



**ANALISIS DAYA PADA PANEL SURYA MENGGUNAKAN
MOTOR *STEPPER* SEBAGAI PENGGERAK PANEL SURYA
DENGAN MENGIKUTI SINAR MATAHARI**

SKRIPSI

Oleh

**Ramadhan Purnama Aji
NIM 121910201055**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**



**ANALISIS DAYA PADA PANEL SURYA MENGGUNAKAN
MOTOR *STEPPER* SEBAGAI PENGGERAK PANEL SURYA
DENGAN MENGIKUTI SINAR MATAHARI**

SKRIPSI

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

Oleh

Ramadhan Purnama Aji
NIM 121910201055

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**

PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas segala karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini merupakan langkah awal kesuksesan yang saya raih sebelum menuju kesuksesan selanjutnya dalam hidup saya. Dengan penuh rasa syukur dengan ketulusan hati saya persembahkan karya ini kepada:

1. Alloh SWT. Nabi dan Rosul Alloh.
2. Kedua orang tua saya Bapak Haryono dan Ibu Yohana Haina yang tercinta terima kasih yang sangat berlimpah karena telah mendidik, membesarkan, memberi cinta dan kasih sayang serta doa yang tiada putus hingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini, dan saya persembahkan gelar yang saya dapatkan untuk mereka;
3. Dosen Pembimbing Utama Bapak Widyono Hadi., serta Bapak Dosen Pembimbing Anggota Bapak Moch. Gozali atas kesabaran dan keikhlasan dalam membimbing saya menyelesaikan skripsi ini;
4. Seluruh dosen Teknik Elektro Universitas Jember yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember
5. Saudara-saudara ku di Teknik Elektro Universitas Jember;
6. Almamater Universitas Jember.

MOTO

“Subhanul yaom, rijalul gad”

Pemuda jaman sekarang adalah pemimpin masa depan

*Tiada beriman orang yang tidak memegang amanat dan tidak ada agama bagi orang
yang tidak menepati janji.*

(HR. Ad-Dailami)

Barang siapa bersungguh-sungguh, sesungguhnya kesungguhannya itu
adalah untuk dirinya sendiri.

(QS Al-Ankabut [29]: 6)

Tak ada usaha yang sia-sia kecuali tidak bertindak apa-apa.

(Ramadhan Purnama Aji)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ramadhan Purnama Aji

NIM : 121910201055

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Daya Pada Panel Surya Menggunakan Motor *Stepper* Sebagai Penggerak Panel Surya Dengan Mengikuti Matahari” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan 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 ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 7 Maret 2017

Yang menyatakan,

Ramadhan Purnama Aji
NIM 121910201007

SKRIPSI

**ANALISIS DAYA PADA PANEL SURYA MENGGUNAKAN
MOTOR *STEPPER* SEBAGAI PENGGERAK PANEL SURYA
DENGAN MENGIKUTI SINAR MATAHARI**

Oleh

Ramadhan Purnama Aji
NIM 121910201055

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Widyono Hadi, MT.

Dosen Pembimbing Anggota : RB. Moch. Gozali, ST., MT.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Daya Pada Panel Surya Menggunakan Motor *Stepper* Sebagai Penggerak Panel Surya Dengan Mengikuti Matahari” karya Ramadhan Purnama Aji telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Selasa, 14 Maret 2017

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

Ir. Widyono Hadi, MT.
NIP 196104141989021001

RB. Moch. Gozali, ST., MT.
NIP 196906081999031002

Anggota II,

Anggota III,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP 197008261997021001

Suprihadi Prasetyo, S.T., MT.
NIP 197004041996011001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik,

Dr.Ir. Entin Hidayah, M.U.M.
NIP 196612151995032001

Analisis Daya Pada Panel Surya Menggunakan Motor *Stepper* Sebagai Penggerak Panel Surya Dengan Mengikuti Matahari (Analysis of Power On Solar Panels Using Stepper Motor Drivers For Solar Panels By Following The Sun).

Ramadhan Purnama Aji

*Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Jember
E-mail: Ramadhanpunk@gmail.com*

ABSTRAK

Pada perkembangannya teknologi di bumi ini membuat manusia untuk melakukan berbagai penemuan mengenai adanya sumber energi listrik. Saat ini energi listrik telah menjadi salah satu aspek kehidupan manusia sehari-hari. Namun dari pemanfaatan sumber energi tersebut kebanyakan menggunakan bahan bakar fosil yang lama-kelamaan akan habis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya, tegangan dan arus yang dihasilkan akibat pengaruh penggunaan teknologi motor *stepper* pada panel surya, Dapat mengetahui nilai efisiensi dan energi listrik yang dihasilkan dari teknologi motor *stepper* pada panel surya, dan mengetahui tingkat efisiensi keluaran antara daya, tegangan, dan arus listrik keluaran pada panel surya dengan menggunakan teknologi motor *stepper* pada panel surya. Metode yang digunakan adalah *Scanning foton*. Kesimpulan yang di dapat dari penelitian ini yaitu dengan teknologi sistem penggerak dengan motor *stepper* pada panel surya ini mencari nilai daya maksimum serta optimum agar sistem bisa berjalan stabil keluaran nilai dayanya, nilai efisiensi daya pada penggunaan sistem penggerak dengan motor *stepper* ini cenderung lebih efisien keluaran dayanya karena nilai daya yang cenderung maksimal dan stabil dalam keadaan matahari cerah. Nilai efisiensi daya juga tergantung dengan nilai *Pin* yang masuk jika terlalu besar daya, maka nilai efisiensi yang kecil, dan dengan diberikan teknologi *scanning foton* dengan sistem penggerak ini nilai daya yang didapatkan pada modul surya cenderung lebih besar dari pada dengan penambahan *scanning reflektor*. Dengan selisih nilai daya 245,331 watt (tanpa dikurangi rugi-rugi dari penggunaan kontrol dan motor *stepper*).

Kata Kunci : motor *stepper*, panel surya, *scanning foton*, *scanning reflektor*

Analisis Daya Pada Panel Surya Menggunakan Motor *Stepper* Sebagai Penggerak Panel Surya Dengan Mengikuti Matahari (Analysis of Power On Solar Panels Using Stepper Motor Drivers For Solar Panels By Following The Sun).

Ramadhan Purnama Aji

*Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Jember
E-mail: Ramadhanpunk@gmail.com*

ABSTRACT

In its development technology on earth makes man to perform a variety of discoveries about their source of electrical energy. Currently the electrical energy has become one of the aspects of everyday human life. But from the utilization of energy sources are mostly using fossil fuels will eventually run out. This study aims to determine the power, voltage and current generated due to the influence of technology use stepper motors to solar panels, to determine the efficiency and the electrical energy generated from technology stepper motors on solar panels, and determine the level of efficiency of output between power, voltage, and electric current output in solar panel technology using stepper motors on the panel surya. Metode used are Scanning photons. Conclusions obtained from this research that the technology propulsion systems with stepper motors on solar panels is looking for value for maximum power and optimum so that the system can run stable output value of the power, the value of power efficiency in the use of drive systems with stepper motors tend to be more efficient power output because the value of power that tends to the maximum and stable in a state of bright sun. Rated power efficiency also depends on the value of Pin incoming if too much power, then the value of efficiency is small, and with a given photon scanning technology with this drive system power value obtained in solar modules tend to be larger than with the addition of scanning reflector. With the difference in the value of 245.331 watts (without deducting losses from the use of control and stepper motors.

Keywords: stepper motors, solar panels, scanning photon, scanning reflector

RINGKASAN

Analisis Daya Pada Panel Surya Menggunakan Motor *Stepper* Sebagai Penggerak Panel Surya Dengan Mengikuti Matahari; Ramadhan Purnama Aji; 121910201055; 2017; 55 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pada perkembangannya teknologi di bumi ini membuat manusia untuk melakukan berbagai penemuan mengenai adanya sumber energi listrik. Saat ini energi listrik telah menjadi salah satu aspek kehidupan manusia yang sangat penting, baik mencakup bidang Rumah Tangga maupun Industri. Sekarang ini, sumber energi listrik yang ada dapat diperoleh melalui konversi energi, yang berasal dari fosil, gas, dan minyak bumi. Namun dari pemanfaatan sumber energi tersebut ada beberapa kekurangan yang perlu kita pertimbangkan, yaitu habisnya sumber daya alam yang dimanfaatkan sebagai energi listrik jika dimanfaatkan dalam waktu yang lama, karena energi yang saat ini digunakan merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui.

Penggunaan energi terbarukan saat ini kebanyakan memanfaatkan energi matahari sebagai sumber utama. Akan tetapi masih belum bisa memakai dengan secara maksimal. Sehingga dengan adanya sistem penggerak *motor stepper* yang di sinkronkan dengan sensor arus dan tegangan agar mencari titik daya maksimum dan optimum. Penelitian ini dibandingkan dengan penelitian yang menggunakan *reflektor*. Agar dapat sebagai acuan perkembangan teknologi energi terbarukan.

Pada penelitian ini dengan teknologi sistem penggerak dengan motor *stepper* pada panel surya ini mencari nilai daya maksimum serta optimum agar sistem bisa berjalan stabil keluaran nilai dayanya. Nilai efisiensi daya pada penggunaan sistem penggerak dengan motor *stepper* ini cenderung lebih efisien keluaran dayanya karena nilai daya yang cenderung maksimal dan stabil dalam keadaan matahari cerah. Nilai

efisiensi daya juga tergantung dengan nilai *Pin* yang masuk jika terlalu besar daya, maka nilai efisiensi yang kecil. Dengan diberikan teknologi scanning foton dengan sistem penggerak ini nilai daya yang didapatkan pada modul surya cenderung lebih besar dari pada dengan penambahan scanning reflektor. Dengan selisih nilai daya 245,331 watt (tanpa dikurangi rugi-rugi dari penggunaan kontrol dan motor stepper. Perbandingan nilai energi listrik panel surya Sistem penggerak dan panel surya *scanning reflektor* jauh lebih baik penggunaan panel surya dengan Sistem penggerak, dengan nilai rata – rata selisih energi listrik sebesar 441594,902 joule. Pada penggunaan aki/ baterai terlihat penggunaan teknologi sistem penggerak lebih baik dikarenakan adanya management relay yang dikontrol arduino sehingga penggunaan baterai lebih efisien dan *charge* lebih cepat.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. Atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Analisis Daya Pada Panel Surya Menggunakan Motor *Stepper* Sebagai Penggerak Panel Surya Dengan Mengikuti Matahari”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
3. Bapak Ir. Widyono Hadi, MT. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Bapak RB. Moch. Gozali, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
4. Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku dosen penguji I;
5. Bapak Suprihadi Prasetyo, S.T., MT. selaku dosen penguji II;
6. Seluruh Dosen Teknik Elektro yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember;
7. Para staf karyawan dan karyawan serta teknisi Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan bantuan selama mengikuti pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Jember;
8. Kedua orang tua saya Bapak Haryono dan Ibu Yohana Haina tercinta yang telah memberikan dorongan, semangat, kasih sayang, perhatian, kesabaran dan doa

yang tak pernah putus demi mempermudah saya mencapai kesuksesan awal dalam perguruan tinggi serta terselesaikannya skripsi ini;

9. Mas Yayak, mbak Arik, mas Dana, mbak Mella, mbak Dilla, Mbah Lin, Mas Tia, Mas fiki, Raul, Abi, Mada, dan adik ku Mega
10. Keluarga besar yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan kepada saya untuk menyelesaikan skripsi ini;
11. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Elektro Universitas Jember semoga tetap menjadi saudara selamanya. Jaya HME.... Jaya HME.... Jaya HME....
12. Saudara-saudara ku SATE_UJ '12 yang sangat membantu dan telah memberi semangat, semoga kekompakan kita tetap terjaga dan bisa mencapai kesuksesan bersama;
13. Para penghuni Laboratorium Listrik Dasar. Buat adik-adik penerus jangan lupa dijaga labnya rek!!! Kasihan kalau sepi tak berpenghuni. Terimakasih banyak buat asisten angkatan 2012 atas kerjasamanya selama 2 tahun mengabdikan di lab, Atep, Citra, Umamz bin Affan, Pendik;
14. Saudara Jarwo, Dodi Setyo Laksono, Mas Arwani, Ardi Ousider, dan kawan-kawan terimakasih banyak sudah menemani dan memberikan semangat selama pengerjaan skripsi ini.
15. Pemuda Harapan Soekarno Joko Vy, Wildan Ali syahbana, Haqqi Embut, dan Ana Fuckrudin yang telah memberikan Motivasinya yang berbunyi “nek males ae, kapan iso mengubah Indonesia”.
16. Sari Uswatun Chasanah yang selalu mendukungku dan memberi semangat dari Malang.
17. Arek-arek Kontrakan Sate UJ, ketua angkatan, dan Ibu Besar Sate UJ Kentang Ahmadi, Galih Ndusel, Aziz GNPF MUI, Dewa Erlang, Irwan Pehh, Makhfud bin Khattab, Dedek Alif, Doni O’connor, Chandra Duck, Farah Bedebah, dan Rizki Ponten Lumajang yang selalu membantu segalanya demi Sate UJ’12 yang terbaik.

