

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam pelaksanaannya penelitian yang dilakukan oleh penulis memanfaatkan beberapa karya tulis hasil penelitian yang berhubungan dengan judul sehingga diambil sebagai referensi dan bahan pertimbangan penulis dalam penyusunan tugas akhir. Berikut merupakan beberapa hasil penelitian yang dimanfaatkan penulis:

1. Penelitian yang dilakukan oleh 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 enam turbin angin berkapasitas 1,5 MW. Hasil penelitian memberikan pengendalian laju, sehingga walaupun laju angin yang menerpa turbin angin sangat minim, tetapi putaran generator induksi sebagai pembangkit energi listrik masih dapat bekerja normal dan masih dapat menghasilkan energi listrik.
2. Penelitian dan pengukuran dalam tulisan berjudul Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya sistem 48 V untuk Beban Warung Kuliner di Sekitar Area PLTH Pandansimo yang dilakukan oleh Wijaya (2017). Bahwa efisiensi daya yang dihasilkan panel surya pada bulan Agustus 2016 berkisar antara 17.51% hingga 31.99%. Pada persentase ini daya yang dihasilkan oleh panel surya pada PLTS sistem 48 V bisa dikatakan buruk. Temuan lain yang didapatkan yaitu efisiensi daya digunakan pada beban warung kuliner pada bulan Agustus 2016 berkisar antara 35.37% hingga 74.03%. Pada persentase seperti ini daya yang dihasilkan oleh panel surya pada PLTS sistem 48 V bisa dikatakan cukup baik.
3. Penelitian yang dilakukan oleh Dwi Ariodarma (2016) mengenai Analisis Potensi PLTH (Surya dan Angin) Untuk Penyediaan Energi Listrik di Pulau Ketapang, Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas

Muhammadiyah Yogyakarta. Dalam penelitian tersebut menjelaskan tentang analisa potensi sumber daya angin dan sumber daya matahari yang ada di Pulau Ketapang sebagai PLTH. Peneliti menggunakan simulasi perangkat lunak *HOMER* sebagai media analisis dan perancangan PLTH. Dalam penelitiannya konfigurasi terbaik adalah tidak menggunakan turbin angin sebab potensi tenaga bayu yang ada masih tergolong kecil sehingga hanya menggunakan sistem PLTS dengan fotovoltaik 30 kW, 120 unit baterai *S6CS25P*, dan *converter* 30 kW.

4. Penelitian yang telah dilakukan oleh Pradityo dkk (2015) dengan judul Evaluasi dan Optimasi Sistem *Off-Grid* Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH) Bayu Baru, Bantul, D.I. Yogyakarta, 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 1 kW / 240 V menghasilkan efisiensi rata-rata 32,29%, turbin angin 2 kW / 240 V 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, hasil untuk fotovoltaik 10 kW / 48 V mempunyai daya puncak dengan efisiensi 7.35%, fotovoltaik 4 kW / 240 V mempunyai daya puncak dengan efisiensi 5.33%. Disimpulkan bahwa dengan kapasitas 90 kW dan dengan potensi penyinaran matahari serta laju angin yang ada melalui perangkat lunak *HOMER*. PLTH Bayu Baru dapat menghasilkan energi listrik maksimal sejumlah 100.395 kWh/tahun.
5. Penelitian lain yang telah dilakukan oleh Pakha (2014) yang berjudul Evaluasi dan Optimasi Ukuran Komponen Penyusun Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Sistem Inovasi Daerah Pantai Baru dalam simulasinya mengatakan bahwa terjadi *capacity shortage* 80%. Daya yang dapat dihasilkan PLTH Baru adalah 20% untuk memenuhi beban dengan daya fotovoltaik 20.491 kWh/tahun dan daya turbin angin 8.184 kWh/tahun. Hasil optimasi dengan *Net Present Cost* (*NPC*) dan *Cost Of Energy* (*COE*) yang rendah merupakan konfigurasi PLTH dengan daya 136.610 kWh/tahun dan layak untuk menjual listrik. Kesimpulan

lainnya adalah optimasi PLTH dengan *capacity shortage* 0%, *hourly loads* 0%, *solar power output* 0% dapat dilakukan dengan menambahkan jumlah baterai. Kontribusi fotovoltaik sejumlah 98% dari daya yang dihasilkan PLTH.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Energi Alternatif dan Terbarukan

Penggunaan energi berbahan konvensional sudah mulai tergantikan oleh energi alternatif. Energi alternatif dan terbarukan tidak dikhawatirkan jumlahnya karena energi ini berasal dari alam yang berkelanjutan. Berkurangnya sumber bahan bakar konvensional pada saat ini tentu memaksa kita untuk dapat mengolah energi alternatif dan terbarukan. Hal ini di dukung dengan meningkatnya kebutuhan akan energi yang semakin melonjak, sedangkan jumlah energi yang bersal dari minyak bumi dan batubara semakin berkurang. Oleh sebab itu, munculah berbagai energi alternatif sebagai substitusi dari minyak dan batubara di antaranya meliputi tenaga bayu, tenaga surya, tenaga air, tenaga panas bumi, dan tenaga ombak.

Dalam kurun waktu beberapa tahun terakhir, mulai dilakukan pemngembangan terhadap energi terbarukan oleh negara-negara maju dan juga negara-negara berkembang. Dengan harapan 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.

Akan tetapi penggunaan energi fosil masih merupakan pilihan utama dalam kehidupan sehari-hari karena kemudahan dalam mengaksesnya. Penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM) yang meliputi avtur, avgas, bensin, minyak tanah, minyak solar sejumlah 43%, diikuti penggunaan batubara sejumlah 19%, gas sejumlah 14%, dan lainnya masih menjadi dominan hingga tahun 2013.

Pada dasarnya Indonesia mempunyai berbagai potensi 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 dapat optimal dan berjalan sesuai harapan.

Pasokan energi primer Energi Baru Terbarukan (EBT) dalam Peraturan Presiden nomor 22 tahun 2017 disebutkan bauran energi primer tahun 2025 sejumlah 23,0% dan pada tahun 2050 sejumlah 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 Kebijakan Energi Nasional (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 Pengaruh Angin dan Matahari

Pada dasarnya angin terjadi akibat dari perbedaan tekanan udara ataupun suhu udara pada suatu daerah. Proses ini berhubungan langsung dengan besarnya energi panas matahari yang diterima oleh permukaan bumi. Daerah yang menerima energi panas matahari lebih besar memiliki suhu lebih panas serta tekanan dari udaranya lebih rendah.

2.2.2.1 Angin Muson

Angin Muson merupakan angin yang setiap setengah tahunnya akan berganti arah secara berlawanan. Di Indonesia pada enam bulan akan bertiup angin darat yang kering (musim kemarau) dan pada enam bulan berikutnya bertiup angin laut yang basah (musim penghujan). Pada bulan April–Oktober tekanan udara minimum akan terjadi di benua Asia, sedangkan di Afrika Selatan dan Australia mengalami tekanan udara yang maksimum. Di Indonesia sendiri, angin ini merupakan angin musim tenggara atau timur yang tidak membawa hujan, karena tidak melewati lautan yang luas. Namun, untuk daerah bagian selatan yaitu Pulau Seram dan Pantai Timur Sulawesi Selatan pada saat itu turun hujan. Hanya saja persebarannya tidak merata di setiap wilayah. Di mana semakin ke timur curah hujan kian berkurang, karena kadar uap airnya semakin sedikit. Angin musim ini diberi nama Angin Muson Barat.

Matahari pada bulan Oktober–April terdapat di belahan bumi selatan, menyebabkan tekanan udara di Afrika Selatan dan Australia minimum, sedangkan di Asia mengalami tekanan udara maksimum. Angin bertiup dari Asia ke Afrika Selatan dan Australia. Angin itu adalah angin yang banyak membawa uap air dari Samudera Pasifik, sehingga kawasan Indonesia saat itu turun hujan. Karena tidak melewati lautan yang luas jadi angin ini tidak banyak mengandung uap air. Oleh karena itu pada umumnya di Indonesia terjadi musim kemarau, kecuali Pantai barat Sumatra, Sulawesi Tenggara, dan Pantai Selatan Papua. Angin musim ini diberi nama Angin Muson Timur. Di antara dua musim di atas terdapat musim pancaroba yang merupakan peralihan antara dua musim di mana kondisi laju angin dan arah angin akan tidak beraturan serta bila panas akan terasa menyengat.

