

BAB II

KERANGKA TEORITIK, KERANGKA BERPIKIR DAN HIPOTESIS

PENELITIAN

2.1. Kerangka Teoritik

2.1.1. Definisi Prototipe

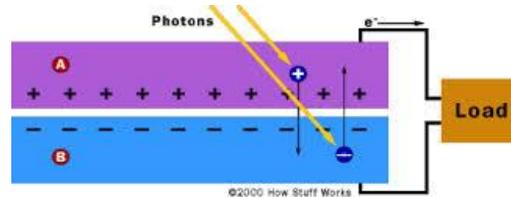
Prototipe merupakan istilah yang dipakai untuk menyebutkan sebuah model yang dipakai sebagai contoh atau model mula-mula⁵. Dalam memproduksi suatu barang atau sistem umumnya produsen membuat dahulu prototipenya, sebuah produk model untuk dijadikan acuan dalam memproduksi produknya. Prototipe harus lulus serangkaian uji coba yang sesuai dengan standart ketentuan karena nantinya barang tiruannya yang diproduksi masalpun diasumsikan memiliki keandalan yang sama karena dibuat identik dengan prototipenya.

2.1.2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya atau disingkat PLTS merupakan sebuah sistem pembangkit listrik yang menggunakan panel surya sebagai penghasil energi listriknya. Sejarah PLTS tidak terlepas dari penemuan teknologi sel surya berbasis silicon yang dibentuk dengan susunan PN *Junction* pada tahun 1941. Ketika itu Russell Ohl dari Bell Laboratory mengamati silicon polikristalin yang apabila berkas cahaya (foton) mengenai salah satu sisi *junction*, maka akan

⁵ Kamus Besar Bahasa Indonesia, Pusat Bahasa Departemen Pendidikan Nasional Jakarta, 2008. Hal 1286

terbentuk beda potensial di antara *junction*, dimana electron dapat mengalir bebas.



Gambar 2.1 Lapisan PN Jungtion

Sejak itu penelitian untuk meningkatkan efisiensi konversi energi cahaya menjadi energi listrik semakin intensif dilakukan. Kondisi alam Indonesia yang mempunyai intensitas kemataharian yang cukup terik dalam jangka waktu yang lama tiap harinya dengan total intensitas penyinaran rata-rata 4,8 kWh per meter persegi perhari⁶ merupakan kondisi alam yang cocok untuk penerapan PLTS. Namun pembangunan PLTS di Indonesia belumlah cukup optimal, tercatat data Ditjen Listrik dan Pengembangan Energi pada tahun 1997, kapasitas terpasang listrik tenaga surya di Indonesia mencapai 0,88 MW dari potensi yang tersedia $1,2 \times 10^9$ MW.

Diantara beberapa Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia tersentralisasi yang memiliki skala besar antara lain adalah⁷ :

1. PLTS di Kabupaten Karang asem, Bali dengan kapasitas 1 MW.
2. PLTS di Kabupaten Bangli, Bali dengan kapasitas 1 MW.

⁶ U.S. Department of Commerce, Op.cit, hlm. 6.

⁷ Alamendah.org,daftar PLTS di Indonesia, diakses dari <http://alamendah.org/2014/12/08/pembangkit-listrik-tenaga-surya-di-indonesia/> pada 17 Desember 2015 pukul 16:48WIB

3. PLTS di Pulau Gili Air (NTB) dengan kapasitas 160 kWp.
4. PLTS di Pulau Gili Meno (NTB) dengan kapasitas 60 kWp.
5. PLTS di Pulau Gili Trawangan (NTB) dengan kapasitas 600 kWp.
6. PLTS Raijua (Kabupaten Sabu Raijua, NTT) dengan kapasitas 150 kWp.
7. PLTS Nule (Kab. Alor, NTT) dengan kapasitas 250 kWp.
8. PLTS Pura (Kab. Alor, NTT) dengan kapasitas 175 kWp.
9. PLTS Solor Barat (Kab. Flores Timur, NTT) dengan kapasitas 275 kWp.
10. PLTS Morotai (Maluku Utara) dengan kapasitas 600 kWp.
11. PLTS Kelang (Maluku) dengan kapasitas 100 kWp.
12. PLTS Pulau Tiga (Maluku) dengan kapasitas 75 kWp.
13. PLTS Banda Naira (Maluku) dengan kapasitas 100 kWp.
14. PLTS Pulau Panjang (Maluku) dengan kapasitas 115 kWp.
15. PLTS Manawoka (Maluku) dengan kapasitas 115 kWp.
16. PLTS Tioor (Maluku) (Maluku) dengan kapasitas 100 kWp.
17. PLTS Kur (Maluku) dengan kapasitas 100 kWp.
18. PLTS Kisar (Maluku) dengan kapasitas 100 kWp.
19. PLTS Kabaena (Sulawesi Tenggara) dengan kapasitas 200 kWp.

20. PLTS di Pulau Medang, Sekotok, Moyo, BajoPulo, Maringkik, dan Lantung dengan total kapasitas 900 kWp.



Gambar 2.2. PLTS Kabaena (Sulawesi Tenggara) dengan kapasitas 200 kW

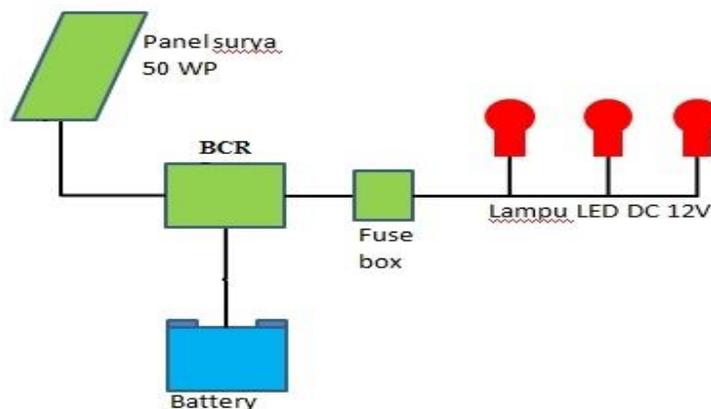
Melalui Perusahaan Listrik Negara (PLN), Indonesia masih berusaha menambah jumlah Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia. Baik menambah jumlah pembangkitnya maupun kapasitas listrik yang dihasilkannya. PLTS-PLTS baru tersebut akan dibangun di pulau-pulau kecil Indonesia.

Beberapa hal yang sangat utama dalam perancangan sebuah sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya selain factor perencanaan dan perawatannya adalah penentuan unsur subsistemnya. Beberapa unsur subsistem utama dalam pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya diantaranya adalah :

1. Panel Surya, sebagai penghasil beda potensial (energi listrik).
2. Baterai, Sebagai komponen penyimpan energi listrik dan sebagai pengganti penyedia energi listrik pada saat panel surya tidak menghasilkan energi listrik.

3. BCR (Baterai Control Regulator) sebagai monitoring dan controlling dari pengisian listrik ke baterai agar baterai dapat bekerja optimal dan pengguna dapat memantau kondisi PLTS nya.
4. Intensitas Matahari, merupakan sebuah unsur yang harus diperhatikan dalam membangun sebuah PLTS karena menyangkut ketersediaan sumber energi. Intensitas matahari berkaitan dengan kuat radiasi matahari yang berbeda di tiap wilayah dan di tiap waktu dengan satuan W/m^2 .

