

**RANCANG BANGUN *HYBRID PHOTOVOLTAIC* DAN  
*WIND TURBINE GENERATOR* SEBAGAI  
SUMBER DAYA LAMPU PENERANGAN JALAN UMUM**

**SKRIPSI**

**TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Ditujukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



**RAFDI DZULFIKAR RAMDHANI**

**NIM. 115060307111033**

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2015**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**RANCANG BANGUN *HYBRID PHOTOVOLTAIC* DAN  
*WIND TURBINE GENERATOR* SEBAGAI  
SUMBER DAYA LAMPU PENERANGAN JALAN UMUM**

**SKRIPSI**

**TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**RAFDI DZULFIKAR RAMDHANI**  
**NIM. 115060307111033**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 9 Juli 2015

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Soeprpto, M.T.  
NIP. 19561020 198903 1 001

Eka Maulana, S.T., M.T., M. Eng.  
NIK. 841130 06 1 1 0280

**LEMBAR PENGESAHAN**

**RANCANG BANGUN *HYBRID PHOTOVOLTAIC* DAN  
*WIND TURBINE GENERATOR* SEBAGAI  
SUMBER DAYA LAMPU PENERANGAN JALAN UMUM**

**SKRIPSI  
TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Ditujukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:  
**RAFDI DZULFIKAR RAMDHANI**  
NIM. 115060307111033

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus sidang skripsi  
pada tanggal 9 Juli 2015

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

Ir. Teguh Utomo M.T.  
NIP. 196509 13 199103 1 003

Ir. Hery Purnomo, M.T.  
NIP. 19550708 1982 12 1 001

Dosen Penguji III

Ir. Soemarwanto, M.T.  
NIP. 195007 15 198003 1 002

Mengetahui,  
**Ketua Jurusan Teknik Elektro**

M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D  
NIP. 19741203 200012 1 001



## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah rabbil 'alamin.* Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena hanya dengan berkat rahmat, barokah, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan baik yang berjudul "**Rancang Bangun Hybrid Photovoltaic dan Wind Turbine Generator Sebagai Sumber Daya Lampu Penerangan Jalan Umum**".

Penulisan penelitian ini tidak dapat terselesaikan dengan baik dan lancar tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Secara khusus penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Ibunda Tercinta Endah Diani dan Ayahanda Elih Sudiapermana yang dengan penuh kasih sayang dan kesabaran telah mengasuh, membesarkan, mendidik, memberikan pelajaran hidup yang tak ternilai harganya.

Selain itu, tak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyelesaian penelitian ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Ali Mustofa, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
4. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, ST., M.Sc selaku KKDK konsentrasi Teknik energi elektrik Teknik Elektro.
5. Bapak Ir. Soeprpto, M.T dan Bapak Eka Maulana, ST., MT., M. Eng. selaku dosen pembimbing penelitian yang selalu membimbing dengan penuh kesabaran dan memberi pengarahan penulis dalam penelitian ini.
6. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro angkatan *Inverter* 2011, khususnya rekan-rekan mahasiswa konsentrasi (A) Teknik Energi Elektrik.
7. Para punggawa asisten Laboratorium Mesin Elektrik dan Mas Indra yang telah menjadi rekan kerja dan keluarga yang baik di laboratorium.
8. Linda Irawati yang telah memberikan *support* selama penulis menempuh studi dan selama penyelesaian penelitian.
9. Teman-teman asisten Laboratorium Elektronika Daya yang telah menjadi teman satu perjuangan dalam penyelesaian penelitian.



10. Teman-teman tim mobil listrik Teknik Elektro Universitas Brawijaya terutama bagian penggerak utama.
11. Seluruh Civitas Akademika Teknik Elektro Universitas Brawijaya yang telah banyak memberi bantuan dan dukungan selama penulis menempuh studi di Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan selama penyelesaian penelitian.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini belum sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan penelitian ini. Oleh karena itu saran dan kritik mengenai penelitian ini diharapkan oleh penulis agar penelitian ini dapat menjadi karya tulis yang lebih baik dan berguna. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, Juli 2015

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xi</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>xii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Manfaat .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1 Sistem <i>Hybrid</i> Berbasis Energi Surya dan Angin.....	4
2.2 Konversi Energi di <i>Wind Turbine Generator</i> .....	6
2.2.1 Turbin Angin .....	6
2.2.2 <i>Permanent Magnet Synchronous Generator</i> .....	9
2.2.3 Penyearah Tak Terkontrol 3 Fasa.....	9
2.2.4 <i>Boost Converter</i> .....	10
2.2.5 Mikrokontroler.....	12
2.3 <i>Photovoltaic</i> .....	14
2.4 <i>Battery Control Regulator</i> .....	15
2.5 Penyimpan Energi (Baterai).....	16
2.6 Lampu LED .....	17
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>18</b>
3.1 Studi Literatur .....	18

3.2 Perancangan Alat .....	19
3.2.1 Perancangan Sistem.....	19
3.2.2 Penentuan Spesifikasi Alat.....	19
3.2.3 Perancangan <i>Wind Turbine</i> .....	20
3.2.4 Perancangan <i>Gearbox</i> .....	20
3.2.5 Perancangan Penyearah Tak Terkontrol 3 Fasa .....	20
3.2.6 Perancangan <i>Boost Converter</i> .....	20
3.2.7 Perancangan Perangkat Lunak Untuk Mikrokontroler.....	20
3.3 Simulasi .....	20
3.4 Pembuatan Alat.....	21
3.5 Pengujian dan Analisis.....	21
3.5.1 Pengujian Generator Magnet Permanen.....	21
3.5.2 Pengujian Rangkaian Penyearah 3 Fasa Tak Terkontrol .....	22
3.5.3 Pengujian Pembangkit Sinyal Picu .....	22
3.5.4 Pengujian Sensor Tegangan .....	22
3.5.5 Pengujian <i>Boost Converter</i> .....	22
3.5.6 Pengujian <i>Boost Converter</i> dengan Umpan Balik.....	22
3.5.7 Pengujian Baterai .....	23
3.5.8 Pengujian Wind Turbine Generator .....	23
3.5.9 Pengujian Sistem <i>Hybrid</i> .....	23
3.6 Perhitungan Manajemen Energi.....	23
3.7 Pengambilan Kesimpulan .....	24
<b>BAB IV PERANCANGAN SISTEM DAN SIMULASI.....</b>	<b>25</b>
4.1 Data Pendukung yang Digunakan untuk Perancangan Sistem .....	25
4.1.1 Data Radiasi Cahaya Matahari di Malang Raya .....	25
4.1.2 Data Kecepatan Angin di Malang Raya .....	26
4.2 Gambaran Umum Sistem.....	28
4.3 Perancangan <i>Wind Turbine Generator</i> .....	28
4.3.1 Perancangan <i>Wind Turbine</i> .....	28
4.3.2 Perancangan <i>Gearbox</i> .....	31
4.3.3 Spesifikasi <i>Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)</i> .....	33
4.3.4 Perancangan Penyearah Tak Terkontrol 3 Fasa .....	33
4.3.5 Perancangan <i>Boost Converter</i> .....	34



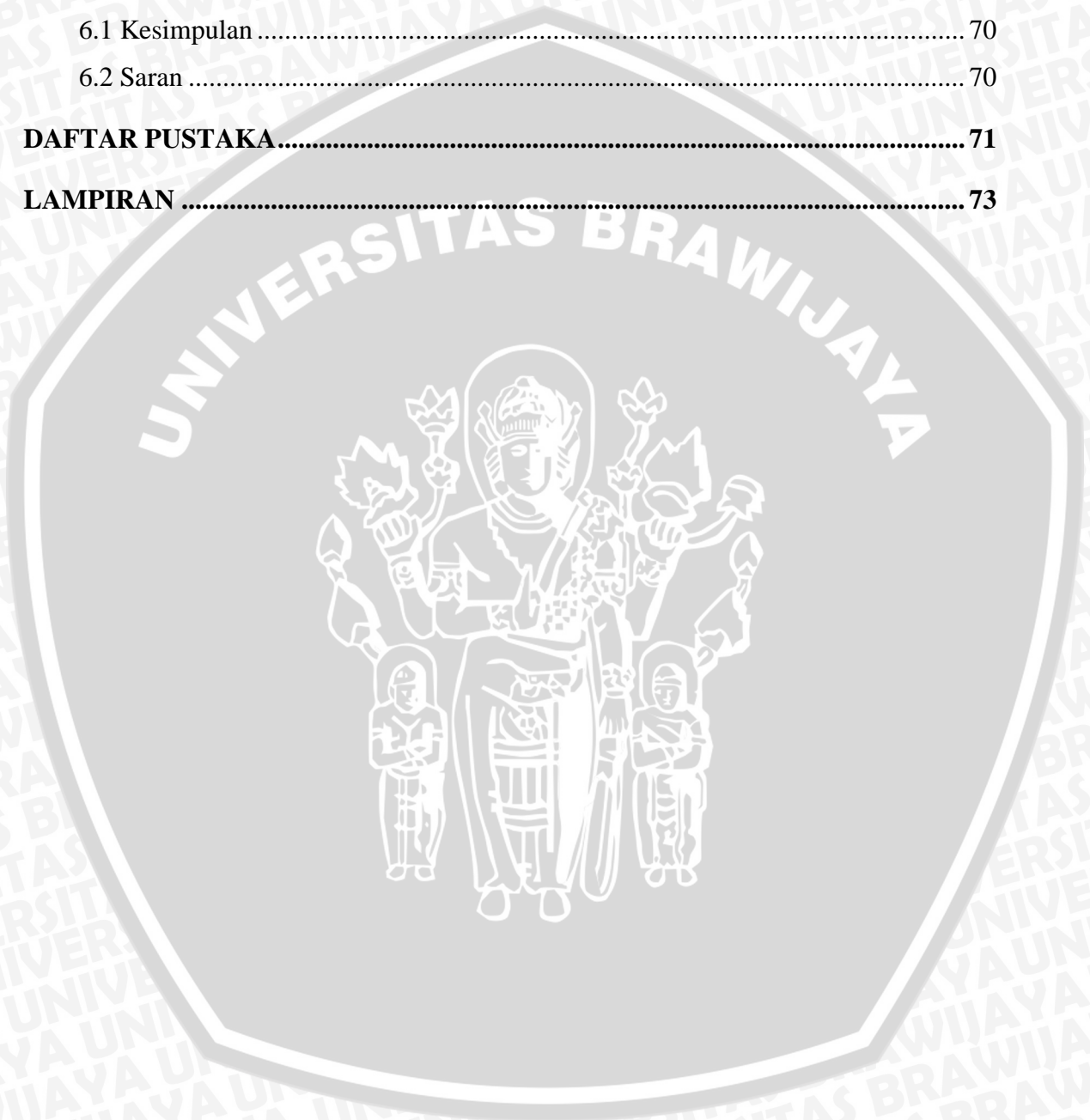
4.3.6	Perancangan Kapasitas Baterai .....	36
4.4	Perancangan Kapasitas <i>Photovoltaic</i> yang Digunakan.....	37
4.5	Perhitungan Kapasitas <i>Battery Control Regulator</i> (BCR).....	37
4.6	Perancangan Rangkaian Pembagi Tegangan untuk Sensor Tegangan .....	38
4.7	Perancangan Perangkat Lunak Mikrokontroler .....	39
4.8	Simulasi Alat.....	40
4.8.1	Simulasi Penyearah Tak Terkontrol 3 Fasa.....	40
4.8.1.1	Hasil Simulasi Penyearah Tak Terkontrol 3 Fasa .....	40
4.8.1.2	Analisis Hasil Simulasi Penyearah Tak Terkontrol 3 Fasa .....	41
4.8.2	Simulasi <i>Boost Converter</i> .....	41
4.8.2.1	Hasil Simulasi <i>Boost Converter</i> .....	41
4.8.2.2	Analisis Hasil Simulasi <i>Boost Converter</i> .....	42

**BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS .....** **43**

5.1	Pengujian Generator Magnet Permanen .....	43
5.1.1	Tujuan.....	43
5.1.2	Peralatan .....	43
5.1.3	Prosedur Pengujian.....	43
5.1.4	Hasil Pengujian .....	44
5.1.5	Analisis Hasil Pengujian .....	46
5.2	Pengujian Penyearah Tak Terkontrol 3 Fasa .....	47
5.2.1	Tujuan.....	47
5.2.2	Peralatan .....	47
5.2.3	Prosedur Pengujian.....	47
5.2.4	Hasil Pengujian .....	47
5.2.5	Analisis Hasil Pengujian .....	48
5.3	Pengujian Pembangkit sinyal picu .....	49
5.3.1	Tujuan.....	49
5.3.2	Peralatan .....	49
5.3.3	Prosedur Pengujian.....	49
5.3.4	Hasil Pengujian .....	50
5.3.5	Analisis Hasil Pengujian .....	50
5.4	Pengujian Sensor Tegangan.....	50
5.4.1	Tujuan.....	50

5.4.2	Peralatan.....	50
5.4.3	Prosedur Pengujian.....	51
5.4.4	Hasil Pengujian .....	51
5.4.5	Analisis Hasil Pengujian .....	52
5.5	Pengujian <i>Boost Converter</i> .....	52
5.5.1	Tujuan.....	52
5.5.2	Peralatan.....	52
5.5.3	Prosedur Pengujian.....	53
5.5.4	Hasil Pengujian .....	53
5.5.5	Analisis Hasil Pengujian .....	54
5.6	Pengujian <i>Boost Converter</i> Dengan Umpan Balik .....	55
5.6.1	Tujuan.....	55
5.6.2	Peralatan.....	55
5.6.3	Prosedur Pengujian.....	55
5.6.4	Hasil Pengujian .....	56
5.6.5	Analisis Hasil pengujian.....	56
5.7	Pengujian Baterai.....	57
5.7.1	Tujuan.....	57
5.7.2	Peralatan.....	57
5.7.3	Prosedur Pengujian.....	57
5.7.4	Hasil Pengujian .....	57
5.7.5	Analisis Hasil Pengujian .....	58
5.8	Pengujian <i>Wind Turbine Generator</i> .....	59
5.8.1	Tujuan.....	59
5.8.2	Peralatan.....	59
5.8.3	Prosedur Pengujian.....	59
5.8.4	Hasil Pengujian .....	60
5.8.5	Analisis Hasil Pengujian .....	62
5.9	Pengujian Sistem <i>Hybrid</i> .....	62
5.9.1	Tujuan.....	62
5.9.2	Peralatan.....	63
5.9.3	Prosedur Pengujian.....	63
5.9.4	Hasil Pengujian .....	64
5.9.5	Analisis Hasil Pengujian .....	64

5.10 Perhitungan Manajemen Energi.....	64
5.10.1 Energi Dari Angin .....	65
5.10.2 Energi Dari <i>Photovoltaic</i> .....	68
5.10.3 Analisis Hasil Perhitungan Energi .....	68
<b>BAB VI PENUTUP.....</b>	<b>70</b>
6.1 Kesimpulan .....	70
6.2 Saran .....	70
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>71</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>73</b>





## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Sistem <i>hybrid</i> energi surya dan energi angin.....	4
Gambar 2.3	Aliran angin di Indonesia.....	5
Gambar 2.4	Sistem konversi energi pada <i>wind turbine generator</i> .....	6
Gambar 2.5	Jenis turbin angin berdasarkan porosnya.....	6
Gambar 2.6	Gaya pada sudu rotor turbin <i>savonius</i> .....	7
Gambar 2.7	Desain sudu rotor <i>savonius</i> .....	8
Gambar 2.8	Letak magnet permanen, <i>inner rotor</i> (kiri), <i>outer rotor</i> (kanan).....	9
Gambar 2.9	Tegangan keluaran genrator sinkron magnet permanen.....	9
Gambar 2.10	Rangkaian penyearah tak terkontrol 3 fasa.....	10
Gambar 2.11	Gelombang tegangan masukan dan keluaran penyearah tak terkontrol 3 fasa.....	10
Gambar 2.12	Rangkaian ekuivalen boost converter.....	11
Gambar 2.13	ATMEGA 32(a) Bentuk fisik ATMEGA 32 (b) Daftar pin yang ada di ATMEGA 32.....	13
Gambar 2.14	Pemasangan <i>photovoltaic cell</i> .....	14
Gambar 2.15	Karakteristik arus-tegangan photovoltaic.....	14
Gambar 2.16	Karakteristik <i>photovoltaic</i> dengan intensitas cahaya matahari berubah15	
Gambar 2.17	Battery control regulator.....	15
Gambar 2.18	Lampu LED.....	17
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	18
Gambar 4.1	Grafik data radiasi cahaya matahari di Malang Raya.....	26
Gambar 4.2	Grafik data kecepatan angin di Malang Raya tahun 2014.....	27
Gambar 4.3	Blok diagram sistem.....	28
Gambar 4.4	Desain dua dimensi <i>wind turbine</i> .....	29
Gambar 4.5	Faktor daya sebagai fungsi TSR berbagai jenis turbin Sumber : Khan, 2009.....	30
Gambar 4.6	Kurva karakteristik hasil perancangan <i>wind turbine</i> .....	31
Gambar 4.7	Skematik rangkaian penyearah tak terkontrol 3 fasa.....	34
Gambar 4.8	Skematik perancangan boost converter.....	35

Gambar 4.9	Rangkaian pembagi tegangan .....	38
Gambar 4.10	Diagram alir perangkat lunak mikrokontroler .....	39
Gambar 4.11	Rangkaian simulasi penyearah tak terkontrol 3 fasa.....	40
Gambar 4.12	Hasil simulasi penyearah tak terkontrol 3 fasa .....	41
Gambar 4.13	Rangkaian simulasi <i>boost converter</i> .....	41
Gambar 4.14	Hasil simulasi <i>boost converter</i> .....	42
Gambar 4.15	Karakteristik boost converter hasil simulasi .....	42
Gambar 5.1	Rangkaian pengujian generator magnet permanen tanpa beban.....	43
Gambar 5.2	Rangkaian pengujian magnet permanen berbeban .....	44
Gambar 5.3	Hasil pengujian generator magnet permanen tanpa beban .....	45
Gambar 5.4	Hasil pengujian generator magnet permanen berbeban .....	46
Gambar 5.5	Rangkaian pengujian penyearah tak terkontrol 3 fasa .....	47
Gambar 5.6	Hasil pengujian penyearah tak terkontrol 3 fasa.....	48
Gambar 5.7	Bentuk gelombang tegangan keluaran penyearah tak terkontrol 3 fasa	48
Gambar 5.8	Rangkaian pengujian pembangkit sinyal picu .....	49
Gambar 5.9	Hasil pengujian Pembangkit sinyal picu pada nilai duty cycle 91,5%, 50,5%, dan 10,6% .....	50
Gambar 5.10	Rangkaian pengujian sensor tegangan.....	51
Gambar 5.11	Hasil pengujian sensor tegangan.....	52
Gambar 5.12	Rangkaian pengujian <i>boost converter</i> .....	53
Gambar 5.13	Hasil pengujian <i>boost converter</i> .....	54
Gambar 5.14	Rangkaian pengujian <i>boost converter</i> dengan umpan balik .....	55
Gambar 5.15	Hasil pengujian <i>boost converter</i> dengan umpan balik.....	56
Gambar 5.16	Rangkaian pengujian baterai.....	57
Gambar 5.17	Hasil pengujian baterai .....	58
Gambar 5.18	Rangkaian pengujian <i>wind turbine generator</i> .....	59
Gambar 5.19	Hasil pengujian <i>wind turbine generator</i> .....	62
Gambar 5.20	Rangkaian pengujian sistem <i>hybrid</i> .....	63
Gambar 5.21	Hasil perhitungan energi angin .....	67



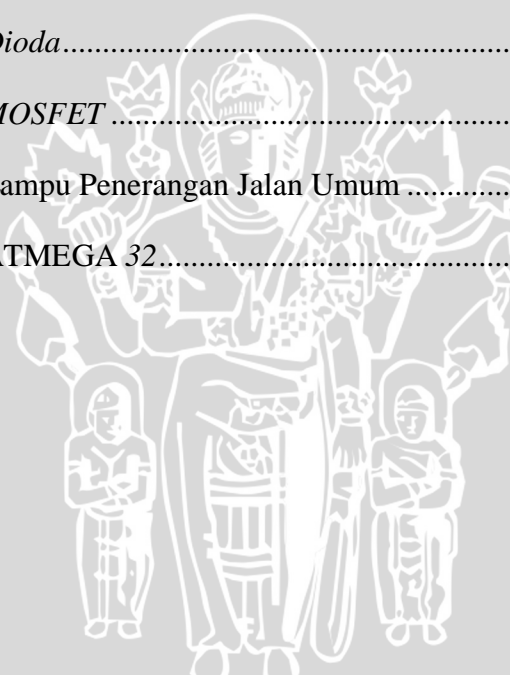
## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Tingkat kecepatan angin .....	5
Tabel 2.2	Kondisi kecepatan angin .....	5
Tabel 3.1	Fungsi komponen.....	19
Tabel 4.1	Data radiasi cahaya matahari di Malang Raya.....	25
Tabel 4.2	Data kecepatan angin di Malang Raya tahun 2014.....	26
Tabel 4.3	Data kecepatan angin di Malang Raya tanggal 24-25 maret 2015 .....	27
Tabel 4.4	Parameter dan nilai perancangan <i>wind turbine</i> .....	29
Tabel 4.5	Hasil perhitungan putaran dan torsi turbin angin.....	31
Tabel 4.6	Hasil dari kenaikan kecepatan generator .....	32
Tabel 4.7	Hasil simulasi penyearah tak terkontrol 3 fasa .....	40
Tabel 4.8	Hasil simulasi <i>boost converter</i> .....	41
Tabel 5.1	Hasil pengujian generator magnet permanen tanpa beban .....	44
Tabel 5.2	Hasil pengujian generator magnet permanen berbeban .....	45
Tabel 5.3	Hasil pengujian penyearah tak terkontrol 3 fasa.....	48
Tabel 5.4	Hasil pengujian sensor tegangan.....	51
Tabel 5.5	Hasil pengujian boost converter dengan $V_{in} = 3$ Volt.....	53
Tabel 5.6	Hasil pengujian boost converter dengan $V_{in} = 6$ Volt.....	54
Tabel 5.7	Hasil pengujian <i>boost converter</i> dengan umpan balik.....	56
Tabel 5.8	Hasil pengujian baterai .....	57
Tabel 5.9	<i>State of charge standard batteries</i> .....	58
Tabel 5.10	Hasil pengujian wind turbin generator.....	61
Tabel 5.11	Hasil pengujian sistem <i>hybrid</i> .....	64
Tabel 5.12	Hasil perhitungan energi angin .....	66



## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Dokumentasi.....	73
Lampiran 2.	<i>Listing</i> Program Mikrokontroler ATMEGA 32 .....	75
Lampiran 3.	Gambar Rancangan <i>Wind Turbine</i> dan Penempatannya Pada Lampu Penerangan Jalan Umum .....	78
Lampiran 4.	Data Kecepatan Angin di Kota Malang Tahun 2014 .....	79
Lampiran 5.	<i>Datasheet Photovoltaic</i> .....	87
Lampiran 6.	<i>Datasheet</i> Baterai VRLA .....	88
Lampiran 7.	<i>Datasheet Dioda</i> .....	90
Lampiran 8.	<i>Datasheet MOSFET</i> .....	92
Lampiran 9.	<i>Datasheet</i> Lampu Penerangan Jalan Umum .....	94
Lampiran 10.	<i>Datasheet</i> ATMEGA 32.....	95



## RINGKASAN

**Rafdi Dzulfikar Ramdhani**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2015, *Rancang Bangun Hybrid Photovoltaic dan Wind Turbine Generator Sebagai Sumber Daya Lampu Penerangan Jalan Umum*, Dosen Pembimbing: Ir. Soeprapto, M.T. dan Eka Maulana, ST., MT., M. Eng.

Krisis energi adalah masalah yang sangat fundamental di Indonesia khususnya masalah energi listrik. Sebagian besar aktivitas manusia berhubungan dengan peralatan dan teknologi yang menggunakan listrik sebagai sumber energi. Sedangkan bahan bakar fosil akan terancam kelangkaannya dalam beberapa tahun kedepan. Pemanfaatan sumber energi baru terbarukan mulai diimplementasikan salahsatunya adalah pemasangan panel surya pada lampu penerangan jalan umum (PJU). Namun dalam praktiknya, banyak lampu jalan yang tidak menyala pada saat musim hujan tiba. Dimana intensitas cahaya matahari sudah tidak sebesar musim kemarau. Oleh karena itu dibutuhkan energi tambahan untuk menjaga kontinuitas nyala lampu PJU. Penelitian ini bertujuan untuk menjaga kontinuitas lampu penerangan jalan umum dan mengurangi daya serta dimensi *photovoltaic* yang biasa digunakan pada lampu PJU tenaga surya.

Pada penelitian ini dikaji pengaruh kecepatan angin terhadap daya yang dihasilkan generator, pengaruh intensitas matahari terhadap daya yang dihasilkan *photovoltaic*, rancang sistem *hybrid photovoltaic* dan *wind turbine generator*, energi dan efisiensi yang dihasilkan oleh *wind turbine generator* dalam satu hari. Penelitian ini menguraikan tentang perancangan sistem, penentuan spesifikasi alat, perancangan *wind turbine*, *gearbox*, penyearah tak terkontrol 3 fasa, *boost converter*, dan perangkat lunak mikrokontroler. Pembuatan alat pada penelitian ini hanya meliputi penyearah tak terkontrol 3 fasa, *boost converter*, dan sensor tegangan, sedangkan *wind turbine* dan *gearbox* hanya berupa rancangan. Komponen lain seperti *photovoltaic*, generator magnet permanen, mikrokontroler, *Battery Control Regulator (BCR)*, dan lampu penerangan jalan umum mengikuti spesifikasi yang ada di pasaran. Pengujian dilakukan pada masing-masing blok rangkaian meliputi pengujian generator magnet permanen, penyearah tak terkontrol 3 fasa, Pembangkit sinyal picu, *boost converter*, sensor tegangan, baterai, sistem *hybrid*, dan *wind turbine generator*.

Sistem *hybrid* dilakukan dengan menggabungkan energi dari *photovoltaic* dan *wind turbine generator* melalui dua buah *battery control regulator* sebelum masuk ke



baterai. Selanjutnya energi yang tersimpan pada baterai akan digunakan untuk menanggung beban lampu penerangan jalan umum.

Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan bahwa *Wind turbine generator* mulai mengalirkan daya ke baterai pada putaran 400 rpm. Daya maksimal yang dihasilkan dalam satu hari sebesar 28,352 W yang terjadi pada kecepatan angin 8,247 m/s. *Photovoltaic* 120 Wp dengan radiasi cahaya matahari di kota malang sebesar 3,805 kWh/m<sup>2</sup> dapat menghasilkan energi sebesar 415,091 Wh dalam satu hari. Efisiensi rata-rata yang dihasilkan oleh *wind turbine generator* dalam satu hari sebesar 17,912 %. Energi yang dihasilkan oleh *wind turbine generator* dalam satu hari dapat menanggung energi sebesar 15,68 % dari energi beban harian yang dibutuhkan. Dengan tambahan energi angin pada lampu penerangan jalan umum, daya *photovoltaic* yang digunakan akan berkurang dari 150 Wp menjadi 120 Wp. Dimensi dari *photovoltaic* yang digunakan juga akan berkurang dari 2x (1200x550x35mm) menjadi 1 x (1482x676x35mm).

Untuk penyempurnaan penelitian ini, Penggunaan jenis turbin angin yang memanfaatkan gaya *lift* seperti tipe *Darrieus* agar efisiensi yang dihasilkan oleh *wind turbine generator* lebih besar.

**Kata Kunci** - Lampu penerangan jalan umum tenaga surya, Kontinyuitas nyala lampu, Dimensi *photovoltaic*, *Wind turbine genrator*.



## SUMMARY

**Rafdi Dzulfikar Ramdhani**, Electrical Engineering Department, Engineering Faculty, Brawijaya University, July 2015, *Design and Build Hybrid Photovoltaic and Wind Turbine Generator As Resources of Public Street Lamp*, Advisor lecture: Ir. Soeprapto, M.T. dan Eka Maulana, ST., MT., M. Eng.

Energy crisis is very fundamental issue in Indonesia especially the problem of electrical energy. Most of human activities related with equipment and technology that use electricity as an energy source. While fossil fuels will be endangered in the next few years. Utilization of green energy started to be implemented is the installation of solar panels on street lighting. However, in practice, many street lighting are not work during the rainy season. Where the sun light intensity is not as much as dry season. Therefore, its need an extra energy to maintain continuity of street lights. This study aims to maintain the continuity of street lighting and reduced power and dimension of photovoltaic that used in street lighting solar energy.

In this research, examined the effect of wind speed on the generated power by generator, the intensity of the sun's influence on the photovoltaic power, hybrid of photovoltaic-wind turbine generator system design, energy and efficiency generated by wind turbine generator in one day. This research explains about system design, determination of equipment specification, design of wind turbine, gearbox, uncontrolled 3-phase rectifier, boost converter, and microcontroller software. The creation of tools in this research cover only : uncontrolled 3-phase rectifier, boost converter, and voltage sensor, while the wind turbine and gearbox only design. Other components such as photovoltaic, permanent magnet generator, microcontroller, Battery Control Regulator (BCR), and street lighting lamps comply with the spesifications on the market. The test is conducted on each of circuit section which consists of the test of permanent magnet generator, uncontrolled 3-phase rectifier, trigger waves, boost converter, voltage sensors, batteries, and wind turbine generator.

The hybrid system made by combining the energy of photovoltaic and wind turbine generators via two battery control regulator before entering the battery. Furthermore, the energy stored in the batteries will be used to bear the brunt of street lighting.

Based on the test results, obtain that the wind turbine generator began to drain power at 400 rpm. The maximum power generated in one day is 28,352 W which occurs

at wind speed 8,247 m/s. 120 Wp photovoltaics with solar radiation in malang (3,805 kWh/m<sup>2</sup>) can produce energy amounted 415,091 Wh in one day. Average efficiency generated by wind turbine generator in one day is 17,912 %. The energy generated by wind turbine generator in one day can bear the energy by 15,68 % of the daily loads energy needs. With addition of wind energy in street lighting, photovoltaic powers that used will be reduced from 150 Wp to 120 Wp. The dimensions of the photovoltaic used will also be reduced from 2x (1200x550x35mm) to 1 x (1482x676x35mm).

For the inmpovement of this research, the use of Darrieus wind turbines that utilize lift-force will increase wind turbines efficiency.

**Key words** - Street lighting solar energy, Continuity of lights, Photovoltaic dimensions, Wind turbine generator.





## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Krisis energi adalah masalah yang sangat fundamental di Indonesia khususnya masalah energi listrik. Energi listrik merupakan energi yang sangat diperlukan bagi manusia modern. Bahkan sebagian besar aktivitas manusia berhubungan dengan peralatan dan teknologi yang menggunakan listrik sebagai sumber energi. Hal ini membuktikan bahwa listrik menjadi sebuah bagian yang tidak terpisahkan dalam aktivitas manusia. Sejak beberapa tahun terakhir ini, para ahli mulai merubah pendapatnya tentang pemanfaatan sumber energi yang ada di Indonesia. Timbulnya kesadaran akan sumber bahan bakar fosil yang selama ini merupakan sumber energi andalan akan terancam kelangkaannya dalam beberapa tahun kedepan. Untuk itu pemanfaatan sumber-sumber energi alternatif yang baru dan terbarukan harus ditingkatkan secara intensif untuk menghadapi krisis energi yang makin terasa dampaknya saat ini.

Indonesia sebenarnya telah membuat regulasi untuk memanfaatkan sumber energi alternatif melalui keputusan presiden RI No.5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional, dimana salahsatunya yaitu penggunaan sumber energi yang dapat diperbaharui seperti biofuel, energi matahari, energi angin, energi gelombang dan arus samudra, dan energi geotermal. Indonesia yang terletak di garis khatulistiwa dan memperoleh sinar matahari rata-rata 8 jam per hari memiliki potensi energi surya yang cukup besar. Hal ini mulai dimanfaatkan salahsatunya adalah pemasangan panel surya pada lampu penerangan jalan umum (PJU). Cara ini dapat menghemat pengeluaran pemerintah dalam membeli energi listrik untuk lampu penerangan jalan umum tersebut. Namun dalam praktiknya, banyak lampu jalan yang tidak menyala pada saat musim hujan tiba. Dimana intensitas cahaya matahari sudah tidak sebesar musim kemarau. Hal ini akan mengakibatkan energi listrik yang dibangkitkan oleh panel surya tidak mampu menjaga kontinuitas nyala lampu PJU. Untuk itu dibutuhkan energi alternatif lain untuk menjaga kontinuitas nyala lampu penerangan jalan umum baik dalam musim kemarau atau musim hujan di Indonesia yaitu dengan memanfaatkan energi angin. Menurut hasil pemetaan yang dilakukan oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) di pulau jawa kecepatan angin rata-rata berkisar 2,5-4,0 m/s (LAPAN:2005). Oleh karena itu, penulis mengambil judul "Rancang Bangun *Hybrid Photovoltaic* dan



*Wind Turbine Generator* Sebagai Sumber Daya Lampu Penerangan Jalan Umum." Tujuan akhir yang diharapkan dari penelitian ini yaitu menjaga kontinuitas lampu penerangan jalan umum dan mengurangi daya dan dimensi *photovoltaic* yang biasa digunakan pada lampu penerangan jalan umum tenaga surya.