2.2.2.2 Angin Darat dan Angin Laut

Di dalam kehidupan sehari-hari, angin darat dan angin laut adalah jenis angin yang sering kali dirasakan, di mana angin darat berhembus dari daratan menuju laut, sedangkan angin laut bertiup dari laut menuju darat. Oleh sebab itu, ketika malam hari, daratan lebih cepat dingin dari pada laut. Oleh karena suhu di daratan pada malam hari lebih rendah, menyebabkan tekanan udara di dataran tinggi (maksimum), sedangkan tekanan udara di lautan rendah.

Saat malam hari bertiuplah angin dari darat menuju lautan. Itulah yang dinamakan angin darat. Angin darat dimanfaatkan para nelayan tradisional untuk pergi melaut pada saat malam hari. Pada siang hari, daratan lebih cepat menerima panas dan lautan relatif lebih lambat. Hal tersebut menyebabkan daratan merupakan pusat tekanan rendah (minimum) dan lautan merupakan pusat tekanan tinggi (maksimum). Oleh sebab itulah, saat siang hari berhembuslah angin dari laut menuju darat. Itulah yang dinamakan angin laut.

2.2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH)

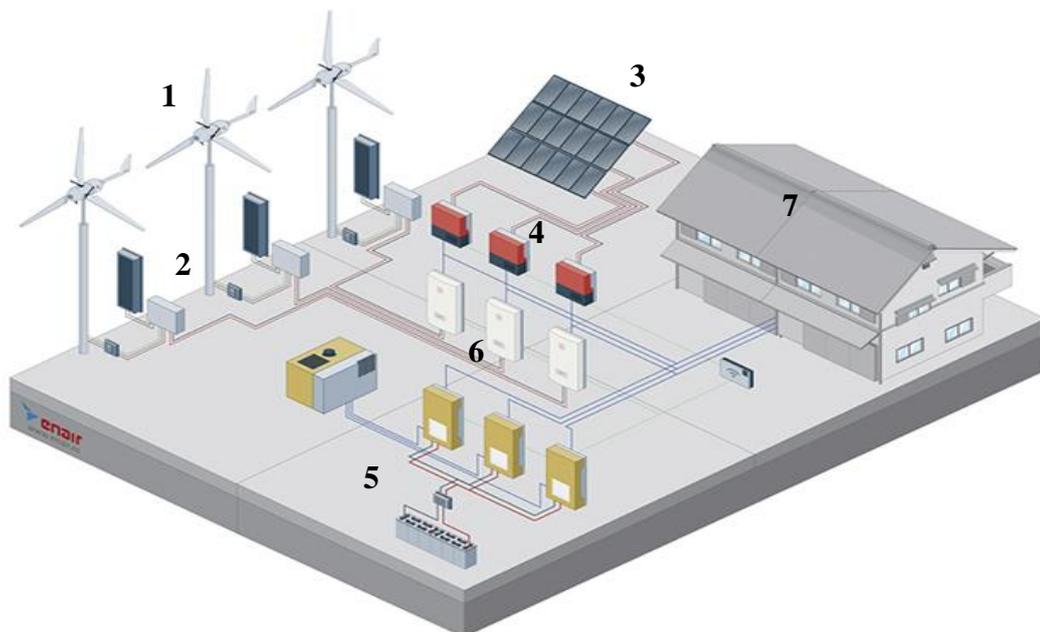
Sistem pembangkit energi listrik yang menggabungkan dua atau lebih sumber energi listrik dan kemudian di kombinasikan menjadi satu sistem pembangkit listrik disebut Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida. Penggabungan dari

berbagai sumber energi listrik dilakukan agar kedua sumber energi dapat saling melengkapi ketika salah satu sumber tidak dapat menghasilkan energi 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 minyak yang juga sangat tinggi.

Pada umumnya sistem PLTH menggabungkan antara sumber energi *photovoltaic (PV)*, turbin angin, mikrohidro dan generator. Ukuran sistem pembangkit yang dibangun dapat bervariasi menyesuaikan 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.

2.2.3.1 Konfigurasi PLTH

Sistem pembangkit listrik tenaga hibrida merupakan penggabungan antara pembangkit listrik tenaga bayu dengan pembangkit listrik tenaga surya. Konfigurasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH) dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH)

(Sumber: <https://www.enair.es>)

Dari konfigurasi sistem PLTH pada gambar 2.1 terdapat beberapa komponen yang digunakan dalam sistem, antara lain:

1. *Wind Turbine*

Komponen ini digunakan untuk menghasilkan energi listrik. *Wind turbine* memanfaatkan laju angin untuk menggerakkan generator agar dapat berputar dan menghasilkan energi listrik.

2. *Wind Controller*

Fungsi dari komponen ini adalah mencegah terjadinya kelebihan tegangan listrik pada saat *wind turbine* sedang melakukan pengisian daya ke *battery bank*. Pada saat *battery bank* telah terisi penuh maka *wind controller* akan memutus aliran arus listrik dari *wind turbine* ke *battery bank*.

3. *Photovoltaic Array (PV Array)*

Komponen yang digunakan untuk mengubah tenaga surya menjadi energi listrik. *PV array* adalah kumpulan beberapa modul *PV* yang dirangkai seri ataupun paralel. Besarnya nilai *output* tegangan dan arus disesuaikan dengan kebutuhan beban. Ada beberapa faktor yang memengaruhi kinerja *PV array* yaitu bahan pembuatan *PV*, hambatan listrik beban, intensitas penyinaran matahari, suhu temperatur panel *PV* dan bayangan.

4. *Solar Charge Controller*

Komponen ini digunakan untuk mengatur tegangan listrik dari *PV array* yang masuk ke *battery bank*. *Solar charge controller* bekerja dengan cara memutus arus listrik yang masuk ke *battery bank* agar tidak terjadi *overvoltage* dan *overcharging*.

5. *Battery Bank*

Merupakan komponen penting dalam sebuah sistem PLTH. *Battery bank* berfungsi sebagai media penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh *wind turbine* dan *PV array*.

6. *Inverter*

Tegangan listrik yang umumnya dihasilkan pengendali PLTB dan PLTS adalah tegangan arus searah sehingga agar dapat disalurkan dan digunakan oleh beban rumah tangga tegangan listrik tersebut harus diubah menjadi tegangan listrik arus

bolak-balik. Alat yang digunakan untuk mengkonversikan tegangan listrik arus searah menjadi tegangan listrik arus bolak-balik adalah *inverter*.

7. *Loads*

Loads adalah peralatan yang membutuhkan aliran listrik agar dapat digunakan untuk kebutuhan rumah tangga atau industri. Pada umumnya *loads* dapat berupa tegangan arus searah maupun tegangan arus bolak-balik.

2.2.3.2 Prinsip Kerja PLTH

Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (tenaga bayu dan tenaga surya) pada dasarnya bekerja tergantung dari kondisi alam atau keadaan cuaca dalam 24 jam sebab potensi energi yang dihasilkan tidak merata setiap waktu, kondisi ini merupakan ketentuan alam yang tidak dapat diatur sesuai kehendak manusia. Dengan arsitektur dan konfigurasi yang tepat, Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida dapat menjadi solusi sebagai sistem pembangkitan mandiri yang lebih ekonomis. Pada umumnya PLTH dapat bekerja berdampingan atau bergantian sesuai dengan kondisi yang dialami sebagai berikut:

1. Pada kondisi siang hari dengan keadaan cuaca cerah dan berangin, maka energi listrik untuk baterai disuplai dari panel surya dan turbin angin.
2. Pada kondisi malam hari ataupun cuaca mendung, sumber energi listrik untuk baterai disuplai secara mandiri oleh turbin angin.
3. Sumber energi listrik untuk beban umum disuplai langsung oleh *inverter* dari media penyimpanan energi yaitu baterai.