Walaupun sebuah PLTS dapat disebut ramah lingkungan dan *Maintenance Free*, namun dalam pelaksanaannya sebuah PLTS juga perlu pengecekan dan perawatan apabila terjadi gagal sistem ataupun ada perangkat yang rusak. Karena apabila sebuah subsistem rusak atau gagal maka dapat merusak subsistem yang lainnya. Berikut adalah penjelasan singkat tentang rangkaian PLTS melalui blok diagram instalasinya.



Gambar 2.3. Blok Diagram Wiring PLTS

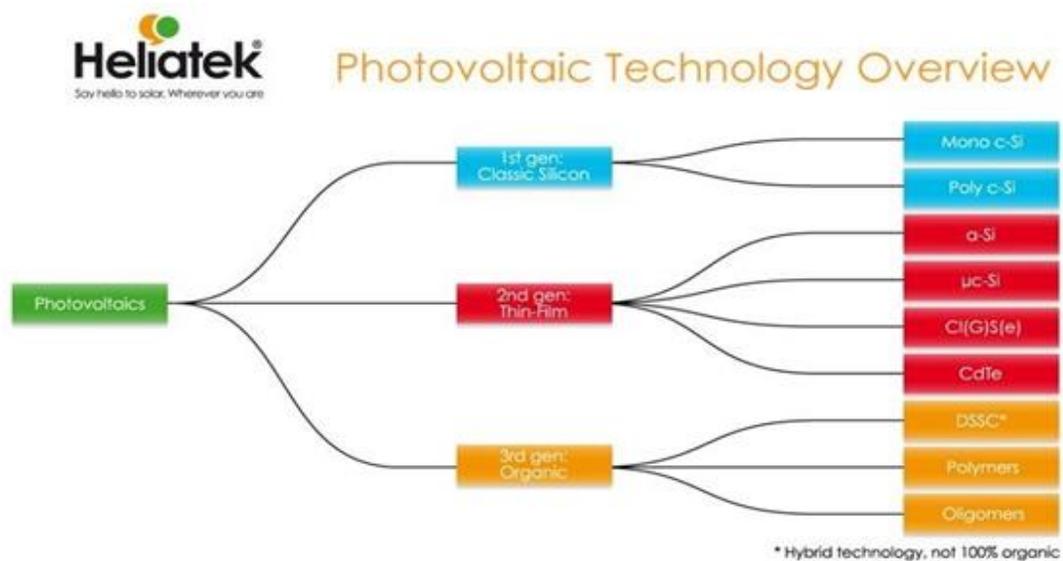
Pada gambar 2.3 Sumber energi merupakan sebuah panel surya tunggal, walaupun pada suatu kondisi nilai dayanya ingin ditambah maka panel surya dapat di pasang paralel untuk meningkatkan nilai arus dan dapat dipasang seri untuk meningkatkan nilai tegangan. BCR yang digunakan sesuai dengan kebutuhan, apabila ingin ada peningkatan daya maka kapasitas BCR harus disesuaikan. Baterai berfungsi sebagai penyimpan energi listrik dan pengganti suplay listrik apabila panel surya tidak mendapatkan cukup cahaya. Perhitungan kapasitas baterai haruslah tepat dan diberi toleransi karena apabila kapasitas terlalu kecil maka baterai akan cepat habis dan apabila terlalu besar harga baterai juga cukup mahal. *Fuse box* atau kotak pengaman dipakai untuk menjaga apabila ada arus berlebih ataupun hubung singkat dibeban yang menyebabkan lonjakan arus teralu tinggi dan dapat menyebabkan bahaya pada sistem maka Fuse akan memutus aliran listrik untuk mengamankan rangkaian.

2.1.2.1. Panel Surya

Panel Surya merupakan sebuah modul penghasil energi listrik yang tersusun dari modul – modul kecil sel fotovoltaiik, sedangkan fotovoltaiik itu sendiri adalah sebuah sel yang dapat mengubah berkas foton yang terdapat pada cahaya menjadi sebuah beda potensial atau energi listrik. Sel fotovoltaiik efek fotolistrik ini pertama kali dicatat oleh seorang fisikawan Perancis, Edmund Bequerel, pada tahun 1839, yang menemukan bahwa bahan-bahan

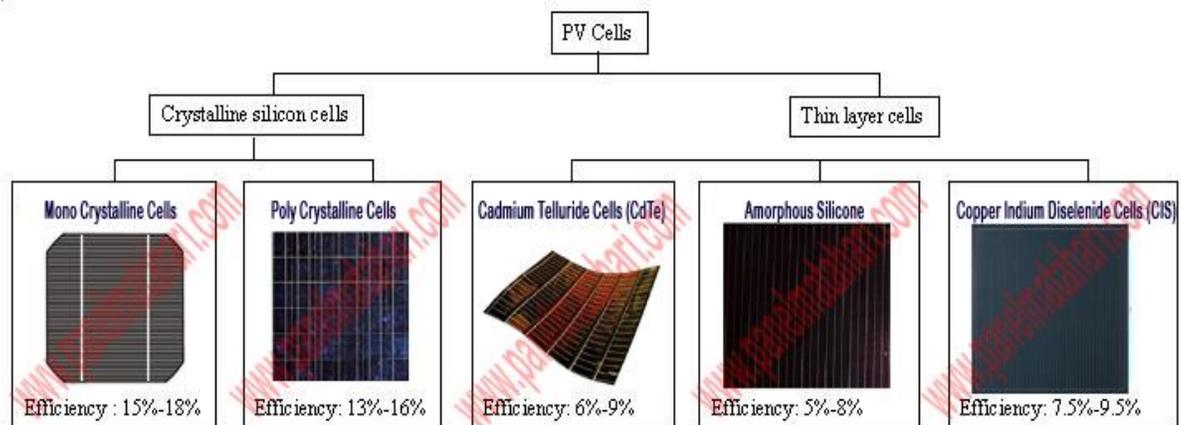
tertentu akan menghasilkan sejumlah kecil arus listrik ketika terkena cahaya. Pada tahun 1905, Albert Einstein menggambarkan sifat cahaya dan efek fotolistrik yang berbasis teknologi fotovoltaik sedangkan modul fotovoltaik pertama dibangun oleh Bell Laboratories pada tahun 1954.

Perkembangan sel fotovoltaik dalam tujuan menciptakan sel yang paling efisien dan ramah lingkungan dalam menghasilkan energi listrik cukup cepat, sampai sekarang terhitung sudah mencapai generasi ketiga. Berikut adalah klasifikasi yang dikeluarkan oleh perusahaan Heliatek asal German pengembang modul sel fotovoltaik⁸.



Gambar 2.4. Perkembangan sel Photovoltaic

⁸ donmiguel-62.dreamwidth.org, Perkembangan Sel Photovoltaic, diakses dari <https://donmiguel-62.dreamwidth.org/tag/> pada 2 Januari 2015 pukul 17:15WIB

