

**POWER MANAGEMENT CONTROL PADA SISTEM HIBRIDA PV-  
GENSET MENGGUNAKAN ZELIO LOGIC SMART RELAY**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:  
**MOCHAMAD AZWAR ANAS**  
NIM. 105060300111059 - 63

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2014**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

***POWER MANAGEMENT CONTROL PADA SISTEM HIBRIDA PV-GENSET  
MENGUNAKAN ZELIO LOGIC SMART RELAY***

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**MOCHAMAD AZWAR ANAS**

**NIM. 105060300111059 - 63**

**Telah diperiksa dan disetujui oleh:**

**Dosen Pembimbing I**

**Ir. Soeprapto, M.T.**

**NIP. 19561020 198903 1 001**

**Dosen Pembimbing II**

**Ir. Unggul Wibawa, M.Sc.**

**NIP. 19630106 198802 1 001**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**POWER MANAGEMENT CONTROL PADA SISTEM HIBRIDA PV-GENSET  
MENGUNAKAN ZELIO LOGIC SMART RELAY**

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

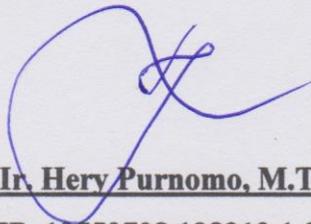
Disusun oleh:

**MOCHAMAD AZWAR ANAS**

**NIM. 105060300111059 – 63**

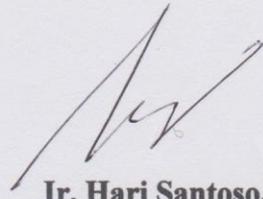
Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
Tanggal 12 November 2014

**DOSEN PENGUJI**



**Ir. Hery Purnomo, M.T.**

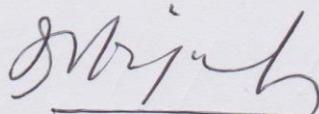
**NIP. 19550708 198212 1 001**



**Ir. Hari Santoso, M.S.**

**NIP. 19531205 198503 1 001**

9.4.

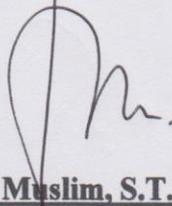


**Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc.**

**NIP. 19680122 199512 2 001**

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro



**M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D**

**NIP. 19741203 200012 1 001**

## PENGANTAR

*Alhamdulillah rabbil 'alamin.* Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas segala rahmat dan limpahan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“POWER MANAGEMENT CONTROL PADA SISTEM HIBRIDA PV-GENSET MENGGUNAKAN ZELIO LOGIC SMART RELAY”**.

Dalam pelaksanaan dan penulisan tugas akhir ini, penulis mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak baik secara moril maupun materiil. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

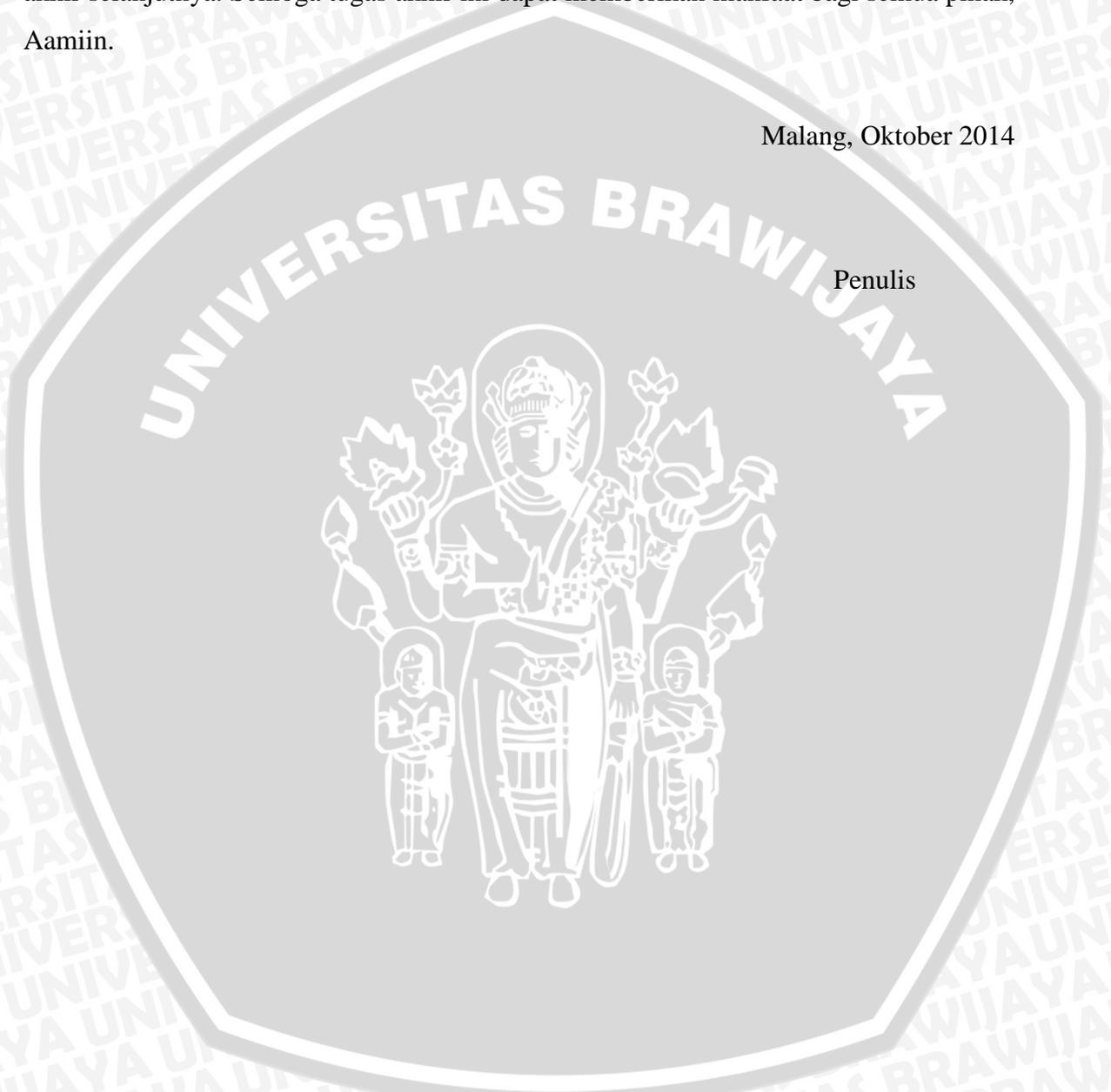
1. Ibunda Wida Zuhroida dan ayahanda Moch. Arifin Sulkan (Alm.), kakak dan adikku, Mas Arik, Mas Adib, Afik, Azmi, serta seluruh keluarga atas segenap dukungan dan kasih sayang yang telah diberikan.
2. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
4. Bapak Mochammad Rif'an S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
5. Bapak Ir. Soeprpto, M.T. dan Ir. Unggul Wibawa, M.Sc. selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu membimbing dengan penuh kesabaran dan memberi pengarahan penulis dalam penelitian ini.
6. Seluruh Dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya atas kesediaan membagi ilmunya kepada penulis.
7. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro angkatan *Magnet* 2010, khususnya rekan-rekan mahasiswa konsentrasi (A) Teknik Energi Elektrik dan teman-teman pengurus inti Workshop-HME dan FORSITEK.
8. Para punggawa asisten Laboratorium Mesin Elektrik, Mas Indra, Gopar, Makmur, Hari, Agam, Crab, Betek, Nana, Mita, Safti, Harfin, Rafdi, Derry, dll.
9. Teman-teman HMH, Dheo, Afnan, SamBas, SamTom, Iqbul, Maman, Fery, Kevin, Ari, Erwan, Yoga, Boni, Radex, Isol, Mudeng, Agwin, Mbak Eka, dll.
10. 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 skripsi ini.

11. Seluruh pihak yang telah membantu kelancaran penulisan tugas akhir yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih banyak kekurangan baik format penulisan maupun isinya. Oleh karena itu, saran dan kritik membangun dari para pembaca senantiasa penulis harapkan guna perbaikan bagi tugas akhir selanjutnya. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak, Aamiin.

Malang, Oktober 2014

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL.....</b>	<b>x</b>
<b>RINGKASAN.....</b>	<b>xi</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>xiii</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 .....	3
1.5 Manfaat .....	3
1.6 Sistematika Pembahasan.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Sistem Hibrida PV-Genset.....	5
2.1.1 Konfigurasi Sistem PV-Genset.....	5
2.1.1.1 <i>Photovoltaic</i> (PV).....	6
2.1.1.2 <i>Battery Control Regulator</i> (BCR) .....	9
2.1.1.3 Baterai.....	10
2.1.1.4 <i>Bidirectional Inverter</i> .....	12
2.1.1.5 Genset .....	13
2.1.2 Prinsip Kerja PV-Genset.....	13
2.2 Generator Sinkron.....	14
2.2.1 Generator Sinkron Berbeban .....	15
2.3 Sensor Arus MDCSEM5A.....	16
2.4 Penguat Instrumentasi.....	17
2.5 Pemakaian Bahan Bakar Genset .....	19
2.6 Tipikal Beban Listrik Pedesaan .....	20
2.7 <i>Zelio Logic Smart Relay</i> .....	21
2.7.1 <i>Smart Relay Telemecanique SR3B261BD</i> .....	22

2.8	<i>Power Management Control</i> pada Sistem Hibrida PV-Genset.....	23
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>		<b>25</b>
3.1	Studi Literatur .....	25
3.2	Perancangan Sistem .....	26
3.2.1	Perancangan Perangkat Keras.....	26
3.2.2	Perancangan Perangkat Lunak.....	26
3.3	Pengujian dan Analisis.....	27
3.4	Pengambilan Kesimpulan .....	28
<b>BAB IV PERANCANGAN SISTEM .....</b>		<b>29</b>
4.1	Gambaran Umum.....	29
4.2	Perancangan Perangkat Keras.....	30
4.2.1	Perancangan Sensor Arus Beban .....	30
4.2.2	Perancangan Rangkaian Pembagi Tegangan .....	32
4.2.3	Perancangan Relai Otomatisasi Genset .....	33
4.2.4	Perancangan Alat Pengukur Volume Bahan Bakar .....	34
4.3	Konfigurasi <i>Input/Output</i> pada Zelio.....	34
4.4	Perancangan Perangkat Lunak.....	35
4.4.1	Perancangan Peralihan Sumber Energi antara Baterai dan Genset.....	35
4.4.2	Perancangan <i>Automatic Starting</i> pada Genset.....	36
4.4.3	Perancangan Relai untuk <i>Charging</i> Baterai.....	37
4.4.4	Perancangan <i>Delay OFF</i> pada Genset.....	37
<b>BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS .....</b>		<b>39</b>
5.1	Pengujian <i>Solar cell</i> .....	39
5.1.1	Tujuan .....	39
5.1.2	Peralatan.....	39
5.1.3	Prosedur Pengujian .....	39
5.1.4	Hasil Pengujian .....	40
5.1.5	Analisis Hasil Pengujian.....	41
5.2	Pengujian Rangkaian Pendeteksi Arus Beban .....	42
5.2.1	Tujuan .....	42
5.2.2	Peralatan.....	42
5.2.3	Prosedur Pengujian .....	42
5.2.4	Hasil Pengujian .....	43
5.2.5	Analisis Hasil Pengujian.....	44

5.3	Pengujian Rangkaian Pembagi Tegangan.....	45
5.3.1	Tujuan .....	45
5.3.2	Peralatan.....	45
5.3.3	Prosedur Pengujian .....	45
5.3.4	Hasil Pengujian .....	45
5.3.5	Analisis Hasil Pengujian .....	46
5.4	Pengujian Otomatisasi Genset .....	46
5.4.1	Tujuan .....	46
5.4.2	Peralatan.....	46
5.4.3	Prosedur Pengujian .....	46
5.4.4	Hasil Pengujian .....	47
5.4.5	Analisis Hasil Pengujian .....	47
5.5	Pengujian Perangkat Lunak .....	47
5.5.1	Tujuan .....	47
5.5.2	Hasil dan Analisis Pengujian .....	47
5.6	Pengujian <i>Specific Fuel Consumption</i> (SFC) Genset.....	51
5.6.1	Tujuan .....	51
5.6.2	Peralatan.....	51
5.6.3	Prosedur Pengujian .....	51
5.6.4	Hasil Pengujian .....	52
5.6.5	Analisis Hasil Pengujian .....	53
5.7	Pengujian Pensaklaran Sistem .....	53
5.7.1	Pengujian Keseluruhan Sistem .....	54
5.8	Implementasi Sistem .....	56
5.8.1	Perhitungan Manajemen Energi.....	57
5.8.1.1	Energi dari <i>Solar cell</i> .....	57
5.8.1.2	Energi dari Baterai .....	60
5.8.2	Pengujian Implementasi Sistem.....	60
<b>BAB VI PENUTUP .....</b>		<b>62</b>
6.1	Kesimpulan .....	62
6.2	Saran .....	62
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>64</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>66</b>

## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Nilai $R_G$ dengan variasi <i>Gain</i> .....	19
Tabel 2.2	Tipikal beban listrik rumah tangga pedesaan.....	21
Tabel 3.1	Data hasil perhitungan SFC genset.....	27
Tabel 3.2	Hasil pengujian pensaklaran sistem hibrida.....	28
Tabel 4.1	<i>State of charge standard batteries</i> .....	32
Tabel 4.2	Konfigurasi <i>input/output</i> pada Zelio.....	34
Tabel 5.1	Hasil pengujian <i>solar cell</i> 205 Wp.....	40
Tabel 5.2	Perbandingan nilai parameter <i>solar cell</i> .....	41
Tabel 5.3	Data tegangan keluaran sensor arus MDCSEM5A dan RPS AD620.....	43
Tabel 5.4	Hasil pengukuran rangkaian pembagi tegangan.....	45
Tabel 5.5	Data hasil pengujian otomatisasi genset.....	47
Tabel 5.6	Data hasil pengujian SFC genset.....	52
Tabel 5.7	Pengujian pensaklaran sistem hibrida.....	54
Tabel 5.8	Pengujian keseluruhan sistem.....	55
Tabel 5.9	Data beban PLTD Mandangin.....	56
Tabel 5.10	Data beban dalam skala laboratorium.....	59

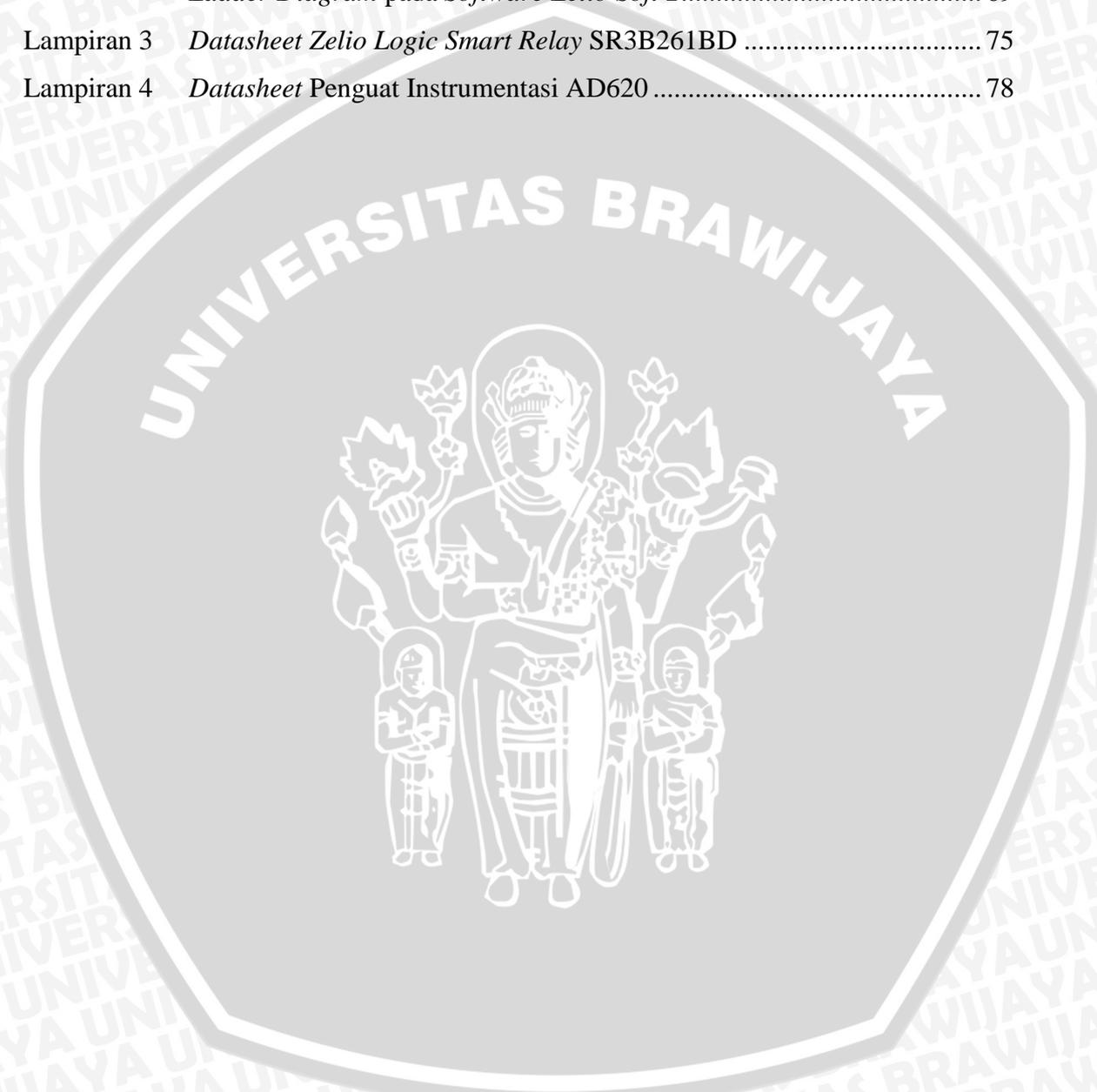
## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Konfigurasi sistem hibrida PV-genset. ....	6
Gambar 2.2	Hubungan sel surya, panel surya, dan <i>array</i> . ....	6
Gambar 2.3	<i>Junction</i> antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. ....	7
Gambar 2.4	Cara kerja sel surya dengan prinsip <i>p-n junction</i> . ....	7
Gambar 2.5	Karakteristik arus-tegangan dari <i>solar cell</i> . ....	8
Gambar 2.6	Kurva arus-tegangan untuk radiasi matahari yang berbeda. ....	9
Gambar 2.7	<i>Battery control regulator</i> untuk <i>photovoltaic</i> . ....	10
Gambar 2.8	Indikasi <i>battery control regulator</i> . ....	10
Gambar 2.9	Contoh baterai. ....	11
Gambar 2.10	Diagram baterai sesudah dan sebelum <i>discharge</i> . ....	11
Gambar 2.11	Konfigurasi rangkaian <i>bidirectional inverter</i> . ....	12
Gambar 2.12	Rangkaian <i>bidirectional inverter</i> dalam mode <i>inverter</i> . ....	12
Gambar 2.13	Rangkaian <i>bidirectional inverter</i> dalam mode <i>rectifier</i> . ....	13
Gambar 2.14	Contoh <i>bidirectional inverter</i> . ....	13
Gambar 2.15	Konstruksi generator sinkron satu fasa. ....	14
Gambar 2.16	Karakteristik generator sinkron berbeban. ....	16
Gambar 2.17	Skematik sensor arus <i>non-invasive</i> . ....	17
Gambar 2.18	Skematik sederhana AD620. ....	18
Gambar 2.19	Pin AD620. ....	18
Gambar 2.20	Pemakaian bahan bakar sistem genset. ....	19
Gambar 2.21	Karakteristik pemakaian bahan bakar generator-diesel. ....	20
Gambar 2.22	Tipikal beban harian. ....	21
Gambar 2.23	<i>Smart Relay Telemecanique SR3B261BD</i> buatan <i>Schneider</i> . ....	23
Gambar 3.1	Diagram alir metode penelitian. ....	25
Gambar 3.2	Skematik perancangan sistem hibrida pv-genset. ....	26
Gambar 3.3	Grafik karakteristik SFC genset. ....	27
Gambar 4.1	Blok diagram <i>power management control</i> pada sistem hibrida pv-genset. .....	29
Gambar 4.2	Blok diagram perancangan pendeteksi arus beban. ....	30
Gambar 4.3	Perancangan rangkaian pengkondisi sinyal. ....	31
Gambar 4.4	Ilustrasi perhitungan rangkaian pengkondisi sinyal. ....	31

Gambar 4.5	Rangkaian pembagi tegangan. ....	32
Gambar 4.6	Rangkaian otomatisasi genset. ....	33
Gambar 4.7	<i>Flowchart</i> program <i>power management control</i> . ....	35
Gambar 4.8	Peralihan energi antara baterai dan genset. ....	36
Gambar 4.9	<i>Automatic starting</i> pada genset. ....	36
Gambar 4.10	Relai untuk <i>charging</i> baterai. ....	37
Gambar 4.11	Perancangan <i>delay off</i> pada genset. ....	37
Gambar 5.1	Rangkaian pengujian <i>solar cell</i> . ....	39
Gambar 5.2	Grafik pengujian karakteristik arus terhadap tegangan. ....	40
Gambar 5.3	Grafik perubahan tegangan, arus, dan daya terhadap waktu. ....	41
Gambar 5.4a	Blok diagram rangkaian pengujian sensor arus. ....	42
Gambar 5.4b	Rangkaian pengujian sensor arus. ....	42
Gambar 5.5	Grafik tegangan keluaran sensor arus dan RPS. ....	43
Gambar 5.6	Bentuk gelombang tegangan keluaran sensor arus untuk beban 100 W (0,44 A) dan beban 1100 W (4,75 A). ....	44
Gambar 5.7	Rangkaian pengujian rangkaian pembagi tegangan. ....	45
Gambar 5.8	Blok diagram rangkaian pengujian otomatisasi genset. ....	46
Gambar 5.9	Simulasi program peralihan sumber energi dari baterai ke genset. ....	48
Gambar 5.10a	Simulasi program <i>automatic starting ON</i> pada genset. ....	48
Gambar 5.10b	Simulasi program <i>automatic starting OFF</i> pada genset. ....	49
Gambar 5.11	Simulasi program relai untuk <i>charging</i> . ....	49
Gambar 5.12	Simulasi program <i>delay OFF</i> pada genset. ....	50
Gambar 5.13	Simulasi program saat genset <i>OFF</i> . ....	51
Gambar 5.14	Blok diagram rangkaian pengujian SFC genset. ....	52
Gambar 5.15	Grafik karakteristik SFC genset. ....	53
Gambar 5.16	Blok diagram pengujian keseluruhan sistem. ....	55
Gambar 5.16	Kurva beban. ....	59

**DAFTAR LAMPIRAN**

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Dokumentasi .....	66
Lampiran 2	Hasil Perancangan Perangkat Lunak Menggunakan Bahasa Pemrograman <i>Ladder Diagram</i> pada <i>Software Zelio Soft 2</i> .....	69
Lampiran 3	<i>Datasheet Zelio Logic Smart Relay SR3B261BD</i> .....	75
Lampiran 4	<i>Datasheet Penguat Instrumentasi AD620</i> .....	78



**DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL**

AC	: <i>Alternating Current</i>
BCR	: <i>Battery Control Regulator</i>
DC	: <i>Direct Current</i>
DOD	: <i>Depth of Discharge</i>
EEPROM	: <i>Electrically Erasable Programmable Read Only Memory</i>
Genset	: <i>Generator Set</i>
Ib	: <i>Input analog pada Zelio merepresentasikan tegangan DC baterai</i>
Ic	: <i>Input analog pada Zelio merepresentasikan tegangan DC beban</i>
I/O	: <i>Input/Output</i>
LCD	: <i>Liquid Crystal Display</i>
NC	: <i>Normally Close</i>
NO	: <i>Normally Open</i>
PLC	: <i>Programmable Logic Control</i>
PLN	: <i>Perusahaan Listrik Negara</i>
PLTD	: <i>Pembangkit Listrik Tenaga Diesel</i>
PLTS	: <i>Pembangkit Listrik Tenaga Surya</i>
PV	: <i>Photovoltaic</i>
RPS	: <i>Rangkaian Pengkondisi Sinyal</i>
SFC	: <i>Specific Fuel Consumption</i>

## RINGKASAN

**Mochamad Azwar Anas**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Oktober 2014, *Power Management Control pada Sistem Hibrida PV-Genset Menggunakan Zelio Logic Smart Relay*, Dosen Pembimbing: Ir. Soeprapto, M.T. dan Ir. Unggul Wibawa, M.Sc.