18. Penghuni Workshop yaitu Onthel Steel, Taiwo back'e Milan, Dugong, Plerr, Mbah arek Vespa, dan lain-lain yang memberikan dukungan.
19. Presbem Abadi Wisnu Tanduran Bonsai seperti Ayam Potong yang selalu bersabar tak bully dan memberikan dukungan mental.
20. Miftah Fucked saudara dari Maba.
21. Pak Edy, Bu' Judes, Bu Brazil, Mbak Melly dan Bu tim yang memberikan Asupan Energi.
22. Lur F.c yang memberikan dukungan dari Gresik.
23. Dan seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu;

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat berguna bagi pembaca dan bagi penulis sendiri pada khususnya semoga Allah SWT memberikan yang terbaik untuk kita semua. Amin

Jember, 15 Maret 2017

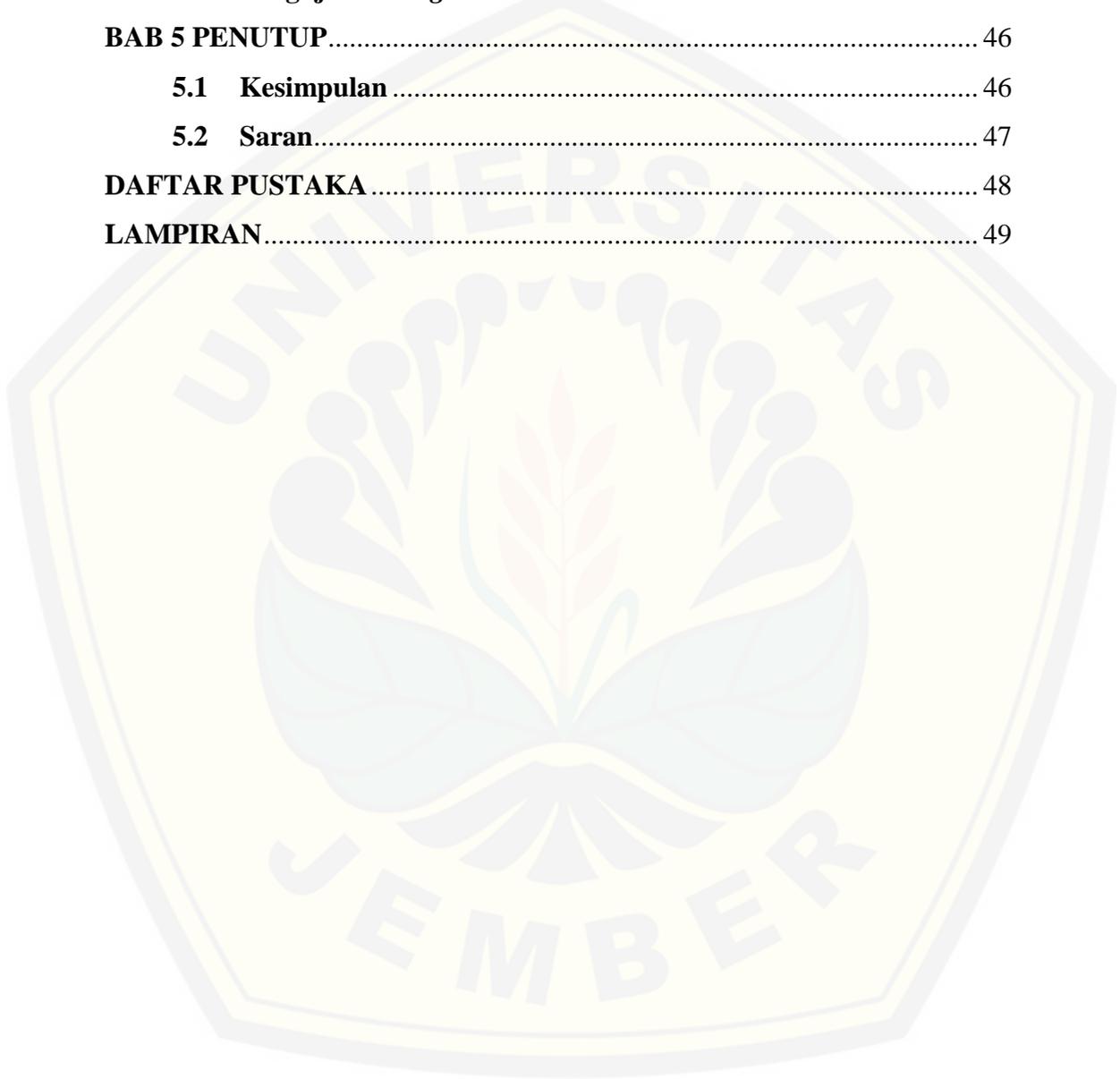
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
PENGESAHAN	vi
ABSTRAK	vii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika pembahasan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Radiasi surya	5
2.2 Intensitas Cahaya	6
2.3 Foton	6
2.4 Photo Voltaic	7
2.4.1 Efek Photo Voltaic	7
2.4.2 Sel Foto Voltaic.....	8

2.5	Sel Surya	9
2.5.1	Mekanika Konversi Energi	9
2.5.2	Jenis-jenis Sel Surya.....	12
2.6	Karakteristik Panel Surya	13
2.6.1	Arus Hubung Singkat (Isc) Pada Panel Surya.....	13
2.6.2	Tegangan Hubung Terbuka (Voc) Pada Panel Surya.....	14
2.6.3	Pengaruh <i>Irradiance</i> Terhadap Panel Surya	15
2.6.4	Daya Pada Panel Surya	17
2.6.5	Fill Factor	17
2.6.6	Efisiensi Panel Surya.....	18
2.6.7	Energi Listrik.....	18
2.7	Arduino Mega 2650	19
2.8	Motor Stepper	20
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.2	Alat dan Bahan	23
3.2.1	Alat.....	23
3.2.2	Bahan.....	24
3.3	Konsep Pemikiran Penelitian	25
3.4	Desain Penelitian	25
3.4.1	Diagram Blok Sistem Pengujian	25
3.4.2	Flow Chart dan Desain Alat	26
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1	Sistem Gerak Modul Surya Terhadap Gerak Matahari	29
4.2	Hasil Pengambilan Data	31
4.2.1	Pengambilan Data Sampel per-30 menit	31
4.2.2	Analisis Data Pengujian	32
4.3	Analisis Efisiensi Daya	35

4.4 Analisis Data	37
4.5 Kelayakan Energi Listrik	39
4.6 Pengujian <i>Charge</i> Pada Aki/ Baterai.....	44
BAB 5 PENUTUP	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN	49

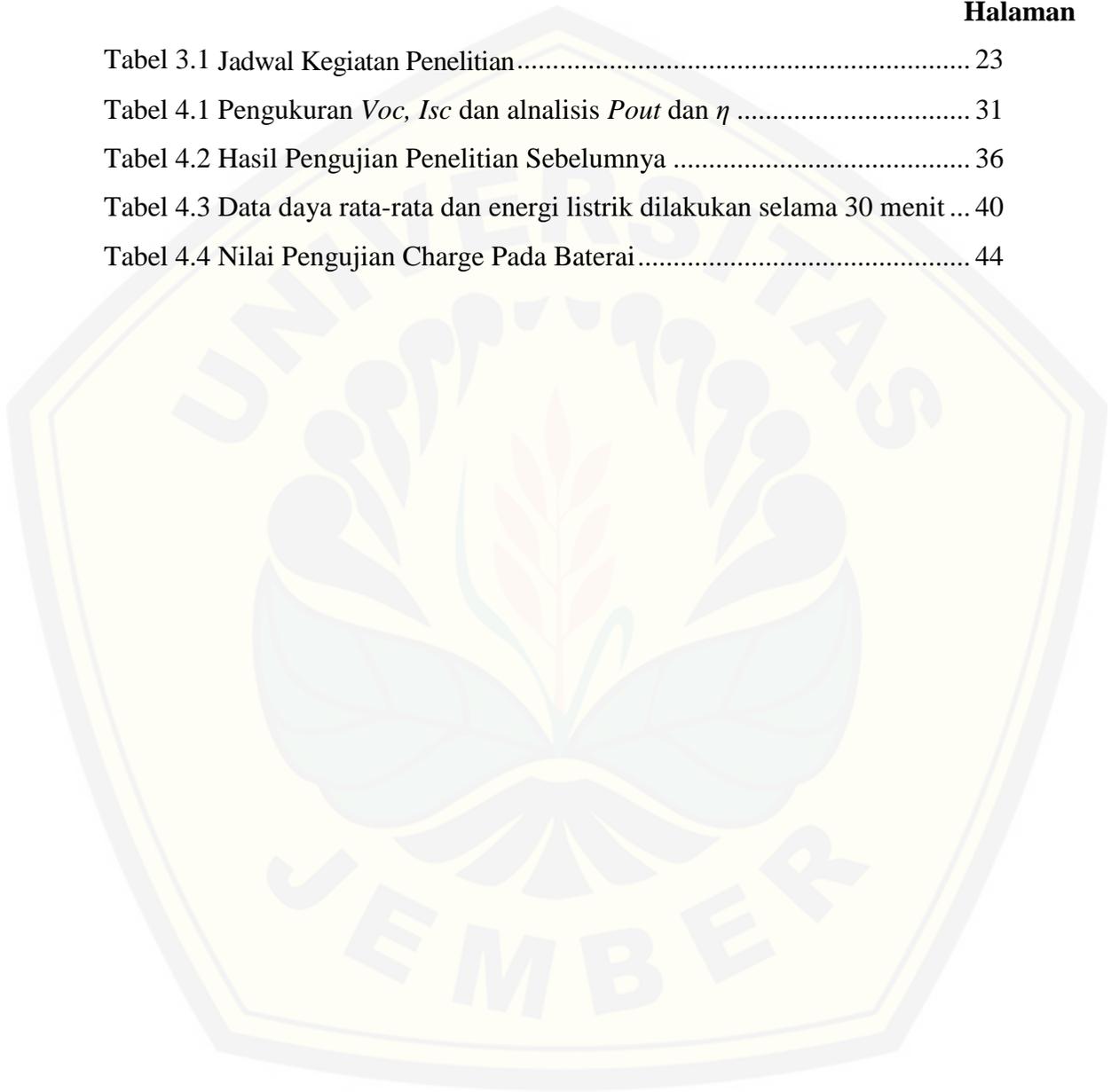


DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Kontruksi sel surya.....	8
Gambar 2.2 Mekanisme terjadinya elektron bebas pada semikonduktor	9
Gambar 2.3. Semikonduktor Tipe-P /Kiri dan Tipe-N /Kanan.....	11
Gambar 2.4 Perbedaan <i>band gap</i> mempengaruhi besar energi diserap oleh sel surya	11
Gambar 2.5 Kurva IV <i>solar cell</i> yang menunjukkan arus <i>short circuit</i>	14
Gambar 2.6 Kurva IV <i>solar cell</i> yang menunjukkan tegangan <i>open circuit</i> ...	15
Gambar 2.7 Kurva V-I terhadap perubahan <i>irradiance</i>	16
Gambar 3.1 Diagram Blok Penelitian	25
Gambar 3.2 Bagan Alur Rancangan Penelitian.....	27
Gambar 3.3 Desain Modul Surya penjejak matahari	28
Gambar 4.1 Gambar Pergerakan Foton.....	30
Gambar 4.2 Grafik Nilai Voc Hasil Pengujian	33
Gambar 4.3 Grafik Isc Hasil Pengujian	34
Gambar 4.4 Grafik Daya yang dihasilkan Dari pengujian	35
Gambar 4.5 Perbandingan Nilai Voc	37
Gambar 4.6 Perbandingan Nilai Isc	38
Gambar 4.7 Perbandingan Daya keluaran Pada Panel Surya.....	39
Gambar 4.8 Perbandingan Energi Listrik Dengan Penelitian Sebelumnya	41
Gambar 4.9 Grafik Energi Listrik Sebelum Dikurangi Rugi-rugi Sistem	42
Gambar 4.10 Sistem <i>Management Relay</i> yang dikontrol Arduino	43

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian.....	23
Tabel 4.1 Pengukuran V_{oc} , I_{sc} dan analisis P_{out} dan η	31
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Penelitian Sebelumnya	36
Tabel 4.3 Data daya rata-rata dan energi listrik dilakukan selama 30 menit ...	40
Tabel 4.4 Nilai Pengujian Charge Pada Baterai.....	44



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada perkembangannya teknologi di bumi ini membuat manusia untuk melakukan berbagai penemuan mengenai adanya sumber energi listrik. Saat ini energi listrik telah menjadi salah satu aspek kehidupan manusia yang sangat penting, baik mencakup bidang Rumah Tangga maupun Industri. Sekarang ini, sumber energi listrik yang ada dapat diperoleh melalui konversi energi, yang berasal dari fosil, gas, dan minyak bumi. Namun dari pemanfaatan sumber energi tersebut ada beberapa kekurangan yang perlu kita pertimbangkan, yaitu habisnya sumber daya alam yang dimanfaatkan sebagai energi listrik jika dimanfaatkan dalam waktu yang lama, karena energi yang saat ini digunakan merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui.

