



**RANCANG BANGUN SISTEM PENGISIAN BATERAI PADA *HYBRID*
POWER SYSTEM PHOTOVOLTAIC - BEDINI SSG
BERBASIS FUZZY LOGIC**

SKRIPSI

Oleh :

**Arif Wicaksono
NIM 121910201050**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**RANCANG BANGUN SISTEM PENGISIAN BATERAI PADA *HYBRID*
POWER SYSTEM PHOTOVOLTAIC - BEDINI SSG
BERBASIS FUZZY LOGIC**

SKRIPSI

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

Oleh :

**Arif Wicaksono
NIM 121910201050**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

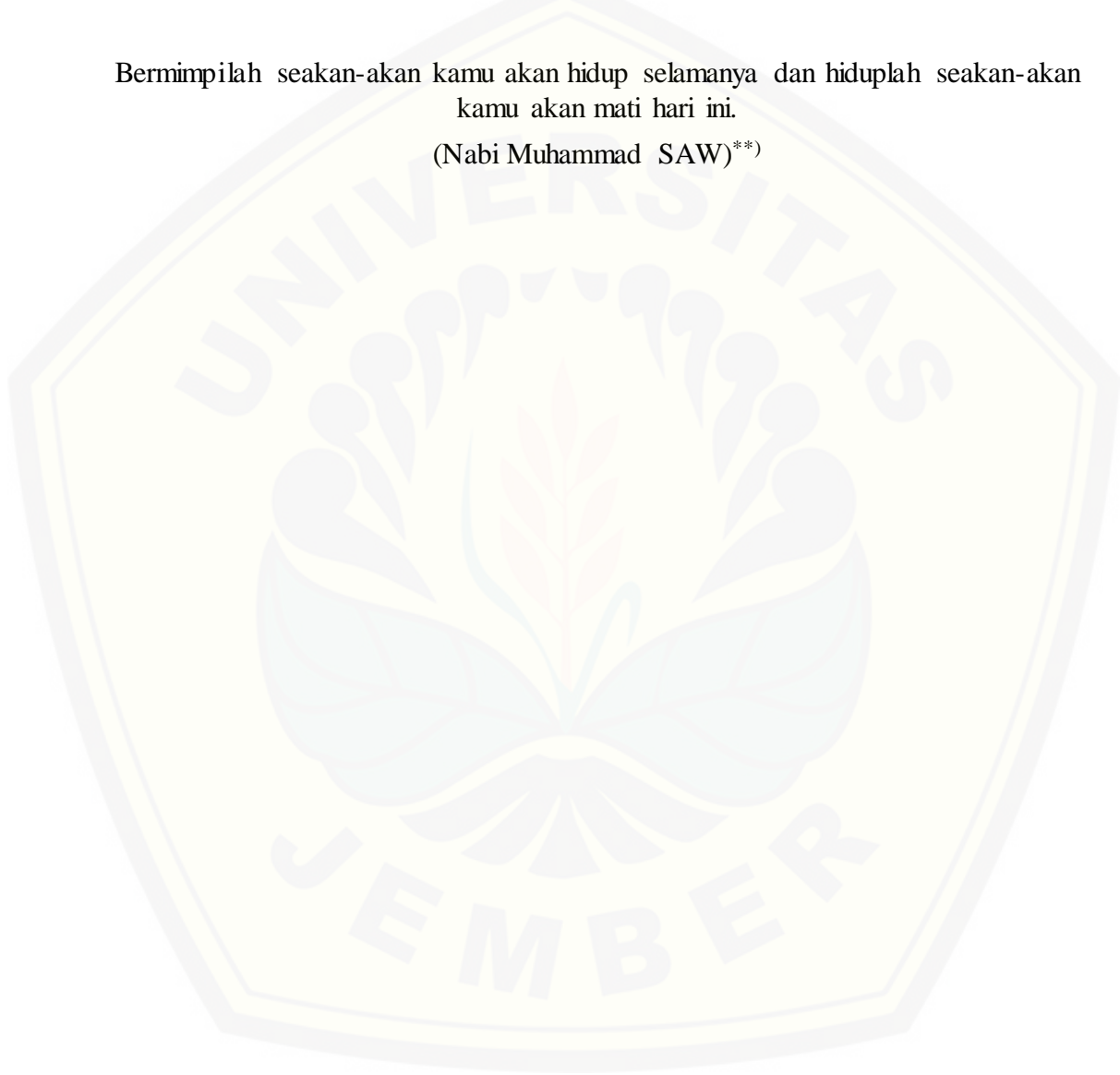
1. Allah SWT yang telah memberikan limpahan berkah dan nikmat yang luar biasa kepadaku baik kesempatan dan kekuatan lahir batin untuk menuntut ilmu dan menyelesaikan tahap ini beserta Nabi Muhammad SAW yang selalu menjadi panutan dalam setiap langkah;
2. Orang tua tercinta, Abi Abdul Ajiz dan Umi Suliyati yang telah memberikan doa, bimbingan, kasih sayang, dukungan, kerja keras, perjuangan dan pengorbanan kepada saya dalam meraih segala impian dan cita-cita;
3. Kakak tersayang, Mas Andik Hikmawan atas doa, semangat, dan dukungan yang diberikan kepadaku;
4. Semua guru dan dosen sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah ikhlas mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan dengan penuh kasih sayang dan kesabaran kepada penulis;
5. Almamater tercinta, Fakultas Teknik Universitas Jember yang saya banggakan sebagai tempat bagi saya untuk menimba ilmu khususnya dibidang teknik elektro.

MOTTO

Dan Allah tidak menjadikan pemberian bala bantuan itu melainkan sebagai kabar gembira bagi (kemenangan) mu, dan agar tentram hatimu karenanya. Dan kemenanganmu itu hanyalah dari Allah Yang Maha Perkasa lagi Maha Bijaksana. (terjemahan Q.S. Ali Imran ayat 126)*)

Bermimpilah seakan-akan kamu akan hidup selamanya dan hiduplah seakan-akan kamu akan mati hari ini.

(Nabi Muhammad SAW)**)



*) Terjemahan Al-Quran surat Ali Imran ayat 126.

***) Hadits riwayat Al Baihaqi dihasankan oleh Syaikh Al-Albaniy dalam Silsilah Al-Ahadits Adh-Dho'ifah no.8.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arif Wicaksono

Nim : 121910201050

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: “Rancang Bangun Sistem Pengisian Baterai pada *Hybrid power system* Photovoltaic Bedini SSG Berbasis Fuzzy Logic” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, 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 adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember,
Yang Menyatakan,

Arif Wicaksono
NIM 121910201050

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGISIAN BATERAI PADA *HYBRID*
POWER SYSTEM PHOTOVOLTAIC - BEDINI SSG
BERBASIS FUZZY LOGIC**

Oleh

Arif Wicaksono

NIM 121910201050

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Ir. Bambang Sujanarko, MM.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Rancang Bangun Sistem Pengisian Baterai pada *Hybrid power system* Photovoltaic Bedini SSG Berbasis Fuzzy Logic” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari, tanggal :

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Anggota

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.

NIP. 19710402 200312 1 001

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.

NIP. 19631201 199402 1 002

Tim Penguji

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

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

NIP. 19700826 199702 1 001

Alfredo Bayu Satria, S.T., M.T.

NIP. 198905 19201504 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M.

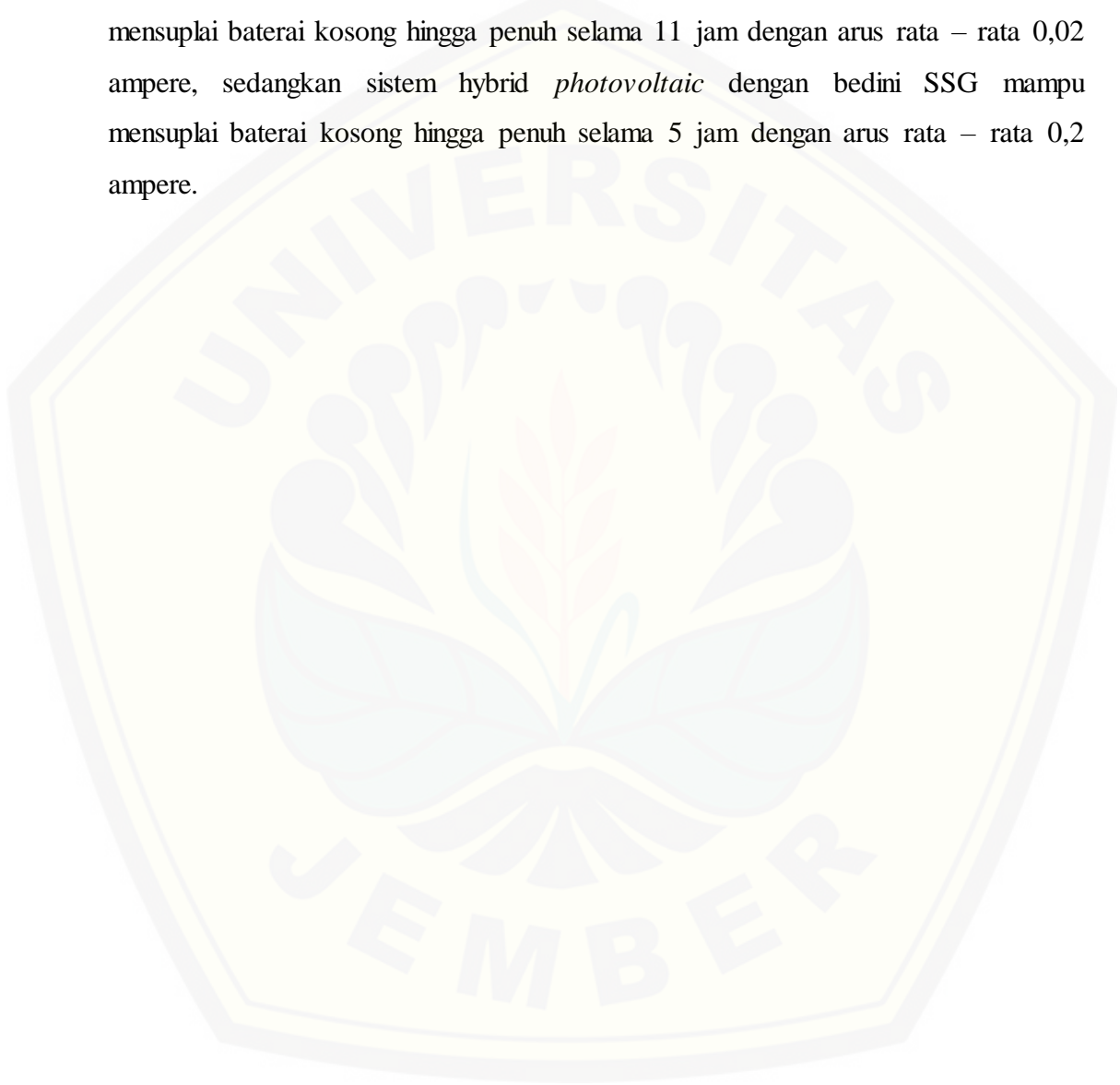
NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Rancang Bangun Sistem Pengisian Baterai pada *Hybrid power system Photovoltaic Bedini SSG Berbasis Fuzzy Logic*; Arif Wicaksono, 121910201050; 2016; 57 halaman; Fakultas Teknik Universitas Jember.