### 1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang dikaji di dalam penelitian ini disusun dalam rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh kecepatan angin terhadap daya yang dihasilkan oleh *wind turbine generator*.
2. Bagaimana pengaruh radiasi cahaya matahari terhadap daya yang dihasilkan oleh *photovoltaic*.
3. Bagaimana rancang sistem *hybrid photovoltaic* dan *wind turbine generator*.
4. Berapa besar energi dan efisiensi yang dapat dihasilkan oleh *wind turbine generator*.

### 1.3 Batasan Masalah

Permasalahan dalam penulisan penelitian ini dibatasi dengan batasan masalah sebagai berikut :

1. Generator yang digunakan adalah generator sinkron magnet permanen.
2. Baterai yang digunakan mempunyai tegangan 12 V.
3. Lampu Penerangan Jalan Umum yang digunakan jenis LED 40 watt.
4. Tidak membahas rancangan *battery control regulator*.
5. Pembuatan alat hanya meliputi penyearah tak terkontrol 3-fasa, *boost converter*, dan sensor tegangan.
6. Penggunaan *photovoltaic* dan *wind turbine generator* didasarkan pada data radiasi cahaya matahari dan kecepatan angin di kota Malang.
7. Turbin angin yang digunakan adalah turbin angin sumbu vertikal jenis *savonius* dan hanya berupa rancangan.

### 1.4 Tujuan

Rancang bangun ini bertujuan untuk menjaga kontinuitas penerangan jalan umum dan mengurangi daya serta dimensi *photovoltaic* yang biasa digunakan pada lampu penerangan jalan umum tenaga surya.

### 1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah agar dapat menjadi solusi akan masalah kontinuitas nyala lampu penerangan jalan umum tenaga surya pada musim hujan.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### **BAB I : PENDAHULUAN**

Berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

#### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi dasar teori yang digunakan untuk dasar penelitian dan untuk mendukung permasalahan yang diteliti.

#### **BAB III : METODE PENELITIAN**

Berisi tahapan penyelesaian penelitian ini yang meliputi studi literatur, perancangan alat, pembuatan alat, pengujian alat, pengambilan data, perhitungan, dan analisis data.

#### **BAB IV : PERANCANGAN SISTEM DAN SIMULASI**

Berisi tentang perancangan sistem dan simulasi yang diajukan dalam penelitian.

#### **BAB V : PENGUJIAN DAN ANALISIS**

Berisi pengujian dan pengambilan data hasil perancangan alat yang kemudian digunakan untuk analisis.

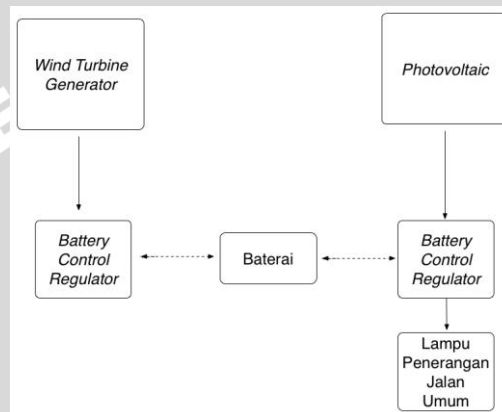
#### **BAB VI : PENUTUP**

Berisi kesimpulan dari analisis hasil penelitian serta saran untuk penelitian selanjutnya.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sistem *Hybrid* Berbasis Energi Surya dan Angin

Sistem *hybrid* adalah gabungan atau integrasi antara dua atau lebih pembangkit listrik dengan dua sumber energi yang berbeda. Dalam penelitian ini penulis menggabungkan dua jenis energi yang berbeda sebagai suplai daya lampu penerangan jalan umum yaitu energi surya dan energi angin. Diagram alir dari sistem *hybrid* pada penelitian ini dapat dilihat dalam gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sistem *hybrid* energi surya dan energi angin

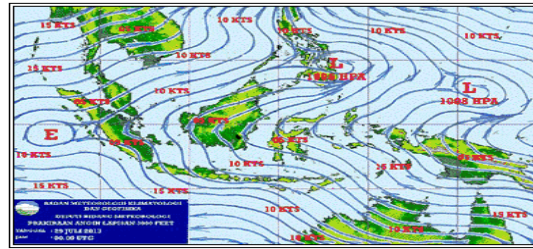
Keuntungan dari sistem *hybrid* berbasis energi surya dan energi angin ini adalah ketika keadaan musim yang tidak menentu, misalkan saat hujan berangin, Meskipun sel surya tidak dapat berfungsi tetapi turbin angin masih dapat berfungsi untuk menghasilkan energi listrik dan begitu pula sebaliknya. Potensi energi surya di Indonesia sangat besar yaitu diatas 1000 GW. Indonesia adalah negara dengan serapan tenaga surya terbesar di ASEAN karena matahari disajikan setiap hari dengan intensitas radiasi rata-rata 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Begitu pula dengan potensi energi angin di Indonesia.



Gambar 2.2 Kondisi lampu penerangan jalan umum dengan sumber energi surya ketika musim hujan



Dalam sebuah presentasi yang diadakan sebuah perusahaan yang bernama WhyPgen dan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) pada tanggal 14 Mei 2013, Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki potensi untuk mengembangkan pembangkit listrik tenaga angin. Potensi tenaga angin yang tersedia di Indonesia mencapai 9.286 MW akan tetapi sampai saat ini energi angin yang telah digunakan lebih kurang sebesar 2 MW (BMKG, 2013). Angin di wilayah Indonesia pada umumnya bergerak dari arah timur menuju arah barat daya dengan kecepatan angin antara 2.5 m/s sampai dengan 7.5 m/s. Kecepatan angin 7.5 m/s di Indonesia terdapat di daerah Samudera Hindia Selatan Jawa hingga Selatan Nusa Tenggara Timur, Laut Jawa, Laut Bali, Laut Banda, Laut Flores dan Perairan Selatan Merauke.



Gambar 2.3 Aliran angin di Indonesia

Sumber: <http://www.bmkg.go.id>

Syarat – syarat dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dapat dilihat dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tingkat kecepatan angin

kelas angin	kecepatan angin m/d	kecepatan angin km/jam	Kecepatan angin knot/jam
1	0.3~1.5	1~5.4	0.58~2.92
2	1.6~3.3	5.5~11.9	3.11~6.42
3	3.4~5.4	12.0~19.5	6.61~10.5
4	5.5~7.9	19.6~28.5	10.7~15.4
5	8.0~10.7	28.6~38.5	15.6~20.8
6	10.8~13.8	38.6~49.7	21~26.8
7	13.9~17.1	49.8~61.5	27~33.3
8	17.2~20.7	61.6~74.5	33.5~40.3
9	20.8~24.4	74.6~87.9	40.5~47.5
10	24.5~28.4	88.0~102.3	47.7~55.3
11	28.5~32.6	102.4~117.0	55.4~63.4
12	>32.6	>118	63.4

Sumber : <http://adiielektro.multiply.com/journal>

Tabel 2.2 Kondisi kecepatan angin

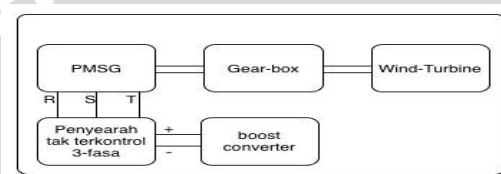
Kelas Angin	Kecepatan Angin m/d	Kondisi Alam di Daratan
1	0.00 - 0.02	
2	0.3 - 1.5	angin tenang, Asap lurus ke atas
3	1.6 - 3.3	asap bergerak mengikuti arah angin
4	3.4 - 5.4	wajah terasa ada angin, daun2 bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5.5 - 7.9	debu jalan, kertas beterbangan, ranting pohon bergoyang
6	8.0 - 10.7	ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7	10.8 - 13.8	ranting pohon besar bergoyang, air plampung berombak kecil
8	13.9 - 17.1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa di telinga
9	17.2 - 20.7	dpt mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20.8 - 24.4	dpt mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24.5 - 28.4	dpt menubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28.5 - 32.6	menimbulkan kerusakan parah
13	32.7 - 36.9	tomado

Sumber : <http://adiielektro.multiply.com/journal>

Angin kelas 3 adalah batas minimum dan angin kelas 8 adalah batas maksimum energi angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

## 2.2 Konversi Energi di *Wind Turbine Generator*

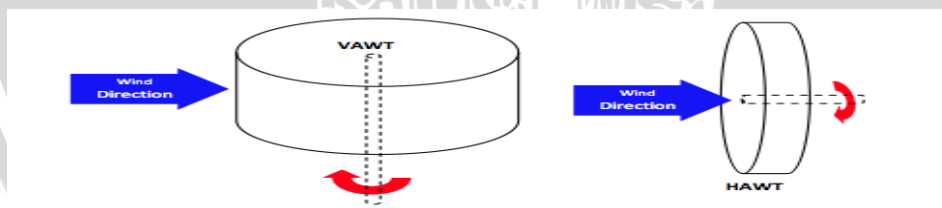
Konversi energi baik dari energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya dari energi mekanik menjadi energi listrik (generator) berlangsung melalui medium medan magnet. (Zuhal, 1991:56). Pada perancangan ini konversi energi terjadi dikarenakan putaran dari turbin angin yang dikopel dengan generator magnet permanen sehingga mengakibatkan generator berputar. Karena putaran turbin angin berubah-ubah sesuai dengan kecepatan angin, maka ditambahkan *boost-converter* agar tegangan yang keluar konstan sesuai dengan sistem yang diinginkan.



Gambar 2.4 Sistem konversi energi pada *wind turbine generator*

### 2.2.1 Turbin Angin

Turbin angin digunakan untuk memutar generator dengan memanfaatkan aliran angin. Turbin angin dibagi menjadi dua berdasarkan poros dan sumbu rotasinya, yaitu Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH atau HAWT) dan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV atau VAWT).



Gambar 2.5 Jenis turbin angin berdasarkan porosnya  
Sumber: <http://mdpi.com>

Turbin angin sumbu horizontal (TASH/HAWT) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah *gearbox* yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar.



Turbin angin sumbu vertikal (TASV/VAWT) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. TASV mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah.

Daya angin ( $P_w$ ) merupakan perkalian dari aliran massa ( $\rho AV$ ) dan energi kinetik ( $\frac{1}{2}V^2$ ) (Musgrove, 2010).

$$P_w = \frac{1}{2} \rho AV^3 \quad (2-1)$$

Turbin angin sumbu vertikal (TASV) jenis *savonius* merupakan jenis turbin paling sederhana, turbin *savonius* memanfaatkan gaya *drag* untuk berputar. Turbin *savonius* dapat didesain dengan jumlah sudu dua atau tiga, dalam *single stage* dan *multi-stages*. Bentuk aliran angin pada *savonius* memiliki karakteristik yang ditunjukkan oleh fenomena aliran yang dihasilkan oleh perbedaan tekanan antara permukaan cekung dan permukaan cembung dari sudu yang akan menghasilkan gaya aerodinamis dan torsi (Islam, 2005). Gambar 2.6 menunjukkan gaya *drag* normal,  $F_N$  tegak lurus dengan permukaan sudu dan memiliki gaya *drag* tangensial,  $F_T$  berada sejajar dengan arah tangensial tiap sudu. Persamaan  $F_N$  dan  $F_T$  dinyatakan dalam persamaan berikut (Islam, 2005):

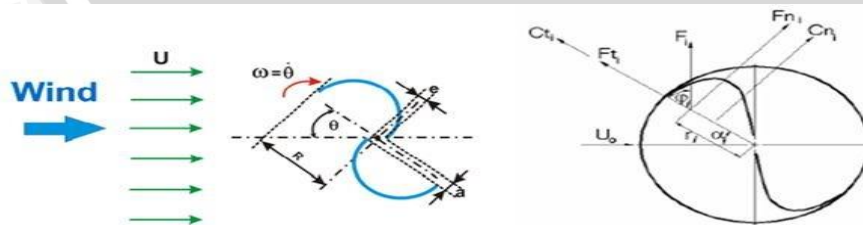
$$F_N = \Delta P S \sin \phi$$

$$(2-2)$$

$$F_T = \Delta P S \cos \phi$$

$$(2-3)$$

Dimana  $\Delta P$  merupakan perbedaan tekanan antara permukaan cekung dan cembung dari sudu, dan  $S$  merupakan panjang diameter dari setiap setengah silinder.



Gambar 2.6 Gaya pada sudu rotor turbin *savonius*

Sumber : Islam, 2005



(Hayashi, 2004) menemukan bahwa daerah sapuan untuk turbin angin *savonius* dapat dihitung dari perkalian diameter rotor (D) dengan tinggi rotor (H). Semakin besar daerah sapuan angin, maka daya yang dihasilkan akan semakin besar.

$$A = D.H \quad (2-4)$$

Persamaan 2-1 menunjukkan keadaan ideal untuk daya turbin angin, kenyataannya akan terjadi rugi-rugi pada saat konversi energi terjadi. Efisiensi maksimal dari turbin angin dapat diketahui dari *Betz limit* yaitu sebesar 59.3% (Musgrove, 2010), karena energi mungkin terbuang pada gearbox, bearing, transmisi, dll. Nilai koefisien maksimum ( $C_P$ ) pada turbin *savonius* adalah 0,3. *Aspect Ratio* adalah kriteria yang penting untuk mengevaluasi performa aerodinamis dari turbin *savonius*. Untuk mendapatkan stabilitas dengan efisiensi yang baik, tinggi rotor dua kali dari diameter rotor (Johnson, 1998).

$$AR = H/D \quad (2-5)$$

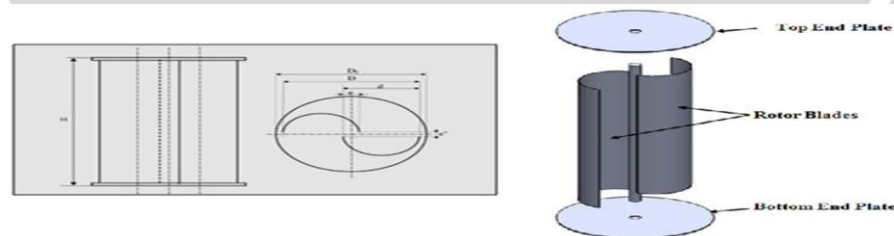
*Tip speed ratio* ( $\lambda$ ) adalah rasio antara kecepatan linier dari sudu rotor ( $\omega.R$ ) terhadap kecepatan angin (V) (Solanki, 2009). Dimana  $\omega$  adalah kecepatan angular dan R merupakan jari-jari sudu rotor. Nilai maksimal dari *tip speed ratio* adalah 1 (Manwell, 2009). Semakin tinggi nilai *tip speed ratio* maka akan meningkatkan performa turbin.

$$\lambda = \omega.R / V \quad (2-6)$$

Menurut (Manwell, 2009), soliditas berkaitan dengan *tip speed ratio*. Nilai *tip speed ratio* yang tinggi akan menghasilkan soliditas yang rendah. Soliditas merupakan rasio antara area sudu dengan daerah sapuan rotor turbin. Untuk TASW persamaan soliditas adalah :

$$\sigma = nd / R \quad (2-7)$$

Dimana n merupakan jumlah sudu, d adalah diameter dari setiap setengah silinder, dan R merupakan jari-jari dari turbin angin.



Gambar 2.7 Desain sudu rotor *savonius*

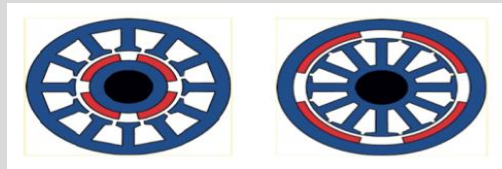
Sumber: <http://www.getview.org>

### 2.2.2 Permanent Magnet Synchronous Generator

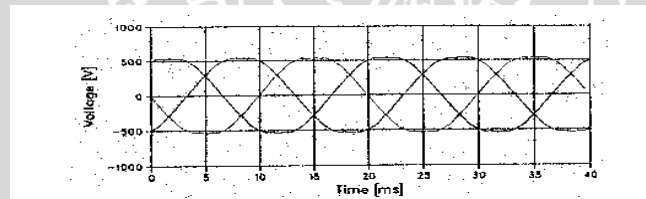
*Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) digunakan sebagai mesin konversi energi mekanik ke energi listrik. Pemilihan PMSG dilakukan karena memiliki beberapa keunggulan, diantaranya:

1. Tidak dibutuhkan *supply external*, karena medan dibangkitkan dari magnet permanen.
2. *Maintenance free*, karena PMSG tidak menggunakan sikat dan *slip-ring*.

Satu hal yang perlu diperhatikan adalah demagnetisasi dari magnet akibat naiknya suhu lingkungan. Hal ini akan menyebabkan magnet melemah dan harus dilakukan *re-magnetisasi*. Magnet permanen pada PMSG biasanya terletak pada lingkaran rotor posisi ini disebut *in runner*. Jika magnet permanen terletak di stator disebut *out runner*.



Gambar 2.8 Letak magnet permanen, *inner rotor* (kiri), *outer rotor* (kanan)  
Sumber: Nima Madani (2011:28)



Gambar 2.9 Tegangan keluaran genearator sinkron magnet permanen  
Sumber: <http://www.ene.ttu.ee>

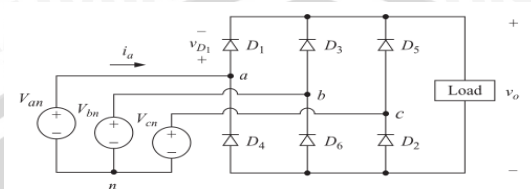
### 2.2.3 Penyearah Tak Terkontrol 3 Fasa

Untuk mengubah gelombang arus bolak-balik dari PMSG menjadi gelombang arus searah dibutuhkan penyearah. Karena keluaran dari PMSG adalah gelombang arus bolak-balik 3 fasa, maka diperlukan penyearah 3 fasa untuk mengubah gelombang arus bolak-balik menjadi gelombang arus searah.

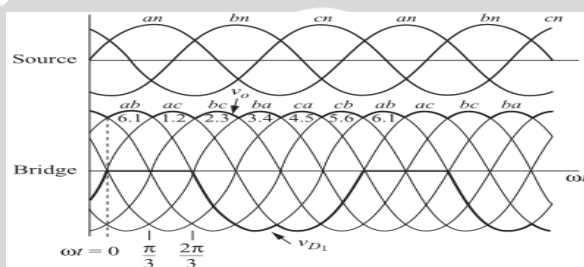
Pada penelitian ini, digunakan penyearah tak terkontrol 3 fasa. Penyearah ini membutuhkan 6 dioda yang disusun seperti gambar 2.10. Rangkaian ini mempunyai sifat bahwa dioda dengan nomor ganjil akan konduksi bila tegangan anodanya mempunyai harga yang paling tinggi dibandingkan dengan tegangan anoda dari komponen-komponen dengan nomor ganjil yang lain. Misalnya pada saat tegangan fasa a dalam keadaan paling tinggi dibandingkan dengan tegangan fasa b dan c, maka DI



konduksi. Sedangkan untuk dioda dengan nomor genap akan konduksi bila tegangan katodanya berada dalam keadaan paling rendah dibandingkan dengan tegangan katoda dari komponen-komponen dengan nomor genap yang lain. Jadi bila tegangan fasa b paling kecil dibandingkan dengan tegangan fasa b dan c, maka D6 konduksi. Jadi pada prinsipnya pada rangkaian tersebut selalu ada dua dioda yang konduksi dalam waktu yang bersamaan.



Gambar 2.10 Rangkaian penyearah tak terkontrol 3 fasa  
Sumber: Daniel W. Hart (2011: 144)



Gambar 2.11 Gelombang tegangan masukan dan keluaran penyearah tak terkontrol 3 fasa

Sumber: Daniel W. Hart (2011: 144)

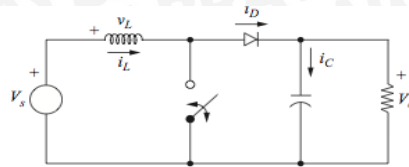
Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, tegangan keluaran dari penyearah tak terkontrol hanya dipengaruhi oleh tegangan masukannya. Persamaan untuk menghitung tegangan keluarannya sebagai berikut: (Daniel W. Hart, 2011: 146)

$$V_o = \frac{1}{\pi/3} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} V_{m.L-L} \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{3V_{m.L-L}}{\pi} = 0,955V_{m.L-L} \quad (2-8)$$

#### 2.2.4 Boost Converter

Sebelum gelombang tegangan hasil dari generator magnet permanen digunakan untuk mengisi baterai, diperlukan *boost converter* untuk merubah nilai tegangan karena besarnya tegangan keluaran dari generator akan naik turun sesuai dengan kecepatan angin. Konverter ini menggunakan induktor, dioda, kapasitor, dan MOSFET yang dirangkai seperti pada gambar 2.12.





Gambar 2.12 Rangkaian ekivalen boost converter

Sumber: Daniel W.Hart (2001:212)

Untuk memudahkan analisis, diasumsikan konverter ini:

1. Rangkaian beroperasi dalam keadaan tunak.
2. Periode pensaklaran adalah  $T$ , saklar menutup selama  $DT$  dan terbuka selama  $(1-D)T$ .
3. Arus induktor kontinu (selalu positif).
4. Kapasitor cukup besar untuk mengeluarkan tegangan output konstan.
5. Seluruh komponen dianggap ideal.

**Analisis ketika saklar tertutup** - Ketika saklar tertutup, dioda dibias mundur.

*Khirchhoff's voltage law* pada rangkaian tertutup adalah:

$$V_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \text{ atau } \frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L}$$

Besarnya perubahan dari arus induktor konstan, menunjukkan bahwa penambahan arus induktor linier. Perubahan arus dari induktor dapat dihitung dari:

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L}$$

Dengan menyelesaikan persamaan diatas didapat:

$$(\Delta i_L)_{closed} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2-10)$$

**Analisis ketika saklar terbuka** - Ketika saklar terbuka, arus induktor tidak bisa berubah secara instan, maka dioda menjadi dibias maju untuk mengalirkan arus dari induktor. Dengan mengasumsikan tegangan keluaran  $V_o$  konstan, tegangan diantara induktor adalah:

$$V_L = V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt} \text{ atau } \frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L}$$

Besarnya perubahan arus induktor konstan, maka arusnya harus berubah secara linier ketika saklar terbuka. Perubahan arus induktor ketika saklar terbuka adalah:

$$\frac{Di_L}{Dt} = \frac{Di_L}{(1-D)T} = \frac{V_s - V_o}{L}$$

Dengan menyelesaikan persamaan diatas maka didapat:

$$(\Delta i_L)_{open} = \frac{(V_S - V_o)(1 - D)T}{L} \quad (2-11)$$

Untuk pengoperasian keadaan tunak, total arus induktor saat saklar tertutup dan terbuka adalah nol.

$$\begin{aligned} (\Delta i_L)_{closed} + (\Delta i_L)_{open} &= 0 \\ \frac{V_S DT}{L} + \frac{(V_S - V_o)(1 - D)T}{L} &= 0 \\ V_S(D + 1 - D) - V_o(1 - D) &= 0 \end{aligned}$$

Maka didapatkan,

$$V_o = \frac{V_S}{1 - D} \quad (2-12)$$

**Ripple tegangan keluaran** - *Ripple* tegangan keluaran boost converter dapat dihitung dari gelombang arus kapasitor.

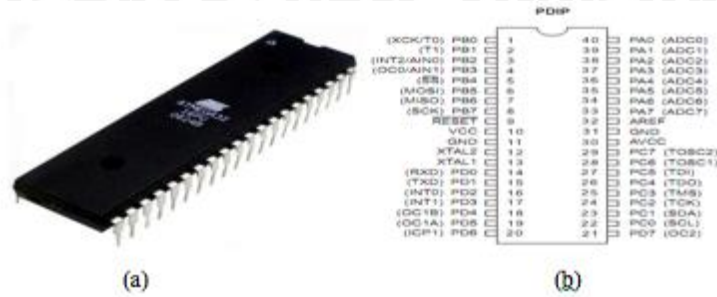
$$\begin{aligned} |\Delta Q| &= \frac{V_o}{R} DT = C \Delta V_o \\ \Delta V_o &= \frac{V_o DT}{RC} = \frac{V_o D}{RCf} \\ \frac{\Delta V_o}{V_o} &= \frac{D}{RCf} \end{aligned} \quad (2-13)$$

### 2.2.5 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah piranti elektronik berupa IC (*integrated circuit*) yang memiliki kemampuan manipulasi data (informasi) berdasarkan suatu urutan instruksi (program). Dalam sebuah struktur mikrokontroler akan kita temukan juga komponen-komponen seperti *processor*, *memory*, *clock*, dll.

Dalam penelitian ini mikrokontroler digunakan sebagai pengatur *Duty cycle* pada rangkaian *boost converter*. Pemrograman mikrokontroler AVR dapat menggunakan *low level language (assembly)* dan *high level language (C, Basic, Pascal, JAVA, dll)* tergantung *compiler* yang digunakan. Pada pembahasan ini mikrokontroler yang digunakan adalah AVR ATmega32. Tampilan atmega 32 dapat dilihat pada gambar 2.13.





Gambar 2.13 ATMEGA 32(a) Bentuk fisik ATMEGA 32 (b) Daftar pin yang ada di ATMEGA 32

Sumber: ATMEGA 32 datasheet (2011:2)

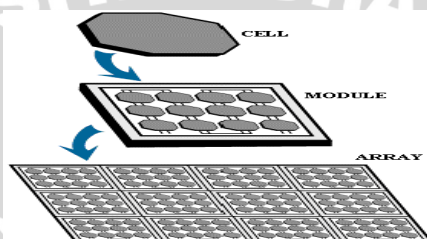
Mikrokontroler merupakan suatu alat yang di dalamnya sudah terintegrasi dengan I/O port, RAM, ROM sehingga dapat digunakan untuk berbagai keperluan kontroler. Mikrokontroler AVR ATmega32 merupakan *low power* CMOS mikrokontroler 8 bit yang di kembangkan oleh atmel dengan arsitektur RISC (*reduced instruction SET computer*) sehingga dapat mencapai *throughput* eksekusi instruksi 1 MIPS (*million instruction per second*). Penjelasan konfigurasi pin pada mikrokontroler AVR ATmega32 secara umum:

1. Pin 1 sampai 8 (*port B*) merupakan *port* paralel 8 bit dua arah (*bidirectional*) yang dapat di gunakan untuk *general purpose* dan *special feature*.
2. Pin 9 (reset) jika terdapat *minimum pulse* pada saat *active low*.
3. Pin 10 (VCC) di hubungkan ke VCC (2,7-5,5 volt).
4. Pin 11 dan 31 (GND) di hubungkan ke *ground*.
5. Pin 12 (XTAL 2) adalah pin masukan ke rangkaian osilator internal, sebuah osilator kristal, atau sumber osilator luar dapat di gunakan.
6. Pin 13 (XTAL 1) adalah pin keluaran ke rangkaian osilator internal, pin ini di pakai bila menggunakan osilator kristal.
7. Pin 14 sampai 21 (*port D*) adalah *port* 8 bit dua arah (*bi-directional I/O*) *port* dengan *internal pull-up resistors* digunakan untuk *general purpose* dan *special feature*.
8. Pin 22 sampai 29 (*port C*) adalah *port* 8 bit dua arah (*bidirectional I/O*) *port* dengan *internal pull-up resistors* digunakan untuk *general purpose* dan *special feature*.
9. Pin 30 adalah AVCC, pin penyuplai daya untuk *port* ADC jika menggunakan ADC dengan referensi VCC.
10. Pin 32 adalah A REF pin yang berfungsi sebagai referensi untuk pin analog jika ADC digunakan.

11. Pin 33 sampai 40 (*port A*) adalah port 8 bit dua arah (*bidirectional I/O port*) dengan *internal pull-up resistors* digunakan untuk *general purpose*.

### 2.3 Photovoltaic

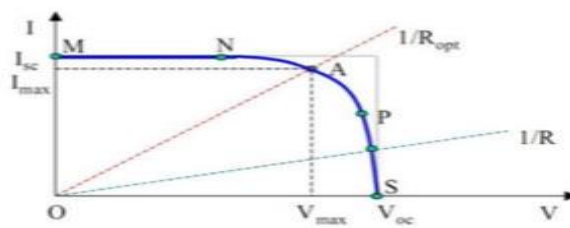
*Photovoltaic* (PV) adalah suatu sistem atau cara langsung (*direct*) untuk mengubah radiasi matahari atau energi cahaya menjadi energi listrik. Efek *photovoltaic* pertama kali ditemukan oleh Henri Becquerel pada tahun 1839. Efek *photovoltaic* adalah fenomena dimana suatu sel *photovoltaic* dapat menyerap energi cahaya dan merubahnya menjadi energi listrik.



Gambar 2.14 Pemasangan *photovoltaic cell*

Sumber: <http://science.nasa.gov>

Sejumlah sel surya yang dihubungkan satu sama lain dan dipasang pada struktur pendukung atau frame yang disebut modul *photovoltaic*. Modul ini dirancang untuk memasok listrik pada tegangan tertentu, seperti yang umum sistem 12 volt. Arus yang dihasilkan secara langsung tergantung pada seberapa banyak cahaya menerpa modul. Sedangkan sejumlah modul sel surya yang dihubungkan satu sama lain disebut *array*. Hal itu bertujuan untuk memperbesar total tegangan dan arus *output*-nya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu (Septina, 2011).



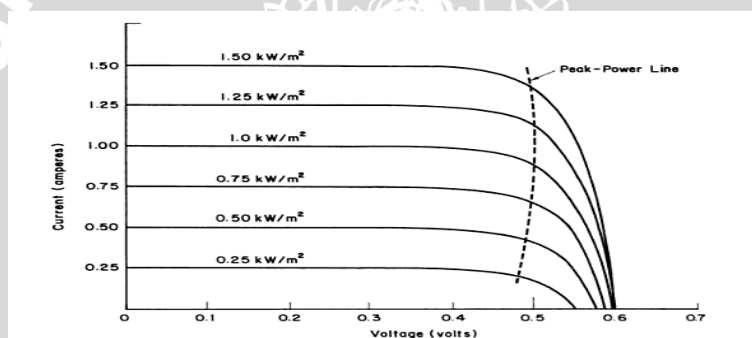
Gambar 2.15 Karakteristik arus-tegangan photovoltaic

Sumber: Hansen dkk, 2000

Sel *photovoltaic* adalah sebuah alat non-linear sehingga dibutuhkan grafik untuk memahami karakteristiknya. Sifat elektrik dari sel *photovoltaic* dalam menghasilkan energi listrik dapat diamati dari karakteristik listrik sel tersebut, yaitu berdasarkan arus



dan tegangan yang dihasilkan oleh sel *photovoltaic* pada kondisi cahaya dan beban berbeda-beda. Kurva I-V menggambarkan sifat dari sel surya secara lengkap. (Kariana,t.t). Gambar 2.15 menunjukkan bahwa ketika sel dihubungkan dengan beban (R). Beban memberi hambatan sebagai garis linier dengan garis  $I/V=1/R$ . Hal tersebut menunjukkan bahwa daya yang didapat bergantung pada nilai resistansi. Jika R kecil, maka sel beroperasi pada daerah kurva MN, dimana sel beroperasi sebagai sumber arus yang konstan atau arus *short circuit*. Pada sisi lain, jika R besar maka sel beroperasi pada daerah kurva PS dimana sel beroperasi sebagai sumber tegangan yang konstan atau tegangan *open circuit*. Jika dihubungkan dengan hambatan optimal  $R_{opt}$ , sel surya akan menghasilkan daya maksimal dengan tegangan maksimal dan arus maksimal. Salah satu faktor yang paling berpengaruh terhadap kinerja *photovoltaic* adalah intensitas radiasi cahaya matahari. Karakteristik arus-tegangan *photovoltaic* akibat perubahan intensitas radiasi cahaya matahari dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Karakteristik *photovoltaic* dengan intensitas cahaya matahari berubah  
Sumber: Lasnier, 1990

## 2.4 Battery Control Regulator

*Battery Control Regulator* (BCR) adalah pengontrol atau otak yang bekerja dari sistem pengisian energi ke baterai. *Battery control regulator* yang baik biasanya mempunyai kemampuan mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari sumber energi akan berhenti.



Gambar 2.17 Battery control regulator  
Sumber: <http://www.powerbell.co.id>

*Battery control regulator* memiliki dua mode kerja, yaitu *charging mode* dan *operation mode*. Dalam *charging mode* baterai diisi dengan metode *three stage*

*charging:*

1. **Fase *bulk*:** baterai akan di-charge sesuai dengan tegangan *setup* (*bulk* - antara 14.4 - 14.6 volt) dan arus diambil secara maksimum dari sumber energi. Pada saat baterai sudah pada tegangan *setup* maka dimulailah fase *absorption*.
2. **Fase *absorption*:** pada fase ini, tegangan baterai akan dijaga sesuai dengan tegangan *bulk*, sampai *solar charge controller timer* (umumnya satu jam) tercapai, arus yang dialirkan menurun sampai tercapai kapasitas dari baterai.
3. **Fase *float*:** baterai akan dijaga pada tegangan *float setting* (umumnya 13.4 - 13.7 volt). Beban yang terhubung ke baterai dapat menggunakan arus maksimum dari sumber energi pada tahap ini.

Sedangkan pada *operation mode*, *battery control regulator* akan melayani beban. Apabila ada *over-discharge* atau *over-load*, maka baterai akan secara otomatis dilepas dari beban. Hal ini berguna untuk mencegah kerusakan dari baterai.

## 2.5 Penyimpan Energi (Baterai)

Hasil dari *hybrid photovoltaic* dan *wind turbine generator* adalah energi listrik. Salah satu media penyimpanan energi listrik adalah baterai. Cara pengisian baterai perlu diperhatikan karena baterai akan mudah rusak jika cara pengisiannya salah.