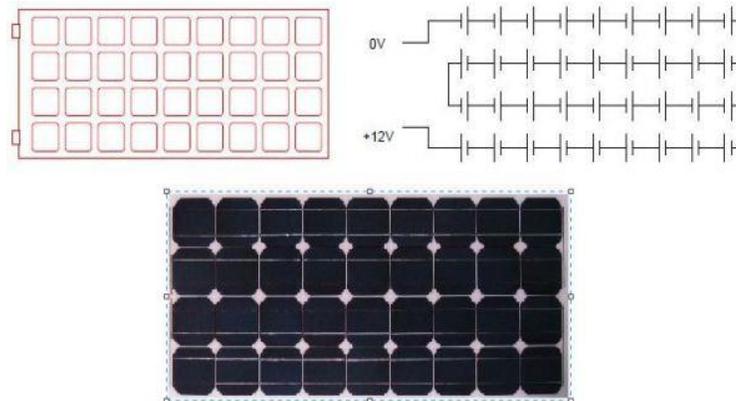


Gambar 2.5. Klasifikasi Sel Photovoltaik

Dalam aplikasinya generasi pertama dan kedua yang masih paling banyak diproduksi dan digunakan, pemilihan jenis panel surya ditentukan berdasarkan kebutuhan listrik dan luas lebaran yang dimiliki untuk penempatan panel surya, karena tiap jenis memiliki karakteristik yang berbeda dalam jumlah daya listrik yang dihasilkan dan biaya yang harus dikeluarkan. Proses Pembangkitan Tegangan Pada Solar Cell Tegangan yang dihasilkan oleh sensor fotovoltaik adalah sebanding dengan frekuensi gelombang cahaya (sesuai konstanta Plank $E = h.f$)⁹. Ketika disinari, umumnya satu sel surya komersial menghasilkan tegangan dc sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus short-circuit dalam skala milliampere per cm^2 . Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya. Satu modul surya biasanya terdiri dari 28-36 sel surya, dan total menghasilkan tegangan dc sebesar ± 12

⁹ Wahyudi Budi Pramono, ST, "Economic Smart Battery Charger", Teknik Elektro UII Yogyakarta, 2007, hal.5

Volt dalam kondisi penyinaran standar (Air Mass 1.5). Modul surya tersebut bias digabungkan secara parallel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus outputnya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu. Gambar dibawah menunjukkan ilustrasi dari modul surya.



Gambar 2.6. Susunan sel fotovoltaik menjadi modul panel surya

Susunan diatas dapat menyebabkan beda potensial yang dihasilkan sekitar 20 volt ketika mendapataka sumber cahaya yang besar, oleh karena itu kita harus mengetahui karakteristik jenis - jenis panel surya sebelum merancang seuah PLTS. *Lifetime* sebuah PLTS cukup lama, bahkan bias mencapai 20 tahun. Tetapi perawatan tetap harus dlakukan bukan hanya untuk menjadi lebih awet tetapi juga agar performa panel surya dalam menghasilkan listrik dapat berjalan baik. Perawatan sebuah panel surya meliputi pembersihan lapisan kaca/plastic yang menempel pada sel Photovoltaik. Pembersihan pada baut terminal ataupun body yang biasanya berkarat. Penggantian kabel yang biasanya menjadi rapuh karena faktor cuaca.



Gambar 2.7. Nameplat Modul Panel Surya

Spesifikasi dari sebuah modul panel surya dapat kita lihat pada nameplat yang terempel pada setiap produk, Gambar 2.7. menunjukkan contoh sebuah nameplat dari produk modul panel surya. Pada umumnya informasi yang diberikan antara lain.

1. Nominal Power

Daya yang dapat dihasilkan oleh sebuah modul panel surya pada keadaan optimal, daya bias naik turun sesuai tingkat cahaya yang didapatkan.

2. Nominal Arus

Arus yang dapat dialirkan oleh panel surya pada saat bekerja pada sebuah beban listrik.

3. Tegangan Nominal

Beda potensial yang dapat dihasilkan oleh sebuah panel surya pada saat bekerja pada sebuah beban listrik.

4. *Short Circuit Current*

Arus yang timbul akibat hubungan langsung kutub positif dan negative tanpa beban.

5. *Open Circuit Voltage*

Beda potensial antara kutub positif dan negative pada saat tidak ada beban.

6. *Cell Type*

Jenis Sel Photovoltaik yang digunakan pada modul panel surya.

7. Maksimum Tegangan Sistem

Tegangan yang mampu dialirkan oleh penggabungan secara seri beberapa modul panel surya.

2.1.2.2. Baterai

Baterai merupakan alat untuk menghimpun atau membangkitkan aliran listrik¹⁰. Baterai dapat mengeluarkan listrik dari reaksi kimia yang ada didalamnya. Baterai pertama tercatat ditemukan oleh Alessandro Volta pada awal tahun 1800an yaitu saat Volta menumpuk lapisan logam yang berbeda pada kondisi lembab (note). Perkembangan baterai banyak berkembang bersamaan dengan percobaan – percobaan percampuran unsur kimia yang dapat menambah efisiensi sebuah baterai.

¹⁰ Anonim, “*Baterai*”, Wikipedia, diakses dari <http://www.wikipedia.org/wiki/Baterai>, pada tanggal 12 Oktober 2015.

Hal – hal yang perlu diketahui tentang baterai dari unsur pembentuk, sifat serta peruntukannya antara lain :

a. Jenis Baterai

1. Baterai Primer

Baterai Primer merupakan baterai yang apabila sudah habis energinya maka tidak dapat diisi ulang untuk menampung energi listrik kembali.

2. Baterai Skunder

Baterai Skunder merupakan baterai yang apabila sudah habis energinya maka dapat diisi ulang untuk menampung energi listrik kembali.



Gambar 2.8. Baterai Primer



Gambar 2.9. Baterai Skunder

Sedangkan pada aplikasi PLTS baterai yang paling cocok digunakan adalah baterai skunder dengan daya tahan tinggi dan dengan sifat bebas perawatan (*Maintenance Free*) dan yang tersedia dipasaran adalah Baterai VLRA (*Valve Regulated Lead Acid*). Yang merupakan baterai skunder dengan kehandalan tinggi dan mempunyai katup pengaman otomatis untuk membuang gas jika terjadi reaksi kimia didalamnya.



Gambar 2.10. Baterai VLRA untuk PLTS

b. Kapasitas Baterai

Ukuran besaran energi listrik yang bias dihasilkan oleh sebuah baterai biasanya dinyatakan dalam satuan AH/mAH (*Ampere Hour/ mili Ampere Hour*). Satuan tersebut diartikan sebagai kapasitas listrik yang tersimpan pada sebuah baterai yang merujuk pada kemampuan baterai tersebut dalam menyuplai energi listrik (dalam satuan Ampere) selama periode waktu tertentu (dalam satuan jam) sampai arus listriknya habis.

c. Cycle Life

Kemampuan rechargeable (dapat diisi ulang) sebuah baterai. Berapa kali baterai tersebut dapat diisi ulang. Cycle Life otomatis hanya dimiliki oleh baterai sekunder. Tiap jenis baterai memiliki Cycle life berbeda – beda, perlakuan terhadap baterai juga dapat mempengaruhi Cyce Life.

d. Cut off Voltage

Batas tegangan terendah baterai yang masih bisa menghasilkan arus listrik. Di bawah tegangan ini baterai tidak akan berfungsi lagi. Besarnya tegangan *cutoff* ini berbeda-beda untuk tiap jenis baterai. Dikenal juga dengan istilah *End-point Voltage*.

e. DOD (Depth of Discharge)

Nilai yang menunjukkan besarnya arus listrik yang telah digunakan, dihitung dalam persen. Kebalikan dari DOD adalah SOC (*State of Charge*), besarnya arus listrik yang tersisa setelah dipakai.

f. Open-Circuit Voltage

Nilai tegangan yang didapatkan pada pengukuran sebuah baterai yang tidak dihubungkan ke beban/perangkat

g. Self Discharge

Kondisi dimana baterai akan tetap membuang arus listriknya sendiri walau dalam keadaan tanpa beban atau tidak dipakai. Hal ini disebabkan adanya reaksi kimia internal dari baterai tersebut. Ini memang salah satu dari karakteristik baterai.

