

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembangkit Listrik tenaga mikro hidro

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) salah satu jenis pembangkit listrik dalam skala kecil yang memanfaatkan energi air sebagai penggerakannya seperti saluran irigasi, sungai dan air terjun dengan memanfaatkan ketinggian jatuh air dan jumlah debit air yang mengalir. Hal ini berbanding lurus dengan energi listrik yang dibangkitkan, yaitu jika semakin tinggi jatuh air maka energi listrik yang dihasilkan juga akan semakin besar. Tinggi jatuh air selain diperoleh dari faktor geografis alam, juga bisa didapatkan dengan cara membendung aliran sungai sehingga permukaan air sungai menjadi tinggi. Air kemudian dialirkan menuju rumah pembangkitan melalui saluran pipa pesat untuk menggerakkan turbin atau kincir air mikrohidro. Dari turbin air inilah yang akan mengkonversikan energi air menjadi energi mekanik berupa putaran. Selanjutnya energi mekanik putaran turbin tersebut dikonversikan lagi menjadi energi listrik oleh generator. Teknologi mikrohidro ini cocok untuk memenuhi ketersediaan energi listrik terutama di daerah-daerah pelosok terpencil pedesaan yang belum teraliri energi listrik dari PLN. (Novi kurniasih, 2015: 30)

2.2. Energi Matahari

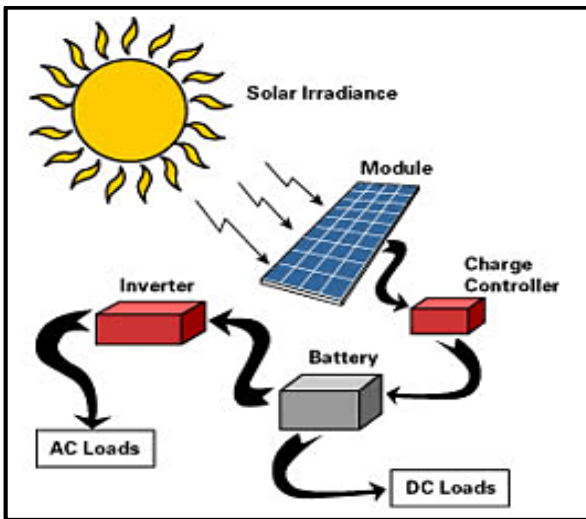
Matahari merupakan sebuah bola yang permukaannya dilingkupi oleh gas yang sangat panas, yang berasal dari 98% hidrogen dan helium. Dibagian dalam matahari berlangsung reaksi inti fusi secara terus menerus, yang melebur hidrogen menjadi helium, dan sebagian massanya menjadi energi. Energi inilah yang membuat suhu matahari sangat panas. Selain dalam bentuk panas, reaksi di dalam inti matahari juga menghasilkan radiasi foton yang dipancarkan kesegala arah diruang angkasa, termasuk bumi. (Kadir, 1995:19)

Energi matahari adalah sumber utama dari energi yang ditemukan di bumi. Energi surya itu bersih, berlimpah, dan terbarukan. Meskipun energi surya bersih dan berlimpah, tetapi energi surya tersebut menyebar dan harus ditangkap. Energi surya

dapat disimpan atau diubah untuk digunakan dalam bentuk nilai tertinggi dalam suatu energi. (Papadopoulou, 2011: 31)