Krisis energi merupakan masalah yang hingga kini masih menyelimuti kehidupan manusia. Salah satu cara untuk mengatasi krisis energi ini adalah menggunakan pembangkit energi alternatif. Namun, beberapa pembangkit energi alternatif bergantung pada keadaan alam dan bahan bakar tertentu saja, contohnya Bedini SSG dan *photovoltaic*. Cara kerja pada sistem ini mengkombinasikan bediniSSG dan *photovoltaic* untuk menghasilkan energi listrik sehingga alat ini tidak perlu mendapatkan isi ulang energi listrik meskipun tidak terdapat sinar matahari ataupun cahaya lainnya. Hal ini disebabkan oleh energi listrik yang dihasilkan oleh bedini SSG dapat bergerak terus menerus. Bedini SSG merupakan roda yang terpasang magnet yang digerakkan oleh kumparan selenoid berdasarkan prinsip magnet *repulsion* atau magnet *attraction*. Prinsip kerja bedini SSG seperti *motor rotary* yakni serangkaian cakram logam yang terpasang pada poros pusat dan kuat magnet secara strategis ditempatkan di sekitar luar lilitan. Tujuan sebenarnya dari perangkat ini memiliki efek yang sangat spesifik pada daya yang ada pada baterai, dan untuk menjaganya berputar sendiri sehingga mampu menghasilkan energi listrik yang dapat dipakai untuk mengisi ulang baterai. Adapun *photovoltaic* pada alat ini digunakan untuk optimalisasi sistem alat agar energi listrik yang dihasilkan lebih besar ketika terdapat cahaya. *Photovoltaic* atau alat yang mampu mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi listrik. *Photovoltaic* dapat dianalogikan sebagai alat dengan dua terminal atau sambungan, dimana saat kondisi gelap atau tidak cukup cahaya berfungsi seperti dioda, dan saat disinari dengan cahaya matahari dapat menghasilkan tegangan. Ketika disinari, umumnya satu *cell photovoltaic* menghasilkan tegangan dc sebesar 0,5 dan arus *short-circuit* dalam skala milliampere per cm^2 .

Hybrid power system antara *photovoltaic* dengan Bedini SSG, bekerja secara paralel dengan memanfaatkan mikrokontroler yaitu Arduino Uno yang terprogram *fuzzy logic controller*. Kontrol fuzzy digunakan sebagai pensaklaran dari *photovoltaic*, bedini SSG maupun yang menuju ke baterai. Adanya kontrol fuzzy ini membuat suplai baterai tidak mengalami overcharge dan baterai sumber bedini SSG tidak berkurang terus menerus. Sistem bedini SSG sendiri mampu mensuplai baterai kosong hingga penuh selama 11 jam dengan arus rata – rata 0,02 ampere, sedangkan sistem hybrid *photovoltaic* dengan bedini SSG mampu mensuplai baterai kosong hingga penuh selama 5 jam dengan arus rata – rata 0,2 ampere.



PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Pengisi Baterai pada *Hybrid power system* Photovoltaic Bedini SSG Berbasis Fuzzy Logic”. Skripsi ini disusun guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi strata satu (S1) pada Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini tidak lepas dari dukungan, bantuan serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Allah SWT atas semua karunia yang diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir untuk mencapai gelar Sarjana Teknik;
2. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Dr. Ir. Bambang Sujanarko, MM. Selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah banyak membantu, meluangkan waktu, pikiran, dan perhatiannya untuk membimbing penulis untuk menyelesaikan penelitian dan skripsi ini;
4. Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I dan Bapak Alfredo S. B selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktu untuk menguji, mengevaluasi, memberikan saran dan penilaian terhadap skripsi ini;
5. Bapak Dr. Azmi Saleh S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik atas segala bimbingan dan kesabarannya dalam membimbing penulis selama masa studi sampai tugas akhir;
6. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah mengamalkan ilmunya dan memperluas ilmu pengetahuan serta wawasan penulis selama menempuh masa kuliah;

7. Orang tua tercinta, Abi Abdul Aziz dan Umi Suliyati yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, semangat, dukungan, dan motivasi yang tidak terhingga untuk mengiringi perjalanan hidup penulis;
8. Kakak tersayang, Mas Andik Hikmawan atas kasih sayang, doa, semangat, dan dukungan yang diberikan kepadaku;
9. Teman-teman seperjuangan Angkatan 2012 Teknik Elektro Universitas Jember “SATE UJ” semuanya atas kebaikan dan bantuan selama kuliah ini;
10. Keluarga PELITA sekaligus sahabat seperjuangan organisasi semuanya atas pengalaman organisasi, kebersamaan, masukan, semangat, bantuan, dan keceriaan yang kalian berikan;
11. Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas bantuan, perhatian, dan inspirasi bagi penulis dalam menyelesaikan penelitian ini dan mendoakan kesuksesan ujian skripsi ini.

Penulis menerima saran dan kritik yang membangun dari pembaca sekalian demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis juga berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Jember, 14 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

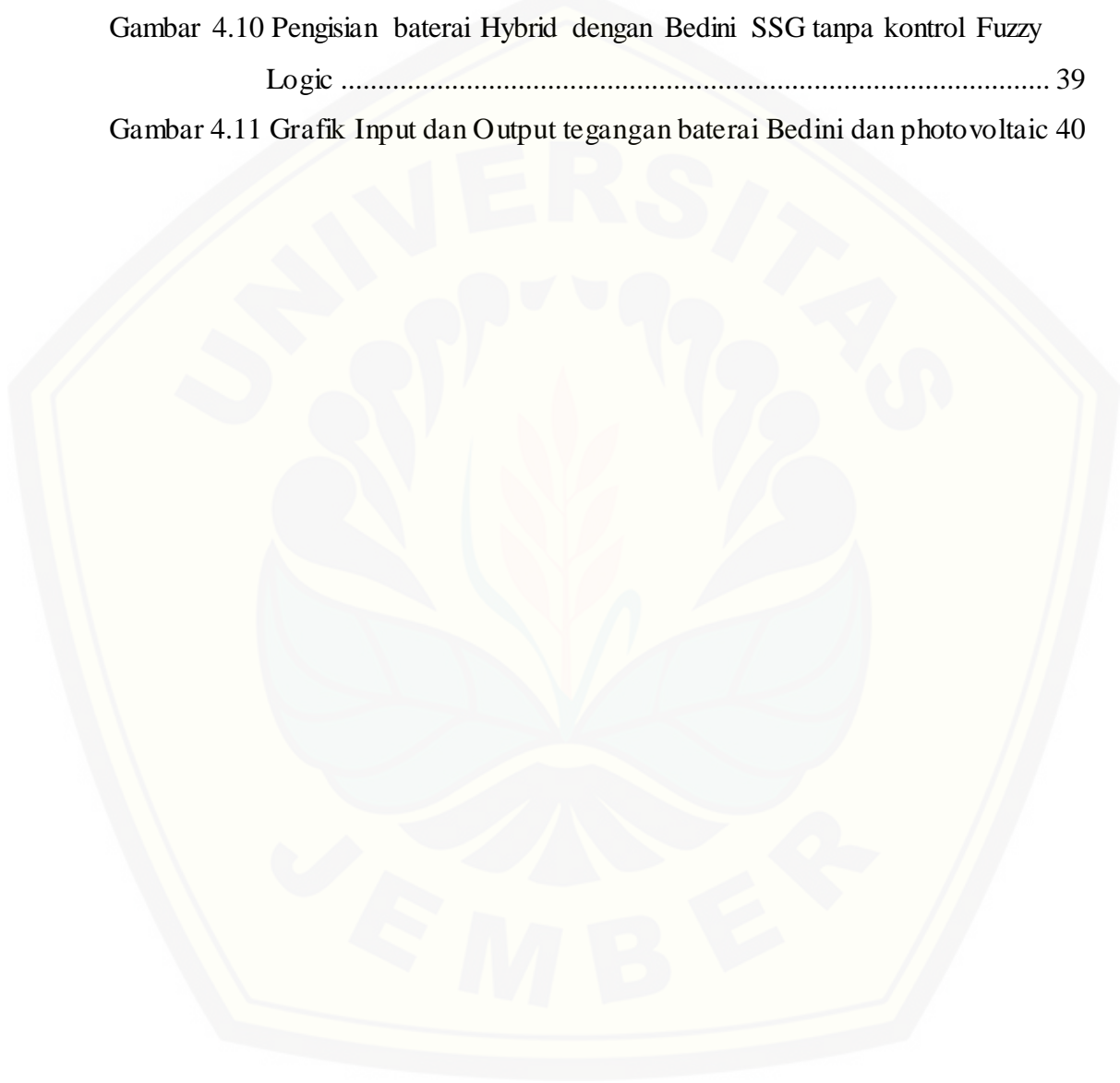
	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Bedini SSG	4
2.2 Magnet	5
2.2.1 <i>Neodymium Magnets</i>	6
2.3 Arduino	7
2.3.1 Arduino Uno	7
2.3.2 Pin Masukan dan Keluaran Arduino Uno	8
2.3.3 Sumber Daya dan Pin Tegangan Arduino Uno	9
2.4 Photovoltaic	10
2.4.1 Prinsip Kerja	10
2.4.2 Karakteristik <i>Photovoltaic</i>	11
2.4.3 Parameter <i>Photovoltaic</i>	14

2.4.4 Jenis-Jenis <i>Photovoltaic</i>	15
2.5 Baterai	16
2.5.1 Jenis-Jenis Baterai	17
2.5.2 Metode Pengisian dan Pelepasan.....	17
BAB 3. METODE PENELITIAN	21
3.1 Waktu dan tempat penelitian	21
3.2 Tahapan Penelitian	21
3.2.1 Diagram Alir Analisis Data	22
3.2.2 Studi literatur	22
3.2.3 Perangkat Keras	23
3.2.4 Pemrograman <i>Fuzzy</i>	23
3.2.5 Pengolahan Hasil dan Data.....	23
3.2.6 Penyusunan Laporan	23
3.3 Pemodelan Bedini SSG dan Cara Kerja	23
3.4 Perancangan Solar <i>Charger</i>	25
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Pengujian Bedini SSG	29
4.2 Pengujian <i>Photovoltaic</i>	32
4.3 Pengujian Hybrid Power Sistem Bedini dan <i>Photovoltaic</i>	34
4.3.1 Sistem Hybrid Fuzzy Arduino Uno	34
4.3.2 Pengukuran Hybrid Bedini dan <i>Photovoltaic</i> Tanpa Kontrol Fuzzy	38
4.3.3 Hasil Pengukuran Hybrid Bedini dan <i>Photovoltaic</i> dengan Fuzzy Logic Menggunakan Arduino UNO	40
4.4 <i>Coefficient of Performance (COP)</i> Hybrid Solar Cell dengan Bedini SSG	41
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	42
5.1 Kesimpulan	42
5.2 Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Desain original bedini	4
Gambar 2.2 Skema Rangkaian Bedini SSG	5
Gambar 2.3 Panel Surya	11
Gambar 2.4 Rangkaian Persamaan Photovoltaic	12
Gambar 2.5 Kurva I-V	12
Gambar 2.6 Grafik Arus Terhadap Temperatur	13
Gambar 2.7 Grafik Arus Terhadap Tegangan	13
Gambar 2.8 Proses charge dengan arus konstan	18
Gambar 2.9 Proses Discharge dengan Arus Konstan	18
Gambar 2.10 Proses Charge dengan Daya Konstan	19
Gambar 2.11 Proses Discharge dengan Daya Konstan	19
Gambar 2.12 Proses charge dengan arus konstan / tegangan konstan	19
Gambar 2.13 Proses Discharge dengan resistansi konstan ketika tegangan battery turun	19
Gambar 3.1 Diagram alir Analisis Data	22
Gambar 3.2 Saat kutub n mendekati kumparan utama	23
Gambar 3.3 Perubahan fluks magnetik berhenti saat magnet sejajar inti besi.....	24
Gambar 3.4 Transistor dalam kondisi ON	24
Gambar 3.5 Rotor melakukan putaran kembali	25
Gambar 3.6 Skema Perancangan Solar charger	25
Gambar 3.7 Modul Buck-Boost Converter	26
Gambar 3.8 Photovoltaic polycrystalline 10 W	26
Gambar 3.9 Baterai 12V / 7 AH.....	27
Gambar 3.10 Modul sensor tegangan DC	28
Gambar 3.11 Diagram blok rangkaian	28
Gambar 4.1 Rangkaian Bedini sebelum tersambung dengan Photovoltaic	29
Gambar 4.2 (a) Rotor diam dan (b) Rotor Bergerak	30
Gambar 4.3 Neon Bulb menyala	30
Gambar 4.4 Grafik pengujian bedini.....	32