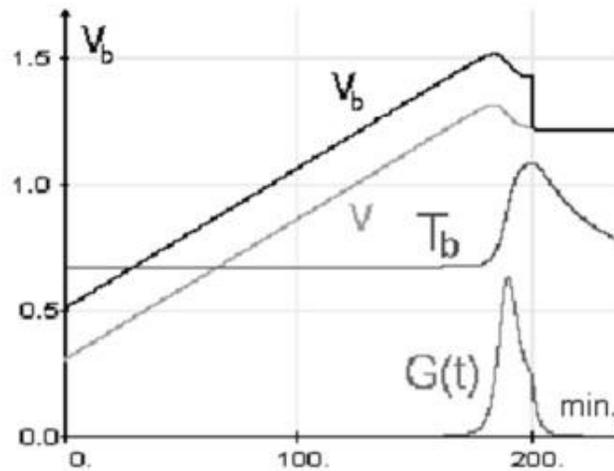
h. Pengisian Baterai

Baterai skunder yang memiliki kemampuan untuk di isi ulang memiliki karakteristik pengisian yang berbeda beda. Ada yang menggunakan metode tegangan tetap, ada arus tetap, ataupun PWM. Hal itu dikarenakan sifat dari sel kimia pembentuknya mempunyai karakteristik yang berbeda – beda. Namun baterai yang bersifat basah umumnya dipakai untuk panel surya (bukan jenis cadmium/lithium) memiliki cara pengisian tegangan tetap dengan metode alir arus *Fast Charging* ataupun normal. Tegangan menentukan arah arus, dan besar arus menentukan lama pengisian. Sesuai teori bahwa maksimal arus yang dapat diterima oleh suatu baterai adalah 25% dari total Ah nya¹¹. Hal tersebut agar baterai tidak menerima arus terlalu besar dan tidak mengurangi umur baterai.

Sebuah baterai merupakan alat yang mempunyai sifat dan karakteristik yang dapat berubah ssuai dengan waktu pemakaian, cara pemakaian maupun faktor lingkungan pemakaian. Oleh karena itu pengukuran kapasitas baterai merupakan hal yang cukup rumit karena konstanta baterai akan terus berubah – ubah sesuai faktor – faktor diatas. Hal yang paling mudah dalam mengukur kapasitas baterai adalah dengan cara mengukur tegangannya, karena sebuah sel baterai pada umumnya akan menurun secara linear maupun tidak nilai beda potensialnya ketika

¹¹ TR Crompton, *Battery Reference Book*, London, Penerbit Butterworth ,1990, *Part1* hal 27

nilai muatannya pun berkurang. Begitu juga ketika nilai muatannya naik, maka beda potensialnya pun akan naik sampai batas akhir maksimal beda potensial sebuah sel baterai dan energy yang masuk ketika sudah sampai batas penuh sebagiannya akan berubah menjadi panas.



Gambar 2.11. Grafik Pengisian Baterai

Gambar 2.11. menunjukkan pada saat kondisi baterai sudah penuh maka tegangan baterai akan konstan dan kelebihan energy proses charge akan berubah menjadi panas yang ditunjukkan pada fungsi $G(t)$ ¹².

¹² Didik Sukoco, Tesis, *Rancang Bangun Sistem Pengendalian Dan Monitoring Baterai Dengan Algoritma Numerik Untuk Sumber Energi Terbarukan*, Teknik Elektro FT UI, 2012, Hal 15

2.1.2.3. BCR (Baterai Control Regulator)

BCR (*Baterai Control Regulator*), BCU (*Baterai Control Unit*) atau *Solar Charge Controller* merupakan sebuah alat elektronik yang biasa dipakai pada sistem PLTS, bekerja untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban¹³. BCR juga dapat memonitor tegangan ataupun arus pengisian Baterai pada sebuah sistem PLTS. BCR menjadi penting karena sebuah sistem PLTS membutuhkan pengontrol pengisian baterai serta alat pengaman jika terjadi ketidak stabilan sistem apalagi PLTS mempunyai beban alir arus yang cukup besar dan dapat berbahaya apabila terjadi salah atau kegagalan sistem dalam penggunaannya. Berkembangnya BCR membuat pengontrolan bukan hanya pada pengisian baterai tetapi juga pada beberapa fungsi lain seperti halnya mode control, timer, indikator suhu dll. Pada umumnya sebuah BCR mempunyai 6 terminal dengan 3 arah hubungan, 2 terminal untuk Input Panel Surya, 2 Terminal untuk Output Baterai dan 2 Terminal untuk Output beban listrik.

Pemilihan sebuah BCR pada sebuah sistem PLTS menyesuaikan dengan kebutuhannya, faktornya adalah jenis beban dan besar arus yang akan dialirkan. Berikut pembagian jenis – jenis BCR 5 :

¹³ Solarpanelindonesia.wordpress, BCR, BCU atau *Solar Charge Controller*, diakses dari <https://solarpanelindonesia.wordpress.com/komponen/battery-control-unitbcubcr/> pada 31 Desember 2015 pukul 05:39 WIB

1. Shunt

Shunt PV controller diciptakan untuk sistem yang sangat kecil. Mereka menghindari pengisian ulang yang berlebihan dengan shunting atau sirkuit/lingkaran pendek solar cells saat baterai sudah terisi penuh. Shunt controller mengawasi tegangan baterai dan mengalihkan arus dari solar cells melalui power transistor saat nilai pre-set tegangan tercapai. Transistor bertindak sebagai resistor dan mengubah arus dari solar cells menjadi panas. Shunt controller memiliki heat sinks untuk membantu menghilangkan produksi panas. Shunt controller juga memiliki blocking diode untuk menghindari arus dari arus balik dari baterai ke solar cells pada malam hari. Shunt controller adalah desain yang sederhana dan tidak mahal. Kelemahannya adalah keterbatasan dalam kapasitas muatan dan persyaratan ventilasi¹⁴.

2. Single Stage

Single stage controller menghindari pengisian baterai secara berlebihan dengan mematikan sakelar dari solar cells ketika tegangan baterai mencapai nilai yang telah ditentukan. Di luar dari nilai tersebut, arus dari solar cells akan mengisi baterai. Single stage controller menggunakan relay atau transistor untuk memutuskan aliran arus pada saat pengisian baterai dan menghindari arus balik pada malam hari, dari baterai ke solar cells. Single

¹⁴ *Ibid.*

stage controller ini kecil dan tidak mahal, dan mempunyai kapasitas muatan yang lebih besar dari tipe shunt. controller¹⁵.

3. *Diversion*

BCR Diversion ini otomatis mengatur arus yang mengalir ke baterai dengan memonitor tegangan baterai yang sedang diisi, arus yang berlebih dialihkan ke resistor load. Arus dari Panel Surya dapat mengalir ketika tegangan baterai rendah. Saat baterai mendekati penuh, controller mengalihkan sebagian arus ke muatan resistors¹⁶.

4. *Pulse width Modulation (PWM)*

BCR PWM adalah pengontrol yang saat ini tersedia di pasaran. seperti namanya menggunakan ‘lebar’ pulse dari on dan off elektrik, sehingga menciptakan seakan-akan sine wave electrical form. Lamanya arus pulse yang sedang diisi ulang secara perlahan-lahan berkurang sebagaimana tegangan baterai meningkat, mengurangi rata-rata arus ke dalam baterai¹⁷.