Matahari merupakan salah satu dari beberapa energi yang jumlahnya tidak terbatas, bahkan matahari ini adalah termasuk energi yang dapat diperbarui yang artinya kesediananya di muka bumi ini sangat melimpah terutama di Indonesia yang beriklim Tropis. Dalam pemanfaatannya sebagai energi listrik, energi matahari dikonversikan menjadi energi listrik dengan memanfaatkan panel surya (*solar photovoltaic*). Dalam pengoprasianya, kinerja *photovoltaic* modul sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya kondisi klimatologi daerah sekitar misalnya suhu lingkungan dan radiasi matahari. Efisiensi energi *photovoltaic* merupakan rasio antara energi yang dibangkitkan oleh *photovoltaic* dan total radiasi matahari yang sampai di permukaan *photovoltaic* (Mintorogo, 2000).

Sekarang ini pengembangan energi listrik tenaga surya atau panel surya, yang seharusnya merupakan sumber energi yang dapat diperbarui dan juga bebas polusi, realitanya sangat kurang bisa diandalkan oleh masyarakat. Untuk itu dengan perkembangan ilmu pengetahuan dalam bidang kecerdasan buatan (*artificial*

intelligence) dan elektronika daya (*power electronic*), diharapkan mampu menemukan suatu metode untuk meningkatkan efisiensi panel surya, salah satunya adalah metode *Maximum Power Point Tracker* (MPPT). MPPT adalah suatu metode untuk mencari suatu titik-titik daya maksimum tertentu yang dipengaruhi oleh karakteristik arus dan tegangan input pada aplikasi panel surya. Dengan adanya metode ini diharapkan adanya kluaran daya yang lebih bagus dan lebih efisien.

Dari penelitian sebelumnya yakni penggunaan reflektor cermin datar sebagai penjejak matahari (Priahandoko, 2014), telah memberikan inovasi baru yang sehingga mendapatkan hasil yang lebih baik jika kita bandingkan dengan panel surya tanpa reflektor penjejak matahari, terlihat dari arus dan tegangan yang di hasilkan. Namun penggunaan reflektor cermin datar pada penelitian tersebut mempunyai beberapa kekurangan yakni akan membutuhkan banyaknya cermin, sedangkan cermin harganya relatif mahal. Untuk itu pada penelitian kali ini, penulis ingin memberikan inovasi baru pada pemanfaatan panel surya sebagai sumber energi listrik, dengan cara pemberian penggerak pada panel surya. Penggerak tersebut menggunakan motor stepper yang menggerakkan modul surya yang digunakan sebagai pembangkitan listrik untuk mendeteksi titik daya maksimum yang lebih akurat dengan mencari kualitas cahaya pada matahari, sehingga diharapkan panel surya mampu memberikan nilai efisiensi tegangan dan arus yang maksimal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengoptimalkan nilai daya , dengan mengetahui karakteristik arus dan tegangan yang dihasilkan dari penggunaan teknologi motor *stepper* pada panel surya?
2. Bagaimana pengaruh nilai efisiensi dan energi listrik yang dihasilkan akibat teknologi *motor stepper* pada panel surya ?

3. Bagaimana tingkat efisiensi antara keluaran daya, tegangan, dan Arus listrik dengan menggunakan teknologi *motor stepper* pada panel surya ?

1.3 Tujuan

Penelitian yang diusulkan dalam proposal ini memiliki beberapa tujuan diantaranya:

1. Mengetahui daya ,tegangan dan arus yang dihasilkan akibat pengaruh penggunaan teknologi *motor stepper* pada panel surya.
2. Dapat mengetahui nilai efisiensi dan energi listrik yang dihasilkan dari teknologi *motor stepper* pada panel surya.
3. Mengetahui tingkat efisiensi keluaran antara daya, tegangan, dan arus listrik keluaran pada panel surya dengan menggunakan teknologi *motor stepper* pada panel surya.

1.4 Manfaat

Penelitian yang diusulkan dalam proposal ini memiliki beberapa manfaat diantaranya yaitu menerapkan ilmu pengetahuan yang diperoleh di bangku kuliah, sebagai pembelajaran peneliti untuk mengembangkan lebih lanjut penelitian ini, meningkatkan konsep atau teori yang mendukung upaya efisiensi panel surya. Serta memberikan inovasi baru sebagai sarana mendobrak minat masyarakat untuk beralih ke pemanfaatan energi surya sebagai sumber pembangkit energi listrik.

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan uraian rumusan masalah tersebut, maka pembahasan pada sekripsi dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Pengambilan dan analisa data meliputi arus, tegangan dan daya yang dihasilkan oleh panel surya dan digunakan untuk menggerakkan kontrol.
2. Menggunakan panel surya *new tomorrow polycrystal 50 WP*

3. Motor yang di gunakan jenis motor *stepper*.
4. Mekanik dan program mikrokontroler tidak dibahas secara mendalam.

1.6 Sistematika Pembahasan

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB 1. PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, tujuan pembahasan, rumusan masalah, batasan masalah dan sistematika pembahasan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang penjelasan tentang dasar teori yang berhubungan dengan penelitian.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang penjelasan metode dan langkah-langkah penyelesaian skripsi.

BAB 4. PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

Berisi hasil penelitian dan analisa dari hasil penelitian.

BAB 5. PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan akhir dan saran dari penulis

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Radiasi Surya

Matahari merupakan jenis bintang yang letaknya terdekat dengan bumi dengan jarak rata-rata 149.680.000 kilometer (93.026.724 mil). Matahari merupakan suatu bintang yang memberikan kehidupan di bumi dengan segala bentuk energi yang diberikan.

Radiasi Matahari merupakan suatu pemancaran energi yang berasal dari hasil proses *thermonukli* cahaya matahari matahari. Radiasi matahari dapat berupa sinar dan gelombang yang terdiri dari dua buah sinar yakni sinar pendek dan sinar bergelombang panjang. Berikut ini merupakan kategori sinar gelombang pendek yakni, sinar x, sinar gamma dan sinar ultraviolet, sedangkan kategori sinar gelombang panjang yakni sinar infra merah. Pada prinsipnya jumlah total radiasi yang diterima di permukaan bumi dipengaruhi oleh beberapa faktor. Pertama adalah jarak matahari, semakin jauh dan dekat jarak bumi terhadap matahari maka akan menimbulkan variasi perubahan energi radiasi yang diterima. Kedua adalah Intensitas radiasi matahari yang dipengaruhi oleh besar kecilnya sudut datang matahari pada permukaan bumi.

Jumlah intensitas matahari yang diterima berbanding lurus dengan sudut besarnya sudut datang. Sinar dengan sudut datang yang miring kurang memberikan energi pada permukaan bumi disebabkan karena energinya tersebar pada permukaan yang luas dan juga karena sinar tersebut harus menempuh lapisan atmosfer yang lebih jauh ketimbang jika sinar dengan sudut datang yang tegak lurus. Ketiga adalah panjang hari (sun duration) yakni jarak dan lamanya matahari dapat bersinar pada permukaan bumi, secara umum panjangnya hari dapat kita lihat dari lamanya antara matahari terbit hingga matahari terbenam. Keempat adalah pengaruh dari atmosfer, pada prinsipnya sinar datang dari matahari tidak sepenuhnya diterima oleh bumi,

melainkan sebagian akan diadsorpsi oleh gas-gas, debu dan uap air, dipantulkan kembali, dipancarkan dan sisanya diteruskan ke permukaan bumi.

2.2 Intensitas cahaya

Intensitas Cahaya merupakan besaran pokok fisika untuk mengukur besarnya daya yang dipancarkan oleh suatu cahaya dengan arah tertentu dengan satuan sudut. Intensitas pada radiasi surya sangat bergantung dari kondisi atmosfer pada permukaan bumi, pada batas luar atmosfer bumi tercatat radiasi bumi sebesar 1353 W/m^2 dengan jarak rata-rata bumi terhadap matahari. Angka tersebut biasa kita namakan dengan konstanta surya yang didefinisikan sebagai besaran energi rata-rata yang diterima oleh bumi dari matahari per unit luas permukaan. Pada dasarnya seluruh energi yang disebut sebagai konstanta surya tersebut tidak dapat mencapai permukaan bumi secara keseluruhan karena sebagian dari energi tersebut juga terserap (*absorpsi*) yang sangat kuat oleh karbon dioksida dan uap air yang berada di atmosfer.

2.3 Foton

Foton adalah partikel elementer dalam fenomena elektromagnetik. Biasanya *foton* dianggap sebagai pembawa radiasi elektromagnetik, seperti cahaya, gelombang radio, dan Sinar-X. *Foton* tidak bermassa dan dalam ruang vakum *foton* selalu bergerak dengan kecepatan cahaya. *Foton* memiliki baik sifat gelombang maupun partikel (dualisme gelombang-partikel). Sebagai gelombang, satu *foton* tunggal tersebar diseluruh ruang dan menunjukkan fenomena gelombang seperti pembiasan oleh lensa dan interferensi destruktif ketika gelombang terpantulkan saling memusnahkan satu sama lain. Sebagai partikel, *foton* hanya dapat berinteraksi dengan materi dengan memindahkan energi. Energi *foton* tergantung pada frekuensi cahaya yang digunakan, dengan persamaan (Haryadi, 2007):

$$E = h.v \quad (2.1)$$

Keterangan :

E adalah energi (Joule)

h adalah tetapan *Planck* = $6,63 \times 10^{-34}$ J/s

v adalah frekuensi dari cahaya (Hz)

2.4 Photovoltaic

2.4.1 Efek Photovoltaic

Photovoltaic (PV) adalah cara atau suatu sistem untuk mentranfer atau mengkonversikan energi cahaya atau energi radiasi matahari menjadi energi listrik yang menggunakan prinsip efek *Photovoltaic*. Efek *Photovoltaic* pertama kali ditemukan oleh *Henri Becquerel* pada tahun 1839 yang berbunyi sebagai berikut, Efek *Photovoltaic* adalah fenomena dimana suatu sel *photovoltaic* dapat menyerap energi cahaya dan merubahnya menjadi energi listrik. Efek *photovoltaic* didefinisikan sebagai suatu fenomena munculnya voltase listrik akibat kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat di-*expose* di bawah energi cahaya.

Radiasi cahaya terdiri dari biasan-biasan *foton* memiliki panjang gelombang dan spektrum cahaya yang berbeda-beda antara satu dengan yang lain yang dipengaruhi oleh tingkat energi yang dibangkitkan. Pada kondisi tertentu saat *foton* mengenai permukaan suatu sel PV, maka energi *foton* akan dibiaskan, diserap dan diteruskan menembus sel PV yang kemudian akan memicu timbulnya energi listrik.

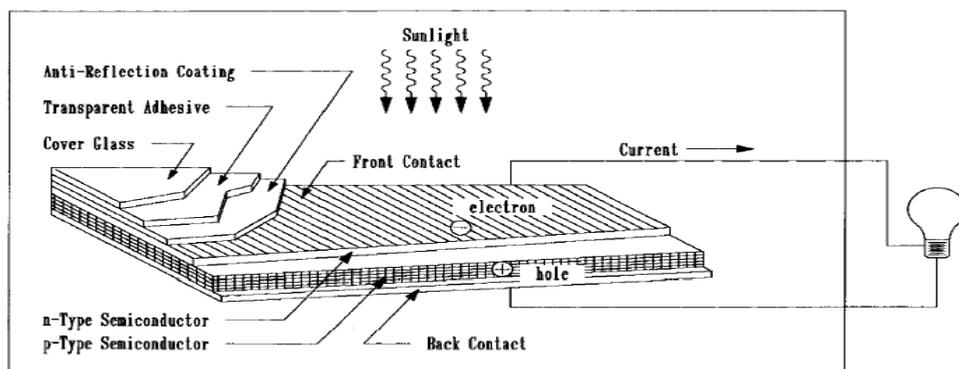
Photovoltaic menggunakan proses konversi langsung dari cahaya atau (energi elektromagnetik) menjadi aliran listrik dengan menggunakan sel surya. Energi listrik yang dihasilkan oleh sel surya selain dipengaruhi oleh intensitas surya juga oleh efisiensinya. Secara teoritis, efisiensi yang dapat dicapai oleh sel surya maksimal sekitar 30 – 40% tergantung pada tipe dan konstruksinya, namun umumnya hanya mencapai efisiensi antara 7 – 17%. Atas dasar efisiensi tersebut, pengendalian posisi dari panel PV (yang merupakan kumpulan dari modul sel PV) menjadi penting agar intensitas matahari dapat diserap secara optimal. Sistem yang

diterapkan disebut sistem *tracking* matahari (*Sun Tracking System*). (Ashfahani, 2008).

