



**UNJUK KERJA PANEL SURYA 100 W_p KE MOTOR LISTRIK DC
(200 Watt 12 V) DENGAN VARIASI PEMBEBANAN DAN PUTARAN**

SKRIPSI

Oleh

**THEO WALID FERSA DUNIA
NIM 121910101043**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**UNJUK KERJA PANEL SURYA 100 W_p KE MOTOR LISTRIK DC
(200 Watt 12 V) DENGAN VARIASI PEMBEBANAN DAN PUTARAN**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh
THEO WALID FERSA DUNIA
NIM 121910101043

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orangtua saya, Bapak Muhaimin dan Ibu Wartini yang tercinta;
2. Adikku Tinara dan Tama, Kakek Wasis, Nenek Sunarti, dan seluruh keluargaku yang tercinta;
3. Saudaraku Teknik Mesin 2012 yang selalu menemani hari-hariku di Jember;
4. Keluarga seperantauan “MITREKA SATATA”;
5. Keluarga besar Tim mobil listrik TITEN UJ;
6. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
7. Seluruh dosen, staff pengajar dan administrasi Fakultas Teknik Universitas Jember yang membantu penulis dalam menyelesaikan studi S1;
8. Kepada seluruh responden yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu, yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membantu saya mengambil data;
9. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTO

“Sesungguhnya bersama kesukaran itu ada keringanan. Karena itu bila kau sudah selesai (mengerjakan yang lain). Dan berharaplah kepada Tuhanmu.”

(Q.S Al Insyirah : 5-8)

“*Man Jadda Wa Jadda* (siapa yang bersungguh-sungguh akan berhasil), *Man Shabara Zhafira* (siapa yang bersabar akan beruntung), *Man Sara Darbi Ala Washala* (siapa yang berjalan di jalur-nya akan sampai)”

(Anonim)

“*If you can't fly, then run. If you can't run, then walk. If you can't walk, then crawl. But, whatever you do, you must to keep moving forward.*”

(Martin Luther King Jr.)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Theo Walid Fersa Dunia

NIM : 121910101043

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “UNJUK KERJA PANEL SURYA 100 W_p KE MOTOR LISTRIK DC (200 $Watt$ 12 V) DENGAN VARIASI PEMBEBANAN DAN PUTARAN” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 23 Juni 2016

Yang menyatakan,

Theo Walid Fersa Dunia

NIM 121910101043

SKRIPSI

**UNJUK KERJA PANEL SURYA 100 W_p KE MOTOR LISTRIK DC
(200 Watt 12 V) DENGAN VARIASI PEMBEBANAN DAN PUTARAN**

Oleh

Theo Walid Fersa Dunia

NIM 121910101043

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Nasrul Iminnafik, S.T., M.T

Dosen Pembimbing Anggota : Ir FX. Kristianta, M.eng

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “*UNJUK KERJA PANEL SURYA 100 Wp KE MOTOR LISTRIK DC (200 Watt 12 V) DENGAN VARIASI PEMBEBANAN DAN PUTARAN*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : 27 Juni 2016

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

DPU,

DPA,

Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T
NIP. 19711114 199903 1 002

Ir. FX. Kristianta, M.Eng.
NIP. 19650120 200112 1 001

Penguji I,

Penguji II,

Hari Arbiantara, S.T., M.T.
NIP.19670924 199412 1 001

Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T
NIP. 19850117 201212 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M
NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

UNJUK KERJA PANEL SURYA 100 Wp KE MOTOR LISTRIK DC (200 Watt 12 V) DENGAN VARIASI PEMBEBANAN DAN PUTARAN; Theo Walid Fersa Dunia, 121910101043; 2016; 52 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Energi Surya adalah sumber energi yang tidak akan pernah habis ketersediaannya dan energi ini juga dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif yang akan di ubah menjadi energi listrik, dengan menggunakan sel surya. Sel surya sejak tahun 1970-an telah mengubah cara pandang manusia tentang energi dan memberi jalan baru bagi manusia untuk memperoleh energi listrik tanpa perlu membakar bahan bakar fosil sebagaimana pada minyak bumi, gas alam, batu bara, atau reaksi nuklir. Sel surya juga mampu beroperasi dengan baik di hampir seluruh belahan bumi yang tersinari matahari tanpa menghasilkan polusi yang dapat merusak lingkungan sehingga lebih ramah lingkungan.

Seiring dengan bertambahnya populasi penduduk yang berbanding lurus dengan bertambahnya kebutuhan energi, maka konservasi energy sangat diperlukan. Beban listrik yang paling banyak digunakan dan paling banyak membutuhkan konsumsi energi pada sektor industri adalah mesin listrik karena sebagian besar konsumsi energi pada sektor industri digunakan untuk menyuplai motor listrik. Oleh karena itu perlu dilakukan konservasi dan audit energi untuk efisiensi energi yang digunakan dari panel surya untuk menggerakkan motor listrik.

Pada penelitian ini tahap pertama yang dilakukan adalah merangkai komponen penyusun mulai dari panel surya, *charge controller*, baterai dan motor listrik. Setelah itu dilakukan pengujian dengan variasi putaran motor listrik dan variasi pembebanan motor listrik. Pembebanan motor listrik menggunakan *pronybrake*. Alat ukur yang

digunakan antara lain pyranometer, tachometer, wattmeter. Hasil pengamatan dicatat dan dilakukan perhitungan menggunakan rumus efisiensi pada masing-masing komponen (panel surya, *charge controller*, baterai, motor listrik). Data hasil percobaan yang diperoleh dianalisis menggunakan bantuan software Microsoft Excel 2016.

Besarnya nilai efisiensi dari panel surya sangat dipengaruhi oleh jenis dan kualitas panel surya. Adanya variasi pembebanan dan putaran pada motor listrik tidak berpengaruh terhadap efisiensi panel surya. Dalam penelitian yang dilakukan didapatkan nilai dari efisiensi dari panel surya cenderung stabil, nilainya berkisar pada 5,1 %. Semakin tinggi nilai tegangan dari baterai maka efisiensi energi dari charge controller semakin menurun. Hal ini dikarenakan saat tegangan baterai tinggi baterai sudah dalam kondisi terisi penuh maka secara otomatis charge controller membatasi arus yang masuk ke baterai. Adanya variasi pembebanan dan putaran tidak mempengaruhi besar efisiensi charge controller. Efisiensi tertinggi dari charge controller diperoleh pada saat tegangan baterai 13,1 V yaitu sebesar 47,83 %. Semakin tinggi putaran motor listrik dan semakin besar nilai pembebanan maka nilai efisiensi pada baterai akan semakin menurun. Besarnya efisiensi dari baterai sangat dipengaruhi oleh jumlah energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan motor listrik (energi keluar baterai) dan jumlah energi yang masuk ke dalam baterai. Nilai efisiensi tertinggi diperoleh pada pembebanan 0,5 N yaitu sebesar 94,1 %. Semakin rendah putaran dari motor listrik maka efisiensi dari motor listrik akan semakin menurun. Hal ini terjadi karena terjadi slip pada motor listrik saat putaran rendah. Efisiensi tertinggi diperoleh pada putaran 1250 rpm yaitu sebesar 97,5 %.

SUMMARY

PERFORMANCE SOLAR PANEL 100 W_p TO DC ELECTRIC MOTOR (200 Watt 12 V) WITH VARIATIONS OF LOADING AND SPIN; Theo Walid Fersa Dunia, 121910101043; 2016; 52 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University.

Solar energy is the energy source that will never run out of energy availability and can also be used as an alternative energy will be converted into electrical energy, using solar cells. Solar cells since the 1970s has changed the way people about energy and provide a new way for humans to obtain electrical energy without the need to burn fossil fuels as oil, natural gas, coal, or nuclear reactions. Solar cells are also capable of operating well in almost the entire hemisphere is exposed to sunlight without creating pollution that can damage the environment making it more environmental friendly

Along with the increase in population is directly proportional to the increase in energy requirements, the conservation of energy is needed. Electrical load of the most widely used and most in need of energy consumption in the industrial sector is the engine of electricity because most of the energy consumption in the industrial sector used to supply the electric motor. Therefore it is necessary for conservation and energy audits for energy efficiency of solar panels used to drive the electric motor.

In this study, the first phase done is assemble a constituent component ranging from solar panels, charge controllers, batteries and electric motors. After it was examined by the electric motor rotation variation and the variation of the electric motor loading. Charging of electric motors using pronybrake. Measuring instruments used include pyranometer, tachometer, wattmeter. Observations recorded and performed calculations using formulas efficiency at each of the components (solar

panel, charge controller, batteries, electric motors). Experimental data obtained were analyzed using statistical software Microsoft Excel 2016.

The value of the efficiency of solar panels is strongly influenced by the type and quality of solar panels. The variation of loading and rotation on the electric motor does not affect the efficiency of solar panels. In a study conducted found values of the efficiency of solar panels tend to be stable, value ranges at 5.1%. The higher the value of the voltage of the battery, the energy efficiency of a charge controller decreases. This is because when the high-voltage battery in the battery is fully charged it will automatically charge the controller limits the current into the battery. Variasi their loading and rotation does not affect the efficiency charge controller. The highest efficiency of the charge controller is obtained when the battery voltage of 13.1 V is equal to 47.83%. the higher the rotation of electric motors and the greater the load value then the value of efficiency of the battery will decrease. The magnitude of the efficiency of the battery is influenced by the amount of energy required to drive the electric motor (energy out of the battery) and the amount of energy that goes into the battery. Values obtained at the highest efficiency of loading of 0.5 N is equal to 94.1%. the lower the rotation of the electric motor, the efficiency of the electric motor will decrease. this occurs because of a slip on the electric motor when the lower rounds. The highest efficiency obtained at 1250 rpm rotation that is equal to 97.5%.

PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT, atas segala nikmat hidup dan kesempatan mengenggam ilmu, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “UNJUK KERJA PANEL SURYA 100 Wp ke MOTOR LISTRIK DC 200 Watt 12 V DENGAN VARIASI PEMBEBANAN DAN PUTARAN”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk mencapai derajat Sarjana Teknik. Dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini, penulis banyak dibantu, dibimbing, dan didukung oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orangtua saya, Bapak Muhaimin dan Ibu Wartini, terima kasih atas dukungan moril dan materil sehingga saya dapat menyelesaikan studi S1;
2. Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Ir FX. Kristianta, M.eng selaku dosen pembimbing anggota yang selalu memberikan ide, saran, motivasi, serta meluangkan waktunya untuk membimbing saya selama proses penelitian dan penyusunan laporan skripsi ini;
3. Bapak Hari Arbiantara, S.T., M.T selaku dosen penguji I, dan Bapak Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T selaku dosen penguji II yang memberikan saran dan kritikan bersifat konstruktif untuk penyusunan skripsi ini;
4. Adikku Tinara, Tama dan seluruh keluarga besar dari Bapak dan Ibu saya yang selalu memberi dukungan kepada saya agar selalu maju;
5. keluarga besar Tim mobil listrik TITEN UJ yang telah memberikan pengalaman dan kenangan yang sangat berharga bagi saya;
6. Saudaraku Teknik Mesin 2012 yang selalu memotivasi saya untuk terus maju, salam Solidarity Forever;
7. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi yang telah memberikan bekal ilmu dunia dan akhirat;

8. Seluruh staf pengajar dan administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, membimbing, dan membantu kelancaran saya selama saya duduk di bangku perkuliahan.
9. Semua pihak yang telah membantu proses penelitian dan penyusunan skripsi ini dari awal hingga akhir;

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, karena sempurna hanya milik Allah SWT. Harapan penulis adalah supaya informasi dari skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Jember, 23 Juni 2016

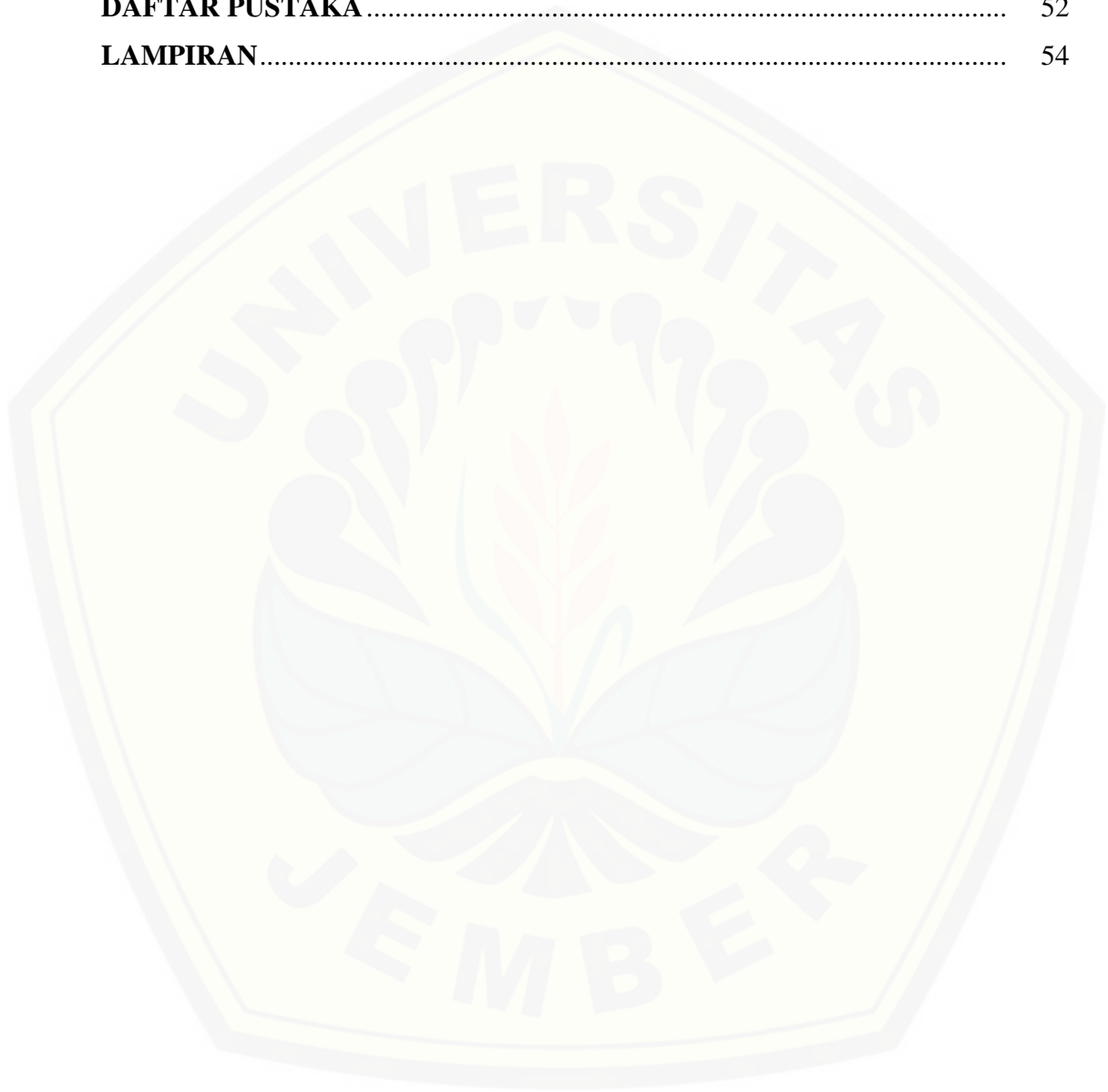
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	vii
SUMARRY	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Radiasi surya	5
2.1.1 matahari	5
2.1.2 sudut datang matahari.....	7
2.1.3 Intensitas Radiasi Surya	8