Gambar 4.5 Grafik hubungan tegangan dan daya pada photovoltaic s21 Mei 2016	33
Gambar 4.6 Nilai input variable V_{pv}	35
Gambar 4.7 Nilai input variable V_{bat}	36
Gambar 4. 8 Nilai ouput variable saklar 1, 2 dan 3	36
Gambar 4.9 Rule Fuzzy Matlab sistem Hybrid.....	38
Gambar 4.10 Pengisian baterai Hybrid dengan Bedini SSG tanpa kontrol Fuzzy Logic	39
Gambar 4.11 Grafik Input dan Output tegangan baterai Bedini dan photovoltaic	40



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Pengujian Bedini SSG.....	31
Tabel 4.2 Pengujian Photovoltaic 10 Wp tanggal 21 Mei 2016.....	33
Tabel 4.3 Pengujian sensor tegangan pada photovoltaic	34
Tabel 4.4 Pengujian sensor tegangan pada baterai.....	35
Tabel 4.5 Tabel Kebenaran Sistem Hibrid	37
Tabel 4.6 Logika yang sesuai dengan sistem yang digunakan.....	37
Tabel 4.7 Pengujian pensaklaran sistem hibrid	38
Tabel 4.8 Pengujian Bedini dan Photovoltaic	39
Tabel 4.9 Tegangan input dan output yang dihasilkan.....	40
Tabel 4.10 Tegangan input dan output yang dihasilkan.....	41

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara dengan penduduk terbanyak ke empat diseluruh dunia yang menyebabkan kebutuhan permintaan energi terus meningkat. Menurut Badan Kementrian Energi dan Sumber Daya Manusia, konsumsi energi Indonesia terus mengalami kenaikan seiring dengan semakin meningkatnya kegiatan ekonomi di semua sektor baik industri, transportasi, rumah tangga dan komersial yaitu dengan kenaikan rata-rata 4,7,% per tahun (kajian Indonesia Energi Outlook, 2012). Adanya permintaan energi ini, Indonesia berusaha meningkatkan kapasitas energinya melalui program percepatan pembangkit 10.000 MW atau dikenal sebagai program *fasttrack* dengan bahan bakar batu bara yang tertulis dalam Peraturan Presiden No. 71 tahun 2006. Batu bara merupakan salah satu sumber daya energi tak terbarukan yang bukan suatu solusi untuk mengatasi krisis energi di Indonesia.

Berkurangnya potensi energi batu bara mendorong pemerintah menjadikan energi terbarukan sebagai prioritas utama untuk menjaga kemandirian energi, mengingat potensi energi terbarukan sangat besar dimasa mendatang, salah satu peraturan yang mengatur dimanfaatkan Energi Terbarukan adalah PP No 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, akan tetapi potensi energi terbarukan di Indonesia saat ini belum dimanfaatkan secara maksimal (kajian Indonesia Energi Outlook, 2016). Salah satu energi alternatif yang baru-baru ini dikembangkan yaitu *photovoltaic* yang sumber energinya dari cahaya matahari, namun dalam pengaplikasiannya *photovoltaic* tidak dapat digunakan selama sehari penuh karena sumber energi matahari hanya tersedia pada siang hari maka tetap dibutuhkan. Oleh karena itu dibutuhkan energi alternatif yang terbarukan lain untuk mengatasi kekurangan dari *photovoltaic*. Energi terbarukan yang mampu mengatasi kekurangan dari *photovoltaic* yaitu energi magnet. Energi yang dihasilkan oleh magnet permanen dapat berkurang 1% dalam 10 tahun atau dengan kata lain energinya dapat bertahan hingga 1000 tahun hingga daya magnetnya hilang (Kristen Watson Adsi, 2011).

Sebagian besar pemanfaatan magnet secara konvensional adalah untuk motor listrik dan generator listrik kapasitas kecil. Jika diteliti lebih jauh, pemanfaatan energi magnet dapat dikembangkan dengan beberapa alternative yang sangat efektif untuk mendapatkan manfaatnya secara maksimal. Salah satunya yaitu Bedini SSG yang dikembangkan oleh John Bedini dan penelitian Dr. Peter A. Lindemann, berdasarkan teori Nicola Tesla yang menggunakan magnet sebagai sumber energi alternatif ramah lingkungan. Pada penelitian Fakhurrazey (2014) telah diketahui bahwa pengontrolan putar motor pada Bedini SSG hanya menghasilkan daya sebesar 3.26 Watt, sehingga dalam penelitian ini ditambahkan *photovoltaic* sebagai penambah daya untuk menghasilkan energi listrik yang lebih besar.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini dirumuskan masalah yaitu bagaimana merancang *Bedini SSG* dan mengaplikasikan *photovoltaic* sebagai penambah daya sehingga menghasilkan energi listrik yang lebih besar menggunakan Arduino Uno sebagai kontrol pensaklaran.

1.3 Tujuan

Penelitian yang dilakukan ini memiliki beberapa tujuan diantaranya adalah:

1. Merancang *Bedini SSG* dan *photovoltaic* sebagai pembangkit energi listrik alternatif.
2. Mendapatkan kinerja sistem hybrid yang diinginkan.

1.4 Manfaat

Setelah penelitian ini berhasil dilakukan diharapkan *hybrid power system* antara *photovoltaic* dengan *Bedini SSG* menjadi salah satu alternatif untuk mengatasi masalah krisis energi dan mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh penggunaan energi fosil.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah dalam penelitian ini antara lain :

1. Beban yang digunakan adalah baterai
2. Konverter yang digunakan adalah *buck boost converter* berbasis *fuzzy logic controller*



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bedini SSG

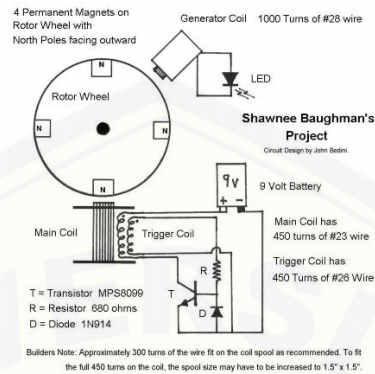
Salah satu manfaat paling besar dari aplikasi gaya Lorentz dalam kehidupan manusia adalah bedini SSG. Bedini SSG adalah salah satu jenis generator magnetik motor yang diciptakan dan ditunjukkan oleh John Bedini. Ketika Bedini SG dialiri arus listrik maka akan ada arus yang mengalir menuju cincin komutator. Lalu, dengan melalui sikat karbon arus mengalir ke kumparan, di dalam motor Bedini SSG terdapat magnet yang menimbulkan medan magnet dengan adanya medan magnet dan aliran arus listrik menimbulkan gerakan berputar akibat adanya gaya Lorentz (Tipler, 1998).

Pada gambar 2.1 menunjukkan satu unit Bedini SSG yang terdiri dari rotor roda dengan 24 magnet permanen terpasang dengan arah kutub Utara membelakangi rotor. Kumparan dengan 8 helai kawat terpisah yang dililit menjadi satu dan sirkuit yang terdiri dari 7 transistor, 7 resistor, 14 dioda, 7 Neon Bulb. Bingkai dudukan untuk roda dan semua komponen terbuat dari kayu karena kayu tidak terpengaruh oleh medan magnet dari rotor roda maupun kumparan (Wibowo, P. S. U., 2015). Dimensi untuk rotor roda tidak diharuskan memiliki ukuran tertentu, yang terpenting adalah bahwa rotor bulat sempurna, seimbang, dan berputar baik dengan gesekan rendah pada bantalannya,



Gambar 2.1 Desain original bedini (Fakhrurrazey, 2014)

Dengan sistem dan cara kerja yang sama pada gambar 2.2 menunjukkan skema rangkaian Bedini SSG dengan kapasitas yang lebih kecil. Menggunakan baterai dan transistor dengan karakteristik yang memiliki kapasitas lebih kecil dibandingkan dengan Bedini SSG pada gambar 2.1.



Gambar 2.2 Skema Rangkaian Bedini SSG (Lindemann P. dan Murakami A., 2012)

Sebagian besar orang menganggap bahwa Bedini SSG merupakan sebuah motor listrik. Hal tersebut didasarkan karena sistem beroperasi dengan listrik dan roda berputar selama sistem ini bekerja. Motor biasanya dirancang dengan daya tertentu untuk beroperasi pada beberapa perangkat misalkan pompa atau kompresor. Bedini SSG memiliki kemiripan dengan motor listrik namun berbeda karena bedini SSG berputar menghasilkan daya mekanik yang terbatas. Tujuan sebenarnya dari perangkat ini memiliki efek yang sangat spesifik terhadap daya baterai dan untuk menjaga agar rotor dapat berputar dengan sendirinya.

2.2 Magnet

Magnet berasal dari Magnesia, nama suatu kota di kawasan Asia. Di kota inilah orang-orang Yunani sekitar tahun 600 SM menemukan sifat magnetik dari mineral magnetik. Secara umum, pengertian magnet adalah kemampuan suatu benda untuk menarik benda-benda lain yang berada disekitarnya.

Magnet dapat dibuat dari bahan besi, baja, dan campuran logam serta telah banyak dimanfaatkan untuk industri otomotif dan lainnya. Sebuah magnet terdiri atas magnet-magnet kecil yang memiliki arah yang sama (tersusun teratur), magnet-magnet kecil ini disebut magnet elementer. Pada logam yang bukan magnet, magnet elementernya mempunyai arah sembarangan (tidak teratur)

sehingga efeknya saling meniadakan, yang mengakibatkan tidak adanya kutub – kutub magnet pada ujung logam. Setiap magnet memiliki dua kutub, yaitu: utara (N) dan selatan (S). Kutub magnet adalah daerah yang berada pada ujung-ujung magnet dengan kekuatan magnet yang paling besar berada pada kutub – kutubnya.

Magnet dapat menarik benda lain, beberapa benda bahkan tertarik lebih kuat dari yang lain, yaitu bahan logam. Namun tidak semua logam mempunyai daya tarik yang sama terhadap magnet. Besi dan baja adalah dua contoh materi yang mempunyai daya tarik yang tinggi oleh magnet. Sedangkan oksigen cair adalah contoh materi yang mempunyai daya tarik yang rendah oleh magnet. Satuan intensitas magnet menurut sistem metrik Satuan Internasional (SI) adalah Tesla dan SI unit untuk total fluks magnetik adalah weber ($1 \text{ weber/m}^2 = 1 \text{ tesla}$) yang mempengaruhi luasan satu meter persegi.

2.2.1 *Neodymium Magnets*

Penggunaan magnet *neodymium* pada Bedini SG memiliki efisien yang lebih baik dan harga yang lebih murah dibandingkan dengan Bedini SG yang asli (Fakhrurrazey dkk, 2014). Karakteristik magnet permanen yang paling tinggi saat ini adalah *Neodymium Iron Boron* (NdFeB), Idayanti dan Dedi (2006) menjelaskan bahwa NdFeB adalah material magnetik jenis permanen logam tanah jarang (*rare earth*) karena terbentuk oleh 2 atom dari suatu unsur logam tanah jarang *Neodymium* (Nd), 14 atom besi (Fe) dan 1 atom Boron (B), sehingga rumus molekul yang terbentuk adalah $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ dan sifat magnet yang dimiliki sangat baik dengan BHmax berkisar antara 30 Mega Gauss Oersted (MGOe) sampai dengan 52 MGOe.