Sistem *tracking* matahari terdiri dari sirkuit penangkap cahaya langsung (*directional light detecting circuit*), *amplifier circuit*, dan sebuah magnet permanen motor *step* DC untuk menyesuaikan arah dari modul PV terhadap arah tegak lurus cahaya matahari *Input* dari sistem adalah posisi cahaya matahari dan *outputnya* berupa arah dari modul PV tersebut dalam besaran radian. (Ashfahani, 2008)

2.4.2 Sel *Photovoltaic*

Sel *Photovoltaic* atau Sel PV merupakan suatu perangkat yang mengkonversikan energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Pada dasarnya sistem sel PV terdiri dari *pn junction* atau biasa kita kenal ikatan sisi positif dan ikatan sisi negatif yang sebelumnya merupakan hasil *doping* atom-atom semikonduktor. Terdapat beberapa istilah yang mempunyai arti yang sama sel *photovoltaic* yakni dikenal dengan *solar cell* atau sel surya. Dari dua istilah tersebut terdapat beberapa perbedaan dari segi cahaya yang diterima. Pada sel PV sumber cahaya lebih umum dan tidak disebutkan secara jelas. Sedangkan pada sel surya energi cahaya berasal dari radiasi sinar matahari. Berikut ini merupakan konstruksi dasar sel surya yang di tampilkan pada gambar 2.1. (Handini, 2008).



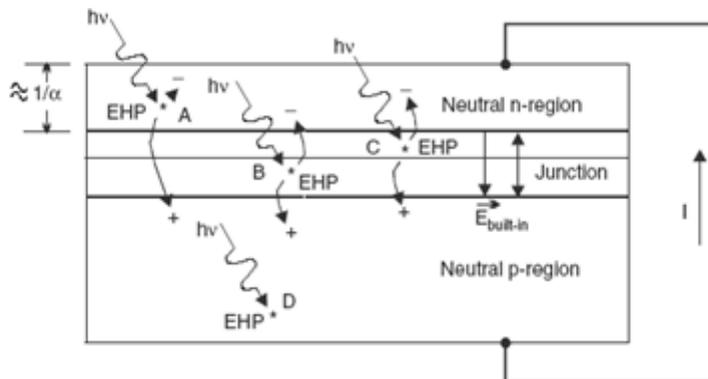
Gambar 2.1 Kontruksi sel surya (Sumber : Haryadi, 2007)

2.5 Sel Surya (*Solar cell*)

2.5.1 Mekanisme Konversi Energi

Pada dasarnya mekanisme konversi energi cahaya terjadi akibat adanya perpindahan elektron bebas di dalam suatu atom. Konduktivitas elektron atau kemampuan transfer elektron dari suatu material terletak pada banyaknya elektron valensi dari suatu material. Proses penghasilan energi listrik terjadi jika pemutusan ikatan elektron pada atom-atom yang tersusun dalam kristal semikonduktor ketika diberikan sejumlah *energy*. Salah satu bahan semikonduktor yang biasa digunakan sebagai sel surya adalah kristal silicon. Ketika *foton* dari sumber energi cahaya menumbuk atau mengenai suatu elektron valensi dari semikonduktor, mengakibatkan timbulnya energi yang cukup besar yang mampu memisahkan elektron terlepas dari struktur atom yang tertumbuk. Elektron yang terlepas tersebut menjadi bebas bergerak di dalam bidang kristal dan elektron tersebut menjadi bermuatan negatif dan berada pada daerah pita konduksi dari material semikonduktor. (Handini , 2008).

Akibat hilangnya elektron yang telah mengalami perpindahan mengakibatkan terbentuknya daerah kekosongan pada struktur kristal yang sering kita sebut dengan “*hole*” (bermuatan positif). Skema terjadinya elektron bebas diilustrasikan seperti gambar 2.2. (Handini , 2008).



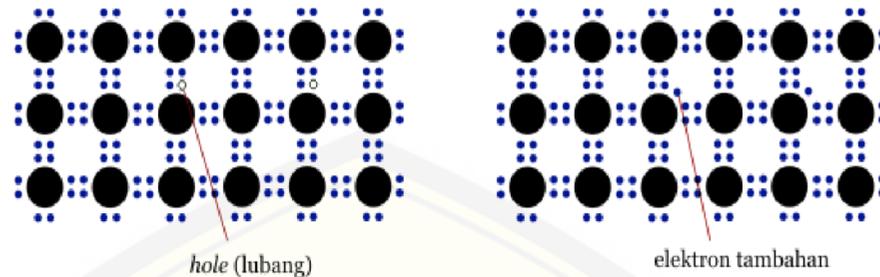
Gambar 2.2 Mekanisme terjadinya elektron bebas pada semikonduktor

(Sumber : Modul Praktikum Dasar Konversi Energi UNEJ)

Pada ilustrasi di atas dapat dijelaskan bahwa daerah semikonduktor dengan elektron bebas dan bersifat negatif bertindak sebagai atom donor (donor elektron). Daerah ini lah yang sering kita sebut sebagai daerah *negatif type* (*n-type*). Sedangkan daerah semikonduktor dengan *hole* yang mempunyai sifat positif akan bertindak sebagai penerima atau acceptor. Daerah ini yang sering kita sebut sebagai daerah *positive type* (*p-type*). Dari kedua buah ikatan sisi negatif dan positif atau sering kita sebut p-n junction akan menghasilkan energi yang dapat menyebabkan elektron dan *hole* bergerak ke arah yang berlawanan. Dimana gerak elektron akan menjauhi sisi negatif dan gerak *hole* menjauhi sisi positif. Pada kondisi ini jika kedua sisi tersebut yang memiliki beda potensial yang berbeda di hubungkan dengan sebuah beban lampu maka akan tercipta sebuah arus listrik. (Handini , 2008).

a. Semikonduktor Tipe P dan Tipe N.

Ketika suatu kristal silikon ditambahkan dengan unsur golongan ke lima, misalnya Arsen, maka atom-atom arsen itu akan menempati ruang diantara atom-atom silikon yang mengakibatkan munculnya elektron bebas pada material campuran tersebut. Elektron bebas tersebut berasal dari kelebihan elektron yang dimiliki oleh arsen terhadap lingkungan sekitarnya, dalam hal ini adalah silikon. Semikonduktor jenis ini kemudian diberi nama semikonduktor tipe-n. Hal yang sebaliknya terjadi jika kristal silikon ditambahkan oleh unsur golongan ketiga, misalnya boron, maka kurangnya elektron valensi boron dibandingkan dengan silikon mengakibatkan munculnya *hole* yang bermuatan positif pada semikonduktor tersebut. Semikonduktor ini dinamakan semikonduktor tipe-p. Adanya tambahan pembawa muatan tersebut mengakibatkan semikonduktor ini akan lebih banyak menghasilkan pembawa muatan ketika diberikan sejumlah energi tertentu, baik pada semikonduktor tipe-n maupun tipe-p. (Haryad, 2007).

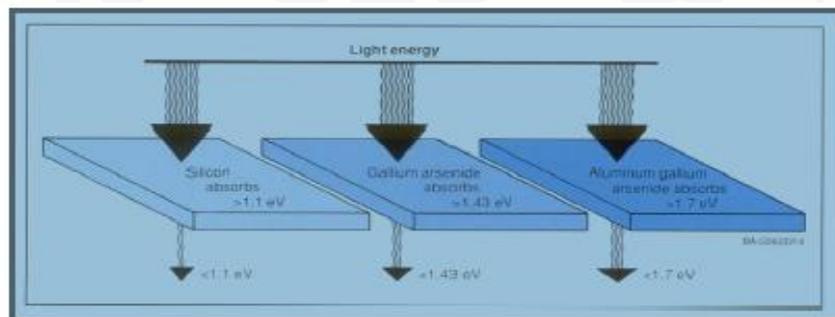


Gambar 2.3. Semikonduktor Tipe-P /Kiri dan Tipe-N /Kanan (Sumber : Haryadi, 2007)

b. Material semikonduktor

Pada dasarnya besar nilai *band gap* dari suatu semikonduktor sangat menentukan banyaknya spektrum cahaya yang di serap oleh sel PV. Elektron mampu tereksitasi jika nilai dari energi yang diterima mempunyai nilai yang lebih sama atau lebih besar dari *band gap*, pergerakan elektron bebas dari pita konduktif dan pergerakan *hole* dari pita valensi melewati *band gap* inilah yang menimbulkan energi listrik.

Energi yang lebih rendah akan terpantul atau menembus sel PV. Sedangkan energi yang lebih tinggi akan terserap dan sebagian menjadi energi panas. Dengan demikian material dengan *band gap* yang lebih rendah mampu mengeksplorasi spektrum cahaya yang lebih banyak, menghasilkan transfer elektron yang lebih banyak, sehingga menghasilkan arus yang lebih tinggi dengan tegangan yang rendah (Handini , 2008).. Hal tersebut sebagaimana diilustrasikan pada gambar 2.5.



Gambar 2.4 Perbedaan *band gap* mempengaruhi besar energi diserap oleh sel surya (Sumber: Handini , 2008)

Namun, *band gap* juga mempengaruhi kuatnya medan listrik yang dihasilkan. Material dengan *band gap* yang lebih tinggi akan menghasilkan tegangan (voltase) listrik yang semakin tinggi pula memiliki arus yang rendah. Semikonduktor dengan *band gap* antara 1-1.8 eV terbukti efektif digunakan pada sel PV. (Handini, 2008).

2.5.2 Jenis-jenis Sel Surya

1. *Single Crystalline*

Yaitu kristal yang mempunyai satu jenis macamnya, tipe ini dalam perkembangannya mampu menghasilkan efisiensi yang sangat tinggi. Jenis *single cristalline* antara lain:

a. *Gallium Arsenide Cell*

Gallium arsenide cell sangat efisien dari semua sel, tapi harganya sangat mahal. Efisiensi dari sel ini mampu mencapai 25 persen.

b. *Cadmium Sulfide Cell*

Cadmium sulfide cell ini merupakan suatu bahan yang dapat dipertimbangkan dalam pembuatan panel surya, karena harga yang murah dan mudah dalam proses pembuatannya.

2. *Polycrystalline Cell*

Polycrystalline cell merupakan kristal yang banyak macamnya, terbuat dari *cristal silicon* dengan efisiensi 10-12 persen.

3. *Amorphous Silicon Cell*

Amorphous berarti tidak memakai kristal struktur non kristal, bahan yang digunakan berupa proses film yang tipis dengan efisiensi sekitar 4-6 persen.

4. *Copper Indium Diselenide Cell*

Bahan *semikonduktor* yang aktif dalam sel surya CIS adalah *copper indium disenide*. Senyawa CIS sering juga merupakan paduan dengan gallium dan belerang. Efisiensi sekitar 9-11 persen

5. *Cadmium Telluride (CdTe) Cell*

Panel surya CdTe diproduksi pada substrat kaca dengan lapisan konduktor TCO transparan biasanya terbuat dari *indium tin oxide* (ITO) sebagai kontak depan. Efisiensi 1 persen hingga 8,5 persen per efisiensi modul.

6. *Dye Sensitized*

Prinsip kerja *Dye sensitized* yaitu menyerap cahaya dalam pewarna organik mirip dengan cara dimana tanaman menggunakan klorofil untuk menangkap energi dari sinar matahari dengan fotosintesis (Weller, 2008).