2.2 Sel surya	10
2.2.1 Modul surya.....	11
2.2.2 Jenis-jenis panel surya.....	12
2.2.3 Prinsip kerja panel surya	13
2.2.4 Efisiensi panel surya.....	15
2.3 Charge controller	18
2.4 Baterai	23
2.5 Motor DC	25
2.6 Hipotesa	31
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1 Metode Penelitian	32
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	32
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	32
3.3.1 Alat.....	32
3.3.2 Bahan	32
3.4 Variabel Penelitian	33
3.5.1 Penetapan Variabel Penelitian dan Variabel Bebas	33
3.5 Prosedur Penelitian	33
3.6 Skema alat uji	35
3.8 Diagram Alir	36
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Tinjauan Umum	37
4.2 Data dan Hasil Pengujian	37
4.3 Perhitungan hasil penelitian	38
4.4 Pembahasan	41
BAB 5. PENUTUP	50
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran	51

DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	54



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Skema struktur matahari	6
2.2 Posisi lintang, sudut jam dan deklinasi matahari	7
2.3 Sudut zenith, slope, sudut permukaan azimuth.....	8
2.4 Jenis – Jenis Radiasi.....	9
2.5 Panel surya	10
2.6 Modul surya	11
2.7 Spektrum radiasi matahari.....	14
2.8 <i>Efficiency of Power Plant</i>	17
2.9 Grafik perbandingan ketiga panel surya berdasarkan intensitas terendah samapai tertinggi	18
2.10 Diagram kerja controller	19
2.11 Grafik efisiensi charger controller terhadap waktu	21
2.12 Grafik V2 dan I2 terhadap waktu pengujian	22
2.13 Grafik V1 dan V2 terhadap waktu pengujian	22
2.14 Baterai lead acid 12V	23
2.15 Grafik kenaikan tegangan baterai.....	24
2.16 Prinsip kerja Motor DC	26
2.17 Diagram Skematik Motor DC	26
2.18 Konstruksi Motor DC.....	26
2.19 Rangkaian ekivalen motor dc penguat terpisah	28
2.20 Pembebanan terhadap slip motor induksi	29
2.21 Pembebanan terhadap slip motor induksi	30
2.22 Pembebanan terhadap slip motor induksi	30
2.23 Pembebanan terhadap slip motor induksi	30

2.23 Pengaruh slip motor listrik	31
4.1 Efisiensi energi dari panel surya pada variasi putaran saat pembebanan 1 N dan 2 N	41
4.2 Efisiensi energi dari panel surya pada variasi pembebanan	42
4.3 Perbandingan intensitas dan tegangan panel pada variasi putaran saat pembebanan 1 N dan 2 N	42
4.4 Perbandingan intensitas dan tegangan panel pada variasi pembebanan	43
4.5 Efisiensi energi dari <i>charge controller</i> dengan variasi putaran pada pembebanan 1 N dan 2 N	44
4.6 Efisiensi energi dari <i>charge controller</i> dengan variasi pembebanan	44
4.7 Tegangan baterai pada variasi putaran dengan pembebanan 1 N dan 2 N	45
4.8 Tegangan baterai pada variasi putaran pembebanan	45
4.9 Efisiensi energi dari baterai pada variasi pembebanan	46
4.10 Efisiensi energi dari baterai pada variasi putaran saat beban 1 N	47
4.11 Efisiensi energi dari baterai pada variasi putaran saat beban 2 N	47
4.12 Efisiensi energi dari motor listrik pada variasi pembebanan	48
4.13 Efisiensi energi dari motor listrik pada variasi putaran saat beban 1 N	48
4.14 Efisiensi energi dari motor listrik pada variasi putaran saat beban 2 N	49

DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1 Pengambilan data untuk variasi pembebanan	34
3.2 Pengambilan data untuk variasi putaran	35
4.1 Tabel hasil pengamatan kondisi pembebanan 0,5 N.....	37
4.2 Tabel hasil pengamatan kondisi variasi 250 RPM.....	38
4.3 Tabel hasil pengamatan kondisi variasi 250 RPM.....	38
4.4 Hasil perhitungan efisiensi energi dari panel surya dan <i>charge controller</i> dengan variasi putaran pada pembebanan 1 N dan 2 N	39
4.5 Hasil perhitungan efisiensi energi dari panel surya dan <i>charge controller</i> dengan variasi putaran pembebanan	40
4.6 Hasil perhitungan efisiensi energi dari baterai dan motor listrik dengan variasi pembebanan menggunakan full throttle	40
4.7 Hasil perhitungan efisiensi energi dari baterai dan motor listrik dengan variasi Putaran pada pembebanan 1 N	40
4.8 Hasil perhitungan efisiensi energi dari baterai dan motor listrik dengan variasi Putaran pada pembebanan 2 N	41

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Dokumentasi penelitian.....	54
B. Perhitungan.....	56
C. Spesifikasi alat.....	58
D. Tabel data dan hasil pengujian	59

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Energi Surya adalah sumber energi yang tidak akan pernah habis ketersediaannya dan energi ini juga dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif yang akan di ubah menjadi energi listrik, dengan menggunakan sel surya. Sel surya sejak tahun 1970-an telah mengubah cara pandang manusia tentang energi dan memberi jalan baru bagi manusia untuk memperoleh energi listrik tanpa perlu membakar bahan bakar fosil sebagaimana pada minyak bumi, gas alam, batu bara, atau reaksi nuklir. Sel surya juga mampu beroperasi dengan baik di hampir seluruh belahan bumi yang tersinari matahari tanpa menghasilkan polusi yang dapat merusak lingkungan sehingga lebih ramah lingkungan (Dewi dan Antonov, 2013). Dengan letak Indonesia yang berada pada daerah katulistiwa, yaitu pada lintang 60 LU - 110 LS dan 950 BT - 1410 BT dan dengan memperhatikan peredaran matahari dalam setahun yang berada pada daerah 23,50 LU dan 23,50 LS maka wilayah Indonesia akan selalu disinari matahari 10-12 jam dalam sehari. Karena letak Indonesia berada pada daerah katulistiwa maka Indonesia memiliki tingkat radiasi sangat tinggi sehingga pemanfaatan teknologi *solar cell* sangat cocok dimanfaatkan di Indonesia (Junial, 2010).

Menurut Siahaan (2015), Panel surya merupakan sistem modular yang mampu menyediakan sumber energi listrik dari proses konversi energi matahari atau dapat disimpan terdiri dari: panel surya, BCU, Inverter DC/AC, Baterai DC, Lampu. Selanjutnya listrik yang dihasilkan oleh panel surya disimpan pada baterai. *Charge controller* berfungsi mengendalikan pengisian muatan baterai akumulator agar proses pengisian tersebut terjadi pada kondisi yang aman bagi baterai akumulator (Anto dkk, 2014).

Efisiensi sel surya adalah rasio output listrik dari sel surya untuk energi masukan dalam bentuk sinar matahari. Ini dihitung dengan membagi

output daya sel (dalam watt) pada maksimum *powerpoint* (P_m) oleh cahaya masukan (E , dalam W / m^2) dan luas permukaan sel surya (A_c , dalam m^2). $\eta = P_m / (E \times A_c)$ (Rugianto, 2015). Menurut Pahlevi (2014), Setiap panel sel surya memiliki efisiensi tersendiri walaupun sama-sama 100Wp, selain itu kecepatan angin juga dapat mempengaruhi kinerja dari panel sel surya, semakin kencang tekanan angin maka semakin kecil juga efisiensi yang dihasilkan oleh panel sel surya.

Efisiensi *charge controller* dihitung dengan cara membandingkan daya keluaran *charge controller* yaitu $P_2 = V_2 \times I_2$ dengan daya masukannya yaitu $P_1 = V_1 \times I_1$. Efisiensi *charge controller* adalah cenderung menurun selama masa pengisian baterai. Efisiensi tertinggi terjadi pada awal proses pengisian yaitu sebesar 62% (Anto dkk, 2014).

Menurut Rochman dan Sembodo (2014), Akumulator adalah sebuah alat yang dapat menyimpan energi (umumnya energi listrik) dalam bentuk energi kimia. Di dalam standar internasional setiap satu cell akumulator memiliki tegangan sebesar 2 volt. Sehingga aki 12 volt, memiliki 6 cell sedangkan aki 24 volt memiliki 12 cell.

Seiring dengan bertambahnya populasi penduduk yang berbanding lurus dengan bertambahnya kebutuhan energi, maka konservasi energy sangat diperlukan. Beban listrik yang paling banyak digunakan dan paling banyak membutuhkan konsumsi energi pada sektor industri adalah mesin listrik karena sebagian besar konsumsi energi pada sektor industri digunakan untuk menyuplai motor listrik (Shantia dkk, 2014). Oleh karena itu perlu dilakukan konservasi dan audit energi untuk efisiensi energi yang digunakan dari panel surya untuk menggerakkan motor listrik.

Pada saat ini energi listrik masih merupakan energi alternatif untuk digunakan pada alat transportasi, pada sistem ini motor listrik akan menggantikan mesin diesel atau mesin konvensional sebagai penggerak utama, mesin listrik yang dapat digunakan pada saat ini sangat banyak sekali mulai dari motor DC

sampai dengan motor AC (Zeraoulia dkk, 2006). Motor listrik adalah mesin yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanis. Pada motor arus searah energi listrik yang diubah adalah energi arus searah yang berasal dari sumber tegangan listrik arus searah. Dimana sumber tegangan ini dihubungkan pada rangkaian medan dan rangkaian jangkar dari motor tersebut (Tumanggor dan Dinzi, 2013). Menurut Waloyo dkk (2011), Motor DC membutuhkan listrik untuk menghasilkan kerja. Listrik mengalir karena adanya beda potensial dari dua titik. Energi listrik dapat dihitung dari pengukuran arus dan tegangan yang bekerja pada suatu alat. Energi listrik (P) adalah perkalian tegangan, arus dan waktu.

Salah satu pengujian motor listrik menggunakan metode pembebanan menggunakan *prony brake*. Bila beban bertambah arus akan naik, akibatnya daya yang dikonsumsi oleh motor induksi juga akan bertambah, karena daya berbanding lurus dengan arus dan faktor daya. Semakin besar pembebanan maka kecepatannya akan berkurang, akibatnya slip akan semakin besar, karena slip merupakan selisih antara kecepatan medan putar yang besarnya tetap dan kecepatan putar rotor yang mengecil bila beban bertambah. Sehingga semakin besar beban motor maka slip akan bertambah atau hubungan antara pembebanan dengan slip berbanding lurus (Sugiyantoro dkk, 2012).

Dalam proyek tugas akhir ini, energi matahari dimanfaatkan sebagai energi alternatif pada motor listrik. Energi matahari akan diubah menjadi energi listrik menggunakan sel surya yang ditransferkan menggunakan *charge controller* untuk selanjutnya disimpan dalam baterai atau *accu*. Energi dari baterai digunakan untuk menggerakkan motor listrik.

1.2. Perumusan masalah

Pada penelitian ini, permasalahan yang akan dibahas adalah mengetahui bagaimana pengaruh variasi pembebanan dan RPM pada motor listrik terhadap efisiensi yang terjadi pada panel surya, *charge controller*, baterai dan motor listrik.

1.3 Batasan masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Tidak membahas secara detail mengenai panel surya.
2. Tidak membahas secara detail mengenai motor listrik.
3. Tidak membahas posisi letak panel surya terhadap sudut orientasi matahari.
4. Kondisi lingkungan pengambilan data dianggap ideal.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.3.1. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Menganalisis bagaimana pengaruh variasi pembebanan motor listrik terhadap efisiensi panel surya, *charge controller*, baterai dan motor listrik.
2. Menganalisis bagaimana pengaruh variasi RPM motor listrik terhadap efisiensi panel surya, *charge controller*, baterai dan motor listrik.

1.3.2. Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat digunakan sebagai literatur dalam pengembangan mobil listrik di Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Dapat digunakan sebagai acuan dalam pengembangan mobil tenaga surya di Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Merupakan dokumen ilmiah yang dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Radiasi surya

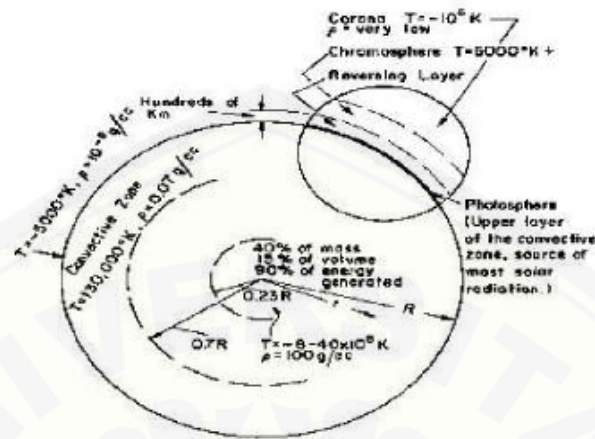
2.1.1 Matahari

Matahari atau juga disebut Surya adalah bintang terdekat dengan Bumi dengan jarak rata-rata 149.680.000 kilometer (93.026.724 mil) dan dia menyediakan energy yang dibutuhkan oleh kehidupan di bumi ini secara terus-menerus (Mulyono, 2007). Matahari serta kedelapan buah planet (Merkurius, Venus, Bumi, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus, dan Neptunus) membentuk Tata Surya.