Unsur utama pembentuk magnet NdFeB adalah Besi (Fe) dengan komposisi 60,36 % dan Neodymium (Nd) sebesar 32,53 % dan Boron sebesar 7-14 %. Unsur lain adalah Silikon (Si) sebesar 3,42% dan Cobalt (Co) sebesar 3,69%. Unsur Si dan Co pada magnet NdFeB adalah sebagai aditif yang dapat berfungsi untuk meningkatkan sifat magnet seperti; induksi remanen, koersifitas dan produk energi maksimum. Selain itu aditif ini juga dapat meningkatkan ketahanan korosi dan dapat meningkatkan temperatur curie (Idayanti dan Dedi, 2006).

2.3 Arduino

Arduino adalah platform pembuatan prototipe elektronik yang bersifat *open-source hardware* yang berdasarkan pada perangkat keras dan perangkat lunak yang fleksibel dan mudah digunakan. Arduino ditujukan bagi para seniman, desainer, dan siapapun yang tertarik dalam menciptakan objek atau lingkungan yang interaktif.

Arduino pada awalnya dikembangkan di Ivrea, Italia. Nama Arduino adalah sebuah nama maskulin yang berarti teman yang kuat. Platform arduino terdiri dari arduino board, *shield*, bahasa pemrograman arduino, dan arduino *development environment*. Arduino board biasanya memiliki sebuah chip dasar mikrokontroler Atmel AVR ATmega8 berikut turunannya. *Shield* adalah sebuah papan yang dapat dipasang diatas arduino board untuk menambah kemampuan dari arduino board.

Bahasa pemrograman arduino adalah bahasa pemrograman yang umum digunakan untuk membuat perangkat lunak yang ditanamkan pada arduino board. Bahasa pemrograman arduino mirip dengan bahasa pemrograman C++.

Arduino *Development Environment* adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menulis dan meng-*compile* program untuk arduino. Arduino *Development Environment* juga digunakan untuk meng-*upload* program yang sudah di-*compile* ke memori program arduino board.

2.3.1 Arduino Uno

Perangkat Arduino Uno merupakan Mikrokontroler arduino board yang menggunakan mikrokontroler ATmega 328. Arduino Uno memiliki 14 pin digital (6 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM), 6 *input* analog, sebuah 16 MHz osilator kristal, sebuah koneksi USB, sebuah konektor sumber tegangan, sebuah header ICSP, dan sebuah tombol reset. Arduino Uno memuat segala hal yang dibutuhkan untuk mendukung sebuah mikrokontroler. Hanya dengan menghubungkannya ke sebuah komputer melalui USB atau memberikan tegangan DC dari baterai atau adaptor AC ke DC sudah dapat membuanya bekerja. Arduino Uno menggunakan ATmega16U2 yang diprogram sebagai *USB to serial converter* untuk komunikasi serial ke computer melalui port USB.

Adapun data teknis board Arduino UNO R3 adalah sebagai berikut:

- a. Mikrokontroler : ATmega328
- b. Tegangan Operasi : 5V
- c. Tegangan *Input (recommended)* : 7 - 12 V
- d. Tegangan *Input (limit)* : 6-20 V
- e. Pin digital I/O : 14 (6 diantaranya pin PWM)
- f. Pin Analog *input* : 6
- g. Arus DC per pin I/O : 40 mA
- h. Arus DC untuk pin 3.3 V : 150 mA
- i. Flash Memory : 32 KB dengan 0.5 KB digunakan untuk bootloader
- j. SRAM : 2 KB
- k. EEPROM : 1 KB
- l. Kecepatan Pewaktuan : 16 Mhz

2.3.2 Pin Masukan dan Keluaran Arduino Uno

Masing-masing dari 14 pin digital arduino uno dapat digunakan sebagai masukan atau keluaran menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()` dan `digitalRead()`. Setiap pin beroperasi pada tegangan 5 volt. Setiap pin mampu menerima atau menghasilkan arus maksimum sebesar 40 mA dan memiliki resistor *pull-up* internal (diputus secara *default*) sebesar 20-30 KOhm. Sebagai tambahan, beberapa pin masukan digital memiliki kegunaan khusus yaitu:

- a. Komunikasi serial: pin 0 (RX) dan pin 1 (TX), digunakan untuk menerima(RX) dan mengirim(TX) data secara serial.
- b. *External Interrupt*: pin 2 dan pin 3, pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu sebuah interrupt pada nilai rendah, sisi naik atau turun, atau pada saat terjadi perubahan nilai.
- c. *Pulse-width modulation* (PWM): pin 3,5,6,9,10 dan 11, menyediakan keluaran PWM 8-bit dengan menggunakan fungsi `analogWrite()`.
- d. *Serial Peripheral Interface* (SPI): pin 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) dan 13 (SCK), pin ini mendukung komunikasi SPI dengan menggunakan SPI library.

- e. LED: pin 13, terdapat built-in LED yang terhubung ke pin digital 13. Ketika pin bernilai *HIGH* maka LED menyala, sebaliknya ketika pin bernilai *LOW* maka LED akan padam.

Arduino Uno memiliki 6 masukan analog yang diberi label A0 sampai A5, setiap pin menyediakan resolusi sebanyak 10 bit (1024 nilai yang berbeda). Secara default pin mengukur nilai tegangan dari ground (0V) hingga 5V, walaupun begitu dimungkinkan untuk mengganti nilai batas atas dengan menggunakan pin AREF dan fungsi `analogReference()`. Sebagai tambahan beberapa pin masukan analog memiliki fungsi khusus yaitu pin A4 (SDA) dan pin A5 (SCL) yang digunakan untuk komunikasi *Two Wire Interface* (TWI) atau *Inter Integrated Circuit* (I2C) dengan menggunakan Wire library.

2.3.3 Sumber Daya dan Pin Tegangan Arduino Uno

Arduino uno dapat diberi daya melalui koneksi USB (Universal Serial Bus) atau melalui power supply eksternal. Jika arduino uno dihubungkan ke kedua sumber daya tersebut secara bersamaan maka arduino uno akan memilih salah satu sumber daya secara otomatis untuk digunakan. Power supply external (yang bukan melalui USB) dapat berasal dari adaptor AC ke DC atau baterai. Adaptor dapat dihubungkan ke soket power pada arduino uno. Jika menggunakan baterai, ujung kabel yang dibubungkan ke baterai dimasukkan kedalam pin GND dan Vin yang berada pada konektor POWER.

Arduino uno dapat beroperasi pada tegangan 6 sampai 20 volt. Jika arduino uno diberi tegangan di bawah 7 volt, maka pin 5V akan menyediakan tegangan di bawah 5 volt dan arduino uno mungkin bekerja tidak stabil. Jika diberikan tegangan melebihi 12 volt, penstabil tegangan kemungkinan akan menjadi terlalu panas dan merusak arduino uno. Tegangan rekomendasi yang diberikan ke arduino uno berkisar antara 7 sampai 12 volt. Pin-pin tegangan pada arduino uno adalah sebagai berikut:

- a. Vin adalah pin untuk mengalirkan sumber tegangan ke arduino uno ketika menggunakan sumber daya eksternal (selain dari koneksi USB atau sumber daya yang teregulasi lainnya). Sumber tegangan juga dapat disediakan

melalui pin ini jika sumber daya yang digunakan untuk arduino uno dialirkan melalui soket power.

- b. 5V adalah pin yang menyediakan tegangan teregulasi sebesar 5 volt berasal dari regulator tegangan pada arduino uno.
- c. 3V3 adalah pin yang menyediakan tegangan teregulasi sebesar 3,3 volt berasal dari regulator tegangan pada arduino uno.
- d. GND adalah pin ground.

2.4 Photovoltaic

2.4.1 Prinsip Kerja

Energi Surya adalah salah satu jenis dari energi terbarukan (*Renewable Energy*). Matahari (Surya) adalah sumber energi yang dijumpai dalam sistem galaksi, yang menghasilkan energi sepanjang usia Matahari. Maksud energi surya adalah energi yang didapatkan langsung dari cahaya matahari.

Sebelum membahas sistem, pertama - tama akan dijelaskan secara singkat komponen penting dalam sistem ini yang berfungsi sebagai pengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Listrik tenaga matahari dibangkitkan oleh komponen yang disebut *photovoltaic* yang besarnya sekitar 10 - 15 cm persegi. Komponen ini mengkonfirmasi energi dari cahaya matahari menjadi energi listrik. *Photovoltaic* merupakan komponen vital yang umumnya terbuat dari bahan semi konduktor.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh satu *photovoltaic* sangat kecil maka beberapa *photovoltaic* harus digabungkan sehingga terbentuklah satuan komponen yang disebut module. Produk yang dikeluarkan oleh industri-industri *photovoltaic* adalah dalam bentuk module yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. 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.

Teknologi *photovoltaic* mampu menghasilkan daya maksimal sebesar 1000 watt/m pada kondisi cuaca cerah disiang hari, hal ini dikarenakan pada saat itu

intensitas cahayamatahari yang sampai ke permukaan bumi saattengah hari adalah paling besar nilainya. Apabila piranti semikonduktor dengan luasansatu m² memiliki efisiensi 12%, maka daya yang dibangkitkan oleh modul *photovoltaic* sebesar 120 watt. Modul *photovoltaic* yang adadipasaran memiliki efisiensi sekitar 4% hingga16%, perbedaan nilai efisiensi sangat tergantung dari bahan modul *photovoltaic* tersebut (Asy'ari dkk, 2014).



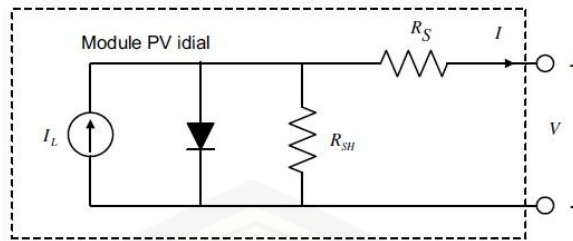
Gambar 2.3 Panel Surya

2.4.2 Karakteristik *Photovoltaic*

Photovoltaic diproduksi dari bahan semikonduktor yaitu silikon yang berperan sebagai insulator pada temperatur rendah dan sebagai konduktor bila ada energi dan panas. Sebuah Silikon *Photovoltaic* adalah sebuah diode yang terbentuk dari 3 lapisan atas silikon tipe n (*silicon doping of "phosphorous"*), dan lapisan bawah silikon tipe p (*silicon doping of "boron"*). Elektron-elektron bebas terbentuk dari milion photon atau benturan atom pada lapisan penghubung (*junction = 0.2-0.5 micron*) menyebabkan terjadinya aliran listrik.

Sebuah *Photovoltaic* dalam menghasilkan energi listrik (energi sinar matahari menjadi photon) tidak tergantung pada besaran luas bidang Silikon, dan secara konstan akan menghasilkan energi berkisar ± 0.5 volt — max. 600 mV pada 2 amp , dengan kekuatan radiasi solar matahari $1000 \text{ W/m}^2 = \text{"1 Sun"}$ akan menghasilkan arus listrik (I) sekitar 30 mA/cm² per *photovoltaic*. Pada Gambar 2.2 grafik I-V Curve dibawah yang menggambarkan keadaan sebuah *Photovoltaic* beroperasi secara normal. *Photovoltaic* akanmenghasilkan energi maximum jika nilai Vm dan Im juga maximum. Sedangkan Isc adalah arus listrik maximum pada nilai volt = nol; Isc 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 *Photovoltaic* untuk mengisi accu.