2.2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Agus Setiawan, dkk (2014) PLTS Fotovoltaik merupakan suatu pembangkit listrik yang menghasilkan energi listrik dengan cara memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energi melalui cara iradiasi sinar matahari (teknologi fotovoltaik). PLTS Fotovoltaik menghasilkan energi listrik dengan tegangan listrik arus searah kemudian diubah menjadi tegangan listrik arus bolak-balik untuk dilairkan menuju pengguna.

Pada dasarnya PLTS Fotovoltaik terdiri dari beberapa komponen utama yaitu, generator sel surya (*photovoltaic generator*) yang berupa susunan modul surya pada suatu sistem penyangga, *inverter* untuk mengubah tegangan listrik arus searah menjadi tegangan listrik arus bolak-balik, *battery bank* dan *solar charge controller* untuk sistem penyimpanan dan pengisian energi listrik.

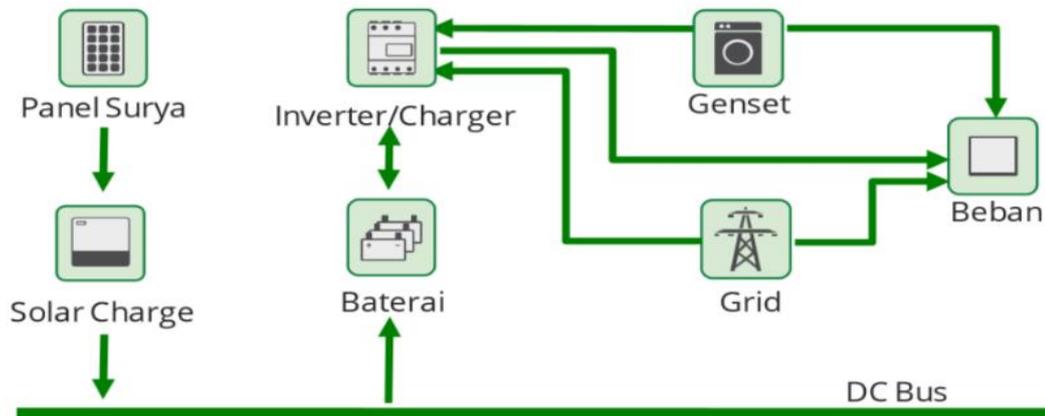
Nilai radiasi matahari, temperatur modul surya, dan *shading* yang terjadi selama sistem beroperasi merupakan faktor utama yang dapat mempengaruhi produksi energi listrik pada PLTS Fotovoltaik. Radiasi matahari akan mempengaruhi arus listrik yang dihasilkan dari panel surya, temperatur modul surya akan mempengaruhi tegangan yang dihasilkan oleh panel surya, dan *shading* akan mempengaruhi radiasi matahari yang diterima panel surya selama proses pembangkitan yang dapat mempengaruhi performa dari panel surya.

2.2.4.1 Konfigurasi PLTS

Menurut Ismail G. (2018) PLTS Fotovoltaik secara umum mempunyai dua macam konfigurasi yaitu konfigurasi *Direct Current (DC) Coupling* dan konfigurasi *Alternating Current (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 *point* 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.

1. Konfigurasi *DC Coupling*

Pada 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 ini *inverter* sangat berperan penting karena sebagai penghubung semua sumber listrik yang akan mengisi baterai. Skema sistem *DC Coupling* dapat dilihat pada gambar 2.2.

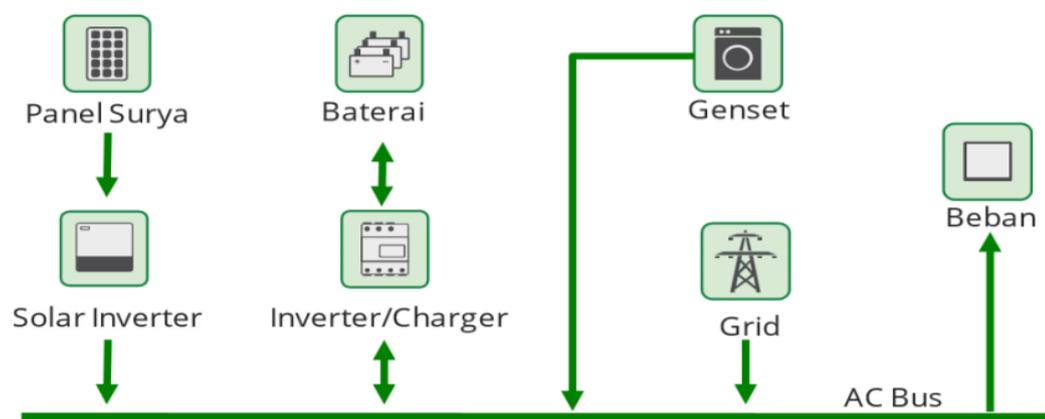


Gambar 2.2 DC Coupling

(Sumber: <https://www.hexamitra.co.id>)

2. Konfigurasi AC Coupling

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. Skema sistem *AC Coupling* dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 AC Coupling

(Sumber: <https://www.hexamitra.co.id>)

Pada gambar 2.3 dapat dilihat bahwa sistem yang terpasang menggunakan baterai, *inverter/charger (bi-directional inverter)* akan dihubungkan dengan *busbar AC*. Dalam keadaan normal maka *inverter/charger* akan mengisi baterai, sedangkan

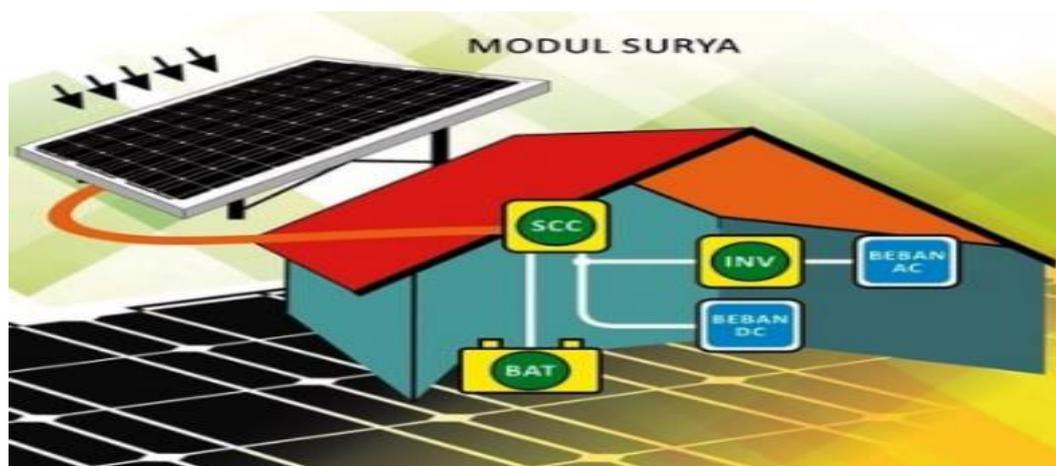
dalam keadaan beroperasi maka membutuhkan energi yang lebih dikarenakan energi yang dihasilkan panel surya kurang, maka *inverter/charger* akan mengubah arus listrik *DC* dari baterai menjadi arus listrik *AC* sehingga dapat membantu kekurangan energi tadi. Pada sistem konfigurasi *AC Coupling* semua perangkat memiliki fungsi yang sama.

