

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

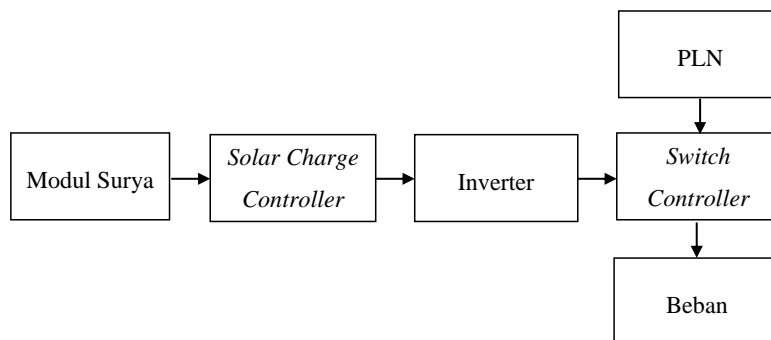
PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) merupakan jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan energi alternatif dari radiasi sinar matahari yang ramah lingkungan, sehingga tidak menggunakan energi fosil. Listrik yang dihasilkan berupa listrik *direct curent* (DC) [16]. Sistem ini sangat berpotensi bagi negara yang wilayahnya terletak di zona khatulistiwa, salah satunya indonesia. Di zona khatulistiwa cahaya matahari cukup melimpah sehingga bisa dimanfaatkan untuk sumber energi PLTS.

2.1.1. Sistem Pemangkit Listrik Tenaga Surya

Sistem PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) diklasifikasi menjadi tiga sistem. Berikut ini klasifikasi sistem PLTS [17].

1. PLTS *On Grid*

Sistem PLTS *on grid* atau *grid connected* adalah sistem PLTS yang listrik keluarannya terhubung dengan jaringan listrik PLN. Listrik *direct current* (DC) yang dihasilkan PLTS akan dirubah menjadi listrik *alternating current* (AC) menggunakan inverter sebelum disalurkan ke jaringan PLN. Berikut ini Gambar 2.1 merupakan diagram blok sistem PLTS *on grid*.



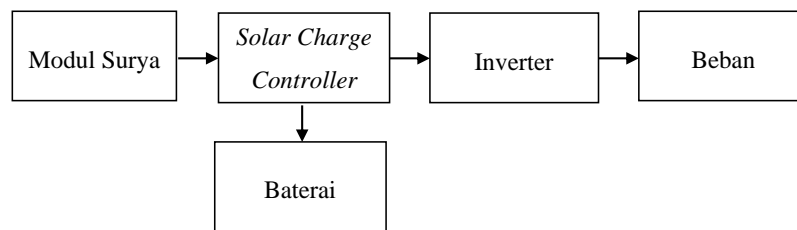
Gambar 2.1 Diagram Blok Sistem PLTS *On Grid*

Gambar 2.1 merupakan alur dari sistem PLTS *grid connected*. Listrik DC yang dihasilkan modul surya akan masuk ke *solar charge controller* (SCC) sebelum

disalurkan ke inverter. Listrik AC keluaran inverter akan masuk ke *switch controller* yang merupakan tempat kendali dari *grid connected* listrik dari modul surya dan listrik dari PLN sebelum disalurkan ke beban.

2. PLTS *Off Grid*

Sistem PLTS *off grid* adalah sistem PLTS yang tidak terhubung ke jaringan PLN. Sistem PLTS ini listrik searah yang dihasilkan modul surya akan disimpan ke dalam baterai. Sistem PLTS ini juga bisa disebut *stand alone*. Sistem PLTS *stand alone* tidak terhubung ke jaringan PLN, listrik yang dihasilkan proses PV disimpan baterai sesuai kebutuhan. Sistem PLTS *stand alone* biasanya digunakan sebagai sistem pembangkit listrik alternatif yang tidak memanfaatkan listrik PLN. Sistem PLTS *stand alone* cocok digunakan di kawasan yang tidak terdapat jaringan PLN. Berikut ini Gambar 2.2 merupakan diagram blok sistem PLTS *stand alone*.