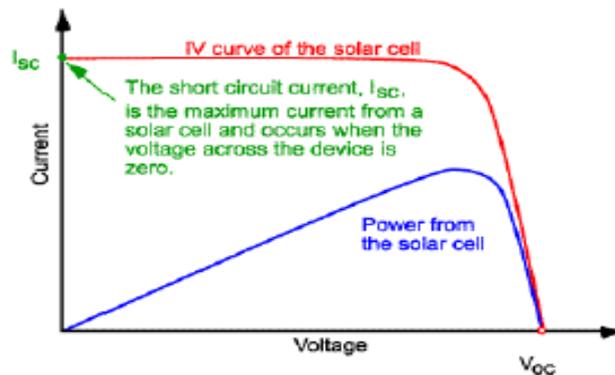
2.6 Karakteristik Panel Surya

Parameter panel surya yang paling berpengaruh pada kurva daya, yaitu arus hubung singkat (I_{sc}) dan tegangan hubung terbuka (V_{oc}) untuk parameter internal, sedangkan parameter *eksternalnya* meliputi suhu dan *irradiance*. Daya maksimum dan efisiensi turut dimasukkan dalam pembahasan karena merupakan parameter yang umum digunakan untuk membandingkan panel surya modul (Ibrahim, et.al 2009).

2.6.1 Arus Hubung Singkat (I_{sc}) Pada Panel Surya

I_{sc} adalah arus maksimal yang dihasilkan oleh panel surya dengan cara menge-*short*-kan kutub positif dengan kutub negatif pada modul panel surya. Dan nilai I_{sc} akan terbaca pada *amperemeter*. Arus yang dihasilkan modul panel surya dapat menentukan seberapa cepat modul tersebut mengisi sebuah baterai. Selain itu, arus dari modul panel surya juga menentukan daya maksimum dari alat yang digunakan (Prihandoko, 2014).

Pada kondisi ideal tanpa rugi daya I_{sc} sama dengan I_L . I_{sc} bergantung linear terhadap *irradiance* dan dipengaruhi beberapa hal lain yaitu luas area modul panel surya, *spectrum* cahaya dan parameter optik lain. Modul panel surya komersial memiliki nilai I_{sc} yang bervariasi antara 28 mA/cm² sampai dengan 35 mA/cm² (Prihandoko, 2014).

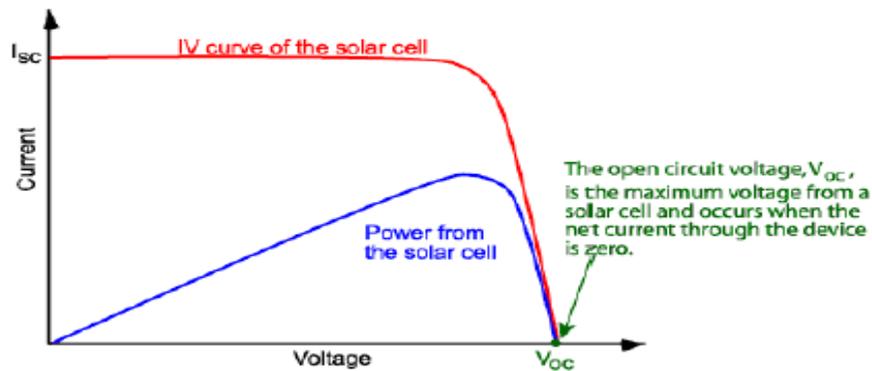


Gambar 2.5 Kurva IV *solar cell* yang menunjukkan arus *short circuit*

2.6.2 Tegangan Hubung Terbuka (V_{oc}) Pada Panel Surya

V_{oc} adalah tegangan yang dibaca pada saat arus tidak mengalir atau bisa disebut juga arus sama dengan nol. Cara untuk mencapai *open circuit* (V_{oc}) yaitu dengan menghubungkan kutub positif dan kutub negatif modul panel surya dengan *voltmeter*, sehingga akan terlihat nilai tegangan *open circuit* panel surya pada *voltmeter* (Satwiko, 2012).

Pada temperatur konstan, V_{oc} berskala logaritmik terhadap I_L (Arus yang dihasilkan oleh cahaya) dan karena I_L bergantung linear terhadap *irradiance* maka V_{oc} berskala logaritmik juga terhadap *irradiance*. Hal ini menyimpulkan bahwa *irradiance* lebih berpengaruh terhadap I_L daripada V_{oc} . Hal ini juga mengindikasikan bahwa V_{oc} tidak bergantung pada luas area modul panel surya (Ibrahim, *et.al*, 2009).



Gambar 2.6 Kurva IV *solar cell* yang menunjukkan tegangan *open circuit*

2.6.3 Pengaruh *Irradiance* Terhadap Panel Surya

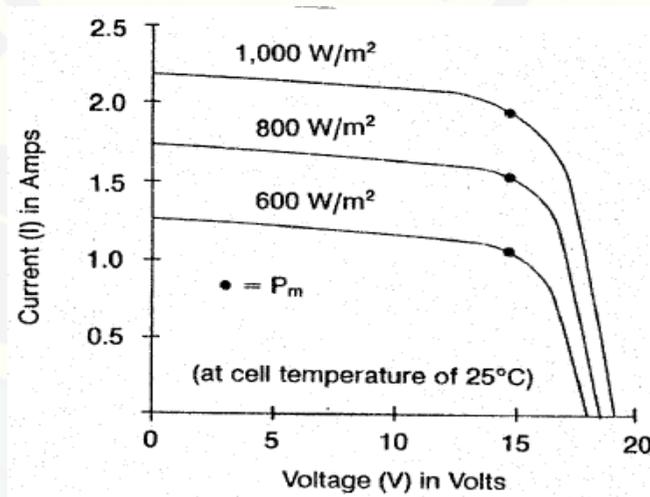
Radiasi matahari yang diterima bumi terdistribusi pada beberapa *range* panjang gelombang, mulai dari 300 nm sampai dengan 4 mikron. Sebagian radiasi mengalami *refleksi* di atmosfer (*diffuse radiation*) dan sisanya dapat sampai ke permukaan bumi (*direct radiation*). Kedua radiasi ini yang dipakai untuk mengukur besaran radiasi yang diterima panel surya. Besaran – besaran penting untuk mengukurnya adalah:

- Spectral irradiance* I_λ - Daya yang diterima oleh satu unit area dalam bentuk *differensial* panjang gelombang $d\lambda$, satuan $W/m^2 \mu m$.
- Irradiance* - *Integral* dari *spectral irradiance* untuk keseluruhan panjang gelombang, satuan W/m^2 .
- Radiansi* - *Integral* waktu dari *irradiance* untuk jangka waktu tertentu. Oleh sebab itu, satuannya sama dengan satuan energi, yaitu J/m^2 – hari, J/m^2 – bulan atau J/m^2 – tahun.

Di antara ketiga besaran tersebut yang akan digunakan dalam analisa adalah W/m^2 karena satuan ini yang biasa dipakai dalam *data sheet*, sedangkan besaran radiasi biasanya digunakan untuk menghitung estimasi daya keluaran pada instalasi sistem. *Irradiance* merupakan sumber energi bagi panel surya, sehingga keluarannya

sangat bergantung oleh perubahan *irradiance*. Gambar 2.4 memberikan contoh perubahan *irradiance* terhadap kurva daya modul surya.

Gambar 2.9, keluaran daya berbanding lurus dengan *irradiance*. I_{sc} lebih terpengaruh oleh perubahan *irradiance* dari pada V_{oc} . Sesuai dengan penjelasan cahaya sebagai paket – paket *foton*. Pada saat *irradiance* tinggi, yaitu pada saat jumlah *foton* banyak, arus yang dihasilkan juga besar. Demikian pula sebaliknya, sehingga arus yang dihasilkan berbanding lurus terhadap jumlah *foton* (Diputara 2008).



Gambar 2.7 Kurva V-I terhadap perubahan *irradiance* (Sumber: Mintorogo, 2000)

Pengujian panel surya pada *datasheet* umumnya dilakukan pada *Standard Test Condition* (STC), yaitu *Air Mass* (AM) 1,5, *irradiance* 1000 W/m² dan temperatur 25⁰C. Dalam kondisi nyata, nilai *irradiance* tidak mencapai nilai tersebut, bergantung dari posisi lintang, posisi matahari dan kondisi cuaca. Nilai *irradiance* pada lokasi tertentu juga bervariasi dari bulan ke bulan (Sawitko, 2012).

2.6.4 Daya Pada Panel Surya

Intensitas cahaya menentukan besarnya daya dari energi sumber cahaya yang sampai pada seluruh permukaan panel surya. Jika luas permukaan panel surya

dengan intensitas tertentu maka daya *input* panel surya adalah (Amalia dan Satwiko, 2012) :

$$P_{in} = GA \quad (2.8)$$

dengan

P_{in} = Daya yang diterima akibat *irradiance* matahari (watt)

G = Intensitas cahaya (W/m^2)

Besarnya daya *output* panel surya (P_{out}) yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka V_{oc} , arus hubung singkat (I_{sc}), dan *fill factor* (FF) yang dihasilkan oleh panel surya dapat dihubungkan dengan rumus (Amalia dan Satwiko, 2012).

$$P_{out} = V_{oc} I_{sc} FF \quad (2.9)$$

dengan

P_{out} = Daya yang dibangkitkan oleh panel surya (watt)

V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka pada panel surya (volt)

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

FF = *Fill factor*

2.6.5 Fill Factor

Factor pengisian *fill factor* merupakan nilai rasio tegangan dan arus pada keadaan daya maksimal dan tegangan *open circuit* dan arus *short circuit*.

$$FF = \frac{V_{max} I_{max}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (2.10)$$

dengan

V_{max} = Tegangan pada saat panel surya mencapai *max* (volt)

I_{max} = Arus pada saat panel surya mencapai *max* (ampere)

V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka pada panel surya (volt)

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

Persamaan *fill factor* digunakan untuk mengukur luas persegi pada karakteristik I.V suatu panel surya. Harga *fill factor* dapat merupakan fungsi V_{oc} .

Secara empiris hubung singkat antara *fill factor* dengan V_{oc} adalah (Amalia dan Satwiko, 2012).

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0.72)}{V_{oc} + 1} \quad (2.11)$$

2.6.6 Efisiensi Radiasi panel surya

Perbandingan performansi antara satu modul surya dengan modul surya lainnya umumnya dilihat dari efisiensinya. Banyaknya energi matahari dalam bentuk *foton* yang diserap panel surya menentukan efisiensinya. Efisiensi modul surya didefinisikan sebagai perbandingan daya keluaran dengan daya masukan. Daya masukan dihitung sebagai *irradiance* yang diterima oleh permukaan panel surya. Nilai efisiensi keluaran maksimal didefinisikan sebagai *prosentase* keluaran daya optimal terhadap energi cahaya yang digunakan, yang dituliskan sebagai (Diputra, 2008).

$$\eta \text{ radiasi \%} = \frac{G_1}{G_{max}} \times 100\% \quad (2.12)$$

dengan

η = Efisiensi panel surya

G_1 = Intensitas radiasi matahari (W/m^2)

G_{max} = Intensitas radiasi matahari maksimal matahari (watt)

2.6.7 Energi Listrik

Energi listrik merupakan besaran fisika yang dibutuhkan oleh suatu alat untuk melakukan kerja. Energi listrik disimpan dalam bentuk arus dengan satuan ampere dan dalam bentuk tegangan dalam satuan volt. Energi listrik merupakan perkalian antara besarnya daya suatu benda dikalikan dengan lamanya waktu penggunaan daya tersebut. Energi listrik bisa di rumuskan sebagai berikut ;

$$W = P \times t \quad (2.13)$$

Dimana ;

W : Energi listrik (Joule)

P : Daya (watt)

t : Waktu (s)

2.7 Arduino Mega 2560

Arduino Mega2560 adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega2560 ([datasheet ATmega2560](#)). Arduino Mega2560 memiliki 54 pin digital input/output, dimana 15 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 16 pin sebagai input analog, dan 4 pin sebagai UART (port serial hardware), 16 MHz kristal osilator, koneksi USB, jack power, header ICSP, dan tombol reset. Ini semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler. Cukup dengan menghubungkannya ke komputer melalui kabel USB atau power dihubungkan dengan adaptor AC-DC atau baterai untuk mulai mengaktifkannya. Arduino Mega2560 kompatibel dengan sebagian besar shield yang dirancang untuk Arduino Duemilanove atau Arduino Diecimila. Arduino Mega2560 adalah versi terbaru yang menggantikan versi Arduino Mega.

Arduino Mega2560 berbeda dari papan sebelumnya, karena versi terbaru sudah tidak menggunakan chip driver FTDI USB-to-serial. Tapi, menggunakan chip ATmega16U2 (ATmega8U2 pada papan Revisi 1 dan Revisi 2) yang diprogram sebagai konverter USB-to-serial. Arduino Mega2560 Revisi 2 memiliki resistor penarik jalur HWB 8U2 ke Ground, sehingga lebih mudah untuk dimasukkan ke dalam mode DFU.