Waktu pengisian baterai adalah 12 sampai 16 jam. Dengan arus pengisian yang lebih tinggi dan metode pengisian *multi-stage*, waktu pengisian dapat berkurang sampai dengan 10 jam atau kurang. Metode pengisian *multi-stage*, terdiri dari 3 tahap: *constant-current charge*, *topping charge*, dan *float charge*. Selama *constant-current charge*, baterai diisi sampai 70 persen dalam waktu 5 jam; sisanya 30 persen menggunakan pengisian pelan-pelan dengan *topping charge*. *Topping charge* butuh sekitar 5 jam dan ini sangat penting untuk menjaga baterai tetap baik. Jika pola pengisian baterai tidak lengkap sesuai dengan kedua stage diatas, maka baterai akan kehilangan kemampuan untuk menerima *full charge* dan kinerja baterai akan berkurang. Tahap ketiga adalah *float charge*, sebagai kompensasi *self-discharge* setelah baterai terisi penuh.

Tegangan *float charge* yang direkomendasikan dari kebanyakan baterai di antara 2.25 - 2.30 V/sel. *Float charge* yang optimal tegangannya bergeser tergantung dari suhu. Pada suhu tinggi dibutuhkan tegangan lebih kecil dan saat suhu rendah dibutuhkan tegangan lebih tinggi. *Charging* dengan suhu yang fluktuatif harus dilengkapi dengan sensor suhu untuk mengoptimalkan *float voltage*.



## 2.6 Lampu LED

Lampu *Light Emitting Diode* (LED) adalah lampu penerangan yang berbentuk solid tanpa adanya gas maupun zat-zat kimia yang dapat memancarkan cahaya. Lampu LED hemat listrik, pemakaian lampu LED hanya membutuhkan arus yang kecil sehingga lebih hemat dan juga menjadikan pemakaian lampu berkurang sehingga bisa menghemat listrik. Dengan adanya penghematan dalam pemakaian listrik, baterai pun menjadi lebih awet. LED sebagai model lampu masa depan dianggap dapat menekan pemanasan global karena efisiensinya.



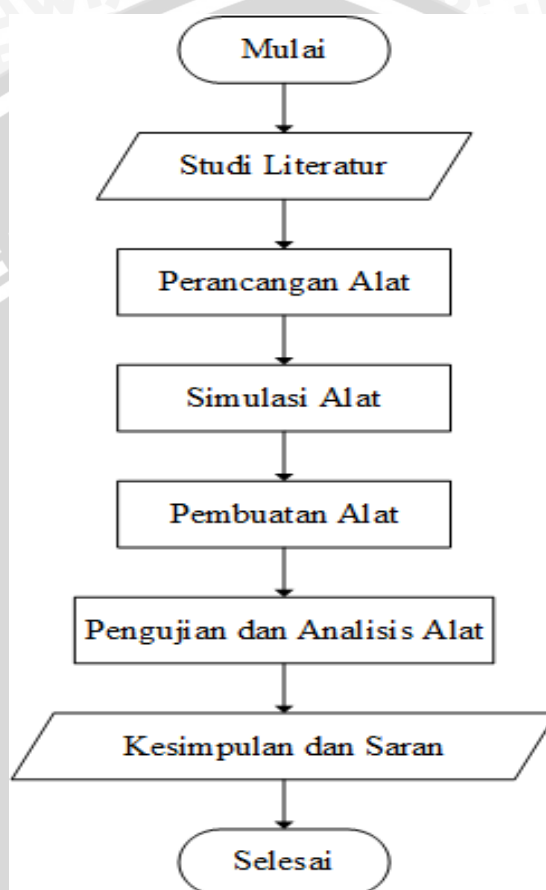
Gambar 2.18 Lampu LED

Sumber : <http://www.jasstech.com.au>

LED mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan lampu pijar konvensional. LED tidak memiliki filamen yang terbakar, sehingga usia pakai LED jauh lebih panjang daripada lampu pijar, LED tidak memerlukan gas untuk menghasilkan cahaya. Dalam hal efisiensi, LED juga memiliki keunggulan. Pada lampu pijar konvensional, proses produksi cahaya menghasilkan panas yang tinggi karena filamen lampu harus dipanaskan. LED hanya sedikit menghasilkan panas, sehingga porsi terbesar dari energi listrik yang ada digunakan untuk menghasilkan cahaya dan membuatnya jauh lebih efisien.

### BAB III METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan pada penelitian ini ditunjukkan dalam gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

#### 3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan pengetahuan dasar tentang segala sesuatu yang mendukung perancangan serta pembuatan alat ini. Pembuatan alat ini menggunakan referensi dari buku-buku maupun jurnal/artikel dari perpustakaan dan internet agar mengetahui prinsip kerja, karakteristik komponen, serta teori yang menunjang.



### 3.2 Perancangan Alat

#### 3.2.1 Perancangan Sistem

Rancangan alat ini terdiri dari dua buah sumber energi yang di *hybrid*, yaitu energi panas yang dirubah menjadi listrik oleh *photovoltaic* dan energi angin yang dirubah menjadi listrik oleh *wind turbine generator*. Kemudian kedua energi tersebut akan di *hybrid* melalui dua buah *battery control regulator* (BCR) sebelum masuk ke baterai. Mikrokontroler berfungsi sebagai pembangkit sinyal picu untuk konverter daya. Selanjutnya energi yang tersimpan pada baterai akan digunakan untuk menanggung beban lampu penerangan jalan umum.

#### 3.2.2 Penentuan Spesifikasi Alat

Setelah melakukan perancangan sistem, selanjutnya dilakukan penentuan spesifikasi alat untuk proses pengerjaan selanjutnya. Fungsi dari setiap komponen alat ini dapat dilihat dalam tabel 3.1.

Tabel 3.1 Fungsi komponen

No.	Nama Komponen	Fungsi
1.	Generator magnet permanen	Pembangkit energi listrik
2.	<i>Wind turbine</i>	Merubah energi angin menjadi energi mekanik
3.	<i>Photovoltaic</i>	Merubah energi matahari menjadi energi listrik
4.	Penyearah tak terkontrol 3-fasa	Menyearahkan tegangan keluaran generator magnet permanen
5.	<i>Boost converter</i>	Mengontrol tegangan keluaran dari generator magnet permanen
6.	Mikrokontroler	Membangkitkan sinyal picu untuk MOSFET
7.	<i>Battery Control Regulator</i>	Mengontrol tegangan dan arus masukan untuk baterai
8.	Lampu LED	Penerangan jalan / Beban
9.	Sensor tegangan	Memberikan <i>feedback</i> ke mikrokontroler
10.	Baterai VRLA	Penyimpan energi

### 3.2.3 Perancangan *Wind Turbine*

Turbin angin sumbu vertikal yang digunakan adalah jenis *savonius*. Dalam perancangan ini diperhatikan jumlah sudu, lebar celah, diameter dan tinggi rotor agar dapat menghasilkan daya maksimal. Fungsi dari turbin angin adalah untuk mengubah energi angin menjadi energi mekanik.

### 3.2.4 Perancangan *Gearbox*

*Gearbox* diperlukan untuk menaikkan kecepatan generator sehingga dapat menghasilkan daya yang besar. Pada perancangan ini ditentukan perbandingan *gear* dan kenaikan torsi akibat penggunaan *gearbox*.

### 3.2.5 Perancangan Penyearah Tak Terkontrol 3 Fasa

Rangkaian penyearah tak terkontrol 3-fasa ini terdiri dari enam buah semikonduktor daya. Semikonduktor daya tersebut adalah dioda daya. Fungsi dari penyearah tak terkontrol 3-fasa ini adalah menyearahkan tegangan keluaran dari generator magnet permanen.

### 3.2.6 Perancangan *Boost Converter*

Rangkaian *boost converter* terdiri dari semikonduktor daya, kapasitor, dan induktor. Semikonduktor daya yang digunakan pada perancangan ini adalah MOSFET dan dioda schottky. Alasan pemilihan MOSFET adalah kemampuan komponen ini untuk bekerja dalam frekuensi *switching* yang tinggi dan daya yang besar, serta harga komponen ini yang terjangkau.

### 3.2.7 Perancangan Perangkat Lunak Untuk Mikrokontroler

Pada perancangan ini, dibutuhkan algoritma untuk memudahkan saat pembuatan perangkat lunak untuk mikrokontroler. Algoritma yang dibuat adalah algoritma pengontrolan *duty cycle*. Mikrokontroler digunakan untuk mengontrol *duty cycle* pada *boost converter*.

## 3.3 Simulasi

Sebelum melakukan pembuatan alat, dibutuhkan simulasi guna memperkecil kemungkinan kegagalan. Software yang digunakan dalam perancangan *Hybrid Photovoltaic* dan *Wind Turbine Generator* Sebagai Sumber Daya Lampu Penerangan Jalan Umum ini adalah *LTSpice* untuk menganalisis rangkaian konverter daya.



### 3.4 Pembuatan Alat

Pembuatan alat dalam penelitian ini dibagi menjadi 3 tahapan, yaitu:

1. Pembuatan *Wind Turbine Generator*.

Pembuatan alat ini meliputi perancangan *Wind Turbine* dan *gearbox* yang dikopel dengan generator magnet permanen, serta pembuatan rangkaian penyearah tiga fasa dan rangkaian *boost converter* untuk mengatur nilai tegangan keluaran agar sesuai dengan sistem yang diinginkan.

2. Pembuatan sensor

Pembuatan ini meliputi pembuatan sensor tegangan. Sensor tegangan berfungsi sebagai *feedback boost converter*

3. Pembuatan perangkat lunak

Pembuatan perangkat lunak meliputi program yang telah dirancang sebelumnya untuk mengendalikan *duty cycle* dari konverter.

### 3.5 Pengujian dan Analisis

Untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem dan kesesuaian dengan perancangan maka dilakukan pengujian rangkaian. Pengujian dilakukan pada masing masing blok secara keseluruhan. Pengujian yang dilakukan yaitu:

1. Pengujian generator magnet permanen.
2. Pengujian rangkaian penyearah 3 fasa tak terkontrol.
3. Pengujian Pembangkit sinyal picu.
4. Pengujian sensor tegangan.
5. Pengujian rangkaian *boost converter*.
6. Pengujian rangkaian *boost converter* dengan umpan balik.
7. Pengujian baterai.
8. Pengujian *wind turbine generator*.
9. Pengujian sistem *hybrid*.

Setelah melakukan pengujian, maka dilanjutkan ke tahapan analisis data hasil pengujian tersebut yang selanjutnya akan dijadikan acuan dalam pengambilan kesimpulan.

#### 3.5.1 Pengujian Generator Magnet Permanen

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai tegangan keluaran dari generator magnet permanen pada setiap kecepatan putaran dalam keadaan tanpa beban dan

berbeban. Prosedur dalam pengujian ini adalah dengan cara memutar generator magnet permanen dengan *variabel speed motor*. Kemudian ukur nilai tegangan ( $V_{L-L}$ ) pada setiap perubahan tegangan. Ketika keadaan berbeban, ukur nilai tegangan ( $V_{L-L}$ ), arus ( $I_{L-L}$ ), dan  $\cos \varphi$ . Selanjutnya hitung nilai daya keluaran dan torsi dari generator magnet permanen.

### 3.5.2 Pengujian Rangkaian Penyearah 3 Fasa Tak Terkontrol

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah penyearah 3 fasa tak terkontrol sudah bekerja sesuai dengan rancangan atau tidak. Prosedur pengujian ini adalah dengan membandingkan bentuk gelombang keluaran dari penyearah tak terkontrol 3 fasa dengan menggunakan osiloskop. Selain itu dilakukan pengukuran nilai tegangan keluaran dari rangkaian penyearah tak terkontrol 3 fasa.

### 3.5.3 Pengujian Pembangkit Sinyal Picu

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bentuk sinyal picu dan nilai *duty cycle* maksimum dan minimum yang dapat dibangkitkan oleh mikrokontroler. Mikrokontroler diprogram untuk dapat menghasilkan gelombang kotak dengan frekuensi 40 kHz pada *duty cycle* (D) tertentu. Pada pengujian ini nilai *duty cycle* diatur menggunakan resistor variabel. Selanjutnya amati bentuk sinyal picu serta nilai *duty cycle* maksimum dan minimum pada osiloskop.

### 3.5.4 Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui linearitas dari sensor tegangan. Hasil dari sensor ini berupa tegangan DC untuk dapat digunakan sebagai input ADC mikrokontroler. Prosedur dalam pengujian ini adalah dengan memberikan masukan tegangan pada sensor. Selanjutnya catat tegangan keluaran dari sensor pada setiap perubahan tegangan masukan.

### 3.5.5 Pengujian Boost Converter

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi dari *boost converter*. Prosedur dalam pengujian ini adalah dengan cara mengatur *duty cycle* (D) *boost converter* dan dilihat nilai tegangan dan arus keluarannya.

### 3.5.6 Pengujian Boost Converter dengan Umpan Balik

Pengujian ini bertujuan untuk melihat nilai tegangan keluaran dengan variasi tegangan masukan. Parameter yang diamati pada pengujian ini adalah tegangan, arus, daya, efisiensi masukan dan keluaran serta nilai *duty cycle*.



### 3.5.7 Pengujian Baterai

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan baterai dalam menanggung beban. Sesuai dengan rancangan awal bahwa baterai dirancang dapat bertahan selama dua hari untuk menanggung beban lampu penerangan jalan umum. Dimana dalam satu hari lampu menyala selama 12 jam. Dalam pengujian ini, baterai diuji selama tiga hari dengan dibebani oleh resistor sebagai pengganti lampu penerangan jalan umum. Selanjutnya diamati nilai penurunan tegangan baterai pada setiap jamnya.

### 3.5.8 Pengujian Wind Turbine Generator

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh *wind turbine generator* pada setiap variasi kecepatan putaran. Parameter yang diamati pada pengujian ini adalah tegangan, arus, daya, dan efisiensi pada setiap perubahan putaran. Parameter tersebut diamati pada setiap keluaran generator magnet permanen, penyearah tak terkontrol 3 fasa, *boost converter*, dan masukan ke baterai. Selanjutnya dibuat grafik  $P=f(n)$  dan  $Efisiensi=f(n)$  untuk selanjutnya di analisis.

### 3.5.9 Pengujian Sistem Hybrid

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari sistem *hybrid* pada kondisi nyata. Dalam pengujian ini beberapa kondisi yang diuji adalah kondisi di siang hari dimana beban tidak tersambung, daya *photovoltaic* yang dihasilkan besar sedangkan yang dihasilkan oleh *wind turbine generator* kecil. Kondisi kedua adalah kondisi di malam hari dimana beban tersambung, daya yang dihasilkan *wind turbine generator* besar, dan daya *photovoltaic* tidak mengalir. Pengujian dilakukan mulai pukul 10.00 WIB, karena pada jam tersebut nilai intensitas radaiasi cahaya matahari cukup besar. Pada pengujian ini dilakukan pengukuran pada parameter arus dan tegangan pada setiap blok alat.

## 3.6 Perhitungan Manajemen Energi

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui besaran energi yang dihasilkan oleh *wind turbine generator* dan *photovoltaic* dalam satu hari, serta kemampuan sistem untuk menanggung beban lampu penerangan jalan umum selama satu hari.

### 3.7 Pengambilan Kesimpulan

Kesimpulan diambil berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengujian dan perhitungan manajemen energi. Jika hasil yang didapatkan telah sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya, penelitian ini telah berhasil memenuhi harapan dan tentunya memerlukan pengembangan lebih lanjut untuk penyempurnaan. Saran diberikan untuk memberikan masukan kepada pembaca yang akan meneliti lebih lanjut mengenai topik penelitian ini. Saran diberikan berdasarkan kesulitan-kesulitan yang dialami selama penelitian dan hal-hal lain yang perlu dikaji lebih mendalam.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA





## BAB IV PERANCANGAN SISTEM DAN SIMULASI

### 4.1 Data Pendukung yang Digunakan untuk Perancangan Sistem

Yang dimaksud dengan data pendukung disini adalah data yang diperlukan sebagai pendukung atau pelengkap agar perhitungan data analisis dapat dilakukan dengan benar, sesuai dengan kondisi dan keadaan yang ada. Data pendukung juga sering disebut data sekunder, artinya bukan data utama yang didapatkan secara langsung melalui pengukuran oleh penulis, tetapi data diperoleh melalui sumber-sumber yang terpercaya. Data-data ini terdiri dari data radiasi matahari dan data kecepatan angin di Malang Raya.

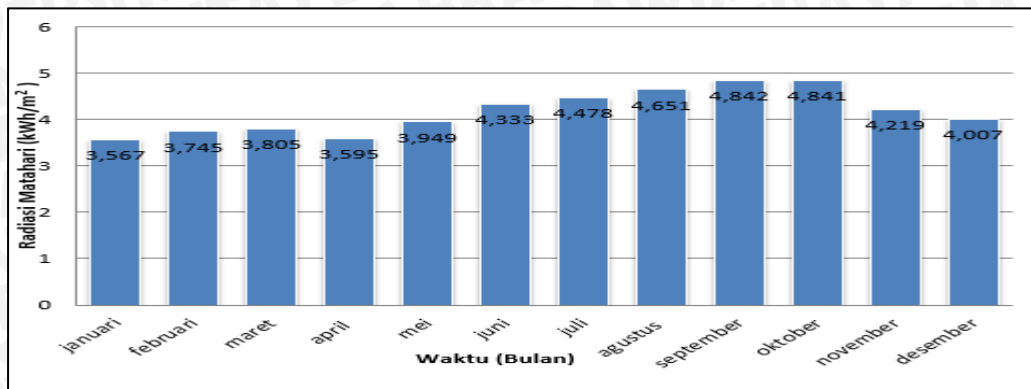
#### 4.1.1 Data Radiasi Cahaya Matahari di Malang Raya

Data radiasi cahaya matahari diperoleh dari data sekunder pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Daniel Eko Sulisty, 2012 yang berjudul "Perancangan Sistem *Photovoltaic* Sebagai *Backup* Sumber Listrik PLN di Asrama Seminari Al-Kitab Asia Tenggara Malang". Data radiasi ditunjukkan dalam bentuk tabel dan grafik dalam tabel 4.1 dan gambar 4.1.

Tabel 4.1 Data radiasi cahaya matahari di Malang Raya

Bulan	Radiasi Cahaya Matahari rata-rata (kWh/m <sup>2</sup> )	Waktu Efektif	
		Persentase (%)	Jam Efektif (Jam)
Januari	3,567	25,10	3,012
Februari	3,745	33,20	3,984
Maret	3,805	31,60	3,792
April	3,595	35,80	4,296
Mei	3,949	48,00	5,760
Juni	4,333	64,60	7,752
Juli	4,478	70,60	8,472
Agustus	4,651	68,90	8,268
September	4,842	69,20	8,304
Oktober	4,841	60,40	7,248
November	4,219	45,60	5,472
Desember	4,007	36,70	4,404
<b>Rata-rata</b>	<b>4,313</b>	<b>49,14</b>	<b>5,897</b>

Sumber : Daniel, 2012



Gambar 4.1 Grafik data radiasi cahaya matahari di Malang Raya

Sumber : Daniel, 2012

Dari data tersebut didapatkan bahwa dari bulan Januari hingga bulan Mei radiasi cahaya matahari bernilai 3,567 - 3,949 kWh/m<sup>2</sup> dengan jam kerja matahari bervariasi antara 3 - 5,76 jam. Radiasi cahaya dan jam kerja matahari mulai meningkat pada bulan Juni hingga Desember yaitu bernilai 4 - 4,82 kWh/m<sup>2</sup> dengan jam kerja bervariasi antara 4,42 - 8,5 jam.

#### 4.1.2 Data Kecepatan Angin di Malang Raya

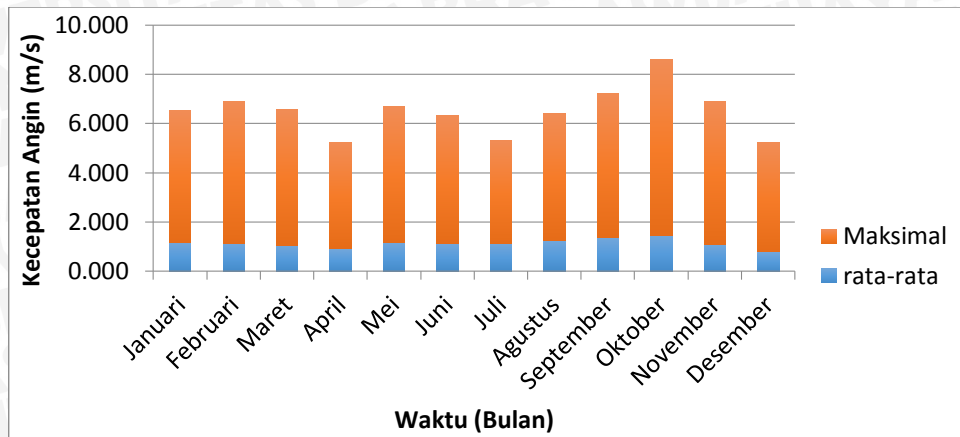
Data kecepatan angin diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Karangploso, Jl. Zentana No. 33 Malang. Data yang didapat berupa data harian dengan nilai kecepatan angin rata-rata dan kecepatan angin maksimal yang terjadi setiap harinya. Data kecepatan angin rata-rata dan maksimal tiap bulannya dalam tahun 2014 ditunjukkan dalam tabel 4.2 dan gambar 4.2.

Tabel 4.2 Data kecepatan angin di Malang Raya tahun 2014

Bulan	Kecepatan Angin rata-rata (m/s)	Kecepatan Angin Maksimal (m/s)
Januari	1,180	5,354
Februari	1,143	5,762
Maret	1,061	5,504
April	0,916	4,330
Mei	1,155	5,537
Juni	1,120	5,189
Juli	1,120	4,174
Agustus	1,255	5,138
September	1,363	5,859
Oktober	1,452	7,150
November	1,093	5,808
Desember	0,793	4,440

Sumber : BMKG Malang





Gambar 4.2 Grafik data kecepatan angin di Malang Raya tahun 2014

Sumber : BMKG Malang

Adapun data kecepatan angin pada tanggal 24 - 25 maret 2015 dari *Air Navigation* Bandara Abdurahman Saleh Malang yang ditunjukkan dalam tabel 4.3.

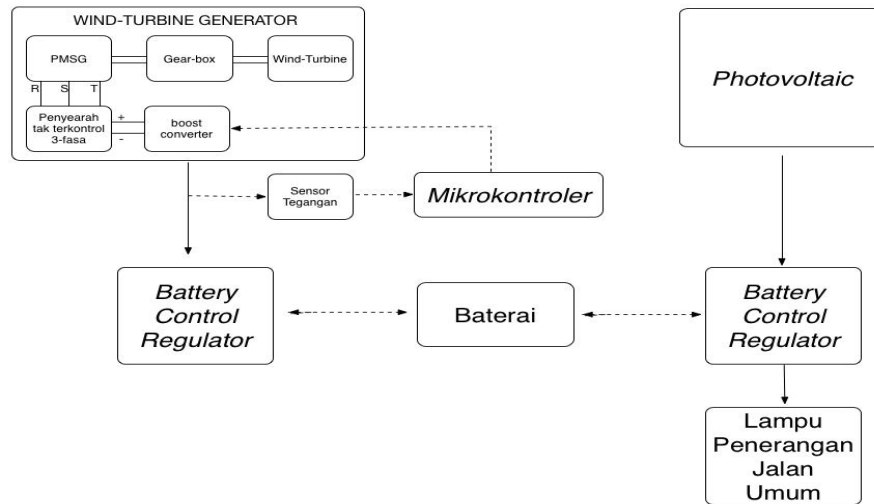
Tabel 4.3 Data kecepatan angin di Malang Raya tanggal 24-25 maret 2015

Tanggal	Jam	Kecepatan Angin rata-rata (knots)	Kecepatan Angin rata-rata (m/s)
24/03/2015	12:00	3	1,546
24/03/2015	13:00	4	2,062
24/03/2015	14:00	0	0,000
24/03/2015	15:00	9	4,639
24/03/2015	16:00	10	5,155
24/03/2015	17:00	8	4,124
24/03/2015	18:00	12	6,186
24/03/2015	19:00	16	8,247
24/03/2015	20:00	10	5,155
24/03/2015	21:00	10	5,155
24/03/2015	22:00	12	6,186
24/03/2015	23:00	5	2,577
25/03/2015	0:00	3	1,546
25/03/2015	1:00	4	2,062
25/03/2015	2:00	5	2,577
25/03/2015	3:00	3	1,546
25/03/2015	4:00	3	1,546
25/03/2015	5:00	4	2,062
25/03/2015	6:00	5	2,577
25/03/2015	7:00	5	2,577
25/03/2015	8:00	5	2,577
25/03/2015	9:00	0	0,000
25/03/2015	10:00	0	0,000
25/03/2015	11:00	4	2,062

Sumber : *Air Navigation* Bandara Abdurahman Saleh Malang, 2015

## 4.2 Gambaran Umum Sistem

Sistem *hybrid photovoltaic* dan *wind turbine generator* terdiri dari *Photovoltaic*, *Wind turbine generator*, Mikrokontroler, *Battery Control Regulator* (BCR), Baterai, dan Lampu penerangan jalan umum. Blok diagram sistem dapat dilihat dalam gambar 4.3.



Gambar 4.3 Blok diagram sistem

Sistem ini terdiri dari dua buah sumber energi yang di *hybrid*, yaitu energi panas yang dirubah menjadi listrik oleh *photovoltaic* dan energi angin yang dirubah menjadi listrik oleh *wind turbine generator*. Kemudian kedua energi tersebut akan di *hybrid* melalui dua buah *battery control regulator* (BCR) sebelum masuk ke baterai. Mikrokontroler berfungsi sebagai pembangkit sinyal picu untuk konverter daya. Selanjutnya energi yang tersimpan pada baterai akan digunakan untuk menanggung beban lampu penerangan jalan umum. Pada penelitian ini, *wind turbine* dan *gearbox* hanya berupa perancangan. Pembuatan alat hanya meliputi penyearah tak terkontrol 3-fasa, *boost converter*, dan sensor tegangan. Sedangkan komponen lain seperti *photovoltaic*, PMSG, mikrokontroler, BCR, dan lampu penerangan jalan umum mengikuti spesifikasi yang ada di pasaran.

## 4.3 Perancangan *Wind Turbine Generator*

### 4.3.1 Perancangan *Wind Turbine*

Dalam perancangan ini jenis turbin angin yang digunakan turbin angin sumbu vertikal tipe *savonius*. Jenis turbin ini dipilih karena memiliki kelebihan yaitu dapat menerima angin dari segala arah dan sangat cocok untuk daerah dengan kecepatan angin yang rendah (Kadam, 2013). Zhao (2009) dalam penelitiannya menyatakan

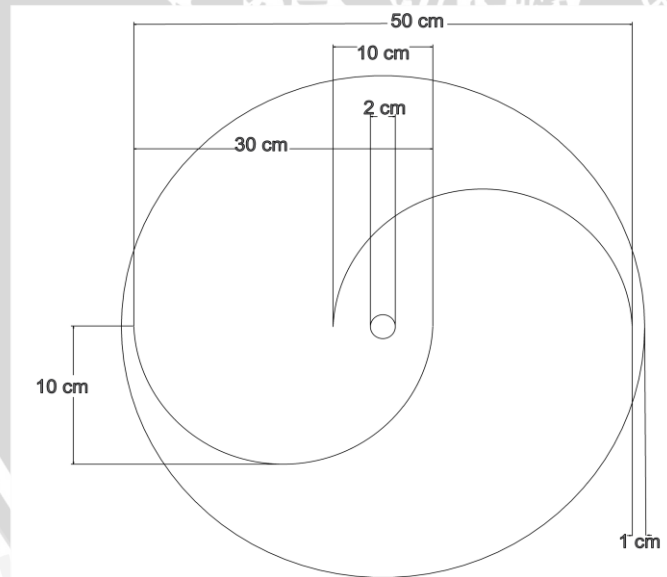


bahwa turbin angin dengan jumlah sudu dua memiliki performa lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah sudu tiga.

Berdasarkan data tersebut, pada perancangan ini dipilih jumlah sudu adalah dua. Turbin angin jenis *savonius* yang menggunakan *end plate* memiliki efisiensi yang lebih besar dibandingkan dengan yang tidak menggunakan *end plate* (Kadam, 2013). Parameter dan nilai perancangan ini dapat dilihat dalam tabel 4.4. Desain dua dimensi dari perancangan *wind turbine* dapat dilihat dalam gambar 4.4.

Tabel 4.4 Parameter dan nilai perancangan *wind turbine*

Parameter	Nilai
Diameter Sudu (D)	500 mm
Tinggi Sudu (H)	800 mm
Daerah Sapuan (A)	0,40 m <sup>2</sup>
Panjang <i>Chord</i> (d)	300 mm
Diameter <i>End Plate</i> (D <sub>f</sub> )	520 mm
Jarak Celah/ <i>Overlap</i> (e)	100 mm
Ketebalan Sudu (t)	3 mm
Ketebalan <i>End Plate</i> (t <sub>f</sub> )	5 mm
Jumlah Sudu (n)	2 buah
Kerapatan Udara ( $\rho$ )	1,2 kg/m <sup>3</sup> (27 <sup>0</sup> C)



Gambar 4.4 Desain dua dimensi *wind turbine*

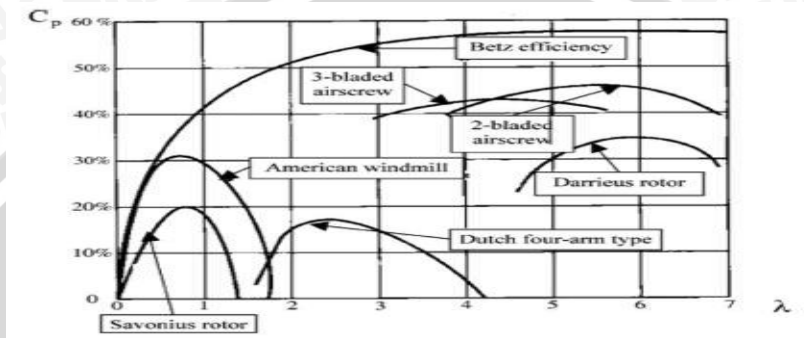
Dari parameter-parameter tersebut, selanjutnya menentukan nilai *Tip Speed Ratio* (TSR). Nilai TSR maksimal untuk turbin angin sumbu vertikal jenis *savonius* adalah satu. Nilai TSR dapat diperoleh dengan dihitung melalui persamaan (2-8), selain itu TSR juga dapat dihitung dari persamaan:

$$\lambda = \frac{\text{blade tip speed}}{v_w} \quad (4-1)$$

$v_w$  merupakan kecepatan angin sedangkan *blade tip speed* merupakan kecepatan ujung sudu, dimana: (RWE npower renewables, 2009)

$$\text{blade tip speed} = \frac{\text{rotational speed (rpm)} \times \pi \times D}{60} \quad (4-2)$$

dengan D adalah diameter turbin. Nilai TSR berkaitan dengan nilai faktor daya dari *wind turbine* seperti ditunjukkan dalam gambar 4.5.



Gambar 4.5 Faktor daya sebagai fungsi TSR berbagai jenis turbin  
Sumber : Khan, 2009

Pada perancangan ini ditentukan nilai  $TSR = 0,6$ . Sehingga berdasarkan persamaan (4-1) dan (4-2) dapat dihitung nilai putaran yang dihasilkan oleh turbin angin dengan persamaan:

$$\text{rotational speed (rpm)} = \frac{\lambda \times v_w \times 60}{\pi \times D} \quad (4-3)$$

Turbin angin sumbu vertikal jenis *savonius* memiliki torsi yang lebih besar dibandingkan dengan turbin angin sumbu horizontal. Turbin ini mampu melakukan *self start* pada kecepatan angin yang relatif rendah (Kadam, 2013). Torsi dari *wind turbine* dapat dihitung dengan persamaan:

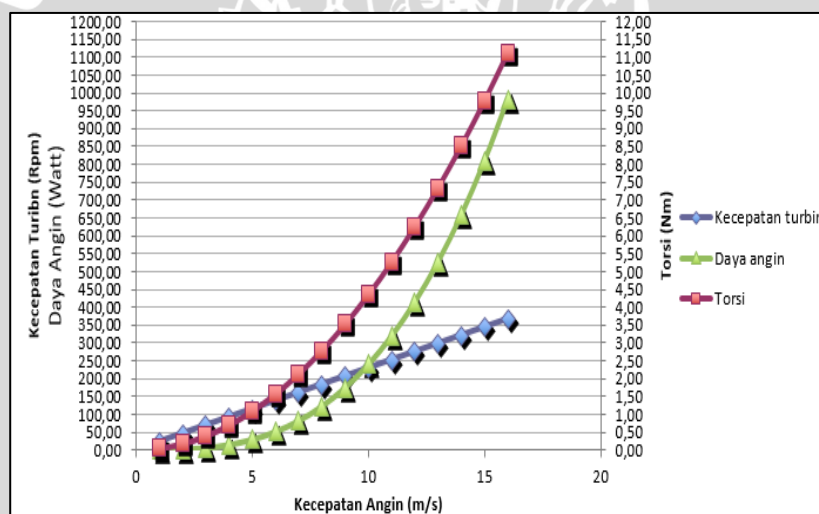
$$T = \frac{v_w^2 \cdot r^3}{\lambda^2} \quad (4-4)$$

Setelah diketahui parameter dan persamaan tersebut, maka dapat dihitung putaran, torsi, dan daya angin yang dihasilkan oleh *wind turbine*. Hasil dari perhitungan tersebut dapat dilihat dalam tabel 4.5 Kurva karakteristik dari hasil rancangan *wind turbine* dapat dilihat dalam gambar 4.6.