Energi yang dibebaskan oleh Matahari setiap detiknya menurut perhitungan para ahli adalah ekuivalen dengan konversi massa hidrogen yang besarnya adalah $4,2 \times 10^6$ ton/detik, yang ekuivalen dengan $1,2 \times 10^{16}$ KW (Daryanto, 2007). Matahari adalah sebuah bola gas yang terbentuk oleh kondensasi hidrogen di dalam galaxy di bawah efek gaya tarik gravitasi, karena inilah maka terjadi benturan antar molekul yang mengakibatkan kenaikan temperatur. Matahari mempunyai diameter $1,39 \times 10^9$ m dan mempunyai jarak rata-rata dari bumi sekitar $1,5 \times 10^{11}$ m. Matahari menghasilkan daya sebesar $3,8 \times 10^{23}$ kW secara berkelanjutan dan hanya $1,73 \times 10^{14}$ kW yang diterima bumi dalam bentuk radiasi sinar ultraviolet. Permukaan matahari bersuhu ± 5762 K, sedangkan suhu pada pusatnya berada pada kisaran 8×10^6 K sampai 40×10^6 K dan kerapatannya 80 sampai 100 kali kerapatan air dengan density sebesar 105 Kg/m^3 Energi yang diradiasikan akibat transformasi hidrogen menjadi helium yang kemudian menjadi energi

Sebagian energi tersebut di transmisikan ke bumi dengan cara radiasi gelombang elektromagnetik. Radiasi menjalar dengan kecepatan cahaya (3×10^8 m/s) dalam bentuk gelombang yang mempunyai panjang gelombang yang berbeda-beda. Peristiwa ini akan berhenti jika hidrogen dalam reaksi inti habis (Daryanto, 2007). Radiasi surya yang diterima di bumi ini 99% berupa radiasi

panas (thermal) dengan panjang gelombang 0,276 μm sampai 4,69 μm . gambar berikut ini adalah struktur dari matahari.



Gambar 2.1 Skema struktur matahari (Sumber: Daryanto, 2007).

Pada daerah 0 sampai 0.23 R, dimana R merupakan jari-jari matahari yang mana merupakan 40% massa matahari berada, diperkirakan menimbulkan 90% energi. Kemudian Pada jarak 0,7 R dari Pusat matahari, temperatur turun menjadi 130.000 K dan juga kerapatannya berkurang sebesar 70 Kg/m³, Daerah 0.7 R sampai dengan 1 R disebut zona konvektif. Pada daerah ini temperatur turun sampai sekitar 5000 K. dan kerapatannya sekitar 10⁻⁵ Kg/m³. Bagian terluar dari zona konvektif disebut photosphere, merupakan sumber dari radiasi surya. Selanjutnya adalah lapisan chromosphere dengan ketinggian 10.000 Km, merupakan lapisan gas dengan temperatur yang lebih tinggi dari photosphere, tetapi kerapatannya lebih rendah.

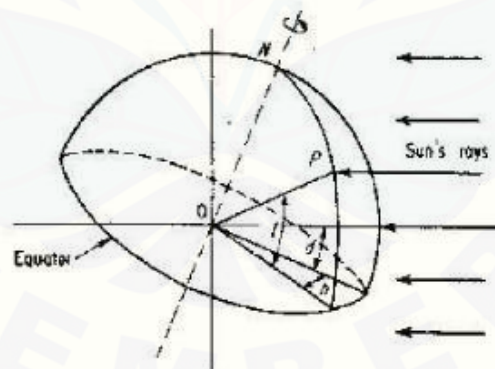
Lapisan paling akhir adalah lapisan corona yang mempunyai *density* yang rendah tetapi bertemperatur Sangat tinggi, yaitu 10⁶ K. Intensitas dari radiasi surya sangat bergantung dari kondisi atmosfer, saat dalam tahun, dan sudut timpunya sinar matahari ke permukaan bumi. Pada batas luar atmosfer bumi radiasi matahari total adalah sebesar 1353 W/m² dengan jarak rata – rata bumi terhadap matahari. Angka tersebut dinamakan konstanta surya atau dengan kata lain konstanta surya didefinisikan sebagai besarnya energi rata-rata yang diterima oleh bumi dari matahari per unit Iuasan pada permukaan. Pada arah tegak lurus

dari perambatan radiasi. pada jarak rata-rata bumi matahari di luar atmosphere. Tidak seluruh energi yang disebutkan dengan konstanta surya tersebut mencapai permukaan bumi. karena terdapat absorpsi yang kuat dari karbondioksida dan uap air di atmosphere. Radiasi surya yang menimpa permukaan bumi juga sangat tergantung dari kadar debu dan zat pencemar lainnya yang terdapat dalam atmosphere.

2.1.2 sudut datang matahari

a) sudut timpa

Aspek geometri berpengaruh langsung terhadap penerimaan radiasi surya pada suatu permukaan pengumpul panas (kolektor), Aspek geometri berhubungan dengan orientasi letak dari bidang pengumpul panas, dimana arah radiasi tegak lurus permukaan pengumpul (kolektor plat surya datar). Pengaruh geometrik terpenting dimana jumlah dari radiasi surya diterima pada permukaan kolektor yaitu sudut dimana sinar rnenyentuh bidang penyerapan dengan arah tegak lurus bidang permukaan penyerapan.



Gambar 2.2 Posisi lintang, sudut jam dan deklinasi matahari (Sumber: Daryanto, 2007).

b) orientasi letak panel surya

Orientasi letak dari kolektor dalam hubungannya dengan letak kedudukan matahari ditunjukkan dengan sudut-sudut dibawah ini

Φ : Latitude (lintang) merupakan letak angular permukaan pada arah utara

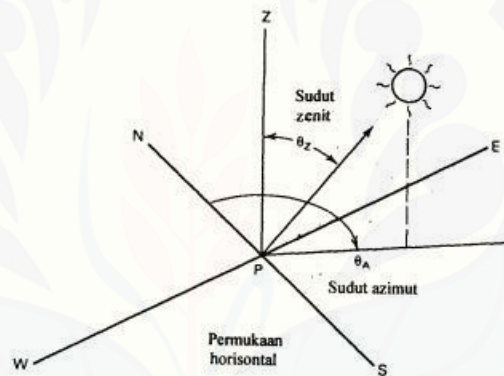
ataupun selatan equator (arah utara positif) $-90^\circ < \Phi < 90^\circ$.

δ : Deklinasi merupakan letak sudut kemiringan bumi matahari akibat rotasi bumi pada arah sumbu axis bumi matahari. $-23,50 < \delta < 23,5^\circ$.

β : Slope (kemiringan) sudut antara bidang permukaan kolektor yang dimaksud dengan arah horizontal $0^\circ < \beta < 180^\circ$.

γ : Sudut azimuth arah normal kemiringan kolektor yang diproyeksikan pada bidang horizontal, yang diukur dari utara ($-180^\circ < \gamma < 180^\circ$).

H : Hour angle (sudut jam). Pada tengah hari (solar noon), sudut jam h adalah nol. Dengan pengertian bahwa bumi berputar mengelilingi sumbunya satu kali dalam 1 hari (24 jam).



Gambar 2.3 Sudut zenith, slope, sudut permukaan azimuth (Sumber: Wiranto, 2000).

2.1.3 Intensitas Radiasi Surya

Karena adanya perubahan letak matahari terhadap bumi maka intensitas radiasi surya yang tiba di permukaan bumi juga berubah-ubah. Maka berkaitan dengan hal tersebut di atas radiasi surya yang tiba pada suatu tempat di permukaan bumi dapat kita bedakan menjadi 3 jenis. Ketiga jenis radiasi itu adalah sebagai berikut:

a) Radiasi Langsung

Intensitas radiasi langsung atau sorotan per jam pada sudut masuk normal.

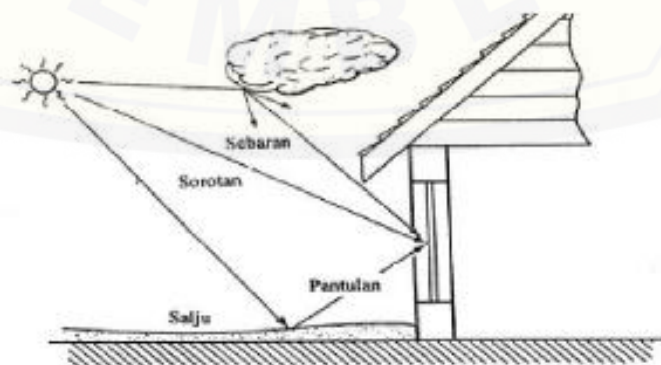
b) Radiasi Sebaran

Radiasi sebaran yang disebut juga radiasi langit (*sky radiation*), adalah radiasi yang dipancarkan ke permukaan penerima oleh atmosfer, dan karena itu berasal dari seluruh bagian hemisfer langit. Radiasi sebaran (langit) didistribusikan merata pada hemisfer (disebut distribusi isotropik).

c) Radiasi Pantulan

Selain komponen radiasi langsung dan sebaran, permukaan penerima juga mendapatkan radiasi yang dipantulkan dari permukaan yang berdekatan, jumlah radiasi yang dipantulkan tergantung dari reflektansi α dari permukaan yang berdekatan itu, dan kemiringan permukaan yang menerima. Radiasi yang dipantulkan per jam, juga disebut radiasi pantulan.

Radiasi surya yang diterima pada satuan luasan di luar atmosfer tegak lurus, permukaan matahari pada jarak rata-rata antara matahari dengan bumi disebut konstanta surya adalah 1353 W/m^2 dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang gelombang pendek (ultraviolet), karbondioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang (inframerah). Selain pengurangan radiasi bumi yang langsung atau sorotan oleh penyerapan tersebut, masih ada radiasi yang dipancarkan oleh molekul-molekul gas, debu, dan uap air dalam atmosfer sebelum mencapai bumi sebagai radiasi sebaran. Pengukuran berikutnya terjadi apabila permukaan penerima radiasi itu tidak pada kedudukan tegak-lurus sorotan radiasi yang masuk.



Gambar 2.4 Jenis – Jenis Radiasi (Sumber: Wiranto, 2000).

2.2 Sel surya

Solar cell atau sel photovoltaic adalah sebuah alat semikonduktor yang terdiri dari sebagian besar dioda p-n *junction* dan dengan adanya cahaya matahari mampu menciptakan energi listrik. Perubahan ini disebut efek photovoltaic. Bidang riset berhubungan dengan sel surya dikenal sebagai photovoltaics (Patel, 2006). Bahan dasar sel surya terbuat dari silikon yang merupakan bahan semikonduktor. Pada sel surya, silikon mampu berperan sebagai isolator pada suhu rendah dan menjadi konduktor saat terdapat energi dan suhu panas. Sebuah silikon sel surya merupakan diode yang berasal dari lapisan atas silikon tipe n (*silicon doping of phosphorus*) dan lapisan bawah silikon tipe p (*silicon doping of boron*) (Pahlevi, 2014).

Produk yang dikeluarkan oleh industri-industri solar cell adalah dalam bentuk module yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Pada aplikasinya, tenaga listrik yang dihasilkan oleh satu module masih cukup kecil (rata-rata maksimum tenaga listrik yang dihasilkan 130 W) maka dalam pemanfaatannya beberapa module digabungkan dan terbentuklah apa yang disebut array. Sebagai contoh untuk menghasilkan listrik sebesar 3 kW dibutuhkan array seluas kira-kira 20 -30 meter persegi.

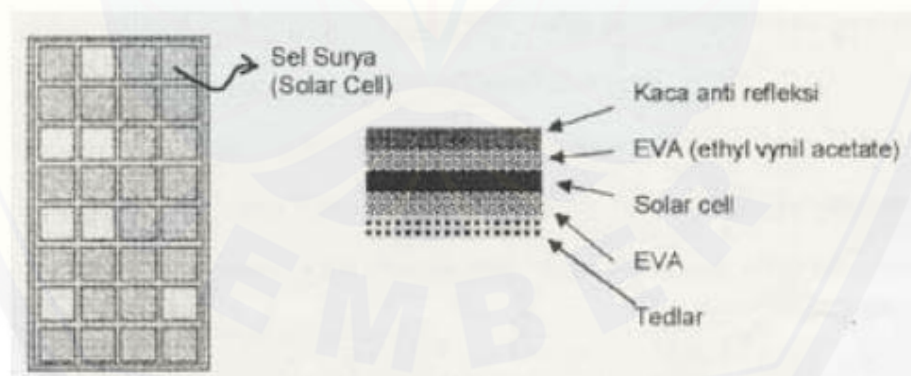


Gambar 2.5 Panel surya (sumber: Sihombing, 2013)

Sel silikon di dalam solar cells panel yang disinari matahari, membuat photon bergerak menuju electron dan menghasilkan arus dan tegangan listrik. Sebuah sel silikon menghasilkan kurang lebih tegangan 0.5 Volt. Jadi sebuah panel surya 12 Volt terdiri dari kurang lebih 36 sel surya (untuk menghasilkan 17 Volt tegangan maksimum). Solar cells panel module memiliki kapasitas output: Watt hour. Solar cell 50 WP 12 V, memberikan output daya sebesar 50 Watt per hour dan tegangan adalah 12 Volt. Untuk perhitungan daya yang dihasilkan per hari adalah 50 Watt x 5 jam (maksimum peak intensitas matahari). Kapasitas 10 WP artinya menghasil 10 watt dalam 1 jam apabila terjadi penyinaran matahari dalam 5 jam dan menghasilkan arus dc 0,5 Ampere.

2.2.1 Modul surya

Modul Surya (Photovoltaic), berfungsi mengubah energi matahari menjadi arus listrik DC yang diteruskan ke alat BCU untuk selanjutnya disimpan pada baterai. Modul surya terdiri dari beberapa sel surya (Solar cell) yang disambung secara seri untuk menghasilkan system tegangan tertentu. Apabila dilihat secara melintang, modul surya terdiri dari beberapa lapisan.