Gambar 2.12. BCR PJU



Gambar 2.13. BCR Rumah Tinggal

¹⁵ *Ibid*,

¹⁶ *Ibid*,

¹⁷ *Ibid*,

BCR merupakan komponen PLTS yang sangat riskan dan tidak boleh terjadi kesalahan pada kinerjanya, oleh karena itu harus selalu dilakukan pengecekan. Apabila sebuah BCR bermasalah otomatis pengisian baterai terganggu dan akan mengurangi *lifetime* dari sebuah baterai yang harganya cukup mahal. BCR yang bagus juga dapat mengatur stabilitas tegangan dari sumber yang menuju output agar beban mendapatkan tegangan yang stabil dan terhindar dari kerusakan akibat tidak stabilnya tegangan listrik. Oleh karena itu BCR terus mengalami perkembangan, dari segi design, kemampuan antar arus, teknologo control, sistem pengaman arus berlebih maupun *interfacenya*. Dalam hal ini penulis mengambil judul penelitian BCR karena sesuai dengan disiplin Ilmu penulis dan memang penulis rasa tepat guna untuk meneliti tentang BCR karena fungsinya yang begitu penting dalam sebuah PLTS.

2.1.2.4. Intensitas Matahari

Indonesia yang merupakan daerah tropis mempunyai potensi energi matahari sangat besar dengan rata-rata 4,5 - 4,8 KWh/m²/hari. Namun tiap daerah tetaplah mempunyai potensi yang berbeda ditiap waktunya. Untuk itu dalam merancang sebuah PLTS dibutuhkan juga data mengenai sumber energi tersebut dalam hal ini adalah data intensitas matahari/insolasi. Istilah insolasi berasal dari kata insolation, yaitu singkatan dari "*Incoming Solar Radiation*" yaitu radiasi matahari yang diterima oleh permukaan bumi persatuan luas dan satuan waktu.

Tabel 2.1. Insolasi matahari untuk Jakarta dan sekitarnya(Sumber BPPT, 2013)

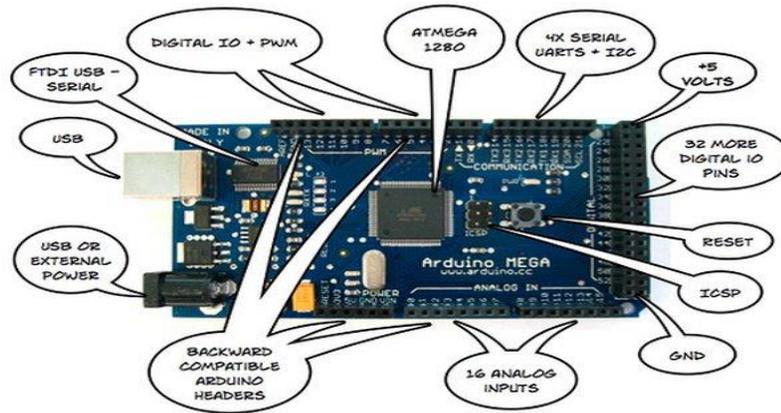
No	BULAN	INSOLASI MATAHARI
1	JANUARI	3.91
2	FEBRUARI	4.03
3	MARET	4.48
4	APRIL	4.62
5	MEI	4.37
6	JUNI	4.17
7	JULI	4.44
8	AGUSTUS	4.48
9	SEPTEMBER	5.05
10	OKTOBER	4.85
11	NOVEMBER	4.43
12	DESEMBER	4.21
13	rata-rata	4.42

Data diatas dapat dipakai sebagai refrensi penentuan jumlah panel surya yang dibutuhkan dalam memenuhi kebutuhan daya beban. Makin tinggi skala Insolasi, makin besar intensitas radiasi yang diperoleh dan tentunya akan menambah produksi daya listriknya pula.

2.1.3. Arduino

Arduino jenis mikrokontroler pengendali mikro papan tunggal yang bersifat open-source pada programnya, diturunkan dari Wiring platform, dirancang untuk memudahkan aplikasi elektronik dalam berbagai bidang khususnya automasi.

Hardwarenya memiliki prosesor Atmel AVR dan softwarenya memiliki bahasa pemrograman sendiri.¹⁸



Gambar 2.14. Bagian – bagian Arduino

kehadiran Arduino menjadi sangat populer di seluruh dunia, banyak pemula yang belajar mengenal robotika dan elektronika lewat Arduino karena mudah dipelajari serta harganya yang cukup terjangkau. Tapi tidak hanya pemula, para hobbyist atau profesionalpun ikut senang mengembangkan aplikasi elektronik menggunakan Arduino. Bahasa yang dipakai dalam Arduino bukan assembler yang relatif sulit, tetapi bahasa C yang disederhanakan dengan bantuan pustaka-pustaka (libraries) Arduino. Arduino juga menyederhanakan proses bekerja dengan mikrokontroler, sekaligus menawarkan berbagai macam kelebihan antara lain:

3. Murah; Papan (perangkatkeras) Arduino biasanya dijual relatif murah (antara 125ribu hingga 400 ribuan rupiah) dibandingkan dengan platform mikrokontroler pro lainnya.

¹⁸ Wikipedia “Arduino”, Wikipedia.org, diakses dari , <http://id.wikipedia.org/wiki/Arduino>, pada 4 februari 2015

4. Tidak hanya cocok untuk Windows, namun juga cocok bekerja diLinux. Sederhana dan mudah pemrogramannya;
5. Arduino berbasis pada pemrograman Processing, sehingga para pengguna arduino dapat melakukan kreatifitas dan ujicoba dengan berbagai proyek sesuai dengan kebutuhan. Arduino juga didukung dengan penyediaan produk modul – modul elektronika pendukung sistem.
6. Perangkat lunaknya Open Source; Perangkat lunak Arduino IDE dipublikasikan sebaga Open Source, tersedia bagi para pemrogram berpengalaman untuk pengembangan lebih lanjut. Bahasanya bisa dikembangkan lebih lanjut melalui pustaka-pustaka C++ yang berbasis pada Bahasa C untuk AVR.
7. Perangkat kerasnya Open Source; Perangkat keras Arduino berbasis mikrokontroler ATMEGA8, ATMEGA168, ATMEGA328 dan ATMEGA 1280 (yang terbaru ATMEGA 2560).



Gambar 2.15. Macam Arduino

2.1.3.1. Arduino Mega

Mikrokontroler bisa dikatakan sebagai suatu mikroprosesor plus. Mikrokontroler adalah otak dari suatu sistem elektronika seperti halnya mikroprosesor sebagai otak komputer. Nilai plus bagi mikrokontroler adalah terdapatnya memori dan Port Input/Output dalam suatu kemasan IC yang kompak. Kemampuannya yang programmable, fitur yang lengkap (ADC internal, EEPROM internal, Port I/O, Komunikasi Serial, dll), dan juga harga yang terjangkau memungkinkan mikrokontroler digunakan pada berbagai sistem elektronis, seperti rumah tangga. Pengendali mikro (mikrokontroler) adalah sistem mikroprosesor lengkap yang terkandung di dalam sebuah chip. Mikrokontroler berbeda dari mikroprosesor serba guna yang digunakan dalam sebuah PC (personal komputer) karena sebuah mikrokontroler umumnya telah berisi komponen pendukung sistem minimal mikroprosesor, yakni memori dan antarmuka I/O. Untuk mengontrol robot, maka digunakan mikrokontroler dengan pertimbangan faktor ukuran yang relative kecil sehingga cocok untuk pengontrol robot dan peralatan-peralatan elektronika. Sistem mikrokontroler lebih banyak melakukan pekerjaan-pekerjaan sederhana yang penting seperti mengendalikan motor, saklar, resistor variabel, atau perangkat elektronik lain. Satu-satunya bentuk antarmuka yang ada pada sebuah sistem mikrokontroler hanyalah sebuah LED

(*Light Emiting Diode*), bahkan ini bisa dihilangkan jika tuntutan konsumsi daya listrik mengharuskan demikian¹⁹.