Tabel 4.5 Hasil perhitungan putaran dan torsi turbin angin

Kecepatan Angin (m/s)	Kecepatan Turbin (rpm)	Torsi (Nm)	Daya Angin (W)
1	23	0,04	0,24
2	46	0,17	1,92
3	69	0,39	6,48
4	92	0,69	15,36
5	115	1,09	30,00
6	138	1,56	51,84
7	161	2,13	82,32
8	183	2,78	122,88
9	206	3,52	174,96
10	229	4,34	240,00
11	252	5,25	319,44
12	275	6,25	414,72
13	298	7,34	527,28
14	321	8,51	658,56
15	344	9,77	810,00
16	367	11,11	983,04

Gambar 4.6 Kurva karakteristik hasil perancangan *wind turbine*

#### 4.3.2 Perancangan *Gearbox*

Dari hasil perancangan *wind turbine* didapatkan bahwa nilai putaran *wind turbine* masih rendah tetapi menghasilkan torsi yang besar. Untuk itu dalam perancangan ini dibutuhkan *gearbox* atau *speed increaser* untuk menaikkan nilai putaran dari turbin tersebut. Akibat dari penggunaan *gearbox* akan timbul rugi-rugi sehingga nilai dari torsi yang ditanggung *wind turbine* meningkat. Hal ini dibuktikan dengan persamaan berikut : (Pillai S.K., 1989)

$$T'_L = T_L \cdot \frac{\omega_L}{\omega_M} \cdot \frac{1}{\eta} = \frac{T_L}{i\eta} \quad (4-5)$$

Dengan :

- $T_L$  = Torsi beban
- $\omega_L$  = Kecepatan beban
- $T'_L$  = Torsi beban dengan referensi penggerak utama
- $\omega_M$  = Kecepatan penggerak utama
- $\eta$  = Efisiensi Transmisi
- $i = \frac{\omega_M}{\omega_L}$  = Rasio Kecepatan Transmisi

Pada perancangan ini diinginkan kecepatan generator lebih cepat 7 kali dari kecepatan turbin dengan efisiensi transmisi sebesar 90%. Maka dengan menggunakan persamaan (4-5) dapat dihitung jumlah kenaikan torsi beban dengan referensi penggerak utama.

$$T'_L = T_L \cdot \frac{7}{1} \cdot \frac{1}{0.9}$$

$$T'_L = 7,78 \cdot T_L$$

Dari hasil perhitungan tersebut ditemukan bahwa terjadi kenaikan torsi beban sebesar **7,78 kali**. Dari hasil perencanaan kecepatan putar turbin yang diinginkan dapat ditentukan putaran roda gigi *pinion*. Karena putaran yang dirancang kurang dari 3600 rpm, maka berlaku persamaan : (Sularso, 1997)

$$r_v = \frac{\omega_L}{\omega_M} = \frac{n_L}{n_M} = \frac{Nt_M}{Nt_L} = \frac{d_M}{d_L} \quad (4-6)$$

Dengan :

- $r_v$  = Perbandingan Kecepatan
- $\omega$  = Kecepatan Sudut (rad/sec)
- $n$  = Kecepatan Keliling (rpm)
- $Nt$  = Jumlah Gigi
- $d$  = Diameter *Pitch Circle* (in)

Berdasarkan persamaan (4-6) dapat disimpulkan bahwa dengan perbandingan kecepatan ( $r_v$ ) 1:7 didapatkan rasio diameter gear sebesar 7:1. Hasil dari kenaikan kecepatan generator dapat dilihat dalam tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil dari kenaikan kecepatan generator

Kecepatan Angin (m/s)	Kecepatan Turbin (rpm)	Kecepatan Generator (rpm)
1	23	161
2	46	321
3	69	482
4	92	642



5	115	803
6	138	963
7	161	1124
8	183	1284
9	206	1445
10	229	1605
11	252	1766
12	275	1926
13	298	2087
14	321	2247
15	344	2408
16	367	2568

#### 4.3.3 Spesifikasi *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG)

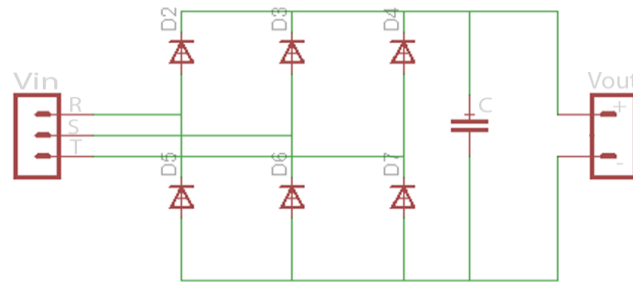
Pada penelitian ini, *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) digunakan sebagai mesin konversi energi mekanik ke listrik. PMSG yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Daya : 100 watt
- Tegangan : 36 volt
- Arus : 1,89 ampere
- Putaran : 3000 rpm
- $\cos \varphi$  : 0,85
- Efisiensi : 68 %
- Jumlah Kutub : 16 Kutub
- Frekuensi (*at rate speed*) : 400 Hz

#### 4.3.4 Perancangan Penyearah Tak Terkontrol 3 Fasa

Perancangan penyearah tak terkontrol 3 fasa diperlukan untuk mengubah arus bolak-balik (AC) yang dihasilkan oleh generator magnet permanen menjadi arus searah (DC). Penyearah tak terkontrol 3 fasa terdiri dari dioda daya yang disusun seperti dalam gambar 4.7. Arus maksimal yang akan melewati rangkaian penyearah tak terkontrol 3 fasa adalah 2 ampere sesuai dengan *rating* dari generator magnet permanen. Akan tetapi *rating* dioda yang digunakan harus diatas *rating* arus generator agar jika arus yang mengalir melebihi 2 ampere, rangkaian penyearah tak terkontrol 3 fasa tidak rusak. Dioda yang ada dipasaran yang memiliki *rating* arus lebih dari 2 ampere adalah tipe 6A10. Maka dipilih dioda tipe 6A10 yang memiliki *rating* arus sebesar 6 ampere. Untuk mengurangi *ripple* tegangan keluaran dari rangkaian penyearah tak terkontrol 3 fasa maka digunakan filter kapasitor, semakin besar nilai filter kapasitor maka *ripple*

tegangan keluaran akan berkurang (Hart, 2010:88). Pada perancangan ini ditentukan kapasitansi dari kapasitor sebesar  $100 \mu F$ .



Gambar 4.7 Skematik rangkaian penyearah tak terkontrol 3 fasa

#### 4.3.5 Perancangan Boost Converter

*Boost-Converter* digunakan untuk mengubah tegangan keluaran generator magnet permanen yang telah disearahkan menjadi konstan sesuai dengan sistem tegangan yang diinginkan. Pada perancangan ini ditetapkan terlebih dahulu nilai tegangan masukan ( $V_s$ )=3 V; Tegangan Keluaran ( $V_o$ )=13 V; Resistansi beban ( $R$ )=13  $\Omega$  ; Frekuensi *switching* ( $f$ )=40 kHz. Setelah itu dilakukan perhitungan untuk mencari nilai *duty cycle* ( $D$ ) melalui persamaan (4-7):

$$D = 1 - \frac{V_s}{V_o} \quad (4-7)$$

$$D = 1 - \frac{3}{13}$$

$$D = 0,77$$

Karena nilai frekuensi *switching* sebesar 40 kHz, maka nilai induktansi minimal untuk arus kontinyu dapat dihitung dari persamaan (4-8).

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2(R)}{2f} \quad (4-8)$$

$$L_{min} = \frac{0,77(1 - 0,77)^2(13)}{2 \cdot 40000} = 6,62 \mu H$$

Didapatkan nilai induktansi minimum sebesar  $6,62 \mu H$ , untuk memastikan bahwa arus kontinyu maka nilai induktansi harus lebih besar dari nilai induktansi minimum. Pada perancangan ini, dipilih nilai induktansi sebesar  $25 \mu H$ . Karena nilai induktansi yang tersedia dipasaran sebesar  $100 \mu H$ , maka untuk mendapatkan nilai induktansi sebesar  $25 \mu H$  maka disusun 4 buah induktor  $100 \mu H$  secara paralel. Setelah mendapatkan nilai induktansi, selanjutnya dilakukan perhitungan besaran arus maksimum dan minimum yang melewati induktor dengan persamaan (4-9) dan (4-10).



$$I_L = \frac{V_s}{(1-D)^2(R)} \quad (4-9)$$

$$I_L = \frac{3}{(1-0,77)^2(13)} = 4,36 \text{ A}$$

$$\frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_s D T}{2L} \quad (4-10)$$

$$= \frac{(3)(0,77)}{(2)(25 \cdot 10^{-6})(40000)} = 1,155 \text{ A}$$

maka,

$$I_{max} = 4,36 + 1,155 = 5,515 \text{ A}$$

$$I_{min} = 4,36 - 1,155 = 3,205 \text{ A}$$

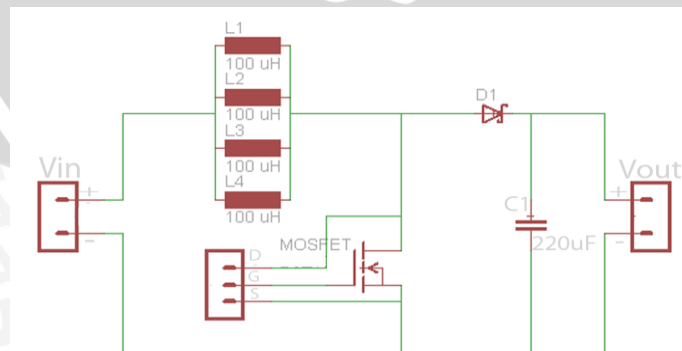
Pada perancangan ini *boost-converter* dirancang untuk menghasilkan *ripple* tegangan keluaran tidak lebih dari 1%. Nilai kapasitansi minimum dari kapasitor dapat dihitung dari persamaan (4-11) agar *ripple* tegangan keluaran tidak lebih dari 1%.

$$C \geq \frac{D}{(R)(\Delta V_o/V_o)(f)} \quad (4-11)$$

$$C \geq \frac{0,77}{(13)(0,01)(40000)} = 148 \mu\text{F}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai minimal dari kapasitor yang harus dipakai sebesar  $148 \mu\text{F}$ . Karena di pasaran nilai kapasitansi yang terdekat yang tersedia adalah  $220 \mu\text{F}$  maka dipilih kapasitor dengan kapasitansi tersebut.

Pada perancangan ini, dipilih MOSFET untuk menjadi saklar elektronik. MOSFET dipilih karena dapat digunakan untuk mengendalikan beban dengan arus yang tinggi, ketersediaan di pasaran, dan biaya yang lebih murah. MOSFET yang digunakan adalah tipe IRF640-N Channel yang memiliki *rating* arus sebesar 18 ampere. Untuk dioda, pada perancangan ini digunakan dioda *schottky* 1N5882 karena dioda *schottky* cocok untuk frekuensi pensaklaran yang tinggi. Skematik perancangan *boost converter* ditunjukkan dalam gambar 4.8.



Gambar 4.8 Skematik perancangan boost converter

#### 4.3.6 Perancangan Kapasitas Baterai

Dalam perancangan ini, terlebih dahulu dihitung energi yang dikonsumsi beban perharinya oleh lampu penerangan jalan umum LED dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Daya (P) = 40 watt
- Tegangan (V) = 12 volt
- Arus (I) = 3,333 ampere

Lampu penerangan jalan umum LED menyala perharinya pukul 18.00-06.00 (12 Jam). Berdasarkan parameter tersebut, maka energi yang dibutuhkan lampu per-hari adalah:

$$\begin{aligned} \text{Energi per-hari} &= \text{Tegangan} \times \text{Arus} \times \text{Jam} \\ &= 3,33 \text{ A} \times 12 \text{ V} \times 12 \text{ H} \\ &= \mathbf{479,52 \text{ Wh}} \end{aligned}$$

Dirancang bahwa batere/aki mampu menanggung beban selama 2 hari tanpa masukan dari sumber energi (*days of autonomy* = 2 Hari). Sedangkan nilai *Deep of Discharge* (DOD) dari aki biasanya 80%. Maka kapasitas aki yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan (4-12):

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Baterai/Aki} &= \frac{\text{Total Beban} \times \text{Days of Autonomy}}{\text{Deep of Discharge} \times \text{Tegangan yang diinginkan}} \quad (4-12) \\ &= \frac{479,52 \text{ Wh} \times 2}{0,8 \times 12 \text{ V}} = \mathbf{99,99 \text{ Ah}} \end{aligned}$$

Jenis baterai/aki yang digunakan merupakan jenis VRLA merk BSB dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Tipe : Solar 12-100
- Tegangan : 12 volt
- Kapasitas : 100 Ah (20<sup>0</sup> C)

Berdasarkan spesifikasi dari baterai tersebut. Maka jumlah aki yang dibutuhkan:

- Berdasarkan tegangan:  $\frac{12\text{V}}{12\text{V}} = 1 \text{ buah baterai}$
- Berdasarkan kapasitas  $\frac{99,99 \text{ Ah}}{100 \text{ Ah}} = 1 \text{ buah baterai}$

Maka, jumlah baterai total yang dibutuhkan adalah **1 Buah baterai dengan kapasitas 100 Ah.**



#### 4.4 Perancangan Kapasitas *Photovoltaic* yang Digunakan

Kapasitas daya *photovoltaic* dapat diperhitungkan dengan memperhatikan beberapa faktor, yaitu kebutuhan energi sistem, radiasi matahari, dan faktor penyesuaian. Kebutuhan energi sistem yang dimaksudkan telah dihitung pada bahasan sebelumnya yaitu sebesar 479,52 Wh.

Dari data radiasi matahari di Malang Raya yang telah disampaikan sebelumnya, didapatkan bahwa radiasi terendah yang terjadi dalam satu tahun terdapat pada bulan Januari yaitu sebesar 3,567 kWh/m<sup>2</sup>. Diambil data radiasi yang terendah dikarenakan agar *photovoltaic* dapat memenuhi kebutuhan beban setiap saat. Faktor penyesuaian pada kebanyakan instalasi *photovoltaic* adalah 1,1. Kapasitas daya *photovoltaic* yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Kapasitas Photovoltaic} = \frac{\text{Energi yang harus dipasok}}{\text{Jumlah jam kerja matahari}} \times \text{faktor penyesuaian}$$

Karena yang dipakai dalam perhitungan adalah jumlah jam bukan besar radiasi matahari, maka data radiasi terendah yang ada harus kita bagi dengan *Standart Test Condition* yaitu 1000 W/m<sup>2</sup>.

$$\text{Jumlah jam kerja matahari} = \frac{3567 \text{ Wh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} = 3,567 \text{ h}$$

Sehingga kapasitas *photovoltaic* dapat dihitungkan sebagai berikut:

$$\text{Kapasitas photovoltaic} = \frac{479,52 \text{ Wh}}{3,567} \times 1,1 = 147,876 \text{ Wp}$$

Dalam penelitian ini, digunakan *photovoltaic* dengan daya 75 Wp, maka jumlah *photovoltaic* yang dibutuhkan adalah:

$$\text{Jumlah photovoltaic} = \frac{147,876 \text{ Wp}}{75 \text{ Wp}} = \mathbf{2 \text{ buah photovoltaic}}$$

#### 4.5 Perhitungan Kapasitas *Battery Control Regulator* (BCR)

Kapasitas arus yang mengalir pada BCR dapat ditentukan dengan mengetahui daya dari beban yang terpasang. Beban dari penelitian ini adalah lampu LED dengan daya 40 watt.

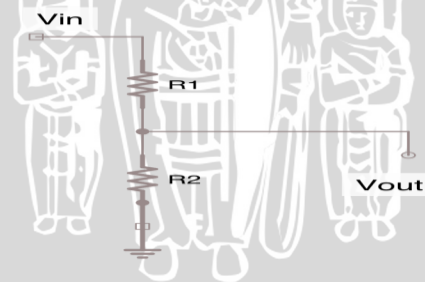
$$\begin{aligned} I_{max} &= \frac{P_{max}}{V_s} \\ &= \frac{40 \text{ watt}}{12 \text{ volt}} \\ &= 3,33 \text{ ampere} \end{aligned}$$

Selain menghitung arus beban yang lewat, perlu diperhatikan arus maksimum dari sumber energi yang terpasang. Arus maksimum dari PMSG sebesar 2 ampere, sedangkan arus maksimum dari *photovoltaic* sebesar 4,22 ampere. Maka kapasitas BCR harus dipilih lebih besar dari 4,22 ampere. Dalam perancangan ini digunakan BCR dengan tipe SDCC-10IP dengan spesifikasi sebagai berikut:

- *Rated Voltage* = 12 volt
- *Rated Charge* = 5 ampere
- *Load Current* = 10 ampere
- *Load Disconnect* = 11,1 volt
- *Load Reconnect* = 12,6 volt
- *Equalization Voltage (10 min)* = 14,6 volt
- *Boost Voltage* = 14,4 volt
- *Float Voltage* = 13,6 volt
- *Self-Consumption* = 6 mA

#### 4.6 Perancangan Rangkaian Pembagi Tegangan untuk Sensor Tegangan

Perancangan rangkaian pembagi tegangan diperlukan untuk menurunkan nilai tegangan keluaran dari *boost converter* menjadi *range* 0-5 V. Hal ini dikarenakan mikrokontroler hanya mampu mendeteksi tegangan masukan hingga 5 V.



Gambar 4.9 Rangkaian pembagi tegangan

Besaran tegangan keluaran yang dihasilkan bergantung pada nilai  $R_1$  dan  $R_2$  sesuai dengan persamaan:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \times V_{in} \quad (4-13)$$

Pada sistem ini diinginkan nilai tegangan masukan sensor berkisar antara 0-24 volt. Maka pada perancangan ini digunakan nilai resistansi resistor sebesar :  $R_1 = 15,5k\Omega$  dan  $R_2 = 4k\Omega$  agar tegangan keluaran sensor tidak melebihi 5 volt.

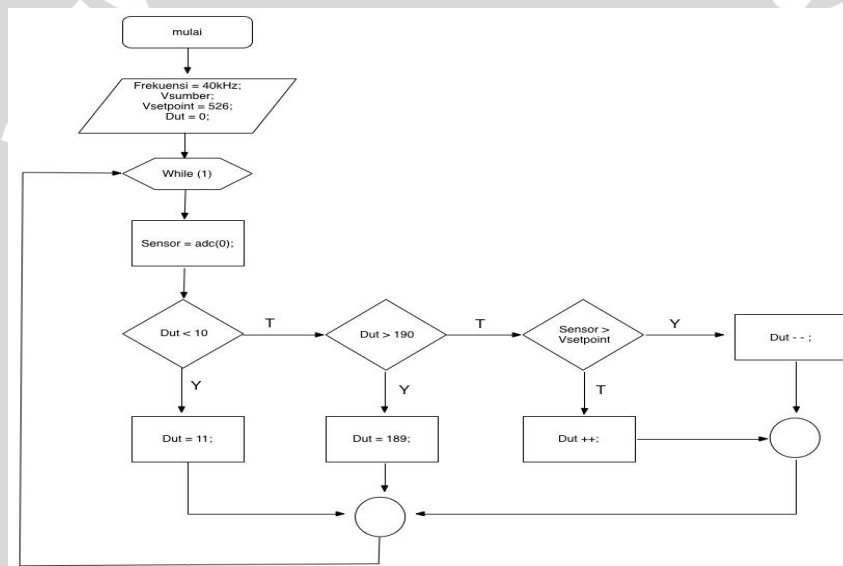


#### 4.7 Perancangan Perangkat Lunak Mikrokontroler

Pada perancangan ini dirancang bahwa mikrokontroler dapat menghasilkan sinyal picu dengan nilai *duty cycle* berubah-ubah agar tegangan keluaran *boost converter* konstan. Mikrokontroler yang digunakan pada perancangan ini adalah mikrokontroler ATMEGA 32. Port dan pin mikrokontroler serta variabel yang akan digunakan pada perancangan perangkat lunak adalah sebagai berikut:

1. ADC diatur 10bit.
2. Keluaran sensor tegangan menjadi masukan di Pin ADC0.
3. Keluaran pulsa picu pada PORT B.
4. Sensor adalah masukan sensor tegangan.
5. Dut adalah besar waktu nyala pulsa picu (*duty cycle*).

Diagram alir perangkat lunak ini dapat dilihat dalam gambar 4.10.



Gambar 4.10 Diagram alir perangkat lunak mikrokontroler

Sinyal picu dibangkitkan pada *setting* awal di program *cvavr* sebelum menulis program dengan menggunakan *Timer1* dan diinterupsi pada *Compare A Match*. Inisialisasi pada program dimulai dengan mendefinisikan nilai frekuensi sinyal picu sebesar 40 kHz dan mendefinisikan nilai *set point* 12,5 volt. Nilai *set point* diubah menjadi bilangan digital untuk ditulis dalam program *cvavr*, dengan rumus:

$$\frac{\text{nilai set point} * \text{perbandingan resistansi sensor}}{5} * 1024$$

$$\frac{12,5 * \frac{4}{19,5}}{5} * 1024 = 526$$

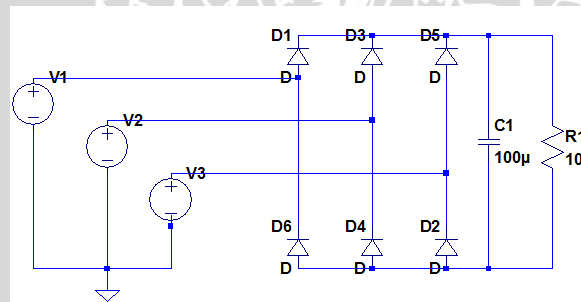
Dengan demikian inialisasi *set point* pada program adalah 526. *Duty cycle* pada sistem ini dikendalikan oleh pembacaan sensor tegangan pada Pin ADC0. Bila pembacaan ADC0 bernilai diatas *set point*, maka nilai *duty cycle* akan diturunkan. Jika pembacaan ADC0 bernilai dibawah *set point*, maka nilai *duty cycle* akan dinaikan. Pada perancangan ini nilai *duty cycle* dibatasi antara 11 dan 189.

#### 4.8 Simulasi Alat

Pada penelitian ini dilakukan dua kali simulasi dengan menggunakan *software* LTspice. Simulasi yang dilakukan adalah simulasi penyearah tak terkontrol tiga fasa dan simulasi *boost-converter*.

##### 4.8.1 Simulasi Penyearah Tak Terkontrol 3 Fasa

Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan keluaran dan bentuk gelombang dari rangkaian penyearah tak terkontrol 3 fasa yang telah dirancang sebelumnya. Pada simulasi ini penyearah tak terkontrol 3 fasa diberi beban resistor 10 ohm. Gambar rangkaian pada simulasi ditunjukkan dalam gambar 4.11.



Gambar 4.11 Rangkaian simulasi penyearah tak terkontrol 3 fasa

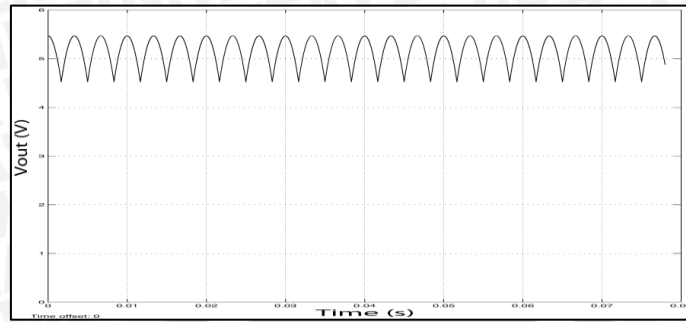
##### 4.8.1.1 Hasil Simulasi Penyearah Tak Terkontrol 3 Fasa

Hasil simulasi ditunjukkan dalam tabel 4.7 dan gambar 4.12.

Tabel 4.7 Hasil simulasi penyearah tak terkontrol 3 fasa

Vin rms (V)	Iin rms (A)	Vout rms (V)	Iout rms (A)
5	0,82	5,126	1,004
10	1,775	11,048	2,170
15	2,735	16,980	3,338
20	3,683	22,915	4,507
25	4,643	28,850	5,676
30	5,600	34,788	6,846
35	6,566	40,725	8,014
40	7,540	46,663	9,175
45	8,475	52,602	10,353
50	9,451	58,544	11,523





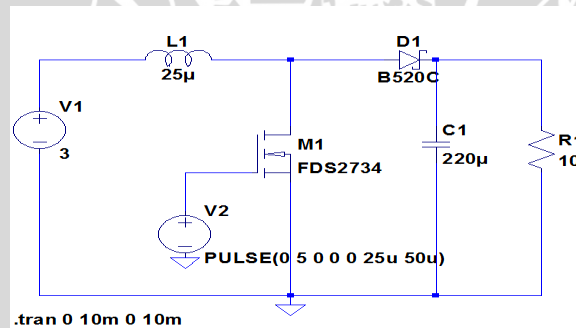
Gambar 4.12 Hasil simulasi penyearah tak terkontrol 3 fasa

#### 4.8.1.2 Analisis Hasil Simulasi Penyearah Tak Terkontrol 3 Fasa

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, dapat dilihat dalam gambar 4.12 dan tabel 4.7 bentuk kurva gelombang dan nilai tegangan keluaran penyearah 3 fasa sudah sesuai dengan dasar teori yang sudah disampaikan pada bab sebelumnya.

#### 4.8.2 Simulasi Boost Converter

Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan keluaran dan efisiensi yang dihasilkan pada setiap nilai *duty cycle* oleh rangkaian *boost converter* yang telah dirancang sebelumnya. Pada simulasi ini rangkaian *boost converter* diberi beban sebesar 10 ohm. Rangkaian simulasi *boost converter* ditunjukkan dalam gambar 4.13.



Gambar 4.13 Rangkaian simulasi boost converter

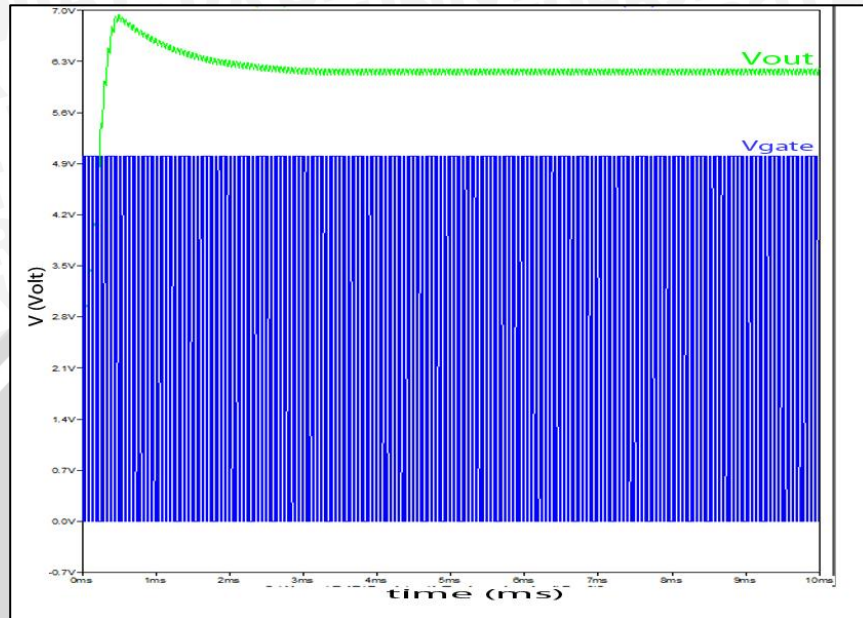
##### 4.8.2.1 Hasil Simulasi Boost Converter

Hasil simulasi ditunjukkan dalam tabel 4.7 dan gambar 4.14.

Tabel 4.8 Hasil simulasi boost converter

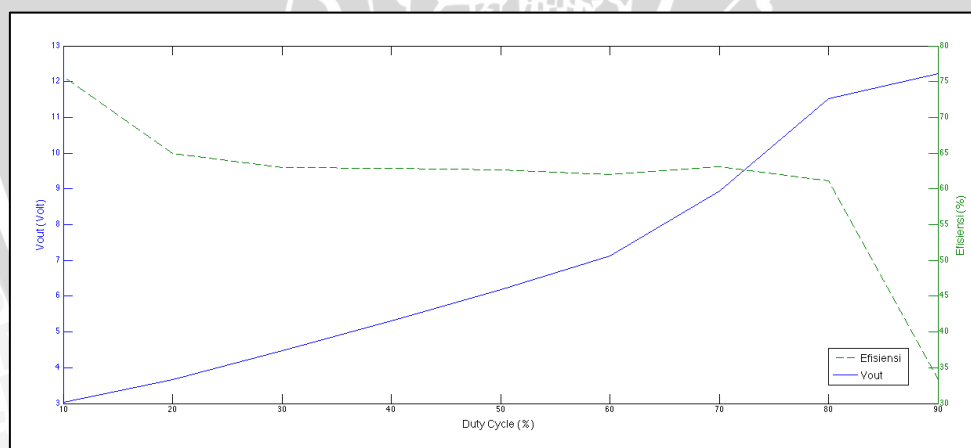
D (%)	Vin (V)	Iin (A)	Pin (W)	Vo <sub>rms</sub> (V)	Io <sub>rms</sub> (A)	Pout (W)	Efisiensi (%)
10	3	0,407	1,221	3,040	0,304	0,924	75,674
20	3	0,694	2,081	3,676	0,368	1,351	64,923
30	3	1,059	3,178	4,475	0,448	2,003	63,012
40	3	1,494	4,483	5,310	0,531	2,820	62,908
50	3	2,032	6,097	6,181	0,618	3,820	62,654

60	3	2,728	8,185	7,124	0,712	5,075	62,008
70	3	4,215	12,644	8,932	0,893	7,978	63,103
80	3	7,467	22,402	11,517	1,190	13,705	61,179
90	3	14,925	44,775	12,216	1,222	14,923	33,329



Gambar 4.14 Hasil simulasi *boost converter*

#### 4.8.2.2 Analisis Hasil Simulasi *Boost Converter*



Gambar 4.15 Karakteristik *boost converter* hasil simulasi

Berdasarkan hasil simulasi, dapat disimpulkan bahwa semakin besar *duty cycle* maka tegangan keluaran dari *boost converter* akan semakin besar. Sedangkan nilai efisiensinya akan turun seiring kenaikan nilai *duty cycle*.



## BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

### 5.1 Pengujian Generator Magnet Permanen

#### 5.1.1 Tujuan

Pengujian generator magnet permanen bertujuan untuk mengetahui besaran nilai tegangan, arus, daya, dan torsi dalam berbagai variasi putaran. Variasi putaran yang digunakan adalah 100 rpm-3000 rpm. Pengujian ini dilakukan dengan dua keadaan yaitu tanpa beban dan berbeban.

#### 5.1.2 Peralatan

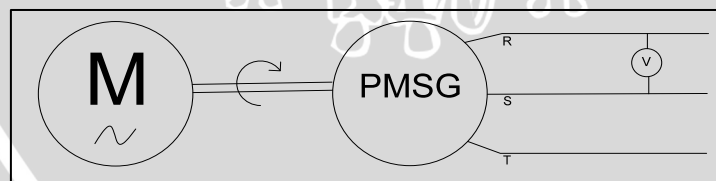
Peralatan yang dilakukan dalam pengujian ini adalah:

1. Generator Magnet Permanen.
2. *Variable speed motor*.
3. Amperemeter.
4. Voltmeter.
5. Tachometer.
6. Resistor Variabel.
7. Cos phi meter

#### 5.1.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian generator magnet permanen adalah sebagai berikut:

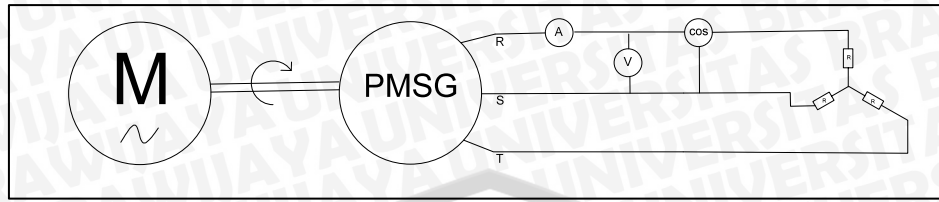
- Pengujian Tanpa Beban:
  1. Menyusun rangkaian seperti dalam gambar 5.1.



Gambar 5.1 Rangkaian pengujian generator magnet permanen tanpa beban

2. Putar generator magnet permanen dengan *variable speed motor*.
3. Ukur dan catat tegangan setiap perubahan kecepatan putar generator magnet permanen.
4. Gambar grafik karakteristik tegangan ( $V_{L-L}$ ) fungsi kecepatan putar generator magnet permanen ( $n$ ).

- Pengujian Berbeban:
  1. Menyusun rangkaian seperti dalam gambar 5.2.



Gambar 5.2 Rangkaian pengujian magnet permanen berbeban

2. Atur resistor variabel sehingga memiliki resistansi sebesar  $10 \Omega$ .
3. Putar generator magnet permanen dengan *variable speed motor*.
4. Mengukur dan mencatat tegangan dan arus pada setiap variasi putaran.
5. Hitung daya yang dihasilkan generator magnet permanen dengan rumus

$$P_{out} = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I_{L-L} \cdot \cos \varphi$$

6. Hitung torsi yang dihasilkan dengan rumus  $T = \frac{P_{out}}{2\pi \cdot \frac{n}{60} \cdot \eta}$ .
7. Gambar grafik karakteristik daya (P) dan Torsi (T) fungsi kecepatan putar generator magnet permanen (n).