2.2.4.2 Sistem *Off-Grid*, *On-Grid*, dan *Hybrid*

Menurut Sianipar R. (2014) PLTS pada umumnya dibedakan 3 macam berdasarkan sistem yang digunakan, yaitu PLTS *Off-Grid* (sistem PLTS yang tidak terhubung dengan *grid* atau berdiri sendiri), PLTS *On-Grid* (sistem PLTS yang terhubung dengan *grid* atau 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 sumber energinya berasal dari panel surya saja tanpa ada sumber pembangkit jenis lainnya. Sistem ini membutuhkan media penyimpanan energi berupa baterai, hal tersebut dikarenakan sistem ini hanya bergantung pada sinar matahari seutuhnya, sebab panel surya tidak mungkin mendapatkan sinar matahari sepanjang hari. Skema Sistem *off-grid* dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Skema Sistem *Off-Grid*

(Sumber: <https://www.suryautamaputra.co.id>)

Penentuan kapasitas dari panel surya dan baterai harus dilakukan secara akurat. Umumnya kapasitas dari baterai harus ditambah agar dapat mengatasi jika suatu hari tidak ada sinar matahari (berawan). Dalam perencanaan sistem ini, kapasitas *PV* harus mampu menyuplai beban minimal dengan nilai tingkat radiasinya rata-rata 1 kW/m^2 dan mampu mengisi baterai dengan jumlah energi yang dibutuhkan pada periode *discharge*. Lamanya waktu pengisian baterai bergantung pada lamanya waktu penyinaran matahari secara efektif atau *Peak Sun Hour (PSD)* dengan periode yakni sekitar tiga jam hingga empat jam per hari.

2. Sistem PLTS *On-Grid*

Sistem PLTS *On-Grid* pada dasarnya merupakan sistem yang penyuplainya berasal dari panel surya dan jaringan listrik yang sudah ada pada lokasi tersebut misalnya PLN. Sistem ini tidak hanya bergantung pada sinar matahari seutuhnya karena pasokan energi listrik juga bersumber dari jaringan listrik lain. Skema sistem *on-grid* dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema Sistem *On-Grid*

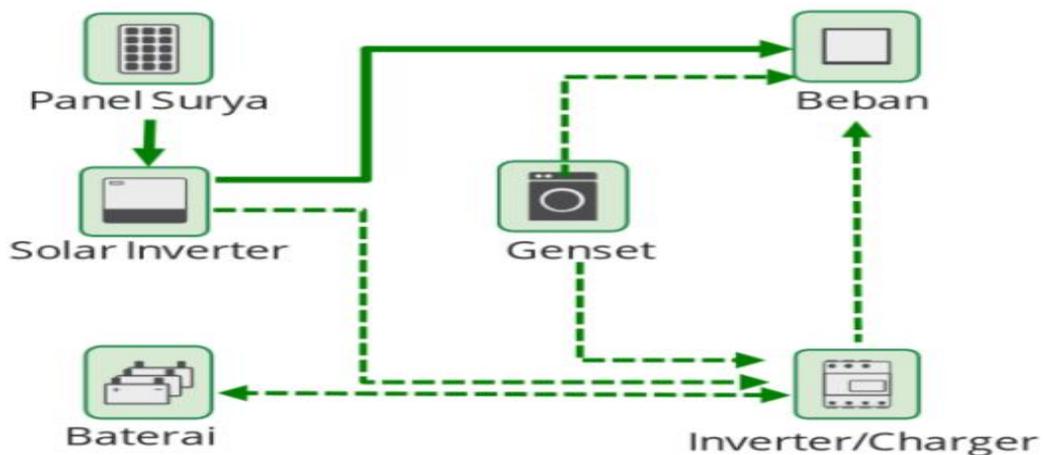
(Sumber: <https://www.suryautamaputra.co.id>)

Sistem PLTS *On-Grid* umumnya diprioritaskan untuk beroperasi pada siang hari dan dipasang pada lokasi yang telah memiliki listrik. Sistem ini terhubung dengan sistem eksisting. Sistem ini tidak dilengkapi dengan baterai. Agar PLTS *On-Grid* pada sistem induknya tetap stabil, maka kapasitasnya dari sistem ini dibatasi maksimum sejumlah 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*.

3. Sistem PLTS *Hybrid*

Sistem PLTS *Hybrid* merupakan PLTS yang pengoperasiannya terhubung dengan pembangkit listrik lain yang sudah ada pada lokasi tersebut. Pada sistem ini diharapkan PLTS 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 *stabilizer*.

Diharapkan dengan adanya baterai, fotovoltaik dapat memberikan daya dan energi kepada beban selama periode siang hari (*hours of sun*). 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. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Skema Sistem *Hybrid*

(Sumber: <https://www.hexamitra.co.id>)

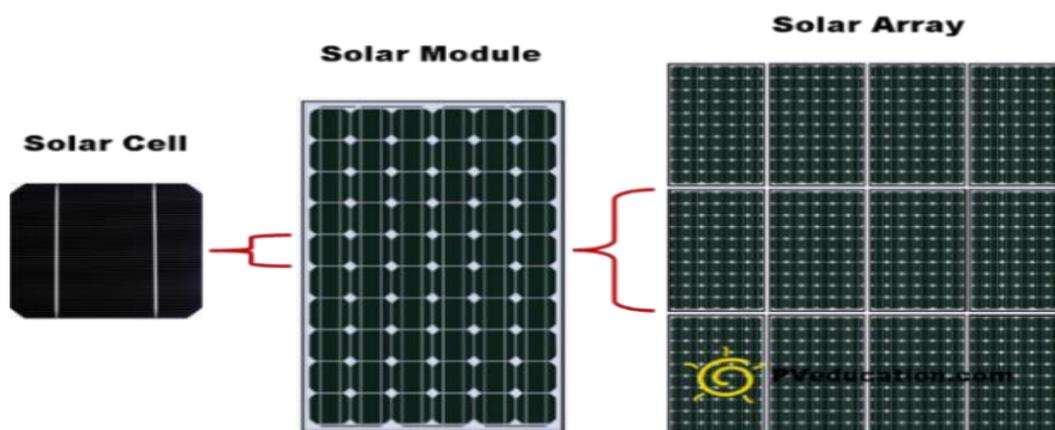
2.2.4.3 Komponen PLTS

1. Panel Surya

Panel surya ialah beberapa sel surya yang dirangkai dan terhubung secara seri maupun paralel yang disusun sedemikian rupa hingga berbentuk persegi ataupun persegi panjang, dilaminasi dan dilapis dengan kaca khusus serta diberi penguat rangka atau *frame* pada setiap sisinya. Setiap panel surya dirancang sedemikian rupa sehingga mempunyai keluaran daya puncak yang spesifik.

Ketika panel surya terkena iradiasi sinar matahari maka secara umum satu sel surya akan menghasilkan tegangan listrik searah sejumlah 0,5 V hingga 1 V serta arus *short-circuit*. Besar tegangan dan arus yang dihasilkan tidak dapat diaplikasikan secara langsung sehingga sel surya akan disusun secara seri dan juga paralel untuk membentuk sebuah set yang disebut panel surya.

Secara umum, panel surya terdiri dari 28 sel hingga 72 sel surya yang dapat menghasilkan tegangan listrik searah sejumlah 12 V hingga 38 V dalam keadaan iradiasi sinar matahari normal. Sejumlah panel surya dikonfigurasi secara seri maupun paralel yang akan membentuk sistem yang disebut *Photovoltaic Array*. Skema sistem panel surya dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Panel Surya

(Sumber: <https://www.pveducation.com>)

Ada dua jenis panel surya yang paling populer digunakan yakni tipe *monocrystalline* dan tipe *polycrystalline*. Masing-masing tipe memiliki efisiensi yang berbeda. Tipe *monocrystalline* memiliki nilai efisiensi sejumlah 15% hingga 20% dan tipe *polycrystalline* memiliki nilai efisiensi sejumlah 13% hingga 18%.

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 sehingga menguras baterai.