Arduino Mega2560 Revisi 3 memiliki fitur-fitur baru berikut:

- a. 1.0 pinout : Ditambahkan pin SDA dan pin SCL yang dekat dengan pin AREF dan dua pin baru lainnya ditempatkan dekat dengan pin RESET, IOREF memungkinkan shield untuk beradaptasi dengan tegangan yang tersedia pada papan. Di masa depan, shield akan kompatibel baik dengan papan yang menggunakan AVR yang beroperasi dengan 5 Volt dan dengan Arduino Due

yang beroperasi dengan tegangan 3.3 Volt. Dan ada dua pin yang tidak terhubung, yang disediakan untuk tujuan masa depan.

b. Sirkuit RESET.

2.8 Motor Stepper

Motor stepper adalah suatu motor listrik yang dapat mengubah pulsa listrik yang diberikan menjadi gerakan motor *discret* (terputus) yang disebut *step* (langkah). Satu putaran motor memerlukan 360° dengan jumlah langkah yang tertentu perderajatnya. Ukuran kerja dari motor stepper biasanya diberikan dalam jumlah langkah per-putaran per-detik.

Motor stepper bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor. Karena itu, untuk menggerakkan motor stepper diperlukan pengendali motor stepper yang membangkitkan pulsa – pulsa periodik. Pada dasarnya terdapat 3 *tipe* motor stepper yaitu:

1. Motor Stepper *Tipe Variable Reluctance* (VR)

Motor stepper jenis ini telah lama ada dan merupakan jenis motor yang secara struktural paling mudah untuk dipahami. Motor ini terdiri atas sebuah rotor besi lunak dengan beberapa gerigi dan sebuah lilitan stator. Ketika lilitan stator diberi energi dengan arus DC, kutub-kutubnya menjadi termagnetasi. Perputaran terjadi ketika gigi – gigi rotor tertarik oleh kutub – kutub stator.

2. Motor Stepper *Tipe Permanent Magnet* (PM)

Motor stepper jenis ini memiliki rotor yang berbentuk seperti kaleng bundar (*tin can*) yang terdiri atas lapisan magnet permanen yang diselang-seling dengan kutub yang berlawanan. Dengan adanya magnet permanen, maka intensitas *fluks* magnet dalam motor ini akan meningkat sehingga dapat menghasilkan torsi yang lebih besar. Motor jenis ini biasanya memiliki resolusi langkah (*step*) yang rendah

yaitu antara $7,5^\circ$ hingga 15° per langkah atau 48 hingga 24 langkah setiap putarannya.

3. Motor Stepper Tipe Hybrid (HB).

Motor stepper tipe hybrid memiliki struktur yang merupakan kombinasi dari kedua tipe motor stepper sebelumnya. Motor stepper tipe hybrid memiliki gerigi seperti pada motor tipe VR dan juga memiliki magnet permanen yang tersusun secara aksial pada batang porosnya seperti motor tipe PM. Motor tipe ini paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi karena kinerja lebih baik. Motor tipe hybrid dapat menghasilkan resolusi langkah yang tinggi yaitu antara $3,6^\circ$ hingga $0,9^\circ$ per langkah atau 100-400 langkah setiap putarannya.

Berdasarkan metode perancangan rangkain pengendali motor stepper, motor stepper dapat dibagi menjadi jenis *unipolar* dan *bipolar*.

a. Motor Stepper Jenis Unipolar

Rangkaian pengendali motor stepper *unipolar* lebih mudah dirancang karena hanya memerlukan satu *switch* / transistor setiap lilitannya. Untuk menjalankan dan menghentikan motor ini cukup dengan menerapkan pulsa *digital* yang hanya terdiri atas tegangan positif dan nol (*ground*) pada salah satu terminal lilitan (*wound*) motor sementara terminal lainnya dicatu dengan tegangan positif konstan (VM) pada bagian tengah (*center tap*) dari lilitan.

b. Motor Stepper Jenis Bipolar

Untuk motor stepper dengan lilitan *bipolar*, diperlukan sinyal pulsa yang berubah – ubah dari positif ke negatif dan sebaliknya. Jadi pada setiap terminal lilitan (A & B) harus dihubungkan dengan sinyal yang mengayun dari positif ke negatif dan sebaliknya. Karena itu dibutuhkan rangkaian pengendali yang agak lebih kompleks dari pada rangkaian pengendali untuk motor *unipolar*. Motor stepper *bipolar*

memiliki keunggulan dibandingkan dengan motor stepper *unipolar* dalam hal torsi yang lebih besar untuk ukuran yang sama (Elektronika dasar motor stepper).

Motor stepper memiliki karakteristik yang lebih dibandingkan motor DC seperti berikut:

1. Sudut rotasi motor proporsional dengan pulsa *input* sehingga lebih mudah diatur.
2. Motor dapat langsung memberikan torsi penuh pada saat mulai bergerak.
3. Posisi dan pergerakan repetisinya dapat ditentukan secara presisi.
4. Memiliki *respon* yang sangat baik terhadap *start*, *stop* dan berbalik putar.
5. Sangat *reliable* karena tidak adanya *brush* yang bersentuhan dengan rotor seperti pada motor DC.
6. Dapat menghasilkan perputaran yang lambat sehingga beban dapat dikopel langsung ke porosnya.
7. Frekuensi perputaran dapat ditentukan secara bebas dan mudah pada *range* yang luas (Priahandoko, 2014).

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian berjudul Analisa daya pada panel surya menggunakan motor *stepper* sebagai penggerak panel surya dengan mengikuti sinar matahari, ini dilaksanakan di Laboratorium Listrik Dasar Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl Slamet Riyadi No. 62 Patrang Jember 68111.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan					
		I	II	III	IV	V	VI
1	Studi literatur						
2	Perancangan dan pembuatan alat						
3	Pengujian alat						
4	Analisa data						
5	Pembuatan laporan						

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

1. Alat las
2. Bor
3. Digital multimeter
4. Digital Luxmeter
5. Gerenda potong
6. Martil
7. Obeng
8. Kunci pas
9. Penggaris siku

10. Meteran
11. Snap tang
12. Tang buaya
13. Tang potong
14. Solder

3.2.2 Bahan

1. Besi penyangga *photovoltaic module*
2. *Photovoltaic module 50 WP polycrystalline*, dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - a. Merek : New Tomorrow
 - b. *Model type* : SL
 - c. *Open circuit voltage* (V_{oc}) : 21,63 V
 - d. *Short circuit current* (I_{sc}) : 3,12 A
 - e. *Max power voltage* (V_{pm}) : 17,13 V
 - f. *Max power current* (I_{pm}) : 2,92 A
 - g. *Tolerance* : 5%
 - h. *Test condition* : 1000 V/m², 25⁰C
3. Plat siku
4. Resistor
5. Potensio Meter
6. Arduino Uno R3
7. Kabel
8. PCB
9. Elektroda
10. Sensor arus, dan tegangan
11. Motor stepper
12. *Data logger*
13. Memori *Mikro SD*
14. Batrai/acu

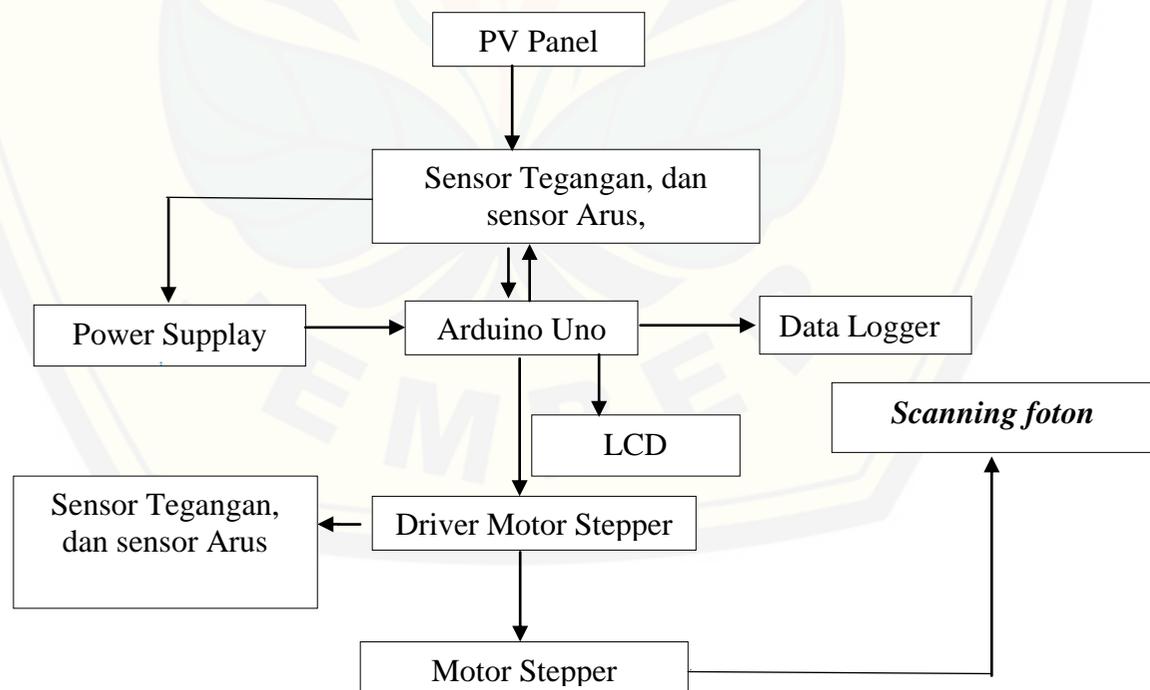
3.3 Konsep Pemikiran Penelitian

Konsep dari pemikiran penelitian ini adalah menguji *photovoltaic module (polycrystalline)* menggunakan motor *stepper* pada panel surya ada 2, yaitu pertama menguji PV dengan *motor stepper*, kedua menguji PV dengan kondisi baterai full dengan *discharge* ke beban. Dari kedua perlakuan tersebut akan dilakukan pengambilan data dengan rentang waktu yang sama mulai pukul 07.30 sampai dengan pukul 14.30. Hasil data perhitungan nantinya akan dianalisis apakah metode PV menggunakan motor *stepper* mempunyai efisiensi lebih baik dari kedua perlakuan yang lain dengan melihat dari hasil total energi yang dihasilkan dikurangi dengan rugi-rugi penggunaan motor sebagai tenaga penggerak.

3.4 Desain Penelitian

3.4.1 Diagram Blok Sistem Pengujian

Dapat kita lihat seperti berikut tentang alur diagram blok untuk pengujian yang nantinya akan dilakukan pengambilan data.



