dihasilkan diatas rata-rata.

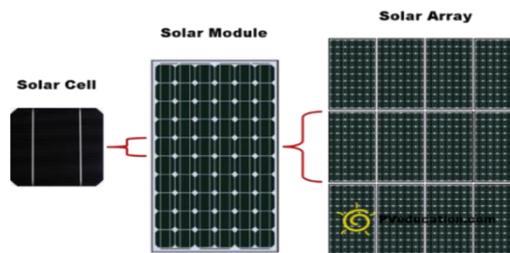
### 2.2.3.3 Komponen PLTS Fotovoltaik

#### 1) Panel Surya

Panel surya merupakan rangkaian dari beberapa sel surya yang terhubung secara seri ataupun paralel yang disusun sedemikian rupa hingga berbentuk persegi ataupun persegi panjang, dilaminasi dan dilapis dengan kaca khusus serta diberi penguat rangka atau *frame* pada keempat sisinya. Setiap panel surya dirancang sedemikian rupa sehingga mempunyai daya puncak yang spesifik. Ketika panel surya terkena pancaran sinar matahari maka secara umum satu sel surya akan menghasilkan tegangan listrik searah (DC) sebesar 0,5 sampai dengan 1 volt serta arus *short-circuit*. Besar tegangan dan arus yang dihasilkan tersebut tidak dapat diaplikasikan secara langsung maka sel surya akan disusun secara seri dan juga paralel sehingga membentuk sebuah set yang disebut panel surya.

Secara umum, panel surya terdiri dari 28 hingga 72 sel surya, yang dapat menghasilkan tegangan listrik searah (DC) sebesar 12 hingga 38 volt dalam keadaan sinar matahari standar. Sejumlah panel surya dikonfigurasi secara seri maupun paralel yang akan membentuk sistem yang disebut panel *array*.

Ada 2 (dua) jenis panel surya yang paling populer yakni tipe *monocrystalline* dan tipe *polycrystalline*. Tipe *monocrystalline* memiliki nilai efisiensi sebesar 15-20% dan tipe *polycrystalline* sebesar 13-18%. Dapat dilihat pada gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Panel Surya

(sumber : pveducation.com)

## 2) *Solar Charge Controller (SCC)*

*Solar charge controller* merupakan komponen yang berfungsi sebagai pengontrol daya dan tegangan yang akan masuk ke baterai dari panel surya. Komponen ini akan memastikan baterai tidak terisi secara berlebihan pada siang hari, dan daya tidak kembali menuju ke panel surya pada malam hari dan menguras baterai. Dapat dilihat pada gambar 2.8.



**Gambar 2.8** *Solar Charge Controller*

(sumber : solar.schneider-electric.com)

Secara umum, terdapat 2 (dua) SCC yang digunakan pada sistem panel surya, yaitu PWM (*Pulse Width Modulation*) dan MPPT (*Maximum Power Point*

*Tracking*). Tipe MPPT dianggap sebagai pengendali yang paling efisien sekarang, karena tipe MPPT bekerja pada tingkat efisiensi yang lebih tinggi daripada tipe PWM. Tipe PWM bekerja pada tingkat efisiensi 75-80% sedangkan MPPT bekerja pada tingkat efisiensi 92-95%. Berikut adalah contoh gambar *solar charge controller* merek *schneider*.

### 3) Inverter

*Inverter* merupakan komponen elektronik yang berfungsi mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak-balik (AC). *Inverter* nantinya akan mengubah arus listrik searah (DC) dari komponen seperti baterai, panel surya arus listrik bolak-balik (AC). Berikut merupakan contoh gambar inverter merek *schneider*. Dapat dilihat pada gambar 2.9.



**Gambar 2.9** *Inverter*

(sumber : [solar.schneider-electric.com](http://solar.schneider-electric.com))

### 4) Baterai

Baterai merupakan perangkat elektronik yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk kimia. Baterai terbagi menjadi dua jenis yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Pada sistem PLTS baterai yang digunakan adalah baterai jenis sekunder.

Baterai sekunder merupakan jenis baterai yang dapat diisi ulang atau *rechargeable battery*. Baterai pada PLTS memiliki fungsi untuk menyimpan kelebihan daya dari PLTS yang selanjutnya akan digunakan untuk memberikan daya listrik ke sistem ketika daya tidak disediakan oleh panel surya. Jenis baterai

sekunder yang sering dipakai untuk kapasitas yang besar seperti baterai VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) atau sering disebut SLA (*Sealed Lead Acid*) dan Li-Ion (*Lithium- Ion*) dikarenakan baterai VRLA tidak memerlukan perawatan (*maintenance free*) sedangkan baterai Li-Ion dapat menyimpan daya lebih lama dan lebih besar. Dibawah ini contoh baterai yang sering digunakan pada sistem PLTS. Dapat dilihat pada gambar 2.10.