Secara umum, terdapat dua tipe *SCC* yang digunakan pada sistem panel surya, yaitu tipe *Pulse Width Modulation (PWM)* dan tipe *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*. Tipe *MPPT* dianggap sebagai pengendali yang paling efisien saat ini, sebab tipe *MPPT* bekerja pada tingkat efisiensi yang lebih tinggi daripada tipe *PWM*. Tipe *PWM* bekerja pada tingkat efisiensi sejumlah 75% hingga 80% sedangkan *MPPT* bekerja pada tingkat efisiensi sejumlah 92% hingga 95%. Tampilan *solar charge controller* dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 *Solar Charge Controller*

(Sumber: <https://www.solar.schneider-electric.com>)

3. Inverter

Inverter merupakan komponen elektronik yang berfungsi mengubah tegangan listrik arus searah menjadi tegangan listrik arus bolak-balik. Inverter memiliki peran dalam beban listrik kebutuhan rumah tangga dan industri yang nantinya akan mengubah tegangan listrik arus searah dari komponen seperti baterai dan panel surya menjadi tegangan listrik arus bolak-balik. Pada rancangan konfigurasi dalam penelitian ini menggunakan dua produk inverter asal Tiongkok dengan daya yang sama yaitu *Seasun TP-200 kW* dan *Bang Zhao BZP-200kW*. Tampilan inverter dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Inverter

(Sumber: <https://www.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 jenis baterai sekunder. Dalam konfigurasi pada penelitian ini menggunakan dua produk baterai sebagai perbandingan yaitu *BAE 26 PVS 4940* dan *Surrete 2YS 62P*.

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 adalah baterai *VRLA (Valve Regulated Lead Acid)* atau sering disebut *SLA (Sealed Lead Acid)* dan *Li-ion (Lithium-ion)*. Baterai *VRLA* tidak memerlukan perawatan (*maintenance free*) sedangkan baterai *Li-ion* dapat menyimpan daya lebih lama dan lebih besar. Tampilan baterai *VRLA* dan *lithium-ion* dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Baterai *VRLA* dan *Lithium-Ion*

(Sumber: <https://www.solar.schneider-electric.com>)

2.2.4.4 Prinsip Kerja PLTS

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

2.2.4.5 Produk Panel Surya

Perbandingan panel surya yang digunakan dalam penelitian ini memiliki daya keluaran yang sama yaitu 300 Wp. Panel surya yang digunakan merupakan panel surya tipe *monocrystalline*, yang mana panel surya ini mampu menghasilkan daya sejumlah 300 Watt dari 72 sel. Arus listrik yang dihasilkan merupakan arus listrik searah serta tegangan normal yang dihasilkan dari *controller* terhadap setiap panel surya adalah 24 Volt.

1. *Peimar SG300M (FB)*

Panel surya *Peimar SG300M (FB)* di produksi oleh *Peimar* yang merupakan produsen panel surya asal Italia. Nilai daya dari panel surya *Peimar SG300M (FB)* adalah 300 watt. Panel surya *Peimar SG300M (FB)* memiliki nilai efisiensi sejumlah 18,44 % dengan garansi mencapai 20 tahun. Panel surya *Peimar SG300M (FB)* memiliki 72 sel dengan tegangan keluaran *DC*.

2. *Solar Land 300 Wp*

Panel surya *Solar Land 300 Wp* di produksi oleh *Solar Land* yang merupakan produsen panel surya asal USA. Nilai daya dari panel surya *Solar Land 300 Wp* adalah 300 watt. Panel surya *Solar Land 300 Wp* memiliki nilai efisiensi sejumlah 15,5 % dengan usia pakai mencapai 20 tahun. Panel surya *Solar Land 300 Wp* memiliki 72 sel dengan tegangan keluaran *DC*.

3. *Wedosolar 300 Wp*

Panel surya *Wedosolar 300 Wp* di produksi oleh *Wedosolar* yang merupakan produsen panel surya asal Indonesia. Nilai daya dari panel surya *Wedosolar 300 Wp* adalah 300 watt. Panel surya *Wedosolar 300 Wp* memiliki nilai efisiensi sejumlah 18 % dengan usia pakai mencapai 20 tahun. Panel surya *Wedosolar 300 Wp* memiliki 72 sel dengan tegangan keluaran *DC*.

2.2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu adalah salah satu pembangkit energi terbarukan yang memanfaatkan hembusan angin sebagai penghasil sumber energi listrik. PLTB merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang memiliki

potensial untuk dikembangkan di Indonesia sebab sumber tenaga bayu memiliki ketersediaan yang melimpah, hal ini dikarenakan Indonesia adalah negara dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia dengan total panjang 54.716 kilometer. Daftar potensi laju angin berbagai wilayah di Indonesia dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Potensi Laju Angin Wilayah Indonesia

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
			Total		60.647,0

Sumber : Lampiran Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017

(Sumber: <https://www.setkab.go.id>)

Secara sederhana PLTB mengkonversikan tenaga bayu menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin. Caranya adalah dengan memanfaatkan putaran turbin yang disebabkan oleh hembusan angin kemudian diteruskan ke rotor generator, dimana generator ini memiliki lilitan tembaga yang berfungsi sebagai stator sehingga menimbulkan Gaya Gerak Listrik (GGL). Listrik yang dihasilkan dapat disimpan dalam baterai atau dimanfaatkan langsung menuju beban.

Syarat angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik yaitu memiliki batas laju minimum sejumlah 1.6 m/s hingga 3.3 m/s dan batas maksimum sejumlah 13.9 m/s hingga 17.1 m/s. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) di 120 daerah di Indonesia menunjukkan bahwa rata-rata nilai laju angin adalah 5 m/s lebih.

2.2.5.1 Prinsip Kerja PLTB

Prinsip kerja PLTB memanfaatkan laju 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 *ferromagnetic* 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 perubahan fluks ini akan dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik. Listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa tegangan listrik arus bolak-balik yang memiliki bentuk gelombang kurang lebih sinusoidal.

2.2.5.2 Konfigurasi PLTB

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

1. *Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)*

HAWT merupakan turbin angin dengan tipe ini pada dasarnya penempatan poros rotor utama dan generator listriknya terletak pada bagian puncak menara. Turbin tipe ini dihadapkan melawan arah angin dari menara, dimana bilah turbin di desain kaku agar dapat menahan kecepatan angin yang tinggi agar tidak terdorong ke menara. Umumnya, turbin tipe ini menggunakan *motor upwind* (melawan arah angin). Namun ada juga yang menggunakan *motor downwind* (sesuai arah angin) karena tidak membutuhkan mekanisme tambahan untuk dapat berjalan searah dengan angin.

2. *Vertikal Axis Wind Turbine (VAWT)*

VAWT merupakan berbeda dengan turbin angin sumbu horizontal, dimana turbin angin bersumbu vertikal ini tidak harus diarahkan ke angin. Karena poros atau sumbu rotor utama dari turbin ini dirancang tegak lurus, yang mana sangat berguna untuk lokasi 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.

2.2.5.3 Produk Turbin Angin

Perbandingan turbin angin yang digunakan dalam penelitian ini memiliki daya keluaran yang sama yaitu 10 kW. Turbin angin yang digunakan merupakan turbin angin tipe *HAWT* yang mana turbin angin ini mampu menghasilkan energi dengan laju angin yang cukup rendah. Arus listrik yang dihasilkan merupakan arus listrik bolak-balik dan dikonversi langsung dengan *controller* sehingga menghasilkan arus searah dengan tegangan bervariasi yang dapat dihasilkan dari *controller*.