Gambar 2.4 Rangkaian Persamaan Photovoltaic (Wulandari Triyas Ika, 2010)

Persamaan dari rangkaian di atas adalah:

$$I = I_L - I_o \left[\exp. \left(\frac{(V + IR_s)}{nkT / q} \right) - 1 \right] - \frac{(V + IR_s)}{R_{SH}} \quad (2.1)$$

Dimana :

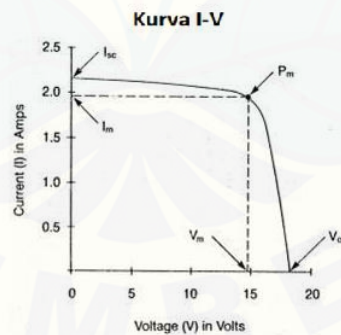
I_o = arus saturasi *reverse* (Ampere)

n = faktor ideal dioda (bernilai 1 untuk dioda ideal)

q = pengisian electron ($1.602 \cdot 10^{-19}$ C)

k = konstanta Boltzman ($1.3806 \cdot 10^{-23}$ J.K-1)

T = temperatur solar sel (K)



Gambar 2.5 Kurva I-V (Strong, Steven J, The Solar Electric House)

Keterangan:

I_{sc} = Short-circuit current

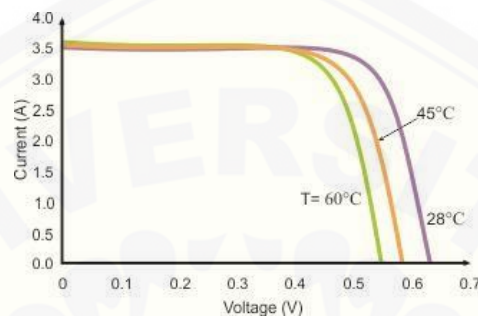
V_{oc} = Open-circuit voltage

V_m = Voltage maximum power

I_m = Current maximum power

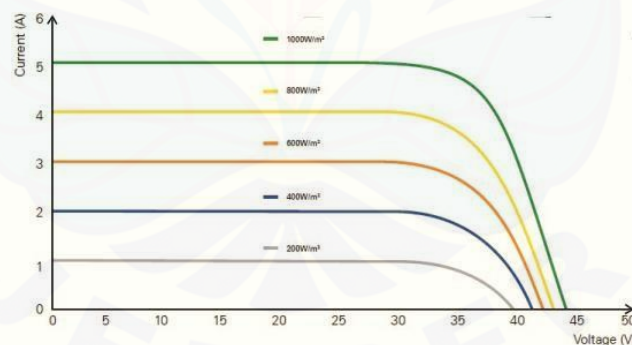
P_m = Power maximum-*output* dari PV array (watt)

Sebuah *Photovoltaic* dapat beroperasi secara maximum jika temperatur sel tetap normal (pada 25 °C), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada PV sel akan melemahkan Voltage (V_{oc}). Setiap kenaikan temperatur sel surya 1 derajat celsius (dari 25 derajat) akan berkurang sekitar 0.4 % pada total tenaga yang dihasilkan 8 atau akan melemah 2x lipat untuk kenaikan temperatur sel per 10 °C. Gambar 2.6 merupakan grafik pengaruh temperatur pada *photovoltaic* dalam °C.



Gambar 2.6 Grafik Arus Terhadap Temperatur (Wulandari Triyas Ika, 2010)

Radiasi solar matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi, dan sangat tergantung keadaan spektrum solar ke bumi. Insolation solar matahari akan banyak berpengaruh pada *current* (I) sedikit pada Volt.



Gambar 2.7 Grafik Arus Terhadap Tegangan (Wulandari Triyas Ika, 2010)

Kecepatan tiup angin disekitar lokasi PV *array* dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca PV *array*. Keadaan atmosfer bumi – berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (Rh), kabut dan polusi sangat menentukan hasil maximum arus listrik dari deretan PV. Orientasi dari rangkaian PV (*array*) ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel/deretan PV dapat menghasilkan energi maximum. Selain arah orientasi,

sudut orientasi (*tilt angle*) dari panel/deretan PV juga sangat mempengaruhi hasil energi maximum (lihat penjelasan *tilt angle*). Sebagai guideline: untuk lokasi yang terletak di belahan utara *latitude*, maka panel/deretan PV sebaiknya diorientasikan ke Selatan, orientasi ke timur - barat walaupun juga dapat menghasilkan sejumlah energi dari panel-panel/deretan PV, tetapi tidak akan mendapatkan energi matahari optimum.

Pada gambar 2.7 *tilt angle* (sudut orientasi matahari) mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel PV secara tegak lurus akan mendapatkan energi maximum $\pm 1000 \text{ W/m}^2$ atau 1 kW/m^2 . Kalau tidak dapat mempertahankan ketegaklurusan antara sinar matahari dengan bidang PV, maka extra luasan bidang panel PV dibutuhkan (bidang panel PV terhadap *sun altitude* yang berubah setiap jam dalam sehari).

2.4.3 Parameter *Photovoltaic*

Pengoperasian maximum *Photovoltaic* sangat tergantung pada:

a. *Ambient air temperature*

Sebuah Sel Surya dapat beroperasi secara maximum jika temperatur sel tetap normal (pada $25 \text{ }^\circ\text{C}$), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperature normal pada PV sel akan melemahkan Voltage (V_{oc}). Setiap kenaikan temperatur Sel Surya/derajat celsius (dari $25 \text{ }^\circ\text{C}$) akan berkurang sekitar 0.4% pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah 2x lipat untuk kenaikan temperatur Sel per $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

b. Radiasi solar matahari (*insolation*)

Radiasi solar matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi, dan sangat tergantung keadaan spektrum solar ke bumi. *Insolation solar* matahari akan banyak berpengaruh pada arus sedangkan berpengaruh sedikit pada tegangan.

c. Kecepatan angin bertiup

Kecepatan tiup angin disekitar lokasi PV *array* dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca PV *array*.

d. Keadaan atmosfer bumi

Keadaan atmosfer bumi—berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (Rh), kabut dan polusi sangat menentukan hasil maximum arus listrik dari deretan PV.

e. Orientasi panel atau *array* PV

Orientasi dari rangkaian PV (*array*) ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel/deretan PV dapat menghasilkan energi maximum. Selain arah orientasi, sudut orientasi (*tilt angle*) dari panel/deretan PV juga sangat mempengaruhi hasil energi maximum (lihat penjelasan *tilt angle*). Sebagai *guideline*: untuk lokasi yang terletak di belahan Utara *latitude*, maka panel/deretan PV sebaiknya diorientasikan ke Selatan, orientasi ke Timur – Barat walaupun juga dapat menghasilkan sejumlah energi dari panel / deretan PV, tetapi tidak akan mendapatkan energi matahari optimum. Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel PV secara tegak lurus akan mendapatkan energi maximum 1000 W/m² atau 1 kW/m². Kalau tidak dapat mempertahankan ketegaklurusan antara sinar matahari dengan bidang PV, maka extra luasan bidang panel PV dibutuhkan (bidang panel PV terhadap *sun altitude* yang berubah setiap jam dalam sehari)

2.4.4 Jenis-Jenis *Photovoltaic*

a. *Single Crystalline*

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

1) *Gallium Arsenide Cell*

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

2) *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.

b. *Polycrystalline Cell*

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

c. *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.

d. *Copper Indium Diselenide Cell*

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

e. *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.

f. *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.

2.5 Baterai

Baterai adalah alat yang dapat menyimpan energi kimia dan menjadikannya energi listrik bila diperlukan. Baterai telah dikenal luas dalam penggunaannya sebagai sumber energi benda-benda elektronik seperti mainan anak, lampu senter, dan lain-lain. Keunggulan baterai sebagai sumber energi listrik adalah kemudahannya untuk dibawa-bawa.

Listrik yang dihasilkan oleh sebuah baterai muncul akibat adanya perbedaan potensial energi listrik kedua buah elektrodanya. Perbedaan potensial ini dikenal dengan potensial sel atau gaya gerak listrik (ggl). Untuk melengkapi reaksi dalam sebuah baterai dibutuhkan media transfer muatan dan sirkuit luar sebagai jalur alir listrik. Baterai yang digunakan saat ini mempunyai perbedaan yang besar dengan

baterai generasi awal. Dari segi konstruksi, baterai generasi awal mempunyai ukuran yang besar dan mempunyai komponen-komponen yang rawan akan kerusakan. Baterai sekarang mempunyai ukuran yang kecil dan sebagian besar komponennya padat, sehingga lebih aman. Dari segi kapasitas energi, baterai sekarang mempunyai rasio energi terhadap massa yang jauh lebih besar dibandingkan baterai generasi awal.

2.5.1 Jenis-Jenis Baterai

Berdasarkan kemampuannya untuk dikosongkan (*discharged*) dan diisi ulang (*recharged*), baterai dibagi menjadi dua, yaitu Baterai Primer dan Baterai Sekunder. Kemampuan atau ketidakmampuan sebuah baterai untuk diisi ulang terletak pada reaksi kimiawi dalam baterai tersebut. Definisi mengisi ulang adalah membalikkan reaksi kimia yang terjadi dalam sebuah baterai dengan menerapkan arus listrik pada potensial tertentu. Pada baterai sekunder membalikkan reaksi tersebut dapat terjadi, sedangkan pada baterai primer, membalikkan reaksi tersebut tidak dapat terjadi.

a. Baterai primer

Baterai primer adalah baterai yang tidak dapat diisi ulang. Setelah kapasitas baterai habis (*fully discharged*), baterai tidak dapat dipakai kembali. Beberapa contoh baterai jenis ini adalah baterai Seng-Karbon (Baterai Kering), baterai Alkalin dan baterai Merkuri.

b. Baterai sekunder

Baterai sekunder adalah baterai yang dapat diisi ulang. Kemampuan diisi ulang baterai sekunder bervariasi antara 100-500 kali (satu siklus adalah satu kali pengisian dan pengosongan). Beberapa contoh baterai sekunder adalah baterai Timbal-Asam (Aki), baterai Ni-Cd, baterai Ni-MH, baterai Litium-Ion.

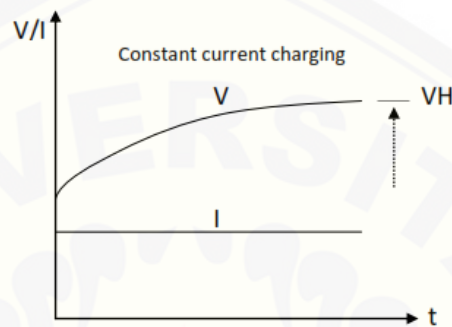
2.5.2 Metode Pengisian dan Pelepasan

Battery (*accumulator*) merupakan salah satu komponen yang sangat penting untuk memberikan *supply* tenaga, akan tetapi dalam alat ini, accumulator digunakan untuk menyimpan energi listrik yang berasal dari *photovoltaic* Penelitian atau

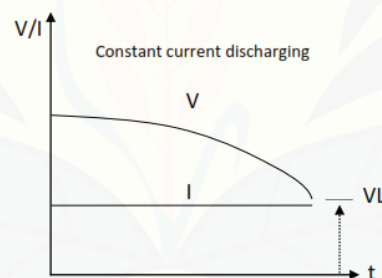
percobaan tentang proses *charge* dan *discharge* telah menghasilkan banyak sekali metode yaitu antara lain:

a. Proses *Charge* dan *Discharge* dengan Arus Konstan.