**Gambar 2.10** Baterai

(sumber : solar.schneider-electric.com)

#### **2.2.3.4 Prinsip Kerja PLTS**

Dalam cahaya matahari terkandung energi dalam bentuk *foton*. Ketika *foton* ini mengenai permukaan sel surya, elektron-elektronnya akan tereksitasi dan menimbulkan aliran listrik. Prinsip ini dikenal sebagai prinsip *photoelectric*. Sel surya dapat tereksitasi karena terbuat dari material *semiconductor* yang mengandung unsur silikon. Silikon ini terdiri atas dua jenis lapisan sensitif. Lapisan negatif (tipe-n) dan lapisan positif (tipe-p).

#### **2.2.4 PLTB**

Pembangkit listrik tenaga bayu adalah salah satu pembangkit energi terbarukan yang memanfaatkan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan listrik. PLTB merupakan salah satu pembangkit yang potensial untuk dikembangkan di Indonesia karna sumber angin tersedia melimpah, hal itu dikarenakan Indonesia adalah negara dengan garis pantai terpanjang ke-2 di dunia dengan panjang 54.716 km.

Secara sederhana PLTB mengonversikan tenaga angin menjadi energi listrik dengan menggunakan kincir angin atau turbin angin, yaitu dengan memanfaatkan putaran turbin yang disebabkan oleh angin diteruskan ke rotor generator dimana generator ini memiliki lilitan tembaga yang berfungsi sebagai stator sehingga terjadinya Gaya Gerak Listrik (GGL). Listrik yang dihasilkan dapat disimpan ke baterai atau dimanfaatkan langsung ke beban.

PLTB akan bekerja secara efektif di daerah pesisir pantai, karena di pesisir pantai kecepatan angin lebih besar dan lebih konstan jika dibanding daerah yang letaknya jauh dari pantai. Syarat angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik yaitu memiliki batas kecepatan minimum sebesar 1.6-3.3 m/s dan batas maksimum sebesar 13.9-17.1 m/s. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional di 120 daerah di Indonesia menunjukkan bahwa rata-rata laju angin adalah 5 m/s lebih.

Peta potensi energi angin di Indonesia dalam peraturan presiden no 22 tahun 2017 dapat dilihat pada tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Peta Potensi Angin

Satuan: MW			Satuan: MW		
No.	Provinsi	Potensi	No.	Provinsi	Potensi
1	Nusa Tenggara Timur	10.188	18	Kepulauan Riau	922
2	Jawa Timur	7.907	19	Sulawesi Tengah	908
3	Jawa Barat	7.036	20	Aceh	894
4	Jawa Tengah	5.213	21	Kalimantan Tengah	681
5	Sulawesi Selatan	4.193	22	Kalimantan Barat	554
6	Maluku	3.188	23	Sulawesi Barat	514
7	Nusa Tenggara Barat	2.605	24	Maluku Utara	504
8	Bangka Belitung	1.787	25	Papua Barat	437
9	Banten	1.753	26	Sumatera Barat	428
10	Bengkulu	1.513	28	Sumatera Utara	356
11	Sulawesi Tenggara	1.414	29	Sumatera Selatan	301
12	Papua	1.411	30	Kalimantan timur	212
13	Sulawesi Utara	1.214	31	Gorontalo	137
14	Lampung	1.137	27	Kalimantan Utara	73
15	DI. Yogyakarta	1.079	32	Jambi	37
16	Bali	1.019	33	Riau	22
17	Kalimantan Selatan	1.006	34	DKI Jakarta	4
				<b>Total</b>	<b>60.647,0</b>

Sumber : Lampiran Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017

(sumber setkab.go.id)

#### **2.2.4.1 Prinsip Kerja PLTB**

Pada dasarnya PLTB memanfaatkan angin untuk memutar rotor pada generator yang ada di belakang turbin angin. Generator inilah yang kemudian mengubah energi gerak dari rotor menjadi energi listrik dengan teori medan elektromagnetik, yaitu poros pada generator dipasang dengan material *ferromagnetik* permanen. Setelah itu disekeliling 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 yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC yang memiliki bentuk gelombang kurang lebih *sinusoidal*. Energi listrik ini biasanya akan disimpan ke dalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan.

#### **2.2.4.2 Konfigurasi PLTB**

PLTB menggunakan turbin angin sebagai penggerak utama untuk menghasilkan listrik. Turbin angin berputar karena energi dari angin yang kemudian dimanfaatkan untuk mengekstrak energi kinetik angin menjadi energi listrik. Secara umum turbin angin dibagi menjadi dua, yakni menurut kapasitas terpasangnya dan menurut sumbu rotor. Menurut kapasitas terpasangnya, turbin angin dibagi menjadi tiga yaitu golongan kecil, menengah dan besar. Menurut posisi sumbu rotor terbagi dua yaitu, *Vertikal Axis Wind Turbine* (VAWT) dan *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT).