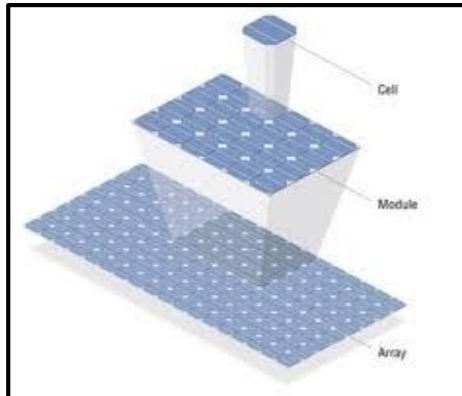
2.3. Sistem *Photovoltaic*

Sistem *photovoltaic* adalah sistem yang mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik. Sistem *photovoltaic* terdiri dari modul atau panel surya, inverter, charger dan baterai. Modul *photovoltaic* menghasilkan tegangan DC dan mengirimkannya ke *Battery Control Regulator* yang mengatur muatan baterai, cadangan energi baterai dapat digunakan pada malam hari atau selama pemadaman atau dapat langsung digunakan untuk mencatu beban DC. Inverter mengubah daya DC yang tersimpan pada baterai menjadi listrik AC (arus bolak-balik). Gambar 2.1 dengan jelas menggambarkan sistem *photovoltaic* beserta komponen-komponen utama penyusunnya. Berikut ini adalah penjelasan masing-masing komponennya.



Gambar 2.1 Bagan Sistem Photovoltaic
(<http://hybridsolarcell.blogspot.com>)

2.4. Modul *Photovoltaic*



Gambar 2.2 Cell, Module, dan Panel (Array)

Keterangan gambar 2.2 :

1. Sel semikonduktor adalah perangkat terkecil yang mengubah sinar matahari menjadi arus listrik searah (DC).
2. Modul *photovoltaic* terdiri dari sirkuit sel *photovoltaic* yang disegel dalam suatu laminasi pelindung.
3. Panel *photovoltaic* mencakup satu atau lebih modul *photovoltaic* dirakit sebagai unit pra-kabel.
4. Array *photovoltaic* adalah suatu unit pembangkit listrik yang lengkap, terdiri dari sejumlah modul *photovoltaic* dan panel *photovoltaic* yang terangkai menjadi satu melalui kabel dengan susunan tertentu agar mampu menghasilkan tegangan dan arus tertentu.

Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang memadai, sel *photovoltaic* dihubungkan secara seri untuk membentuk modul *photovoltaic*. Karena sistem *photovoltaic* biasanya dioperasikan pada kelipatan 12 volt, modul biasanya dirancang untuk operasi yang optimal dalam sistem ini. Tujuan desain adalah untuk menghubungkan sel secara seri dengan jumlah yang sesuai dengan kebutuhan untuk mendapatkan tegangan maksimum modul yang sesuai dengan baterai dengan kondisi rata-rata radiasi matahari. Jika hal ini dilakukan, daya keluaran modul dapat diperoleh mendekati maksimum. (Messenger, 2004: 52)

Ketika hubungan modul ke sistem, salah satu pertimbangan adalah apa yang terjadi ketika radiasi matahari tidak masuk ke modul. Hal ini dapat terjadi pada malam hari, tetapi juga dapat terjadi pada siang hari jika ada sel atau bagian dari sel tidak tersinari matahari. Penting untuk diketahui bahwa efisiensi modul akan ditentukan oleh hubungan yang paling lemah. Karena sel dihubungkan secara seri, maka penting bahwa sel-sel dalam modul disesuaikan semaksimal mungkin. (Messenger, 2004: 53)

Kapasitas daya modul *photovoltaic* dapat diperhitungkan dengan memperhatikan beberapa faktor, yaitu kebutuhan energi sistem yang disyaratkan, insolasi matahari, dan faktor penyesuaian (*adjustment factor*). Faktor penyesuaian pada kebanyakan instalasi PLTS adalah 1,1. (Bien, 2008: 42)

Kapasitas daya modul dapat dinyatakan dengan persamaan 2.1: (Bien, 2008: 43)

$$\text{Kapasitas modul} = \frac{\text{Energi yang harus dipsok}}{\text{Jumlah jam kerja matahari}} \times \text{Faktor penyesuaian} \dots\dots\dots(2.1)$$

Jumlah modul yang digunakan dapat dinyatakan dengan persamaan 2.2: (Papadopoulou, 2011: 119)

$$\text{Jumlah modul} = \frac{\text{Kapasitas modul yang dirancang}}{\text{Kapasitas modul yang digunakan}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Modul *photovoltaic* yang terpasang membutuhkan kabel untuk menghubungkan modul satu dengan modul lainnya agar tersusun seri dan paralel. Sehingga diperlukan perhitungan kapasitas arus maksimal yang mengalir. Kapasitas arus maksimal dirumuskan dengan persamaan 2.3: (Hankins, 2010: 104)

$$I = \frac{P_{maks}}{V_{out}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Asusmsi rugi-rugi (*losses*) pada sistem dianggap sebesar 15%, karena keseluruhan komponen sistem yang digunakan masih baru. (Mark Hankins, 1991: 68).