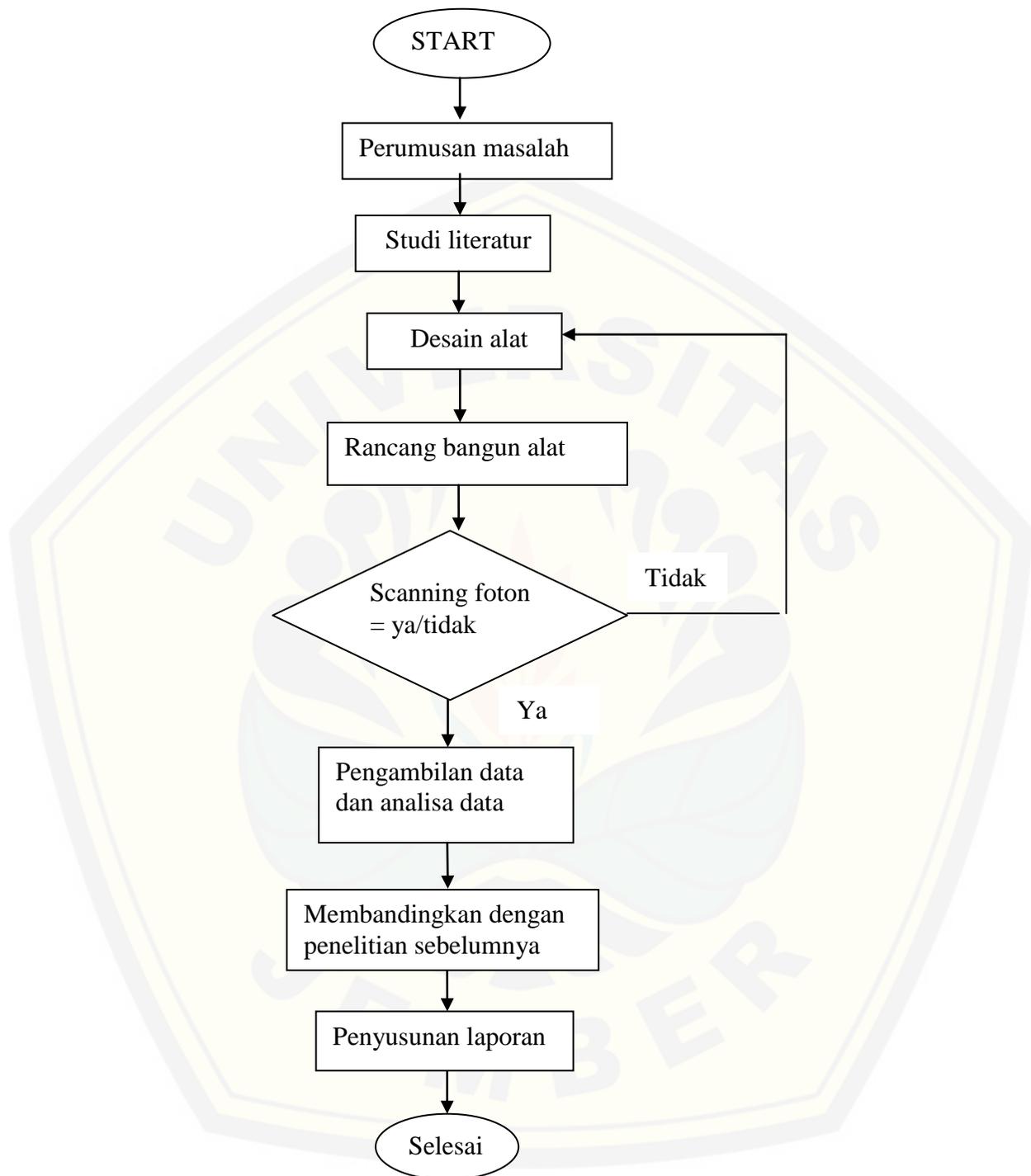
Gambar 3.1 Diagram Blok Penelitian

Pertama-tama PV panel yang di berikan sensor tegangan dan sensor arus yang dikontrol arduino Uno. Arduino Uno mengontrol data logger, LCD, dan Driver motor stepper. Power supply aki sebesar 9 Ah digunakan untuk supply arduino dan kontrol yang lainnya. Driver motor stepper mensinkronkan dengan sensor arus dan tegangan agar motor stepper bisa berjalan dengan mencari nilai daya maksimal dan optimal pada waktu scanning foton.

3.4.2 Flowchat dan Desain Alat

a. *Flowchat* penelitian

Berikut ini merupakan diagram alir (*Flow Chart*) penelitian tentang motor stepper pada panel surya polikristal dengan metode *maximum power point tracker* (MPPT). Pada awalnya menentukan bagaimana perumusan masalahnya pada energi terbarukan. Selanjutnya mendesain alat sebagus mungkin. Setelah itu mulai merancang bangun alat. Setelah perancangan selessai. Dilakukan pengujian scanning foton. Jika scanning foton tidak sesuai dengan harapan karna pengaruh *error* dari Alat, maka akan kembali ke desain alat, jika scanning foton sesuai dengan yang diharapkan, maka proses pengambilan data akan dilakukan. Setelah itu dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Berikutnya maka akan dilakukan penyusunan laporan.

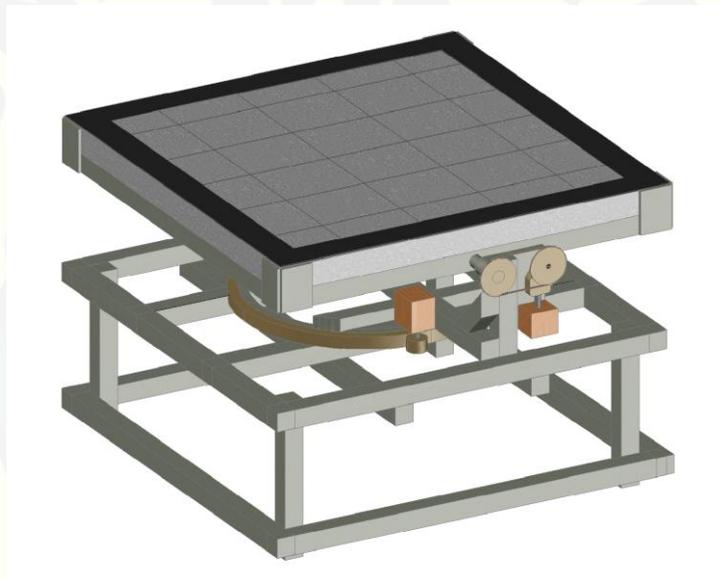


Gambar 3.2 Bagan Alur Rancangan Penelitian

b. Desain Alat

Pada penelitian teknologi motor *stepper* pada modul surya ini dapat diketahui desain alat sebagai berikut :

Pada gambar 3.3 menjelaskan gambar desain modul surya dengan motor *stepper* datar pada ke-empat buah sisi. Luas penampang pada panel surya sebesar 3025 cm^2 tetapi dengan diberi margin terbuat dari almunium dengan luas sebesar 4623 cm^2 dengan tebal panel surya 3,8 cm. Pada keempat sisi didesain dengan menggunakan poros engsel dengan 2 penggerak motor stepper yang bergerak menuju 4 arah antara barat, timur, selatan, dan utara. gambar 3.3 yakni desain modul surya yang akan dipergunakan.



Gambar 3.3 Desain Modul Surya penjejak matahari

BAB 5 PENUTUP

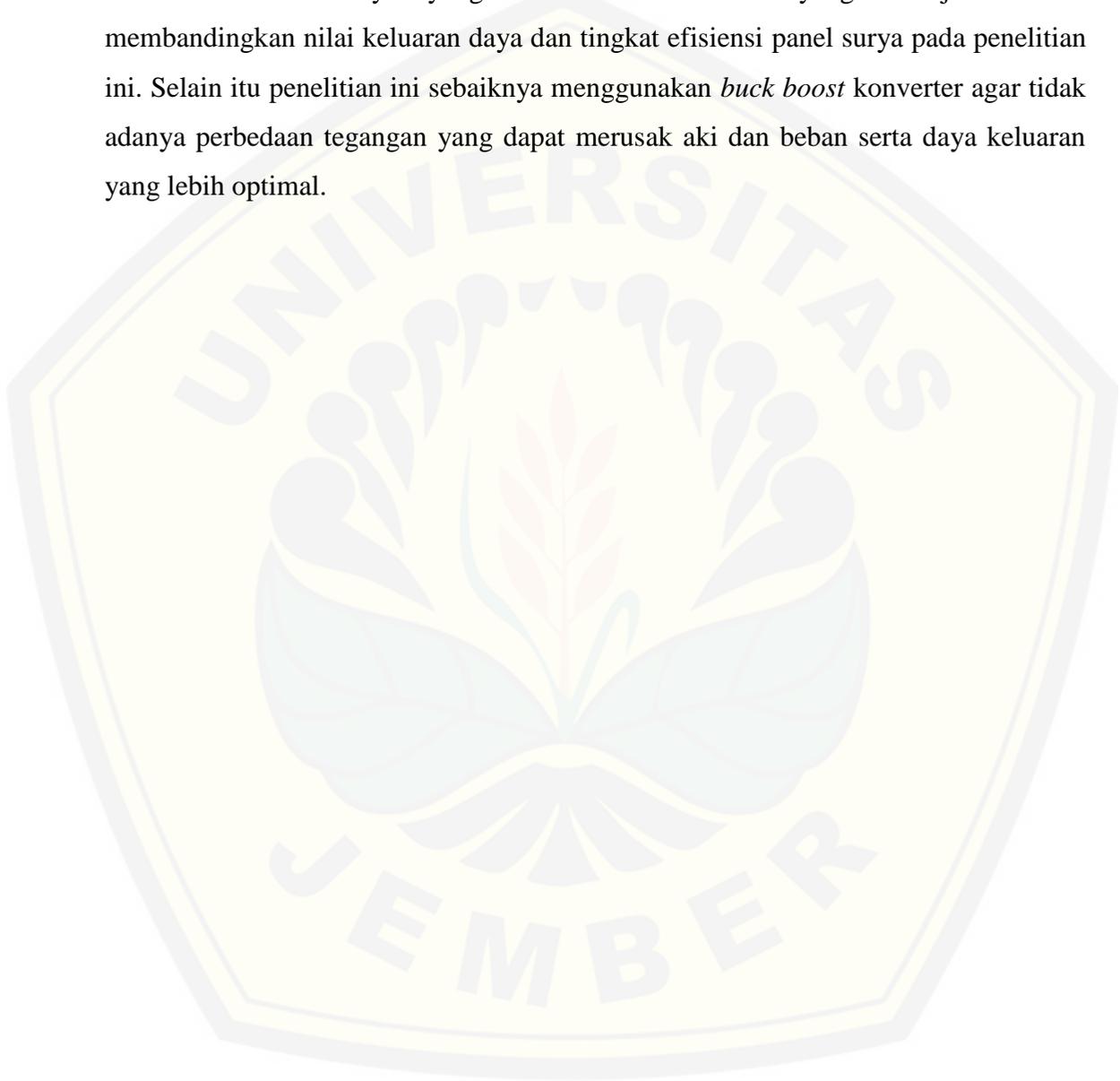
5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang berjudul “Analisis Daya Pada Panel Surya Menggunakan Motor *Stepper* Sebagai Penggerak Panel Surya Dengan Mengikuti Sinar Matahari” dapat disimpulkan sebagai berikut;

1. Dengan teknologi sistem penggerak dengan motor *stepper* pada panel surya ini mencari nilai daya maksimum serta optimum agar sistem bisa berjalan stabil keluaran nilai dayanya.
2. Nilai efisiensi daya pada penggunaan sistem penggerak dengan motor *stepper* ini cenderung lebih efisien keluaran dayanya karena nilai daya yang cenderung maksimal dan stabil dalam keadaan matahari cerah. Nilai efisiensi daya juga tergantung dengan nilai *Pin* yang masuk jika terlalu besar daya, maka nilai efisiensi yang kecil.
3. Dengan diberikan teknologi scanning foton dengan sistem penggerak ini nilai daya yang didapatkan pada modul surya cenderung lebih besar dari pada dengan penambahan scanning reflektor. Dengan selisih nilai daya 245,331 watt (tanpa dikurangi rugi-rugi dari penggunaan kontrol dan motor *stepper*).
4. Perbandingan nilai energi listrik panel surya Sistem penggerak dan panel surya *scanning reflektor* jauh lebih baik penggunaan panel surya dengan Sistem penggerak, dengan nilai rata – rata selisih energi listrik sebesar 441594,902 joule.
5. Pada penggunaan aki/ baterai terlihat penggunaan teknologi sistem penggerak lebih baik dikarenakan adanya management relay yang dikontrol arduino sehingga penggunaan baterai lebih efisien dan *charge* lebih cepat.

5.2 Saran

Perlu adanya penelitian lebih lanjut dalam kondisi waktu yang sama dan *datasheet* Panel surya yang sama beserta merk yang bertujuan untuk membandingkan nilai keluaran daya dan tingkat efisiensi panel surya pada penelitian ini. Selain itu penelitian ini sebaiknya menggunakan *buck boost* konverter agar tidak adanya perbedaan tegangan yang dapat merusak aki dan beban serta daya keluaran yang lebih optimal.



DAFTAR PUSTAKA

- Hamdani ,Dadan. Subagiada, Kadek. dan Subagiyo, Lambang. 2011. Analisis Kinerja Solar *Photovoltaic System* (Sps) Berdasarkan Tinjauan Efisiensi Energi dan *Eksergi*. *Program Studi Fisika FMIPA Universitas Mulawarman Samarinda*.
- Handini ,Wulandari. 2008. Performa Sel Surya Tersensitasi Zat Pewarna (DSSC) Berbasis ZnO dengan Variasi Tingkat Pengisian dan Besar Kristal TiO₂. *Fakultas Teknik: Universitas Indonesia*.
- Haryadi, Yusli. 2007. Pelacak Intensitas Energi Matahari Menggunakan Sel Surya. *Jurusan Teknik Komputer Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer: Universitas Komputer Indonesia Bandung*.
- Karina, A.Satwiko, S. 2012. Studi Karakteristik Arus-Tegangan (Kurva I-V) pada Sel Tunggal Polikristal Silikon serta Pemodelannya. *Universitas Negeri Jakarta*.
- Mintorogo, Danny Santoso. 2000. Strategi Aplikasi Sel Surya (*Photovoltaic Cells*) Pada Perumahan Dan Bangunan Komersial. *Jurusan Teknik Arsitektur: Universitas Kristen Petra*.
- Mulyono, Dwi. 2003. Pengaruh penambahan reflektor Terhadap karakteristik arus-tegangan dan efisiensi sel surya. *Jurusan Teknik Mesin :Fakultas Teknik universitas Sebelas Maret Surakarta*
- Satwiko, S. 2012. “Uji Karakteristik Sel Surya Pada Sistem 24 Volt DC sebagai *Catudaya* pada Sistem Pembangkit Tenaga *Hybrid*”. *Jakarta: FMIPA UNJ*.
- Taufik, Azzi.2014<http://dialogsimponi.blogspot.co.id/2014/11/normal-0-false-false-false-in-x-none-x.html>
- Utomo, Hery Setyo. 2016. Optimalisasi *Scanning* Reflektor Cermin Datar Pada Panel Surya Polikristal Dengan Metode *Maximum Power Point Tracker* (MPPT). *Jember: FTEKNIK Universitas Jember*.
- Weller,Bernhard.dkk..2008.*Planning And Installing Photovoltaic System. Earthscan: London*.