1. *Enair E200L*

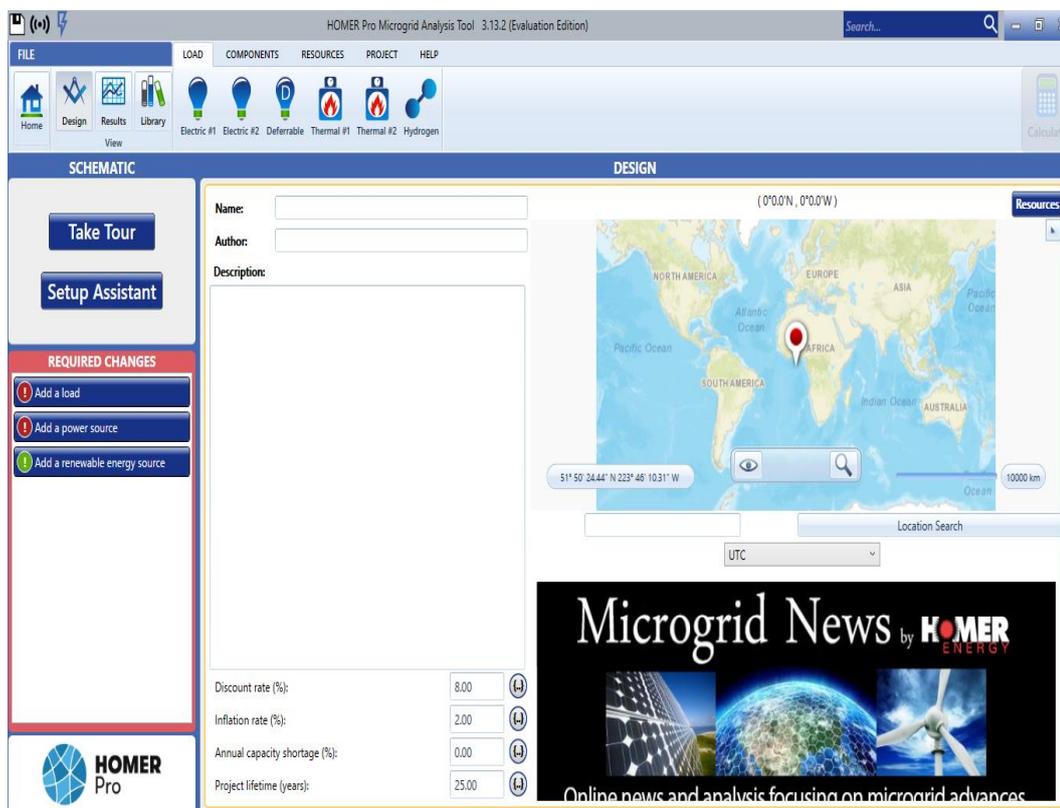
Turbin angin *Enair E200L* di produksi oleh *Enair* yang merupakan produsen turbin angin asal Spanyol. Pabrik ini telah beroperasi sejak tahun 1970. Nilai daya dari turbin angin *Enair E200L* adalah 10 kW. Turbin angin *Enair E200L* dapat mulai bekerja (*cut-in*) pada laju angin 1,85 m/s dan memiliki batas maksimal (*cut-out*) pada laju angin 30 m/s. Diameter rotor turbin angin *Enair E200L* adalah 9,8 m dengan luas rotor mencapai 75,4 m². Turbin angin *Enair E200L* dilengkapi dengan 3 bilah rotor. Kecepatan rotor maksimum adalah 120 U/menit. Turbin angin *Enair E200L* cocok dengan *gearbox* penggerak langsung dengan satu generator sinkron yang memiliki batas kecepatan maksimum generator sejumlah 120 U/menit. Tegangan keluaran utama dari turbin angin ini adalah 500 V dengan frekuensi listrik 50 Hz. Dalam pembangunan menara, pabrikan *Enair* menggunakan tabung baja. Sebagai perlindungan korosi untuk menara, pabrikan *Enair* berfokus pada jenis lapisan *hot dip galvanis*.

2. *Bergey BWC Excel 10*

Turbin angin *Bergey BWC Excel 10* di produksi oleh *Bergey WindPower Co.*, produsen turbin angin asal Amerika Serikat. Pabrikannya ini telah beroperasi sejak tahun 1970. Nilai daya dari turbin angin *Bergey BWC Excel 10* adalah 10 kW. Turbin angin *Bergey BWC Excel 10* dapat mulai bekerja (*cut-in*) pada laju angin 3,4 m/s dan memiliki batas maksimal (*cut-out*) pada laju angin 60 m/s. Diameter rotor turbin angin *Bergey BWC Excel 10* adalah 7 m dengan luas rotor mencapai 38,5 m². Turbin angin *Bergey BWC Excel 10* dilengkapi dengan 3 bilah rotor. Turbin angin *Bergey BWC Excel 10* cocok dengan tanpa *gearbox* penggerak langsung. Generator pabrikannya *Bergey WindPower Co.* di atur pada sinkron permanen. Pabrikannya telah menggunakan satu generator untuk turbin angin *Bergey BWC Excel 10*. Tegangan keluaran utama dari turbin angin ini mencapai 220 V dengan frekuensi listrik 50 Hz. Dalam pembangunan menara, pabrikannya *Bergey WindPower Co.* menggunakan jenis *Lattice*.

2.2.6 *Software 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. *Software HOMER* dapat mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik *stand alone* maupun *grid connected* yang dapat terdiri dari kombinasi turbin angin, *photovoltaic*, mikrohidro, biomassa, generator, *microturbine*, *fuel-cell*, baterai, dan penyimpanan hidrogen, maupun *thermal*. Dengan *software HOMER* dapat diperoleh hasil spesifikasi paling optimal dari sumber-sumber energi yang diterapkan. Tampilan awal *software HOMER* dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Tampilan Awal *Software HOMER*

(Sumber: *HOMER*)

Pada *software HOMER* terdapat berbagai jenis beban yang sesuai dengan kebutuhan pengguna. Komponen pembangkit energi yang disediakan *software HOMER* yaitu, *photovoltaic*, *wind turbine*, *hydro*, *converter*, *electrolyzer*, *hydrogen tank*, *reformer*, *generator* dan *system battery*. Saat melakukan simulasi, *software HOMER* menentukan semua konfigurasi sistem yang diberikan, kemudian ditampilkan berurutan menurut *Net Presents Costs (NPC)* atau yang disebut juga *Life Cycle Costs (LCC)*. *NPC* adalah nilai sekarang dari semua biaya pemasangan dan pengoperasian komponen selama masa proyek, dikurangi nilai sekarang dari semua pendapatan yang dihasilkannya selama masa proyek. Ketika diperlukan analisa sensitivitas, maka *software HOMER* akan melakukan perulangan terhadap proses simulasi pada setiap variabel sensitivitas yang telah ditetapkan.

Penggunaan *software HOMER* memiliki fungsi untuk melakukan optimasi model sistem pembangkit listrik skala kecil (*micropower*), perangkat lunak ini mempermudah evaluasi desain sistem pembangkit listrik untuk berbagai jenis

pembangkit listrik skala kecil baik yang tersambung ke jaringan ataupun tidak. *Software HOMER* dikembangkan oleh *U.S. National Renewable Energy Laboratory (NREL)*.

Sebelum menjalankan *software HOMER* pertimbangan yang harus dilakukan meliputi besarnya biaya, konfigurasi dari sistem, pemilihan komponen yang digunakan, jumlah dan ukuran kapasitas komponen serta sumber daya alam yang tersedia. Dari rancangan yang telah dibuat, *software HOMER* akan melakukan perhitungan keseimbangan energi untuk setiap konfigurasi sistem yang layak untuk memenuhi kebutuhan listrik dalam kondisi yang ditentukan, perkiraan biaya instalasi dan sistem operasi selama masa proyek.

Kelebihan perangkat lunak ini adalah penggunaannya mudah, bisa mensimulasi, mengoptimasi suatu model kemudian secara otomatis bisa menemukan konfigurasi sistem optimum yang bisa mensuplai beban dengan biaya sekarang atau *Net Present Cost (NPC)* terendah, dan bisa menggunakan parameter sensitifitas untuk hasil yang lebih bagus dan akurat.

Sedangkan kekurangannya adalah perangkat lunak ini keluaran utamanya berupa parameter ekonomi yaitu *Net Present Cost (NPC)* dan *Cost Of Energy (COE)*, bukan model sistem terperinci dan beberapa teknologi energi terbarukan masih belum bisa disimulasikan dengan perangkat lunak ini. Pada sistem ekonomi *software HOMER* membutuhkan data kondisi keuangan yang nyata yaitu berupa nilai *nominal discount rate* dan *expected inflation rate*. *Nominal discount rate* merupakan tingkat bunga yang digunakan untuk menghitung nilai sekarang dengan nilai yang akan datang. *Expected inflation rate* adalah perkiraan tingkat inflasi yang berpengaruh terhadap nilai sekarang di masa yang akan datang.

2.2.6.1 Prinsip Kerja Software HOMER

Pembagian kerja dari *software HOMER* umumnya meliputi dua bagian. Pertama terkait data dan desain, kedua meliputi simulasi, optimasi dan analisis sensitivitas. Dua pembagian tersebut dilakukan secara berurutan dimulai dari pemasukan data-data yang dibutuhkan kemudian membuat desain sistem yang akan di rancang. Selanjutnya dilakukan perintah simulasi pada perangkat lunak sehingga akan menampilkan hasil dari simulasi tersebut seperti yang telah dijabarkan diatas.