Energi merupakan salah satu masalah utama dalam pertumbuhan dan perkembangan suatu negara sehingga diperlukan suatu inovasi energi alternatif yang dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan, salah satunya yakni energi matahari. Indonesia merupakan salah satu negara yang beriklim tropis sehingga berpotensi besar dalam pemanfaatan energi matahari dengan menggunakan sistem *photovoltaic* (PV) yang terdiri dari panel surya, baterai dan inverter. Teknologi *photovoltaic* yang dipadukan dengan diesel-generator set (genset) atau biasa disebut dengan *PV-Genset hybrid system* berkembang dengan pesat karena dapat mengurangi ketergantungan energi fosil dan dapat menjaga kestabilan suplai listrik. Namun, *demand* listrik dan intensitas matahari yang berubah-ubah mengakibatkan kinerja sistem hibrida PV-Genset tidak optimal. Oleh karena itu, diperlukan adanya *power management control* untuk memenuhi kebutuhan beban listrik yang optimal.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan rancangan sistem hibrida PV-Genset menggunakan *Zelio Logic Smart Relay* meliputi: mendapatkan (1) parameter tegangan, arus, dan daya *solar cell*; (2) kinerja sensor arus beban; (3) kinerja rangkaian otomatisasi genset dan nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC) yang optimal; (4) kinerja *Zelio* dalam pensaklaran sistem; (5) profil beban (besarnya beban dasar dan beban puncak) yang sesuai dengan ketersediaan panel surya dan baterai dalam skala laboratorium.

Pada penelitian ini, *power management control* menggunakan *Zelio Logic Smart Relay* dirancang sebagai sarana untuk melakukan peralihan energi dari baterai ke genset dan sebaliknya secara otomatis. Penelitian ini menguraikan tentang perancangan sistem hibrida dalam skala laboratorium yang meliputi perancangan perangkat keras, yakni sensor arus, rangkaian pembagi tegangan, dan otomatisasi genset, serta perancangan perangkat lunak menggunakan *software Zelio Soft 2*. Pengujian dilakukan pada masing-masing blok rangkaian meliputi pengujian parameter *solar cell*, rangkaian sensor arus, rangkaian pembagi tegangan, otomatisasi dan karakteristik SFC genset, serta simulasi program dan pensaklaran sistem menggunakan relai.

Berdasarkan hasil pengujian, nilai tegangan dan daya keluaran *solar cell* akan meningkat seiring meningkatnya intensitas matahari, sedangkan arusnya akan semakin menurun. Selain itu, terdapat perbedaan tegangan dan arus berturut-turut sebesar 2,13 V dan 1,01 A dari hasil pengukuran. Sensor arus yang digunakan pada sistem mampu mendeteksi perubahan arus yang mengalir ke beban secara linier dengan memberikan respon berupa tegangan keluaran yang menjadi masukan *Zelio*. Rangkaian otomatisasi genset dapat berfungsi dengan baik dan nilai optimum SFC pada genset merk Starke 2,8 kW 220 V 50 Hz adalah sebesar 0,67 l/kWh saat pembebanan 72% dari kapasitas genset. Pensaklaran sistem hibrida secara otomatis berdasarkan sensor tegangan baterai ( $I_b$ ) dan tegangan beban ( $I_c$ ) dapat dilakukan dengan baik oleh *Zelio*. Saat  $I_b > I_c$ , beban disuplai baterai melalui inverter. Saat  $I_b \leq I_c$ , genset *ON* menyuplai beban dan relai *charger ON* untuk men-charge baterai. Profil beban yang memenuhi sistem dalam skala laboratorium 1:6000 adalah beban dasar sebesar 37 W dan beban puncak sebesar 90 W.

Untuk penyempurnaan penelitian ini, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai pengontrolan sensor tegangan *output*, sensor frekuensi, dan sensor volume *gasoline* pada genset menggunakan Zelio.

**Kata Kunci**—Sistem Hibrida PV-Genset, Sensor Arus, Otomatisasi Pensaklaran, SFC Genset, *Zelio Logic Smart Relay*.



## SUMMARY

**Mochamad Azwar Anas**, Electrical Engineering Department, Engineering Faculty, Brawijaya University, Oktober 2014, *Power Management Control for PV-Genset Hybrid System Using Zelio Logic Smart Relay*. Advisor lecture: Ir. Soeprapto, M.T. and Ir. Unggul Wibawa, M.Sc.

Energy is one of main concern in country's growth and development. As the implication, it is needed an innovation of alternative energy which can be used continuously, one of them is solar energy. Since Indonesia is tropical country, it has huge potency in utilizing solar energy by using *photovoltaic* (PV) system which consists of solar panels, battery and inverter. *Photovoltaic* technology combined with diesel-generator set (genset) that used to be called *PV-Genset hybrid system* is developing rapidly since its potency in reducing the dependence on fossil energy and keeping the stability of electricity supplies. However, both of electricity demand and solar intensity which are fluctuative implies to *PV-Genset hybrid system* can't perform optimally. That's why it is needed *power management control* to fulfill the necessities of optimal electricity load.

The aims of this research is to get the conception of *PV-Genset hybrid system* by using *Zelio Logic Smart Relay* which consists of: (1) parameter of voltage, current, and power of *solar cell*, (2) performance of current censor, (3) performance of genset automation and the optimal value of *Specific Fuel Consumption (SFC)*, (4) performance of *Zelio* in system switching, (5) load profile, consists of the value of base load and peak load, which fits to the availability of solar panels and batteries in laboratory scale.

In this research, *power management control* using *Zelio Logic Smart Relay* is designed to be the facility in executing energy transition from battery to genset automatically and vice versa. This research explains about how to design hybrid system in laboratory scale which consists of designing hardware (current censor, voltage divider circuit, genset automation), and designing software using *Zelio Soft 2*. The test is conducted on each of circuit section which consists of the test for *solar cell* parameter, current censor circuit, voltage divider circuit, genset automation and SFC's characteristics, program simulation and system switching using relay.

Based on the test result, the value of voltage and output power of *solar cell* would be increased in line with increasing of solar intensity, while the current would be decreased. In addition, from the test result, there are differences of voltage and current, that are 2.13 V and 1.01 A consecutively. The current censor which used in the system was able to detect current change flowing to load linearly by giving output voltage that became input of *Zelio* as the response. The series of genset automation could be functioned well and the optimal value of SFC in "Starke" genset with specification 2.8 kW 220 V 50 Hz was 0.67 l/kWh with the load was 72 percent of genset capacity. Hybrid system switching was automatically based on the censor of battery voltage ( $I_b$ ) and load voltage ( $I_c$ ) operated well by *Zelio* well. When  $I_b > I_c$ , the load was supplied by the battery through the inverter. When  $I_b \leq I_c$ , the genset was ON supplying load and charger relay was ON to recharge the battery. Load profile which fits to the system in 1:6000 laboratory scale were 37 W for base load and 90 W for peak load.

For the improvement of this research, it's needed a continuation research in controlling censor of the output voltage, censor of the frequency, and censor of the gasoline volume on the genset by using *Zelio*.

**Key words**— PV-Genset Hybrid System, Current Censor, Switching Automation, SFC of Genset, *Zelio Logic Smart Relay*.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi merupakan salah satu masalah utama dalam pertumbuhan dan perkembangan ekonomi suatu negara. Semakin meningkat pertumbuhan ekonomi suatu negara, maka semakin meningkat pula kebutuhan energi tersebut sehingga mengakibatkan persediaan cadangan energi akan semakin berkurang bahkan habis. Oleh karena itu, diperlukan adanya inovasi energi alternatif agar tidak terjadi ketidakseimbangan antara kemajuan ekonomi dengan ketersediaan cadangan energi. Salah satu contoh energi alternatif yang dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan adalah energi matahari.

Indonesia merupakan salah satu negara yang beriklim tropis sehingga mendapatkan sinar matahari dengan intensitas yang cukup tinggi sepanjang tahun. Hal ini berarti potensi pemanfaatan energi matahari sangatlah besar. Namun, masyarakat Indonesia masih jarang memanfaatkan potensi tersebut. Menurut data Kementerian Energi dan Sumber daya Mineral (ESDM), pemanfaatan energi matahari di Indonesia masih sangat sedikit. Potensi energi panas matahari di Indonesia sekitar  $4,8 \text{ kWh/m}^2$  atau setara dengan 112.000 GWh. Namun, energi matahari yang dimanfaatkan hanya sekitar 10 MWh. Dengan kata lain, pemanfaatan energi matahari di Indonesia jauh dari angka satu persen.

Seiring dengan perkembangan teknologi, kehidupan manusia sangat bergantung pada energi listrik dimana *demand* listrik semakin lama semakin meningkat. Semakin banyak penggunaan listrik, maka semakin tinggi pula biaya yang harus dikeluarkan untuk memenuhi energi listrik. Namun, biaya pengeluaran tersebut dapat dihemat dengan adanya energi matahari sebagai sumber energi alternatif. Selain itu, energi matahari juga dapat dimanfaatkan pada daerah yang belum terjangkau sumber listrik.

Pemanfaatan energi matahari untuk diubah menjadi energi listrik diperlukan suatu alat yang dinamakan panel surya. Penggunaan panel surya tidak dapat berdiri sendiri karena memerlukan instalasi tenaga surya yang terdiri dari panel surya, baterai, dan *inverter*. Penggunaan instalasi listrik tenaga surya ini memiliki keunggulan yaitu praktis, tidak memerlukan transmisi, perawatannya mudah, dan ramah lingkungan.

Pada zaman sekarang, teknologi *photovoltaic* (PV) berkembang sangat pesat, misalnya penggunaan sistem PV yang dipadukan dengan genset (PV-Genset *hybrid*

system). Dengan menerapkan sistem hibrida ini, dapat meningkatkan efisiensi sistem pembangkit, mengurangi ketergantungan pada suplai BBM, dan menjaga kestabilan suplai listrik. Namun, kebutuhan beban listrik yang bervariasi dan intensitas cahaya matahari yang berubah-ubah menyebabkan kinerja sistem hibrida PV-Genset tidak optimal. Untuk memenuhi kebutuhan listrik yang optimal, diperlukan adanya *power management control* pada sistem hibrida tersebut. Oleh karena itu, penulisan tugas akhir ini akan dibahas mengenai “*Power Management Control* pada Sistem Hibrida PV-Genset Menggunakan *Zelio Logic Smart Relay*.”

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, masalah yang akan dibahas adalah bagaimana perancangan *power management* pada sistem hibrida PV-Genset menggunakan *Zelio Logic Smart Relay*, yang meliputi:

1. Bagaimana parameter tegangan, arus, dan daya pada kurva I-V *solar cell* yang digunakan dan berapa selisih nilai pengukuran tegangan dan arus dibandingkan dengan nilai spesifikasinya.
2. Bagaimana sensor arus mendeteksi perubahan arus yang mengalir ke beban.
3. Bagaimana perancangan otomatisasi genset dan berapa nilai konsumsi bahan bakar atau SFC genset yang optimal.
4. Bagaimana peralihan energi antara baterai dan genset menggunakan *Zelio*.
5. Berapa besar beban dasar dan beban puncak yang dapat dipikul oleh panel surya dan baterai yang tersedia dalam skala laboratorium.

## 1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah di atas, pembahasan pada penulisan tugas akhir ini memiliki beberapa batasan sebagai berikut:

- a. Membahas tentang perangkat/*prototype* sistem peralihan energi baterai dan genset menggunakan *Zelio*.
- b. Modul *photovoltaic* (PV) yang digunakan untuk pengujian karakteristik *solar cell* adalah 205 Wp.
- c. Generator set (Genset) yang digunakan untuk pengujian SFC adalah berbahan bakar *gasoline* premium dan kapasitas daya 2,5 kVA.
- d. Penggunaan PV didasarkan pada intensitas dan radiasi matahari di kota Malang.
- e. *Smart Relay* yang digunakan adalah *Smart Relay Telemecanique SR3B261BD*.

- f. Simulasi pada penelitian ini menggunakan *Software Zelio Soft 2*.
- g. Saat pengujian sistem, baterai disimulasikan menggunakan *voltage regulator dc*, dan genset diwakili oleh sumber PLN.

#### 1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penulisan tugas akhir ini adalah mendapatkan rancangan sistem hibrida PV-Genset dengan menggunakan *Zelio Logic Smart Relay* yang meliputi:

1. Mendapatkan parameter kurva I-V pada *solar cell* yang digunakan sebagai sarana pemanfaatan energi terbarukan.
2. Mendapatkan kinerja sensor arus yang dapat mendeteksi arus yang mengalir ke beban dengan respon tegangan keluaran sebagai masukan *Zelio*.
3. Mendapatkan kinerja otomatisasi genset dan nilai SFC genset yang optimal.
4. Mendapatkan kinerja *Zelio* untuk mengontrol peralihan energi baterai dan genset.
5. Mendapatkan profil beban yang sesuai dengan ketersediaan panel surya dan baterai dalam skala laboratorium.

#### 1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah dapat mengoptimasi sistem hibrida PV-Genset dengan menggunakan *Zelio Logic Smart Relay* sebagai sarana untuk menjaga kestabilan suplai listrik.

#### 1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan ditunjukkan untuk memberikan gambaran dan uraian dari penyusunan tugas akhir secara garis besar yang meliputi beberapa bab, sebagai berikut:

##### BAB I PENDAHULUAN

Menguraikan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika pembahasan.

##### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menguraikan tentang dasar teori dan referensi yang mendukung dalam studi *Power Management Control* pada Sistem Hibrida PV-Genset Menggunakan

*Zelio Logic Smart Relay.*

### BAB III METODE PENELITIAN

Menguraikan tentang metode dan langkah kerja yang terdiri dari studi literatur, perancangan sistem, pengujian dan analisis, serta pengambilan kesimpulan.

### BAB IV PERANCANGAN SISTEM

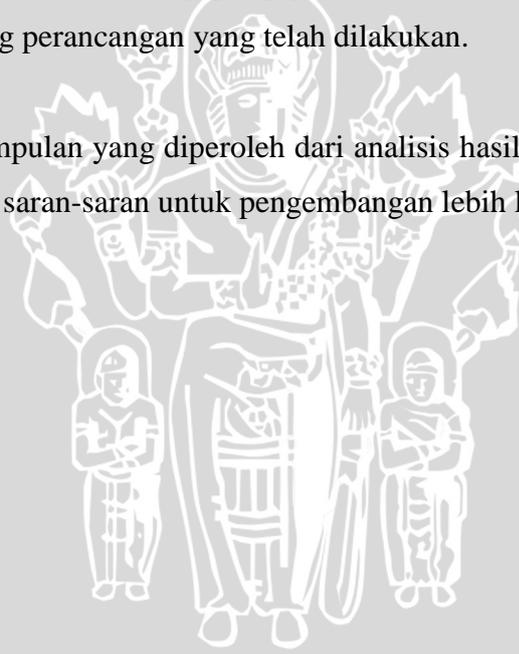
Pada bab ini berisi tentang perancangan sistem meliputi perancangan perangkat keras yaitu perancangan sensor arus, perancangan rangkaian pembagi tegangan, perancangan relai otomatisasi genset, perancangan alat pengukur volume bahan bakar; dan perancangan perangkat lunak menggunakan *software Zelio Soft 2*.

### BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada bab ini berisi tentang pengujian dan analisis hasil pengujian dari masing-masing perancangan yang telah dilakukan.

### BAB VI PENUTUP

Memuat kesimpulan yang diperoleh dari analisis hasil penelitian dalam tugas akhir ini serta saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Hibrida PV-Genset

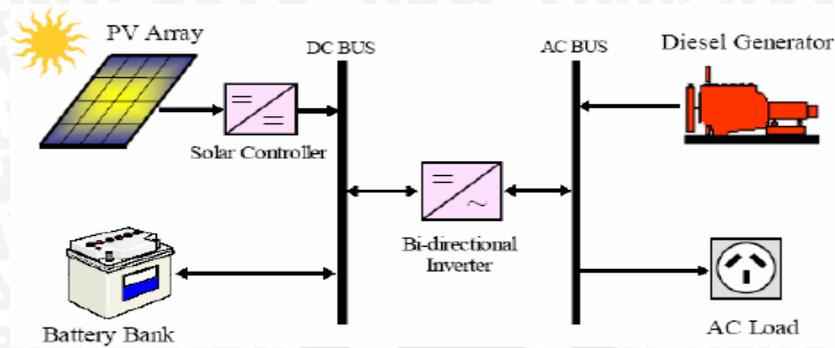
Sistem hibrida dapat melibatkan dua atau lebih sistem pembangkit listrik. Pada umumnya, sistem pembangkit yang banyak digunakan untuk dihibrid adalah Genset, PLTS, Mikrohidro, Tenaga Angin sehingga sistem hibrida bisa berarti PLTS-Genset, PLTS-Mikrohidro, PLTS-Tenaga Angin dst. Di Indonesia, sistem hibrida telah banyak digunakan, baik PLTS-Genset, PLTS-Mikrohidro, maupun PLTS-Tenaga Angin-Mikrohidro. Namun, sistem hibrida yang paling sering digunakan adalah PLTS-Genset (PV-Genset).

Tujuan dari sistem hibrida PV-Genset adalah mengkombinasikan keunggulan dari setiap pembangkit (dalam hal ini PV & genset) sekaligus menutupi kelemahan masing-masing pembangkit untuk kondisi-kondisi tertentu sehingga secara keseluruhan sistem dapat beroperasi lebih ekonomis dan efisien. *Photovoltaic* (PV) memerlukan investasi awal yang besar tetapi tidak memerlukan *operation & maintenance* (O&M) *cost* dan lebih murah untuk jangka panjang sehingga ideal untuk menyuplai beban dasar (*base load*). Jika digunakan untuk menyuplai beban puncak (*peak load*), investasi awal yang dibutuhkan akan terlalu besar. Sedangkan, investasi awal genset tidak besar tetapi O&M *cost* yang tinggi dan mahal untuk jangka panjang sehingga hanya efektif dan efisien untuk menyuplai beban puncak. Genset tidak efisien pada saat memikul beban dasar karena jauh di bawah kapasitas optimumnya.

Kombinasi sistem hibrida PV-Genset dapat mengurangi jam operasi genset (misalnya dari 24 jam per hari menjadi hanya 4 jam per hari pada saat beban puncak saja) sehingga biaya O&M dapat lebih efisien. Sementara itu, PV digunakan untuk menyuplai beban dasar. Dengan demikian, sistem hibrida PV-Genset akan dapat menghemat O&M *cost*, meningkatkan efisiensi penggunaan genset, serta sekaligus menghindari kebutuhan investasi awal yang besar. (<http://www.azetsurya.com>)

##### 2.1.1 Konfigurasi Sistem PV-Genset

Sistem hibrida PV-Genset terdiri dari lima komponen utama, yaitu panel surya (*photovoltaic*: PV), *Battery Control Regulator* (BCR), Baterai, *Bidirectional Inverter*, dan Genset.