#### 5.1.4 Hasil Pengujian

- Pengujian tanpa beban:

Hasil pengujian generator magnet permanen tanpa beban ditunjukkan dalam tabel

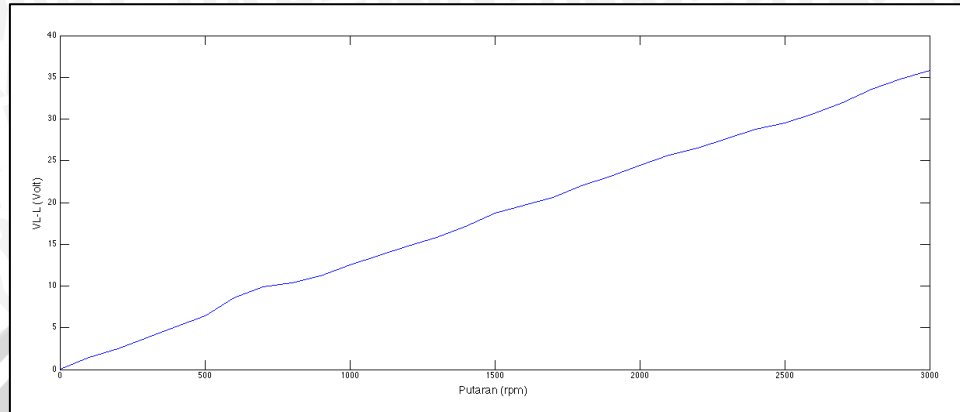
5.1.

Tabel 5.1 Hasil pengujian generator magnet permanen tanpa beban

n (rpm)	V <sub>L-L</sub> (volt)	n (rpm)	V <sub>L-L</sub> (volt)
100	1,410	1600	19,700
200	2,512	1700	20,610
300	3,810	1800	21,980
400	5,140	1900	23,150
500	6,400	2000	24,500
600	8,550	2100	25,660
700	9,880	2200	26,560
800	10,340	2300	27,650
900	11,240	2400	28,750
1000	12,550	2500	29,550
1100	13,630	2600	30,650
1200	14,750	2700	32,010
1300	15,860	2800	33,540
1400	17,130	2900	34,760
1500	18,700	3000	35,800



Berdasarkan tabel 5.1 dapat diketahui bahwa nilai tegangan yang dihasilkan oleh generator magnet permanen pada putaran nominal (3000 rpm) sebesar 35,8 V. Dari hasil pengujian tersebut, dapat digambarkan suatu grafik  $V_{out}=f(n)$  yang ditunjukkan dalam gambar 5.3.



Gambar 5.3 Hasil pengujian generator magnet permanen tanpa beban

Berdasarkan grafik dalam gambar 5.3 dapat diketahui bahwa grafik  $V=f(n)$  adalah linear dan berbanding lurus. Semakin besar nilai kecepatannya ( $n$ ) maka semakin besar pula nilai tegangan keluarannya ( $V_{L-L}$ ).

- Pengujian berbeban

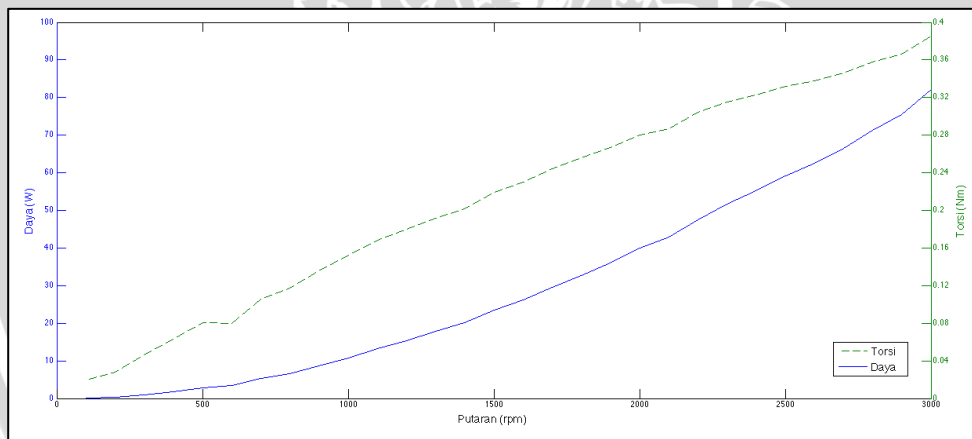
Hasil pengujian generator magnet permanen berbeban dengan variasi beban yang berbeda ditunjukkan dalam tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil pengujian generator magnet permanen berbeban

<b>n (rpm)</b>	<b><math>I_{L-L}</math> (A)</b>	<b><math>V_{L-L}</math> (V)</b>	<b><math>\text{Cos } \varphi</math></b>	<b><math>P_{out}</math> (watt)</b>	<b>T (Nm)</b>
100	0,074	1,315	0,850	0,143	0,020
200	0,125	2,195	0,850	0,404	0,028
300	0,195	3,448	0,850	0,990	0,046
400	0,262	4,680	0,850	1,805	0,063
500	0,331	5,950	0,850	2,900	0,081
600	0,361	6,430	0,850	3,417	0,080
700	0,448	8,020	0,850	5,290	0,106
800	0,500	9,050	0,850	6,662	0,117
900	0,571	10,340	0,850	8,692	0,136
1000	0,637	11,550	0,850	10,832	0,152
1100	0,702	12,730	0,850	13,157	0,168
1200	0,758	13,790	0,850	15,389	0,180
1300	0,815	14,820	0,850	17,782	0,192
1400	0,866	15,780	0,850	20,119	0,202
1500	0,934	17,040	0,850	23,431	0,219
1600	0,987	18,050	0,850	26,229	0,230
1700	1,048	19,160	0,850	29,562	0,244

1800	1,103	20,180	0,850	32,770	0,256
1900	1,158	21,170	0,850	36,092	0,267
2000	1,218	22,240	0,850	39,881	0,280
2100	1,265	23,060	0,850	42,947	0,287
2200	1,330	24,300	0,850	47,581	0,304
2300	1,380	25,400	0,850	51,605	0,315
2400	1,430	26,180	0,850	55,117	0,323
2500	1,481	27,100	0,850	59,089	0,332
2600	1,524	27,850	0,850	62,487	0,338
2700	1,583	28,500	0,850	66,421	0,346
2800	1,630	29,720	0,850	71,321	0,358
2900	1,680	30,510	0,850	75,462	0,366
3000	1,741	32,030	0,850	82,099	0,385

Berdasarkan tabel 5.2 dapat diketahui bahwa nilai tegangan, arus, daya, dan torsi maksimal yang dihasilkan generator magnet permanen pada keadaan berbeban berturut-turut adalah 32,030 V; 1,741 A; 82,099 W; 0,385 Nm. Dari hasil pengujian tersebut, dapat digambarkan grafik  $P=f(n)$  dan  $T=f(n)$  yang ditunjukkan dalam gambar 5.4.



Gambar 5.4 Hasil pengujian generator magnet permanen berbeban

### 5.1.5 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan grafik dalam gambar 5.3 dapat diketahui bahwa grafik pengujian tanpa beban  $V=f(n)$  adalah linier berbanding lurus. Semakin besar nilai putaran ( $n$ ) maka nilai tegangan ( $V$ ) akan semakin besar.

Berdasarkan grafik dalam gambar 5.4 dapat diketahui bahwa grafik pengujian berbeban  $P=f(n)$  dan  $T=f(n)$  adalah linier dan berbanding lurus. Semakin besar nilai putaran ( $n$ ), maka nilai daya ( $P$ ) dan torsi ( $T$ ) yang dihasilkan oleh generator magnet permanen akan semakin besar.



## 5.2 Pengujian Penyearah Tak Terkontrol 3 Fasa

### 5.2.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari penyearah tak terkontrol 3 fasa dalam menyearahkan arus bolak-balik. Pengujian ini dilakukan dengan cara menganalisis bentuk gelombang keluaran dan membandingkan nilai tegangan keluaran antara teori dan praktek pada setiap perubahan nilai tegangan masukan.

### 5.2.2 Peralatan

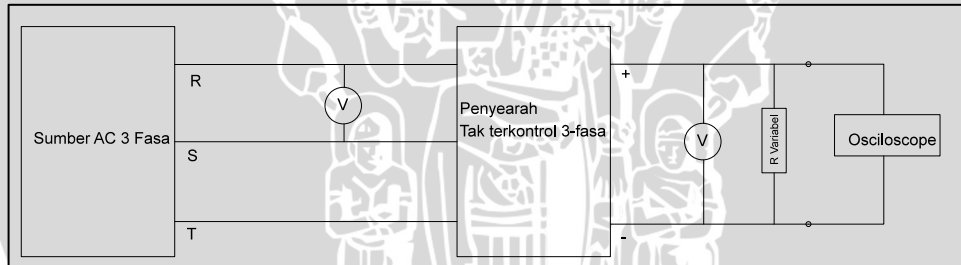
Peralatan yang dibutuhkan dalam pengujian ini adalah:

1. Penyearah tak terkontrol 3 fasa.
2. Sumber tegangan AC 3 fasa.
3. Voltmeter.
4. Osiloskop
5. Resistor variabel

### 5.2.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian penyearah 3 fasa tak terkontrol adalah sebagai berikut:

1. Menyusun rangkaian seperti dalam gambar 5.5.



Gambar 5.5 Rangkaian pengujian penyearah tak terkontrol 3 fasa

2. Atur resistor variabel sehingga memiliki resistansi sebesar  $10 \Omega$ .
3. Naikan tegangan sumber tahap demi tahap dari 0 V hingga 40 V.
4. Mengukur tegangan keluaran dan amati gelombang keluaran di osiloskop.
5. Hitung dan bandingkan nilai teori dengan hasil pengukuran.

### 5.2.4 Hasil Pengujian

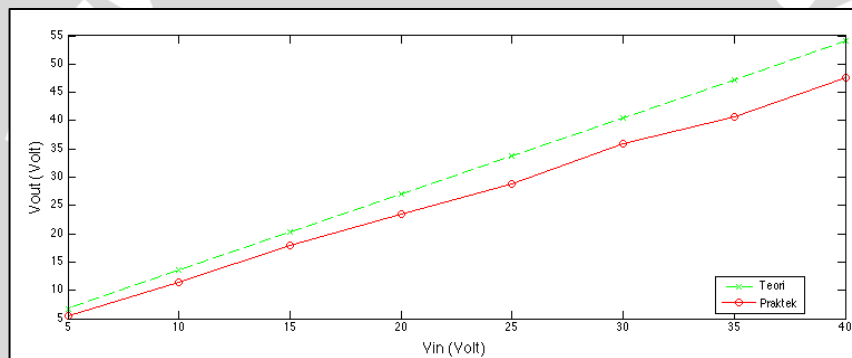
Data hasil pengujian rangkaian penyearah tak terkontrol 3-fasa adalah sebagai berikut:

1. Nilai tegangan keluaran penyearah tak terkontrol 3-fasa dalam setiap nilai tegangan masukan ditunjukkan dalam tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil pengujian penyearah tak terkontrol 3 fasa

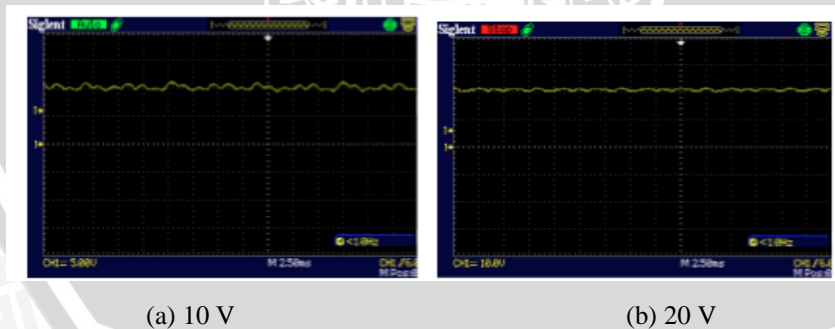
No.	Vin (volt)	Vout (volt)		Error (%)
		Praktek	Teori	
1	5	5,45	6,75	19,26
2	10	11,52	13,51	14,73
3	15	17,98	20,26	11,25
4	20	23,42	27,01	13,29
5	25	28,85	33,76	14,54
6	30	35,88	40,52	11,45
7	35	40,75	47,22	13,70
8	40	47,63	54,02	11,83
Error <sub>rata-rata</sub>				13,76

2. Grafik  $V_{out}=f(V_{in})$  hasil pengujian penyearah tak terkontrol 3 fasa ditunjukkan dalam gambar 5.6.



Gambar 5.6 Hasil pengujian penyearah tak terkontrol 3 fasa

3. Contoh bentuk gelombang tegangan keluaran penyearah tak terkontrol 3 fasa.



Gambar 5.7 Bentuk gelombang tegangan keluaran penyearah tak terkontrol 3 fasa

### 5.2.5 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan data hasil pengujian rangkaian penyearah tak terkontrol 3-fasa menunjukkan bahwa terjadi kenaikan nilai tegangan keluaran dari penyearah tak terkontrol 3-fasa. Hal ini sesuai dengan teori yang dibuktikan dengan persamaan:

$$V_O = \frac{3 V_{mL-L}}{\pi} = 0,955 \cdot V_{mL-L} \quad (5-1)$$

Berdasarkan data hasil pengujian dalam tabel 5.4, diperoleh nilai eror terendah, tertinggi, dan rata-rata berturut-turut sebesar 11,25%, 19,26%, dan 13,76%. Nilai eror yang cukup tinggi dikarenakan perhitungan secara teori komponen dioda dianggap ideal, sedangkan pada prakteknya ada jatuh tegangan pada setiap dioda pada saat dioda konduksi.

### 5.3 Pengujian Pembangkit sinyal picu

#### 5.3.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bentuk pembangkit sinyal picu dan nilai *duty cycle* maksimum dan minimum yang bisa dibangkitkan mikrokontroler. Mikrokontroler diprogram untuk dapat menghasilkan gelombang kotak dengan frekuensi 40 kHz pada *duty cycle* (D) tertentu.

#### 5.3.2 Peralatan

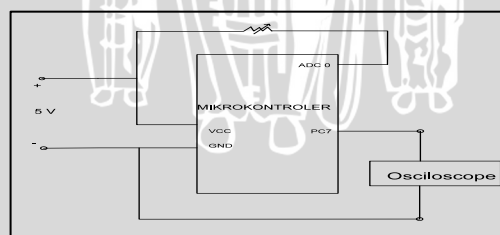
Peralatan yang dibutuhkan dalam pengujian ini adalah:

1. Mikrokontroler.
2. Resistor variabel.
3. Osiloskop.
4. Sumber DC 5 volt.

#### 5.3.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian pembangkit sinyal picu adalah sebagai berikut:

1. Menyusun rangkaian seperti dalam gambar 5.8.



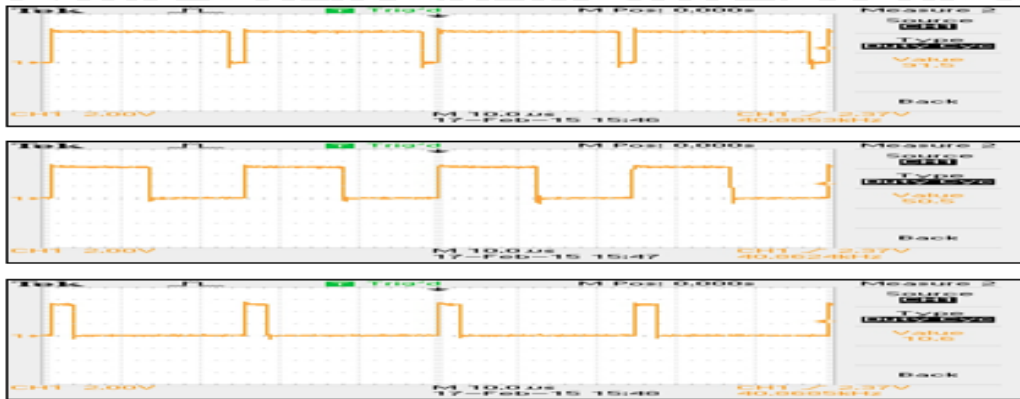
Gambar 5.8 Rangkaian pengujian pembangkit sinyal picu

2. Mencari nilai *duty cycle* maksimal dengan cara mengatur resistor variabel hingga nilai resistansinya 0  $\Omega$ .
3. Mencari nilai *duty cycle* minimal dengan cara mengatur resistor variabel hingga nilai resistansinya maksimum.
4. Catat dan amati bentuk gelombang yang dihasilkan mikrokontroler pada osiloskop.



### 5.3.4 Hasil Pengujian

Data hasil pengujian pembangkit sinyal picu dari hasil pengamatan di osiloskop pada nilai *duty cycle* 91,5%, 50,5%, dan 10,6% ditunjukkan dalam gambar 5.9.



Gambar 5.9 Hasil pengujian Pembangkit sinyal picu pada nilai *duty cycle* 91,5%, 50,5%, dan 10,6%

### 5.3.5 Analisis Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian yang didapatkan bahwa bentuk gelombang sesuai dengan apa yang telah dirancang yaitu gelombang kotak dengan dengan pengaturan lebar pulsa (PWM).

Nilai maksimal dan minimal *duty cycle* yang dapat dibangkitkan oleh rangkaian picu berturut-turut adalah sebesar 91,5% dan 10,6%. Bila nilai *duty cycle* diatur dibawah 10,6%, maka *duty cycle* yang dibangkitkan tetap akan bernilai 10,6% karena itu sudah melewati kemampuan dari rangkaian picu.

## 5.4 Pengujian Sensor Tegangan

### 5.4.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui linearitas dan nilai eror dari sensor tegangan. Hasil dari sensor ini berupa tegangan DC untuk dapat digunakan sebagai input ADC mikrokontroler.

### 5.4.2 Peralatan

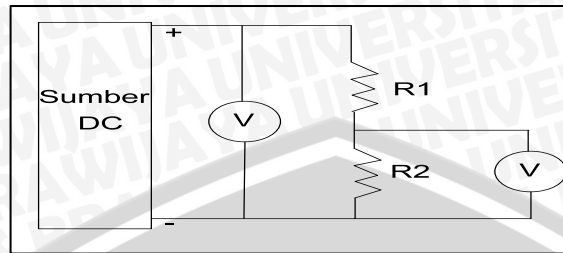
Peralatan yang dibutuhkan dalam pengujian ini adalah:

1. Sensor tegangan.
2. Sumber DC.
3. Voltmeter.

### 5.4.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian sensor tegangan dan arus adalah sebagai berikut:

1. Menyusun rangkaian seperti dalam gambar 5.10.



Gambar 5.10 Rangkaian pengujian sensor tegangan

2. Naikan tegangan sumber tahap demi tahap.
3. Mengukur tegangan keluaran sensor pada setiap kenaikan tegangan.
4. Hitung dan bandingkan nilai teori dengan praktek.

### 5.4.4 Hasil Pengujian

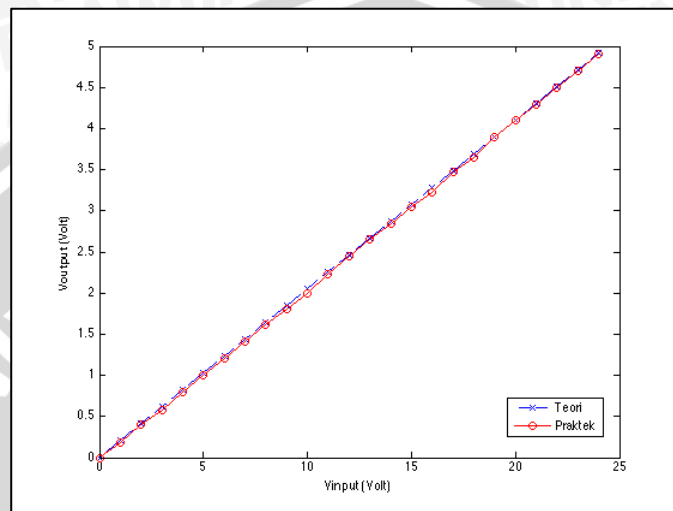
Data hasil pengujian sensor tegangan ditunjukkan dalam tabel 5.4

Tabel 5.4 Hasil pengujian sensor tegangan

Vin (volt)	Vout (volt)		Error (%)
	Teori	Praktek	
0	0.000	0.000	0.000
1	0.205	0.190	7.375
2	0.410	0.400	2.500
3	0.615	0.580	5.750
4	0.821	0.792	3.475
5	1.026	1.001	2.403
6	1.231	1.200	2.500
7	1.436	1.410	1.804
8	1.641	1.610	1.891
9	1.846	1.810	1.958
10	2.051	2.001	2.451
11	2.256	2.230	1.170
12	2.462	2.455	0.266
13	2.667	2.651	0.588
14	2.872	2.850	0.759
15	3.077	3.050	0.875
16	3.282	3.230	1.586
17	3.487	3.470	0.493
18	3.692	3.650	1.146
19	3.897	3.890	0.191
20	4.103	4.100	0.062
21	4.308	4.298	0.225

22	4.513	4.501	0.262
23	4.718	4.705	0.274
24	4.923	4.910	0.266
<b>Error rata-rata</b>			<b>1,611</b>

Dari data hasil pengujian sensor tegangan, dapat dibuat grafik  $V_{out} = f(V_{in})$  seperti ditunjukkan dalam gambar 5.11.



Gambar 5.11 Hasil pengujian sensor tegangan

#### 5.4.5 Analisis Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian sensor tegangan didapatkan bahwa nilai eror terendah, terbesar, dan rata-rata adalah 0%; 7,375%; 1,611%. Nilai eror disini merupakan perbandingan nilai praktek dengan nilai teori. Didapatkan bahwa semakin kecil nilai tegangan masukan dari sensor, maka nilai erornya pun meningkat. Hal ini dapat disimpulkan dengan melihat nilai eror terbesar yang terjadi saat nilai tegangan masukan dari sensor sebesar 1 volt. Didapatkan pula sensitivitas dari sensor sebesar 0,2 volt per 1 volt tegangan masukan.

### 5.5 Pengujian *Boost Converter*

#### 5.5.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi dari rangkaian *boost converter*.

#### 5.5.2 Peralatan

Peralatan yang dibutuhkan dalam pengujian ini adalah:

1. *Boost converter*.

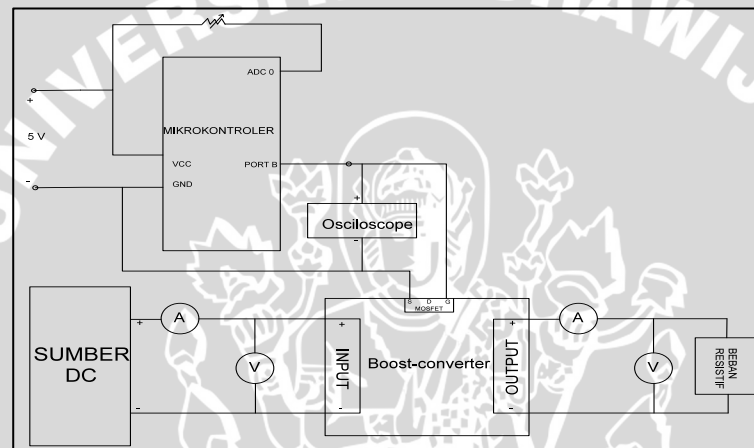


2. Sumber DC.
3. Voltmeter.
4. Amperemeter.
5. Mikrokontroler.
6. Resistor variabel.
7. Beban resistif 300 Ohm.
8. Osiloskop

### 5.5.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian *boost converter* adalah sebagai berikut:

1. Menyusun rangkaian seperti dalam gambar 5.12.



Gambar 5.12 Rangkaian pengujian *boost converter*

2. Naikan sumber DC sampai tegangan tertentu.
3. Naikan nilai *duty cycle* dari nilai terendah sampai nilai maksimal.
4. Ukur tegangan dan arus masukan serta tegangan dan arus keluaran *boost converter*.
5. Hitung daya masukan, daya keluaran, dan efisiensi dari *boost converter*.

### 5.5.4 Hasil Pengujian

Data hasil pengujian *boost converter* ditunjukkan dalam tabel 5.5 dan 5.6

Tabel 5.5 Hasil pengujian *boost converter* dengan  $V_{in} = 3$  volt

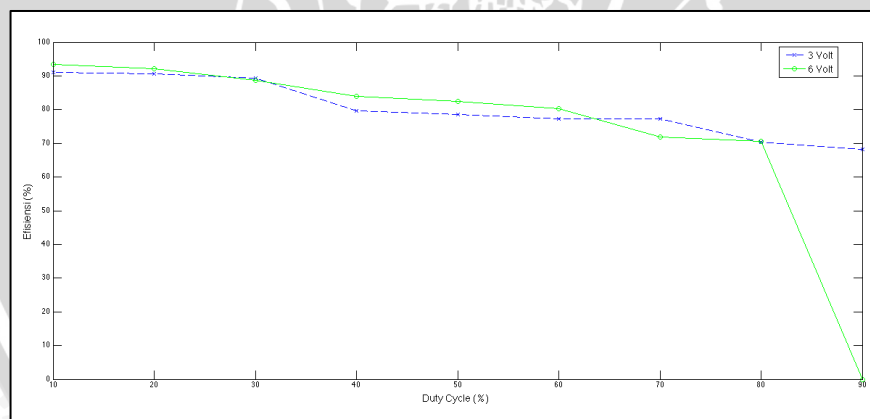
D (%)	$V_{in}$ (V)	$I_{in}$ (A)	$P_{in}$ (W)	$V_{out}$ (V)	$I_{out}$ (A)	$P_{out}$ (W)	Efisiensi (%)
10	3	0,060	0,180	3,900	0,042	0,164	91,000
20	3	0,088	0,264	5,200	0,046	0,239	90,606
30	3	0,150	0,450	6,700	0,060	0,402	89,333
40	3	0,250	0,750	8,300	0,072	0,598	79,680
50	3	0,350	1,050	9,700	0,085	0,825	78,524
60	3	0,500	1,500	11,700	0,099	1,158	77,220

70	3	0,640	1,920	13,500	0,110	1,485	77,344
80	3	1,000	3,000	15,500	0,136	2,108	70,267
90	3	1,800	5,400	20,000	0,184	3,680	68,148
<b>Efisiensi<sub>rata-rata</sub></b>							80,236

Tabel 5.6 Hasil pengujian boost converter dengan  $V_{in} = 6$  volt

D (%)	$V_{in}$ (V)	$I_{in}$ (A)	$P_{in}$ (W)	$V_{out}$ (V)	$I_{out}$ (A)	$P_{out}$ (W)	Efisiensi (%)
10	6	0,092	0,552	7,700	0,067	0,516	93,478
20	6	0,190	1,140	10,500	0,100	1,050	92,105
30	6	0,330	1,980	13,500	0,130	1,755	88,636
40	6	0,520	3,120	16,800	0,156	2,621	84,006
50	6	0,750	4,500	19,500	0,190	3,705	82,333
60	6	1,050	6,300	23,000	0,220	5,060	80,317
70	6	1,400	8,400	26,000	0,232	6,032	71,810
80	6	1,850	11,100	29,000	0,270	7,830	70,541
90	6	-	-	-	-	-	-
<b>Efisiensi<sub>rata-rata</sub></b>							82,903

Dari data hasil pengujian *boost converter*, dapat digambarkan grafik efisiensi fungsi *duty cycle* dengan nilai tegangan masukan ( $V_{in}$ ) 3 volt dan 6 volt seperti ditunjukkan dalam gambar 5.13.

Gambar 5.13 Hasil pengujian *boost converter*

### 5.5.5 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan tabel 5.5 dan 5.6 didapatkan bahwa nilai efisiensi rata-rata untuk  $V_{in}=3$  volt dan  $V_{in}=6$  volt adalah 80,236 % dan 82,903 %.

Berdasarkan gambar 5.14 didapatkan bahwa semakin besar nilai *duty cycle* maka efisiensi dari *boost converter* akan turun. Hal ini terjadi karena rugi-rugi yang dihasilkan komponen penyusun rangkaian *boost converter* meningkat seiring meningkatnya nilai *duty cycle* (Daniel W. Hart, 2011: 220).

## 5.6 Pengujian *Boost Converter* Dengan Umpan Balik

### 5.6.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui efek dari perubahan tegangan keluaran *boost converter* dalam keadaan umpan balik dengan nilai *set point* sebesar 12,5 volt.

### 5.6.2 Peralatan

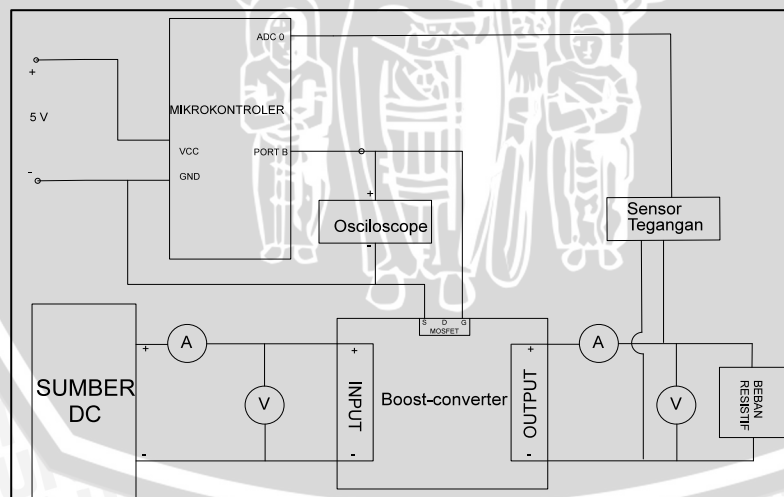
Peralatan yang dibutuhkan dalam pengujian ini adalah:

1. *Boost converter*.
2. Sumber DC.
3. Voltmeter.
4. Amperemeter.
5. Mikrokontroler.
6. Sensor Tegangan.
7. Beban resistif 300 Ohm.
8. Osiloskop.

### 5.6.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian *boost converter* dengan umpan balik adalah sebagai berikut:

1. Menyusun rangkaian seperti dalam gambar 5.14.



Gambar 5.14 Rangkaian pengujian *boost converter* dengan umpan balik

2. Naikan tegangan sumber DC secara bertahap.
3. Ukur tegangan dan arus masukan serta tegangan dan arus keluaran *boost converter*.
4. Baca nilai *duty cycle* pada osiloskop.



5. Catat hasil pembacaan dan pengukuran pada setiap tahap kenaikan tegangan.

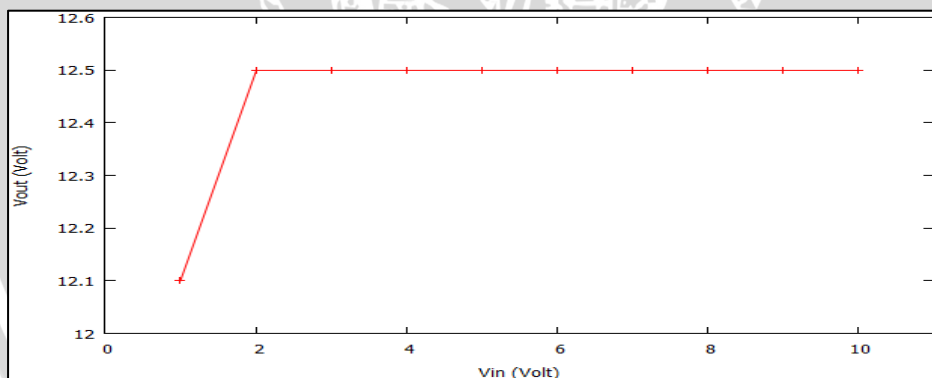
#### 5.6.4 Hasil Pengujian

Data hasil pengujian *boost converter* dengan umpan balik ditunjukkan dalam tabel 5.7.

Tabel 5.7 Hasil pengujian *boost converter* dengan umpan balik

Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	D (%)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi (%)
1,000	0,270	12,100	0.015	91	0,270	0,182	67.22
2,000	0,300	12,500	0.034	84	0,600	0,425	70.83
3,000	0,320	12,500	0.055	75	0,960	0,688	71.61
4,000	0,340	12,500	0.085	68	1,360	1,063	78.13
5,000	0,370	12,500	0.120	50	1,850	1,500	81.08
6,000	0,390	12,500	0.160	45	2,340	2,000	85.47
7,000	0,400	12,500	0.192	40	2,800	2,375	85.71
8,000	0,430	12,500	0.236	35	3,440	2,875	85.76
9,000	0,450	12,500	0.280	28	4,050	3,500	86.42
10,000	0,470	12,500	0.330	20	4,700	3,875	87.77

Dari data hasil pengujian tersebut, dapat digambarkan tegangan keluaran fungsi tegangan masukan seperti ditunjukkan dalam gambar 5.15.



Gambar 5.15 Hasil pengujian *boost converter* dengan umpan balik

#### 5.6.5 Analisis Hasil pengujian

Berdasarkan tabel 5.7 dan gambar 5.15 didapatkan bahwa tegangan keluaran *boost converter* mencapai nilai *set point* ketika tegangan masuknya sebesar 2 volt dengan nilai *duty cycle* sebesar 84%. Bila tegangan masukan diturunkan maka tegangan keluaran dari *boost converter* akan berada dibawah tegangan *set point*-nya.

## 5.7 Pengujian Baterai

### 5.7.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan baterai dalam menanggung beban sesuai dengan rancangan awal bahwa baterai dirancang dapat bertahan selama dua hari untuk menanggung beban lampu penerangan jalan umum tanpa ada sumber energi.