1. Data dan Desain

Data merupakan hal yang harus diketahui agar sistem perangkat lunak mempunyai bahan yang akan diolah kemudian di konversikan menjadi beberapa bentuk keluaran. Adapun data yang harus di masukan yaitu data beban, data pembangkit, data ekonomi, data *constraints*, data *system control*, data emisi, data matahari, data *sensitivity* matahari, data laju angin, data *solar cell*, dan data baterai.

Sedangkan untuk desain, merupakan rancangan letak dan urutan komponen-komponen dalam sebuah sistem pembangkit yang direncanakan. Perancangan ini harus dilakukan dengan benar sesuai dengan kondisi sebenarnya agar sistem dapat berjalan dan tidak terjadi kesalahan atau *error*.

2. Simulasi, Optimasi dan Analisis Sensitivitas

Simulasi merupakan tampilan konfigurasi dari komponen yang telah dirancang menjadi sebuah sistem. Konfigurasinya meliputi besarnya kapasitas komponen dalam sistem dan strategi operasi yang menentukan cara kerjasama sistem tersebut dalam periode waktu tertentu. Proses simulasi mempunyai dua tujuan, yaitu mengetahui sistem tersebut dapat berjalan dan biaya keseluruhan dari sistem. Optimasi dilakukan untuk menentukan kemungkinan paling optimal pada konfigurasi sistem. Setelah melakukan proses optimasi maka akan tampil urutan nilai *Net Present Cost (NPC)* dan *Cost Of Energy (COE)*, sistem konfigurasi dan strategi pengisian baterai. Tujuan optimasi yaitu menentukan nilai optimal dari konfigurasi sistem yang variabel nilai masukannya dapat diubah sesuai kebutuhan. Adapun variabel yang dapat diubah yaitu:

1. Kapasitas daya *photovoltaic*
2. Jumlah turbin angin yang digunakan
3. Kapasitas daya dari turbin (satu turbin)
4. Kapasitas daya generator
5. Jumlah baterai yang digunakan
6. Kapasitas daya inverter (*AC-DC*)
7. Kapasitas daya *electrolizer*
8. Kapasitas daya tangki *hydrogen*
9. Strategi pengisian baterai.

Analisis sensitivitas ini akan menunjukkan bagaimana hasil konfigurasi sistem yang optimal apabila nilai parameter masukan berbeda-beda. Pengguna dapat menunjukkan analisis sensitivitas dengan memasukkan beberapa nilai variabel sensitivitas. Contohnya harga listrik, harga bahan bakar, suku bunga dan lain-lain. Secara garis besar analisis sensitivitas dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Analisis sensitivitas dalam keadaan tidak menentu, adalah analisis sensitivitas yang dilakukan terhadap hal-hal yang sifatnya selalu berubah-ubah seiring perjalanan waktu dan kondisi. Misalnya harga komponen, kecepatan angin. Fungsi analisis sensitivitas ini yaitu untuk menentukan efek dari variasi masukan, kemungkinan konfigurasi dan tingkat keoptimalan sistem apabila masukannya berubah-ubah.
2. Analisis sensitivitas berdasarkan kumpulan data per jam, analisis sensitivitas ini dilakukan secara berkala dalam setiap satu jam. Adapun nilai yang dianalisis adalah beban listrik, sumber daya angin, sumber daya air atau biomassa. Analisis ini akan menampilkan hasil optimal tidaknya suatu konfigurasi berdasarkan warna dan menunjukkan sensitivitas dengan tanda *diamond*.

2.2.6.2 Implementasi Fisik Menggunakan *Software HOMER*

Sesuai dengan namanya, perancangan menggunakan *software HOMER* ini harus merupakan sebuah sistem pembangkit *hybrid* yang menggabungkan dua atau lebih sumber energi pembangkit menjadi satu sistem pembangkit. Selain itu, penggunaan energi juga harus ditentukan terlebih dahulu yaitu beban listrik atau beban *thermal* (panas). Di dalam *software HOMER* juga dilengkapi dengan beberapa perlengkapan untuk konversi seperti konversi *AC-DC*, konverter, elektrolizer dan alat penyimpan energi (*battery bank* dan tangki *hydrogen*). Beban yang akan diminta oleh *software HOMER* berdasarkan jenisnya ada dua yaitu beban listrik dan beban *thermal* (panas). Kemudian berdasarkan kebutuhan suplai energi ada dua yaitu beban utama (*primary load*) dan beban tunda (*defferable load*).

1. Beban Listrik, adalah peralatan listrik yang semua kebutuhannya disuplai dari sistem pembangkit. Kebutuhan energi beban listrik dapat berbeda-beda antar peralatan berdasarkan waktu penggunaan dan durasi penggunaan.
2. Beban Panas (*Thermal Load*), beban ini merupakan yang pasti ada dalam sistem pembangkit listrik, maka dari itu keberadaannya perlu dihitung agar analisa sistem dapat maksimal. Data dapat dimasukkan dengan mengumpulkan data per jam atau dengan memasukan data yang sudah ada.
3. Beban Utama (*Primary Load*), adalah beban listrik yang konsumsi energinya dapat ditentukan dengan pasti. Data yang dimasukkan ke *software HOMER* adalah jumlah beban utama dalam kilowatt untuk beberapa jam setiap tahunnya. Caranya dengan memasukan data yang sudah ada atau dengan memasukkan data beban per jam ke dalam *average daily load profile*. Data beban yang dimasukkan adalah data selama 24 jam selama satu tahun atau memilih beberapa bulan yang berbeda dan juga ada data yang berbeda untuk *weekend* dan *weekdays*. Hasilnya dalam bentuk grafik beban secara keseluruhan. *software HOMER* juga dapat memodelkan dua beban yang berbeda (*AC-DC*). Beban utama juga membutuhkan tenaga cadangan untuk mengantisipasi terjadinya *drop* tegangan dan *overload*.
4. Beban Tunda (*Defferable Load*), merupakan beban yang dapat ditentukan berdasarkan interval waktu penggunaan. Beban tunda mendapat suplai energi dari tangki beban tunda yang diisi oleh sistem dan digunakan dalam waktu-waktu tertentu saja. Data yang dimasukkan yaitu data rata-rata *defferable load* selama beberapa bulan pada saat tangki akan habis pada ukuran tertentu. Beberapa hal yang dapat ditentukan adalah kapasitas penyimpanan tangki (kWh), batas maksimum tangki dan batas minimum tangki.

Dalam *software HOMER* perlu memasukkan sumber energi terbarukan yang akan dijadikan sebagai sumber energi pembangkit atau menggunakan bahan bakar konvensional. Pilihan energinya yaitu energi matahari, energi angin, energi *hydro*, biomassa dan bahan bakar (*fuel*). Faktor dari alam sangat mempengaruhi keberlangsungan sumber energi ini, baik dari proses maupun secara ekonomis.

Sumber daya alam sangat mempengaruhi hasil produksi energi dari sistem pembangkit.