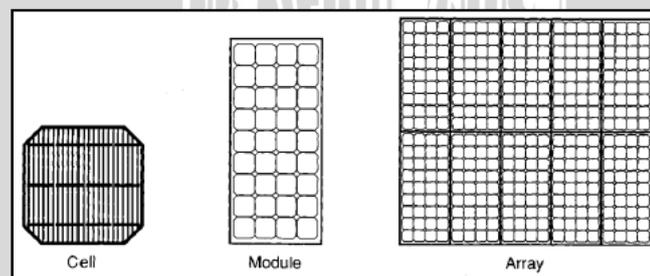


Gambar 2.1 Konfigurasi sistem hibrida PV-genset.

Sumber: Fitriana, 2003

### 2.1.1.1 Photovoltaic (PV)

Sel surya dapat dianalogikan sebagai divais dengan dua terminal atau sambungan, dimana ketika kondisi gelap atau tidak cukup cahaya akan berfungsi seperti dioda, dan ketika disinari dengan cahaya matahari dapat menghasilkan tegangan. Ketika disinari, umumnya satu sel surya menghasilkan tegangan DC sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus *short-circuit* berskala milliampere per  $\text{cm}^2$ . Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya. Satu modul (panel) surya biasanya terdiri dari 28-36 sel surya, dan total menghasilkan tegangan DC sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar. Modul surya tersebut bisa digabungkan secara paralel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus *output*-nya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu (Septina, 2011). Gabungan dari modul (panel-panel) ini akan membentuk suatu *Array* seperti yang terdapat pada Gambar 2.2 berikut ini.

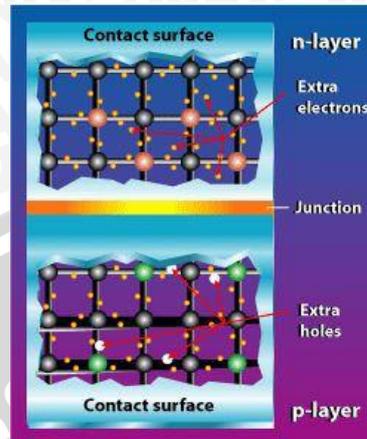


Gambar 2.2 Hubungan sel surya, panel surya, dan *array*.

Sumber: Patel, 1999

Cara kerja sel surya konvensional menggunakan prinsip *p-n junction*, yaitu *junction* antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang mana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p

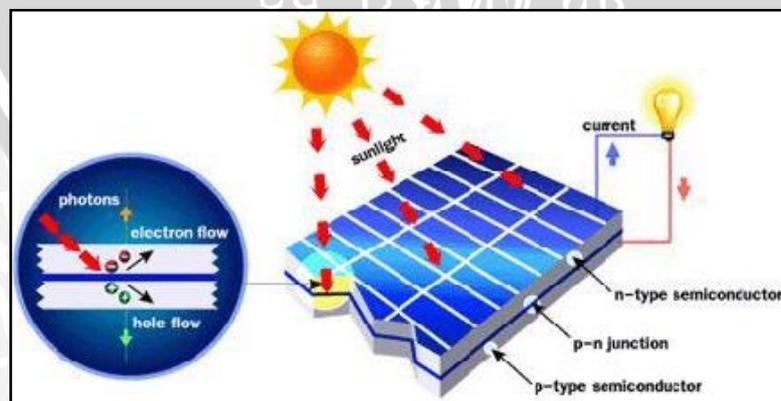
mempunyai kelebihan *hole* (muatan positif) dalam struktur atomnya (Septina, 2011). Ilustrasi Gambar 2.3 berikut ini menggambarkan *junction* semikonduktor tipe-p dan tipe-n.



Gambar 2.3 *Junction* antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n.

Sumber: energy.gov

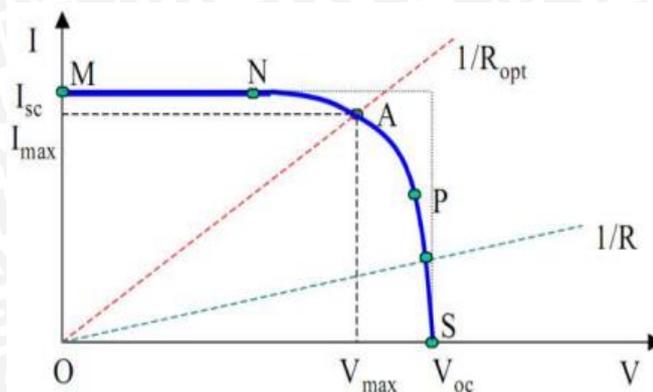
Peran dari *p-n junction* ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron (dan *hole*) bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p. Akibat dari aliran elektron dan *hole* ini terbentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susunan *p-n junction* ini, maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik, dan sebaliknya *hole* bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang (Septina, 2011), seperti diilustrasikan pada Gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4 Cara kerja sel surya dengan prinsip *p-n junction*.

Sumber: Septina, 2011

Karakteristik arus-tegangan sel surya ditunjukkan pada Gambar 2.5 berikut.



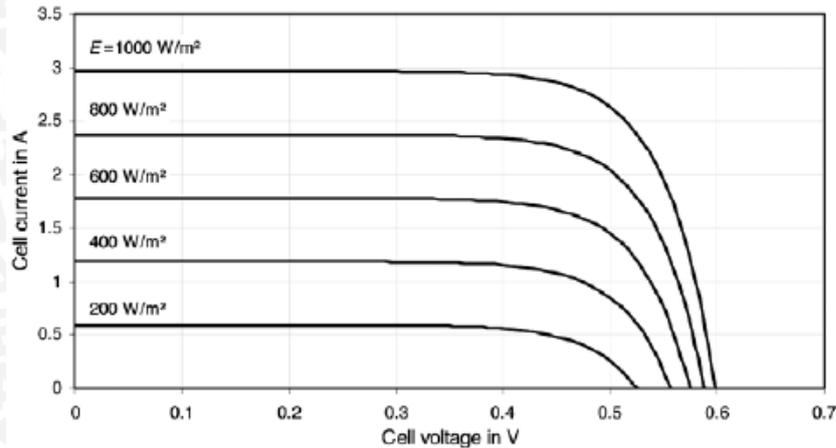
Gambar 2.5 Karakteristik arus-tegangan dari *solar cell*.

Sumber: Hansen dkk, 2000

Sel *photovoltaic* adalah sebuah alat non-linear sehingga untuk memahami karakteristiknya diperlukan suatu grafik. Sifat elektrik dari sel *photovoltaic* dalam menghasilkan energi listrik dapat diamati dari karakteristik listrik sel tersebut, yaitu berdasarkan arus dan tegangan yang dihasilkan sel *photovoltaic* pada kondisi cahaya dan beban yang berbeda-beda. Kurva I-V menggambarkan sifat dari sel surya secara lengkap. (Kariana, t.t)

Gambar 2.5 menunjukkan bahwa ketika sel dihubungkan dengan beban ( $R$ ). Beban memberi hambatan sebagai garis linear 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  $R_{opt}$  berarti sel surya menghasilkan daya maksimal dengan tegangan maksimal dan arus maksimal. (Hansen dkk, 2000)

Salah satu faktor yang paling berpengaruh terhadap kinerja modul *photovoltaic* adalah intensitas radiasi matahari. Semakin besar intensitas cahaya matahari maka arus yang dihasilkan akan semakin besar. Pada Gambar 2.6 terlihat bahwa semakin kecil tingkatan cahaya matahari, maka bentuk dari kurva arus-tegangan semakin menurun. Turunnya kurva ini menunjukkan turunnya arus dan daya, sedangkan tegangan berubah oleh bermacam-macam intensitas cahaya matahari.



Gambar 2.6 Kurva arus-tegangan untuk radiasi matahari yang berbeda.

Sumber: Quaschnig, 2005

Kapasitas daya modul *photovoltaic* dapat diperhitungkan dengan memperhatikan beberapa faktor, yaitu kebutuhan energi sistem yang disyaratkan, insolasi matahari, dan faktor penyesuaian (*adjustment factor*). Faktor penyesuaian pada kebanyakan instalasi PLTS adalah 1,1. (Bien dkk, 2008:42)

Kapasitas daya modul dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut: (Bien dkk, 2008:43)

$$\text{Kapasitas modul} = \frac{\text{Energi yang harus dipasok}}{\text{Jumlah jam kerja matahari}} \times \text{Faktor penyesuaian} \quad (2-1)$$

Jumlah modul yang digunakan: (Papadopoulou, 2011:119)

$$\text{Jumlah modul} = \frac{\text{Kapasitas modul yang dirancang}}{\text{Kapasitas modul yang digunakan}} \quad (2-2)$$

### 2.1.1.2 Battery Control Regulator (BCR)

*Battery control regulator* adalah pengontrol atau otak yang bekerja dari sistem pengisian sel *photovoltaic* ke baterai. Jika baterai sudah terisi penuh maka *battery control regulator* akan memutuskan arus dari sel *photovoltaic*. (Messenger, 2004:76)

BCR dapat dinilai oleh banyaknya arus yang dapat ditangani. Peraturan Kode Listrik Nasional mengharuskan BCR mampu menahan 25% dari arus untuk waktu yang terbatas. Semakin besar kapasitas BCR yang digunakan, maka semakin baik sistem tersebut karena sewaktu-waktu ada ekspansi beban, tidak perlu mengganti BCR-nya. BCR *photovoltaic* juga mencegah aliran arus balik di malam hari dari baterai menuju modul, dimana modul *photovoltaic* tidak lagi menghasilkan listrik. Jika tidak dicegah, maka modul akan berubah menjadi beban.



Gambar 2.7 Battery control regulator untuk photovoltaic.

Sumber: <http://www.powerbell.co.id>

Pada Gambar 2.8 berikut menunjukkan bagaimana tampilan pada BCR. Penunjukkan indikasi yang berbeda akan menentukan bagaimana BCR itu berfungsi dengan baik atau tidak sehingga pengguna dimudahkan dalam penggunaan BCR ini.

TAMPILAN	INDIKASI
<b>DIAG</b>	Proses diagnosa kondisi Battery
<b>noBt</b>	Kabel terminal Battery tidak terpasang atau tidak ada Battery
<b>12.60</b>	Besarnya tegangan Battery yang diukur. Contoh 12.60 Volt
<b>86.89</b>	Menunjukkan performa Battery Contoh 86.89%
<b>Err1</b>	Error 1: Performa Accu < 80% beberapa sel Battery rusak
<b>Error</b>	Kabel terminal Battery terpasang terbalik positif dan negatifnya
<b>bAd</b>	Battery sangat jelek dan sel tidak bisa menyimpan listrik (Rusak)
<b>FULL</b>	Battery sudah terisi penuh. Proses pengisian Battery selesai.

Gambar 2.8 Indikasi battery control regulator.

Sumber: <http://www.powerbell.co.id>

### 2.1.1.3 Baterai

Baterai mengakumulasi kelebihan energi yang dihasilkan oleh sistem *photovoltaic* dan menyimpannya untuk digunakan pada saat tidak ada masukan energi dari sumber lain. Kapasitas baterai untuk menyimpan energi dinilai dalam amp.jam (*ampere hour: Ah*) yang berarti 1 ampere dialirkan selama 1 jam = 1 amp.jam (1 Ah).

Selain itu, baterai juga berfungsi sebagai *buffer* daya untuk mengatasi *time lag* antara listrik yang dihasilkan oleh pembangkit (PV atau pun genset) dengan listrik yang digunakan oleh beban. Ukuran baterai yang dipakai sangat bergantung pada ukuran genset, ukuran panel surya, dan *load pattern*. Ukuran baterai yang terlalu besar baik

untuk efisiensi operasi tetapi mengakibatkan kebutuhan investasi yang terlalu besar. Sebaliknya, ukuran baterai yang terlalu kecil dapat mengakibatkan tidak tertampungnya daya berlebih dari pembangkit, dan genset akan sering menyala. (<http://www.azetsurya.com>)

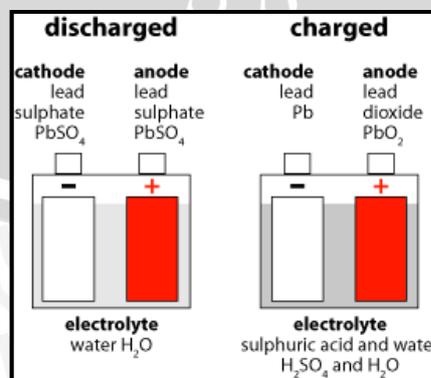
Baterai adalah komponen sistem *photovoltaic* yang berfungsi menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh modul *photovoltaic* pada siang hari, untuk kemudian dipergunakan pada malam hari dan pada saat cuaca mendung. Baterai yang digunakan pada sistem *photovoltaic* mengalami proses siklus mengisi (*charging*) dan mengosongkan (*discharging*), tergantung pada ada tidaknya sinar matahari. (Messenger, 2004:57)



Gambar 2.9 Contoh baterai.

Sumber: <http://www.powerbell.co.id>

Berikut penjelasan cara kerja baterai. Sel baterai timbal-asam yang terdiri dari elektroda positif dan negatif dari komposisi yang berbeda tersuspensi dalam larutan asam sulfat yang disebut elektrolit. Ketika sel-sel mengalami *discharge*, molekul belerang dari ikatan elektrolit dengan elektroda dan elektron akan lepas. Ketika sel mengalami *recharges*, kelebihan elektron kembali ke elektrolit. Baterai memperoleh tegangan dari reaksi kimia. Listrik segera mengalir dari baterai setelah ada sirkuit antara terminal positif dan negatif. Hal ini terjadi ketika setiap beban (alat) listrik terhubung ke baterai.

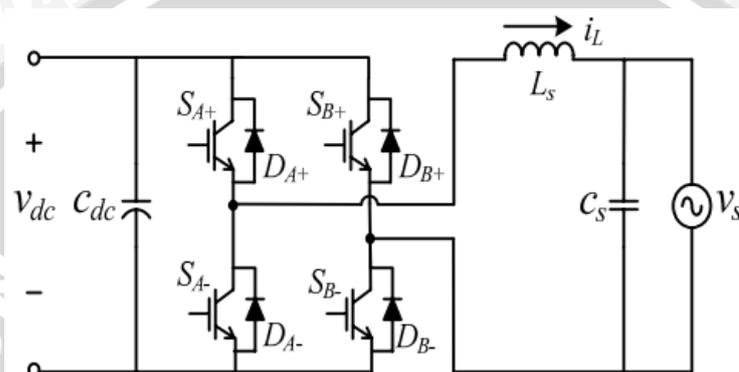


Gambar 2.10 Diagram baterai sesudah dan sebelum *discharge*.

Sumber: <http://www.powerbell.co.id>

### 2.1.1.4 Bidirectional Inverter

*Bidirectional inverter* merupakan peralatan yang dapat mengubah tegangan arus AC ke DC dalam dua arah. Dengan kata lain, alat ini dapat mengubah tegangan AC ke DC dan sebaliknya dari DC ke AC. *Bidirectional inverter* memiliki 2 komponen utama yaitu *inverter* dan *rectifier*. *Inverter* berfungsi untuk mengubah tegangan DC ke AC, sedangkan *rectifier* berfungsi untuk mengubah tegangan AC ke DC. Rangkaian skematis untuk *bidirectional inverter* dengan konfigurasi jembatan penuh (*full bridge*) dapat ditunjukkan pada Gambar 2.11 berikut.

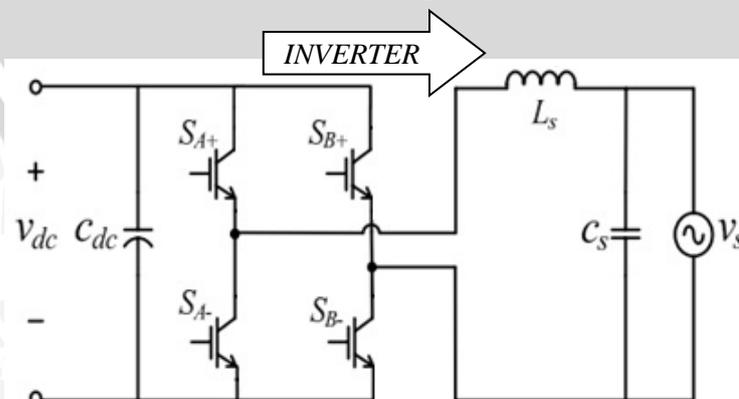


Gambar 2.11 Konfigurasi rangkaian *bidirectional inverter*.

Sumber: Yu, 2011

Pada Gambar 2.11 dapat dilihat bahwa komponen transistor *switch* dan *diode* dipasang paralel namun dengan arah yang berlawanan sehingga dapat beroperasi dalam dua arah. Prinsip kerja *bidirectional inverter* menggunakan dua mode, yakni mode *inverter* dan mode *rectifier*.

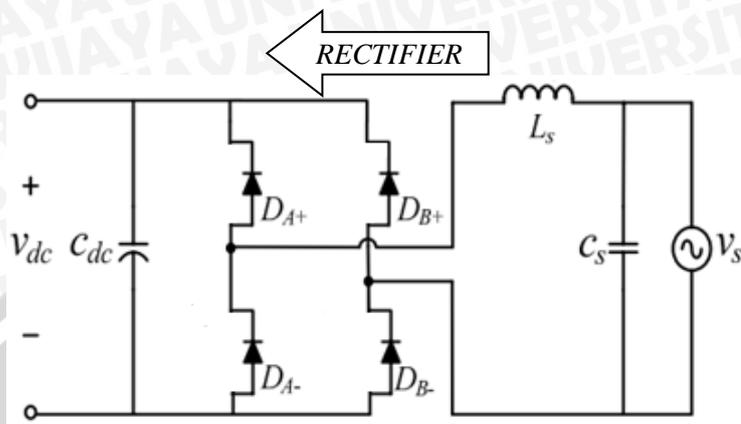
Pada mode *inverter*, tegangan DC akan diubah menjadi tegangan AC. Semua *diode* yang dipasang paralel dengan transistor akan mengalami *reverse bias* sehingga dalam keadaan *open* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12 berikut ini.



Gambar 2.12 Rangkaian *bidirectional inverter* dalam mode *inverter*.

Sumber: Yu, 2011

Sedangkan pada mode *rectifier*, tegangan AC akan diubah menjadi tegangan DC. Semua transistor *switch* yang dipasang paralel dengan *diode* akan mengalami *reverse bias* sehingga dalam keadaan *open* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 berikut.



Gambar 2.13 Rangkaian *bidirectional inverter* dalam mode *rectifier*.

Sumber: Yu, 2011



Gambar 2.14 Contoh *bidirectional inverter*.

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

### 2.1.1.5 Genset

Genset berfungsi membangkitkan listrik AC. Untuk sistem hibrida, umumnya dilengkapi dengan *automatic starter* agar nyala-padamnya genset dapat diatur otomatis dari *electronic controller*. Bahan bakar motor penggerak genset berdaya rendah (di bawah 3 kVA) umumnya menggunakan *gasoline premium*.

Rotor generator diputar oleh *prime mover* (penggerak mula) sehingga menghasilkan medan magnet berputar pada mesin. Medan magnet putar ini menginduksi tegangan pada kumparan stator generator. Tegangan pada kumparan stator adalah tegangan keluaran dari generator. (Muchsin, 2000:2)

### 2.1.2 Prinsip Kerja PV-Genset

Peralihan PV atau genset yang dioperasikan secara manual tidak disarankan karena sangat bergantung pada ketelitian operator dalam mengamati perilaku beban.

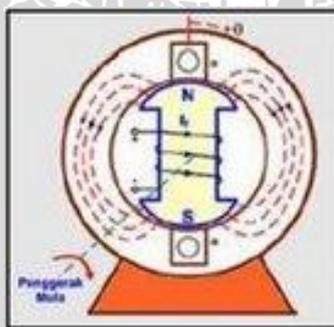
Sistem hibrida yang baik dilengkapi dengan *automatic engine starter* pada gensetnya dimana nyala-padamnya genset diatur secara elektrik.

Jika beban dapat disuplai oleh PV dan baterai, maka *bidirectional inverter* akan mengonversi listrik DC dari PV dan baterai menjadi listrik AC, lalu disalurkan ke beban. Jika PV dan baterai tidak mampu lagi menyuplai beban, maka genset akan dinyalakan untuk membantu menyuplai listrik. Hal ini berarti pada dasarnya, beban dasar (*base load*) akan disuplai oleh PV dan baterai, sedangkan beban puncak (*peak load*) akan disuplai oleh genset.

Baterai akan diisi (*charge*) oleh dua sumber, yakni PV pada siang hari, dan genset yang berasal dari daya berlebih (*excessive power*) pada saat genset menyuplai beban puncak.

## 2.2 Generator Sinkron

Generator sinkron merupakan mesin listrik arus bolak-balik yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik arus bolak-balik. Energi mekanik diperoleh dari penggerak mula yang terkopel dengan rotor generator. Sedangkan konversi energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang melibatkan kumparan rotor dan kumparan stator. Mesin listrik arus bolak-balik ini disebut sinkron karena rotor berputar secara sinkron atau berputar dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan medan magnet putar. Gambar 2.15 menunjukkan konstruksi generator sinkron 1 fasa.



Gambar 2.15 Konstruksi generator sinkron satu fasa.