Gambar 2.6 Modul surya (Sumber: Sihombing, 2013)

Sel surya adalah suatu komponen elektronika yang dapat mengubah energi surya menjadi energi listrik dalam bentuk arus searah (DC). Modul surya adalah unit rangkaian lengkap (dilapisi bahan kedap air dan tahan terhadap perubahan cuaca), tersusun dari sejumlah sel suryayang dirangkai secara seri dan paralel. Hal

ini bertujuan untuk meningkatkan tegangan dari arus yang dihasilkan sehingga cukup untuk pemakaian system catu daya beban.

Bila foton yang terdiri dari jutaan partikel berenergi tinggi akibat radiasi sinar matahari menumbuk atom silikon dari sel surya dan menghasilkan energi yang cukup mendorong elektron terluar keluar dari orbitnya, maka akan timbul elektron-elektron bebas yang siap mengalir di ujung-ujung terminal sel surya. Kemudian bila beban seperti lampu dipasang di antara terminal negatif dan positif dari sel surya, maka elektron-elektron akan mengalir sebagai arus listrik searah yang dapat menghidupkan lampu tersebut, Energi matahari tersedia terus-menerus, maka arus listrik akan dialirkan ke beban terus menerus. Semakin besar radiasi matahari yang mengenai sel surya, maka semakin besar pula arus yang dihasilkan oleh sel surya tersebut. Sel surya akan selalu memproduksi energi listrik bila disinari oleh matahari. Oleh karenanya sel surya tidak akan pernah habis atau rusak dalam membangkitkan listrik. Biasanya kerusakan terjadi disebabkan karena sel surya tersebut pecah atau karena faktor lain, sehingga bila sel surya dilindungi dengan baik, maka usianya bisa mencapai dua puluh tahun (Sihombing, 2013).

2.2.2 Jenis-jenis panel surya

Menurut Patel (2006), Berdasarkan jenis dan bentuk susunan atom-atom penyusunnya, solar sell dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu:

a) Monokristal (Mono-crystalline)

Merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini dan menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Dibuat dari silicon Kristal tunggal yang didapat dari peleburan silicon dalam bentuk bujur. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Sekarang Mono-crystalline dapat dibuat setebal 200 mikron, dengan nilai efisiensi sekitar 24%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), sehingga efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.

b) Polikristal (Poly-crystalline)

Merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Dibuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, kemudian pendinginan perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silikon yang akan timbul di atas lapisan silikon. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal (efektivitas 18%), sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah.

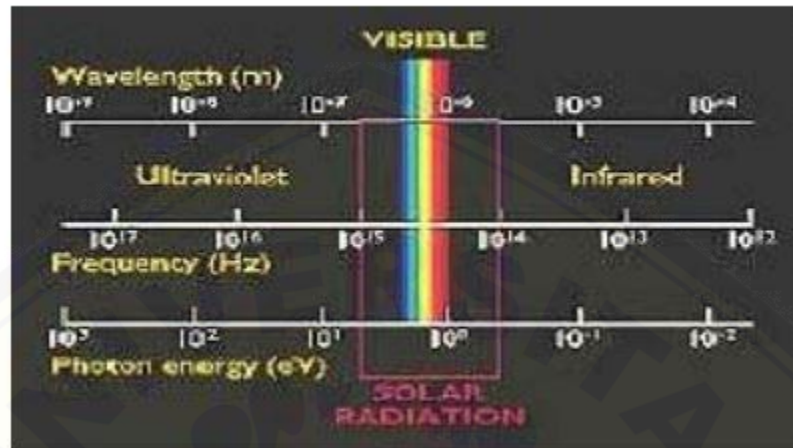
c) Amorphous

"Amorf" mengacu pada objek memiliki bentuk yang pasti dan tidak ada didefinisikan sebagai bahan non-kristal. Tidak seperti silikon kristal, di mana susunan atom yang teratur, fitur silikon amorf pengaturan atomnya tidak teratur seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini. Sehingga, aktivitas timbal balik antara foton dan atom silikon lebih sering terjadi pada silikon amorf dibandingkan kristal silikon, memungkinkan lebih banyak cahaya yang dapat diserap. Dengan demikian, sebuah film silikon amorf yang sangat tipis yang kurang dari 1 m dapat diproduksi dan digunakan untuk pembangkit listrik. Selain itu, dengan memanfaatkan logam atau plastik untuk substrat, sel surya fleksibel juga dapat diproduksi.

2.2.3 Prinsip kerja panel surya

Secara sederhana solar cell terdiri dari persambungan bahan semikonduktor bertipe p dan n (p-n junction semiconductor) yang jika tertimpa sinar matahari maka akan terjadi aliran electron, aliran electron inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik. Bagian utama perubah energi sinar matahari menjadi listrik adalah absorber (penyerap), meskipun demikian, masing-masing lapisan juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi dari solar cell. Sinar matahari

terdiri dari bermacam-macam jenis gelombang elektromagnetik yang secara spectrum dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Spektrum radiasi matahari (Sumber: Sihombing, 2013)

Lebih detail lagi bisa dijelaskan sinar matahari yang terdiri dari photon-photon, jika menimpa permukaan bahan solar sel (absorber) akan diserap, dipantulkan atau dilewatkan begitu saja dan hanya foton dengan level energi tertentu yang akan membebaskan elektron dari ikatan atomnya, sehingga mengalirlah arus listrik. Level energi tersebut disebut energi band-gap yang didefinisikan sebagai sejumlah energi yang dibutuhkan utk mengeluarkan electron dari ikatan kovalennya sehingga terjadilah aliran arus listrik. Untuk membebaskan electron dari ikatan kovalennya, energi foton (hc/v harus sedikit lebih besar atau diatas dari pada energi bandgap. Jika energi foton terlalu besar dari pada energi band-gap, maka extra energi tersebut akan dirubah dalam bentuk panas pada solar sel. Karenanya sangatlah penting pada solar sel untuk mengatur bahan yang dipergunakan, yaitu dengan memodifikasi struktur molekul darisemikonduktor yang dipergunakan. Tentu saja agar efisiensi dari solar cell bisa tinggi maka foton yang berasal dari sinar matahari harus bisa diserap yang sebanyak banyaknya, kemudian memperkecil refleksi dan rekombinasi serta memperbesar konduktivitas dari bahannya. Untuk bisa membuat agar foton yang diserap dapat sebanyak banyaknya, maka absorber harus memiliki energi band-gap dengan range yang

lebar, sehingga memungkinkan untuk bisa menyerap sinar matahari yang mempunyai energi sangat bermacam-macam tersebut. Salah satu bahan yang sedang banyak diteliti adalah CuInSe₂ yang dikenal merupakan salah satu dari direct semiconductor.

Karakteristik kerja dari panel surya ketika sinar matahari jatuh pada silikon *cell* yang menghasilkan photon, secara konstan yang akan menghasilkan energi berkisar ± 0.5 volt — max. 600 mV pada 2 ampere, dengan kekuatan radiasi solar matahari 1000 W/m² = “1 sun” akan menghasilkan arus listrik (I) sekitar 30 mA/cm² per sel surya. Pada grafik I-V curve gambar 2.7 yang menggambarkan keadaan sebuah sel surya beroperasi secara normal. Sel surya akan menghasilkan energi maximum jika nilai V_m dan I_m juga maximum. Sedangkan I_{sc} adalah arus listrik maximum pada nilai volt = nol; I_{sc} berbanding langsung dengan tersedianya sinar matahari. Voc adalah volt maximum pada nilai arus nol; Voc naik secara logaritma dengan peningkatan sinar matahari, karakter ini yang memungkinkan sel surya untuk mengisi accu (DIMENSI TEKNIK ARSITEKTUR Vol. 28, No. 2, Desember 2000: 129 - 141)

2.2.4 Efisiensi panel surya

Menurut Rigianto (2015), efisiensi sel surya adalah rasio output listrik dari sel surya untuk energi insiden dalam bentuk sinar matahari. Efisiensi konversi energi (η) dari sel surya adalah persentase energi surya untuk yang sel terkena tidak diubah informasi menjadi energi listrik. Ini dihitung adalah dengan membagi output daya sel (dalam watt) pada maksimum powerpoint oleh cahaya (P_m) oleh cahaya masukan (E, dalam W / m²) dan luas permukaan sel surya (A_c di m²).

$$\eta = \frac{P_m}{E \times A_c} \times 100 \% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

η = efisiensi panel surya (%)

P_{out} = Daya output yang dibangkitkan oleh sel surya (Watt)

E = cahaya masukan (W / m^2)

A_c = luas permukaan panel surya (m^2)

$$P_{in} = I_r \times A \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

P_{in} = Daya input akibat Radiasi matahari (Watt)

I_r = intensitas radiasi matahari (Watt/m²)

A = luas permukaan panel surya (m^2)

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

P_{out} = daya yang di bangkitkan sel surya (watt)

V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka pada sel sueya (volt)

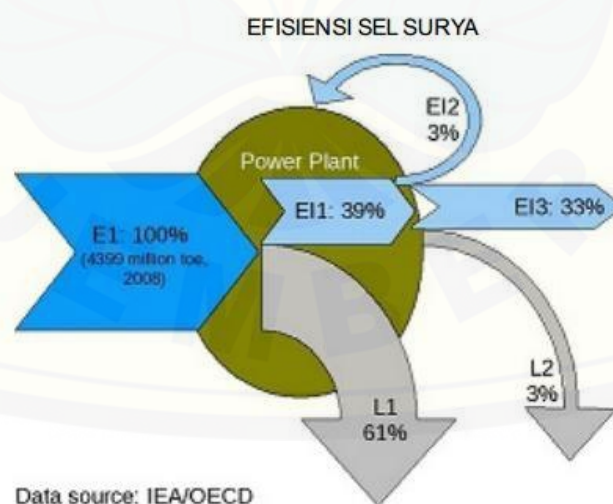
I_{sc} = Arus hubung singkat pada sel surya (ampere)

FF = Fill factor dapat di hitung dengan rumus:

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0,72)}{V_{oc} + 1} \dots\dots\dots (4)$$

Dengan konvensi, efisiensi sel surya yang Diukur dalam kondisi uji standar (Standard Test Condition / STC) kecuali dinyatakan lain. STC menentukan suhu 25 ° C dan pada radiasi 1000 W / m² dengan di massa udara 1,5 spektrum. Kondisi ini sesuai dengan hari yang cerah dengan

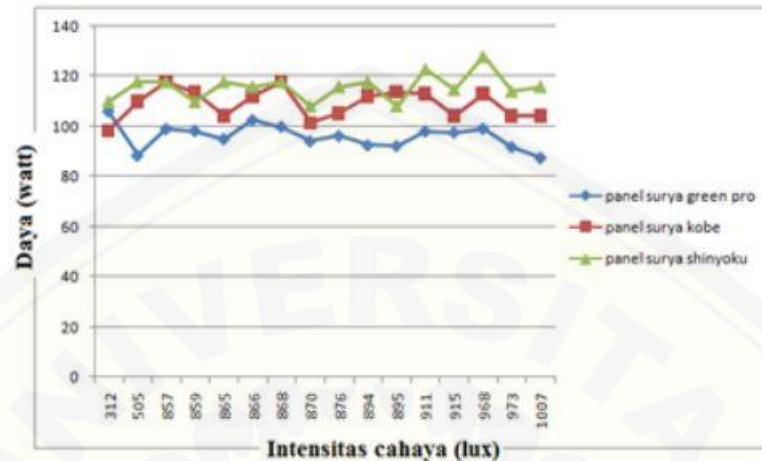
sinar matahari insiden pada permukaan menghadap matahari 37° dengan matahari di di sudut $41,81^\circ$ di atas cakrawala. Ini saat sinar surya pada musim semi dan musim gugur di daratan Amerika Serikat dengan permukaan sel ditujukan langsung di matahari. Di bawah kondisi pengujian hipotesis efisiensi sel surya dari 20% dengan 100 cm^2 ($(10\text{ cm})^2$) luas permukaan akan menghasilkan 2,0 W. Efisiensi sel surya yang digunakan dalam sistem fotovoltaik, dikombinasikan dengan garis lintang dan iklim, serta output energi tahunan dari sistem. Misalnya, panel surya dengan efisiensi 20% dan di daerah 1 m^2 akan menghasilkan 200 W di STC , tetapi dapat menghasilkan lebih ketika matahari tinggi di langit dan akan menghasilkan lebih sedikit dalam kondisi berawan dan ketika matahari rendah di langit. Di tengah Colorado, yang menerima insolation tahunan 2200 kWh / m^2 , diperiksa panel dapat diharapkan untuk menghasilkan 440 kWh energi per tahun. Namun, di Michigan, yang menerima hanya 1.400 kWh / m^2 / tahun, menghasilkan energi tahunan akan turun menjadi 280 kWh untuk panel yang sama. Pada lintang utara, hasil yang signifikan lebih rendah: 175 kWh menghasilkan energi tahunan di Inggris selatan.



Gambar 2.8 *Efficiency of Power Plant* (Sumber: World total, 2008)

Menurut Pahlevi (2014), Setiap panel sel surya memiliki efisiensi tersendiri walaupun sama-sama 100Wp, selain itu kecepatan angin juga dapat

mempengaruhi kinerja dari panel sel surya, semakin kencang tekanan angin maka semakin kecil juga efisiensi yang dihasilkan oleh panel sel surya.



Gambar 2.9 Grafik perbandingan ketiga panel surya berdasarkan intensitas terendah samapai tertinggi (sumber: Pahlevi, 2014).

2.3 Charge controller

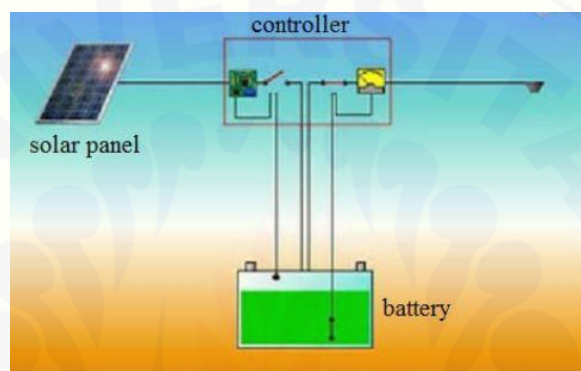
Charge Controller bekerja seperti alat pengatur tegangan. Fungsi utama dari PV controller ini adalah untuk menghindari baterai dari pengisian ulang yang berlebihan (*overcharged*) dari solar cells. Beberapa PV controller juga melindungi baterai dari kehabisan dini (*overdrain*) oleh beban (alat listrik). *Overcharge* dan *overdrain* mengurangi umur baterai. PV Controller menghindari *overdischarging* dengan:

- Mengaktifkan indikator ataupun buzzer untuk menyatakan tegangan baterai yang rendah.
- Mendiskonek beban pada nilai tegangan baterai tertentu.