1. Energi Matahari, intensitas penyinaran matahari bergantung pada garis lintang dan bujur. Data sumber daya matahari yang telah didapatkan harus dimasukkan terlebih dahulu ke dalam *software HOMER*. Data yang dimasukkan berupa intensitas rata-rata penyinaran matahari yang mengarah langsung ke permukaan bumi yaitu *Solar Global Horizontal Irradiance (GHI)* atau penyinaran matahari global horizontal. *Solar GHI* adalah kejadian radiasi matahari total pada permukaan horizontal yang merupakan kombinasi antara jumlah dari *Direct Normal Irradiance (DNI)*, *Diffuse Horizontal Irradiance*, dan radiasi yang dipantulkan dari tanah. *HOMER* menggunakan *Solar GHI* untuk menghitung *output PV* dari bidang datar. Dalam penggunaan energi matahari terdapat juga istilah indeks kejernihan dan radiasi harian. Indeks kejernihan adalah ukuran dari kejernihan atmosfer yang merupakan sebagian kecil dari radiasi matahari yang pancarkan melalui atmosfer terhadap permukaan bumi. Radiasi harian merupakan ukuran pancaran energi yang dihasilkan matahari setiap harinya terhadap panel surya.
2. Energi Angin, energi angin sangat dipengaruhi oleh pola sirkulasi atmosfer dan letak geografis pembangkit. Data yang dimasukkan adalah nilai laju angin dalam satuan m/s selama 12 bulan pada lokasi pembangkit.
3. Energi *Hydro*, sumber energi ini dipengaruhi oleh pola curah hujan dan topografi. *software HOMER* membutuhkan data aliran sungai yang tersedia dalam satu tahun, dan juga bisa data per jam jika ada. *software HOMER* juga bisa menentukan aliran sisa, yaitu aliran minimum yang harus dilewatkan ke turbin. Hal ini dilakukan agar *software HOMER* dapat menentukan tersedia atau tidaknya aliran sungai untuk turbin.
4. Biomassa, dipengaruhi oleh produktivitas suatu daerah. Produktivitas yang dimaksud ialah dalam menghasilkan bahan untuk membuat biomassa, seperti limbah kayu, sisa hasil pertanian, kotoran hewan, tanaman yang sudah tidak produktif dan lain-lain yang dapat menghasilkan energi listrik, panas atau gas.

Hasil ini digunakan untuk menggerakkan generator yang kemudian akan menghasilkan energi listrik. *Software HOMER* membutuhkan data ketersediaan sumber energi biomassa selama satu tahun untuk kemudian *software HOMER* akan menentukan kebutuhan konsumsi untuk menghasilkan listrik melalui generator.

5. Bahan Bakar (*fuel*), input data bahan bakar juga tersedia dalam *software HOMER*. Adapun bahan bakar yang tersedia yaitu biogas, *diesel*, *ethanol*, *gasoline*, *methanol*, *natural gas*, *propane*, dan *stored hydrogen*. Sedangkan untuk spesifikasi fisik dari bahan bakar terdiri dari *density*, *lower heating value*, *carbon content* dan *sulfur content*.

2.2.6.3 Komponen-Komponen Utama Sistem Pembangkit

HOMER mempunyai 10 tipe komponen utama sebuah pembangkit, Adapun 10 komponen tersebut yaitu:

1. Sel surya (*photovoltaic*), mengubah radiasi sinar matahari menjadi energi listrik (*DC*) melalui proses *photoelectric*.
2. Turbin angin, memanfaatkan angin untuk memutar turbin yang memutar motor yang dapat menghasilkan listrik (*AC/DC*).
3. Turbin air, memanfaatkan deras aliran air untuk memutar motor yang dapat menghasilkan listrik (*AC/DC*).
4. Generator, menggunakan bahan bakar konvensional untuk dapat memutar motor yang dapat menghasilkan listrik (*AC/DC*).
5. Jaringan transmisi, fungsinya sebagai jembatan untuk mengirimkan energi listrik dari pembangkit ke jaringan distribusi lalu ke konsumen.
6. *Boiler* (Ketel Uap), energi yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan melalui proses pemanasan yang menghasilkan uap untuk menggerakkan generator.
7. *Converter*, adalah komponen yang mengubah listrik *AC* menjadi listrik *DC*.
8. *Electrolizer*, fungsinya mengubah kelebihan energi listrik *AC/DC* menjadi *hydrogen* melalui proses elektrolisis air.

9. *Battery*, digunakan untuk penyimpanan sementara listrik *DC* dari sumber pembangkit untuk kemudian digunakan secara langsung oleh beban atau diubah menjadi *AC* terlebih dahulu agar bisa dikonsumsi beban.
10. Tangki penyimpanan *hydrogen*, fungsinya menyimpan *hydrogen* dari *electrolizer* ke bahan bakar atau generator.

2.2.6.4 Sistematisasi Energi

Sistemasi merupakan perencanaan dalam penataan jaringan dan komponen agar sistem dapat bekerja secara sistematis dan saling mendukung satu sama lain sehingga optimasi sistem dapat tercapai. Perencanaan ini meliputi sistem tenaga cadangan, sistem kontrol dari komponen dan strategi pengisian baterai.

1. Sistem Tenaga Cadangan

Sistem ini dibutuhkan untuk mengantisipasi terjadinya *overload* dan fluktuasi beban yang tidak menentu. Hal ini biasanya dilakukan dengan cara membeli spesifikasi komponen yang lebih besar dari kebutuhan beban. Misal kebutuhan beban sebesar 50 kW maka spesifikasi pembangkit sebesar 75 kW, sehingga ada 25 kW daya sebagai cadangan.

2. Sistem Kontrol dari Komponen Tidak Terbarukan (*Dispatchable*)

Sistem ini menggunakan dua sumber pembangkit yaitu energi terbarukan dan energi tidak terbarukan (generator, baterai, jaringan transmisi, *boiler*). Hal ini dilakukan untuk membantu sumber pembangkit energi terbarukan ketika tidak dapat menyuplai kebutuhan beban. *software HOMER* menggambarkan sisi ekonomi dari beberapa energi tidak terbarukan berdasarkan dua nilai, yaitu biaya tetap (\$/h) dan biaya marginal energi (\$/kWh). Nilai ini menggambarkan semua biaya yang berhubungan dengan produksi energi dengan sumber energi per jam.

3. Strategi Pengisian Baterai

Hal ini merupakan beberapa perencanaan untuk menentukan cara kerja dari generator dan *battery bank*. Hasil dari perencanaan yang optimal tergantung dari beberapa faktor, termasuk ukuran kapasitas daya pada generator dan baterai, harga bahan bakar, biaya *O&M* generator dan jumlah tenaga hibrida pada sistem. Ada dua cara pengisian baterai yang terdapat pada *software HOMER*, yaitu:

1. *Load Following*, yaitu generator hanya menghasilkan energi sesuai dengan kebutuhan beban, sehingga baterai akan di isi oleh energi yang berasal dari pembangkit tenaga *hybrid*.
2. *Cycle Charging*, yaitu generator bekerja dengan kapasitas maksimal, sehingga energi lebih yang dihasilkan digunakan untuk mengisi baterai.

2.2.7 Software National Aeronautics and Space Administration Prediction of Worldwide Energy Resource (NASA POWER)

NASA POWER merupakan *software* berbasis *website* yang berisi kumpulan data proyek *POWER*. Kumpulan data yang ada diantaranya data matahari dan data meteorologi yang bersumber dari penelitian *NASA*. Data ini digunakan untuk mendukung pengembangan energi terbarukan, membangun efisiensi energi, dan kebutuhan pertanian.

Tujuan *NASA* dalam ilmu bumi adalah untuk mengamati, memahami, dan membuat model sistem bumi untuk menemukan bagaimana perubahannya, untuk memprediksi perubahan dengan lebih baik, dan untuk memahami konsekuensi bagi kehidupan di bumi. Program ilmu pengetahuan terapan dalam Direktorat Misi Sains melayani *NASA* dengan memperluas dan mempercepat realisasi manfaat sosial dan ekonomi dari ilmu bumi, informasi, dan teknologi penelitian dan pengembangan. Proyek *POWER* dimulai untuk memperbaiki data energi terbarukan saat ini dan untuk membuat data baru dari sistem satelit baru. Proyek *POWER* menargetkan tiga komunitas pengguna yaitu energi terbarukan, bangunan berkelanjutan, dan agroklimatologi.

Energi terbarukan dirancang untuk memberikan akses ke parameter yang dirancang khusus untuk membantu dalam desain sistem energi terbarukan bertenaga surya dan angin. Bangunan berkelanjutan dirancang untuk memberikan parameter ramah industri untuk komunitas bangunan, untuk memasukkan parameter dalam rata-rata bulanan multi-tahun. Agroklimatologi dirancang untuk menyediakan akses berbasis *website* ke parameter ramah industri yang di *format* untuk *input* ke model tanaman yang terdapat dalam sistem pertanian.