Sumber: Sumanto, 1996:5

Hubungan antara nilai putaran medan magnet dengan frekuensi listrik stator adalah: (Chapman, 2005:272)

$$f = \frac{n_s \cdot p}{120} \quad (2-3)$$

Dengan:

$f$  : Frekuensi stator (Hz)

$n_s$  : kecepatan putar sinkron medan magnet atau kecepatan putar sinkron rotor (rpm)

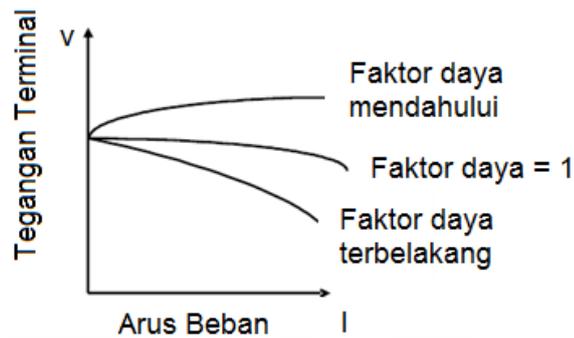
$p$  : jumlah kutub

Prinsip kerja dari generator sinkron adalah sebagai berikut: (Fitzgerald, 2003:225)

- 1) Kumparan medan pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi tertentu yang akan menyuplai arus searah terhadap kumparan medan. Dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan maka akan menimbulkan fluks yang besarnya terhadap waktu adalah tetap.
- 2) Penggerak mula (*prime mover*) yang sudah terkopel dengan rotor dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya.
- 3) Perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak di stator akan dihasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu. Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut.

### 2.2.1 Generator Sinkron Berbeban

Ada tiga jenis karakteristik beban yang terhubung dengan generator, yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Akibat adanya pembebanan ini akan berpengaruh terhadap tegangan beban dan factor dayanya. Gambar 2.16 menunjukkan karakteristik generator sinkron berbeban. Jika beban generator bersifat resistif, maka berakibat penurunan tegangan yang relatif kecil dengan faktor daya sama dengan satu. Jika beban generator bersifat induktif, maka terjadi penurunan tegangan yang cukup besar dengan faktor daya terbelakang (*lagging*). Sebaliknya, jika beban generator bersifat kapasitif, maka terjadi kenaikan tegangan yang cukup besar dengan faktor daya mendahului (*leading*).



Gambar 2.16 Karakteristik generator sinkron berbeban.

Sumber: Fitzgerald, A.E.1992

### 2.3 Sensor Arus MDCSEM5A

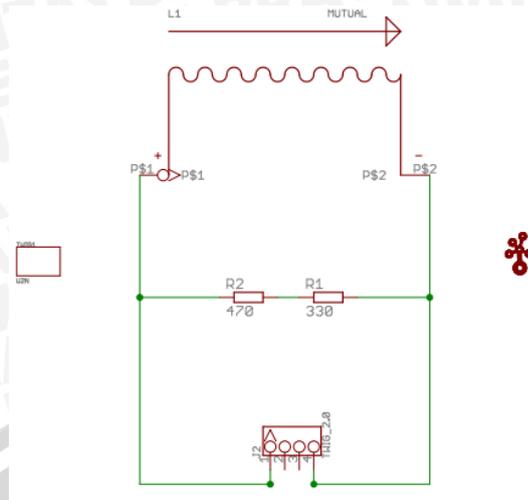
Modul sensor ini bisa digunakan untuk mengukur arus AC (*alternate current*) hingga 5 A secara *non-invasive* (tidak mempengaruhi rangkaian elektronika yang diukur karena pengukuran dilakukan tanpa kontak elektrik langsung—juga dikenal dengan istilah "*split core current transformer*") dengan cara "penjepitan" (*clamping*) pada kabel pembawa arus.

Cara kerjanya yaitu berfungsi sebagai *coil* induksi yang mendeteksi perubahan medan magnet yang terjadi di sekeliling konduktor pembawa arus. Dengan mengukur jumlah arus yang dibangkitkan oleh *coil*, dapat menghitung jumlah arus yang melewati konduktor tersebut (prinsip medan magnet pada trafo/*transformer*). Modul ini memiliki resistor pembagi beban/*load sampling resistor* sebesar 200 $\Omega$  yang mengubah arus menjadi tegangan terukur.

Karakteristik elektrik pada sensor ini meliputi:

- Koefisien transformasi 1000:1
- Rentang arus terukur/ *input metered current*: 0 ~ 5 ampere AC
- Rentang arus keluaran/ *output current*: 0 - 5 mA
- Resistor pembagi beban/ *load sampling resistor*: 200  $\Omega$
- Tegangan pengukuran keluaran/ *output sampling voltage*: 0 ~ 1 volt DC
- Frekuensi operasional: 20 Hz ~ 20 kHz
- Rentang suhu operasional: -55° ~ +85°C
- Kekuatan dielektris/ *dielectric strength*: 6 kV<sub>AC</sub> / 1 menit
- Antarmuka: pin header 0,1" 3-pin dan antarmuka Grove 4-pin

(<http://www.vcc2gnd.com>)

Gambar 2.17 Skematik sensor arus *non-invasive*.

## 2.4 Penguat Instrumentasi

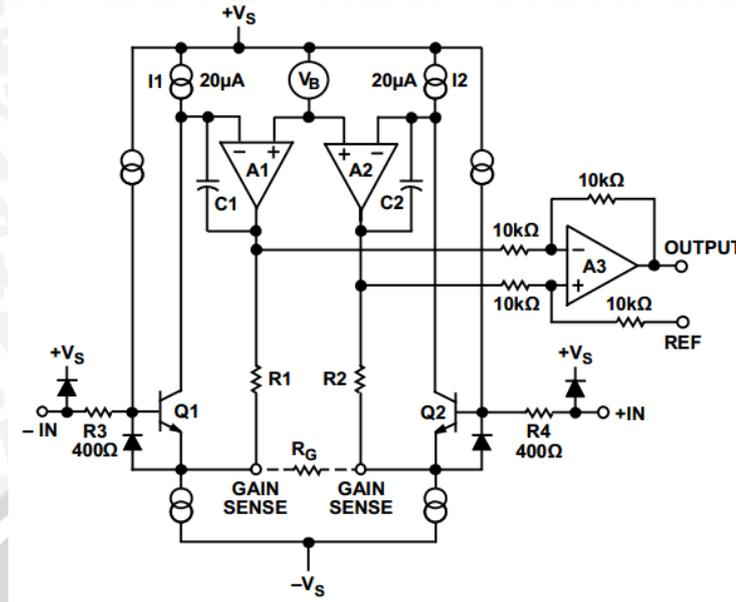
Rangkaian penguat sering digunakan dalam sebuah sistem. Pada umumnya menggunakan *Operational Amplifier* (Op-Amp) seperti IC 741, atau yang lebih bagus lagi yaitu menggunakan instrumentasi amplifier (penguat instrumentasi). instrumentasi amplifier adalah rangkaian penguat yang terdiri dari beberapa rangkaian op-amp yang digunakan untuk memperkuat sinyal dari transduser. Keunggulan dari instrumentasi amplifier ini adalah:

1. Penguatan (*Gain*) besar.
2. Impedansi *input* tinggi.
3. Impedansi *output* rendah.
4. Tegangan *offset* rendah.
5. CMRR tinggi.

Salah satu contoh instrumentasi amplifier adalah menggunakan IC AD620. IC ini memiliki keunggulan dalam hal pengaturan *Gain*, yaitu hanya memerlukan satu buah resistor sebagai pembanding resistor internal dari IC. Perhitungan *Gain* diperoleh dari persamaan:

$$G = \frac{49,4 \text{ k}\Omega}{R_G} + 1 \quad (2-4)$$

Dengan  $R_G$  merupakan nilai resistor yang dapat diatur dengan cara dipasangkan pada kaki IC.

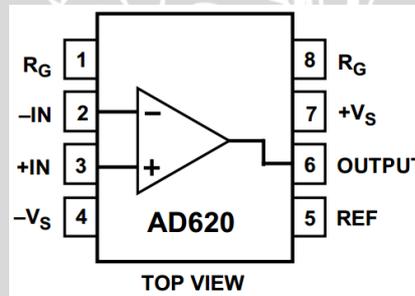


Gambar 2.18 Skematik sederhana AD620.

Sumber: Datasheet AD620

IC AD620 memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Tegangan offset rendah, yaitu maksimal  $50 \mu\text{V}$ .
- Kiasaran penguatan 1 sampai 10.000.
- Penyimpangan tegangan offset rendah  $0,6 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .
- Arus bias *input* rendah yaitu 1 nA.



Gambar 2.19 Pin AD620.

Sumber: Datasheet AD620

IC AD620 memiliki konfigurasi 8 pin yang memiliki fungsi seperti Gambar 2.19. Penguatannya dapat diatur dengan memberikan resistor pada pin  $R_G$  yaitu pin 1 dan pin 8. Dengan mengkombinasikan nilai resistor pada pin  $R_G$ , maka dapat dihasilkan penguatan sesuai Tabel 2.1.



Tabel 2.1 Nilai  $R_G$  dengan variasi *Gain*.

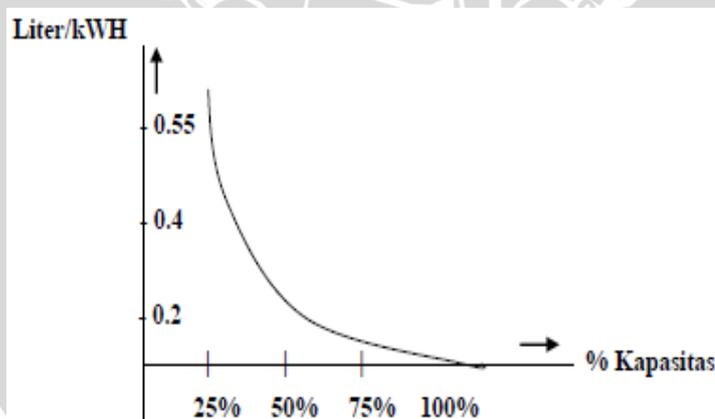
1% Std Table Value of $R_G(\Omega)$	Calculated Gain	0.1% Std Table Value of $R_G(\Omega)$	Calculated Gain
49.9 k	1.990	49.3 k	2.002
12.4 k	4.984	12.4 k	4.984
5.49 k	9.998	5.49 k	9.998
2.61 k	19.93	2.61 k	19.93
1.00 k	50.40	1.01 k	49.91
499	100.0	499	100.0
249	199.4	249	199.4
100	495.0	98.8	501.0
49.9	991.0	49.3	1,003.0

Sumber: Datasheet AD620

## 2.5 Pemakaian Bahan Bakar Genset

Parameter pemakaian BBM dinyatakan dengan *Specific Fuel Consumption* (SFC), yaitu besar atau volume bahan bakar untuk dapat menghasilkan energi tertentu dari suatu genset. Nilai SFC bergantung pada efisiensi *engine* dan prosentase daya yang dipikul oleh *engine* terhadap kapasitas maksimumnya, yang nilainya antara 0,25-0,5 liter/kWh. Nilai optimum SFC diperoleh saat pembebanan genset sebesar 70%-80%.

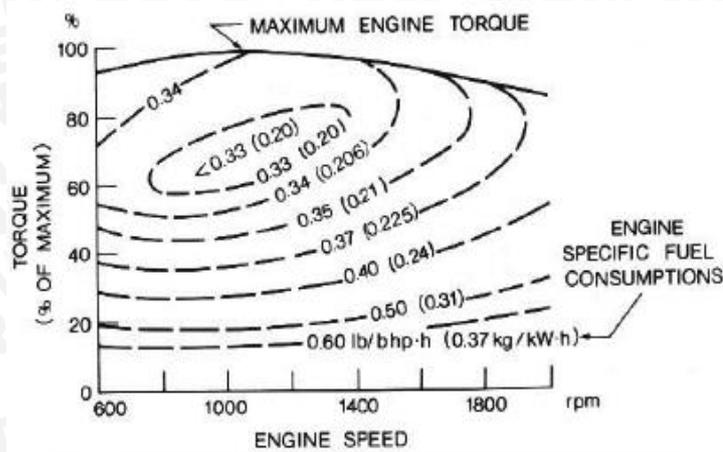
Pemakaian bahan bakar genset menjadi tidak efisien jika genset dioperasikan di bawah 70% dari kapasitas terpasangnya. Berikut hubungan pemakaian bahan bakar dan kapasitas terpasang dari genset ditunjukkan pada Gambar 2.20 berikut ini.



Gambar 2.20 Pemakaian bahan bakar sistem genset.

Sumber: Trihadi, 2000

Pada Gambar 2.21 juga ditunjukkan hubungan antara torsi dengan kecepatan mesin pada mesin genset, terlihat bahwa nilai TSFC (*Thrust Specific Fuel Consumption*) yang semakin kecil menunjukkan pemakaian bahan bakar semakin efisien (pada nilai 0,33) yaitu pada titik 70%.



Gambar 2.21 Karakteristik pemakaian bahan bakar generator-diesel.

Sumber: Duysinx, 2012

Besarnya nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC) dapat ditentukan dengan persamaan: (Siahaan, 2013)

$$SFC = \frac{m_f}{P_G}; \quad m_f = \frac{Sg_f \cdot V_f}{t_f} \cdot 3600 \quad (2-5)$$

Dengan:

SFC: *Specific Fuel Consumption* (liter/watt.jam)

$m_f$  : Laju aliran bahan bakar (liter/jam)

$P_G$  : Daya yang dihasilkan generator (watt)

$Sg_f$  : Specific gravity (untuk *gasoline* premium= 0,739)

$V_f$  : Volume bahan bakar *gasoline* premium (liter)

$t_f$  : Waktu yang dibutuhkan hingga bahan bakar habis (detik)

## 2.6 Tipikal Beban Listrik Pedesaan

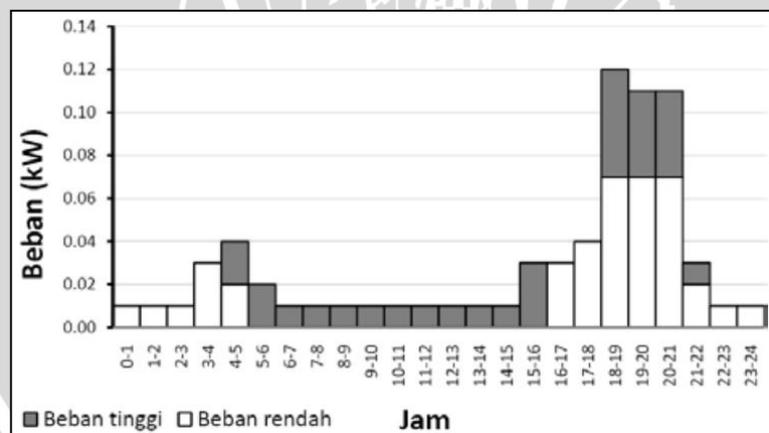
Pada penelitian ini, profil beban listrik yang digunakan mengacu pada tipikal beban listrik pedesaan. Pada umumnya, beban listrik pedesaan adalah berupa lampu, TV, radio, dll. Berikut ini disajikan contoh data tipikal beban listrik rumah tangga di suatu pedesaan.

Tabel 2.2 Tipikal beban listrik rumah tangga pedesaan.

Peralatan Listrik	Jumlah Daya (watt)	Rata-rata Pemakaian (jam/hari)	Kebutuhan Energi (watt/hari)
<b>Beban Terpasang saat Penggunaan Rendah</b>			
Lampu			
• Ruang/kamar	2 x 10	5	100
• Penyimpanan	1 x 10	5	50
• Teras	1 x 10	10	100
Tape/radio	1 x 30	5	150
<b>Total</b>	<b>70</b>		<b>400</b>
<b>Beban Terpasang saat Penggunaan Tinggi</b>			
Lampu			
• Ruang/kamar	3 x 10	6	180
• Dapur	1 x 10	3	30
• Teras	1 x 10	10	100
• Toilet	1 x 10	1	10
Tape/radio	1 x 30	4	120
TV/VCR	1 x 70	3	210
<b>Total</b>	<b>160</b>		<b>650</b>

Sumber: Lhendup, 2008

Tipikal beban harian seperti pada Tabel 2.2 di atas dapat ditampilkan pada Gambar 2.22 berikut.



Gambar 2.22 Tipikal beban harian.

Sumber: Tanoto, 2010

## 2.7 *Zelio Logic Smart Relay*

*Zelio Smart Relay* atau PLC mini adalah sebuah *device* yang mampu menerima I/O yang beroperasi secara digital dimana sistem *device* ini menggunakan memori yang dapat diprogram untuk penyimpanan secara internal instruksi-instruksi yang mengimplementasikan fungsi-fungsi spesifik seperti logika, urutan, pewaktuan, dan

pencacahan untuk mengontrol mesin atau proses melalui modul-modul digital atau analog. (Herliana, 2010)

Terdapat 2 tipe *Smart Relay* yaitu tipe *compact* dan tipe *modular*. Perbedaannya adalah pada tipe *modular* dapat ditambahkan *extension module* sehingga dapat ditambahkan *input* dan *output*. Meskipun demikian, penambahan modul tersebut tetap terbatas hanya dapat ditambahkan sampai dengan 40 I/O. Selain itu, untuk tipe *modular* juga dapat dimonitor dengan jarak jauh dengan penambahan modul.

Pemrograman pada *Smart Relay* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan cara menggunakan tombol-tombol yang terdapat pada *Smart Relay* sehingga dapat mengubah program secara langsung. Selain itu, pemrograman juga dapat menggunakan komputer yang menggunakan *software Zelio Soft 2*.

Cara kerja *Smart Relay*, yaitu pertama memeriksa kondisi *input*. *Smart Relay* akan memeriksa setiap *input* yang ada. Kemudian, semuanya akan di-*input*-kan ke dalam memori. Langkah kedua, yaitu mengeksekusi program pada suatu instruksi sehingga kerja *Smart Relay* adalah berdasarkan program. Setiap kondisi ditentukan oleh programnya. Langkah terakhir, *Smart Relay* mengatur status pada perangkat keluaran. Dapat kita lihat bahwa *Smart Relay* sangat penting dalam suatu proses.

Keuntungan menggunakan *Smart Relay* adalah sebagai berikut:

- Pemrograman yang sederhana. Dengan adanya layar LCD yang besar dengan *backlight* memungkinkan dilakukannya pemrograman melalui *front panel* atau menggunakan *software Zelio Soft 2*.
- Instalasi yang mudah.
- Harga lebih murah dibandingkan dengan menggunakan PLC.
- Fleksibel dan dapat ditambahkan modul tambahan bila diperlukan, *dual programming language*, dan *multiple power capabilities* (12V<sub>DC</sub>, 24V<sub>DC</sub>, 24V<sub>AC</sub> dan 120V<sub>AC</sub>).
- *Open connectivity*. Sistem *Zelio* dapat dimonitor secara jarak jauh dengan cara menambahkan *extension modul* berupa modem.

### 2.7.1 *Smart Relay Telemecanique SR3B261BD*

*Smart Relay* yang digunakan adalah merk *Telemecanique SR3B261BD* yang dibuat oleh pabrikan *Schneider*. *Smart Relay* ini merupakan *Smart Relay* modular yang dapat di-*expand*. *Software* yang digunakan untuk *Smart Relay* ini adalah *Zelio Soft 2*

yang menggunakan bahasa *ladder diagram* atau bisa juga menggunakan *function block diagram*.

*Smart Relay* ini juga memiliki layar yang dapat digunakan untuk melihat maupun mengganti program yang telah di-*input* ke dalam *Smart Relay* ini. Pada layar tersebut juga terdapat *backlight* yang digunakan untuk menerangi layar tersebut untuk memudahkan pembacaan pada layar tersebut. *Smart Relay* ini juga memiliki data *backup* yang dilakukan oleh EEPROM *flash memory*. Komunikasi yang digunakan adalah jaringan Modbus. *Smart Relay* ini memiliki *range power supply* 24 V<sub>DC</sub>. Batasan tegangan suplainya adalah 19,2-30 V<sub>DC</sub>. Arus suplainya sebesar 190 mA (tanpa *extensions*), dan sebesar 300 mA (jika menggunakan *extensions*).



Gambar 2.23 *Smart Relay Telemecanique SR3B261BD* buatan *Schneider*.

Sumber: <http://www.schneider-electric.ca>

*Smart Relay* ini memiliki performa yang cukup baik dibandingkan dengan *Smart Relay* yang lain karena memiliki bentuk yang kecil dan relatif lebih ringan dan memiliki jumlah *input* dan *output* yang cukup banyak serta terdapat layar untuk memudahkan pengontrolan. *Zelio Logic* sangat cocok untuk semua aplikasi karena *programming* dan instalasinya yang mudah.

## 2.8 **Power Management Control pada Sistem Hibrida PV-Genset**

Manajemen energi (*power management*) adalah program terpadu yang direncanakan dan dilaksanakan secara sistematis untuk memanfaatkan sumber daya energi secara efektif dan efisien dengan melakukan perencanaan, pencatatan, pengawasan dan evaluasi secara kontinyu tanpa mengurangi kualitas produksi/pelayanan. Manajemen energi mencakup perencanaan dan pengoperasian unit konsumsi dan produksi yang terkait dengan energi. Tujuan manajemen energi yaitu konservasi sumber daya, perlindungan iklim, dan penghematan biaya.

([http://id.wikipedia.org/wiki/Manajemen\\_energi](http://id.wikipedia.org/wiki/Manajemen_energi))

Verein Deutscher Ingenieure memberikan definisi manajemen energi sebagai "Kegiatan yang proaktif, pengadaan barang yang terorganisasi dan sistematis, konversi,

distribusi, dan penggunaan energi yang memenuhi kebutuhan dengan memperhitungkan tujuan lingkungan dan ekonomi.” ([http://id.wikipedia.org/wiki/Manajemen\\_energi](http://id.wikipedia.org/wiki/Manajemen_energi))

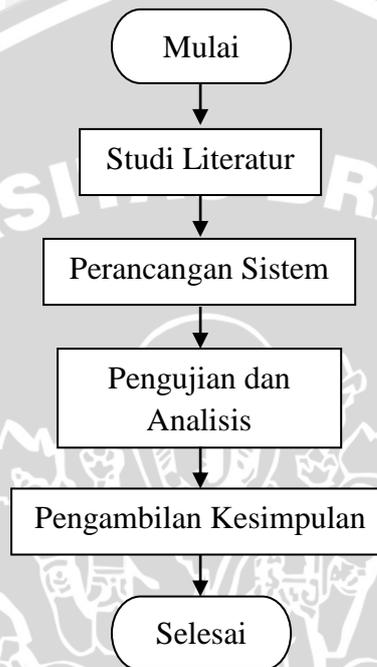
*Power management control* (PMC) di sini difungsikan sebagai tujuan utama dari sistem hibrida PV-Genset dimana aliran beban akan dikontrol (dalam hal ini dikontrol oleh *Zelio Smart Relay*). Jika genset harus beroperasi, maka beban yang dipikul oleh genset harus dioptimalkan pada posisi minimal 70% dari kapasitas genset agar tercapai efisiensi pemakaian bahan bakar sesuai kurva SFC genset. Semua aliran energi di sini akan dimonitor dan dikontrol agar dapat mencapai titik efisiensi sistem dalam pemakaian BBM.