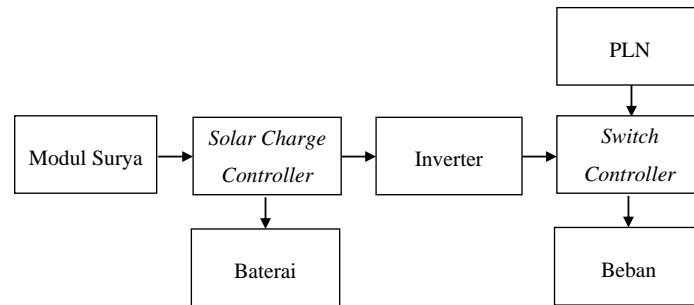


Gambar 2.2 Diagram Blok Sistem PLTS *Stand Alone*

Gambar 2.2 merupakan alur dari sistem PLTS *stand alone*. Listrik DC yang dihasilkan modul surya akan masuk ke SCC kemudian disimpan ke dalam baterai sesuai kebutuhan atau disalurkan ke inverter. Listrik AC keluaran inverter akan disalurkan ke beban.

3. PLTS *Hybrid*

Sistem PLTS *hybrid* adalah sistem gabungan dari PLTS *on grid* dan PLTS *off grid*. Sistem *hybrid* ini bisa terkoneksi listrik PLN dan terhubung dengan baterai sebagai penyimpanan sesuai kebutuhan. PLTS *hybrid* menjadi sistem paling efektif jika digunakan untuk sistem yang berjalan *real time*. Berikut ini Gambar 2.3 merupakan diagram blok sistem PLTS *hybrid*.



Gambar 2.3 Diagram Blok Sistem PLTS *Hybrid*.

Gambar 2.3 merupakan sistem PLTS *hybrid*. Listrik DC yang dihasilkan modul surya akan masuk ke *solar charge controller* (SCC) sebelum disalurkan ke inverter atau disimpan baterai sesuai kebutuhan. Listrik AC keluaran inverter akan masuk ke *switch controller* yang merupakan tempat kendali dari *grid connected* listrik dari modul surya dan listrik dari PLN sebelum disalurkan ke beban.

2.1.2. Sel Surya

Sel surya adalah komponen elektronik yang dibuat dengan untuk menghasilkan listrik dengan berdasarkan cara kerja sistem *photovoltaic*. Sel surya terbuat berdasarkan irisan-irisan yang terbuat dari bahan semi konduktor seperti silikon yang memiliki *thickness* minimal 0,3 mm. Jika suatu sinar matahari mengenai semi konduktor tersebut, maka pada kutub positif dan kutub negatif muncul perbedaan tegangan antara dua kutub tersebut sehingga menghasilkan arus searah [18].

2.1.3. Modul Surya

Modul surya merupakan alat yang terdiri dari gabungan sel surya. Modul surya terdiri dari beberapa jenis. Efektivitas modul surya berbeda-beda karena menyesuaikan dari jenis bahan modul surya itu sendiri. Berikut ini adalah jenis-jenis modul surya [19].

1. *Monocrystalline*

Modul surya jenis *monocrystalline* terbuat dari batang kristal silikon murni yang diiris sangat tipis. Dibutuhkan suatu teknologi khusus untuk mengiris batangan kristal silikon murni menjadi irisan-irisan kristal silikon yang sangat tipis.

Modul surya jenis ini menjadi paling efisien dibandingkan jenis modul surya lainnya. Efisiensi modul surya ini mencapai 15% s.d. 20%. Sel surya pada modul surya *monocrystalline* juga dikenal sebagai sel-sel kristal tunggal. Modul surya *monocrystalline* berwarna hitam pekat.