Charge Controller secara konstan mengawasi tegangan baterai. Ketika baterai sudah terisi penuh, pengontrol akan berhenti atau mengurangi jumlah arus yang mengalir dari solar cells ke dalam baterai. Ketika baterai sudah habis sampai

tingkat terendah, PV controller akan mematikan arus yang mengalir dari baterai ke beban (alat listrik).

Charge Controller tersedia dalam berbagai ukuran, dari beberapa ampere sampai dengan 80amps. Untuk arus yang tinggi, dua atau lebih pengontrol PV dapat digunakan. Saat menggunakan lebih dari satu PV controller, diperlukan untuk membagi solar cells dalam beberapa kelompok. Berikut diagram kerja controller seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.10 Diagram kerja controller

2.3.1 Jenis *Charge Controller*

Ada 4 jenis *Charge Controller*:

a. *Shunt PV Controller*

Shunt PV controller diciptakan untuk sistem yang sangat kecil. Mereka menghindari pengisian ulang yang berlebihan dengan shunting atau sirkuit/lingkaran pendek solar cell 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 resistansi 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.

b. *Single Stage Controller*

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

c. *Diversion Controller*

Controller ini otomatis mengatur arus yang mengalir ke baterai dengan memonitor tegangan baterai yang sedang diisi, arus yang berlebih dialihkan ke resistor load. Arus dari solar cells dapat mengalir ketika tegangan baterai rendah. Saat baterai mendekati penuh, controller mengalihkan sebagian arus ke muatan resistors.

d. *Pulse Width Modulation (PWM) Controller*

PWM controller adalah pengontrol yang saat ini tersedia di pasaran. seperti namanya menggunakan 'lebar' pulse dari on dan off elektrikal, 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 baterai.

2.3.2 Efisiensi *charger controller*

Efisiensi *charge controller* dihitung dengan cara membandingkan daya keluaran *charge controller* yaitu $P_2 = V_2 \times I_2$ dengan daya masukannya yaitu $P_1 = V_1 \times I_1$. Efisiensi *charge controller* adalah cenderung menurun selama masa

pengisian baterai sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.11 Efisiensi tertinggi terjadi pada awal proses pengisian yaitu sebesar 62% (Anto dkk, 2014).

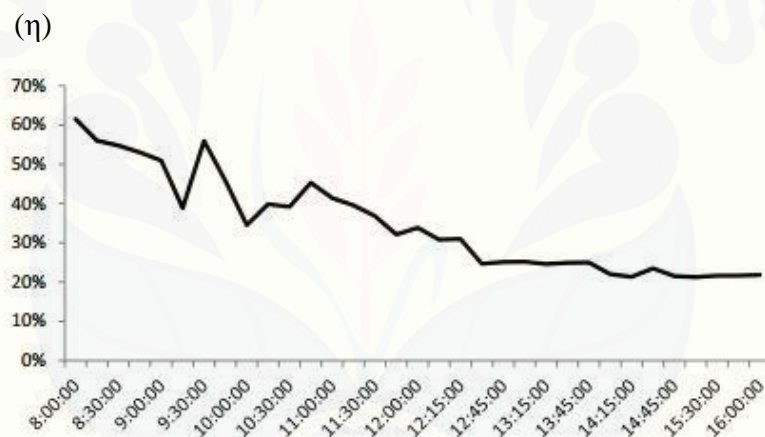
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

η = efisiensi *charge controller* (%)

P_2 = Daya keluaran (Watt)

P_1 = Daya masukan (Watt)

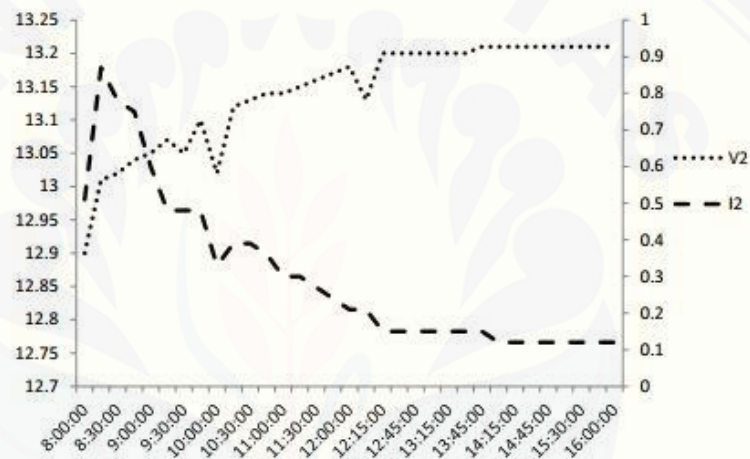


Gambar 2.11 Grafik efisiensi charger controller terhadap waktu (Sumber: Anto dkk, 2014).

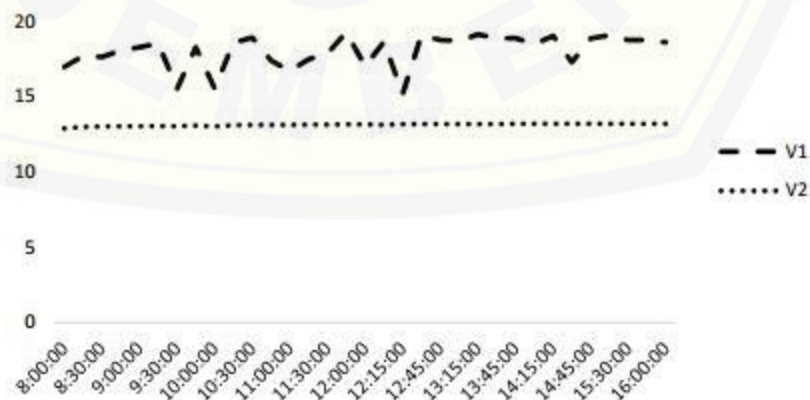
Grafik pada Gambar 2.12 memperlihatkan tegangan terminal baterai selama proses pengisian dan arus pengisian baterai. Tegangan terminal baterai meningkat seiring dengan penurunan arus pengisian baterai. Diakhir masa pengujian, dari pukul 14.00 – 16.00, tegangan terminal baterai bertahan pada nilai 13,2 Volt dan arus pengisian bertahan pada nilai 0,12 Ampere. Kondisi ini disebabkan oleh baterai telah terisi penuh. Waktu yang diperlukan untuk mencapai baterai SLA pada kondisi penuh adalah sekitar 6 jam. Adanya penurunan tegangan terminal baterai antara 09.30 – 10.30 dan 12.00 – 12.30

disebabkan oleh kondisi sinar matahari yang terhalang oleh awan (Anto, Hamdani dan Abdullah, 2014).

Grafik pada Gambar 2.13 memperlihatkan nilai V1 dan V2 terhadap waktu pengujian. Dari grafik tersebut terlihat bahwa tegangan baterai SLA selama waktu pengisian tidak melewati tegangan maksimum pengisian sebesar 14,7 Volt, meskipun tegangan terminal panel surya fluktuatif. Ini berarti charge controllertelah mengisi baterai pada kondisi aman bagi baterai tersebut (Anto,Hamdani dan Abdullah,2014).



Gambar 2.12 Grafik V2 dan I2 terhadap waktu pengujian (Sumber: Anto,Hamdani dan Abdullah,2014).



Gambar 2.13 Grafik V1 dan V2 terhadap waktu pengujian (Sumber: Anto dkk, 2014).

2.4 Baterai

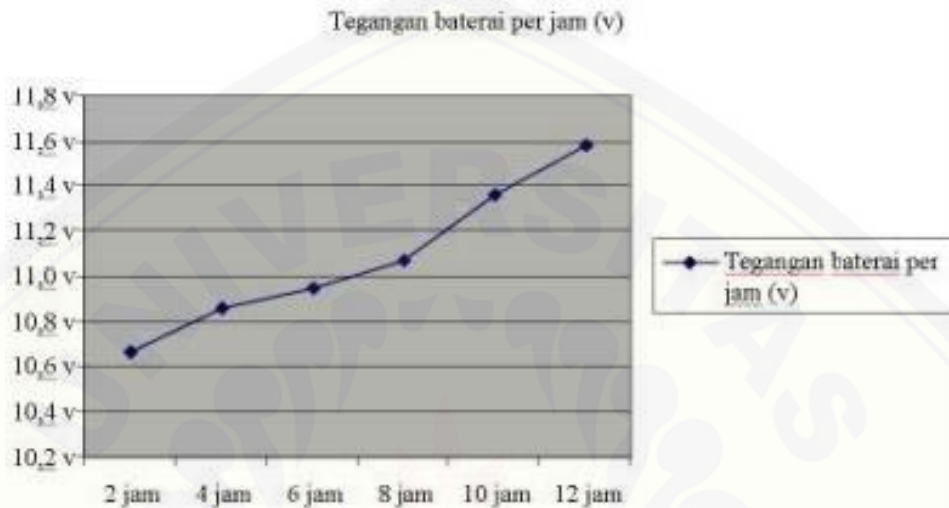
Menurut Junial (2010), baterai adalah alat yang menyimpan daya yang dihasilkan oleh panel surya yang tidak segera digunakan oleh beban. Daya yang disimpan dapat digunakan saat periode radiasi matahari rendah atau pada malam hari. Komponen baterai kadang-kadang dinamakan akumulator. Baterai menyimpan listrik dalam bentuk daya kimia. Baterai yang paling biasa digunakan dalam aplikasi surya adalah baterai yang bebas pemeliharaan bertimbal asam (*maintenance-free lead-acid batteries*), yang juga dinamakan baterai recombinant atau VRLA (klep pengatur asam timbal atau *valve regulated lead acid*). Baterai memenuhi dua tujuan penting dalam sistem fotovoltaik, yaitu untuk memberikan daya listrik kepada sistem ketika daya tidak disediakan oleh *array* panel-panel surya, dan untuk menyimpan kelebihan daya yang ditimbulkan oleh panel-panel setiap kali daya itu melebihi beban. Baterai tersebut mengalami proses siklis menyimpan dan mengeluarkan, tergantung pada ada atau tidak adanya sinar matahari. Selama waktu adanya matahari, array panel menghasilkan daya listrik. Baterai tersedia dalam berbagai jenis dan ukuran. Ada dua jenis baterai yaitu "disposable" dan rechargeable. Baterai rechargeable digunakan oleh sistem solar cell adalah aki/ baterai leadacid seperti terlihat pada Gambar 2.15 di bawah ini.



Gambar 2.14 Baterai lead acid 12V

Menurut Rochman dan Sembodo (2014), Akumulator (*accu*, aki) adalah sebuah alat yang dapat menyimpan energi (umumnya energi listrik) dalam bentuk energi kimia. Di dalam standar internasional setiap satu cell akumulator memiliki tegangan sebesar 2 volt. Sehingga aki 12 volt, memiliki 6 cell

sedangkan aki 24 volt memiliki 12 cell. Dengan menggunakan spesifikasi Daya panel surya = 100 WP, tegangan output 21,5 volt, Output rangkaian kontrol = 13.5 Volt, 6 Amper Kapasitas aki = 12 volt, 35 Ah dapat di peroleh hasil pengisian baterai seperti gambar di bawah ini.



Gambar 2.15 Grafik kenaikan tegangan baterai (Sumber: Rochman dan Sembodo, 2014).

Grafik diatas menunjukkan besar tegangan aki pada saat proses pengisian dalam selang waktu 12 jam. Tegangan aki semakin naik seiring lama waktu pengisian. Untuk kecepatan naiknya tegangan dipengaruhi beberapa faktor yaitu intensitas cahaya matahari, kapasitas daya panel surya yang digunakan, kemampuan rangkaian kontrol, dan besar kapasitas aki yang di-charge.

2.4.1 Efisiensi baterai

Efisiensi baterai dihitung dengan cara membandingkan energi masukan (Wh) dengan energi keluaran baterai (Wh).

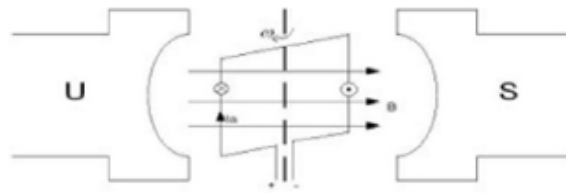
$$\eta = \frac{\text{energi masukan}}{\text{energi keluaran}} \times 100\% \dots\dots\dots(6)$$

2.5 Motor DC

Motor arus searah (DC) adalah mesin yang mengubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanis yang berupa putaran. Berdasarkan fisiknya motor arus searah secara umum terdistribusi bagian yang diam dan bagian yang berputar. Kumparan medan pada stator tersebut dihubungkan dengan suatu sumber tegangan, maka pada kumparan medan itu akan mengalir arus medan (I_f). Kumparan medan yang dialiri arus ini akan menimbulkan fluksi utama yang dinamakan fluksi stator. Fluksi ini merupakan medan magnet yang arahnya dari kutub utara menuju kutub selatan (hal ini dapat dilihat dengan adanya garis-garis fluksi). Apabila pada kumparan jangkar mengalir arus yakni arus jangkar, berdasarkan hukum Lorentz kita ketahui bahwa apabila sebuah konduktor yang dialiri arus ditempatkan pada sebuah medan magnet maka pada konduktor tersebut akan timbul gaya, maka demikian pula halnya pada kumparan jangkar. Besarnya gaya ini bergantung dari besarnya arus yang mengalir pada kumparan jangkar (I), kerapatan fluksi (B) dari kedua kutub dan panjang konduktor jangkar (l). Semakin besar fluksi yang terimbas pada kumparan jangkar maka arus yang mengalir pada kumparan jangkar juga besar, dengan demikian gaya yang terjadi pada konduktor juga semakin besar (Chapman dan Stephen, 1999).

2.5.1 Prinsip kerja

Motor DC atau motor arus searah adalah suatu mesin yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik searah menjadi tenaga gerak atau tenaga mekanik berupa putaran dari rotor. Prinsip kerja motor DC hampir sama dengan generator DC. Kecuali pada konversi daya yang dihasilkan. Prinsip dasar motor DC yaitu: “Apabila suatu kawat berarus diletakkan diantara kutub-kutub magnet Utara dan selatan (U-S) maka pada kawat itu akan bekerja suatu gaya yang menggerakkan kawat tersebut”.