### 5.7.2 Peralatan

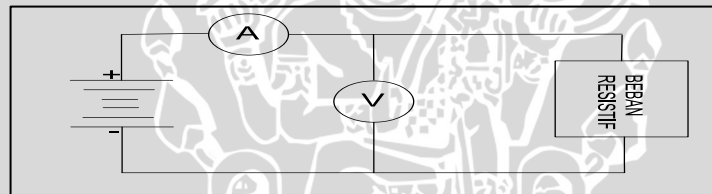
Peralatan yang dibutuhkan dalam pengujian ini adalah:

1. Baterai VRLA.
2. Ammeter.
3. Voltmeter.
4. Beban resistif.

### 5.7.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian baterai adalah sebagai berikut:

1. Menyusun rangkaian baterai seperti dalam gambar 5.16.



Gambar 5.16 Rangkaian pengujian baterai

2. Atur nilai beban resistif sehingga arus yang mengalir sebesar 3,33 ampere.
3. Mengukur nilai tegangan baterai tiap jamnya selama tiga hari menggunakan voltmeter.

### 5.7.4 Hasil Pengujian

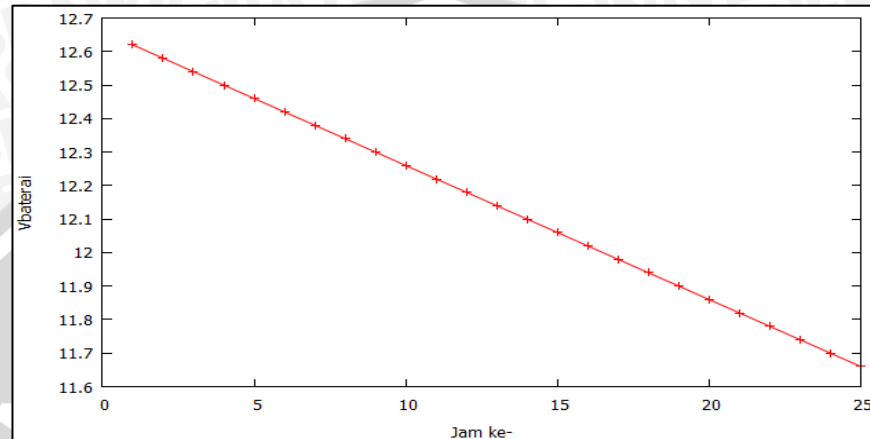
Data hasil pengujian baterai ditunjukkan dalam tabel 5.8.

Tabel 5.8 Hasil pengujian baterai

Hari Pertama		Hari Kedua		Hari Ketiga	
Jam ke-	V <sub>Baterai</sub> (V)	Jam ke-	V <sub>Baterai</sub> (V)	Jam ke-	V <sub>Baterai</sub> (V)
1	12,62	1	12,14	1	11,66
2	12,58	2	12,10	2	-
3	12,54	3	12,06	3	-
4	12,50	4	12,02	4	-
5	12,46	5	11,98	5	-
6	12,42	6	11,94	6	-
7	12,38	7	11,90	7	-
8	12,34	8	11,86	8	-

9	12,30	9	11,82	9	-
10	12,26	10	11,78	10	-
11	12,22	11	11,74	11	-
12	12,18	12	11,70	12	-

Dari data hasil pengujian baterai dapat dibuat grafik tegangan baterai fungsi waktu untuk memudahkan proses analisis data seperti ditunjukkan dalam gambar 5.17.



Gambar 5.17 Hasil pengujian baterai

### 5.7.5 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan tabel 5.8 dan grafik pada gambar 5.17 dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan tegangan baterai tiap jamnya sebesar 0,04 volt. Pengujian baterai pada jam ke dua pada hari ketiga tidak dilanjutkan karena dengan mengacu pada *state of charge standard batteries* dalam tabel 5.9 nilai *percentage of charge* dari baterai sudah mencapai 20%. Agar tidak merusak dan mengurangi kapasitas baterai maka proses pengujian dihentikan.

Tabel 5.9 *State of charge standard batteries*

Percentage of Charge	Specific Gravity Corrected to 80o F	Open-Circuit Voltage					
		6V	8V	12V	24V	36V	48V
100	1.277	6.37	8.49	12.73	25.46	38.20	50.93
90	1.258	6.31	8.41	12.62	25.24	37.85	50.47
80	1.238	6.25	8.33	12.50	25.00	37.49	49.99
70	1.217	6.19	8.25	12.37	24.74	37.12	49.49
60	1.195	6.12	8.16	12.24	24.48	36.72	48.96
50	1.172	6.05	8.07	12.10	24.20	36.31	48.41
40	1.148	5.98	7.97	11.96	23.92	35.87	47.83
30	1.124	5.91	7.88	11.81	23.63	35.44	47.26
20	1.098	5.83	7.77	11.66	23.32	34.97	46.63
10	1.073	5.75	7.67	11.51	23.02	34.52	46.03

Sumber: <http://www.cartaholics.com>



## 5.8 Pengujian *Wind Turbine Generator*

### 5.8.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh *wind turbine generator* pada setiap variasi kecepatan putaran.

### 5.8.2 Peralatan

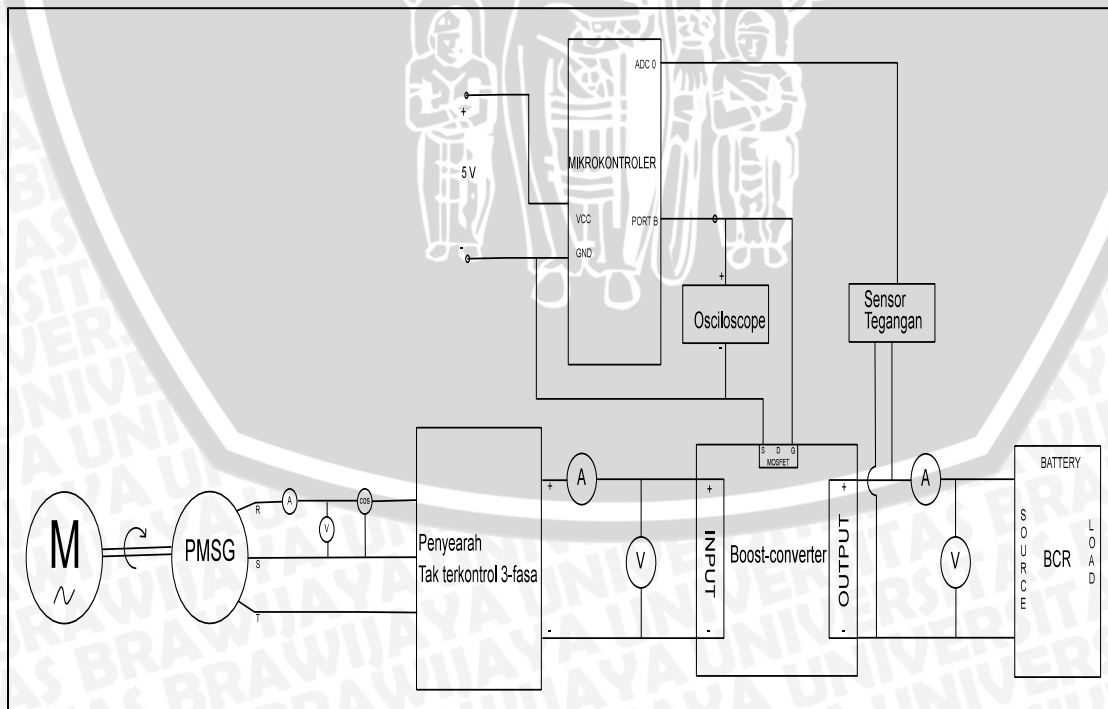
Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. *Variable speed motor*.
2. PMSG.
3. Penyearah tak terkontrol 3-fasa.
4. *Boost converter*.
5. Mikrokontroler.
6. Sensor tegangan.
7. BCR.
8. Baterai.
9. Ammeter, Voltmeter, dan Osiloskop.

### 5.8.3 Prosedur Pengujian

Prosedur dalam pengujian *wind turbine generator* adalah:

1. Menyusun rangkaian seperti dalam gambar 5.18.

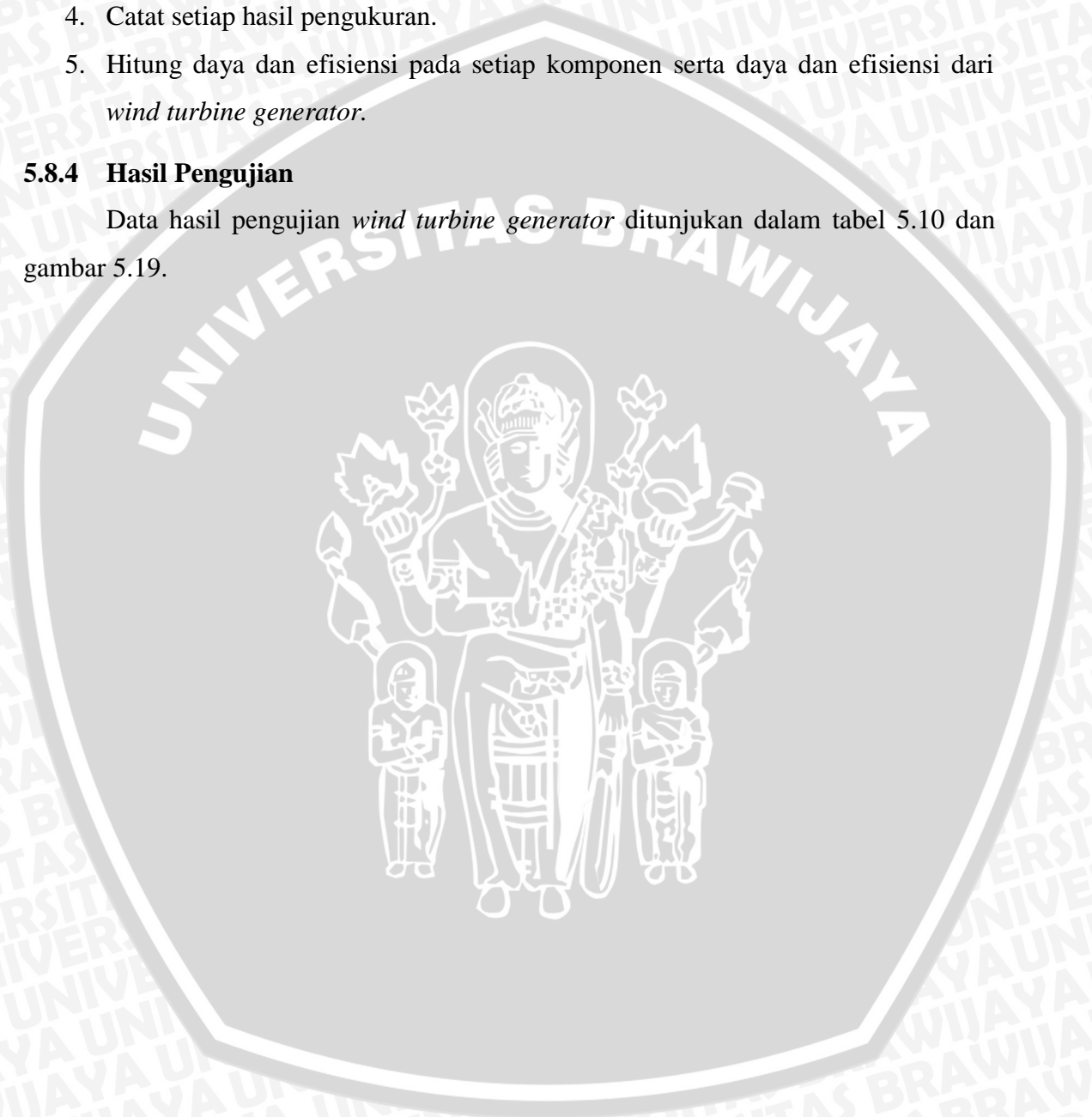


Gambar 5.18 Rangkaian pengujian *wind turbine generator*

2. Putar PMSG oleh motor dengan variasi putaran antara 100-1500 rpm.
3. Pada setiap kenaikan putaran, ukur tegangan PMSG ( $V_{L-L}$ ), arus PMSG ( $I_{L-L}$ ),  $\cos \varphi$ , tegangan keluaran penyearah ( $V_{dc}$ ), arus keluaran penyearah ( $I_{dc}$ ), *duty cycle* ( $D$ ), tegangan keluaran *boost converter* ( $V_{boost}$ ), arus keluaran *boost converter* ( $I_{boost}$ ), tegangan dan arus menuju baterai ( $V_{batt}$  dan  $I_{batt}$ ).
4. Catat setiap hasil pengukuran.
5. Hitung daya dan efisiensi pada setiap komponen serta daya dan efisiensi dari *wind turbine generator*.

#### 5.8.4 Hasil Pengujian

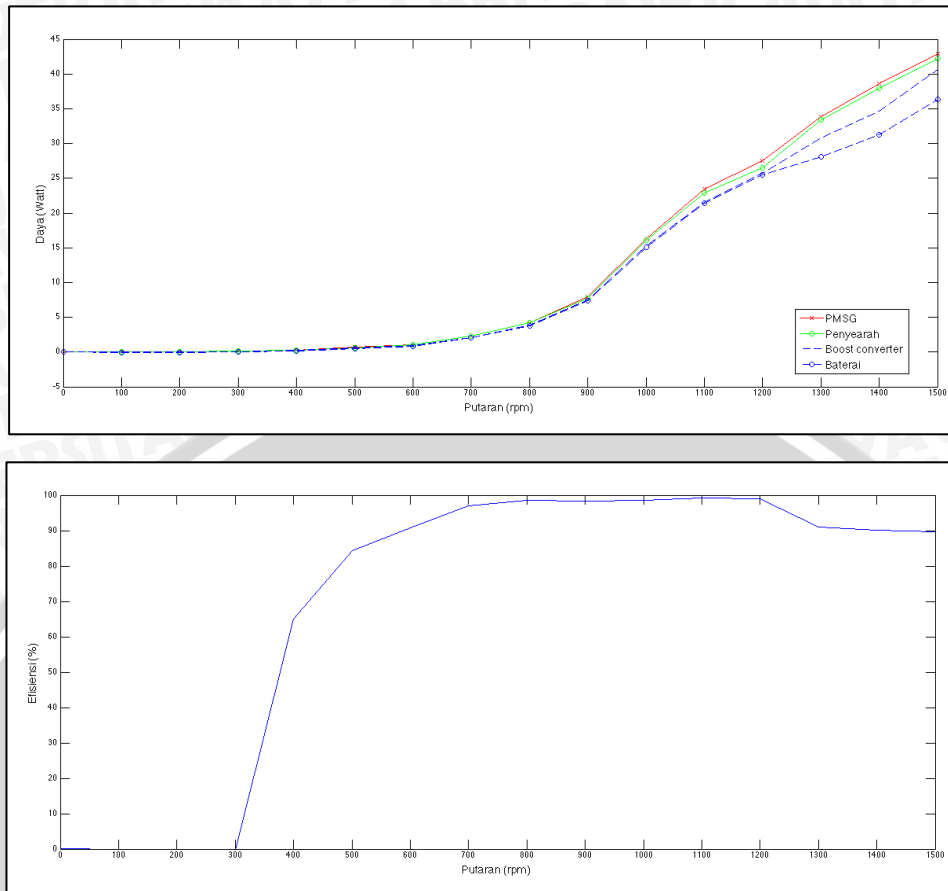
Data hasil pengujian *wind turbine generator* ditunjukkan dalam tabel 5.10 dan gambar 5.19.



Tabel 5.10 Hasil pengujian wind turbin generator

PMSG				PENYEARAH					BOOST CONVERTER					BATERAI				$\eta_{Total}$ (%)
n (rpm)	$V_{L-L}$ (V)	$I_{L-L}$ (A)	$\cos \phi$	$P_{out}$ (watt)	$V_{dc}$ (V)	$I_{dc}$ (A)	$P_{dc}$ (W)	$\eta$ (%)	D (%)	$V_{boost}$ (V)	$I_{boost}$ (A)	$P_{boost}$ (W)	$\eta_{boost}$ (%)	$V_{batt}$ (V)	$I_{batt}$ (A)	$P_{batt}$ (W)	$\eta_{batt}$ (%)	
100	1,570	0,004	0,85	0,009	1,080	0,005	0,005	57,226	91	12,490	0,000	0,000	0,000	12,480	-0,006	-0,075	0,000	0,000
200	2,400	0,011	0,85	0,038	2,120	0,013	0,028	73,484	85	12,490	0,001	0,012	45,319	12,480	-0,005	-0,062	0,000	0,000
300	3,680	0,023	0,85	0,124	3,820	0,028	0,107	86,355	71	12,490	0,006	0,075	70,064	12,490	0,000	0,000	0,000	0,000
400	5,020	0,042	0,85	0,314	5,650	0,052	0,294	93,630	55	12,490	0,020	0,250	85,024	12,490	0,013	0,162	65,000	55,265
500	6,370	0,072	0,85	0,674	7,370	0,088	0,649	96,249	40	12,490	0,045	0,562	86,661	12,490	0,038	0,475	84,444	73,181
600	7,260	0,100	0,85	1,073	8,490	0,123	1,044	97,284	35	12,510	0,075	0,938	89,847	12,510	0,068	0,851	90,667	81,462
700	8,500	0,185	0,85	2,309	10,190	0,226	2,303	99,730	11	12,570	0,167	2,099	91,153	12,570	0,162	2,036	97,006	88,423
800	9,480	0,305	0,85	4,262	11,220	0,374	4,196	98,459	11	12,670	0,306	3,877	92,392	12,660	0,302	3,823	98,615	91,112
900	10,100	0,532	0,85	7,916	11,880	0,652	7,746	97,851	10	12,860	0,580	7,459	96,295	12,810	0,573	7,340	98,409	94,763
1000	10,440	1,063	0,85	16,340	12,330	1,302	16,054	98,250	10	13,200	1,159	15,299	95,298	13,080	1,152	15,068	98,492	93,861
1100	10,750	1,479	0,85	23,415	12,660	1,812	22,940	97,970	10	13,450	1,603	21,560	93,986	13,300	1,608	21,386	99,193	93,228
1200	11,120	1,680	0,85	27,504	13,150	2,015	26,497	96,340	10	14,130	1,820	25,717	97,054	13,460	1,890	25,439	98,922	96,008
1300	12,380	1,860	0,85	33,901	14,900	2,240	33,376	98,451	10	15,500	1,990	30,845	92,417	13,780	2,038	28,084	91,048	84,143
1400	13,450	1,950	0,85	38,613	16,000	2,370	37,920	98,205	10	16,200	2,140	34,668	91,424	14,120	2,210	31,205	90,012	82,292
1500	14,300	2,040	0,85	42,948	17,400	2,430	42,282	98,449	10	17,200	2,360	40,592	96,003	14,750	2,465	36,359	89,571	85,991
<b>Efisiensi rata-rata (%)</b>																		67,982





Gambar 5.19 Hasil pengujian *wind turbine generator*

### 5.8.5 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan dalam tabel 5.10 dan gambar 5.19 didapatkan bahwa semakin besar putaran yang dihasilkan maka daya dan efisiensi yang dihasilkan akan semakin besar. Nilai efisiensi terbesar terjadi pada saat putaran 1200 rpm yaitu sebesar 96,008%. *Wind turbine generator* mulai mengalirkan daya ke baterai pada saat putarannya mencapai 400 rpm.

## 5.9 Pengujian Sistem *Hybrid*

### 5.9.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari sistem *hybrid* pada kondisi nyata. Pengujian dilakukan merepresentasikan keadaan nyata pada siang dan malam hari. Pengujian dilakukan pada Selasa, 30 Juni 2015 pada pukul 10.00-10.30 WIB. Kecepatan *wind turbine generator* diambil berdasarkan data sekunder kecepatan angin rata-rata yang ditunjukkan dalam tabel 4.3.

### 5.9.2 Peralatan

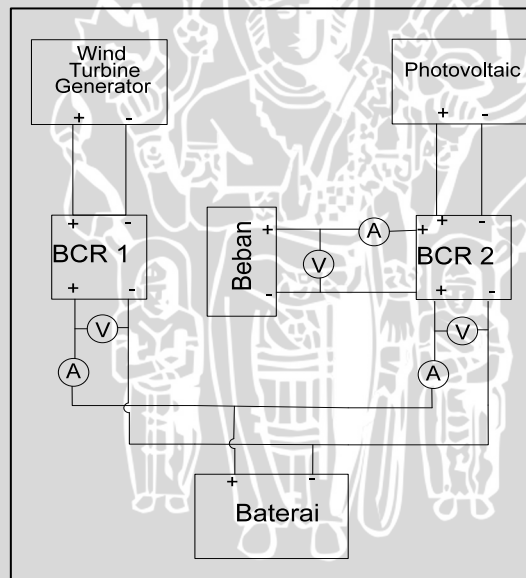
Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. *Wind turbine generator*.
2. *Photovoltaic 2 x 75 Wp*.
3. *Battery Control Regulator (BCR)*.
4. Baterai.
5. Beban resistif.
6. Lux meter.
7. Tachometer.
8. Ampere meter.
9. Volt meter.

### 5.9.3 Prosedur Pengujian

Prosedur dalam pengujian sistem *hybrid* adalah:

1. Menyusun rangkaian seperti pada gambar 5.20.



Gambar 5.20 Rangkaian pengujian sistem *hybrid*

2. Mengatur parameter tegangan dan arus yang dihasilkan oleh *photovoltaic* dan *wind turbine generator* berdasarkan kondisi berikut:

#### **Kondisi pada siang hari:**

- *Photovoltaic* mengalirkan daya ke baterai. Waktu pengujian dilakukan pada pukul 10.00-10.30 WIB.
- *Wind turbine generator* mengalirkan daya yang kecil ke baterai. *Wind turbine generator* diputar dengan kecepatan 0, 300, dan 400 rpm.

- Beban resistif tidak terhubung ke BCR 2.

#### Kondisi pada malam hari:

- Atur beban resistif hingga arus yang mengalir ke beban sebesar 3,33 ampere.
- *Photovoltaic* tidak mengalirkan daya ke baterai. *Photovoltaic* tidak terhubung ke BCR 2
- *Wind turbine generator* mengalirkan daya yang besar ke baterai. *Wind turbine generator* diputar dengan mengikuti putaran pada pukul 19.00-21.00, yaitu sebesar 1324 rpm dan 827 rpm.

Amati dan catat parameter arus dan tegangan pada masing-masing sumber.

### 5.9.4 Hasil Pengujian

Hasil pengujian sistem *hybrid* ditunjukkan pada tabel 5.11

Tabel 5.11 Hasil pengujian sistem *hybrid*

Kondisi	BCR 1 (Wind)				BCR 2 (PV)					Beban		
	n (rpm)	V <sub>1</sub> (V)	I <sub>1</sub> (A)	P <sub>1</sub> (W)	Waktu (Pukul)	Intensitas Cahaya Matahari (Lux)	V <sub>2</sub> (V)	I <sub>2</sub> (A)	P <sub>2</sub> (W)	V <sub>B</sub> (V)	I <sub>B</sub> (A)	P (W)
Pagi	0	13,67	0	0,000	10.00	57000	15,95	6,006	95,796	0,000	0,000	0,000
	300	13,87	0	0,000	10.15	42500	17,17	4,032	69,229	0,000	0,000	0,000
	400	13,91	0,006	0,083	10.30	51000	17,01	4,87	82,839	0,000	0,000	0,000
Malam	1324	13,82	2,040	28,193	19.00	0	0,00	0,000	0,000	12,020	3,280	39,426
	827	12,12	0,332	4,024	20.00	0	0,00	0,000	0,000	12,010	3,310	39,753
	827	12,13	0,332	4,024	21.00	0	0,00	0,000	0,000	12,001	3,330	39,963

### 5.9.5 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian sistem *hybrid*, sistem ini bekerja dengan baik. Kondisi pagi hari saat beban tidak terhubung dengan BCR daya dari kedua sumber energi masuk ke baterai. Kondisi malam hari beban terhubung ke BCR dan mengambil daya dari baterai, *photovoltaic* tidak menghasilkan energi, sedangkan *wind turbine generator* mengalirkan daya maksimal.

### 5.10 Perhitungan Manajemen Energi

Berdasarkan hasil pengujian *wind turbine generator* dan perancangan kapasitas *photovoltaic*, maka dapat diketahui energi yang dapat dihasilkan dari kedua sumber energi tersebut dalam satu hari. Pada perhitungan ini data angin dan data matahari (bulan maret) menggunakan data sekunder yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya.



### 5.10.1 Energi Dari Angin

Perhitungan energi angin dilakukan dengan mengambil data sekunder kecepatan angin per-jam pada tanggal 24-25 Maret 2015 yang ditunjukkan pada tabel 4.3. Selanjutnya dihitung kecepatan generator pada setiap kecepatan angin. Setelah mendapatkan kecepatan generator, dilakukan pengambilan data di Laboratorium Mesin Elektrik Universitas Brawijaya dengan metode yang sama dengan pengujian *wind turbine generator*.

Energi yang dihasilkan tiap jamnya dihitung dari daya yang dialirkan ke baterai dikalikan satu jam, hal ini karena data kecepatan angin yang digunakan merupakan kecepatan angin rata-rata dalam satu jam.

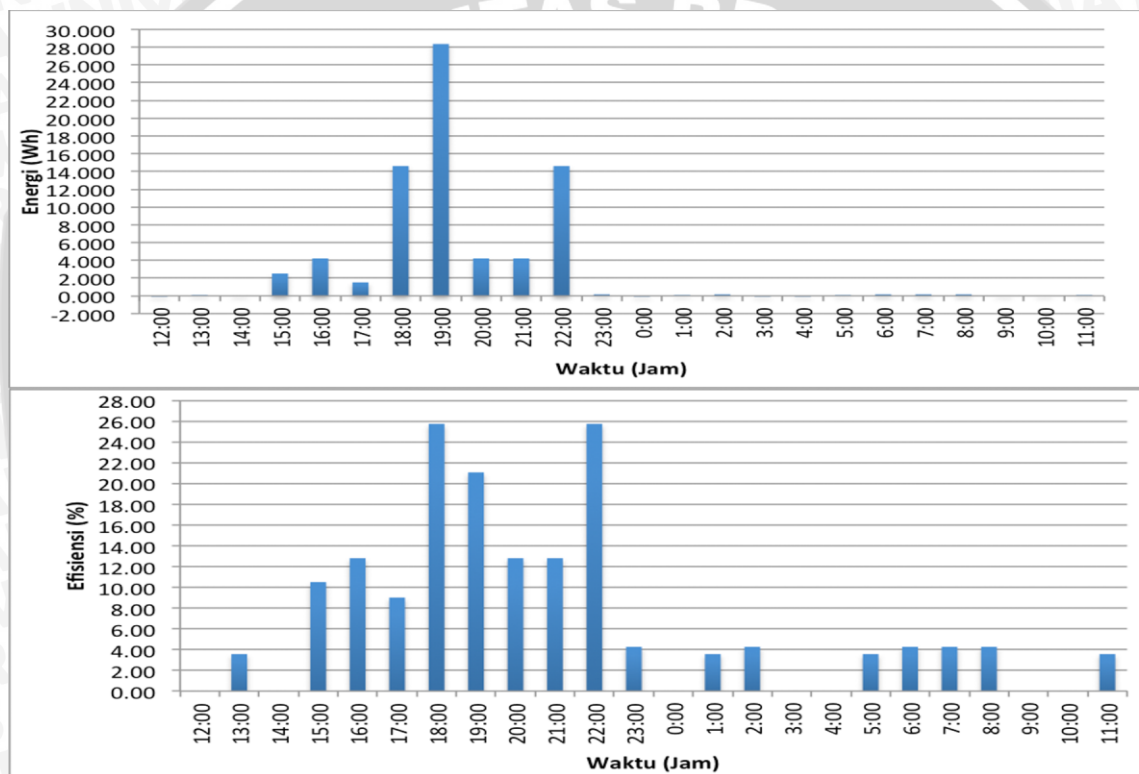
Total energi yang dihasilkan dalam satu hari merupakan jumlah energi yang dihasilkan *wind turbine generator* pada tiap jamnya. Efisiensi total ( $\eta_{Total}$ ) merupakan perbandingan antara total energi yang dihasilkan oleh *wind turbine generator* dengan daya angin yang tersedia dalam satu hari. Hasil dari perhitungan energi angin ditunjukkan dalam tabel 5.12 dan gambar 5.21.



Tabel 5.12 Hasil perhitungan energi angin

Jam	Kec. angin rata-rata (m/s)	Kec. Gen. (rpm)	Daya Angin (W)	PMSG				PENYEARAH				BOOST CONVERTER				BATERAI				$\eta_{Total}$ (%)	Torsi Gen. stlh gearbox (Nm)	Torsi Turbin (Nm)	Kondisi Turbin	
				$V_{L-L}$ (V)	$I_{L-L}$ (A)	$\cos \phi$	$P_{out}$ (W)	$V_{dc}$ (V)	$I_{dc}$ (A)	$P_{dc}$ (W)	$\eta$ (%)	D (%)	$V_{boost}$ (V)	$I_{boost}$ (A)	$P_{boost}$ (W)	$\eta_{boost}$ (%)	$V_{batt}$ (V)	$I_{batt}$ (A)	$P_{batt}$ (W)					$\eta_{batt}$ (%)
12:00	1,546	248	0,888	3,06	0,016	0,85	0,072	3,04	0,021	0,064	88,42	75	12,49	0,003	0,037	58,79	12,48	-0,003	-0,037	0,00	0,00	0,0511	0,1038	Berputar
13:00	2,062	331	2,104	4,17	0,026	0,85	0,160	3,92	0,038	0,149	93,32	62	12,49	0,011	0,137	92,23	12,49	0,006	0,075	54,55	3,56	0,0570	0,1845	Berputar
14:00	0,000	0	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,00	0,00	0,0000	0,0000	Diam
15:00	4,639	745	23,963	8,84	0,221	0,85	2,876	10,25	0,271	2,776	96,53	20	12,60	0,208	2,621	94,40	12,58	0,200	2,515	95,96	10,50	0,4176	0,9341	Berputar
16:00	5,155	827	32,870	9,56	0,345	0,85	4,856	11,43	0,401	4,583	94,39	10	12,70	0,332	4,216	91,99	12,67	0,332	4,206	99,76	12,80	0,6371	1,1532	Berputar
17:00	4,124	662	16,830	7,90	0,146	0,85	1,698	9,30	0,175	1,628	95,84	25	12,53	0,127	1,591	97,78	12,53	0,121	1,516	95,28	9,01	0,2595	0,7381	Berputar
18:00	6,186	993	56,800	10,39	0,991	0,85	15,159	12,25	1,221	14,957	98,67	10	13,20	1,124	14,837	99,19	13,05	1,120	14,616	98,51	25,73	1,5656	1,6606	Berputar
19:00	8,247	1324	134,637	12,40	1,868	0,85	34,102	14,95	2,265	33,862	99,30	10	15,72	2,040	32,069	94,71	13,83	2,050	28,352	88,41	21,06	2,8514	2,9523	Berputar
20:00	5,155	827	32,870	9,56	0,345	0,85	4,856	11,43	0,401	4,583	94,39	10	12,70	0,332	4,216	91,99	12,67	0,332	4,206	99,76	12,80	0,6371	1,1532	Berputar
21:00	5,155	827	32,870	9,56	0,345	0,85	4,856	11,43	0,401	4,583	94,39	10	12,70	0,332	4,216	91,99	12,67	0,332	4,206	99,76	12,80	0,6371	1,1532	Berputar
22:00	6,186	993	56,800	10,39	0,991	0,85	15,159	12,25	1,221	14,957	98,67	10	13,20	1,124	14,837	99,19	13,05	1,120	14,616	98,51	25,73	1,5656	1,6606	Berputar
23:00	2,577	414	4,109	5,01	0,045	0,85	0,332	5,70	0,055	0,314	94,45	52	12,49	0,021	0,262	83,67	12,49	0,014	0,175	66,67	4,26	0,0828	0,2883	Berputar
0:00	1,546	248	0,888	3,06	0,016	0,85	0,072	3,04	0,021	0,064	88,42	75	12,49	0,003	0,037	58,79	12,48	-0,003	-0,037	0,00	0,00	0,0511	0,1038	Berputar
1:00	2,062	331	2,104	4,17	0,026	0,85	0,160	3,92	0,038	0,149	93,32	62	12,49	0,011	0,137	92,23	12,49	0,006	0,075	54,55	3,56	0,0570	0,1845	Berputar
2:00	2,577	414	4,109	5,01	0,045	0,85	0,332	5,70	0,055	0,314	94,45	52	12,49	0,021	0,262	83,67	12,49	0,014	0,175	66,67	4,26	0,0828	0,2883	Berputar
3:00	1,546	248	0,888	3,06	0,016	0,85	0,072	3,04	0,021	0,064	88,42	75	12,49	0,003	0,037	58,79	12,48	-0,003	-0,037	0,00	0,00	0,0511	0,1038	Berputar
4:00	1,546	248	0,888	3,06	0,016	0,85	0,072	3,04	0,021	0,064	88,42	75	12,49	0,003	0,037	58,79	12,48	-0,003	-0,037	0,00	0,00	0,0511	0,1038	Berputar
5:00	2,062	331	2,104	4,17	0,026	0,85	0,160	3,92	0,038	0,149	93,32	62	12,49	0,011	0,137	92,23	12,49	0,006	0,075	54,55	3,56	0,0570	0,1845	Berputar
6:00	2,577	414	4,109	5,01	0,045	0,85	0,332	5,70	0,055	0,314	94,45	52	12,49	0,021	0,262	83,67	12,49	0,014	0,175	66,67	4,26	0,0828	0,2883	Berputar
7:00	2,577	414	4,109	5,01	0,045	0,85	0,332	5,70	0,055	0,314	94,45	52	12,49	0,021	0,262	83,67	12,49	0,014	0,175	66,67	4,26	0,0828	0,2883	Berputar
8:00	2,577	414	4,109	5,01	0,045	0,85	0,332	5,70	0,055	0,314	94,45	52	12,49	0,021	0,262	83,67	12,49	0,014	0,175	66,67	4,26	0,0828	0,2883	Berputar
9:00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,00	0,00	0,0000	0,0000	Diam
10:00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,00	0,00	0,0000	0,0000	Diam
11:00	2,062	331	2,104	4,17	0,026	0,85	0,160	3,92	0,038	0,149	93,32	62	12,49	0,011	0,137	92,23	12,49	0,006	0,075	54,55	3,56	0,0570	0,1845	Berputar

	<b>Total Energi Angin Yang tersedia</b>	420,15 Wh
	<b>Total Energi Listrik yang Dihasilkan</b>	75,258 Wh
	<b>Efisiensi total</b>	17,912 %



Gambar 5.21 Hasil perhitungan energi angin



Berdasarkan hasil perhitungan energi angin, didapatkan bahwa energi listrik yang dihasilkan oleh *wind turbine generator* pada tanggal 24-25 Maret 2015 sebesar **75,258 Wh** dengan efisiensi sebesar **17,912 %**. Dengan demikian maka *wind turbine generator* dapat menanggung energi sebesar **15,68 %** dari energi beban harian yang dibutuhkan.