Di samping itu, PMC berfungsi untuk mengendalikan semua proses kerja yang ada pada sistem hibrida tersebut, yakni memonitor besarnya beban, kondisi baterai serta memerintahkan *start-stop* genset. Jika tidak ada PMC, maka sistem hibrida tersebut tidak akan dapat memperbaiki SFC pada genset.



## BAB III METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan pada penelitian ini terdiri dari studi literatur, perancangan sistem, pengujian dan analisis, serta pengambilan kesimpulan.



Gambar 3.1 Diagram alir metode penelitian.

### 3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari dan memahami konsep yang terkait dengan “*Power Management Control* pada Sistem Hibrida PV-Genset dengan Menggunakan *Zelio Logic Smart Relay*.” Studi literatur yang dilakukan adalah studi kepustakaan untuk mencari informasi dan teori pendukung lain yang menunjang dalam penelitian ini. Teori-teori pendukung tersebut meliputi:

- Konsep *photovoltaic* (PV) dan genset.
- Teori dasar sistem pembangkit hibrida PV-Genset.
- Hubungan SFC (*Specific Fuel Consumption*) genset dengan karakteristik beban.
- Teori dasar *Zelio Logic Smart Relay* dan *software Zelio Soft 2*.

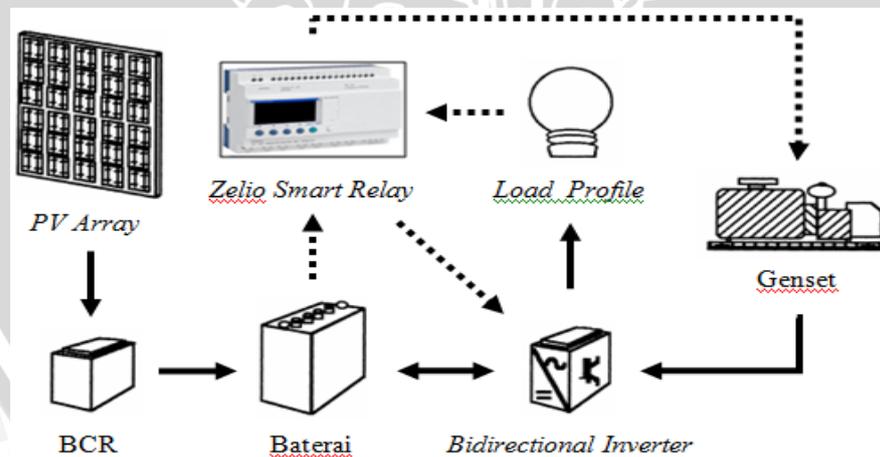
## 3.2 Perancangan Sistem

### 3.2.1 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras pada sistem meliputi perancangan sensor arus, penguatan tegangan, rangkaian pembagi tegangan, dan otomatisasi genset. Perancangan sistem hibrida PV-Genset terdiri dari *PV Array*, *Battery Control Regulator (BCR)*, Baterai, *Bidirectional Inverter*, Generator set (Genset), dan Beban AC, serta menggunakan *Zelio Logic Smart Relay*.

Skematik perancangan sistem ditunjukkan pada Gambar 3.2. Pada gambar tersebut, dapat dilihat bahwa beban disuplai oleh kombinasi PV dan Genset. Sinar matahari akan diterima oleh modul PV, kemudian digunakan untuk mengisi baterai melalui BCR. Setelah itu, daya dari baterai dikonversi oleh *bidirectional inverter (DC-AC Converter)* untuk menyuplai beban AC yang dikontrol dengan menggunakan *Zelio Logic Smart Relay*.

Pada saat kondisi beban rendah, diharapkan beban akan disuplai 100% oleh PV melalui baterai sehingga genset tidak akan beroperasi. Namun, pada saat kondisi beban mulai dinaikkan hingga mencapai beban puncak, genset akan mulai beroperasi untuk menyuplai beban dan kelebihan energinya (*excessive power*) digunakan untuk mengisi baterai melalui *bidirectional inverter (AC-DC Converter)* sehingga didapatkan nilai *Specific Fuel Consumption (SFC)* genset yang optimal.



Gambar 3.2 Skematik perancangan sistem hibrida pv-genset.

### 3.2.2 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak (pembuatan program) dilakukan dengan menggunakan komputer (PC) dan *software Zelio Soft 2*. Bahasa pemrograman yang dipakai adalah diagram tangga (*ladder diagram*). Program yang telah dibuat di PC

tersebut di-download ke *Zelio Smart Relay* untuk disimulasikan. Simulasi dilakukan dengan menggunakan fasilitas yang ada pada *Zelio Smart Relay*. Dengan simulasi ini, dapat diperkirakan bagaimana jalannya program yang telah dibuat. Setelah simulasi berhasil, program tersebut diimplementasikan secara langsung pada sistem *hardware* yang telah dirancang.

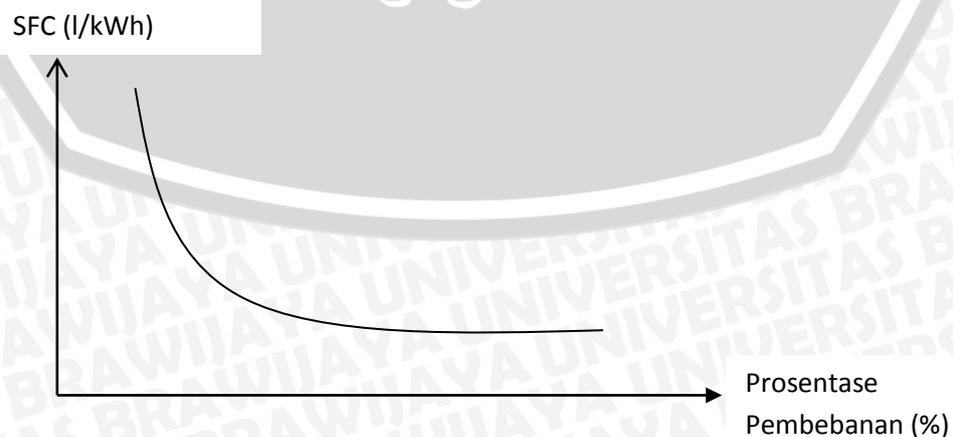
### 3.3 Pengujian dan Analisis

Pengujian dilakukan untuk mengetahui dan mengkalibrasi apakah sistem bisa berjalan dengan baik sesuai dengan perancangan yang telah dilakukan. Pengujian ini terdiri dari pengujian sensor arus & RPS-nya, pengujian rangkaian pembagi tegangan, pengujian program *Zelio*, pengujian otomatisasi genset, dan pengujian keseluruhan sistem.

Setelah pengujian dilakukan, tahap selanjutnya adalah menganalisis hasil pengujian tersebut, kemudian menghitung nilai SFC (*Specific Fuel Consumption*) genset. Hasil perhitungan SFC dapat ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

Tabel 3.1 Data hasil perhitungan SFC genset

No.	Prosentase Pembebanan (%)	Beban (W)	Waktu (detik)	$m_f$	SFC (l/kWh)
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					



Gambar 3.3 Grafik karakteristik SFC genset.

Sedangkan data hasil pengujian pensaklaran sistem hibrida dapat ditunjukkan dalam Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Hasil pengujian pensaklaran sistem hibrida

No.	Tegangan Baterai (V)	Beban (W)	Input Ib (V)	Input Ic (V)	$I_b \leq I_c$	Kondisi Relai	
						Genset (Q1)	Charging (Q3)
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							
11.							

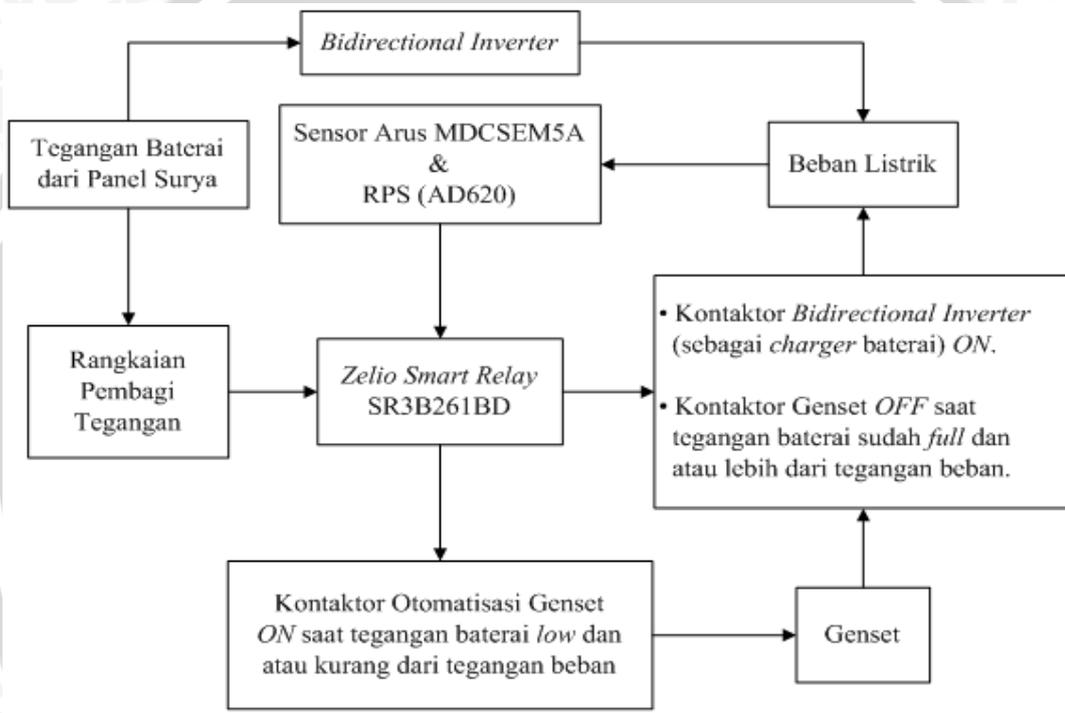
### 3.4 Pengambilan Kesimpulan

Pengambilan kesimpulan dilakukan setelah semua tahapan sudah dilakukan. Kesimpulan diambil dari hasil dan analisis terhadap penelitian yang telah dilakukan. Tahap terakhir dari penulisan adalah saran yang dimaksudkan untuk memperbaiki kesalahan-kesalahan yang terjadi dan menyempurnakan penulisan serta untuk memberikan pertimbangan atas pengembangan sistem selanjutnya.

## BAB IV PERANCANGAN SISTEM

### 4.1 Gambaran Umum

Sistem hibrida PV-Genset terdiri dari *PV Array*, *Battery Control Regulator* (BCR), Baterai, *Bidirectional Inverter*, Generator set (Genset), dan Beban AC. Untuk menerapkan sistem secara otomatis, diperlukan adanya kontroler yakni menggunakan *Zelio Logic Smart Relay*. Bagian sistem yang dikontrol yaitu antara energi baterai dari panel surya dan genset berdasarkan besarnya beban yang terpasang.



Gambar 4.1 Blok diagram *power management control* pada sistem hibrida pv-genset.

Keterangan blok diagram di atas adalah sebagai berikut:

1. Pada sistem menggunakan dua sumber listrik, yakni sumber listrik baterai (dari panel surya) dan genset sebagai *back up* energi.
2. *Bidirectional inverter* sebagai *device* untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC agar dapat digunakan untuk menyuplai beban listrik AC.
3. Rangkaian pembagi tegangan sebagai penurun tegangan dari keluaran baterai sehingga dapat digunakan sebagai masukan kontroler (*Zelio Smart Relay*) yang hanya memiliki *range input* sebesar 0-10 V<sub>DC</sub>.

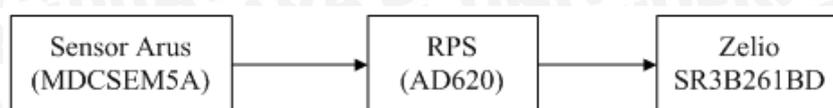
4. Sensor arus MDCSEM5A sebagai pendeteksi arus beban yang kemudian diubah menjadi besaran tegangan DC dengan rangkaian pengkondisi sinyal (RPS) sehingga dapat digunakan sebagai masukan *Zelio Smart Relay*.
5. *Zelio Smart Relay* SR3B261BD merupakan PLC mini buatan *Schneider* yang berfungsi untuk mengontrol data masukan dari rangkaian pembagi tegangan dan dari sensor arus MDCSEM5A serta mengendalikan nyala-padamnya genset.
6. Pada saat kondisi beban puncak kemudian tegangan baterai *low* dan atau kurang dari tegangan beban, maka *Zelio* akan segera mengkondisikan kontaktor genset *ON*, kontaktor otomatisasi genset *ON* (melakukan *start* genset selama 4 detik hingga genset menyala, kemudian kontaktor otomatisasi genset *OFF*). Setelah genset *running*, kontaktor *bidirectional inverter* (sebagai *charger* baterai) *ON* untuk mengisi baterai yang diperoleh dari *excessive power* genset.
7. Jika kondisi baterai sudah terisi mendekati *full* dan atau melebihi tegangan beban, maka *Zelio* akan mengkondisikan kontaktor *bidirectional inverter* (sebagai *charger* baterai) *OFF*, kemudian kontaktor genset akan *OFF* (dengan *delay OFF* selama 4 detik).

#### 4.2 Perancangan Perangkat Keras

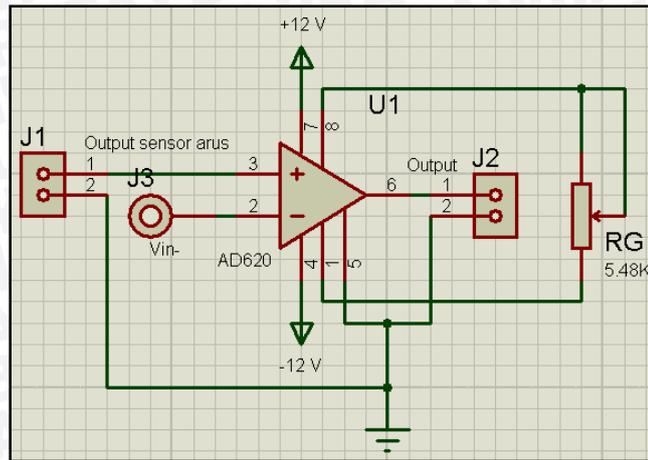
Perancangan perangkat keras terdiri dari perancangan sensor arus beban & rangkaian pengkondisi sinyalnya (RPS), rangkaian pembagi tegangan baterai, serta relai otomatisasi genset.

##### 4.2.1 Perancangan Sensor Arus Beban

Rangkaian pendeteksi arus beban digunakan sebagai pendeteksi arus AC yang mengalir menuju beban. Sensor arus yang digunakan yaitu MDCSEM5A secara *non-invasive* (tidak mempengaruhi rangkaian elektronika yang diukur karena pengukuran dilakukan tanpa kontak elektrik langsung). Keluaran sensor arus tersebut berupa tegangan namun masih kecil sekali sehingga diperlukan suatu penguat sinyal. Maka, dalam perancangan ini digunakan RPS yaitu penguat instrumentasi AD620. Keluaran RPS dirancang sedemikian hingga dapat memberikan masukan menuju *Zelio*.



Gambar 4.2 Blok diagram perancangan pendeteksi arus beban.



Gambar 4.3 Perancangan rangkaian pengkondisi sinyal.

Pada perancangan penguat sinyal, digunakan IC op-amp AD620 dengan nilai penguatan yang bergantung pada nilai  $R_G$  sesuai persamaan (2-4):

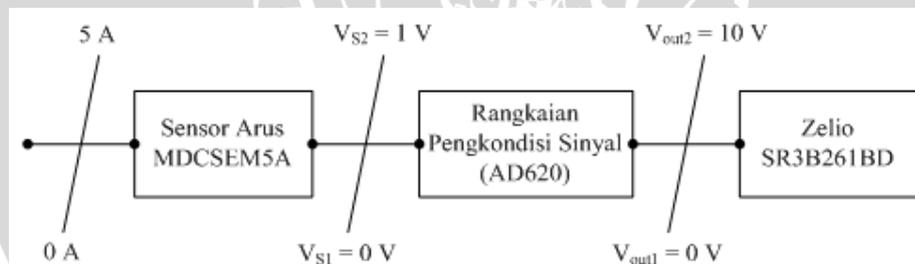
$$R_G = \frac{49,4}{G - 1}$$

Keterangan:

$R_G$ : Resistor variabel penguatan (k $\Omega$ )

$G$  : Nilai penguatan (*Gain*) yang direncanakan

Untuk mendapatkan nilai  $R_G$ , dilakukan perhitungan sebagai berikut:



Gambar 4.4 Ilustrasi perhitungan rangkaian pengkondisi sinyal.

Saat tidak ada arus yang mengalir ke beban (arus = 0 A), tegangan keluaran sensor arus ( $V_{S1}$ ) = 0V, tegangan keluaran RPS yang direncanakan ( $V_{out1}$ ) = 0 V. Sedangkan saat arus yang mengalir ke beban = 5 A, tegangan keluaran sensor arus ( $V_{S2}$ ) = 1 V, tegangan keluaran RPS yang direncanakan ( $V_{out2}$ ) = 10 V. Maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$V_{out} = G \cdot V_S + V_0 \quad (4-1)$$

$$0 = G \cdot 0 + V_0$$

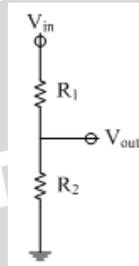
$$10 = G \cdot 1 + V_0$$

Dengan menggunakan metode eliminasi, diperoleh nilai *Gain* ( $G$ ) sebesar 10. Sehingga,

$$R_G = \frac{49,4}{G-1} = \frac{49,4}{10-1} = 5,48 \text{ k}\Omega$$

#### 4.2.2 Perancangan Rangkaian Pembagi Tegangan

Perancangan rangkaian pembagi tegangan diperlukan untuk menurunkan tegangan keluaran baterai menjadi *range* 0-10 V. Hal ini dikarenakan Zelio hanya mampu mendeteksi tegangan masukan hingga 10 V.



Gambar 4.5 Rangkaian pembagi tegangan.

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

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in} \quad (4-2)$$

Pada sistem ini, tegangan kerja baterai yang digunakan adalah 24 V. Berdasarkan *state of charge standard batteries*, diketahui bahwa baterai 24 V memiliki nilai tegangan maksimum sebesar 25,48 V (kondisi 100%). Sedangkan batas minimum kinerja baterai didasarkan pada DOD (*Depth of Discharge*) baterai yang umumnya sebesar 80%. Berarti batas minimum tegangan baterai adalah sebesar  $80\% \times 25,48 \text{ V} = 20,384 \text{ V}$ .

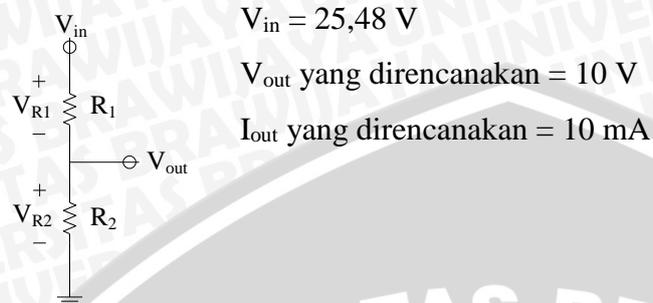
Tabel 4.1 *State of charge standard batteries*

Percent Of Charge	Specific Graffity	6v (volt)	8v (volt)	12v (volt)	24v (volt)	36v (volt)	42v (volt)	48v (volt)	72v (volt)	120v (volt)
100%	1.277	6.37	8.49	12.73	25.48	38.22	44.59	50.96	76.44	127.4
90%	1.258	6.31	8.41	12.62	25.24	27.86	44.17	50.48	75.72	126.2
80%	1.238	6.25	8.33	12.5	25	27.5	43.75	50	75	125
70%	1.217	6.19	8.25	12.37	24.76	37.14	43.33	49.52	74.28	123.8
60%	1.195	6.12	8.15	12.24	24.48	36.72	42.84	48.96	73.44	122.4
50%	1.172	6.05	8.07	12.1	24.2	36.3	42.35	48.5	72.6	121
40%	1.148	5.98	7.97	11.86	23.92	35.88	41.86	47.84	71.76	119.6
30%	1.124	5.91	7.88	11.71	23.64	35.46	41.37	47.28	70.92	118.2
20%	1.098	5.83	7.77	11.66	23.32	34.98	40.81	46.64	69.96	116.6
10%	1.073	5.75	7.67	11.51	23	34.5	40.25	46	69	115

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

Maka, untuk menurunkan tegangan 25,48 V menjadi 10 V diperlukan rangkaian pembagi tegangan dengan nilai  $R_1$  dan  $R_2$  berturut-turut sebesar 1,55 k $\Omega$  dan 1 k $\Omega$ . Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

Diketahui:



Maka,

$$V_{R_1} = V_{in} - V_{out} = 25,48 - 10 = 15,48 \text{ V}$$

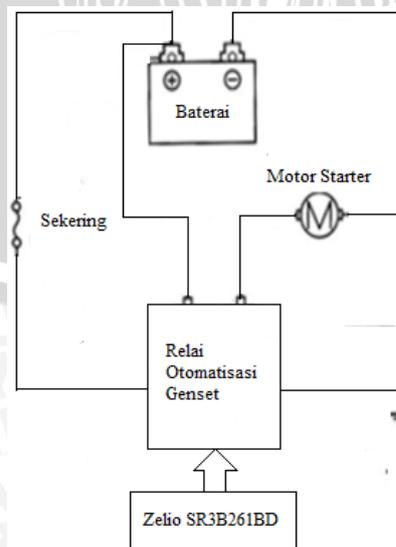
$$R_1 = \frac{V_{R_1}}{I_{out}} = \frac{15,48}{10 \cdot 10^{-3}} = 1,548 \text{ k}\Omega = 1,55 \text{ k}\Omega$$

$$V_{R_2} = V_{out} = 10 \text{ V}$$

$$R_2 = \frac{V_{R_2}}{I_{out}} = \frac{10}{10 \cdot 10^{-3}} = 1 \text{ k}\Omega$$

#### 4.2.3 Perancangan Relai Otomatisasi Genset

Perancangan otomatisasi genset dilakukan dengan menggunakan komponen relai sebagai pengganti saklar kontak genset manual. Relai tersebut akan dikondisikan oleh Zelio sehingga genset dapat nyala dan padam secara otomatis. Penggantian saklar kontak genset manual dengan relai ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Rangkaian otomatisasi genset.