2. *Polycrystalline*

Modul surya jenis *polycrystalline* terbuat dari batangan kristal silikon yang dilebur dan hasil leburannya dituang ke dalam cetakan yang berbentuk persegi. Kemurnian batang kristal silikon *polycrystalline* tidak semurni batang silikon *monocrystalline*. Efisiensi *polycrystalline* juga lebih rendah dibanding jenis *monocrystalline*. Efisiensi modul surya jenis ini sekitar 13% s.d. 16%. Modul surya jenis *polycrystalline* juga disebut sebagai *polysilicon* (p-Si) dan multi-kristal silikon (mc-Si). Modul surya *polycrystalline* berwarna biru.

3. *Thin Film Solar Cell*

Modul surya jenis *Thin Film Solar Cell* terbuat dari batang silikon yang dipotong lebih tipis dibanding *monocrystalline* dan *polycrystalline*. Sel surya ini dibuat dengan cara menggabungkan beberapa lapisan material sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasar. Efisiensi modul surya jenis ini paling rendah dibanding jenis modul surya yang lain. Modul surya jenis ini juga dikenal dengan nama *Thin Film Photovoltaic* (TFPV).

2.1.4. Luas Penampang Modul Surya

Modul surya memiliki penampang yang dapat di hitung luasnya dengan mengalikan Panjang dan lebar modul surya tersebut [20]. Luas penampang modul surya dapat dihitung pada persamaan 2.1 merupakan persamaan luar penampang modul surya.

$$A = P \times L \quad (2.1)$$

Keterangan:

A = Luas Penampang Modul Surya (m^2)

P = Panjang Penampang Modul (m)

L = Lebar Penampang Modul (m)

2.1.5. Daya *Input* Modul Surya

Modul surya ketika terkena sinar matahari akan mendapatkan daya yang biasa disebut daya *input*. daya *input* merupakan perkalian antara banyaknya intensitas radiasi matahari dengan luas penampang modul surya [20]. Daya *input* modul surya dapat dihitung pada persamaan 2.2 sebagai berikut.

$$P_{in} = I_r \times A \quad (2.2)$$

Keterangan:

P_{in} = Daya masukan (*Watt*)

I_r = Intensitas Radiasi Matahari ($\frac{Watt}{m^2}$)

A = Luas Penampang Modul Surya (m^2)

2.1.6. Daya *Output* Modul Surya

Modul surya memiliki daya *output* setelah terkena radiasi matahari dengan mengalikan tegangan maksimum dan arus maksimum [20]. Pada persamaan 2.3 merupakan perhitungan daya output.

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out} \quad (2.3)$$

Keterangan:

P_{out} = Daya Keluaran (*Watt*)

V_{out} = Tegangan Keluaran Modul Surya (*Volt*)

I_{out} = Arus Keluaran Modul Surya (*Ampere*)

2.1.7. Faktor Pengisi (*Fill Factor*)

Faktor pengisi atau *fill factor* (FF) adalah parameter yang dalam hubungannya dengan V_{oc} dan I_{sc} , menentukan daya maksimum dari sel surya [20]. Faktor pengisi atau *fill factor* dapat dihitung menggunakan persamaan 2.4 berikut.

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (2.4)$$

Keterangan:

P_{max} = Daya Maksimal (*Watt*)

V_{oc} = Tegangan *Open Circuit* (*Volt*)

I_{sc} = Arus Hubung Singkat (*Ampere*)

2.1.8. Efisiensi Modul Surya

Efisiensi modul surya dapat dihitung menggunakan persamaan 2.5 sebagai berikut.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.5)$$

Keterangan:

η = Efisiensi (%)

P_{out} = Daya Keluaran (*Watt*)

P_{in} = Daya Masukan (*Watt*)

2.2. Sensor Ultrasonik HCSR 04

Sensor ultrasonik HCSR 04 adalah sebuah sensor yang cara kerjanya mendeteksi gelombang dan merubah gelombang menjadi besaran yang dinginkan. Prinsip kerja sensor ultrasonik HCSR 04 yaitu memanfaatkan gelombang suara untuk mengukur jarak suatu objek pada frekuensi tertentu. Sensor ultrasonik HCSR 04 dapat digunakan untuk mengukur jarak objek dari 2 cm s.d. 4 m dengan akurasi 3 mm [21].