Sistem Mikrokontroler terdiri dari beberapa bagian diantaranya :

1. CPU yaitu Central Prosesing Unit, pada bagian ini yaitu sebagai otak atau pusat dari pengontrolan, pengontrol utama dalam suatu mikrokontroler. CPU yang terdapat pada mikrokontroler ini ada yang berukuran 8bit dan ada juga yang berukuran 16bit .
2. ROM yaitu Read Only Memori merupakan alat untuk mengingat yang memiliki sifat bisa dibaca saja ini berarti memori ini tidak dapat ditulis, memori ini biasanya untuk menyimpan program bagi mikrokontroler tersimpan dalam format biner (0/1) .\
3. RAM yaitu Random Access Memory berbeda dengan ROM sebelumnya, RAM dapat dibaca dan ditulis berulang kali.
4. I/O yaitu sebagai penghubung dunia luar mikrokontroler menggunakan port ini untuk download data yang bisa melalui PC (Personal Computer) maupun perangkat elektronika lainnya.

¹⁹ *Ibid*

2.1.3.2. Mikrokontroler AVR ATmega 2560

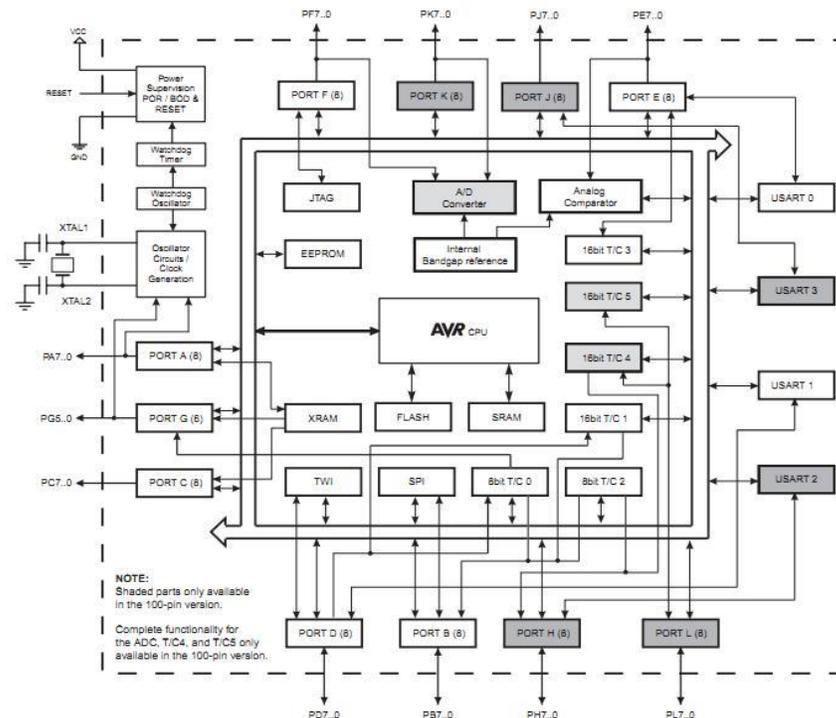
Banyak sekali fitur-fitur yang ada pada mikrokontroler ATmega 2560 sebut saja pada kecepatan transfer data, mikro ini sangat cepat (high performance) dan low powernya 8bit. Serta dapat baca tulis sebanyak 100,000 kali. Jadi mikro ini dapat di flash sebanyak 100 ribu kali, tentu ini akan membuat mikro ini memiliki kemampuan yang lebih dan fasilitas 54 I/O lines serta jumlah keseluruhan pin yaitu 100 pin. Tegangan yang dibutuhkan mikrokontroler tipe ini yaitu (+4,5V) – (+5,5 volt)²⁰.

Tabel 2.2. Spesifikasi Arduino Mega2560.

Mikrokontroler	Atmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage(recommende d)	7-12 V
Input Voltage(limits)	6-20 V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

²⁰ ATmega 2560 *Datasheet*, “Overview”, (Atmel Corporation, 2014), hlm 5.

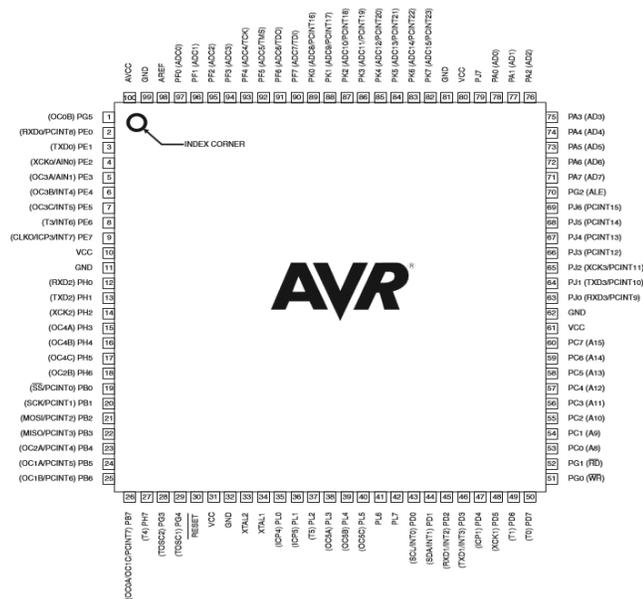
Figure 2-1. Block Diagram



Gambar 2.16. Blok Diagram AT Mega 2560

Blok Diagram AT Mega yang ditunjukan pada gambar 2.16²¹ menjelaskan diagram kerja dari sistem mikrokontroler yang didalamnya sudah terdapat RAM, ROM, Port I/O, ALU dan lain – lain sehingga sudah menjadi satu kesatuan kerja.

²¹ ATmega 2560 Datasheet, “Block Diagram”, (Atmel Corporation, 2014), hlm 5



Gambar 2.17. Konfigurasi pin AT Mega 2560

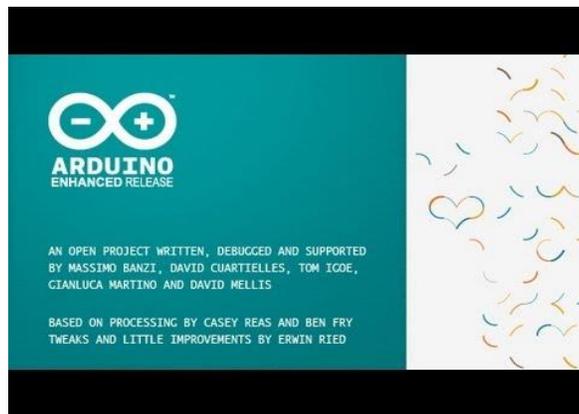
Gambar 2.17²². menunjukkan Konfigurasi pin AT Mega 2560.

2.1.3.3. Arduino IDE

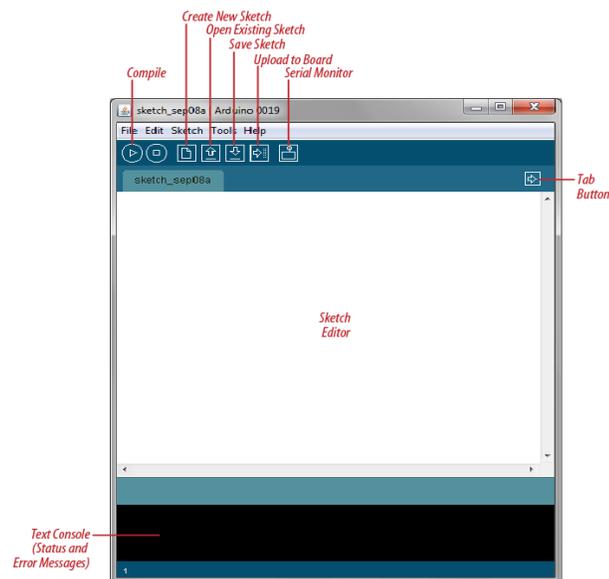
Perangkat lunaknya Open Source; Perangkat lunak Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) dipublikasikan sebagai Open Source, tersedia bagi para pemrogram berpengalaman untuk pengembangan lebih lanjut. Bahasanya bisa dikembangkan lebih lanjut melalui pustaka-pustaka C++ yang berbasis pada Bahasa C untuk AVR²³.