Proses *charge* dan proses *discharge* dengan arus konstan yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 dan Gambar 2.9 dapat diambil kesimpulan bahwa, proses *charge discharge* akan berakhir ketika waktu yang telah diset terlampaui atau apabila kapasitas battery (*accumulator*) yang ditentukan telah terpenuhi.



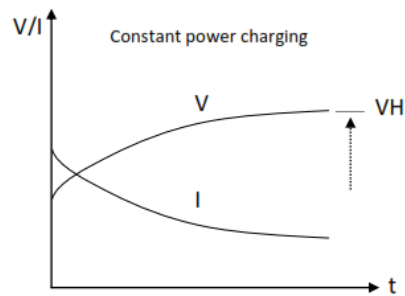
Gambar 2.8 Proses charge dengan arus konstan (Wulandari Triyas Ika, 2010)



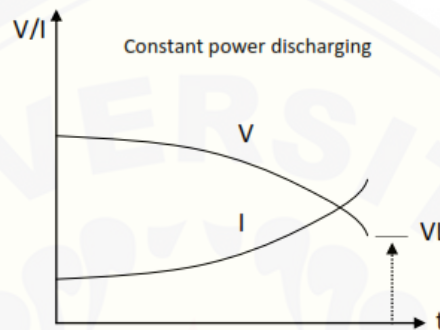
Gambar 2.9 Proses Discharge dengan Arus Konstan (Wulandari Triyas Ika, 2010)

b. Proses *Charge* dengan daya konstan

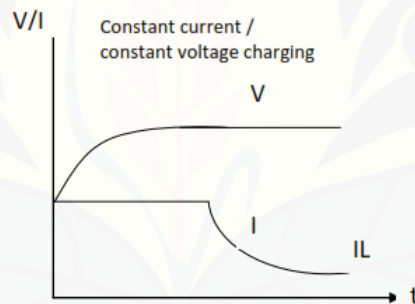
Proses *Charge* dengan daya konstan yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 dilakukan ketika tegangan naik dan arus turun, proses ini berakhir ketika set time terpenuhi atau tegangan pada baterai terpenuhi. Sedangkan proses *discharge* dengan daya konstan yang ditunjukkan pada Gambar 2.11 dilakukan ketika tegangan battery turun dan arus naik dan *discharge* berakhir saat set time terlampaui atau tegangan beban terpenuhi seperti pada Gambar 2.12. Pada Gambar 2.13 menunjukkan proses *discharge* dengan resistansi konstan ketika tegangan battery turun dan arus juga turun.



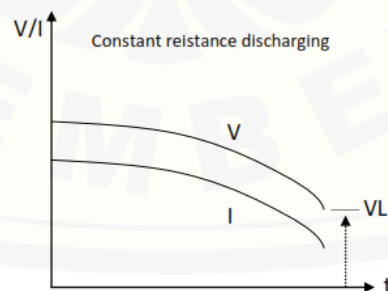
Gambar 2.10 Proses Charge dengan Daya Konstan (Wulandari Triyas Ika, 2010)



Gambar 2.11 Proses Discharge dengan Daya Konstan (Wulandari Triyas Ika, 2010)



Gambar 2.12 Proses charge dengan arus konstan / tegangan konstan (Wulandari Triyas Ika, 2010)



Gambar 2.13 Proses Discharge dengan resistansi konstan ketika tegangan battery turun dan arus juga turun (Wulandari Triyas Ika, 2010)

Untuk mengetahui waktu dalam proses pengisian accumulator, dapat menggunakan perhitungan pada persamaan (2.2) dan persamaan (2.3):

Lama pengisian Arus

$$T_a = \frac{Ah}{h} \quad (2.2)$$

Keterangan :

T_a = Lamanya pengisian arus (jam).

A_h = Besarnya kapasitas accumulator (Ampere hours).

A = Besarnya arus pengisian ke accumulator (Ampere).

Lama pengisian Daya:

$$T_d = \frac{\text{daya Ah}}{A} \quad (2.3)$$

Keterangan :

T_d = Lamanya pengisian Daya (jam).

Daya Ah = Besarnya daya yang didapat dari perkalian Ah dengan besar tegangan accumulator (Watt hours).

Daya A = Besarnya daya yang didapat dari perkalian A dengan besar tegangan accumulator (Watt).

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan tempat penelitian

Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Slamet Riyadi No. 62 Patrang, Jember 68111. Sedangkan waktu pelaksanaan mulai dari studi pustaka hingga penyusunan laporan dilakukan.

3.2 Tahapan Penelitian

Tahap-tahap dalam penelitian ini secara garis besarnya meliputi:

1. Tahap studi pustaka
2. Tahap perancangan dan pembuatan perangkat keras
3. Tahap perancangan dan pembuatan perangkat lunak.

Pengujian perangkat penyusun sistem yang sudah dirancang, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak sebelum diintegrasikan menjadi sistem keseluruhan.

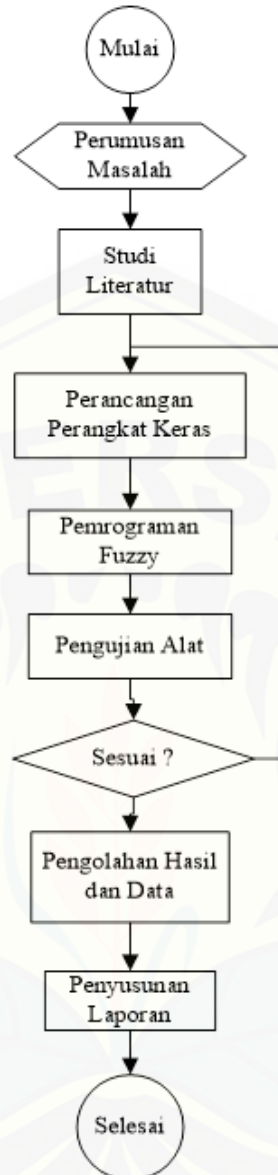
4. Integrasi sistem

Mengintegrasikan perangkat penyusun sistem yang sudah dirancang, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak menjadi sistem keseluruhan.

5. Tahap pengujian dan analisa sistem

Menguji sistem yang telah terintegrasi secara menyeluruh untuk selanjutnya dilakukan analisa kinerja sesuai dengan fungsinya.

3.2.1 Diagram Alir Analisis Data



Gambar 3.1 Diagram alir Analisis Data

3.2.2 Studi literatur

Studi literatur ini diambil dari beberapa seperti *paper* atau jurnal dan juga bukubuku referensi yang digunakan sebagai dasar untuk mengolah data yang ada. Studi literatur pada tugas akhir ini meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. Studi sistem bedini
2. Studi karakteristik *photovoltaic*
3. Studi karakteristik baterai

3.2.3 Perangkat Keras

Perancangan alat ini disesuaikan dengan fungsi dari komponen-komponen yang akan digunakan sehingga siap untuk direalisasikan. Perangkat keras yang akan digunakan antara lain

1. *Baterai charger*
2. *Buck boost converter*
3. Rangkaian Bedini
4. Mikrokontroler Arduino

3.2.4 Pemrograman *Fuzzy*

Perancangan sistem hybrid energi listrik menggunakan *fuzzy logic controller* berdasarkan level kapasitas baterai dan *output* tegangan *Photovoltaic*.

3.2.5 Pengolahan Hasil dan Data

Setelah tercipta sistem hybrid energi listrik menggunakan *Fuzzy* maka akan didapatkan data-data untuk diolah dan memunculkan kesimpulan dari penelitian ini.

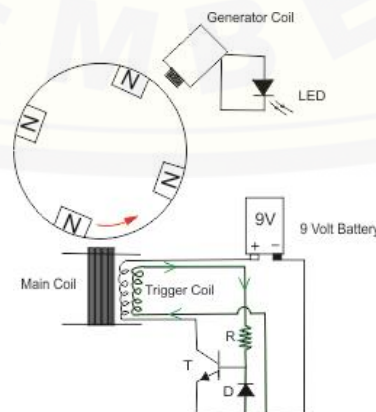
3.2.6 Penyusunan Laporan

Secara formal kegiatan penelitian yang telah dilakukan hingga selesai dilaporkan dalam bentuk tulisan dengan tata cara penulisan yang telah ditentukan.

3.3 Pemodelan Bedini SSG dan Cara Kerja

Cara Kerja Bedini SSG:

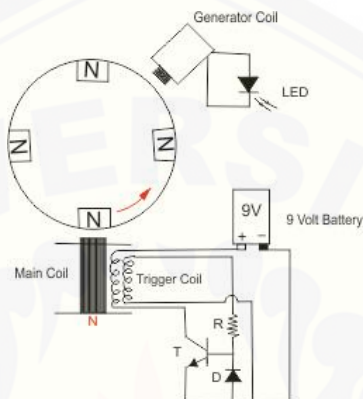
- a. Motor diputar dengan tangan



Gambar 3.2 Saat kutub n mendekati kumparan utama (Peter Lindemann, 2012)

Pada Gambar 3.2 yaitu ketika salah satu kutub magnet mulai bergerak mendekati kumparan inti besi. Kumparan trigger terinduksi namun arah arus yang dihasilkan tidak sesuai untuk mengaktifkan transistor dalam kondisi ON (garis hijau), sehingga transistor tetap pada posisi off selama magnet bergerak mendekati kumparan inti besi.

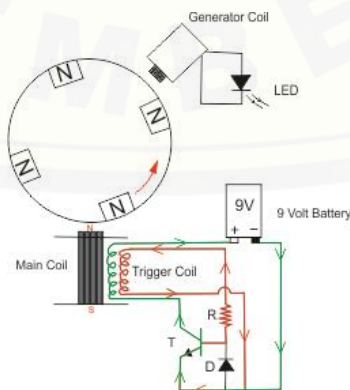
b. Saat kutub n berada tepat diatas kumparan



Gambar 3.3 Perubahan fluks magnetik berhenti saat magnet sejajar inti besi (Peter Lindemann, 2012)

Ketika magnet berada tepat di atas kumparan inti besi, inti besi mencapai maksimum induktansi dan perubahan fluks magnetik berhenti. Oleh karena tidak ada arus yang mengalir. Pada titik ini magnet menginduksi inti besi yang seolah olah inti besi sebagai magnet batang dengan kutub selatan menghadap pada magnet rotor dan kutub utara membelakangi rotor yang dapat dilihat pada Gambar 3.3.