Total energi sistem yang disyaratkan adalah sebesar:

$$E_T = E_A + \text{rugi-rugi sistem} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

E_T = Energi total termasuk rugi-rugi yang diperhitungkan

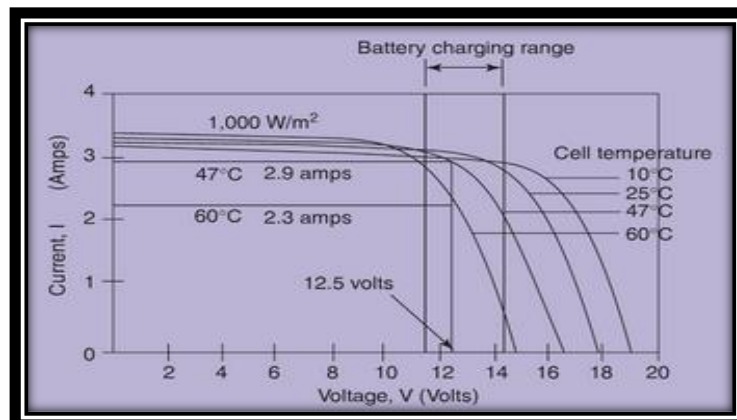
E_A = Energi total tanpa rugi-rugi

Rugi-rugi sistem = % *losses* $\times E_A$

Pengoperasian maksimum modul *photovoltaic* sangat tergantung pada hal-hal sebagai berikut:

1. Temperatur

Dengan meningkatnya suhu, daya keluaran modul surya jatuh sebesar 0,5% per derajat celsius (ini ditunjukkan oleh kurva I-V pada gambar 2.3). Dengan demikian, 5°C kenaikan suhu akan menyebabkan 2,5% penurunan daya keluaran. Perhatikan perbedaan dalam kurva I-V pada berbagai suhu. Pada 60°C dengan tegangan 12V keluaran arus dari modul ini jauh lebih rendah dari pada 10°C.



(Hankins, 2010: 37)

Gambar 2.3 Pengaruh Temperatur Terhadap Keluaran Modul *Photovoltaic*

2. Intensitas cahaya matahari

Intensitas cahaya matahari akan berpengaruh pada daya keluaran modul *photovoltaic*. Jika modul surya menghadap matahari langsung (yaitu jika modul tegak lurus terhadap sinar matahari) radiasi yang diterima akan jauh lebih tinggi dari pada modul yang sudutnya tidak tegak lurus terhadap matahari. (Hankins, 2010: 16)

Besarnya energi radiasi matahari yang masuk ke modul dapat dinyatakan dengan persamaan 2.4:

$$P_{in} = \frac{\text{radiasi tertinggi}}{\text{waktu efektif}} \dots\dots\dots(2.5)$$

3. Arah peletakan modul *photovoltaic*

Peletakan dari rangkaian modul (*array photovoltaic*) ke arah matahari adalah penting, agar modul *photovoltaic* dapat menghasilkan energi maksimum. Posisi pemasangan optimum bervariasi dengan lintang dan cuaca yang berlaku. Untuk lokasi yang terletak di utara khatulistiwa, matahari berada di bagian selatan, sehingga modul *photovoltaic* dihadapkan ke selatan. Begitu pula untuk lokasi yang terletak di selatan khatulistiwa, matahari di bagian utara, sehingga modul *photovoltaic* dihadapkan ke utara. (Hankins, 2010: 19)

4. Sudut kemiringan modul *photovoltaic*

Sudut kemiringan memiliki dampak yang sangat besar terhadap radiasi matahari di permukaan modul *photovoltaic*. Untuk sudut kemiringan tetap, daya maksimum selama satu tahun akan diperoleh ketika sudut kemiringan modul sama dengan lintang lokasi. Sudut dimana sinar matahari masuk permukaan modul disebut sudut datang matahari. Semakin tegak lurus dengan sinar matahari, semakin banyak energi yang diterima oleh permukaan modul. Misalnya modul *photovoltaic* yang terpasang di khatulistiwa (lintang=0°) yang diletakkan mendatar (*tilt angle*=0°), akan menghasilkan energi maksimum karena posisi modul tegak lurus dengan sinar matahari. (Hankins, 2010: 17)