2.3. Sensor PZEM 017

Sensor PZEM 017 sensor yang dapat mengukur tegangan DC sampai dengan 300 VDC dan dapat mengukur arus sampai dengan 300 A dengan menggunakan shunt eksternal. PZEM-017 merupakan sensor hasil buatan China dengan kualitas yang sangat baik. Harga PZEM sangat terjangkau di pasaran dan mengkhususkan diri pada produk Metering. Sensor ini dapat mendeteksi tegangan, arus, daya dan energi listrik DC. Semua seri sensor PZEM menggunakan sistem komunikasi RS485 bawaan menggunakan protokol Modbus-RTU yang mirip dengan kebanyakan perangkat industri [22].

2.4. IoT (*Internet of Things*)

IoT (*Internet of Things*) adalah sistem yang cara kerjanya menghubungkan informasi dari sumber informasi, manusia atau perangkat lainnya yang terhubung kedalam sistem melalui jaringan internet. Sistem IoT dapat digunakan untuk mengumpulkan data, menampilkan data, yang dihasilkan dari berbagai objek atau

sensor yang terhubung ke jaringan internet. Sistem IoT juga dapat menjadi sistem kendali untuk sebuah plant sebagai sistem kendali jarak jauh dengan memanfaatkan jaringan internet [23].

2.5. Server Blynk

Server blynk adalah server yang bisa diakses di *website* dan android. Server blynk adalah sistem *platform* data terbuka dan program aplikasi *interface* (API) untuk implementasi sistem IoT. Dengan server ini pengguna dapat mengumpulkan, menyimpan, menganalisis, menampilkan dan bertindak atas pembacaan data sensor dan aktuator. Server blynk dapat bekerja dengan berbagai jenis mikrokontroler. Pengguna server blynk juga dapat memantau program yang ingin diamati, dengan menampilkan data melalui *website* atau android [24].

2.6. Relay

Relay merupakan suatu komponen elektronik yang dapat dikendalikan oleh arus listrik. Relay memiliki kumparan yang dililitkan. Prinsip kerja relay adalah apabila kumparan pada relay mendapatkan sebuah masukan atau sinyal pemicu dari perangkat elektronik lain yang terhubung dengan relay maka relay akan menghubungkan dan memutuskan arus listrik. Relay memiliki dua jenis, yaitu relay mekanis dan SSR (*solid state relay*) [25].

2.7. SCC (*Solar Charge Controller*)

SCC merupakan komponen elektronik yang cara kerjanya mengendalikan tegangan DC yang masuk ke dalam baterai agar tidak terjadinya *overcharge* atau tidak stabilnya tegangan pada baterai. Prinsip kerja SCC yaitu listrik yang dihasilkan dari modul surya, sebelum disalurkan ke dalam baterai, SCC memiliki fungsi untuk mengendalikan pengisian baterai sehingga dalam proses pengisian tersebut dapat memberikan kondisi yang aman terhadap baterai [26].

2.8. Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler ESP32 adalah salah satu jenis mikrokontroler yang diperkenalkan dan dikembangkan oleh *Espressif Systems*. ESP32 adalah

penerus mikrokontroler ESP8266. Mikrokontroler ini dapat di program dengan Arduino IDE. Mikrokontroler ESP32 sudah terdapat modul WiFi dan terhubung ke *Bluetooth Low Energy* (BLE) melalui sebuah chip, sehingga sangat baik dan bisa menjadi pilihan yang optimal untuk membuat sebuah sistem IoT [27].

2.9. Baterai

Baterai berfungsi menyimpan listrik. Terdapat banyak jenis baterai yang dapat digunakan untuk menyimpan listrik. Baterai jenis VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) merupakan jenis baterai yang paling sering digunakan pada sistem PLTS. Baterai jenis VRLA yaitu jenis baterai yang bebas pemeliharaan bertimbang asam. Baterai VRLA terbuat dari beberapa sel yang dirangkai secara seri. Baterai yang paling sering digunakan pada aplikasi sistem *photovoltaic* memiliki tegangan nominal sebesar 12 volt atau 24 volt [28].