LAMPIRAN

1. Perhitungan Daya

Tabel 4.1 Pengukuran V_{oc} , I_{sc} dan analisis P_{out} dan η radiasi.

Waktu WIB	G Pengukuran W/m^2	V_{oc} Pengukuran $Volt$	I_{sc} Pengukuran A	I_{out} Pengukuran (A)	Daya $Watt$	Pin $Watt$	η radiasi %
07.30	440	20,5	1,8	1,6	32,8	133,1	44
08.00	599	19,8	2,02	1,68	33,26	181,2	59,9
08.30	919	18,8	3,01	2,77	52,08	278	91,9
09.00	885	19,04	2,88	2,73	51,98	267,71	88,5
09.30	835	18,58	2,78	2,66	49,42	252,59	83,5
10.00	912	18,95	2,96	2,62	49,65	275,9	91,2
10.30	956	18,68	3,09	2,81	52,49	289,2	95,6
11.00	924	19,02	3,02	2,8	53,26	279,51	92,4
11.30	878	18,95	3,15	2,84	53,82	295,84	87,8
12.00	1090	18,82	3,22	2,91	54,77	329,72	109
12.30	1088	18,87	3,18	2,86	53,97	329,12	108,8
13.00	930	18,73	3,06	2,68	50,2	281,32	93
13.30	950	19,62	2,89	2,61	51,21	287,37	95
14.00	573	19,01	1,35	1,25	23,76	173,33	57,3
14.30	654	19,6	2,5	2,37	46,45	197,83	65,4

Menentukan Besar nilai Pin pada pukul 07.30

$$\begin{aligned} Pin &= G \times A \\ Pin &= 440 \text{ w/m}^2 \times 0,3025 \text{ m}^2 \\ &= 133,1 \text{ watt} \end{aligned}$$

Menentukan nilai P_{out}

$$\begin{aligned} P_{out} &= \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \times FF \\ FF &= V_{oc} \times I_{sc} \\ P_{out} &= V_{max} \cdot I_{max} \\ &= 20,5 \text{ V} \cdot 1,6 \text{ A} \\ &= 32,8 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Menentukan Efisiensi pengujian radiasi *solar cell*

$$\begin{aligned} \eta \text{ radiasi \%} &= \frac{G1}{G_{max}} \times 100\% \\ &= \frac{440}{1000} \times 100\% \\ &= 44\% \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya sama dengan perhitungan yang diatas, namun hanya mengubah nilai $G, V_{oc}, I_{sc}, V_{max}$, dan I_{max} .

2. Analisis Perhitungan rugi-rugi daya dari motor stepper, arduino, dan sensor dengan *management relay* dengan beban 100 watt. **Diasumsikan kapasitas Aki/ baterai dan arus stepper sama.** Kapasita Aki = 9 Ah dan arus *stepper*, Arduino, dan sensor totalnya 0,4 A.

Menentukan nilai arus yang digunakan motor stepper

Scanning setpoin stepper starting = 20 detik; $I_s = 0,9$ A selama 15 kali

$$\begin{aligned} &= 0,9 \text{ A} \times \frac{20}{3600} \text{ h} \times 15 \\ &= 0,075 \text{ Ah} \end{aligned}$$

Scanning Daya dengan arus $I_r = 0,4$ (lebih kecil karena *management relay*)

Scanning Daya = 96 detik

Scanning sehari selama 15 kali

$$= 0,4 \text{ A} \times \frac{96}{3600} \text{ h} \times 15 = 0,16 \text{ Ah}$$

Arus ketika diam (0,1) karena yang beroperasi cuman arduino dan sensor

Arus total dikalikan waktu selama *scanning* dalam satuan jam

Waktu ketika diam di titik tuju sebesar

$$\begin{aligned} &= 30 \text{ menit} - 1 \text{ menit } 36 \text{ detik} \\ &= 1800 \text{ detik} - 96 \text{ detik} \\ &= 1704 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\text{Dijadikan jam} = \frac{1704}{3600} = 0,474 \text{ h}$$

Waktu sehari selama diam = $0,474 \times 15 = 7,11$ h

Waktu selama diam dikalikan jumlah arus ketika diam (arus yang beroperasi arduino dan stepper) = $7,11 \text{ h} \times 0,1 \text{ A}$

$$= 0,71 \text{ Ah}$$

Dijumlahkan nilai Ah = $0,075 \text{ Ah} + 0,16 \text{ Ah} + 0,71 \text{ Ah}$

$$= 0,945 \text{ Ah}$$

Dikurangkan kapasitas Aki/ baterai = $9 \text{ Ah} - 0,945 \text{ Ah} = 8,055 \text{ Ah}$ **Selama Sehari pemakaian alat**

Perhitungan penelitian sebelumnya

Arus = 0,4 berjalan secara continue selama alat bekerja dalam waktu 7 jam
 Pemakaian = 0,4 A x 7 h = 2,8 Ah
 Dikurangkan kapasitas Aki/ baterai = 9 Ah – 2,8 Ah = 6,2 Ah **Selama Sehari pemakaian alat**

3. Analisis Charge aki/ baterai dengan beban 8 watt

No	Jam	Nilai arus total pembangkitan dari pengukuran Isc (A)	Nilai arus pada beban dari pengukuran (A)	Nilai Arus Aki dari pengukuran (A)	Nilai tegangan solar cell dari pengukuran (V)
1	07.30	3,02	0,4	2,62	20,65
2	08.00	3,07	0,41	2,66	22,32
3	08.30	3,11	0,39	2,72	19,87
4	09.00	3,13	0,39	2,74	19,74

$$\text{Nilai arus pada aki di rata-rata} = \frac{2,62 A + 2,66 A + 2,72 A + 2,74 A}{4}$$

$$\text{Arus rata-rata} = 2,685 A$$

$$\text{Ah} = I \times t$$

$$9 \text{ Ah} = 2,685 A \times t \text{ (lama waktu pengisian)}$$

$$t \text{ (lama waktu pengisian)} = \frac{9 \text{ Ah}}{2,685 A}$$

$$t \text{ (lama waktu pengisian)} = 3,351 \text{ h} / 3,351 \text{ jam}$$

4. Listing program

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <Adafruit_INA219.h>
```

```
#include "RTClib.h"
#define Relay 13

Adafruit_INA219 ina219;
RTC_DS1307 rtc;

char daysOfTheWeek[7][12] = {"Sunday", "Monday", "Tuesday", "Wednesday",
"Thursday", "Friday", "Saturday"};

#ifdef ARDUINO_ARCH_SAMD
#define Serial SerialUSB
#endif

int a, b, c, d;
int TitikTuju = 0;
int Maks = 0;
int ScanningAtas, ScanningBawah;
int val1;
float val2;
float temp;
float shuntvoltage = 0;
float busvoltage = 0;
float current_mA = 0;
float loadvoltage = 0;
float DataArus[15];

void setup() {
#ifdef ESP8266
```

```
while (!Serial);
#endif
uint32_t currentFrequency;

Serial.begin(9600);
ina219.begin();

if (! rtc.begin()) {
  Serial.println("Couldn't find RTC");
  while (1);
}

if (! rtc.isrunning()) {
  Serial.println("RTC is NOT running!");
}

pinMode(8, OUTPUT); // Pin Putaran motor stepper atas
pinMode(9, OUTPUT); // Pin step stepper atas
pinMode(10, OUTPUT); // Pin Putaran motor stepper bawah
pinMode(11, OUTPUT); // Pin step stepper atas
pinMode(13, OUTPUT); // Relay stepper motor
pinMode(2, INPUT); // Limit switch atas
pinMode(4, INPUT); // Limit switch bawah
ScanningAtas = true;
ScanningBawah = false;
}

void loop() {
```

```
DateTime now = rtc.now();

if (now.minute() == 0 || now.minute() == 30) {
  ScanningAtas = true;

  if (ScanningAtas == true) {
    digitalWrite(13, HIGH); // relay stepper hidup

    if (digitalRead(2) == HIGH) {
      ScanAtas();
    }

    else {
      SatuStepAtas();
    }

    if (ScanningAtas == false) {
      mati();
    }
  }

  if (ScanningAtas == false) {
    mati();
  }

  if (ScanningBawah == true) {

    if (digitalRead(4) == HIGH) {
```

```
    ScanBawah();
}

else {
    SatuStepBawah();
}

if (ScanningBawah == false) {
    mati();
}
}

if (ScanningBawah == false) {
    mati();
}
}

else {
    SensorDaya();
    SensorTegangan();
}
}

void ScanAtas() {
    a = 0;
    b = 0;
    DataArus[15] = 0;
    TitikTuju = 0;
    Maks = 0;
```

```
digitalWrite(8, HIGH);
```

```
for (a = 0; a <= 14; a++) {
```

```
    SatuStepAtas();
```

```
    SensorDaya();
```

```
    DataArus[a] = current_mA;
```

```
    Serial.println(DataArus[a]);
```

```
    delay(500);
```

```
}
```

```
for (b = 0; b <= 14; b++) {
```

```
    if (DataArus[b] >= Maks) {
```

```
        Maks = DataArus[b];
```

```
        TitikTuju = b;
```

```
    }
```

```
}
```

```
Serial.print("-----");
```

```
Serial.print(Maks);
```

```
Serial.print(" | ");
```

```
Serial.println(TitikTuju);
```

```
KeTitikTujuAtas();
```

```
}
```

```
void ScanBawah() {
```

```
    a = 0;
```

```
    b = 0;
```

```
DataArus[15] = 0;
TitikTuju = 0;
Maks = 0;

digitalWrite(10, HIGH);

for (a = 0; a <= 14; a++) {
  SatuStepBawah();
  SensorDaya();
  DataArus[a] = current_mA;
  Serial.println(DataArus[a]);
  delay(500);
}

for (b = 0; b <= 14; b++) {
  if (DataArus[b] >= Maks) {
    Maks = DataArus[b];
    TitikTuju = b;
  }
}

Serial.print("-----");
Serial.print(Maks);
Serial.print(" | ");
Serial.println(TitikTuju);
KeTitikTujuBawah();
}
```

```
void KeTitikTujuAtas() {
  Serial.print("Ke Titik Tuju Atas");
  digitalWrite(8, LOW);

  d = 0;

  for (d = 0; d <= 15 - TitikTuju; d++) {
    SatuStepAtas();

    if (d == 15 - TitikTuju) {
      ScanningAtas = false;
      ScanningBawah = true;
    }
  }
}

void KeTitikTujuBawah() {
  Serial.print("Ke Titik Tuju Bawah");
  digitalWrite(10, LOW);

  d = 0;

  for (d = 0; d <= 15 - TitikTuju; d++) {
    SatuStepBawah();

    if (d == 15 - TitikTuju) {
      ScanningBawah = false;
      digitalWrite(13, LOW); // relay stepper mati
    }
  }
}
```

```
    }  
  }  
}  
  
void SatuStepAtas() {  
  c = 0;  
  
  for (c = 0; c <= 1000; c++) {  
    digitalWrite(9, HIGH);  
    delayMicroseconds(300);  
    digitalWrite(9, LOW);  
    delayMicroseconds(300);  
  }  
}  
  
void SatuStepBawah() {  
  c = 0;  
  
  for (c = 0; c <= 700; c++) {  
    digitalWrite(11, HIGH);  
    delayMicroseconds(2000);  
    digitalWrite(11, LOW);  
    delayMicroseconds(2000);  
  }  
}  
  
void mati() {  
  digitalWrite(9, HIGH);
```

```
delayMicroseconds(500);
digitalWrite(9, HIGH);
delayMicroseconds(500);
digitalWrite(11, HIGH);
delayMicroseconds(1000);
digitalWrite(11, HIGH);
delayMicroseconds(1000);
}

void SensorDaya() { // pembacaan sensor arus
  shuntvoltage = ina219.getShuntVoltage_mV();
  busvoltage = ina219.getBusVoltage_V();
  current_mA = ina219.getCurrent_mA();
  loadvoltage = busvoltage + (shuntvoltage / 1000);
}

void SensorTegangan() { // pembacaan sensor tegangan
  val1 = analogRead(0);
  temp = val1 / 4.092;
  val2 = (temp / 10);
}
```