2.5. Array Photovoltaic

Array photovoltaic adalah suatu unit pembangkit listrik yang lengkap, terdiri dari sejumlah modul *photovoltaic* dan panel *photovoltaic* yang terangkai menjadi satu melalui kabel dengan susunan tertentu agar mampu menghasilkan tegangan dan arus tertentu. Jika tegangan atau arus yang dibutuhkan lebih tinggi daripada yang tersedia dari sebuah modul, modul harus dihubungkan ke dalam susunan (*array photovoltaic*). (Messenger, 2004: 56)

Hubungan seri menghasilkan tegangan yang lebih tinggi, sementara hubungan paralel menghasilkan arus yang lebih tinggi. Modul yang terhubung secara seri, menghasilkan produksi daya maksimum masing-masing modul terjadi pada arus yang sama. Modul yang terhubung secara paralel, menghasilkan produksi daya maksimum masing-masing modul terjadi pada tegangan yang sama.

2.6. *Battery Control Regulator*

Fungsi yang paling dasar dari *Battery Control Regulator* adalah untuk mencegah *overcharging* baterai. Jika baterai dibiarkan terlalu penuh secara terus menerus, maka harapan hidupnya akan berkurang secara drastis. Sebuah *Battery Control Regulator* akan mendeteksi besar tegangan baterai, kemudian mengurangi atau menghentikan arus pengisian keetika tegangan cukup tinggi. Hal ini sangat penting untuk baterai kering yang mana kita tidak dapat mengganti air yang hilang selama pengisian daya yang berlebihan. Pengecualian hanya terjadi ketika perbandingan antara sumber pengisian dan kapasitas baterai yang sangat besar. Jika modul *photovoltaic* hanya menghasilkan kurang dari 1,5% dari *ampacity* baterai, maka tidak perlu digunakan *Battery Control Regulator*.

Battery Control Regulator dapat dinilai oleh banyak arus yang dapat ditangani. Peraturan Kode Listrik Nasional mengharuskan *Battery Control Regulator* mampu menahan 25% dari arus untuk waktu yang terbatas. Semakin besar kapasitas *Battery Control Regulator* yang digunakan, maka semakin baik sistem tersebut, Karena sewaktu-waktu ada ekspansi beban, tidak perlu mengganti *Battery Control Regulator*nya. *Battery Control Regulator photovoltaic* juga mencegah aliran arus balik di malam hari dari baterai menuju modul, dimana modul *photovoltaic* tidak lagi menghasilkan listrik, dan bila tidak dicegah, maka modul akan berubah menjadi beban.

2.7. Baterai

Baterai mengakumulasi kelebihan energi yang dihasilkan oleh sistem *photovoltaic* dan menyimpannya untuk digunakan pada saat tidak ada masukan energi dari sumber lain. Kapasitas baterai untuk menyimpan energi dinilai dalam amp.jam: 1 amp dialirkan selama 1 jam = 1 amp.jam.

Produsen biasanya mematok tingkat penyimpanan baterai dalam waktu 20 jam, sehingga suatu baterai dengan kapasitas 220 amp-jam baterai akan memberikan 11 amp selama 20 jam pada tegangan kerjanya. Tingkat ini dirancang hanya sebagai sarana untuk membandingkan baterai yang berbeda dengan standart yang sama dan tidak dapat dianggap sebagai jaminan kinerja. Baterai adalah alat elektrokimia sensitive terhadap iklim, sejarah pemakaiannya, suhu dan usia. Untuk setiap 1,0 amp.jam dipakai dari baterai, akan perlu mengisi sekitar 1,25 jam.amp kembali untuk mengembalikan baterai ke kondisi semula. Angka ini juga bervariasi sesuai dengan jenis suhu, baterai dan usia.