2.10. Pompa Air

Pompa air adalah sebuah komponen elektronik yang cara kerjanya menyedot dan mengeluarkan air dari satu media ke media lainnya. Pompa air dapat mengalirkan air dari media rendah sampai ke media yang sejajar atau lebih tinggi. Pompa air bekerja dengan cara diberi masukan energi listrik lalu dirubah menjadi energi mekanik motor yang bertekanan untuk menyedot dan mengeluarkan aliran air. Dengan tekanan tersebut pompa air bisa dipergunakan untuk menyedot dan mengeluarkan air yang ada pada saluran. Pada penelitian ini, pompa air yang digunakan merupakan pompa air DC [29].

2.11. Solenoid Valve

Pada dasarnya solenoid valve merupakan servo dengan sudut 0° sampai dengan 360° yang diintegrasikan dengan katup. Solenoid valve bekerja jika mendapatkan tegangan masukan. Jika mendapat tegangan masukan katup akan terbuka. Jika tidak mendapat tegangan masukan katup akan tertutup [30].

2.12. PID (Proportional, Integral dan Derivatif)

Sistem kendali otomatis diperlukan beberapa parameter pengendalian. Salah satu sistem kendali yaitu sistem PID. Sistem PID memiliki parameter proporsional (P), Integral (I), serta parameter derivatif (D). Fungsi dari parameter proporsional yaitu memberi penguatan (*gain*), dengan penguatan ini hasil keluaran sistem semakin cepat untuk sampai target. Kemudian, fungsi dari parameter integral yaitu mengeliminasi atau mengurangi adanya kesalahan keadaan tunak (*offset*). Dan yang terakhir, fungsi dari parameter kendali derivatif adalah memberikan peredaman dan dengan ini dapat mengatasi lonjakan disebabkan parameter integral dan parameter. Sistem kendali PID mampu merespon sistem dengan cepat dan mencapai respon steady state error seminimal mungkin. Rumus persamaan pengendali PID dapat dilihat pada Persamaan 2.6 berikut [31].

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.6)$$

Keterangan:

$u(t)$: *Output* sistem kendali

$e(t)$: Nilai *error*

K_p : Konstanta proporsional

K_i : Konstanta integral

K_d : Konstanta derivatif

Berikut ini tabel 3.1 karakteristik respon parameter terhadap respon sistem kendali PID.

Tabel 2.1 Karakteristik Sistem Kendali PID

<i>Controller</i>	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling Time</i>	<i>Error Steady State</i>
K_p	Mengurangi	Meningkat	Perubahan kecil	Mengurangi
K_i	Mengurangi	Meningkat	Meningkat	Menghilangkan
K_d	Perubahan kecil	Mengurangi	Mengurangi	Perubahan kecil

Rise Time adalah waktu pengisian dari awal sampai respon mencapai nilai *set point* atau mendekati *set point*. Berikut Persamaan 2.7 untuk menghitung *rise time*.

$$Rise\ Time = t - 1 \quad (2.7)$$

Keterangan:

Rise Time : Waktu pengisian (s)

t : Waktu pertama kali saat nilai sama atau mendekati set point (s)

Over Shoot adalah nilai selisih antara nilai lonjakan tertinggi sebuah respon dengan nilai *set point* yang udah ditentukan. Berikut Persamaan 2.8 untuk menghitung *over shoot*.

$$Over\ Shoot = \frac{h\ maksimal - h\ stabil}{h\ stabil} \times 100\% \quad (2.8)$$

Keterangan:

Over Shoot : Nilai kesalahan antara puncak respon dengan *set point* (cm)

h maksimal : Nilai puncak respon (cm)

h stabil : nilai respon stabil (cm)

Settling time adalah waktu saat nilai respon mencapai titik stabil atau selalu mendekati nilai *set point*. Berikut Persamaan 2.9 untuk menghitung *settling time*.