#### 4.2.4 Perancangan Alat Pengukur Volume Bahan Bakar

Pada penelitian ini, pengukuran volume bahan bakar (*gasoline premium*) pada genset dilakukan secara manual yaitu dengan menggunakan gelas ukur yang dirancang sedemikian hingga dapat diketahui hasil pengukuran volume *gasoline premium* yang digunakan saat genset beroperasi. Adapun peralatan yang digunakan dalam perancangan ini meliputi selang, 2 katup (kran) *gasoline premium*, dan *teko* plastik sebagai gelas ukur.

Langkah-langkah perancangan alat pengukur volume *gasoline premium*, yaitu:

1. Mendesain *teko* dengan takaran volume tiap 50 ml.
2. Melubangi *teko* bagian bawah untuk tempat selang.
3. Menghubungkan 2 katup (kran) *gasoline premium* masing-masing pada *teko* yang telah dilubangi dan selang *gasoline premium* pada genset.
4. Melepas selang *gasoline premium* pada genset dan dihubungkan dengan selang yang telah disiapkan melalui katup (kran) *gasoline premium*, kemudian menghubungkannya ke *teko*.

#### 4.3 Konfigurasi Input/Output pada Zelio

Pada penelitian ini, kontroler yang digunakan adalah PLC buatan *Schneider* yakni *Zelio Smart Relay* tipe SR3B261BD. *Zelio* ini memiliki 26 I/O terdiri dari 16 *input* dan 10 *output*. Adapun konfigurasi *input/output* pada *Zelio* yang digunakan pada perancangan ini ditunjukkan pada Tabel 4.2 berikut.

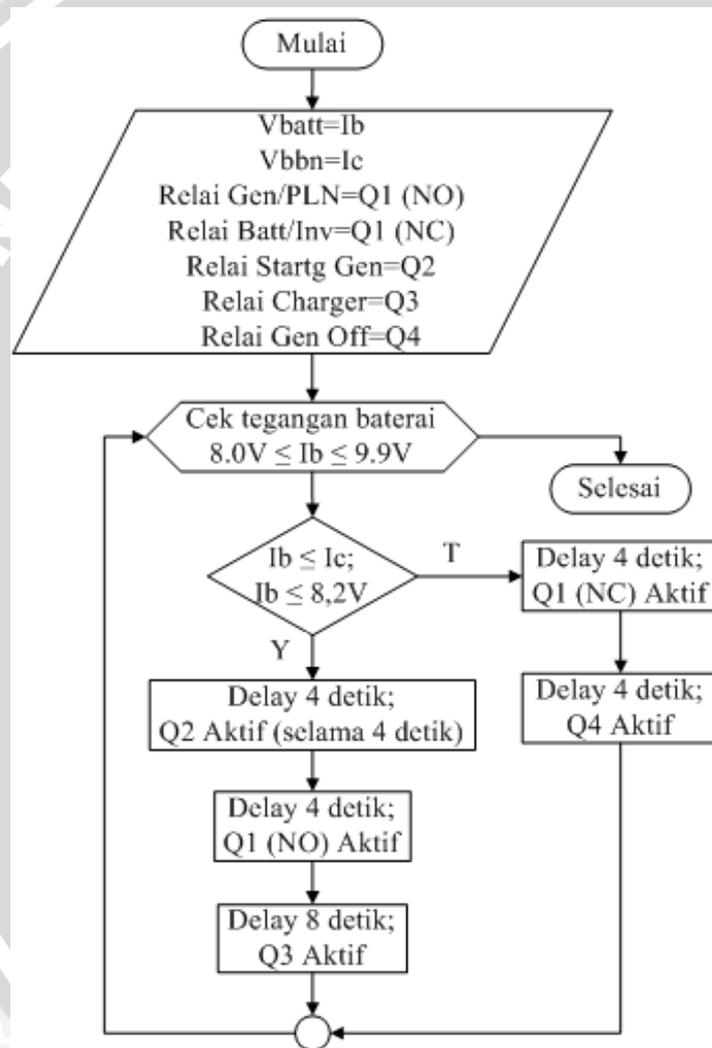
Tabel 4.2 Konfigurasi *input/output* pada *Zelio*

No.	<i>Input</i>	Deskripsi	<i>Output</i>	Deskripsi
1.	Ib	Sensor tegangan baterai	Q1	Relai kontak genset/PLN ( <i>Normally Open</i> : NO) Relai baterai/inverter ( <i>Normally Close</i> : NC)
2.	Ic	Sensor tegangan beban	Q2	Relai <i>starting</i> genset
3.	-	-	Q3	Relai untuk <i>charging</i> baterai
4.	-	-	Q4	Relai genset <i>OFF</i>

*Input* Ib dan Ic merupakan *input* analog pada *Zelio* yang digunakan untuk mendeteksi tegangan baterai dan tegangan beban sehingga Ib dan Ic adalah besaran tegangan DC dengan satuan volt (V).

#### 4.4 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dilakukan dengan menggunakan komputer (PC) dan *software Zelio Soft 2*. Bahasa pemrograman yang digunakan yaitu diagram tangga (*ladder diagram*). Hal ini dikarenakan bahasanya yang mudah dipahami dalam pembuatan program. Zelio ini memiliki kelebihan yaitu memiliki tampilan simulasi sehingga mudah bagi pemula untuk mempelajari programnya. Program *Zelio Soft 2* ini digunakan untuk mengontrol energi baterai dan genset berdasarkan beban yang terpasang, serta mengendalikan nyala-padamnya genset agar sistem dapat beroperasi dengan baik dan optimal. Adapun *flowchart* programnya ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Flowchart program power management control.

##### 4.4.1 Perancangan Peralihan Sumber Energi antara Baterai dan Genset

Pada perancangan ini, diasumsikan bahwa kondisi awal sistem yaitu kondisi baterai masih penuh sehingga dapat menyuplai beban. Peralihan sumber energi dari baterai ke genset dapat ditunjukkan pada Gambar 4.8 berikut ini.

No	Contact 1	Contact 2	Contact 3	Contact 4	Contact 5	Coil	Comment
001	A1	A2	A3			[ M1	Kondisi awal sistem: Baterai sudah terisi full
002	<input type="checkbox"/> BATT <= 9.9V	<input type="checkbox"/> BATT >= 8.0V	<input type="checkbox"/> BATT <= BBN A4			TT1	Timer untuk mengaktifkan dan menonaktifkan genset
003	M1		<input type="checkbox"/> BATT <= 8.2V			TT5	Timer untuk delay mengaktifkan starting genset
004	T5					TT2	Timer untuk starting genset
005	T2					[ Q2	
006	T1					<input type="checkbox"/> STARTING GENSET [ Q1	
						<input type="checkbox"/> KONTAK GENSET	

Gambar 4.8 Peralihan energi antara baterai dan genset.

Pada saat kondisi baterai sudah mulai *lowbatt* (8,2 V) dan atau tegangan baterai kurang dari atau sama dengan tegangan beban ( $I_b \leq I_c$ ) (baterai tidak mampu menyuplai beban), maka Zelio akan mendeteksi dan memerintahkan untuk peralihan sumber energi dari baterai ke genset dengan cara:

1. Kontak A1 semula *Normally Open* (NO) menjadi *Normally Close* (NC) terhubung dengan kontak A2 NC dan kontak A3 NC atau kontak A4 NC kemudian terhubung dengan *coil* M1.
2. Setelah *coil* M1 ter-energized, kontak M1 menjadi NC terhubung dengan *coil* TT1 (selama 12 detik sebagai *delay time* untuk mengalihkan energi ke genset) dan terhubung TT5 (selama 4 detik sebagai *delay time* untuk mengaktifkan *starting* genset). Hal ini dirancang agar genset siap menyuplai beban sehingga beban tidak akan terputus/padam.
3. Setelah *coil* TT5 ter-energized, kontak T5 menjadi NC terhubung dengan TT2 (selama 4 detik untuk starting genset). Kemudian saat TT2 ter-energized, kontak T2 NC untuk mengaktifkan *coil* Q2 sehingga genset mulai *starting* 4 detik.
4. Setelah *coil* TT1 ter-energized, kontak T1 menjadi NC untuk mengaktifkan *coil* Q1 sehingga genset akan *ON* dan siap menyuplai beban.

#### 4.4.2 Perancangan *Automatic Starting* pada Genset

Perancangan *Automatic Starting* pada genset dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut ini.

No	Contact 1	Contact 2	Contact 3	Contact 4	Contact 5	Coil	Comment
003	M1					TT5	Timer untuk delay mengaktifkan starting genset
004	T5					TT2	Timer untuk starting genset
005	T2					[ Q2	
						<input type="checkbox"/> STARTING GENSET	

Gambar 4.9 *Automatic starting* pada genset.

Pada saat tegangan baterai mulai *low* dan atau kurang dari atau sama dengan tegangan beban ( $I_b \leq I_c$ ), maka Zelio mendeteksi dan segera memerintahkan genset *starting* dengan cara:

1. Kontak M1 semula NO menjadi NC terhubung dengan *coil* TT5 (selama 4 detik sebagai *delay time*). Setelah *coil* TT5 ter-*energized*, kontak T5 menjadi NC terhubung dengan *coil* TT2.
2. Setelah *coil* TT2 ter-*energized*, kontak T2 menjadi NC untuk mengaktifkan *coil* Q2 selama 4 detik untuk proses *starting*. Pada perancangan ini, diasumsikan bahwa genset langsung aktif dengan sekali proses *starting*.

#### 4.4.3 Perancangan Relai untuk *Charging* Baterai

Perancangan relai untuk *charging* baterai ditunjukkan pada Gambar 4.10 berikut ini.

No	Contact 1	Contact 2	Contact 3	Contact 4	Contact 5	Coil	Comment
007	Q1					[ M2	
	<input type="checkbox"/> KONTAK GENSET						
008	M2					TT3	Timer untuk mengaktifkan charger
009	T3					[ Q3	
						<input type="checkbox"/> RELAY CHARGNG	

Gambar 4.10 Relai untuk *charging* baterai.

Pada perancangan ini, relai untuk *charging* baterai akan *ON* setelah genset *running* dengan cara:

1. Setelah kontak Q1 NC terhubung dengan *coil* M2 ter-*energized*, kontak M2 yang semula NO menjadi NC kemudian terhubung dengan *coil* TT3 (selama 8 detik sebagai interval saat genset *running*).
2. Setelah *coil* TT3 ter-*energized*, kontak T3 menjadi NC untuk mengaktifkan *coil* Q3 sehingga relai *charging* aktif untuk men-*charge* baterai.

#### 4.4.4 Perancangan *Delay OFF* pada Genset

Perancangan ini dapat dilihat pada Gambar 4.11 berikut ini.

No	Contact 1	Contact 2	Contact 3	Contact 4	Contact 5	Coil	Comment
010	a3	a4				TT4	Timer untuk delay off genset
	<input type="checkbox"/> BATT<=BBN	<input type="checkbox"/> BATT<=8.2V				<input type="checkbox"/> DELAY OFF	
011	T4					[ Q4	
	<input type="checkbox"/> DELAY OFF					<input type="checkbox"/> GENSET OFF	

Gambar 4.11 Perancangan *delay off* pada genset.

Pada saat genset menyuplai beban dan men-charge baterai, kemudian baterai mulai terisi penuh, maka Zelio akan mendeteksi dan memerintahkan genset *OFF* dengan cara:

1. Saat baterai mulai terisi dan tegangannya lebih dari tegangan beban ( $I_b > I_c$ ), maka kontak a3 semula NC menjadi NO, dan a4 menjadi NO terhubung dengan *coil* TT4 (selama 8 detik sebagai *delay time*).
2. Setelah *coil* TT4 ter-energized, kontak T4 NC untuk mengaktifkan *coil* Q4 sehingga genset akan *OFF*.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## BAB V

### PENGUJIAN DAN ANALISIS

#### 5.1 Pengujian *Solar cell*

##### 5.1.1 Tujuan

Pengujian *solar cell* bertujuan untuk mengetahui besaran nilai keluaran dari *solar cell* yang berupa tegangan, arus dan daya maksimum. Pengujian *solar cell* dilakukan pada Kamis, 17 Juli 2014 dengan kondisi suhu 25°C pukul 10.00-12.00 WIB. Lokasi pengujian berada di 7,949 LS dan 112,612 BT.

##### 5.1.2 Peralatan

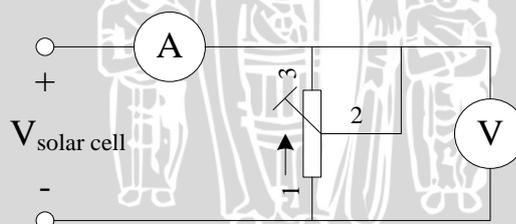
Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. *Solar cell* 205 Wp.
2. Resistor variabel.
3. Amperemeter.
4. Voltmeter.
5. Light meter Krisbow KW06-288.

##### 5.1.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian *solar cell* adalah sebagai berikut:

1. Menyusun rangkaian seperti pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Rangkaian pengujian *solar cell*.

2. Mengukur dan mencatat nilai intensitas matahari dengan menggunakan Light Meter Krisbow KW06-288.
3. Mengukur tegangan *open circuit* ( $V_{OC}$ ) dengan cara mengatur nilai variabel resistor hingga nilai resistansinya sangat besar.
4. Mengukur arus *short circuit* ( $I_{SC}$ ) dengan cara mengatur nilai variabel resistor hingga nilai resistansinya sebesar 0  $\Omega$ .
5. Menghitung daya yang dihasilkan *solar cell* dengan cara mengalikan nilai tegangan ( $V_{OC}$ ) dan arus ( $I_{SC}$ ).

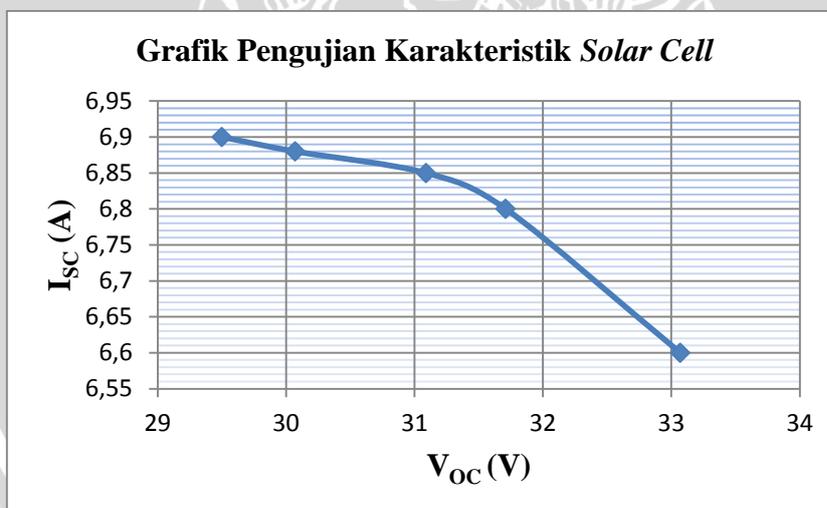
### 5.1.4 Hasil Pengujian

Hasil pengujian *solar cell* 205 Wp ditunjukkan dalam Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Hasil pengujian *solar cell* 205 Wp

Waktu (WIB)	Voc (V)	Isc (A)	Daya (W)	Intensitas Matahari (lux)	Kondisi Cuaca
10.00	29,50	6,90	203,5500	79.200	Cerah
10.30	30,07	6,88	206,8816	80.500	Cerah
11.00	31,09	6,85	212,9665	92.700	Cerah
11.30	31,71	6,80	215,6280	94.000	Cerah
12.00	33,07	6,60	218,2620	96.500	Cerah

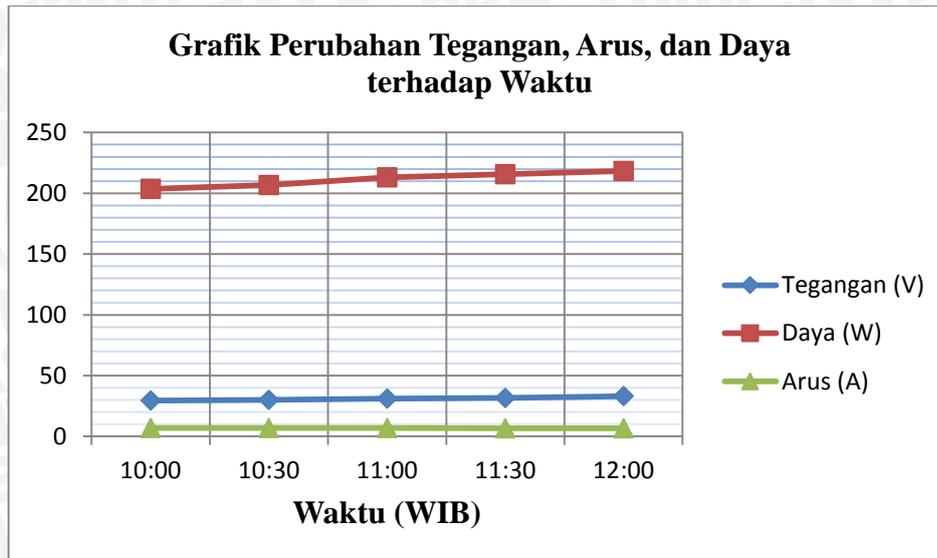
Berdasarkan Tabel 5.1 dapat diketahui bahwa nilai tegangan, arus, dan daya maksimum pada *solar cell* 205 Wp pukul 10.00-12.00 WIB berturut-turut adalah 33,07 V; 6,90 A; 218,2620 W dengan intensitas matahari sebesar 96.500 lux dan kondisi cuaca cerah. Dari hasil pengujian tersebut, dapat digambarkan suatu grafik kurva I-V yang menggambarkan sifat karakteristik *solar cell* yang ditunjukkan pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2 Grafik pengujian karakteristik arus terhadap tegangan.

Berdasarkan grafik di atas, dapat diketahui bahwa grafik kurva I-V pada *solar cell* adalah non-linear dan berbanding terbalik. Semakin besar nilai tegangan  $V_{OC}$ , maka nilai arus  $I_{SC}$  semakin kecil.

Di samping itu, dari hasil pengujian pada Tabel 5.1, dapat digambarkan suatu grafik perubahan nilai tegangan, arus, dan daya *solar cell* terhadap waktu pengujian. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 5.3 berikut.



Gambar 5.3 Grafik perubahan tegangan, arus, dan daya terhadap waktu.

Sedangkan perbandingan nilai pengukuran dengan nilai spesifikasi parameter *solar cell* yang digunakan dapat ditunjukkan pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Perbandingan nilai parameter *solar cell*

Parameter <i>Solar cell</i>	Nilai Spesifikasi	Nilai Pengukuran
<i>Open Circuit Voltage</i> ( $V_{oc}$ )	35,2 V	33,07 V
<i>Short Circuit Current</i> ( $I_{sc}$ )	7,91 A	6,9 A

### 5.1.5 Analisis Hasil Pengujian

Tegangan  $V_{oc}$  merupakan tegangan pada saat arusnya nol, sedangkan  $I_{sc}$  merupakan nilai arus pada saat tegangannya nol. Berdasarkan Tabel 5.1 dapat diketahui bahwa nilai tegangan, arus, dan daya maksimum pada *solar cell* 205 Wp pukul 10.00-12.00 WIB berturut-turut adalah 33,07 V; 6,90 A; 218,2620 W dengan intensitas matahari sebesar 96.500 lux. Nilai tegangan dan daya keluaran *solar cell* akan meningkat seiring meningkatnya intensitas matahari, sedangkan arusnya akan semakin menurun.

Berdasarkan Tabel 5.2, *solar cell* yang digunakan memiliki spesifikasi tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) sebesar 35,2 V dan arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ) sebesar 7,91 A. Sedangkan tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) dan arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ) maksimum saat pengukuran berturut-turut sebesar 33,07 V dan 6,9 A. Maka, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan tegangan dan arus berturut-turut sebesar 2,13 V dan 1,01 A dari hasil pengukuran.

## 5.2 Pengujian Rangkaian Pendeteksi Arus Beban

### 5.2.1 Tujuan

Tujuan pengujian rangkaian pendeteksi arus beban adalah untuk mengkalibrasi blok diagram pendeteksi arus beban yang digunakan dan untuk mengetahui nilai arus yang sedang mengalir ke beban.