### 5.10.2 Energi Dari *Photovoltaic*

Berdasarkan perancangan awal, *photovoltaic* yang digunakan berjumlah dua buah dengan kapasitas sebesar 75 Wp. Jumlah jam kerja matahari dihitung dengan membagi nilai radiasi matahari rata-rata di bulan maret sebesar 3,805 kWh/m<sup>2</sup> dibagi dengan *standard test condition* sebesar 1000 W/m<sup>2</sup>.

$$\text{Jumlah jam kerja matahari} = \frac{3805 \text{ Wh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} = 3,805 \text{ h}$$

Sehingga energi yang dipasok *photovoltaic* dapat dihitung:

$$\begin{aligned} \text{Energi dari photovoltaic} &= \frac{\text{Kapasitas modul} \times \text{Jam kerja matahari}}{\text{Faktor penyesuaian}} \\ &= \frac{150 \text{ Wp} \times 3,805}{1,1} = 518,864 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Asumsi rugi-rugi sistem adalah sebesar 5%, maka energi yang dihasilkan oleh *photovoltaic* dapat dihitung melalui persamaan:

$$\begin{aligned} \text{Energi dari photovoltaic} &= E_{PV} + (5\% \times E_{PV}) = 1,05E_{PV} \\ E_{pv} &= \frac{518,864}{1,05} = \mathbf{494,156 \text{ Wh}} \end{aligned}$$

Jadi, energi yang dihasilkan oleh *photovoltaic* adalah sebesar **494,156 Wh**.

### 5.10.3 Analisis Hasil Perhitungan Energi

Berdasarkan hasil perhitungan energi didapatkan bahwa energi yang dihasilkan oleh *wind turbine generator* dan *photovoltaic* adalah 75,258 Wh dan 494,156 Wh. Maka total energi yang dihasilkan sudah melebihi energi yang dibutuhkan dimana dalam satu hari lampu penerangan jalan umum 479,52 Wh.

Maka dari itu dapat dihitung kapasitas *photovoltaic* yang baru setelah mendapatkan energi dari *wind turbine generator* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Kapasitas}_{PV} = \frac{\text{Energi}_{\text{Beban}} - \text{Energi}_{\text{Wind-turbine generator}}}{\text{Jam Kerja Matahari}} \times \text{Faktor Penyesuaian}$$

$$= \frac{479,52 - 75,258}{3,805} \times 1,1 = 116,869 \text{ Wp} \approx 120 \text{ Wp}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan *wind turbine generator* dalam *hybrid* dengan *photovoltaic* untuk sumber daya lampu penerangan jalan umum dapat mereduksi dimensi *photovoltaic* dari 150 Wp menjadi 120 Wp.



## BAB VI PENUTUP

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah diuraikan sebelumnya, dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. *Wind turbine generator* mulai mengalirkan daya ke baterai pada putaran 400 rpm. Daya maksimal yang dihasilkan dalam satu hari sebesar 28,352 W yang terjadi pada kecepatan angin 8,247 m/s. Terjadi kenaikan daya yang dihasilkan oleh *wind turbine generator* bila kecepatan angin meningkat.
2. *Photovoltaic* 120 Wp dengan radiasi cahaya matahari rata-rata di kota Malang pada bulan Maret sebesar 3,805 kWh/m<sup>2</sup> dapat menghasilkan energi sebesar 415,091 Wh dalam satu hari. Daya *photovoltaic* meningkat seiring meningkatnya intensitas matahari.
3. Sistem *hybrid* dilakukan dengan menggabungkan energi dari *photovoltaic* dan *wind turbine generator* melalui dua buah *battery control regulator* sebelum masuk ke baterai. Selanjutnya energi yang tersimpan pada baterai akan digunakan untuk menanggung beban lampu penerangan jalan umum.
4. Efisiensi total yang dihasilkan oleh *wind turbine generator* dalam satu hari sebesar 17,912 %. Energi yang dihasilkan oleh *wind turbine generator* dalam satu hari sebesar 75,258 Wh, serta dapat menanggung energi sebesar 15,68 % dari energi beban harian yang dibutuhkan. Dengan tambahan energi angin pada lampu penerangan jalan umum, daya *photovoltaic* yang digunakan akan berkurang dari 150 Wp menjadi 120 Wp. Dimensi dari *photovoltaic* yang digunakan juga akan berkurang dari 2x (1200x550x35mm) menjadi 1 x (1482x676x35mm).

### 6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada saran yang perlu dilakukan untuk penyempurnaan yaitu penggunaan jenis turbin angin yang memanfaatkan gaya *lift* seperti tipe *Darrieus* agar efisiensi yang dihasilkan oleh *wind turbine generator* lebih besar.





## DAFTAR PUSTAKA

- Hansen, A. D. dkk. (2005). *Model for a Stand-Alone PV System*. Roskilde: Riso National Laboratory.
- Hart, Daniel W. (2011). *Power Electronics*. McGraw-Hill: New York.
- Hayashi, T., Yan, L. and Suzuki, K. (2004): Wind Tunnel Tests on a Three-stage Out-phase Savonius Rotor.
- Islam, M.Q., Hasan, M.N. and Saha, S. (2005): Experimental Investigation of Aerodynamic Characteristics of Two, Three and Four Bladed S-Shaped Stationary Savonius Rotors. *The Proceeding of International Conference on Mechanical Engineering 2005*, 28-30 December 2005, Dhaka, Bangladesh.
- Johnson, C. (1998): *Practical Wind-Generated Electricity*. Website: <http://mbsoft.com/public/wind.html>. Di akses: 15 Februari 2015.
- Kadam, A. A. A Review Study on Savonius Wind Rotors for Accessing the power performance. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) ISSN(e) : 2278-1684, ISSN(p) : 2320-334X, PP : 18-24.*
- Kariana, A. (t.t.). Studi Karakteristik Arus-Tegangan (Kurva I-V) pada Sel Tunggal Polikristal Silikon Serta Pemodelannya. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXV HFI Jateng & DIY, XXV*, pp. 163-166. DIY.
- Khan, N.I., Iqbal, M.T., Hinchey, Michael, dan Masek, Vlastimil. 2009. Performance of Savonius Rotor As A Water Current Turbine. *Journal of Ocean Technology*. Vol. 4, No. 2, pp. 71-83
- LAPAN. (2005). "Data Kecepatan Angin di Pulau Jawa". Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.
- Lasnier, France. (1990). *Photovoltaic engineering handbook*, England: IOP Publishing.
- Manwel, J. K. dkk. 2009. *Wind Energy Explained Theory, Design, and Application 2<sup>nd</sup> Edition*. United Kingdom: Wiley
- Musgrove, P. (2010): *Wind Power*, UK: Cambridge University Press.
- Rashid, M. H., & Rashid, H. M. (2006). *SPICE For Power Electronics and Electric Power*. New York: CRC Press.
- RWE npower renewables. 2009. Wind Turbine Power Calculatios. Di akses: 10 Februari 2015. Website: <http://www.rwe.com/web/cms/de/8/rwe/>

- Saha, U.K., Thotla, S. and Maity, D. (2008): Optimum Design Configuration of Savonius Rotor Through Wind Tunnel Experiments. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol.96, pp.1359-1375.
- Sen, P. C. (1997). *Principles of electric machines and power electronics*. John wiley & sons,inc.: New York.
- Solanki, C.S. (2009): *Renewable Energy Technologies: A Practical Guide for Beginners*, PHI Learning Private Limited, New Delhi, pp.103-106.
- Sularso, Kiyokatsu Suga. *Elemen Mesin Jilid 3*.PT. Pradya Paramitha , Jakarta.1997.
- Zhao, Z.Z., Zheng, T., Xu, X.Y., Liu, W.M. and Hu, G.X. (2009) Research on the Improvement of the Performance of Savonius Rotor Based on Numerical Study Sustainable Power Generation and Supply, *The Proceeding in SUPERGEN'09*, Nanjing, 6-7 April 2009.
- Zuhal. (1991). *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. Bandung: Penerbit ITB.





## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Dokumentasi Pengujian Generator Magnet Permanen



Penunjukan Cos  $\phi$  meter



Pengujian Hybrid

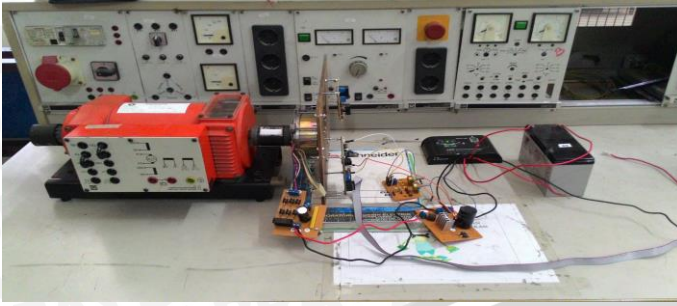


Battery Control Regulator

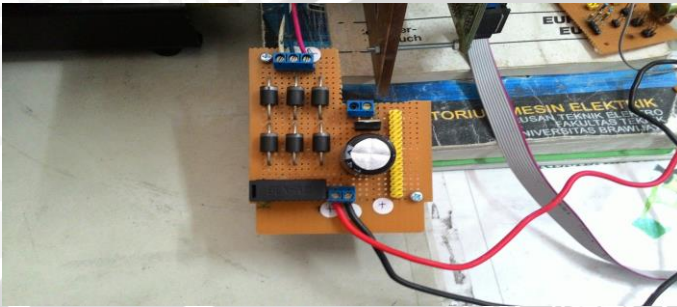




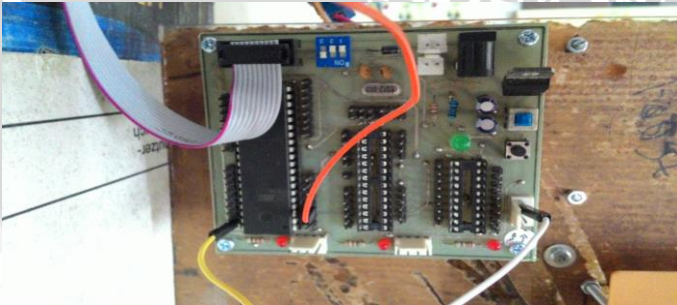
Pengujian Wind Turbine Generator



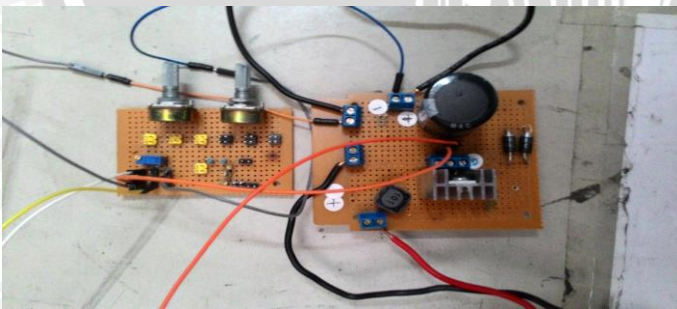
Penyearah Tak Terkontrol 3 Fasa



Mikrokontroler



Boost Converter dan Sensor Tegangan



Photovoltaic



## Lampiran 2 Listing program mikrokontroler ATMEGA 32

Project :  
 Version :  
 Date : 2/12/2015  
 Author : Rafdi DR  
 Company :  
 Comments:

Chip type : ATmega32  
 Program type : Application  
 AVR Core Clock frequency: 8.000000 MHz  
 Memory model : Small  
 External RAM size : 0  
 Data Stack size : 512  
 \*\*\*\*\*/

```
#include <mega32.h>
```

```
#include <delay.h>
```

```
int dut, sensor;
```

```
// Timer1 input capture interrupt service routine
interrupt [TIM1_CAPT] void timer1_capt_isr(void)
```

```
{
// Place your code here
PORTB=0xFF;
//DUTYCYCLE
OCR1A=dut;
}
```

```
// Timer1 output compare A interrupt service routine
interrupt [TIM1_COMPA] void timer1_compa_isr(void)
```

```
{
// Place your code here
PORTB=0x00;
}
```

```
#define ADC_VREF_TYPE 0x40
```

```
// Read the AD conversion result
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
// Delay needed for the stabilization of the ADC input voltage
delay_us(10);
// Start the AD conversion
ADCSRA|=0x40;
// Wait for the AD conversion to complete
while ((ADCSRA & 0x10)==0);
ADCSRA|=0x10;
return ADCW;
}
```

```
// Declare your global variables here
```

```
void main(void)
```

```
{
// Declare your local variables here
```

```
// Input/Output Ports initialization
// Port A
```



```

// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTA=0x00;
DDRA=0x00;

// Port B initialization
// Func7=Out Func6=Out Func5=Out Func4=Out Func3=Out Func2=Out Func1=Out Func0=Out
// State7=0 State6=0 State5=0 State4=0 State3=0 State2=0 State1=0 State0=0
PORTB=0x00;
DDRB=0xFF;

// Port C initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTC=0x00;
DDRC=0x00;

// Port D initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTD=0x00;
DDRD=0x00;

// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
// Mode: Normal top=0xFF
// OC0 output: Disconnected
TCCR0=0x00;
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 8000.000 kHz
// Mode: Fast PWM top=ICR1
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: On
// Compare A Match Interrupt: On
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=0x02;
TCCR1B=0x19;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;

OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer2 Stopped
// Mode: Normal top=0xFF
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: Off
// INT2: Off

```





```

MCUCR=0x00;
MCUCSR=0x00;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x30;

// USART initialization
// USART disabled
UCSRB=0x00;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;

// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 1000.000 kHz
// ADC Voltage Reference: AVCC pin
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0x83;

// SPI initialization
// SPI disabled
SPCR=0x00;

// TWI initialization
// TWI disabled
TWCR=0x00;

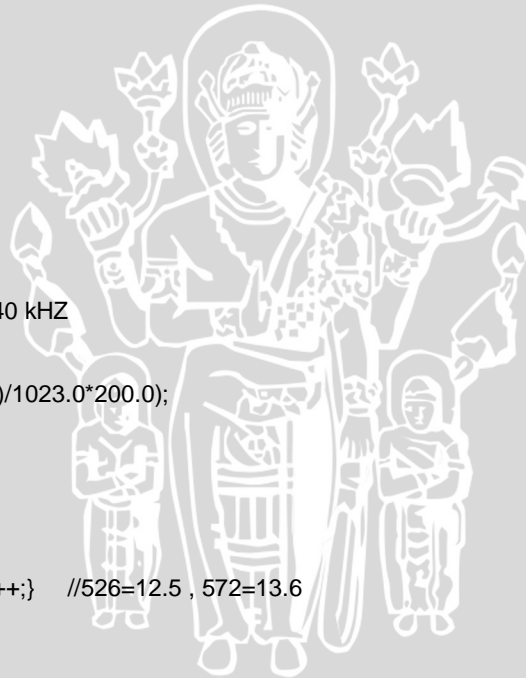
// Global enable interrupts
#asm("sei")

while (1)
{
    //FREKUENSI//200 //40 KHZ
    ICR1H=0x00;
    ICR1L=0xC8;
    //pot=(int)((float)read_adc(0)/1023.0*200.0);

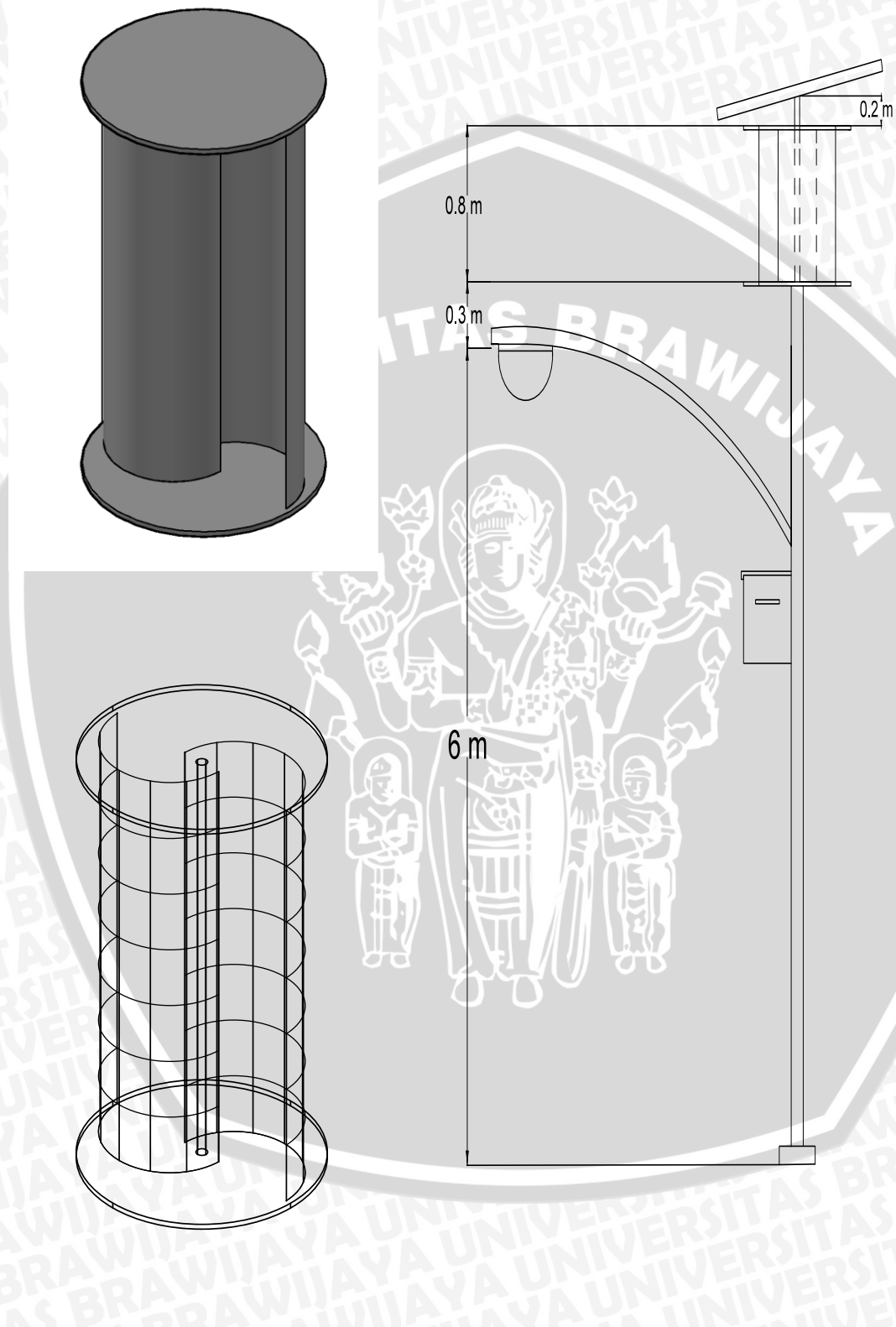
    sensor=(read_adc(0));
    if(dut<10)
    { dut=11 ;}
    else
    {if(dut>190){dut=189;}
    else {if(sensor<526) {dut ++;} //526=12.5 , 572=13.6
    else dut--;}}

}
}

```



Lampiran 3. Gambar Rancangan *Wind Turbine* dan Penempatannya Pada Lampu Penerangan Jalan Umum.



#### Lampiran 4. Data Kecepatan Angin di Kota Malang Tahun 2014

Konversi : 1 km /jam = 0,277777778 m/s

1 knots = 0,5154639175 m/s

Tanggal	Kecepatan Angin Rata-rata (km/jam)	Kecepatan Angin Maksimal (knots)	Kecepatan Angin Rata-rata (m/s)	Kecepatan Angin Maksimal (m/s)
01/01/2014	3	6	0.8884	3.0928
02/01/2014	3	9	0.9022	4.6392
03/01/2014	3	12	0.9369	6.1856
04/01/2014	2	5	0.4444	2.5773
05/01/2014	2	6	0.5280	3.0928
06/01/2014	3	9	0.6994	4.6392
07/01/2014	3	8	0.7601	4.1237
08/01/2014	3	15	0.7786	7.7320
09/01/2014	3	7	0.7876	3.6082
10/01/2014	2	6	0.6094	3.0928
11/01/2014	4	19	1.1670	9.7938
12/01/2014	3	13	0.7169	6.7010
13/01/2014	3	7	0.7126	3.6082
14/01/2014	4	10	1.1201	5.1546
15/01/2014	3	8	0.8721	4.1237
16/01/2014	3	7	0.7321	3.6082
17/01/2014	5	10	1.5079	5.1546
18/01/2014	9	15	2.6270	7.7320
19/01/2014	9	19	2.5546	9.7938
20/01/2014	9	12	2.4907	6.1856
21/01/2014	8	21	2.0881	10.8247
22/01/2014	6	12	1.5351	6.1856
23/01/2014	8	15	2.2737	7.7320
24/01/2014	3	7	0.9414	3.6082
25/01/2014	2	8	0.6563	4.1237
26/01/2014	4	10	1.1063	5.1546
27/01/2014	4	9	1.1800	4.6392
28/01/2014	4	10	0.9789	5.1546
29/01/2014	5	9	1.4946	4.6392
30/01/2014	5	8	1.3433	4.1237
31/01/2014	4	15	1.1365	7.7320
01/02/2014	4	10	1.0241	5.1546
02/02/2014	8	14	2.1942	7.2165
03/02/2014	7	13	1.8603	6.7010
04/02/2014	6	12	1.5648	6.1856
05/02/2014	4	18	1.1736	9.2784
06/02/2014	5	18	1.5148	9.2784
07/02/2014	3	9	0.8199	4.6392



08/02/2014	3	9	0.7895	4.6392
09/02/2014	8	15	2.0918	7.7320
10/02/2014	11	17	3.0931	8.7629
11/02/2014	6	13	1.7473	6.7010
12/02/2014	5	15	1.3447	7.7320
13/02/2014	3	9	0.7168	4.6392
14/02/2014	5	14	1.3257	7.2165
15/02/2014	4	12	1.0487	6.1856
16/02/2014	3	11	0.8543	5.6701
17/02/2014	2	7	0.6174	3.6082
18/02/2014	2	6	0.6530	3.0928
19/02/2014	2	12	0.6660	6.1856
20/02/2014	4	8	0.9855	4.1237
21/02/2014	3	9	0.7135	4.6392
22/02/2014	3	9	0.9325	4.6392
23/02/2014	3	10	0.8668	5.1546
24/02/2014	2	7	0.6841	3.6082
25/02/2014	3	7	0.7162	3.6082
26/02/2014	2	9	0.6341	4.6392
27/02/2014	2	6	0.4866	3.0928
28/02/2014	3	14	0.8978	7.2165
01/03/2014	3	8	0.7916	4.1237
02/03/2014	3	9	0.7809	4.6392
03/03/2014	2	4	0.6014	2.0619
04/03/2014	3	4	0.7450	2.0619
05/03/2014	3	6	0.8319	3.0928
06/03/2014	4	15	1.0551	7.7320
07/03/2014	3	8	0.9190	4.1237
08/03/2014	3	6	0.7039	3.0928
09/03/2014	3	8	0.9150	4.1237
10/03/2014	2	7	0.5468	3.6082
11/03/2014	2	9	0.6389	4.6392
12/03/2014	2	7	0.6319	3.6082
13/03/2014	3	10	0.8170	5.1546
14/03/2014	3	10	0.9554	5.1546
15/03/2014	3	15	0.8969	7.7320
16/03/2014	2	7	0.6106	3.6082
17/03/2014	3	12	0.9529	6.1856
18/03/2014	3	8	0.8956	4.1237
19/03/2014	5	12	1.4124	6.1856
20/03/2014	4	8	1.1153	4.1237
21/03/2014	5	18	1.4014	9.2784
22/03/2014	5	9	1.2940	4.6392
23/03/2014	4	12	1.0692	6.1856
24/03/2014	6	17	1.7448	8.7629
25/03/2014	6	15	1.6126	7.7320
26/03/2014	6	15	1.6532	7.7320
27/03/2014	5	15	1.4978	7.7320

28/03/2014	4	12	1.1456	6.1856
29/03/2014	6	17	1.6958	8.7629
30/03/2014	6	14	1.5990	7.2165
31/03/2014	5	14	1.3563	7.2165
01/04/2014	3	10	0.9699	5.1546
02/04/2014	4	7	0.9895	3.6082
03/04/2014	5	16	1.4068	8.2474
04/04/2014	3	7	0.7603	3.6082
05/04/2014	3	8	0.9410	4.1237
06/04/2014	3	5	0.7343	2.5773
07/04/2014	4	10	1.2459	5.1546
08/04/2014	3	10	0.8182	5.1546
09/04/2014	3	7	0.8162	3.6082
10/04/2014	2	5	0.6124	2.5773
11/04/2014	2	8	0.6652	4.1237
12/04/2014	2	8	0.6172	4.1237
13/04/2014	3	10	0.7426	5.1546
14/04/2014	3	10	0.9405	5.1546
15/04/2014	4	12	1.2471	6.1856
16/04/2014	4	10	1.0193	5.1546
17/04/2014	4	9	1.2470	4.6392
18/04/2014	4	8	1.0589	4.1237
19/04/2014	3	9	0.9109	4.6392
20/04/2014	4	9	1.0804	4.6392
21/04/2014	3	10	0.9284	5.1546
22/04/2014	2	7	0.6874	3.6082
23/04/2014	3	4	0.8066	2.0619
24/04/2014	3	7	0.8902	3.6082
25/04/2014	3	8	0.7201	4.1237
26/04/2014	3	9	0.7978	4.6392
27/04/2014	3	9	0.7203	4.6392
28/04/2014	5	7	1.2939	3.6082
29/04/2014	3	6	0.8909	3.0928
30/04/2014	3	7	0.9252	3.6082
01/05/2014	5	14	1.4980	7.2165
02/05/2014	5	16	1.3243	8.2474
03/05/2014	6	16	1.7166	8.2474
04/05/2014	6	17	1.6971	8.7629
05/05/2014	5	12	1.5257	6.1856
06/05/2014	4	12	1.0816	6.1856
07/05/2014	5	12	1.2642	6.1856
08/05/2014	4	8	1.0488	4.1237
09/05/2014	4	6	1.2267	3.0928
10/05/2014	4	10	1.1148	5.1546
11/05/2014	4	10	1.1631	5.1546
12/05/2014	4	12	1.1411	6.1856
13/05/2014	3	12	0.8853	6.1856
14/05/2014	2	6	0.6552	3.0928

15/05/2014	5	17	1.3988	8.7629
16/05/2014	4	7	0.9875	3.6082
17/05/2014	2	6	0.6877	3.0928
18/05/2014	3	8	0.8502	4.1237
19/05/2014	3	5	0.8892	2.5773
20/05/2014	3	10	0.9561	5.1546
21/05/2014	3	6	0.9639	3.0928
22/05/2014	4	11	1.1884	5.6701
23/05/2014	4	10	1.1406	5.1546
24/05/2014	5	15	1.4993	7.7320
25/05/2014	4	14	0.9765	7.2165
26/05/2014	3	8	0.7595	4.1237
27/05/2014	4	8	1.0347	4.1237
28/05/2014	5	14	1.3744	7.2165
29/05/2014	4	14	1.1618	7.2165
30/05/2014	5	8	1.2563	4.1237
31/05/2014	5	9	1.3465	4.6392
01/06/2014	4	8	1.1992	4.1237
02/06/2014	3	8	0.8867	4.1237
03/06/2014	3	9	0.9296	4.6392
04/06/2014	3	7	0.8552	3.6082
05/06/2014	4	12	1.1397	6.1856
06/06/2014	4	9	1.0422	4.6392
07/06/2014	4	9	1.0750	4.6392
08/06/2014	4	9	1.2030	4.6392
09/06/2014	6	15	1.5684	7.7320
10/06/2014	2	9	0.6881	4.6392
11/06/2014	4	9	1.0895	4.6392
12/06/2014	4	12	1.1400	6.1856
13/06/2014	3	7	0.7986	3.6082
14/06/2014	3	7	0.9605	3.6082
15/06/2014	3	9	0.9527	4.6392
16/06/2014	3	7	0.9101	3.6082
17/06/2014	5	15	1.4715	7.7320
18/06/2014	4	12	1.1431	6.1856
19/06/2014	4	11	1.2002	5.6701
20/06/2014	5	14	1.3216	7.2165
21/06/2014	4	15	1.2258	7.7320
22/06/2014	4	7	1.0654	3.6082
23/06/2014	5	15	1.3392	7.7320
24/06/2014	5	12	1.2985	6.1856
25/06/2014	5	13	1.2667	6.7010
26/06/2014	3	8	0.9421	4.1237
27/06/2014	4	7	1.0647	3.6082
28/06/2014	5	9	1.4198	4.6392
29/06/2014	5	9	1.4073	4.6392
30/06/2014	4	9	0.9822	4.6392
01/07/2014	3	6	0.8691	3.0928



02/07/2014	2	6	0.6767	3.0928
03/07/2014	3	4	0.9023	2.0619
04/07/2014	4	7	1.2432	3.6082
05/07/2014	4	7	0.9993	3.6082
06/07/2014	4	11	1.0686	5.6701
07/07/2014	5	9	1.3344	4.6392
08/07/2014	6	9	1.7367	4.6392
09/07/2014	4	9	1.2422	4.6392
10/07/2014	3	9	0.9164	4.6392
11/07/2014	5	12	1.3338	6.1856
12/07/2014	5	7	1.3036	3.6082
13/07/2014	4	7	1.2043	3.6082
14/07/2014	5	9	1.3492	4.6392
15/07/2014	5	9	1.3675	4.6392
16/07/2014	4	7	1.1352	3.6082
17/07/2014	4	6	1.0237	3.0928
18/07/2014	3	11	0.8618	5.6701
19/07/2014	3	7	0.8875	3.6082
20/07/2014	4	12	1.0375	6.1856
21/07/2014	4	7	0.9860	3.6082
22/07/2014	5	7	1.2549	3.6082
23/07/2014	5	9	1.2876	4.6392
24/07/2014	4	5	1.0015	2.5773
25/07/2014	4	9	1.0154	4.6392
26/07/2014	5	8	1.3272	4.1237
27/07/2014	4	10	1.2014	5.1546
28/07/2014	4	8	1.1772	4.1237
29/07/2014	3	6	0.9348	3.0928
30/07/2014	4	9	1.2212	4.6392
31/07/2014	3	9	0.8287	4.6392
01/08/2014	4	7	0.9755	3.6082
02/08/2014	3	6	0.9436	3.0928
03/08/2014	4	11	1.0344	5.6701
04/08/2014	6	17	1.7630	8.7629
05/08/2014	8	18	2.3140	9.2784
06/08/2014	6	20	1.6311	10.3093
07/08/2014	4	9	1.1108	4.6392
08/08/2014	4	9	1.0478	4.6392
09/08/2014	5	12	1.4713	6.1856
10/08/2014	4	9	1.0424	4.6392
11/08/2014	5	12	1.4878	6.1856
12/08/2014	5	8	1.2520	4.1237
13/08/2014	3	7	0.8933	3.6082
14/08/2014	5	12	1.4797	6.1856
15/08/2014	6	12	1.7407	6.1856
16/08/2014	5	10	1.4317	5.1546
17/08/2014	4	5	1.1806	2.5773
18/08/2014	4	12	1.0372	6.1856

19/08/2014	4	11	1.1677	5.6701
20/08/2014	4	8	1.0376	4.1237
21/08/2014	4	9	1.0896	4.6392
22/08/2014	4	7	1.0932	3.6082
23/08/2014	5	9	1.2501	4.6392
24/08/2014	6	12	1.5536	6.1856
25/08/2014	3	9	0.9013	4.6392
26/08/2014	4	8	1.1079	4.1237
27/08/2014	5	10	1.3892	5.1546
28/08/2014	4	9	1.1075	4.6392
29/08/2014	4	7	1.1231	3.6082
30/08/2014	4	7	1.1758	3.6082
31/08/2014	4	7	1.0838	3.6082
01/09/2014	4	12	1.1969	6.1856
02/09/2014	4	9	1.0617	4.6392
03/09/2014	4	10	1.1740	5.1546
04/09/2014	4	10	1.0789	5.1546
05/09/2014	3	5	0.9661	2.5773
06/09/2014	5	8	1.2838	4.1237
07/09/2014	5	12	1.4133	6.1856
08/09/2014	6	12	1.7025	6.1856
09/09/2014	5	9	1.4380	4.6392
10/09/2014	5	9	1.4413	4.6392
11/09/2014	6	12	1.5844	6.1856
12/09/2014	4	11	1.1669	5.6701
13/09/2014	5	8	1.2630	4.1237
14/09/2014	4	10	1.1553	5.1546
15/09/2014	6	13	1.5904	6.7010
16/09/2014	5	15	1.3726	7.7320
17/09/2014	6	24	1.7535	12.3711
18/09/2014	5	13	1.3984	6.7010
19/09/2014	4	13	1.1819	6.7010
20/09/2014	4	12	1.1358	6.1856
21/09/2014	5	9	1.4428	4.6392
22/09/2014	6	15	1.6413	7.7320
23/09/2014	6	20	1.6425	10.3093
24/09/2014	6	8	1.5682	4.1237
25/09/2014	5	9	1.4398	4.6392
26/09/2014	6	15	1.6228	7.7320
27/09/2014	5	12	1.3543	6.1856
28/09/2014	5	10	1.3397	5.1546
29/09/2014	5	7	1.3050	3.6082
30/09/2014	4	9	1.1785	4.6392
01/10/2014	5	10	1.2904	5.1546
02/10/2014	5	10	1.3970	5.1546
03/10/2014	5	10	1.3338	5.1546
04/10/2014	6	19	1.6119	9.7938
05/10/2014	7	12	1.8838	6.1856