$$Settling\ Time = t - 1 \quad (2.9)$$

Keterangan:

Settling Time : Waktu saat mencapai respon stabil (s)

t : Waktu pertama kali saat respon stabil (s)

Error Steady State adalah nilai kesalahan antara nilai respon aktual dengan nilai *set point*. Berikut ini Persamaan 2.10 untuk menghitung *errot steady state*.

$$Error\ Steady\ State = h\ stabil - Set\ Point \quad (2.10)$$

Keterangan:

Error Steady State : Selisih nilai respon stabil dengan *set point* (cm)

h stabil : Nilai respon stabil (cm)

Set Point : Target respon (cm)

2.13. Kajian Pustaka

Pada bagian ini berisikan rangkuman penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan penelitian ini tentang Pemanfaatan Sistem PLTS Untuk Pengisian Air Otomatis Pada Tandon Berbasis IoT. Berikut ini penelitian yang menjadi landasan dari penelitian ini.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Ananda I. K., I. Husnaini dan J. Hamka [32]. Melakukan *monitoring* level air pada tambak udang dengan sensor ultrasonik berbasis IoT. Tujuan dari *monitoring* ini yaitu menjaga ketinggian air pada tambak udang. *Monitoring* ini dilakukan secara real time, *monitoring* ini mendapat presentase eror 0.1 %. Metode *monitoring* ini memanfaatkan prinsip kerja sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air pada tambak udang. Kemudian untuk visual *monitoring* level air memanfaatkan sistem *Internet of Things* (IoT).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Kalbii A. T. dan N. Kholis [33]. Melakukan sistem *monitoring* air pada tangki berbasis IoT. Sistem *monitoring* dilakukan untuk mengendalikan pompa air yang dilakukan secara otomatis dan manual. Pengukuran ketinggian dengan penggunaan metode *pulse in* menghasilkan nilai kesalahan 5,92 %, penggunaan metode ping cm menghasilkan nilai kesalahan 2,36 %, dan penggunaan metode ping median menghasilkan nilai kesalahan 4,73%.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Daulay A. M., A. Bintoro, D. Muchlis [34]. Melakukan *automatic water level control* pada tandon air. Tujuan penelitian ini yaitu mengendalikan level air pada tandon menggunakan mikrokontroler arduino uno dan menggunakan sensor ultrasonik untuk pendeteksi level air serta dilengkapi dengan alarm *buzzer* yang berfungsi untuk memberikan tanda ketika air penuh ataupun kosong. Alat yang dibuat dalam penelitian menggunakan fitur LCD untuk menampilkan indikator ketinggian air yang ada di dalam tandon. Penelitian ini mendapat presentase eror sebesar 1.92 %.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Anam K., dan A. Fathoni Rodli [35]. Mendeteksi ketinggian air menggunakan pompa bergerak motor BLDC berbasis mikrokontroler. Prinsip kerjanya yaitu untuk sistem kendali *on* dan *off* pompa air. Saat penampungan air kosong relay akan menyalakan pompa air dan saat penampungan air penuh relay akan mematikan pompa air. Pengisian air ke dalam wadah penampung juga diatur berdasarkan level air yang diinginkan menyesuaikan kebutuhan. Sensor yang digunakan untuk mendeteksi ketinggian air adalah sensor ultrasonik HCSR 04. Untuk mengendalikan pompa supaya bekerja otomatis, penggunaan relay dijadikan sebagai alat untuk mengendalikan pompa. Hasil aktual *water level* yang terbaca akan ditampilkan pada LCD. *Monitoring* ini mendapat presentase eror 0,9 %.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Monda, H. T. dan P. Santi Rudati [36]. Melakukan sistem *monitoring* daya pada baterai Tujuan penelitian ini untuk mengetahui jumlah daya yang ada pada baterai secara *real time*. Pada penelitian ini sensor INA 219 digunakan untuk mendeteksi daya listrik pada baterai. Pembacaan data oleh sensor INA219 mendapat nilai kesalahan 4.42%