### 5.2.2 Peralatan

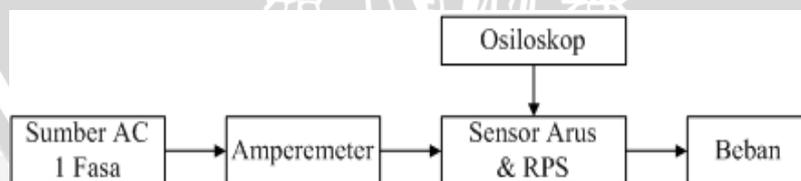
Peralatan yang akan digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. Sensor MDCSEM5A.
2. Sumber tegangan AC 1 fasa.
3. Amperemeter AC.
4. Osiloskop.
5. Lampu pijar 11x100W

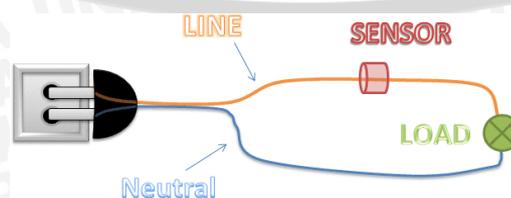
### 5.2.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian pendeteksi arus beban utama adalah sebagai berikut:

1. Merangkai rangkaian seperti ditunjukkan pada Gambar 5.4a dan Gambar 5.4b.
2. Menghubungkan sumber AC 1 fasa ke rangkaian.
3. Menghubungkan amperemeter yang dipasang seri dengan sensor.
4. Menghubungkan sensor dengan lampu yang sudah dipasang paralel.
5. Menghubungkan luaran sensor dengan osiloskop.
6. Memasukkan beban lampu dari 100 W hingga 1100 W.
7. Mencatat penunjukkan nilai arus yang mengalir, mengamati tegangan keluaran sensor di osiloskop, dan mengukur tegangan keluaran dengan voltmeter.



Gambar 5.4a Blok diagram rangkaian pengujian sensor arus.



Gambar 5.4b Rangkaian pengujian sensor arus

### 5.2.4 Hasil Pengujian

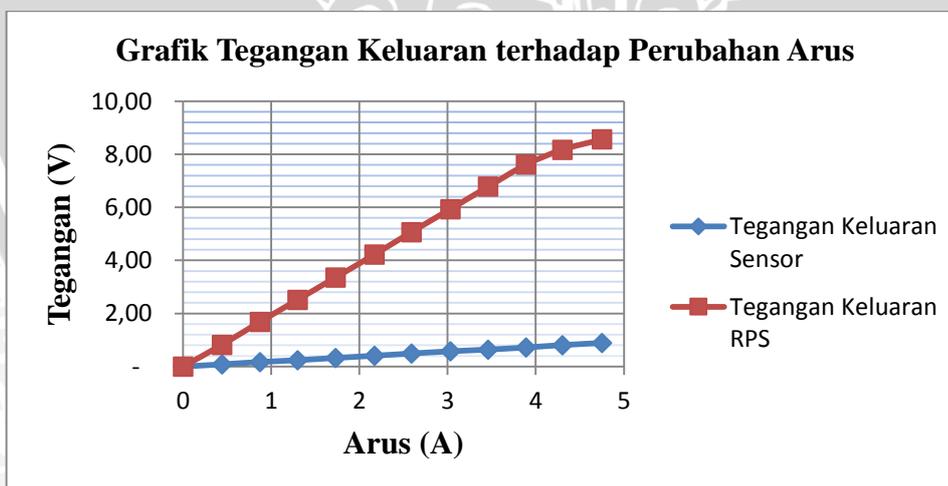
Data hasil pengujian rangkaian pendeteksi arus beban adalah sebagai berikut:

1. Tegangan keluaran sensor arus dan RPS-nya ditunjukkan Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Data tegangan keluaran sensor arus MDCSEM5A dan RPS AD620.

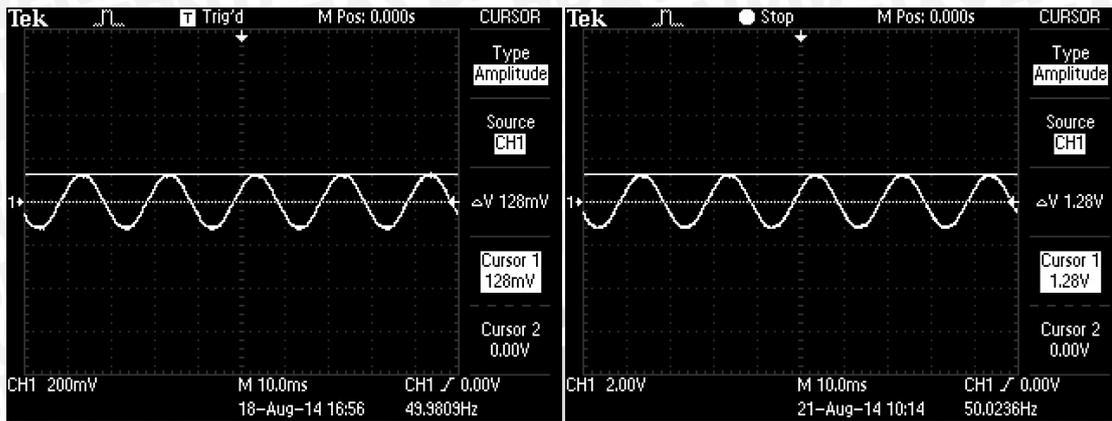
Beban (W)	Arus (A)		Error (%)	Tegangan Keluaran Sensor			Error (%)	Tegangan Keluaran RPS			Error (%)
	Teori	Praktek		Peak (V)	Vefektif (V)			Peak (V)	Vefektif (V)		
					Teori	Praktek			Teori	Praktek	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0,45	0,44	3,31	0,13	0,09	0,08	7,75	1,28	0,91	0,82	10,38
200	0,91	0,87	4,49	0,25	0,18	0,17	1,95	2,48	1,75	1,68	4,38
300	1,36	1,30	4,90	0,37	0,26	0,24	8,42	3,68	2,60	2,52	3,26
400	1,82	1,73	5,10	0,52	0,37	0,33	12,79	4,80	3,39	3,36	1,02
500	2,27	2,17	4,73	0,64	0,45	0,41	10,92	6,20	4,38	4,22	3,89
600	2,73	2,59	5,30	0,74	0,52	0,49	6,35	7,40	5,23	5,07	3,21
700	3,18	3,03	5,01	0,86	0,61	0,58	5,57	8,60	6,08	5,93	2,55
800	3,64	3,46	5,10	0,98	0,69	0,64	8,28	9,60	6,79	6,78	0,12
900	4,09	3,89	5,16	1,10	0,78	0,72	8,03	11,00	7,78	7,61	2,21
1000	4,55	4,30	5,71	1,24	0,88	0,81	8,25	11,60	8,20	8,17	0,40
1100	5,00	4,75	5,26	1,28	0,91	0,89	1,70	12,40	8,77	8,56	2,43

2. Grafik hasil pengujian tegangan keluaran pada sensor arus dan RPS ditunjukkan pada Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5.5 Grafik tegangan keluaran sensor arus dan RPS.

3. Contoh bentuk gelombang tegangan keluaran sensor arus beban



Gambar 5.6 Bentuk gelombang tegangan keluaran sensor arus untuk beban 100 W (0,44 A) dan beban 1100 W (4,75 A).

### 5.2.5 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan data hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan keluaran sensor arus proporsional dengan arus yang mengalir ke beban. Nilai tegangan puncak keluaran sensor MDCSEM5A untuk beban 100 W (0,44 A) dan 1100 W (4,75 A) berturut-turut adalah sebesar 0,13 V dan 1,28 V. Sedangkan, nilai tegangan efektifnya berturut-turut adalah sebesar 0,09 V dan 0,91 V (secara teori); 0,08 V dan 0,89 V (secara praktek).

Adapun tegangan keluaran sensor arus setelah diberi penguatan oleh op-amp AD620 adalah sebagai berikut. Nilai tegangan puncak untuk beban 100 W (0,44 A) dan 1100 W (4,75 A) berturut-turut adalah sebesar 1,28 V dan 12,40 V. Sedangkan, nilai tegangan efektifnya berturut-turut adalah sebesar 0,91 V dan 8,77 V (secara teori); 0,82 V dan 8,56 V (secara praktek).

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 5.3, diperoleh nilai error terendah dan tertinggi untuk pengujian tegangan keluaran sensor arus berturut-turut adalah sebesar 1,70 % dan 12,79 %. Sedangkan untuk pengujian RPS diperoleh nilai error terendah dan tertinggi berturut-turut adalah sebesar 0,12 % dan 10,38 %. Nilai error yang masih besar dipengaruhi oleh penggunaan instrumen dan alat ukur yang tidak dikalibrasi, serta paralaks sebagai akibat dari kesalahan pembacaan. Meskipun demikian, rangkaian pendeteksi arus beban beserta RPS-nya dapat bekerja dan berfungsi dengan baik sehingga dapat dijadikan masukkan Zelio sebagai nilai tegangan yang mengalir ke beban.

### 5.3 Pengujian Rangkaian Pembagi Tegangan

#### 5.3.1 Tujuan

Pengujian rangkaian pembagi tegangan dilakukan untuk mengkalibrasi dan mengetahui tegangan keluaran baterai untuk dikondisikan dalam *range* 0-10 V sehingga dapat dideteksi oleh Zelio.

#### 5.3.2 Peralatan

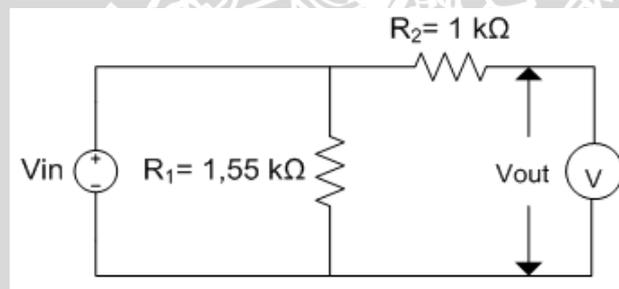
Peralatan yang digunakan saat pengujian adalah:

1. Rangkaian pembagi tegangan.
2. Sumber tegangan DC.
3. Voltmeter.

#### 5.3.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian rangkaian pembagi tegangan adalah sebagai berikut:

1. Merangkai rangkaian pembagi tegangan seperti Gambar 5.7.
2. Mengatur nilai tegangan masukan ( $V_{in}$ ) dari 26 V hingga 22 V.
3. Mengukur nilai tegangan keluaran ( $V_{out}$ ) dengan menggunakan voltmeter.



Gambar 5.7 Rangkaian pengujian rangkaian pembagi tegangan.

#### 5.3.4 Hasil Pengujian

Hasil pengujian rangkaian pembagi tegangan ditunjukkan dalam Tabel 5.4. Besaran tegangan *output* yang dihasilkan berdasarkan  $R_1$  dan  $R_2$  yang digunakan sesuai perancangan yang telah dibahas di bab sebelumnya.

Tabel 5.4 Hasil pengukuran rangkaian pembagi tegangan.

No.	$V_{in}$ (V)	$V_{out}$ (V)		Error (%)
		Teori	Praktek	
1.	26	10,20	10,19	0,06
2.	25	9,80	9,78	0,24
3.	24	9,41	9,40	0,13
4.	23	9,02	8,98	0,44
5.	22	8,63	8,61	0,20

### 5.3.5 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 5.4, didapatkan nilai error terendah sebesar 0,06 % dan error tertinggi sebesar 0,44 %. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa rangkaian pembagi tegangan pada perancangan ini dapat bekerja dan berfungsi dengan baik.

## 5.4 Pengujian Otomatisasi Genset

### 5.4.1 Tujuan

Pengujian ini dilakukan untuk menguji *automatic starting* pada genset dengan menggunakan relai otomatisasi genset yang telah dirancang sebelumnya.

### 5.4.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Genset merk Starke 2,8 kW; 220 V; 50 Hz.
2. Relai merk Omron MY2N-J 5 A; 250 V<sub>AC</sub>; 24 V<sub>DC</sub>.
3. Zelio SR3B261BD.
4. Voltage regulator DC.

### 5.4.3 Prosedur Pengujian

Prosedur yang dilakukan dalam pengujian ini meliputi:

1. Merangkai rangkaian pengujian seperti blok diagram pada Gambar 5.8.
2. Menghubungkan genset dengan relai otomatisasi dan Zelio yang telah diprogram sebelumnya.
3. Menghubungkan *input* Ib dan Ic pada Zelio dengan 2 buah *voltage regulator* DC sebagai representasi tegangan baterai dan tegangan beban.
4. Mengatur *input* Ib dan Ic dengan kondisi  $I_b \leq I_c$  menggunakan *voltage regulator* sehingga genset dapat menyala otomatis.
5. Setelah itu, *input* Ib dan Ic diatur dengan kondisi  $I_b > I_c$  menggunakan *voltage regulator* sehingga genset padam secara otomatis.



Gambar 5.8 Blok diagram rangkaian pengujian otomatisasi genset.

#### 5.4.4 Hasil Pengujian

Hasil pengujian otomatisasi genset dapat ditunjukkan dalam Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Data hasil pengujian otomatisasi genset.

No.	Ib (V)	Ic (V)	$I_b \leq I_c$	Relai Otomatisasi	Kondisi Genset
1.	9,7	3,8	Tidak	OFF	OFF
2.	9,5	7,6	Tidak	OFF	OFF
3.	9,3	9,5	Ya	ON	ON
4.	8,2	8,2	Ya	ON	ON
5.	8,2	7,7	Tidak	ON	ON
6.	9,8	9,6	Tidak	OFF	OFF

#### 5.4.5 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 5.5, saat *input* tegangan baterai  $I_b=9,7$  V dan tegangan beban  $I_c=3,8$  V, kondisi relai OFF dan genset OFF. Pada saat  $I_b=9,3$  V dan  $I_c=9,5$  V, kondisi relai ON dan genset ON. Hal ini dapat disimpulkan bahwa rangkaian otomatisasi genset dapat bekerja dan berfungsi dengan baik.

### 5.5 Pengujian Perangkat Lunak

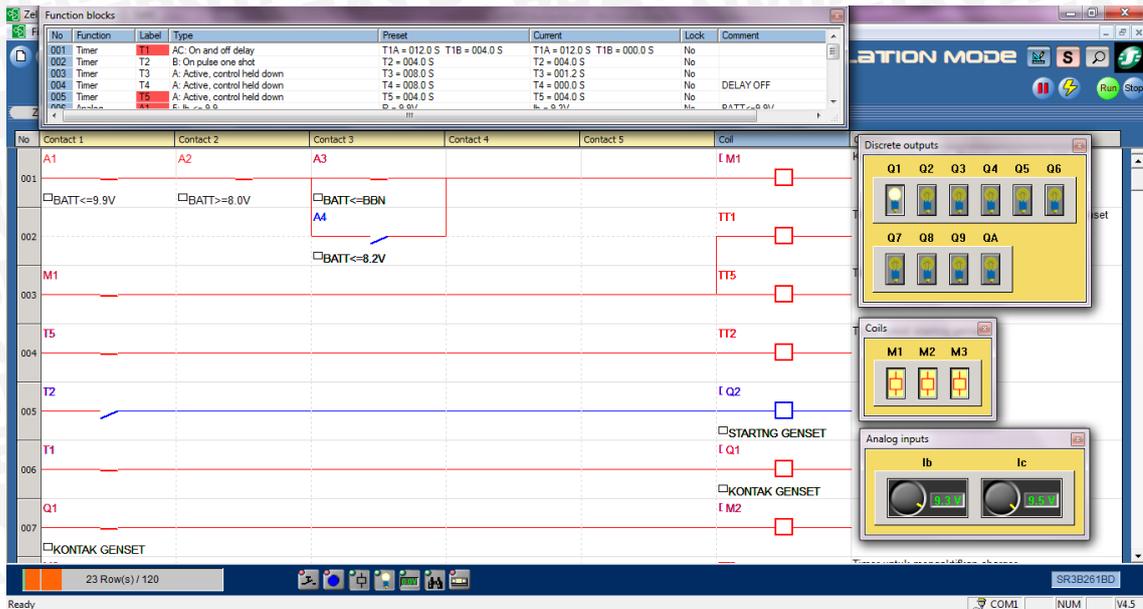
#### 5.5.1 Tujuan

Program pada Zelio berperan penting dalam pengoperasian sistem. Maka sebelum diterapkan secara riil, diperlukan pengujian perangkat lunak ini dengan cara simulasi menggunakan fitur yang terdapat pada *software Zelio Soft 2*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah program dapat berjalan dengan baik.

#### 5.5.2 Hasil dan Analisis Pengujian

Hasil pengujian perangkat lunak adalah sebagai berikut:

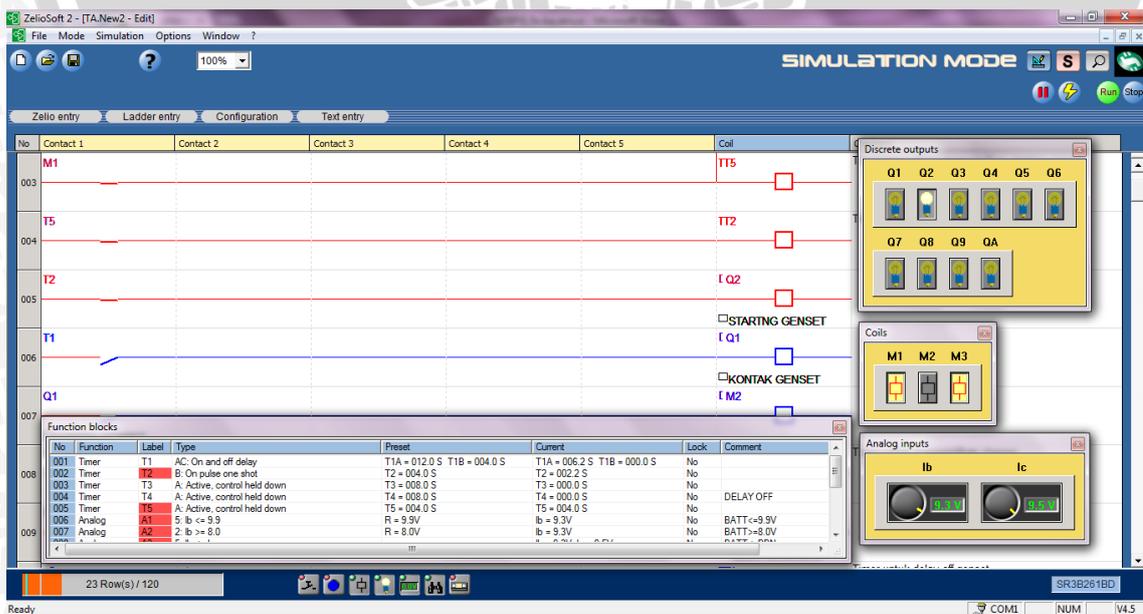
1. Pengujian program peralihan sumber energi dari baterai ke genset.



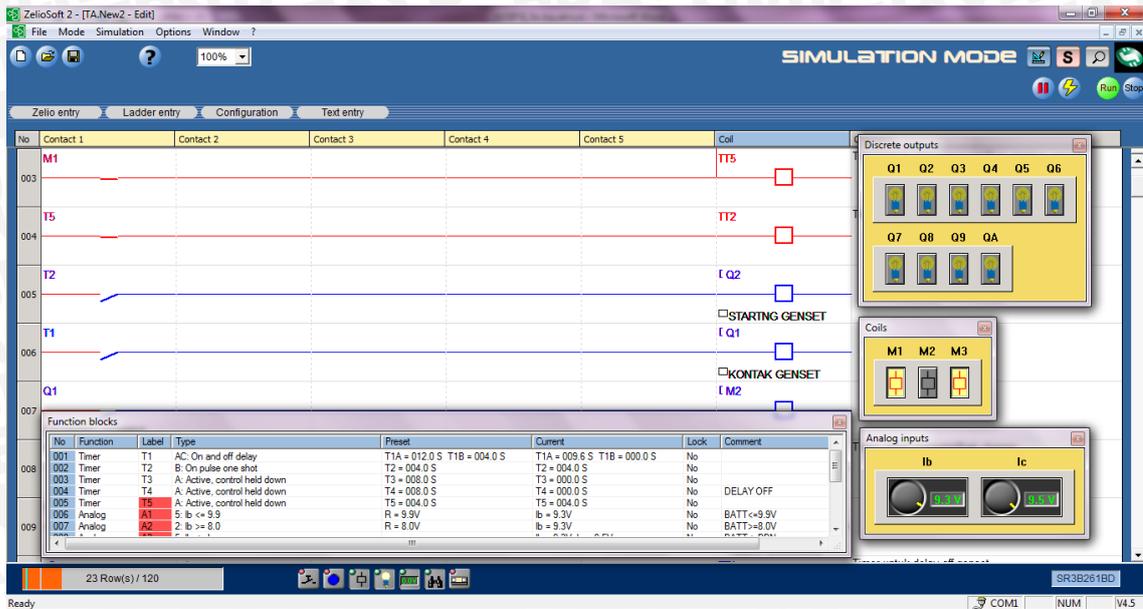
Gambar 5.9 Simulasi program peralihan sumber energi dari baterai ke genset.

Pada penelitian ini, diasumsikan bahwa kondisi awal sistem adalah baterai sudah terisi penuh. Pada saat kondisi baterai tidak mampu menyuplai beban, yakni tegangan baterai kurang dari atau sama dengan tegangan beban ( $I_b \leq I_c$ ), maka Zelio akan mendeteksi dan memerintahkan untuk melakukan switch sumber energi dari baterai ke genset. Dari hasil simulasi pada Gambar 5.9, saat  $I_b = 9,3$  V dan  $I_c = 9,5$  V, *coil* M1 aktif dan *coil* Q1 menyala. Hal ini membuktikan bahwa program ini dapat berjalan dengan baik.