06/10/2014	6	12	1.7457	6.1856
07/10/2014	5	15	1.4659	7.7320
08/10/2014	6	15	1.7188	7.7320
09/10/2014	5	17	1.5074	8.7629
10/10/2014	5	9	1.3074	4.6392
11/10/2014	5	9	1.2941	4.6392
12/10/2014	4	7	1.1468	3.6082
13/10/2014	5	13	1.3351	6.7010
14/10/2014	5	12	1.4168	6.1856
15/10/2014	4	7	1.0481	3.6082
16/10/2014	5	13	1.4802	6.7010
17/10/2014	8	27	2.1023	13.9175
18/10/2014	6	23	1.7468	11.8557
19/10/2014	5	13	1.4859	6.7010
20/10/2014	7	34	2.0446	17.5258
21/10/2014	5	15	1.3777	7.7320
22/10/2014	6	15	1.5286	7.7320
23/10/2014	5	15	1.4205	7.7320
24/10/2014	5	19	1.4837	9.7938
25/10/2014	5	12	1.3196	6.1856
26/10/2014	5	9	1.2904	4.6392
27/10/2014	5	12	1.4662	6.1856
28/10/2014	4	13	1.1056	6.7010
29/10/2014	4	9	1.1096	4.6392
30/10/2014	4	7	1.1113	3.6082
31/10/2014	5	17	1.4388	8.7629
01/11/2014	6	13	1.5478	6.7010
02/11/2014	5	12	1.5072	6.1856
03/11/2014	5	15	1.5001	7.7320
04/11/2014	5	8	1.2747	4.1237
05/11/2014	6	19	1.6998	9.7938
06/11/2014	4	11	1.1494	5.6701
07/11/2014	3	9	0.9444	4.6392
08/11/2014	3	14	0.9307	7.2165
09/11/2014	3	15	0.8310	7.7320
10/11/2014	4	9	0.9883	4.6392
11/11/2014	4	16	1.2387	8.2474
12/11/2014	4	8	1.1199	4.1237
13/11/2014	4	8	1.0278	4.1237
14/11/2014	3	9	0.7941	4.6392
15/11/2014	4	12	1.1234	6.1856
16/11/2014	3	5	0.7516	2.5773
17/11/2014	3	11	0.9222	5.6701
18/11/2014	3	12	0.7313	6.1856
19/11/2014	4	12	0.9781	6.1856
20/11/2014	4	12	1.0318	6.1856
21/11/2014	5	17	1.3100	8.7629
22/11/2014	4	11	1.0697	5.6701



23/11/2014	4	16	1.1741	8.2474
24/11/2014	3	9	0.8876	4.6392
25/11/2014	3	10	0.8772	5.1546
26/11/2014	4	8	1.1781	4.1237
27/11/2014	3	7	0.8823	3.6082
28/11/2014	4	10	1.1716	5.1546
29/11/2014	3	11	0.9190	5.6701
30/11/2014	4	9	1.2212	4.6392
01/12/2014	2	7	0.6137	3.6082
02/12/2014	2	5	0.5306	2.5773
03/12/2014	2	7	0.5409	3.6082
04/12/2014	2	6	0.5337	3.0928
05/12/2014	2	7	0.6240	3.6082
06/12/2014	1	4	0.2733	2.0619
07/12/2014	2	7	0.5578	3.6082
08/12/2014	3	8	0.8462	4.1237
09/12/2014	6	14	1.5325	7.2165
10/12/2014	6	14	1.7075	7.2165
11/12/2014	2	6	0.6693	3.0928
12/12/2014	3	7	0.7663	3.6082
13/12/2014	5	16	1.2957	8.2474
14/12/2014	3	12	0.9299	6.1856
15/12/2014	3	7	0.7163	3.6082
16/12/2014	2	5	0.5260	2.5773
17/12/2014	3	9	0.7913	4.6392
18/12/2014	2	5	0.5366	2.5773
19/12/2014	2	8	0.5891	4.1237
20/12/2014	2	8	0.5626	4.1237
21/12/2014	4	19	0.9907	9.7938
22/12/2014	2	11	0.4690	5.6701
23/12/2014	2	8	0.6572	4.1237
24/12/2014	2	6	0.6470	3.0928
25/12/2014	3	6	0.9435	3.0928
26/12/2014	3	8	0.7744	4.1237
27/12/2014	4	8	1.1207	4.1237
28/12/2014	4	9	1.2352	4.6392
29/12/2014	3	9	0.9488	4.6392
30/12/2014	4	12	1.0549	6.1856
31/12/2014	2	9	0.5872	4.6392

## Lampiran 5. Datasheet Photovoltaic

### Polycrystalline 120W-145W

Module Type	BLD145-36P	BLD140-36P	BLD135-36P	BLD130-36P	BLD125-36P	BLD120-36P
Peak Power	145 Wp	140 Wp	135 Wp	130 Wp	125 Wp	120 Wp
Max. Power Voltage (Vmp)	17.80 V	17.60 V	17.60 V	17.41 V	17.40 V	17.40 V
Max. Power Current (Imp)	8.15 A	7.95 A	7.67 A	7.47 A	7.18 A	6.89 A
Open Circuit Voltage (Voc)	21.96 V	21.96 V	21.96 V	21.75 V	21.75 V	21.75 V
Short Circuit Current (Isc)	8.50 A	8.41 A	8.41 A	8.10 A	8.80 A	8.63 A
Cell Efficiency	16.75 %	16.25 %	15.75 %	15.00 %	14.50 %	13.75 %
Module Efficiency	14.50 %	14.00 %	13.50 %	13.00 %	12.50 %	12.00 %
Maximum System Voltage	DC 1000 V					
Temp. Coeff. of Isc	+ 0.045 %/K					
Temp. Coeff. of Voc	-0.34 %/K					
Temp. Coeff. of Pmax	-0.47 %/K					
Series Fuse Rating	15 A					
Cells	4x9 pieces polycrystalline solar cells series (156 mm x 156 mm)					
Junction Box	with 3 bypass diodes					
Front Glass	toughened safety glass 3.2 mm					
Cell Encapsulation	EVA (Ethylene-Vinyl-Acetate)					
Back	composite film					
Frame	anodized aluminium profile					
Dimensions	1482x676x35mm (LxWxH)					
Weight	12.0 kg					
Hail	maximum diameter of 25 mm with impact speed of 23 ms-1					
Temperature Range	-40 °C to +85 °C					

• The electrical data relates to standard test conditions [STC]: 1,000 W/m<sup>2</sup>; AM 1.5; 25 °C • Wp tolerance for monocrystalline +/- 3%; polycrystalline +/- 5%  
 • Certified with CE • All information without guarantee.



## Datasheet Photovoltaic Modules

**BLD**Solar  
europe

### Monocrystalline 70W-85W

Module Type	BLD85-36M	BLD80-36M	BLD75-36M	BLD70-36M
Peak Power	85 Wp	80 Wp	75 Wp	70 Wp
Max. Power Voltage (Vmp)	18.05 V	17.50 V	17.40 V	16.90 V
Max. Power Current (Imp)	4.71 A	4.58 A	4.31 A	4.14 A
Open Circuit Voltage (Voc)	21.94 V	21.45 V	21.73 V	21.45 V
Short Circuit Current (Isc)	5.29 A	5.17 A	4.72 A	4.45 A
Cell Efficiency	16.00 %	15.25 %	14.25 %	13.25 %
Module Efficiency	12.87 %	12.12 %	11.36 %	10.60 %
Maximum System Voltage	DC 1000 V			
Temp. Coeff. of Isc	+0.037 %/K			
Temp. Coeff. of Voc	-0.34 %/K			
Temp. Coeff. of Pmax	-0.48 %/K			
Series Fuse Rating	15 A			
Cells	36 pieces monocrystalline solar cells series			
Junction Box	with 3 bypass diodes			
Front Glass	toughened safety glass 3.2 mm			
Cell Encapsulation	EVA (Ethylene-Vinyl-Acetate)			
Back	composite film			
Frame	anodized aluminium profile			
Dimensions	1200x550x35mm (LxWxH)			
Weight	8.2 kg			
Hail	maximum diameter of 25 mm with impact speed of 23 ms-1			
Temperature Range	-40 °C to +85 °C			

## Lampiran 6. Datasheet Baterai VRLA

**BSB** VRLA Battery

**Solar 12-100** 12V100Ah

Solar Series SLA Battery

### Range Summary

By combining the newly developed nano gel electrolyte with high density paste, BSB created an innovative range of Solar batteries. The range offers high recharge efficiency at the very low charge current. The acid stratification is highly depressed by adding of gel. This range battery is highly suited to energy storage for renewable energy such as PV and wind turbine power systems applications.

### Application

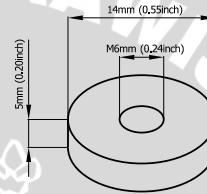
- Photovoltaic system
- Renewable Energy System
- Electric Utility
- Outdoor control Equipment
- Railroad Utility

### General Features

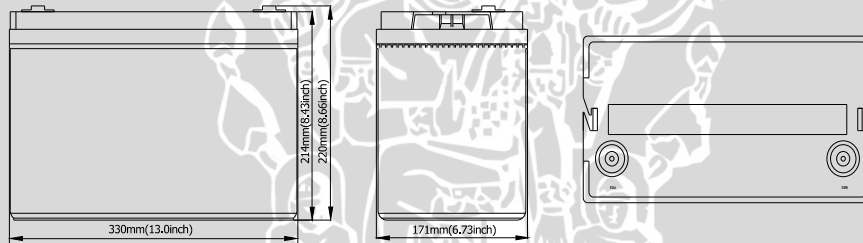
- 12 years float life at 20°C
- Up to 5 years design life at renewable energy applications
- Wide operating temperature range of -15 to 60°C
- Nano gel electrolyte eliminate the acid stratification and prolong cycle life
- Round trip efficiency as high as 85%
- Thick positive flat plate with high density paste
- Low self-discharge rate and long shelf life (1 year at 25°C)
- Excellent deep discharge recovery capability

### Construction

- Positive ..... Lead dioxide
- Negative ..... Lead
- Container ..... ABS
- Cover ..... ABS
- Sealant ..... Epoxy Resin
- Safety valve ..... EPDR
- Terminal ..... Copper
- Separator ..... AGM
- Electrolyte ..... Acid with gel

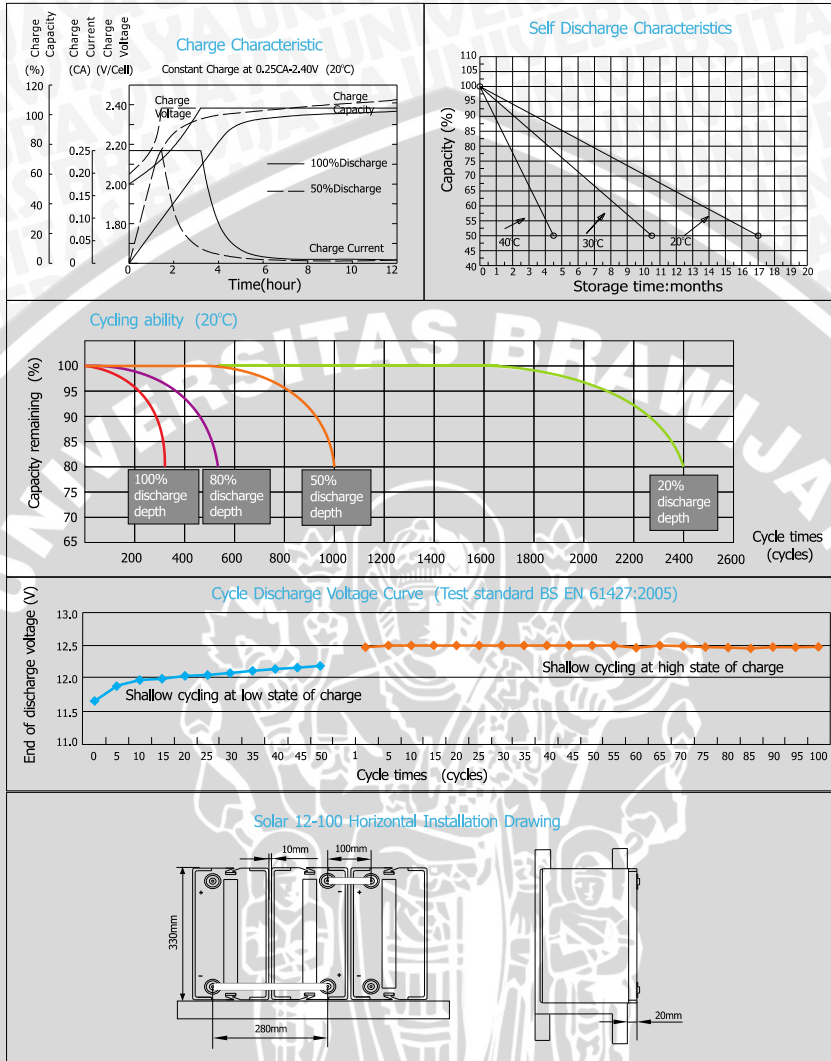


Terminal Dimensions



Battery Model	Solar 12-100			
Designed Floating Life	12 Years			
Designed Cycle Life (According to IEC61427)	5 Years			
Capacity(20°C)	10HR(10A,1.80V)	24HR(4.42A,1.80V)	48HR(2.31A,1.80V)	100HR(1.2A,1.80V)
	100Ah	106Ah	111Ah	120Ah
Dimensions	Length	Width	Height	Total Height
	330mm(13.0inch)	171mm(6.73inch)	214mm(8.43inch)	220mm(8.66inch)
Approx. Weight	31Kg (68.4 lbs)			
Internal Resistance	Full charged at 20°C: 0.005 Ohm			
Self Discharge	3% of capacity declined per month at (20°C)			
Capacity Affected by Temp.(10HR)	40°C	20°C	0°C	-15°C
	109%	100%	85%	65%
Charge Voltage(20°C)	Cycle use		Float use	
	14.4-14.8V(-30mV/ °C), max. Current: 25A		13.6-13.8V(-18mV/ °C)	





Constant current discharge ratings-amperes at 20°C

TIME	1h	3h	5h	10h	24h	48h	72h	100h	120h
CUT-OFF VOLTAGE	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
CAPACITY(Ah)	65	75	87	100	106	111	116	120	123



COPYRIGHT BSB POWER COMPANY LIMITED



Lampiran 7. Datasheet Dioda



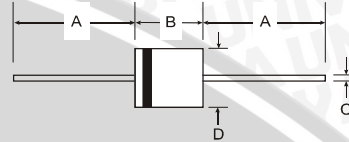
**6A05 - 6A10**  
6.0A SILICON RECTIFIER

**Features**

- High Surge Current Capability
- Low Leakage and Forward Voltage Drop
- Lead Free Finish, RoHS Compliant (Note 1)

**Mechanical Data**

- Case: R-6
- Case Material: Molded Plastic. UL Flammability Classification Rating 94V-0
- Moisture Sensitivity: Level 1 per J-STD-020C
- Terminals: Finish — Tin. Axial Leads, Solderable per MIL-STD-202, Method 208 @3
- Polarity: Color Band Indicates Cathode
- Ordering Information: See Page 3
- Approximate Weight: 2.1 grams



R-6		
Dim	Min	Max
A	25.40	-
B	8.60	9.10
C	1.20	1.30
D	8.60	9.10
All Dimensions in mm		

**Maximum Ratings and Electrical Characteristics** @T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise specified

Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.  
Single phase, halfwave, 60Hz, resistive or inductive load.

Characteristic	Symbol	6A05	6A1	6A2	6A4	6A6	6A8	6A10	Unit
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V <sub>RRM</sub>	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS Voltage	V <sub>RMS</sub>	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC Blocking Voltage	V <sub>DC</sub>	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum Average Forward Rectified Current 9.5mm lead length @ T <sub>A</sub> = 75°C (See Fig. 1)	I <sub>(AV)</sub>	6.0							A
Peak Forward Surge Current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load	I <sub>FSM</sub>	400							A
Maximum Instantaneous Forward Voltage at 6.0A DC	V <sub>FM</sub>	0.90							V
Maximum DC Reverse Current @ T <sub>A</sub> = 25°C	I <sub>RM</sub>	10							µA
at Rated Blocking Voltage @ T <sub>A</sub> = 100°C		100							
Operating and Storage Temperature Range	T <sub>J</sub> , T <sub>STG</sub>	-65 to +175							°C

Notes: 1. RoHS revision 13.2.2003. Glass and high temperature solder exemptions applied, see EU Directive Annex Notes 5 and 7.





1N5820 - 1N5822

## 3.0A SCHOTTKY BARRIER RECTIFIERS

## Features and Benefits

- Guard Ring Die Construction for Transient Protection
- Low Power Loss, High Efficiency
- High Surge Capability
- High Current Capability and Low Forward Voltage Drop
- For Use in Low Voltage, High Frequency Inverters, Free Wheeling, and Polarity Protection Application
- **Lead Free Finish, RoHS Compliant (Note 1)**

## Mechanical Data

- Case: DO-201AD
- Case Material: Molded Plastic. UL Flammability Classification Rating 94V-0
- Moisture Sensitivity: Level 1 per J-STD-020
- Terminals: Finish - Tin. Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 208 @3
- Polarity: Cathode Band
- Marking: Type Number
- Weight: 1.1 grams (approximate)

## Ordering Information (Note 2)

Device	Packaging	Shipping
1N5820-B	DO-201AD	500 Bulk
1N5820-T	DO-201AD	1.2K/Tape & Reel, 13-inch
1N5821-B	DO-201AD	500 Bulk
1N5821-T	DO-201AD	1.2K/Tape & Reel, 13-inch
1N5822-B	DO-201AD	500 Bulk
1N5822-T	DO-201AD	1.2K/Tape & Reel, 13-inch

Maximum Ratings @T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	1N5820	1N5821	1N5822	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage	V <sub>RRM</sub>	20	30	40	V
Working Peak Reverse Voltage	V <sub>RRM</sub>				
DC Blocking Voltage (Note 3)	V <sub>R</sub>				
RMS Reverse Voltage	V <sub>R(RMS)</sub>	14	21	28	V
Average Rectified Output Current (Note 4)	I <sub>O</sub>		3.0		A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms Single Half Sine-Wave Superimposed on Rated Load @ T <sub>A</sub> = 75°C	I <sub>FSM</sub>		80		A

## Thermal Characteristics

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Typical Thermal Resistance (Note 5)	R <sub>nJA</sub>	40	°C/W
	R <sub>nJL</sub>	10	
Operating and Storage Temperature Range	T <sub>J</sub> , T <sub>STG</sub>	-65 to +150	°C

Electrical Characteristics @T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	1N5820	1N5821	1N5822	Unit
Forward Voltage @ I <sub>F</sub> = 3.0A	V <sub>FM</sub>	0.475	0.500	0.525	V
@ I <sub>F</sub> = 9.4A		0.850	0.900	0.950	
Peak Reverse Current @ T <sub>A</sub> = 25°C	I <sub>RM</sub>		2.0		mA
at Rated DC Blocking Voltage (Note 3) @ T <sub>A</sub> = 100°C			20		

- Notes:
1. EU Directive 2002/95/EC (RoHS). All applicable RoHS exemptions applied, see EU Directive 2002/95/EC Annex Notes.
  2. For packaging details, go to our website at <http://www.diodes.com>.
  3. Short duration pulse test used to minimize self-heating effect.
  4. Measured at ambient temperature at a distance of 9.5mm from the case.
  5. Thermal resistance from junction to lead vertical P.C.B. mounted, 0.500" (12.7mm) lead length with 2.5 x 2.5" (63.5 x 63.5mm) copper pad.



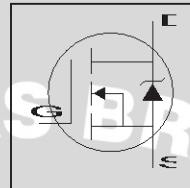
Lampiran 8. Datasheet MOSFET

International  
 Rectifier

PD - 94006A  
 IRF640N  
 IRF640NS  
 IRF640NL

- | Advanced Process Technology
- | Dynamic dv/dt Rating
- | 175°C Operating Temperature
- | Fast Switching
- | Fully Avalanche Rated
- | Ease of Paralleling
- | Simple Drive Requirements

HEXFET® Power MOSFET



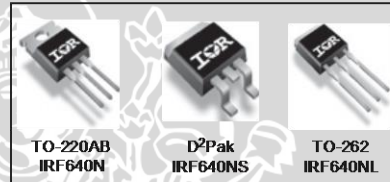
$V_{DSS} = 200V$   
 $R_{DS(on)} = 0.15\Omega$   
 $I_D = 18A$

Description

Fifth Generation HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.

The D<sup>2</sup>Pak is a surface mount power package capable of accommodating die sizes up to HEX-4. It provides the highest power capability and the lowest possible on-resistance in any existing surface mount package. The D<sup>2</sup>Pak is suitable for high current applications because of its low internal connection resistance and can dissipate up to 2.0W in a typical surface mount application. The through-hole version (IRF640NL) is available for low-profile application.



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	18	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	13	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current*	72	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	150	W
	Linear Derating Factor	1.0	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$	V
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy,	247	mJ
$I_{AR}$	Avalanche Current*	18	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy*	15	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt †	8.1	V/ns
$T_J$	Operating Junction and	-55 to +175	
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		°C
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw,	10 lbf-in (1.1N-m)	

www.irf.com

1  
 10/08/04



# IRF640N/S/L

International  
IGR Rectifier

## Electrical Characteristics @ T<sub>J</sub> = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
V <sub>DSS</sub>	Drain-to-Source Breakdown Voltage	200	—	—	V	V <sub>GS</sub> = 0V, I <sub>D</sub> = 250μA
ΔV <sub>DSS</sub> /ΔT <sub>J</sub>	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.25	—	V/°C	Reference to 25°C, I <sub>D</sub> = 1mA
R <sub>DS(on)</sub>	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	0.15	—	Ω	V <sub>GS</sub> = 10V, I <sub>D</sub> = 11A f
V <sub>GS(th)</sub>	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V <sub>DS</sub> = V <sub>GS</sub> , I <sub>D</sub> = 250μA
g <sub>fs</sub>	Forward Transconductance	6.8	—	—	S	V <sub>DS</sub> = 50V, I <sub>D</sub> = 11A f
I <sub>DSS</sub>	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	V <sub>DS</sub> = 200V, V <sub>GS</sub> = 0V
I <sub>DSS</sub>	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	250	μA	V <sub>DS</sub> = 160V, V <sub>GS</sub> = 0V, T <sub>J</sub> = 150°C
I <sub>GSS</sub>	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V <sub>GS</sub> = 20V
I <sub>GSS</sub>	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	V <sub>GS</sub> = -20V
Q <sub>g</sub>	Total Gate Charge	—	—	67	nC	I <sub>D</sub> = 11A
Q <sub>gs</sub>	Gate-to-Source Charge	—	—	11	nC	V <sub>DS</sub> = 160V
Q <sub>gd</sub>	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	33	nC	V <sub>GS</sub> = 10V, See Fig. 6 and 13
t <sub>d(on)</sub>	Turn-On Delay Time	—	10	—	ns	V <sub>DD</sub> = 100V
t <sub>r</sub>	Rise Time	—	19	—	ns	I <sub>D</sub> = 11A
t <sub>d(off)</sub>	Turn-Off Delay Time	—	23	—	ns	R <sub>G</sub> = 2.5Ω
t <sub>f</sub>	Fall Time	—	5.5	—	ns	R <sub>D</sub> = 9.0Ω, See Fig. 10 f
L <sub>D</sub>	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L <sub>S</sub>	Internal Source Inductance	—	7.5	—	nH	
C <sub>ISS</sub>	Input Capacitance	—	1160	—	pF	V <sub>GS</sub> = 0V
C <sub>OSS</sub>	Output Capacitance	—	185	—	pF	V <sub>DS</sub> = 25V
C <sub>rss</sub>	Reverse Transfer Capacitance	—	53	—	pF	f = 1.0MHz, See Fig. 5

## Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I <sub>S</sub>	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	18	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I <sub>SM</sub>	Pulsed Source Current (Body Diode)	—	—	72	A	
V <sub>SD</sub>	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>S</sub> = 11A, V <sub>GS</sub> = 0V f
t <sub>rr</sub>	Reverse Recovery Time	—	167	251	ns	T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>F</sub> = 11A
Q <sub>rr</sub>	Reverse Recovery Charge	—	929	1394	nC	di/dt = 100A/μs f
t <sub>on</sub>	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L <sub>S</sub> +L <sub>D</sub> )				

## Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
R <sub>θJC</sub>	Junction-to-Case	—	1.0	°C/W
R <sub>θCS</sub>	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
R <sub>θJA</sub>	Junction-to-Ambient	—	62	
R <sub>θJA</sub>	Junction-to-Ambient (PCB mount) ...	—	40	





### Lampiran 9. Datasheet Lampu Penerangan Jalan Umum



Model	LES.F-40W (MULTI)	
Power Max.	40W	
Input Voltage	220VAC or 12/24VDC	
Power Efficiency	85%	
LED Light Source	12 x 3W (CREE/Philips)	
Equivalent Lamp	70W High Pressure Sodium	
Lamp Rated Luminous Flux	3.200 lm (max)	
Lamp Rated Luminous Efficiency	80lm/W	
Color Rendering Index (CRI)	Ra>75	
Color Temperature (CCT)	Warm : 2700K-3300K Pure White : 3700K-5000K	
Led Lens	12 Pcs	
Beam Angle	145 x 75 Degree	
Frequency Range	47-63Hz	
Power Factor (PF)	0.90	
Total Harmonic Distortion (THD)	<15%	
Storage Temperature	-40 C ~ +80 C	
Junction Temperature (Tj)	60 C + 10% (ta+25 C)	
Light Body Material	Aluminium Alloy & Glass	
Working Lifetime	>30,000hrs	
IP Rating	Ip65	
Net Weight	+4.5Kg	
Product Size (mm)	+550x240x35	
Average Illumination & Effective Area	5M Height	10m x 5m >25LUX
	6M Height	13m x 7m >20LUX
	7M Height	15m x 9m >15LUX

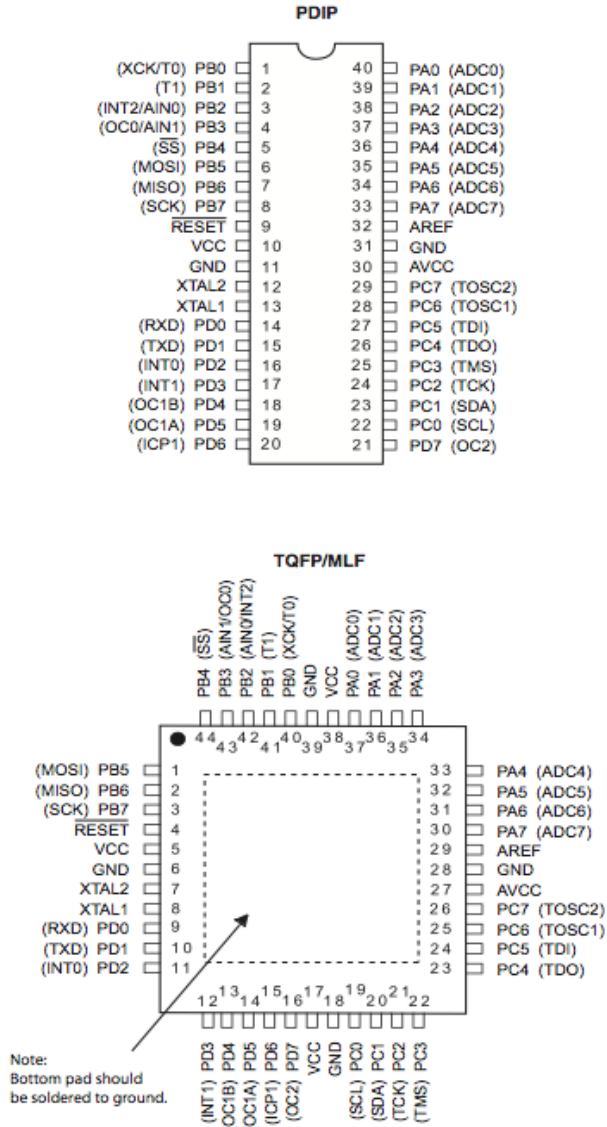


Lampiran 10. Datasheet Mikrokontroler

**ATmega32(L)**

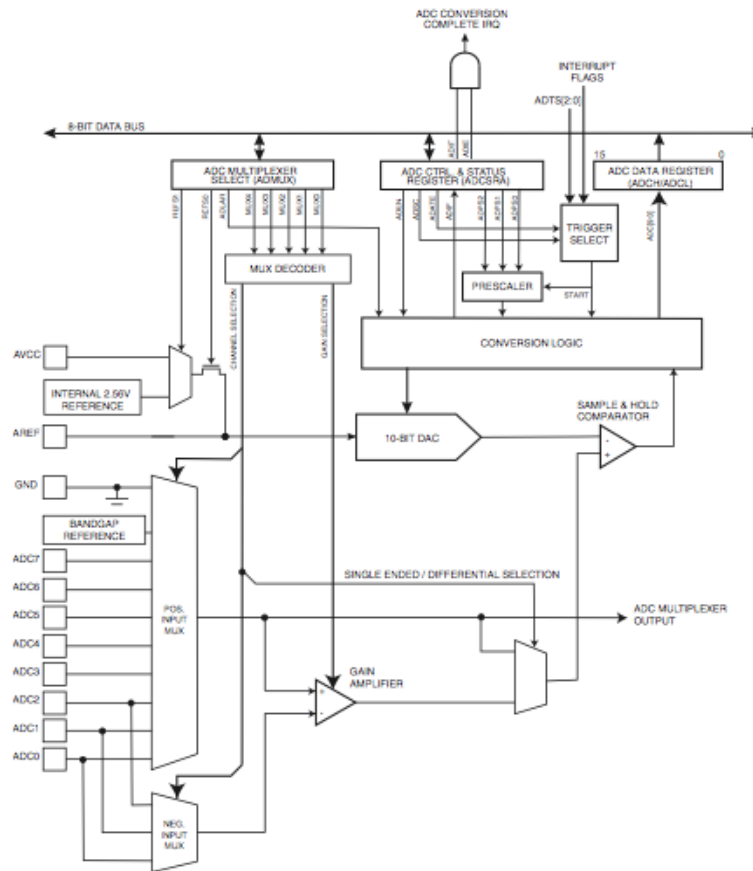
**Pin Configurations**

Figure 1. Pinout ATmega32



## ATmega32(L)

Figure 98. Analog to Digital Converter Block Schematic



### Operation

The ADC converts an analog input voltage to a 10-bit digital value through successive approximation. The minimum value represents GND and the maximum value represents the voltage on the AREF pin minus 1 LSB. Optionally, AVCC or an internal 2.56V reference voltage may be connected to the AREF pin by writing to the REFSn bits in the ADMUX Register. The internal voltage reference may thus be decoupled by an external capacitor at the AREF pin to improve noise immunity.

The analog input channel and differential gain are selected by writing to the MUX bits in ADMUX. Any of the ADC input pins, as well as GND and a fixed bandgap voltage reference, can be selected as single ended inputs to the ADC. A selection of ADC input pins can be selected as positive and negative inputs to the differential gain amplifier.

If differential channels are selected, the differential gain stage amplifies the voltage difference between the selected input channel pair by the selected gain factor. This amplified value then

## ATmega32(L)

### ADC Conversion Result

After the conversion is complete (ADIF is high), the conversion result can be found in the ADC Result Registers (ADCL, ADCH).

For single ended conversion, the result is

$$ADC = \frac{V_{IN} \cdot 1024}{V_{REF}}$$

where  $V_{IN}$  is the voltage on the selected input pin and  $V_{REF}$  the selected voltage reference (see [Table 83 on page 214](#) and [Table 84 on page 215](#)). 0x000 represents analog ground, and 0x3FF represents the selected reference voltage minus one LSB.

If differential channels are used, the result is

$$ADC = \frac{(V_{POS} - V_{NEG}) \cdot GAIN \cdot 512}{V_{REF}}$$

where  $V_{POS}$  is the voltage on the positive input pin,  $V_{NEG}$  the voltage on the negative input pin, GAIN the selected gain factor, and  $V_{REF}$  the selected voltage reference. The result is presented in two's complement form, from 0x200 (-512d) through 0x1FF (+511d). Note that if the user wants to perform a quick polarity check of the results, it is sufficient to read the MSB of the result (ADC9 in ADCH). If this bit is one, the result is negative, and if this bit is zero, the result is positive. [Figure 111](#) shows the decoding of the differential input range.

[Table 82](#) shows the resulting output codes if the differential input channel pair (ADCn - ADCm) is selected with a gain of GAIN and a reference voltage of  $V_{REF}$ .

**Figure 111.** Differential Measurement Range