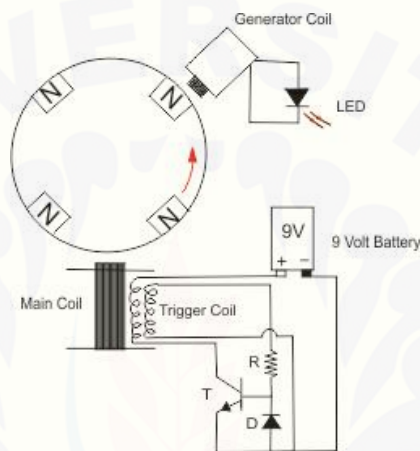
c. Saat menjauhi inti kumparan



Gambar 3.4 Transistor dalam kondisi ON (Peter Lindemann, 2012)

Gambar 3.4 menjelaskan saat magnet mulai bergerak menjauh. Medan magnet inti besi mulai *drop* dan mengakibatkan perubahan fluks magnetik yang menghasilkan tegangan induksi pada kumparan inti dengan arah arus yang berlawanan dari arah sebelumnya (garis merah). Arus ini mengaktifkan transistor pada kondisi on menyebabkan arus mengalir menuju kumparan dan baterai. Kondisi ini menjadikan kumparan inti besi bersifat elektromagnet dengan kutub utara menghadap rotor, sehingga terjadi gaya tolak terhadap magnet dan rotor terdorong untuk berputar

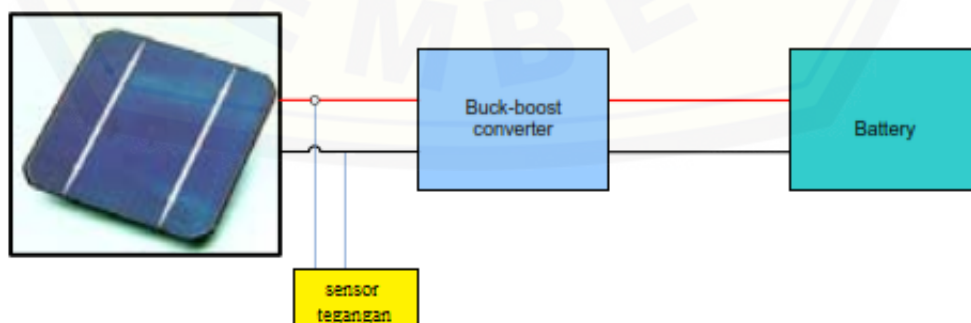
d. Transistor Cut off



Gambar 3.5 Rotor melakukan putaran kembali (Peter Lindemann, 2012)

Pada Gambar 3.5 disaat transistor dalam kondisi *cut off*, magnet mendekati kumparan generator. Lampu led menyala sekejap. Ketika rotor berputar lebih cepat maka lampu led seakan akan menyala terus menerus.

3.4 Perancangan Solar Charger



Gambar 3.6 Skema Perancangan Solar charger (Zainal Arifin, 2010)

a. *Buck-Boost Converter*

Buck-Boost Converter digunakan untuk menaik-turunkan tegangan *input* agar tegangan *output* dapat diatur pada nilai tertentu. Penggunaan *Buck-Boost Converter* ini karena tegangan *output* dari *photovoltaic* selalu berubah berdasarkan perubahan intensitas cahaya yang jatuh pada permukaan *photovoltaic*. Karakteristik *Buck-Boost Converter* pada gambar 3.7 ini mampu bekerja dengan tegangan *input* DC 4.5-32V sedangkan *output* dari tegangan yang dihasilkan adalah DC 1.25-32V



Gambar 3.7 Modul Buck-Boost Converter

b. *Photovoltaic*

Photovoltaic pada rancang bangun ini dipilih *photovoltaic* dengan spesifikasi daya maximum 10 W. Hal ini dikarenakan ukuran *photovoltaic* dengan 10 Wp cukup untuk mengisi baterai. PV pada gambar 3.8 ini mampu menghasilkan tegangan DC 12,9V sedangkan arus yang dihasilkan yaitu 0,63 A saat open circuit.



Gambar 3.8 *Photovoltaic polycrystalline* 10 W

c. Baterai

Baterai digunakan untuk menyimpan energi sementara saat cahaya matahari tersedia dan beban belum terpasang, sehingga untuk dibentuk sistem *hybrid* diperlukan 2 buah baterai yang dipasang secara seri, baterai pertama sebagai sumber bedini SSG dan baterai kedua sebagai penyimpan energi. Pada gambar 3.9 adalah baterai yang akan digunakan pada rancang bangun ini, dengan tegangan 12 V dan arus pengisian 7 AH.



Gambar 3.9 Baterai 12V / 7 AH

d. Sensor Tegangan.

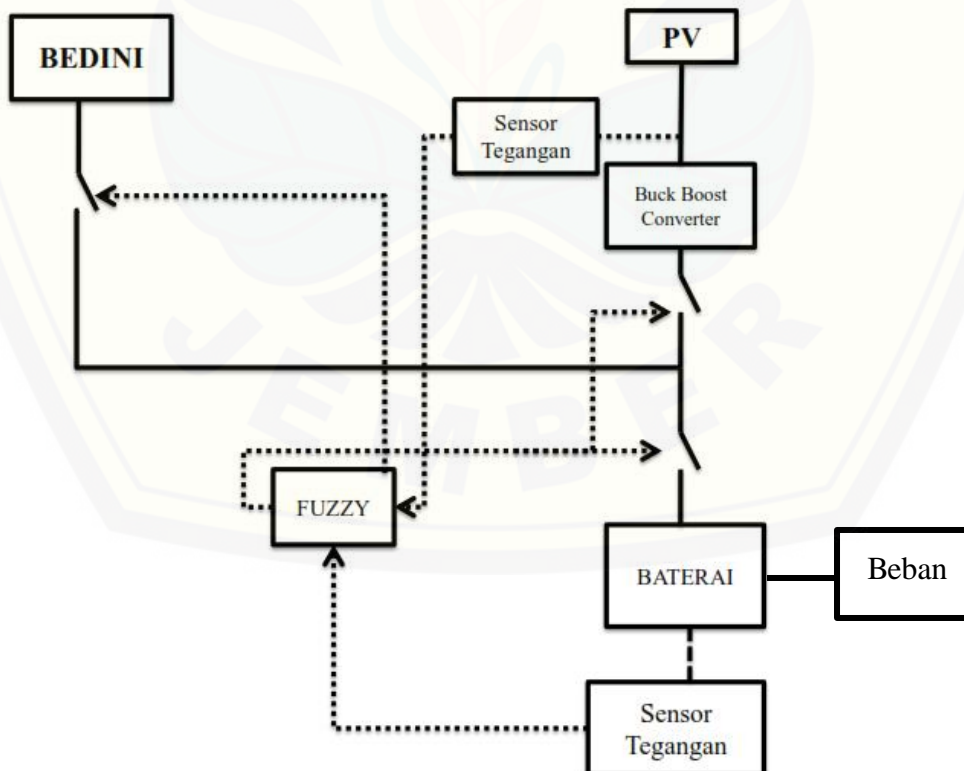
Modul sensor yang kecil dan sangat bermanfaat untuk mendeteksi tegangan DC input dengan faktor pembagi *resistive divider* 5 yaitu mampu membuat tegangan yang akan dideteksi berkurang 5x lipat. Tegangan *input* analog pada Arduino 0-5v, sehingga tegangan *maximum* yang dapat dideteksi oleh sensor adalah $5 \times 5v = 25v$. Jika menggunakan sistem tegangan 3.3v, maka tegangan *maximum* yang dapat dideteksi adalah sebesar $5 \times 3.3v = 16.5v$. AVR Chip pada Arduino memiliki AD 10-bit, jadi modul ini memiliki ketelitian $0.00489v$ ($5v/1023$). Sehingga nilai tegangan *minimum* yang dapat dideteksi adalah $5 \times 0.00489v = 0.02445v$ (bukan 0v). Modul ini juga dilengkapi dengan terminal baut sehingga pemasangan kabel menjadi lebih mudah dan aman. Modul sensor tegangan DC dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Modul sensor tegangan DC

3.5 Diagram Blok

Diagram blok rangkaian menunjukkan bahwa PV dan bedini terpasang paralel, yang mensuplai arus listrik menuju baterai. Boost dc converter pada PV digunakan untuk menaikkan tegangan sesuai yang diinginkan dari hasil keluaran pada PV, sedangkan Buck DC converter digunakan untuk menurunkan tegangan dari hasil keluaran yang diinginkan pada Bedini. Kemudian dilakukan kontrol tegangan menggunakan fuzzy terhadap baterai, buck dc converter dan boost dc converter. Diagram blok rangkaian dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Diagram blok rangkaian

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian dapat diambil beberapa kesimpulan, diantaranya:

1. Sistem hibrid terdiri atas *photovoltaic*, baterai, dan bedini SSG, *photovoltaic* yang digunakan sebesar 10wp dan mengalami keadaan puncak pada pukul 12.00 dengan menghasilkan tegangan 20,01V, arus 0,48A dan daya sebesar 9,62W. Buck Boost konverter digunakan untuk menurunkan dan menaikkan tegangan *photovoltaic* berdasarkan besar duty cycle yang menghasilkan tegangan 16.69V untuk *charge* baterai. Keadaan baterai saat penuh ketika tegangan mencapai 12,7 V dan disaat itu pula pengisian baterai terputus dengan sistem. Pengontrolan sistem hibrid menggunakan Fuzzy Arduino berdasarkan tegangan *photovoltaic* dan tegangan baterai. *Photovoltaic* digunakan mensuplai baterai jika tegangan *output* lebih besar dari 4,5V. Baterai memutus proses *charge* saat tegangan bernilai 12,6 V.
2. Sistem hibrid bekerja berdasarkan sensor tegangan *photovoltaic* dan sensor tegangan baterai. Jika sensor 1 pada kondisi Off dan sensor 2 pada kondisi Off maka baterai akan disuplai oleh Bedini SSG dikarenakan suplai tegangan pada *photovoltaic* kurang dari 4,5 V, dan Bedini SSG akan mengisi baterai, jika sensor 1 pada kondisi OFF dan sensor 2 ON dalam hal ini baterai telah terisi penuh maka semua saklar akan off. Saat sensor 1 pada kondisi On dan Sensor 2 pada kondisi Off maka Baterai akan disuplai oleh *photovoltaic* dan Bedini SSG untuk melakukan proses charging, dan jika kedua sensor pada kondisi On maka Beban akan disupai oleh *photovoltaic* dan tidak melakukan proses charging.

5.2 Saran

Dari hasil perancangan dan pengujian proyek akhir dapat diambil beberapa saran, diantaranya:

1. Untuk mendapatkan putaran dan tegangan yang maksimal pada Bedini SSG, desain alat harus memiliki presisi yang tepat dan sesuai dengan kapasitas yang diinginkan.
2. Penerapan sistem hybrid ini sangat tepat apabila beban juga dimasukkan ke dalam sistem
3. Disarankan menggunakan MPPT controller agar *charge* baterai dapat bekerja lebih baik dan umur baterai dapat bertahan lebih lama



DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Zainal. 2010. *Portable Solar Charger*. Surabaya. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
- Wulandari, Triyas Ika. 2010. *Rancang Bangun Sistem Penggerak Pintu Air Dengan Memanfaatkan Energi Alternatif Matahari*. Surabaya: Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh November
- Lindemann P. and Murakami A. 2012. *The Complete Beginner's Handbook*. Washington : A&P Electronic Media.
- Fakhrurazey dkk. 2014. *Performance Comparison of 4-Pole Neodymium Magnet Bedini SSG Free Energy Generator*. Artikel Ilmiah. Langkawi : The Jewel of Kedah IEEE Press.
- Wibowo , P. S. U. 2015. *Rancang Bangun Bedini Sg Dengan Pengatur Putaran Berbasis Digital*. Skripsi. Jember : Universitas Jember.
- Idayanti dan Dedi. 2006. Karakterisasi Komposisi Kimia Magnet NdFeB dengan Energi Dispersive Spectroscopy (EDS). *Jurnal Elektronik*. Vol. 6(2): 46-51.
- Asy'ari dkk. 2014. Pemanfaatan *Photovoltaic* Dengan PLN Sebagai Sumber Energi Listrik Rumah Tinggal. *Jurnal Emitor* Vol.14(01): 31-39.
- A.Tipler, Paul. 1998. *Fisika untuk Sains dan Teknik* Jilid 1. Penerbit Erlangga : Jakarta.
- Adsi, Kristen Watson. 2011. *Annual Student Conference of the Association of North American Graduate Programs in the Conservation of Cultural Property*. North American. WAAC Newsletter Volume 33 Number 2


```
//pinMode(1 , INPUT);

// initialize the Analog pins for output.
// Pin mode for Output: S1
pinMode(2 , OUTPUT);
// Pin mode for Output: S2
pinMode(3 , OUTPUT);
// Pin mode for Output: S3
pinMode(4 , OUTPUT);

}

// Loop routine runs over and over again forever:
void loop()
{

// Read Input: Vpv
g_fisInput[0] = analogRead(A0) / 41.26355;
// Read Input: Vbat
g_fisInput[1] = analogRead(A1) / 41.44456;
// Read Input: Vpv
//g_fisInput[0] = analogRead(A0) / 57.47;
// Read Input: Vbat
//g_fisInput[1] = analogRead(A1) / 73.59;

g_fisOutput[0] = 0;
g_fisOutput[1] = 0;
g_fisOutput[2] = 0;
```

```
    fis_evaluate();

    (g_fisOutput[0] <= 0.5 ? digitalWrite(2, LOW) : digitalWrite(2, HIGH));
    (g_fisOutput[1] <= 0.5 ? digitalWrite(3, LOW) : digitalWrite(3, HIGH));
    (g_fisOutput[2] <= 0.5 ? digitalWrite(4, LOW) : digitalWrite(4, HIGH));

    Serial.print(g_fisInput[0]);
    Serial.print("|");
    Serial.print(g_fisInput[1]);
    Serial.print("|");
    Serial.print(g_fisOutput[0]);
    Serial.print("|");
    Serial.print(g_fisOutput[1]);
    Serial.print("|");
    Serial.println(g_fisOutput[2]);
    delay(200);
}

//*****
*****
// Support functions for Fuzzy Inference System
//*****
*****
// Triangular Member Function
FIS_TYPE fis_trimf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)
{
    FIS_TYPE a = p[0], b = p[1], c = p[2];
    FIS_TYPE t1 = (x - a) / (b - a);
    FIS_TYPE t2 = (c - x) / (c - b);
```

```

if ((a == b) && (b == c)) return (FIS_TYPE) (x == a);
if (a == b) return (FIS_TYPE) (t2 * (b <= x) * (x <= c));
if (b == c) return (FIS_TYPE) (t1 * (a <= x) * (x <= b));
t1 = min(t1, t2);
return (FIS_TYPE) max(t1, 0);
}

// Trapezoidal Member Function
FIS_TYPE fis_trapmf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)
{
    FIS_TYPE a = p[0], b = p[1], c = p[2], d = p[3];
    FIS_TYPE t1 = ((x <= c) ? 1 : ((d < x) ? 0 : ((c != d) ? ((d - x) / (d - c)) : 0)));
    FIS_TYPE t2 = ((b <= x) ? 1 : ((x < a) ? 0 : ((a != b) ? ((x - a) / (b - a)) : 0)));
    return (FIS_TYPE) min(t1, t2);
}

FIS_TYPE fis_min(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
    return min(a, b);
}

FIS_TYPE fis_max(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
    return max(a, b);
}

FIS_TYPE fis_array_operation(FIS_TYPE *array, int size, _FIS_ARR_OP
pfnOp)
{
    int i;

```

```
FIS_TYPE ret = 0;

if (size == 0) return ret;
if (size == 1) return array[0];

ret = array[0];
for (i = 1; i < size; i++)
{
    ret = (*pfnOp)(ret, array[i]);
}

return ret;
}

/*****
*****
// Data for Fuzzy Inference System
/*****
*****
// Pointers to the implementations of member functions
_FIS_MF fis_gMF[] =
{
    fis_trimf, fis_trapmf
};

// Count of member function for each Input
int fis_gIMFCount[] = { 3, 2 };

// Count of member function for each Output
```

```

int fis_gOMFCount[] = { 2, 2, 2 };

// Coefficients for the Input Member Functions
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff1[] = { 0, 2.17261904761905, 4.5 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff2[] = { 4.6, 9.64642857142857, 14.8 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff3[] = { 14.76, 18.28, 21.9 };
FIS_TYPE* fis_gMFI0Coeff[] = { fis_gMFI0Coeff1, fis_gMFI0Coeff2,
fis_gMFI0Coeff3 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff1[] = { 0, 6.049, 12.6 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff2[] = { 12.61, 16.01, 20.07 };
FIS_TYPE* fis_gMFI1Coeff[] = { fis_gMFI1Coeff1, fis_gMFI1Coeff2 };
FIS_TYPE** fis_gMFICoeff[] = { fis_gMFI0Coeff, fis_gMFI1Coeff };

// Coefficients for the Input Member Functions
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff1[] = { -0.36, -0.04, 0.4, 0.49 };
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff2[] = { 0.5, 0.6, 1, 1.22 };
FIS_TYPE* fis_gMFO0Coeff[] = { fis_gMFO0Coeff1, fis_gMFO0Coeff2 };
FIS_TYPE fis_gMFO1Coeff1[] = { -0.36, -0.04, 0.4, 0.49 };
FIS_TYPE fis_gMFO1Coeff2[] = { 0.5, 0.6, 1, 1.22 };
FIS_TYPE* fis_gMFO1Coeff[] = { fis_gMFO1Coeff1, fis_gMFO1Coeff2 };
FIS_TYPE fis_gMFO2Coeff1[] = { -0.36, -0.04, 0.4, 0.49 };
FIS_TYPE fis_gMFO2Coeff2[] = { 0.5, 0.6, 1, 1.22 };
FIS_TYPE* fis_gMFO2Coeff[] = { fis_gMFO2Coeff1, fis_gMFO2Coeff2 };
FIS_TYPE** fis_gMFOCoeff[] = { fis_gMFO0Coeff, fis_gMFO1Coeff,
fis_gMFO2Coeff };

// Input membership function set
int fis_gMFI0[] = { 0, 0, 0 };
int fis_gMFI1[] = { 0, 0 };
int* fis_gMFI[] = { fis_gMFI0, fis_gMFI1 };

```



```
// Output membership function set
int fis_gMFO0[] = { 1, 1 };
int fis_gMFO1[] = { 1, 1 };
int fis_gMFO2[] = { 1, 1 };
int* fis_gMFO[] = { fis_gMFO0, fis_gMFO1, fis_gMFO2 };

// Rule Weights
FIS_TYPE fis_gRWeight[] = { 1, 1, 1, 1 };

// Rule Type
int fis_gRType[] = { 1, 1, 1, 1 };

// Rule Inputs
int fis_gRI0[] = { 1, 1 };
int fis_gRI1[] = { 2, 1 };
int fis_gRI2[] = { 3, 1 };
int fis_gRI3[] = { 0, 2 };
int* fis_gRI[] = { fis_gRI0, fis_gRI1, fis_gRI2, fis_gRI3 };

// Rule Outputs
int fis_gRO0[] = { 1, 2, 2 };
int fis_gRO1[] = { 2, 2, 2 };
int fis_gRO2[] = { 2, 2, 2 };
int fis_gRO3[] = { 2, 1, 1 };
int* fis_gRO[] = { fis_gRO0, fis_gRO1, fis_gRO2, fis_gRO3 };

// Input range Min
FIS_TYPE fis_gIMin[] = { 0, 0 };
```

```
// Input range Max
FIS_TYPE fis_gIMax[] = { 21.9, 13.9 };

// Output range Min
FIS_TYPE fis_gOMin[] = { 0, 0, 0 };

// Output range Max
FIS_TYPE fis_gOMax[] = { 1, 1, 1 };

/*****
*****
// Data dependent support functions for Fuzzy Inference System
/*****
*****

FIS_TYPE fis_MF_out(FIS_TYPE** fuzzyRuleSet, FIS_TYPE x, int o)
{
    FIS_TYPE mfOut;
    int r;

    for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
    {
        int index = fis_gRO[r][o];
        if (index > 0)
        {
            index = index - 1;
            mfOut = (fis_gMF[fis_gMFO[o][index]])(x, fis_gMFOCoeff[o][index]);
        }
        else if (index < 0)
        {
            index = -index - 1;

```

```

        mfOut      =      1      -      (fis_gMF[fis_gMFO[o][index]])(x,
fis_gMFOCoeff[o][index]);
    }
    else
    {
        mfOut = 0;
    }

    fuzzyRuleSet[0][r] = fis_min(mfOut, fuzzyRuleSet[1][r]);
}
return fis_array_operation(fuzzyRuleSet[0], fis_gcR, fis_max);
}

FIS_TYPE fis_defuzz_centroid(FIS_TYPE** fuzzyRuleSet, int o)
{
    FIS_TYPE step = (fis_gOMax[o] - fis_gOMin[o]) / (FIS_RESOLUTION - 1);
    FIS_TYPE area = 0;
    FIS_TYPE momentum = 0;
    FIS_TYPE dist, slice;
    int i;

    // calculate the area under the curve formed by the MF outputs
    for (i = 0; i < FIS_RESOLUTION; ++i) {
        dist = fis_gOMin[o] + (step * i);
        slice = step * fis_MF_out(fuzzyRuleSet, dist, o);
        area += slice;
        momentum += slice * dist;
    }
}

```

```

return ((area == 0) ? ((fis_gOMax[o] + fis_gOMin[o]) / 2) : (momentum /
area));
}

```

```

/*****

```

```

*****

```

```

// Fuzzy Inference System

```

```

/*****

```

```

*****

```

```

void fis_evaluate()

```

```

{

```

```

    FIS_TYPE fuzzyInput0[] = { 0, 0, 0 };

```

```

    FIS_TYPE fuzzyInput1[] = { 0, 0 };

```

```

    FIS_TYPE* fuzzyInput[fis_gcI] = { fuzzyInput0, fuzzyInput1, };

```

```

    FIS_TYPE fuzzyOutput0[] = { 0, 0 };

```

```

    FIS_TYPE fuzzyOutput1[] = { 0, 0 };

```

```

    FIS_TYPE fuzzyOutput2[] = { 0, 0 };

```

```

    FIS_TYPE* fuzzyOutput[fis_gcO] = { fuzzyOutput0, fuzzyOutput1,
fuzzyOutput2, };

```

```

    FIS_TYPE fuzzyRules[fis_gcR] = { 0 };

```

```

    FIS_TYPE fuzzyFires[fis_gcR] = { 0 };

```

```

    FIS_TYPE* fuzzyRuleSet[] = { fuzzyRules, fuzzyFires };

```

```

    FIS_TYPE sW = 0;

```

```

// Transforming input to fuzzy Input

```

```

int i, j, r, o;

```

```

for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)

```

```

{

```

```

    for (j = 0; j < fis_gIMFCCount[i]; ++j)

```

```

    {

```

```

    fuzzyInput[i][j] =
        (fis_gMF[fis_gMFI[i][j]])(g_fisInput[i], fis_gMFICoeff[i][j]);
    }
}

int index = 0;
for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
{
    if (fis_gRType[r] == 1)
    {
        fuzzyFires[r] = FIS_MAX;
        for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
        {
            index = fis_gRI[r][i];
            if (index > 0)
                fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], fuzzyInput[i][index - 1]);
            else if (index < 0)
                fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], 1 - fuzzyInput[i][-index - 1]);
            else
                fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], 1);
        }
    }
    else
    {
        fuzzyFires[r] = FIS_MIN;
        for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
        {
            index = fis_gRI[r][i];
            if (index > 0)
                fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], fuzzyInput[i][index - 1]);

```

```
    else if (index < 0)
        fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], 1 - fuzzyInput[i][-index - 1]);
    else
        fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], 0);
    }
}

fuzzyFires[r] = fis_gRWeight[r] * fuzzyFires[r];
sW += fuzzyFires[r];
}

if (sW == 0)
{
    for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)
    {
        g_fisOutput[o] = ((fis_gOMax[o] + fis_gOMin[o]) / 2);
    }
}
else
{
    for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)
    {
        g_fisOutput[o] = fis_defuzz_centroid(fuzzyRuleSet, o);
    }
}
}
```