##### **a. *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT)**

Turbin angin dengan tipe ini pada dasarnya penempatan poros rotor utama dan generator listriknya pada bagian puncak menara. Turbin tipe ini dihadapkan melawan arah angin dari menara, dimana bilah turbin di desain kaku supaya dapat menahan kecepatan angin yang tinggi agar tidak terdorong ke menara.

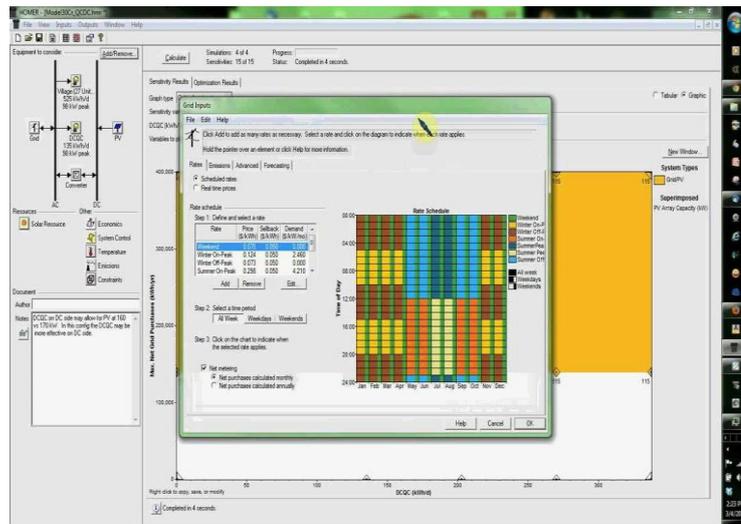
Umumnya, tipe ini menggunakan mesin *upwind* (Melawan arah angin). Namun ada juga yang menggunakan mesin *downwind* (sesuai arah angin) karena tidak membutuhkan mekanisme tambahan untuk dapat berjalan searah dengan angin.

#### **b. Vertikal Axis Wind Turbine (VAWT)**

Berbeda dengan turbin angin sumbu horizontal, turbin angin bersumbu vertikal ini tidak harus diarahkan ke angin. Karena poros atau sumbu rotor utama dari turbin ini yang desain tegak lurus, yang mana sangat berguna untuk tempat dengan arah angin yang bervariasi. Tetapi dengan pemasangan generator dan *gearbox* di dekat tanah, dapat mengakibatkan tenaga putaran yang kurang baik. Sebab turbin tipe ini menerima kecepatan angin yang pelan dengan ketinggian yang rendah.

#### **2.2.5 Hybrid Optimization Model For Electric Renewable (HOMER)**

HOMER adalah singkatan dari *Hybrid Optimization Model For Electric Renewable*. HOMER merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk membantu pemodelan dari sebuah sistem tenaga listrik dengan menggunakan berbagai pilihan sumber daya terbarukan. Dengan perangkat lunak ini, dapat diperoleh spesifikasi paling optimal dari berbagai sumber daya energi terbarukan yang mungkin bisa diterapkan. HOMER menyimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik *stand-alone* maupun *grid connected* yang dapat terdiri dari kombinasi turbin angin, *photovoltaic*, mikrohidro, biomassa, generator, microturbin, *fuel-cell*, baterai, dan penyimpanan hidrogen, melayani beban listrik maupun termal. Dengan HOMER dapat diperoleh hasil spesifikasi paling optimal dari sumber-sumber energi yang diterapkan. Dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.10 HOMER

HOMER memberikan pilihan berbagai jenis beban sesuai dengan kebutuhan pengguna. Begitu juga pada pilihan komponen yang akan kita buat. Komponen pembangkit energi yang disediakan HOMER yaitu, PV, *Wind Turbine*, *Hydro*, *Converter*, *Electrolyzer*, *Hydrogen Tank*, *Reformer*, generator dan *system battery*. Saat melakukan simulasi, HOMER menentukan semua konfigurasi sistem yang masukan, kemudian ditampilkan berurutan menurut *net presents costs* (NPC) atau yang disebut juga *life cycle costs*. NPC merupakan nilai sekarang dari semua biaya pemasangan dan pengoperasian komponen selama masa proyek, dikurangi nilai sekarang dari semua pendapatan yang dihasilkannya selama masa proyek. Jika analisa sensitivitas diperlukan, HOMER akan mengulangi proses simulasi untuk setiap variabel sensitivitas yang ditetapkan.

Pada Homer terdapat 2 bagian *Electric Load* yaitu *Electric #1* dan *Electric #2* yang dapat diatur sesuai dengan beban yang dibutuhkan dalam perancangan PLTH. Dengan 2 bagian ini sangat berpengaruh dalam perancangan PLTH, pada penelitian ini hanya mengguakan 1 *Electrical Load* sehingga harus menggabungkan 2 data beban menjadi satu dengan menggunakan perhitungan manual dengan aplikasi Excel.