²² *Ibid*, hlm 2.

²³ Jazi Eko Istiyanto, *Pengantar Elektronika dan Instrumentasi Project Arduino & Android*, Yogyakarta, Penerbit ANDI, 2014, hlm 46



Gambar 2.17. Tampilan Opening IDE



Gambar 2.18. Tampilan IDE

IDE memiliki tools yang dapat memudahkan dalam penggunaannya, salah satunya contoh ujicoba program, untuk melakukan *download* dan *upload* IDE harus melakukan konfigurasi port setting dengan PC tersebut. Namun hal tersebut tidaklah sulit dikarenakan sudah terdapat tutorialnya secara jelas dan lengkap dibuku maupun di Internet. Salah satu tools yang

paling membantu dalam IDE juga terdapat aplikasi Verifikasi, yaitu apabila terjadi kesalahan kita dalam membuat program dalam hal syntax/kaidah, maka IDE akan menunjukkan dimana letak kesalahannya, sehingga IDE menjadi software yang cukup disenangi para programmer dalam membuat program pada Mikrokontroler Arduino.

2.1.4. Controlling dan Monitoring Pengisian Baterai

2.1.4.1. Controlling Pengisian Baterai Pada PLTS

Controlling/Pengendalian adalah suatu alat atau perintah untuk mengendalikan, memerintah dan atau mengatur keadaan suatu system²⁴.

Controlling pengisian baterai pada sebuah BCR (Baterai Charge Regulator) bermakna usaha pengendalian pengisian energi listrik dari sumber panel surya ke baterai dengan menggunakan rangkaian elektronik (driver relay/transistor) yang dikendalikan dengan Arduino Mega 2560 yang diprogram. Parameter yang dipakai untuk mengendalikannya adalah nominal beda potensial/tegangan serta aliran arus yang datanya didapat dari sensor tegangan dan sensor arus.

2.1.4.2. Monitoring Pengisian Baterai Pada PLTS

Monitoring/Pemantauan adalah usaha yang dapat dijelaskan sebagai kesadaran tentang apa yang ingin diketahui²⁵.

²⁴ Anonim, “*Controlling*”, Wikipedia, diakses dari <http://www.wikipedia.org/wiki/Baterai>, pada tanggal 12 Oktober 2015.

²⁵ Anonim, “*Monitoring*”, Wikipedia, diakses dari <http://www.wikipedia.org/wiki/Baterai>, pada tanggal 12 Oktober 2015.

Monitoring pengisian baterai pada BCR (Baterai Charge Regulator) bermakna usaha menginterpretasikan informasi dari sistem panel surya yang berguna untuk mengetahui dan mengantisipasi sistem dari kegagalan/kesalahan sistem. Ditampilkan dengan menggunakan LCD (Liquid Cristal Display) 4x20 karakter, yang didalamnya informasi sumber tegangan, besar tegangan, status pengisian baterai (persen), daya yang terpakai dan waktu remaining.

2.1.5. Prototipe BCR Sebagai Controlling dan Monitoring Pengisian Baterai Pada PLTS Berbasis Arduino Mega 2560

BCR sebagai Controlling dan Monitoring Pengisian Baterai Pada PLTS Berbasis Arduino Mega 2560 merupakan sebuah rancangan prototype yang dimaksudkan untuk meningkatkan kinerja dari sebuah sistem PLTS. PLTS memerlukan penyimpanan energi pada saat tidak mendapat sumber cahaya membuat BCR menjadi komponen yang sangat penting pada sebuah PLTS. BCR harus mampu mengatur pengisian penyimpanan energy listrik, mengamankan rangkaian apabila terjadi masalah dan menampilkannya agar pengggung dapat mengetahui kondisi PLTSnya. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 mengontrol secara terprogram pengendalian pengisian yang parameter inturnya didapat dari sensor-sensor yang terpasang lalu menampilkannya pada sebuah LCD dan Indikator.

2.1.5.1. Spesifikasi BCR Sebagai Controlling dan Monitoring Pengisian Baterai Pada PLTS Berbasis Arduino Mega 2560

BCR Berbasis Arduino Mega 2560 Memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- a. Bekerja pada arus maksimal 10 ampere dan mampu secara otomatis memutus sumber tegangan ketika arus mencapai > 10 Ampere untuk mengamankan rangkaian.
- b. Mampu memilih secara otomatis sumber yang paling besar tegangannya.
- c. Mampu melakukan pemutusan pengisian baterai ketika baterai terindikasikan sudah penuh .
- d. Mampu melakukan pemutusan sumber baterai ketika baterai sudah mencapai 0% agar tidak merusak baterai.
- e. Mampu menunjukkan persentase baterai dari 0-100%.
- f. Mampu menunjukkan penggunaan besar daya yang dipakai.
- g. Mampu menunjukkan waktu Remaining dari sisa daya baterai.

2.1.5.2. Tabel kerja BCR Sebagai Controlling dan Monitoring Pengisian Baterai Pada PLTS Berbasis Arduino Mega 2560

Tabel 2.3. Tabel Kerja BCR Berbasis Arduino Mega 2560

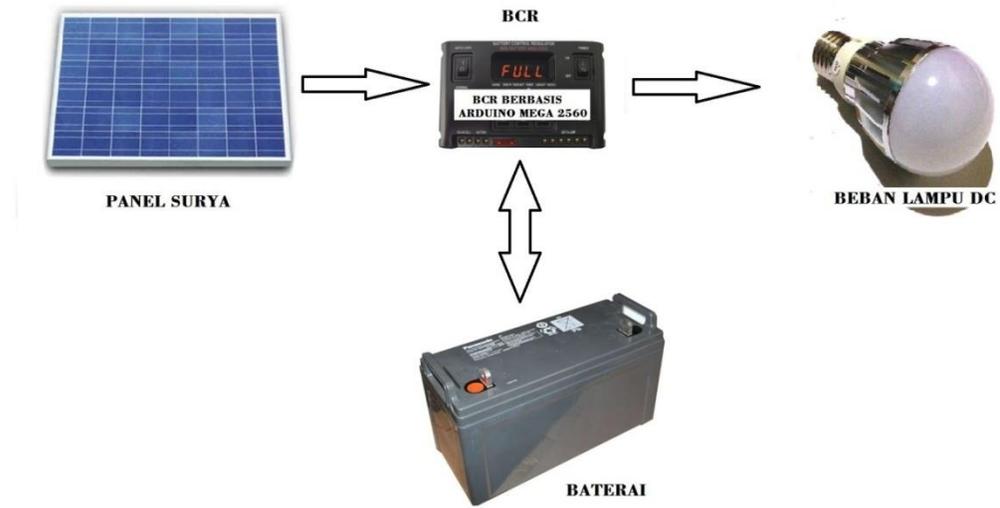
Kondisi	Svarat	Status	Kondisi OutPut			
			1	2	3	4
			(Relay)	(Relay)	(Relay)	(Relay)
0	1. Sumber Off	Non Aktif	0	0	0	A
1	1. Tegangan Panel Surya > Tegangan Baterai 2. Kapasitas Baterai < 100 %	Sumber Panel Surya dengan pengisian	1	0	1	A
2	1. Tegangan Panel Surya > Tegangan Baterai 2. Kapasitas Baterai = 100 %	Sumber Panel Surya tanpa pengisian	1	0	0	A
3	1. Tegangan Panel Surya < Tegangan Baterai 2. Kapasitas Baterai > 0 %	Sumber Baterai	0	1	0	B
4	1. Tegangan Panel Surya < Tegangan Baterai 2. Kapasitas Baterai = 0 %	Sumber tidak memenuhi svarat	0	0	0	B
5	1. Terjadi Short Circuit / Hubung Singkat	Kondisi Overload	0	0	0	Kondisi Sebelumnya
6	Tombol Up Baterai	Nilai Ah Naik				
7	Tombol Down Baterai	Nilai Ah Turun				
8	Tombol Baterai Up+Down Ditekan Bersamaan	Reset	0	0	0	Kondisi Sebelumnya