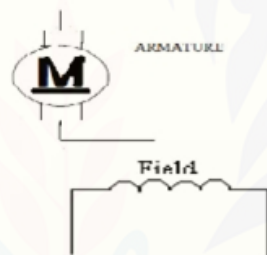


Gambar 2.16 Prinsip kerja Motor DC

Bila sebuah lilitan terletak dalam medan magnet yang homogen arah gerakan ditunjukkan seperti gambar diatas, karena kedua sisi belitan mempunyai arah arus yang berlawanan.

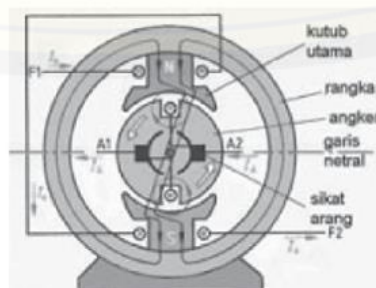
2.5.2 Konstruksi Motor DC

Bagian-bagian penting dari motor dc ditunjukkan seperti pada Gambar 2.18 berikut:



Gambar 2.17 Diagram Skematik Motor DC

Stator mempunyai kutub menonjol dan diteral oleh satu atau lebih kumparan medan. Pembagian fluks celah udara yang dihasilkan oleh lilitan medan secara simetris berada disekitar garis tengah kutub medan. Sumbu ini dinamakan sumbu medan atau sumbu langsung. Gambar 2.19 menunjukkan gambar konstruksi motor dc.



Gambar 2.18 Konstruksi Motor DC

2.5.3 Jenis-jenis Motor DC

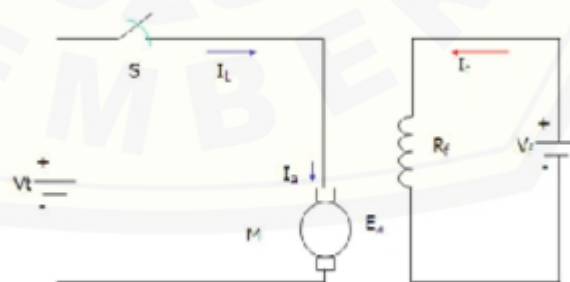
Berdasarkan sumber arus penguat magnet motor DC dapat dibedakan menjadi:

1. Motor DC Penguat Terpisah, jika arus penguat magnet diperoleh dari sumber dc di luar motor.
2. Motor DC Penguat Sendiri, bila arus penguat magnet berasal dari motor itu sendiri.

2.5.4 Pengaturan Kecepatan Motor DC

Kecepatan putaran motor sama dengan jumlah putaran motor dalam periode tertentu, misalnya putaran per menit (Rpm) atau kecepatan per detik (Rps). Alat ukur yang digunakan adalah indikator kecepatan sering disebut tachometer. Tachometer di tempelkan langsung pada poros sebuah motor dan dibaca putarannya pada skala yang ada. Tachometer yang modern menggunakan prinsip sinar laser, bekerjanya lebih sederhana berkas sinar laser ditembakkan pada poros dan display digital akan menunjukkan putaran poros motor (Siswoyo, 2008).

Salah satu pengaturan kecepatan motor DC adalah dengan mengatur tegangan V_t , pada pengaturan kecepatan motor DC dengan penguat sendiri yang diatur adalah tegangan jepit pada kumparan jangkar V_t atau V_a . Hampir sama dengan motor DC penguat terpisah hanya saja pada motor dc penguat sendiri pada proyek akhir ini adalah menggunakan magnet permanen.



Gambar 2.19 Rangkaian ekivalen motor DC penguat terpisah

Pada saat start, motor DC penguat sendiri pertama kali berputar pada kecepatan (ω) rendah dan torsi (τ) pada motor sangat tinggi. Kondisi seperti ini

berlanjut apabila kecepatan motor dc semakin tinggi maka torsi pada motor akan semakin rendah.

2.5.5 Rugi-rugi dan Efisiensi motor DC

Sebagian tenaga listrik (input) motor DC hilang atau berubah menjadi panas. Rugi-rugi lain yang terjadi dalam mesin arus searah atau motor dc adalah :

1. Rugi besi, yang terdiri atas rugi histerisis dan rugi arus Eddy.
2. Rugi listrik, yang dikenal sebagai rugi tembaga ($I^2 R$).
3. Rugi mekanik yang terdiri atas rugi geser pada sikat, pada sumbu dan rugi angin efisiensi didefinisikan sebagai perbandingan daya output dengan daya input.

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{daya input}}{\text{daya output}} \times 100\% \dots\dots\dots(7)$$

2.5.6 Pengaturan Kecepatan Motor DC

Salah satu pengaturan kecepatan motor DC adalah dengan mengatur tegangan V_t , pada pengaturan kecepatan motor DC dengan penguat sendiri yang diatur adalah tegangan jepit pada kumparan jangkar V_t atau V_a . Hampir sama dengan motor dc penguat terpisah hanya saja pada motor dc penguat sendiri pada proyek akhir ini adalah menggunakan magnet permanen, ditunjukkan pada gambar 2.21.

Pada saat start, motor DC penguat sendiri pertama kali berputar pada kecepatan (ω) rendah dan torsi (τ) pada motor sangat tinggi. Kondisi seperti ini berlanjut apabila kecepatan motor DC semakin tinggi maka torsi pada motor akan semakin rendah. Hal ini sesuai dengan persamaan, bahwa:

$$T = \frac{P}{\omega} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

T = torsi (Nm)

P = daya (watt)

ω = kecepatan putar (rad/s)

$$1 \text{ RPM} = 1 \times \frac{2\pi}{60} \text{ rad/s} \dots\dots\dots(7)$$

$$T = F \times R \dots\dots\dots(8)$$

$$F = \frac{P}{R \times \omega} \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan:

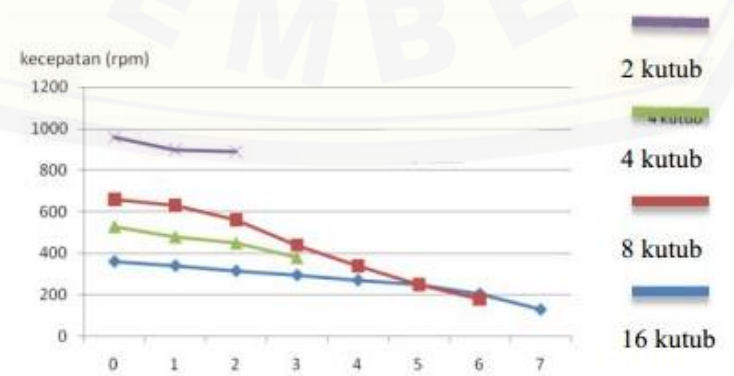
F = gaya (N)

R = Jari-jari (m)

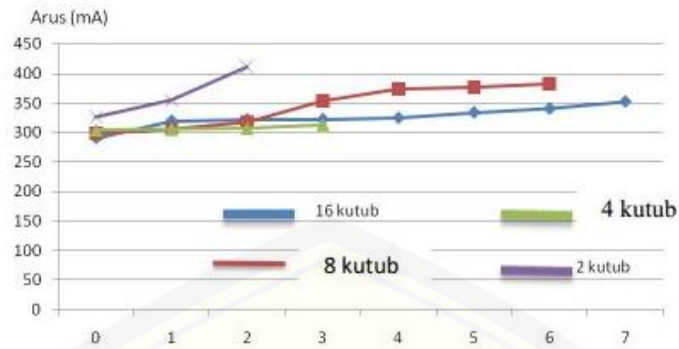
Sesuai persamaan diatas bahwa kecepatan dan torsi saling berbanding terbalik. Artinya semakin besar kecepatan motor maka torsi motor semakin kecil dan apabila kecepatan motor semakin kecil maka torsi motor semakin besar.

2.5.7 Pengujian motor listrik

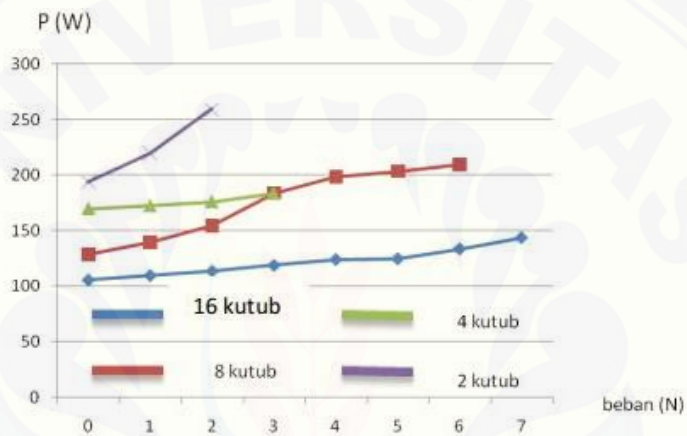
Salah satu pengujian motor listrik menggunakan metode pembebanan menggunakan *prony brake*. Bila beban bertambah arus akan naik, akibatnya daya yang dikonsumsi oleh motor induksi juga akan bertambah, karena daya berbanding lurus dengan arus dan faktor daya. Semakin besar pembebanan maka kecepatannya akan berkurang, akibatnya slip akan semakin besar, karena slip merupakan selisih antara kecepatan medan putar yang besarnya tetap dan kecepatan putar rotor yang mengecil bila beban bertambah. Sehingga semakin besar beban motor maka slip akan bertambah atau hubungan antara pembebanan dengan slip berbanding lurus (Sugiyantoro, Haryono dan Farqadain, 2012).



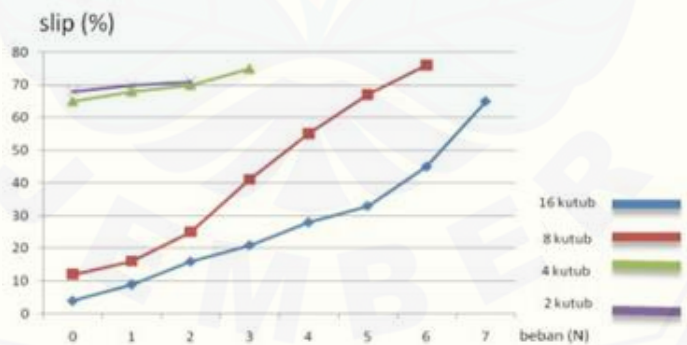
Gambar 2.20 Pembebanan terhadap slip motor induksi (sumber: Sugiyantoro dkk, 2012)



Gambar 2.21 Pembebanan terhadap slip motor induksi (sumber: Sugiyantoro dkk, 2012)

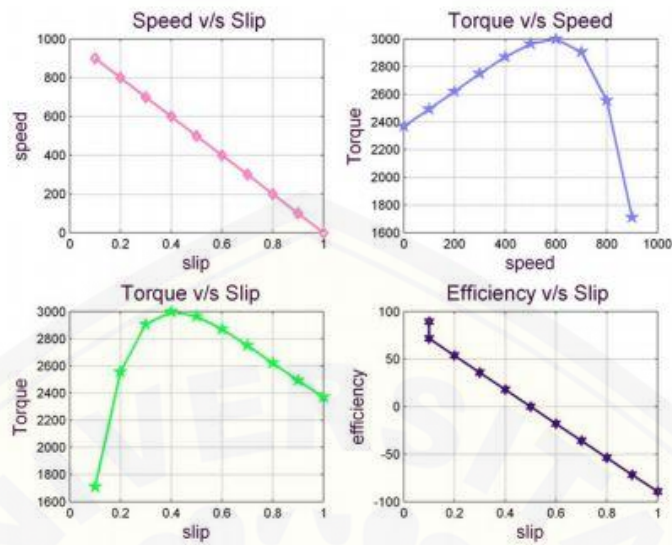


Gambar 2.22 Pembebanan terhadap slip motor induksi (sumber: Sugiyantoro dkk, 2012)



Gambar 2.23 Pembebanan terhadap slip motor induksi (sumber: Sugiyantoro dkk, 2012)

Semakin besar presentase slip pada motor listrik maka efisiensinya akan semakin rendah sesuai dengan gambar di bawah ini.



Gambar 2.24 Pengaruh slip motor listrik (Sumber: Sehra dkk, 2012)

2.6 Hipotesis penelitian

Hipotesa dari penelitian ini adalah semakin tinggi RPM maka efisiensi akan naik dikarenakan slip pada motor listrik semakin berkurang dan semakin besar pembebanan motor listrik maka efisiensi akan cenderung menurun dikarenakan slip pada motor semakin bertambah.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu metode yang digunakan untuk menganalisis pengaruh putaran dan pembebanan di motor listrik terhadap efisiensi energi pada panel surya, *charge controller*, baterai dan motor listrik.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Waktu penelitian dilaksanakan dalam jangka waktu dua bulan yaitu dimulai dari bulan april sampai dengan bulan mei 2016.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat:

1. *Pyranometer*
2. Panel surya 100 Wp
3. Baterai 12 V 35 Ah
4. Motor listrik DC 200 watt 12 V
5. *Charge controller*
6. Kerangka motor listrik
7. *Watt hour meter*
8. Stopwatch
9. Pegas ukur
10. Avometer
11. *Tachometer*
12. Rangkaian pembebanan motor listrik (*prony brake*)

3.3.2 Bahan:

1. Beberapa komponen dasar elektronika (kabel, penjepit, timah)

2. Kerangka / tempat dudukan bagi solar sel (besi siku ukuran 4 x 4 cm)
3. Kerangka /tempat dudukan motor listrik (besi siku ukuran 4 x 4 cm)
4. Isolasi kabel

3.4 Variabel penelitian

3.4.1 Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang bebas di tentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas yang di gunakan adalah sebagai berikut:

- a. Variasi pembebanan pada motor listrik (0,5 N, 1 N, 1,5 N, 2 N, 2,5 N) full throttle.
- b. Variasi rpm motor listrik (250 rpm, 500 rpm, 750 rpm, 1000 rpm, 1250 rpm) dengan pembebanan 1 N dan 2 N.

3.4.2 Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti tapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Penelitian ini memiliki variabel terikat berupa data yang di ambil dari watthour meter dengan menganalisa data-datanya yang meliputi besarnya energi yang mengalir dari panel surya, *charge controller*, baterai dan motor listrik saat di berikan variasi pembebanan dan variasi putaran.