Kapasitas suatu baterai menyatakan berapa lama kemampuannya untuk memberikan aliran listrik, pada tegangan tertentu yang dinyatakan dalam ampere-hour (Ah). Kapasitas baterai dapat dinyatakan dengan persamaan 2.5: (Hankins, 2010: 133)

$$C = \frac{E_M}{V_B \times DOD \times \eta_{total}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

- C = kapasitas baterai (Ah)
- E_M = energi total yang harus disuplai modul *photovoltaic* (Wh)
- V_B = tegangan kerja baterai (volt)
- DOD = tingkat kedalaman pengosongan baterai (%)
- η_{total} = efisiensi total sistem *photovoltaic* (%)

2.8. Inverter

Inverter digunakan untuk mengonversi tegangan DC ke tegangan AC. Bentuk tegangan outputnya dapat berbentuk persegi panjang, trapezium atau sinus. Inverter dengan harga paling mahal sekaligus juga yang kualitasnya terbaik adalah inverter dengan bentuk tegangan keluarannya sunis murni. Tegangan input inverter tergantung pada daya inverter, untuk daya kecil dari sekitar 100W tegangannya adalah 12V atau 24V, dan 48V. untuk mendapatkan daya yang lebih besar inverter dapat dihubungkan secara parallel. Untuk sistem yang besar, inverter 3-fasa sudah

tersedia di pasaran. Pada umumnya inverter sengaja dirancang untuk menghubungkan system *photovoltaic* pada jaringan.

2.9. Switch Controler

Proses kendali sistem integrasi antara *photovoltaic* dan sumber listrik lain dilakukan oleh unit kontroler. System integrasi yang akan dirancang menggunakan prinsip kerja satu arah, yaitu dalam satu waktu tertentu beban hanya disuplai oleh satu pembangkit, oleh Karena itu *switch controller* akan bertindak mengatur sumber pembangkit yang akan menyuplai beban. (Liem Ek Bien.2008:39)

2.10. Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid

Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH) didefinisikan sebagai suatu sistem pembangkit tenaga listrik yang menggabungkan dua atau lebih pembangkit dengan sumber energi yang berbeda, umumnya digunakan untuk *isolated grid*, sehingga diperoleh sinergi yang memberikan keuntungan ekonomis maupun teknis. Beberapa kelebihan yang dapat diperoleh dari konfigurasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid ini adalah sebagai berikut:

- a. Solusi untuk mengatasi krisis bahan bakar minyak bumi
- b. Beban listrik dapat dipenuhi secara optimal terutama di daerah-daerah terpencil/pedesaan yang jauh dari jangkauan jaringan listrik PLN
- c. Meningkatkan efisiensi ekonomi pembangkit
- d. Meningkatkan keandalan (*reliability*) sistem pembangkit
- e. Meningkatkan waktu layanan listrik secara ekonomis
- f. Meningkatkan umur operasi sistem
- g. Tidak menimbulkan polusi dan limbah (ramah lingkungan)
- h. Biaya pengoperasian dan pemeliharaannya relatif murah
- i. Biaya produksi energi listrik atau *Cost of Energy* (Rp/kWh) per tahun relatif murah.

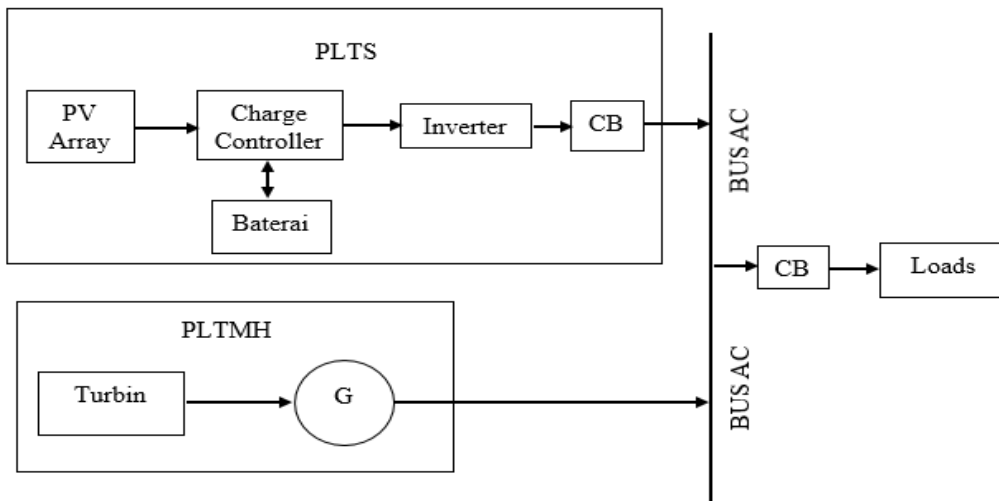
Disamping kelebihan-kelebihan di atas konfigurasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid tersebut juga mempunyai beberapa kekurangan, diantaranya:

- a. Produksi energi baru dan terbarukan sangat tergantung pada siklus alam
- b. Biaya investasi awal sistem ini lebih mahal
- c. Tidak dapat menangani beban puncak dengan baik tanpa penyimpanan energi.

Adapun konfigurasi dasar dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid tersebut dapat dikelompokkan menjadi tiga yakni:

- a. Sistem hibrid seri
- b. Sistem hibrid paralel
- c. Sistem hibrid *switched*.

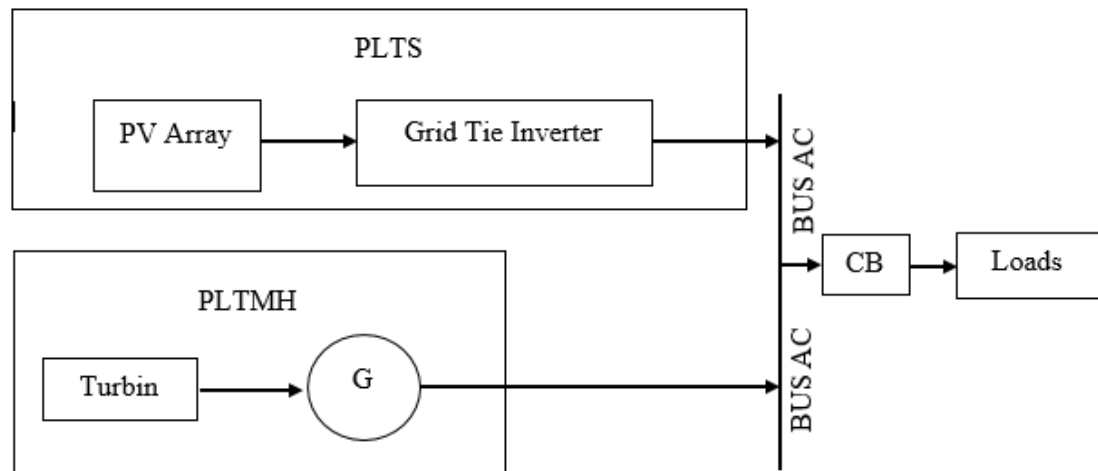
Sistem *photovoltaic* terbagi menjadi dua macam yaitu sistem *photovoltaic off grid* dan sistem *photovoltaic on grid*. Pada sistem *photovoltaic off grid*, modul *photovoltaic* menghasilkan tegangan DC dan mengirimkannya ke BCR yang mengatur muatan baterai, cadangan baterai dapat digunakan pada malam hari atau selama pemadaman atau dapat juga langsung digunakan untuk mencatu beban DC. Inverter *bidirectional* merubah tegangan DC menjadi AC dan sebaliknya. (Bangun Suryadi.2017).



Gambar 2.4 Diagram Konsep Integrasi PLTMH dan PLTS *Off Grid System*.

Sedangkan pada sistem *photovoltaic on grid*, tegangan DC yang dibangkitkan oleh panel surya akan digunakan untuk menyuplai ke *grid tie inverter*.

Grid Tie Inverter berfungsi merubah keluaran daya DC menjadi daya AC dan dapat bekerja terhubung dengan grid. (Rudy Setyabudy.2012:125)



Gambar 2.8 Diagram Konsep Integrasi PLTMH dan PLTS *On Grid System*.