Tabel diatas menunjukkan cara kerja atau dari BCR Sebagai Controlling dan Monitoring Pengisian Baterai Pada PLTS Berbasis Arduino Mega 2560, dengan begitu fungsi dari alat ini dapat dibuktidan pada tabel pengujian yang terdapat di BAB IV.

2.2. Kerangka Berpikir

2.2.1. Blok Diagram PLTS dengan BCR berbasis Arduino Mega 2560

Pembuatan alat BCR berbasis Arduino Mega 2560 diawali dengan pembuatan diagram blok kerjanya terlebih dahulu. Hal ini dilakukan dengan tujuan agar jelas dan terarah dalam pengerjaannya. Berikut diagram blok dan penjelasannya yang dirancang dalam membuat BCR berbasis Arduino Mega 2560.



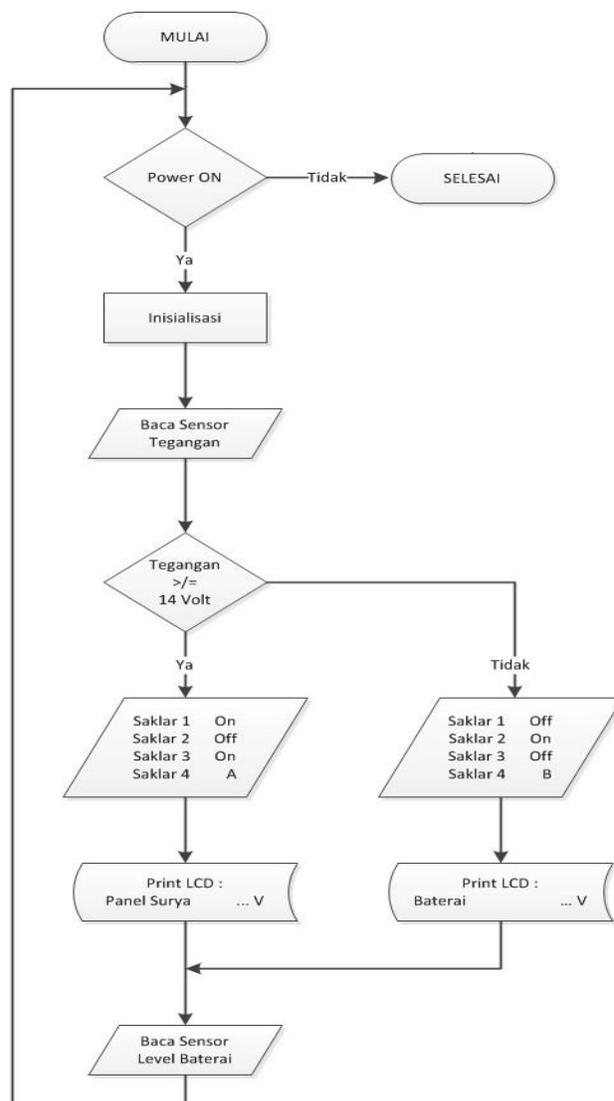
Gambar 2.20. Blok Diagram BCR berbasis Arduino Mega 2560 Sebagai Controlling dan Monitoring PLTS

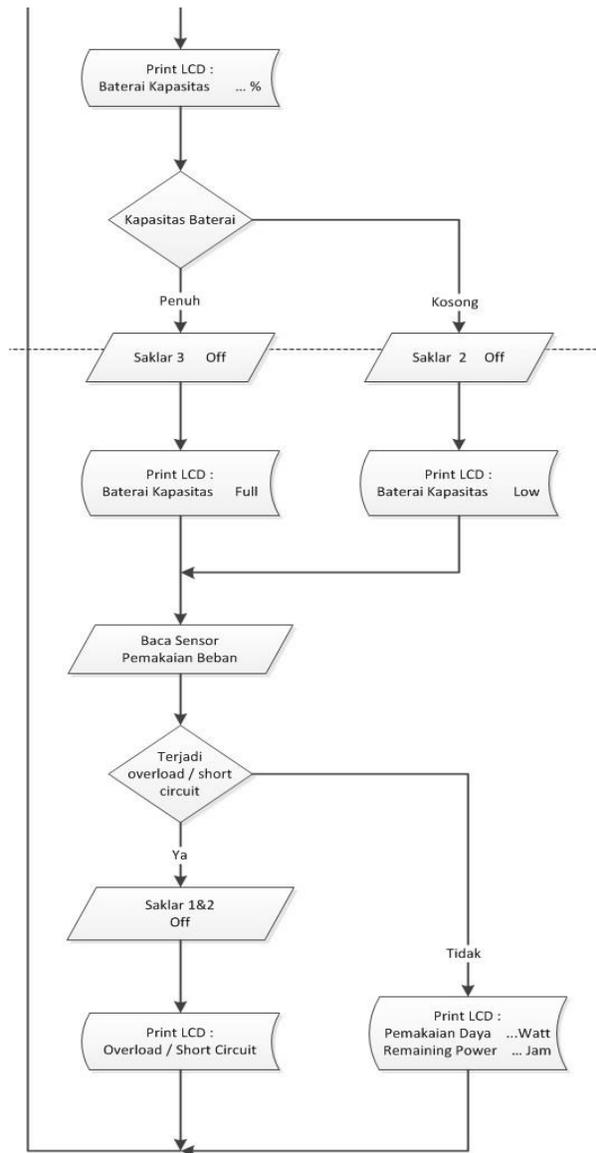
Dari gambar diatas

1. BCR Berbasis Arduino Mega 2560 bertindak sebagai pusat sistem, berfungsi mengontrol dan memonitoring kerja PLTS

2. Panel Surya sebagai Input energi listrik saat mendapatkan cukup sinar matahari.
3. Baterai bertindak sebagai Input dan Output, keadaan Input pada saat baterai diisi dengan panel surya, sedangkan keadaan Input pada saat panel surya non aktif dan baterai sebagai pengganti sumber energi listrik.
4. Beban yang dipakai merupakan alat listrik dengan sumber tegangan DC.

2.2.2. Flow Chart PLTS dengan BCR berbasis Arduino Mega 2560





Gambar 2.21. Flow Chart BCR Berbasis Arduino Mega 2560

2.3. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan landasan teori serta kerangka berpikir yang sudah dijelaskan dan dijabarkan pada sub bab sebelumnya, maka hipotesis pada penelitian ini yaitu BCR Berbasis Arduino Mega 2560 dapat melakukan Controlling pada sebuah sistem PLTS agaiir berjalan dengan baik, serta dapat melakukan Monitoring agar pengguna mendapatkan informasi tentang kondisi PLTS.