3.5 Prosedur dan Langkah-Langkah Penelitian

3.5.1 Penyusunan Alat Penelitian dan persiapan pengujian

Sebelum penelitian dilaksanakan, terlebih dahulu dilakukan persiapan menyusun perlengkapan penelitian. Sebelum penyusunan alat dilakukan pengecekan kondisi rangkaian elektroniknya, sistem mekaniknya dan sumber tegangannya.

- Pengambilan data pengujian dengan variasi putaran motor listrik dengan pembebanan 1 N dan 2 N

Tabel 3.2 Pengambilan data untuk variasi putaran

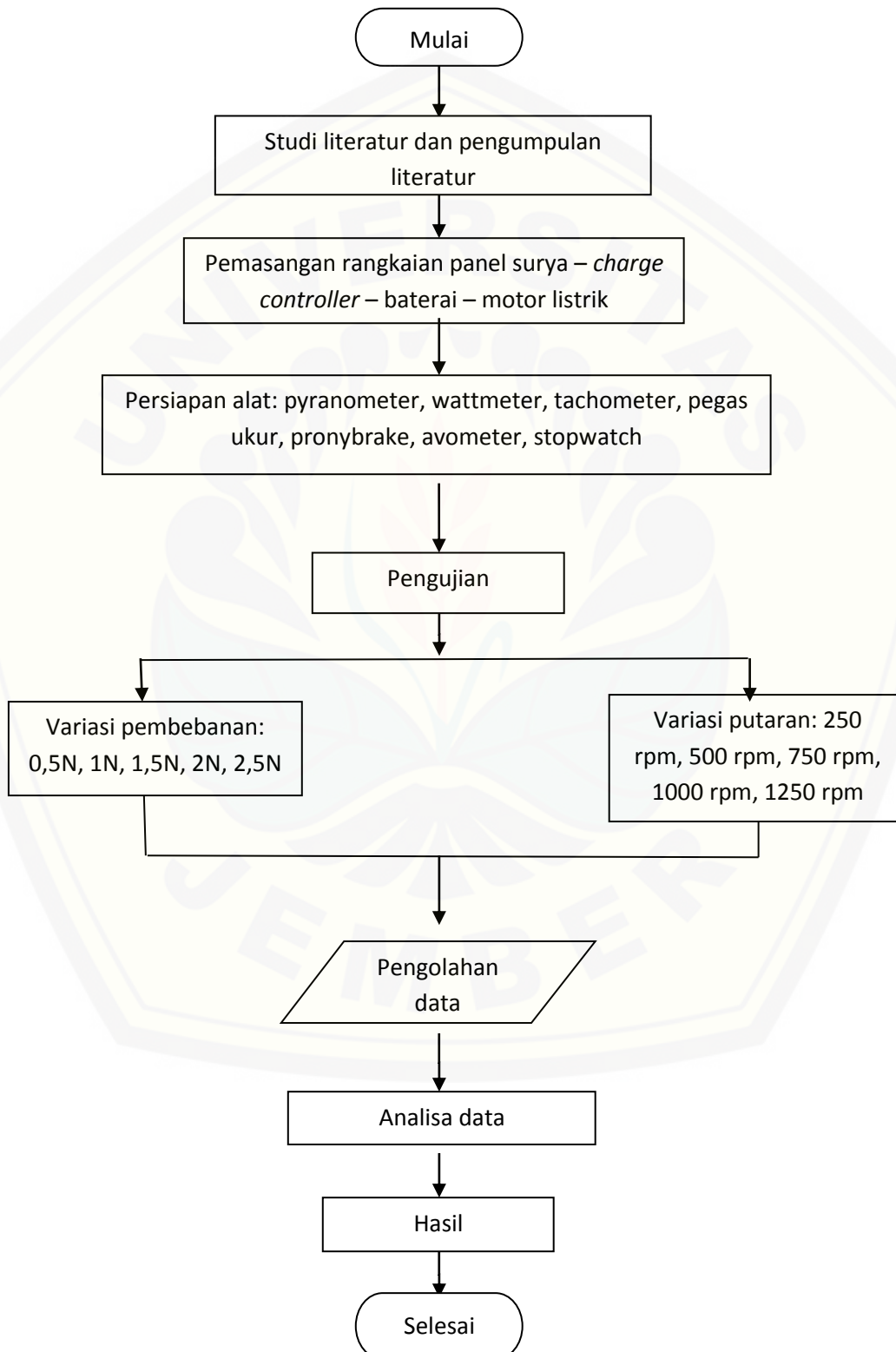
Waktu	Panel surya			<i>Charge controller</i>	Baterai masuk	Baterai keluar	Motor listrik			
	<i>Pyranometer</i>			Wattmeter 1	Wattmeter 2	Wattmeter 3	Wattmeter 4			
	V	I	E	Wh 1	Wh 2	Wh 3	V	Wh 4	P	

3.6 Skema alat uji



3.7 Diagram alir penelitian

Proses dalam penelitian ini dapat di gambarkan dengan diagram alir di bawah ini.



BAB 5. PENUTUP

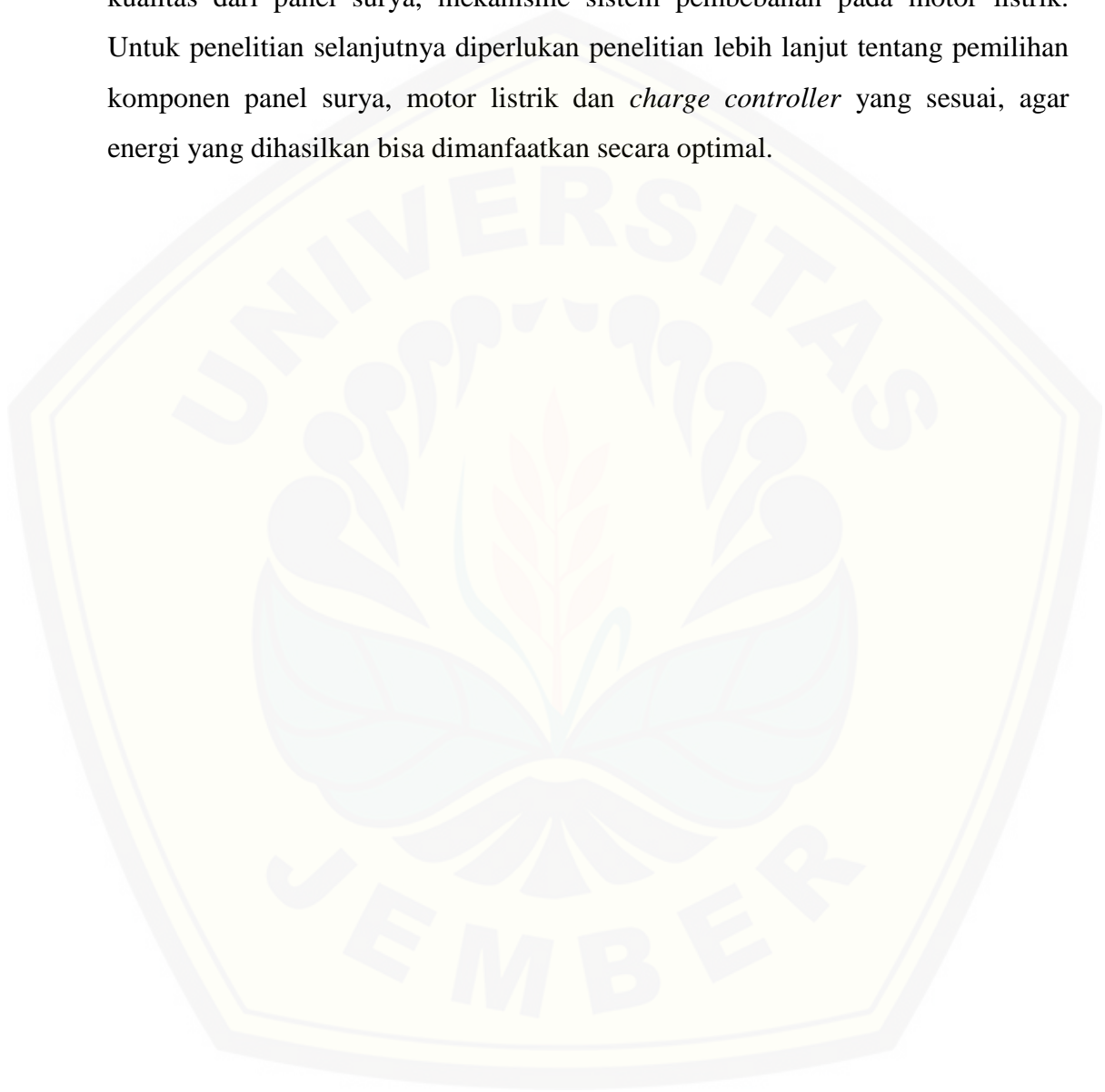
5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian serta menganalisa hasil data pengujian yang sudah dilaksanakan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Besarnya nilai efisiensi dari panel surya sangat dipengaruhi oleh jenis dan kualitas panel surya. Adanya variasi pembebanan dan putaran pada motor listrik tidak berpengaruh terhadap efisiensi panel surya. Dalam penelitian yang dilakukan didapatkan nilai dari efisiensi dari panel surya cenderung stabil, nilainya berkisar pada 5,1 %
2. Dari hasil pengujian didapatkan kesimpulan bahwa Semakin tinggi nilai tegangan dari baterai maka efisiensi energi dari *charge controller* semakin menurun. Hal ini dikarenakan saat tegangan baterai tinggi baterai sudah dalam kondisi terisi penuh maka secara otomatis *charge controller* membatasi arus yang masuk ke baterai. Adanya variasi pembebanan dan putaran tidak mempengaruhi besar efisiensi *charge controller*. Efisiensi tertinggi dari *charge controller* diperoleh pada saat tegangan baterai 13,1 V yaitu sebesar 47,83 %.
3. Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa semakin tinggi putaran motor listrik dan semakin besar nilai pembebanan maka nilai efisiensi pada baterai akan semakin menurun. Besarnya efisiensi dari baterai sangat dipengaruhi oleh jumlah energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan motor listrik (energi keluar baterai) dan jumlah energi yang masuk ke dalam baterai. Nilai efisiensi tertinggi diperoleh pada pembebanan 0,5 N yaitu sebesar 94,1 %.
4. Dari hasil pengujian didapatkan kesimpulan bahwa semakin rendah putaran dari motor listrik maka efisiensi dari motor listrik akan semakin menurun. hal ini terjadi karena terjadi slip pada motor listrik saat putaran rendah. Efisiensi tertinggi diperoleh pada putaran 1250 rpm yaitu sebesar 97,5 %.

5.2. Saran

Banyak faktor yang memengaruhi nilai efisiensi energi dari panel surya *charge controller*, baterai dan motor listrik. Beberapa diantaranya adalah jenis dan kualitas dari panel surya, mekanisme sistem pembebanan pada motor listrik. Untuk penelitian selanjutnya diperlukan penelitian lebih lanjut tentang pemilihan komponen panel surya, motor listrik dan *charge controller* yang sesuai, agar energi yang dihasilkan bisa dimanfaatkan secara optimal.



DAFTAR PUSTAKA

- Anto, Hamdani dan Abdullah. 2014. Portable Battery Charger Berbasis Sel Surya. Jurnal Rekayasa Elektrika, 11 (1): 19-24.
- Arismunandar dan Jensen. 2000. *Teknologi Rekayasa Surya*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Chapman, Stephen J. 1999. "*Electric Machinery Fundamentals*". Third Edition. New York: Mc Graw Hill Companies.
- Daryanto. 2007. *Energi Masalah dan Pemanfaatannya Bagi Kehidupan Manusia*. Yogyakarta: Pustaka Widyatama.
- Dewi, Y. A, Antonov. 2013. Pemanfaatan Energi Surya sebagai Suplai Cadangan Pada Laboratorium Elektro Dasar di Institut Teknologi Padang. Jurusan Teknik Elektro. Institut Teknologi Padang.
- Junial, Heri. 2010. Pengujian Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Solar Cell Kapasitas 50wp.
- M. Rusli Harahap. 1996. *Mesin Listrik Mesin Arus Searah*. Jakarta: PT.Gramedia Pustaka Utama.
- Mintorogo, Danny Santoso (2000). Strategi Aplikasi Sel Surya (Photovoltaic Cells) pada Perumahan dan Bangunan Komersial, dalam Jurnal Dimensi Teknik Arsitektur, vol. 28, No. 2: 129-141.
- Mulyono, Agus. 2007. *Cahaya Diatas Cahaya Kajian Cahaya Perspektif Fisika dan Tasawuf*. Malang: UIN Press
- Pahlevi, Reza. 2014. Pengujian karakteristik panel surya berdasarkan intensitas tenaga surya.
- Rochman dan Sembodo. 2014. Rancang Bangun Alat Kontrol Pengisian Aki Untuk Mobil Listrik Menggunakan Energi Sel Surya Dengan Metode Sequensial. jurnal Teknik WAKTU, 12 (2): 61-66
- Rugianto. 2015. EFISIENSI SEL SURYA. <http://www.vedcmalang.com>
- Shantia, Wibawa dan Suyono. 2014. Analisis Pemanfaatan Energi Listrik pada Mesin-mesin Produksi Divisi Pabrikasi Di PT INKA Madiun.

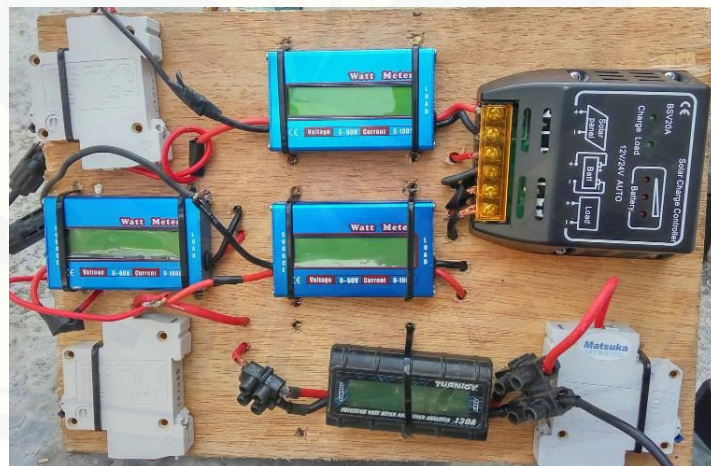
- Sehra, Gautam dan Bhuria. 2012. Performance evaluation of three phase induction motor based on no load and blocked rotor test using matlab. *International Journal of Science, Environment and Technology*. (1) 5 hal 541 - 547
- Siahaan, Mujahidin dan Nusyirwan. 2015. Implementasi Panel Surya Yang Diterapkan Pada Daerah Terpencil Di Rumah Tinggal Di Desa Sibuntuon, Kecamatan Habinsaran.
- Sugiyantoro, Haryono dan Farqadain. 2012. Perancangan Dan Pengujian Motor Induksi Tiga Fase Multi-Kutub. *JNTETI*, 1 (1): 44-48
- Tumanggor dan Dinzi. 2013. Analisis Perbandingan Efek Pembebanan Terhadap Ggl Balik Dan Efisiensi Pada Motor Dc Penguatan Kompon Panjang Dan Motor Induksi. *DTE FT USU*, 4 (2): 53-58
- Waloyo, Nizam dan Dimyadi. 2011. Simulasi Peningkatan Efisiensi Penggunaan Daya Pada Sistem Mobil Listrik Berpenggerak Motor Dc Dengan Menggunakan Logika Kabur (Fuzzy Logic). *MEKANIKA*, 10 (1): 35-40
- Zeraoulia, Benbouzid dan Diallo. 2006. Electric motor drive selection issues for HEV propulsion systems: A comparative study. *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY*, 55(6): 541 - 547

Lampiran A. dokumentasi penelitian

A.1 Panel Surya



A.2 Skema charge controller dan wattmeter



A.3 Tachometer



A.4 Skema Pembebanan motor listrik



Lampiran B. Perhitungan**Pada pembebanan 0,5 N**

Diketahui : intensitas matahari (E) = 885 W/m²

Tegangan panel (V) = 13,35 V

Arus panel (I) = 4,76 A

Luas panel (A) = 0,7 m²

Wh 1 = 2,9 wh

Wh 2 = 1 wh

Wh 3 = 1,4 wh

Wh 4 = 3,4 wh

B.1 Perhitungan efisiensi panel surya

$$\eta_p = \frac{V \times I}{E \times A} \times 100 \%$$

$$= \frac{13,35 \times 4,76}{885 \times 0,7} \times 100 \%$$

$$= 5,03 \%$$

B.2 Perhitungan efisiensi *charge controller*

$$\eta_c = \frac{wh\ 2}{wh\ 1} \times 100 \%$$

$$= \frac{1}{2,9} \times 100 \%$$

$$= 34,48 \%$$

B.3 Perhitungan efisiensi baterai

$$\eta_b = \frac{wh_2}{wh_3} \times 100 \%$$

$$= \frac{1}{1,4} \times 100 \%$$

$$= 71,4 \%$$

B.3 Perhitungan efisiensi motor listrik

$$\eta_m = \frac{wh_3}{wh_4} \times 100 \%$$

$$= \frac{1,4}{3,4} \times 100 \%$$

$$= 41,2 \%$$

Lampiran C. Spesifikasi alat

C.1 Panel surya

Daya = 100 Wp
Luas = 100 cm x 70 cm
Tipe = Monocrystalyn

C.2 Baterai

Tegangan = 12 V
Kapasitas = 35 Ah
Tipe = *lead acid, free maintenance*

C.3 Motor listrik

Daya = 200 watt
Tegangan = 12 V
Tipe = motor DC tiga fasa.
Putaran = 2000 rpm

Lampiran D. Tabel hasil pengamatan

Tabel hasil pengamatan kondisi pembebanan 1 N

pukul	panel surya			charge controller	baterai masuk	baterai keluar	motor listrik			
	pyranometer			wattmeter 1	wattmeter 2	wattmeter 3	wattmeter 4			
	V (volt)	I (ampere)	intensitas (W/m ²)	wh 1	wh 2	wh 3	V (volt)	P (watt)	wh 4	putaran (RPM)
10:00:00	13,34	4,76	885	2,8	1	1,6	12,4	113,6	3,8	1701
11:00:00	13,81	4,78	911	3,4	1,6	1,8	12,6	112,5	3,9	1711
12:00:00	13,59	4,77	900	3,1	1,1	1,7	12,4	115,3	3,8	1715
13:00:00	13,41	4,76	891	3	1,3	1,8	12,8	120,9	4	1698
14:00:00	13,23	4,74	879	2,1	0,9	1,6	12,1	121,6	4,1	1719

Tabel hasil pengamatan kondisi pembebanan 1,5 N

pukul	panel surya			charge controller	baterai masuk	baterai keluar	motor listrik			
	pyranometer			wattmeter 1	wattmeter 2	wattmeter 3	wattmeter 4			
	V (volt)	I (ampere)	intensitas (W/m ²)	wh 1	wh 2	wh 3	V (volt)	P (watt)	wh 4	putaran (RPM)
10:00:00	13,36	4,76	885	2,9	1,1	2,1	13,61	127,3	4,2	1611
11:00:00	13,84	4,78	911	3,5	1,5	2,4	13,03	137,6	4,5	1614
12:00:00	13,59	4,77	900	3	1,2	2,2	13,4	137,5	4,4	1602
13:00:00	13,38	4,76	891	3,1	1,3	2,6	13,21	137,4	4,6	1657
14:00:00	13,23	4,74	879	2,1	1	2,2	13,12	135,2	4,4	1642

Tabel hasil pengamatan kondisi pembebanan 2 N

pukul	panel surya			charge controller	baterai masuk	baterai keluar	motor listrik			
	pyranometer			wattmeter 1	wattmeter 2	wattmeter 3	wattmeter 4			
	V (volt)	I (ampere)	intensitas (W/m ²)	wh 1	wh 2	wh 3	V (volt)	P (watt)	wh 4	putaran (RPM)
10:00:00	13,34	4,76	885	2,9	1	2,4	13,6	142,5	4,9	1521
11:00:00	13,82	4,78	911	3,6	1,7	2,8	13,04	157,2	5,3	1573
12:00:00	13,57	4,77	900	3,2	1,3	2,8	13,43	152,6	5,1	1604
13:00:00	13,39	4,76	891	3,2	1,4	2,8	13,2	150,1	5,2	1630
14:00:00	13,22	4,74	879	2,2	1	2,7	13,1	142,3	4,9	16,27

Tabel hasil pengamatan kondisi pembebanan 2,5 N

pukul	panel surya			charge controller	baterai masuk	baterai keluar	motor listrik			
	pyranometer			wattmeter 1	wattmeter 2	wattmeter 3	wattmeter 4			
	V (volt)	I (ampere)	intensitas (W/m ²)	wh 1	wh 2	wh 3	V (volt)	P (watt)	wh 4	putaran (RPM)
10:00:00	13,31	4,76	885	2,8	1,1	2,8	13,6	162,6	5,5	1375
11:00:00	13,81	4,78	911	3,5	1,5	3,2	13,01	169,2	5,7	1340
12:00:00	13,55	4,77	900	3,1	1,1	3,2	13,42	162,5	5,5	1424
13:00:00	13,38	4,76	891	3	1,3	2,9	13,21	171,5	5,9	1442
14:00:00	13,22	4,74	879	2,2	1	3,2	13,09	172,6	5,9	1477

Tabel hasil pengamatan kondisi variasi 500 RPM saat pembebanan 1 N

pukul	panel surya			charge controller	baterai masuk	baterai keluar	motor listrik		
	pyranometer			wattmeter 1	wattmeter 2	wattmeter 3	variasi putaran 500 RPM		
	V (volt)	I (ampere)	intensitas (W/m ²)	wh 1	wh 2	wh 3	V (volt)	P (watt)	wh 4
10:00:00	13,44	4,76	881	2,6	1	1,6	12,3	43,4	2,1
11:00:00	13,82	4,78	905	3	1,1	1,9	12,2	49,6	2,5
12:00:00	13,96	4,78	913	3,4	1,4	2,1	12,1	42,3	2,6
13:00:00	13,63	4,77	892	2,8	1,1	1,3	13,5	42,3	1,7
14:00:00	13,23	4,77	870	2,3	1,1	1,5	13,4	49,1	2

Tabel hasil pengamatan kondisi variasi 750 RPM saat pembebanan 1 N

pukul	panel surya			charge controller	baterai masuk	baterai keluar	motor listrik		
	pyranometer			wattmeter 1	wattmeter 2	wattmeter 3	variasi putaran 750 RPM		
	V (volt)	I (ampere)	intensitas (W/m ²)	wh 1	wh 2	wh 3	V (volt)	P (watt)	wh 4
10:00:00	13,46	4,76	881	2,5	0,9	2,2	13,61	55,1	2,5
11:00:00	13,8	4,78	905	3,1	1,2	2,1	13,61	56,2	2,4
12:00:00	13,94	4,78	913	3,3	1,4	2,2	13,43	52,4	2,5
13:00:00	13,65	4,77	892	2,8	1,1	2,1	13,51	54,3	2,4
14:00:00	13,23	4,77	870	2,4	1	1,9	13,32	52,4	2,2

Tabel hasil pengamatan kondisi variasi 1000 RPM saat pembebanan 1 N

pukul	panel surya			charge controller	baterai masuk	baterai keluar	motor listrik		
	pyranometer			wattmeter 1	wattmeter 2	wattmeter 3	variasi putaran 1000 RPM		
	V (volt)	I (ampere)	intensitas (W/m ²)	wh 1	wh 2	wh 3	V (volt)	P (watt)	wh 4
10:00:00	13,44	4,76	881	2,5	0,9	2,3	13,6	77,2	2,6
11:00:00	13,81	4,78	905	3,1	1,2	2,4	13,6	70,4	2,7
12:00:00	13,97	4,78	913	3,3	1,4	2,6	13,4	79,7	2,9
13:00:00	13,64	4,77	892	2,8	1	2,4	13,52	77,9	2,6
14:00:00	13,25	4,77	870	2,3	1,1	2,9	13,31	79,3	3,2

Tabel hasil pengamatan kondisi variasi 1250 RPM saat pembebanan 1 N

pukul	panel surya			charge controller	baterai masuk	baterai keluar	motor listrik		
	pyranometer			wattmeter 1	wattmeter 2	wattmeter 3	variasi putaran 1250 RPM		
	V (volt)	I (ampere)	intensitas (W/m ²)	wh 1	wh 2	wh 3	V (volt)	P (watt)	wh 4
10:00:00	13,41	4,76	881	2,6	1	2,9	13,6	90,2	3,2
11:00:00	13,8	4,78	905	3,2	1,3	2,8	13,6	85,9	3,1
12:00:00	13,95	4,78	913	3,4	1,5	2,9	13,4	92,4	3,2
13:00:00	13,64	4,77	892	2,9	1	3,4	13,51	106,4	3,7
14:00:00	13,26	4,77	870	2,3	1	3,3	13,39	99,1	3,6

Tabel hasil pengamatan kondisi variasi 500 RPM saat pembebanan 2 N

pukul	panel surya			charge controller	baterai masuk	baterai keluar	motor listrik		
	pyranometer			wattmeter 1	wattmeter 2	wattmeter 3	variasi putaran 500 RPM		
	V (volt)	I (ampere)	intensitas (W/m ²)	wh 1	wh 2	wh 3	V (volt)	P (watt)	wh 4
10:00:00	13,44	4,76	881	2,6	1	1,6	11,6	47,6	2,2
11:00:00	13,82	4,78	905	3	1,1	1,6	12,1	42,4	2,2
12:00:00	13,96	4,78	913	3,4	1,4	1,8	12,7	41,6	2,4
13:00:00	13,63	4,77	892	2,8	1,1	1,6	12,6	45,6	2,3
14:00:00	13,23	4,77	870	2,3	1,1	1,7	11,8	52,1	2,5

Tabel hasil pengamatan kondisi variasi 750 RPM saat pembebanan 2 N

pukul	panel surya			charge controller	baterai masuk	baterai keluar	motor listrik		
	pyranometer			wattmeter 1	wattmeter 2	wattmeter 3	variasi putaran 750 RPM		
	V (volt)	I (ampere)	intensitas (W/m ²)	wh 1	wh 2	wh 3	V (volt)	P (watt)	wh 4
10:00:00	13,46	4,76	881	2,5	0,9	2,5	13,61	89,1	3
11:00:00	13,8	4,78	905	3,1	1,2	2,4	13,61	88,2	2,9
12:00:00	13,94	4,78	913	3,3	1,4	2,4	13,43	84,7	2,8
13:00:00	13,65	4,77	892	2,8	1,1	2,6	13,51	80,4	3,1
14:00:00	13,23	4,77	870	2,4	1	2,4	13,32	79,8	2,9

Tabel hasil pengamatan kondisi variasi 1000 RPM saat pembebanan 2 N

pukul	panel surya			charge controller	baterai masuk	baterai keluar	motor listrik		
	pyranometer			wattmeter 1	wattmeter 2	wattmeter 3	variasi putaran 1000 RPM		
	V (volt)	I (ampere)	intensitas (W/m ²)	wh 1	wh 2	wh 3	V (volt)	P (watt)	wh 4
10:00:00	13,44	4,76	881	2,5	0,9	2,3	13,6	77,2	2,6
11:00:00	13,81	4,78	905	3,1	1,2	2,4	13,6	70,4	2,7
12:00:00	13,97	4,78	913	3,3	1,4	2,6	13,4	79,7	2,9
13:00:00	13,64	4,77	892	2,8	1	2,4	13,52	77,9	2,6
14:00:00	13,25	4,77	870	2,3	1,1	2,9	13,31	79,3	3,2

Tabel hasil pengamatan kondisi variasi 1250 RPM saat pembebanan 2 N

pukul	panel surya			charge controller	baterai masuk	baterai keluar	motor listrik		
	pyranometer			wattmeter 1	wattmeter 2	wattmeter 3	variasi putaran 1250 RPM		
	V (volt)	I (ampere)	intensitas (W/m ²)	wh 1	wh 2	wh 3	V (volt)	P (watt)	wh 4
10:00:00	13,41	4,76	881	2,6	1	2,9	13,6	90,2	3,2
11:00:00	13,8	4,78	905	3,2	1,3	2,8	13,6	85,9	3,1
12:00:00	13,95	4,78	913	3,4	1,5	2,9	13,4	92,4	3,2
13:00:00	13,64	4,77	892	2,9	1	3,4	13,51	106,4	3,7
14:00:00	13,26	4,77	870	2,3	1	3,3	13,39	99,1	3,6