## 2. Pengujian program *automatic starting* pada genset.



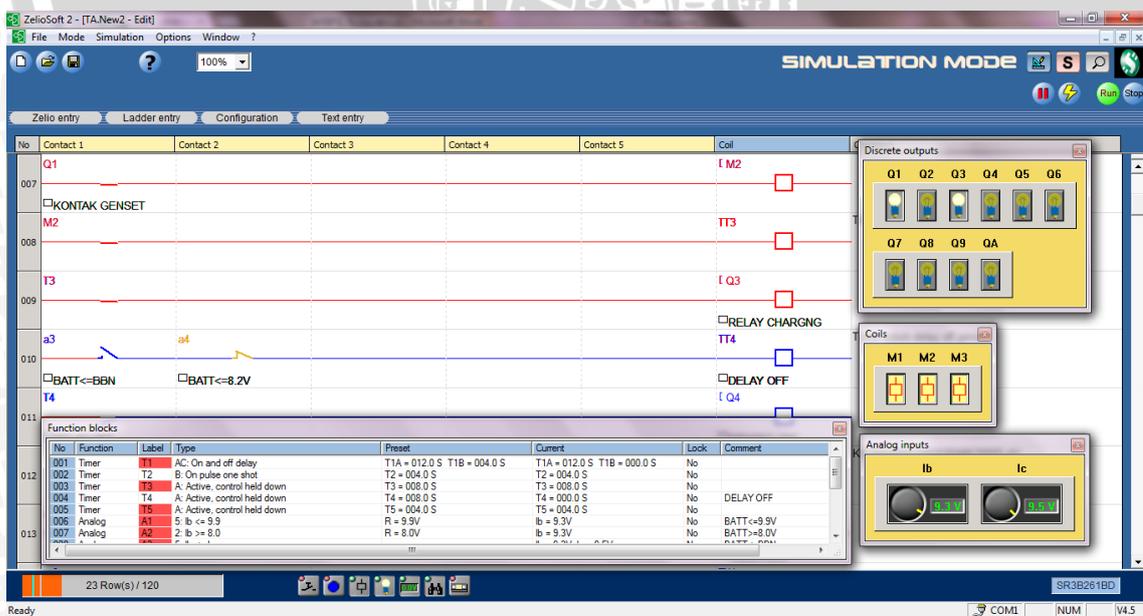
Gambar 5.10a Simulasi program *automatic starting ON* pada genset.



Gambar 5.10b Simulasi program *automatic starting OFF* pada genset.

Pada saat *coil* M1 aktif, dan *coil* Q2 aktif, maka genset akan mulai melakukan *starting* selama 4 detik. Setelah genset sudah *running*, kontak *starting* genset akan *OFF*. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 5.10a dan Gambar 5.10b. *Discrete outputs* Q2 menyala selama 4 detik, kemudian Q2 padam. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa program *automatic starting* genset dapat berjalan dengan baik.

### 3. Pengujian program relai untuk *charging* baterai.

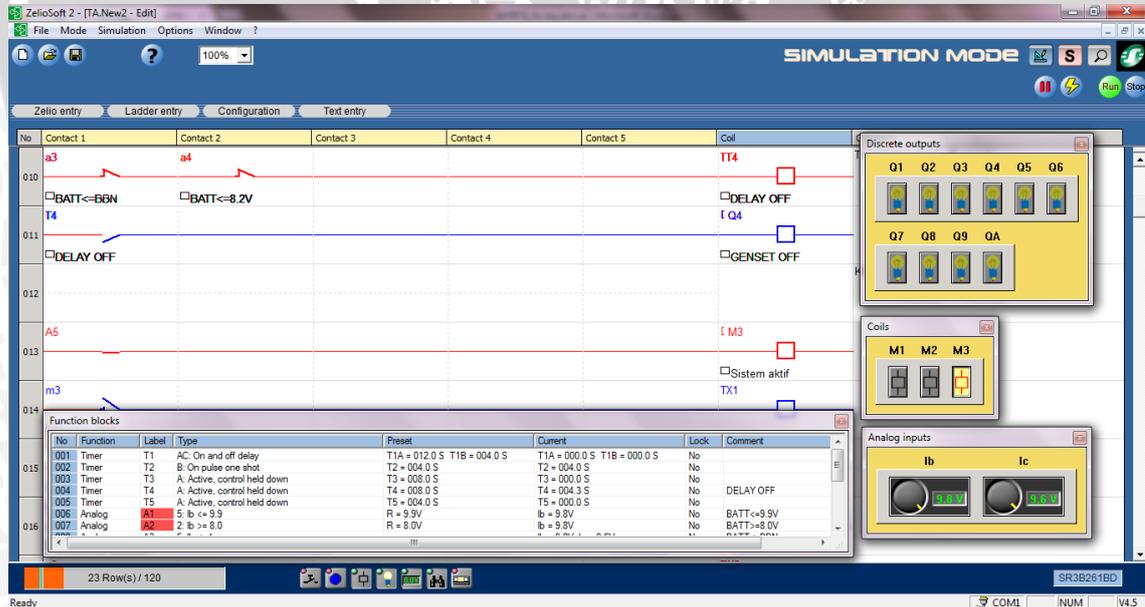


Gambar 5.11 Simulasi program relai untuk *charging*.

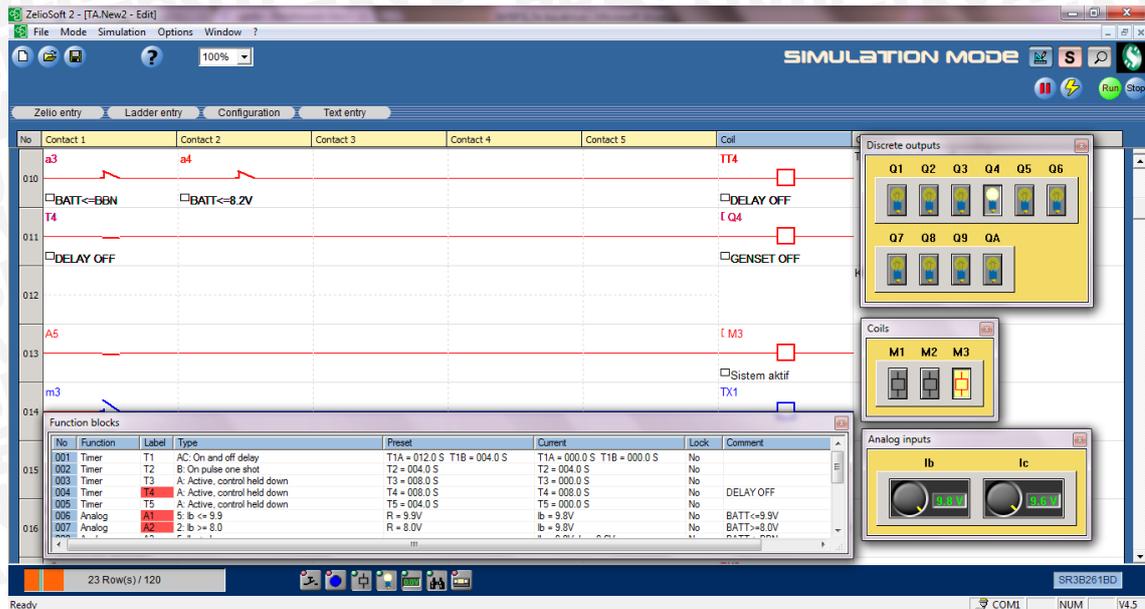
Pada saat genset sudah *running* dengan baik, maka Zelio akan memerintahkan untuk mengaktifkan relai untuk *charging* baterai. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5.11, yakni ditandai dengan menyalnya *coil* Q3. Dengan demikian, program ini dapat berjalan dengan baik.

#### 4. Pengujian program *delay OFF* pada genset.

Setelah genset beroperasi untuk menyuplai beban dan kelebihan energinya digunakan untuk mengisi baterai sehingga baterai sudah mulai terisi penuh, Zelio akan mendeteksi dan memerintahkan untuk memadamkan genset secara otomatis. Namun, saat memadamkan genset terdapat *delay* agar tidak terjadi kejutan pada beban sehingga beban tidak terputus. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 5.12. Saat tegangan baterai lebih dari tegangan beban,  $input I_b=9,8\text{ V}$  dan  $I_c=9,6\text{ V}$ , tidak ada *discrete outputs* yang menyala, dan kontak TT4 ter-*energized* sebagai *timer delay OFF* pada genset. Setelah *delay* selama 8 detik, maka genset akan padam yang ditunjukkan pada Gambar 5.13 ditandai dengan Q4 yang menyala. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa program ini dapat berjalan dengan baik.



Gambar 5.12 Simulasi program *delay OFF* pada genset.



Gambar 5.13 Simulasi program saat genset *OFF*.

## 5.6 Pengujian *Specific Fuel Consumption (SFC)* Genset

### 5.6.1 Tujuan

Pengujian SFC genset dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari besarnya konsumsi bahan bakar genset sehingga dapat dijadikan acuan dalam menerapkan sistem hibrida.

### 5.6.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

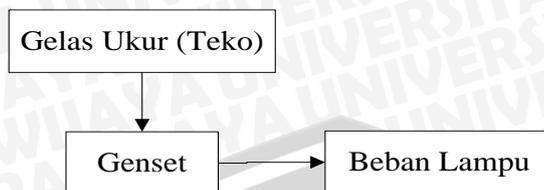
1. Genset merk Starke 2,8 kW 220 V 50 Hz.
2. Gelas ukur (*teko*) yang telah dirancang sebelumnya.
3. *Stopwatch/timer*.
4. Beban lampu pijar.

### 5.6.3 Prosedur Pengujian

Prosedur yang dilakukan dalam pengujian ini meliputi:

1. Merangkai rangkaian pengujian sesuai blok diagram pada Gambar 5.14.
2. Menghubungkan genset dengan beban lampu.
3. Mengisi teko dengan *gasoline* premium hingga 1500 ml.
4. Menyalakan genset untuk *warming up* selama 2-3 menit hingga genset *running* dengan baik.
5. Setelah genset *running* dengan baik, beban dimasukkan 100 W. Sesaat kemudian, *stopwatch* ditekan hingga *gasoline* premium dalam teko turun 50 ml.

6. Setelah *gasoline* premium habis/dikonsumsi genset sebanyak 50 ml, *stopwatch* dihentikan dan mencatat waktu yang diperlukan untuk menghabiskan 50 ml.
7. Melakukan ulang untuk beban 200 W, 300 W, hingga 2500 W.



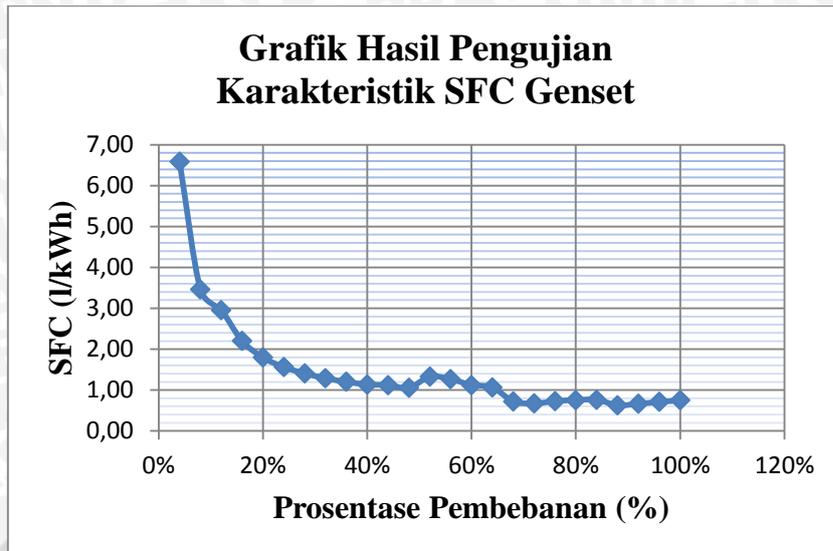
Gambar 5.14 Blok diagram rangkaian pengujian SFC genset

#### 5.6.4 Hasil Pengujian

Data hasil pengujian nilai SFC genset dengan volume uji 50 ml ditunjukkan dalam Tabel 5.6 serta Gambar 5.15.

Tabel 5.6 Data hasil pengujian SFC genset.

No.	Prosentase Pembebanan (%)	Beban (W)	Waktu (detik)	$m_f$	SFC (l/kWh)
1.	4%	100	202	0,66	6,59
2.	8%	200	192	0,69	3,46
3.	12%	300	150	0,89	2,96
4.	16%	400	151	0,88	2,20
5.	20%	500	148	0,90	1,80
6.	24%	600	142	0,94	1,56
7.	28%	700	135	0,99	1,41
8.	32%	800	129	1,03	1,29
9.	36%	900	123	1,08	1,20
10.	40%	1000	117	1,14	1,14
11.	44%	1100	108	1,23	1,12
12.	48%	1200	105	1,27	1,06
13.	52%	1300	77	1,73	1,33
14.	56%	1400	75	1,77	1,27
15.	60%	1500	79	1,68	1,12
16.	64%	1600	78	1,71	1,07
17.	68%	1700	108	1,23	0,72
18.	72%	1800	110	1,21	0,67
19.	76%	1900	96	1,39	0,73
20.	80%	2000	88	1,51	0,76
21.	84%	2100	83	1,60	0,76
22.	88%	2200	96	1,39	0,63
23.	92%	2300	87	1,53	0,66
24.	96%	2400	78	1,71	0,71
25.	100%	2500	71	1,87	0,75



Gambar 5.15 Grafik karakteristik SFC genset.

Berdasarkan data hasil pengujian diperoleh nilai SFC genset sesuai persamaan (2-5)

$$SFC = \frac{m_f}{P_G}; \quad m_f = \frac{Sg_f \cdot V_f}{t_f} \cdot 3600$$

#### 5.6.5 Analisis Hasil Pengujian

Pada pengujian ini, genset yang digunakan adalah genset dengan kapasitas daya 2,5 kW. Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 5.6 diperoleh nilai SFC genset sebagai berikut. Pada saat genset diberi beban 100 W (4 % dari kapasitas genset), nilai SFC sangat besar yaitu sebesar 6,59 l/kWh. Dan saat genset diberi beban 72 % dari kapasitas genset, nilai SFC adalah optimum yakni sebesar 0,67 l/kWh.

Berdasarkan Gambar 5.15 dapat dilihat grafik karakteristik SFC genset. Dari grafik tersebut, nilai SFC genset akan menurun seiring dengan prosentase pembebanan. Semakin besar prosentase beban yang disuplai genset, maka semakin kecil nilai SFC genset. Dan nilai SFC yang optimum adalah saat prosentase pembebanan di atas 70 % dari kapasitas genset.

#### 5.7 Pengujian Pensaklaran Sistem

Setelah dilakukan pengujian masing-masing blok, maka dilakukan pengujian pada sistem yang telah terinterkoneksi dengan Zelio. Kontrol sistem hibrida ini bekerja berdasarkan 2 input berupa sensor tegangan menggunakan analog komparator pada Zelio. *Input* tegangan baterai ( $I_b$ ) disimulasikan dengan menggunakan *voltage regulator dc*. *Input* tegangan beban ( $I_c$ ) disimulasikan dengan mengatur beban lampu 100 W

hingga 1100 W. Pensaklaran sistem diwakili oleh relai yang terhubung pada *output* Zelio.

Tabel 5.7 Pengujian pensaklaran sistem hibrida

No.	Tegangan Baterai (V)	Beban (W)	Input Ib (V)	Input Ic (V)	Ib ≤ Ic	Kondisi Relai	
						Genset (Q1)	Charging (Q3)
1.	25,4	100	9,9	0,5	Tidak	OFF	OFF
2.	25,2	200	9,9	1,6	Tidak	OFF	OFF
3.	25,0	300	9,8	2,7	Tidak	OFF	OFF
4.	24,8	400	9,7	3,9	Tidak	OFF	OFF
5.	24,6	500	9,7	5,1	Tidak	OFF	OFF
6.	24,4	600	9,6	6,2	Tidak	OFF	OFF
7.	24,2	700	9,5	7,4	Tidak	OFF	OFF
8.	24,0	800	9,4	8,5	Tidak	OFF	OFF
9.	23,8	900	9,3	9,5	Ya	ON	ON
10.	23,6	1000	9,2	9,9	Ya	ON	ON
11.	23,4	1100	9,1	9,9	Ya	ON	ON

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5.7, saat tegangan baterai lebih dari tegangan beban ( $I_b > I_c$ ), maka kondisi relai genset dan relai *charging* baterai masih *OFF*. Sedangkan pada saat tegangan baterai kurang dari atau sama dengan tegangan beban ( $I_b \leq I_c$ ), maka relai genset akan *ON* kemudian relai untuk *charging* baterai akan *ON*. Dengan demikian, pensaklaran sistem hibrida dapat berjalan dengan baik.

### 5.7.1 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk mengetahui apakah perangkat sistem dapat berjalan dengan baik. Pada pengujian ini, baterai disimulasikan dengan menggunakan *voltage regulator dc* yang kemudian dihubungkan ke inverter sehingga dapat menyuplai beban. Sedangkan, sumber energi dari genset diwakili oleh sumber PLN. Pada pengujian ini, pensaklaran kedua sumber (PLN dan Inverter) diwakili oleh satu relai (Q1: NO dan NC) untuk mencegah agar kedua sumber tersebut tidak bertemu. Beban yang digunakan dalam pengujian ini adalah lampu pijar 15 W, 25 W, dan 40 W.

Oleh karena itu, pada perancangan sensor arus sebelumnya harus dilakukan penurunan menjadi antara 0-0,23 A (untuk beban 0-50 W) agar sensor arus lebih sensitif dalam mendeteksi arus beban yang mengalir. Sehingga, nilai tegangan keluaran sensor arus adalah 0-0,045 V. Dan nilai *Gain* serta  $R_G$  pada RPS yang telah dirancang sebelumnya harus di-*setting* ulang melalui perhitungan sebagai berikut:

Diketahui tegangan keluaran dari sensor arus untuk 0 A sampai 0,23 A adalah sebesar 0 V sampai 0,045 V. Tegangan keluaran RPS yang direncanakan adalah 0 V sampai 9,9 V. Maka, sesuai persamaan (4-1)

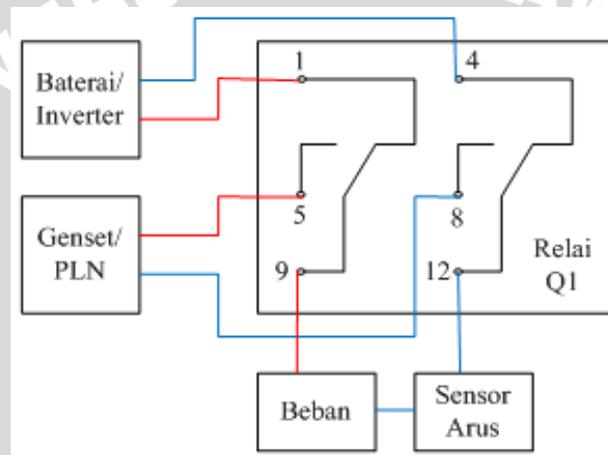
$$0 = G \cdot 0 + V_0$$

$$9,9 = G(0,045) + V_0$$

Dengan menggunakan metode eliminasi, diperoleh nilai *Gain* (G) sebesar 220. Sehingga,

$$R_G = \frac{49,4}{G - 1} = \frac{49,4}{220 - 1} = 0,225 \text{ k}\Omega$$

Adapun blok diagram pengujian keseluruhan sistem ditunjukkan pada Gambar 5.16, dan hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 5.9.



Gambar 5.16 Blok diagram pengujian keseluruhan sistem.

Tabel 5.8 Pengujian keseluruhan sistem

No.	Tegangan Baterai (V)	Beban (W)	Input Zelio		$I_b \leq I_c$	Kondisi Relai			
			$I_b$ (V)	$I_c$ (V)		Q1 (NO)	Q1 (NC)	Q3	Q4
1.	26,0	15	9,7	3,4	Tidak	Tidak aktif	Aktif	OFF	ON
2.	25,5	15	9,5	3,4	Tidak	Tidak aktif	Aktif	OFF	ON
3.	25,0	15	9,3	3,4	Tidak	Tidak aktif	Aktif	OFF	ON
4.	24,5	25	9,2	5,6	Tidak	Tidak aktif	Aktif	OFF	ON
5.	24,0	25	9,0	5,6	Tidak	Tidak aktif	Aktif	OFF	ON
6.	23,5	40	8,8	9,3	Ya	Aktif	Tidak Aktif	ON	OFF
7.	23,0	40	8,6	9,3	Ya	Aktif	Tidak aktif	ON	OFF
8.	22,5	40	8,5	9,2	Ya	Aktif	Tidak aktif	ON	OFF
9.	22,0	25	8,2	5,6	Tidak	Aktif	Tidak aktif	ON	OFF
10.	21,5	15	8,0	3,3	Tidak	Aktif	Tidak aktif	ON	OFF

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5.8, saat tegangan baterai 24 V diberi beban 25 W, input  $I_b=9,0$  V,  $I_c=5,6$  V, kondisi relai Q1 (NC) aktif, Q4 ON. Hal ini mengindikasikan bahwa beban disuplai oleh baterai melalui inverter, dan kondisi

genset/PLN masih padam. Sedangkan pada saat tegangan baterai 23,5 V diberi beban 40 W, input  $I_b=8,8$  V,  $I_c=9,3$  V, kondisi relai Q1 (NO) aktif, Q4 *OFF*. Hal ini berarti bahwa beban disuplai oleh genset/PLN. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa perangkat sistem peralihan energi baterai dan genset ini dapat bekerja dengan baik.

### 5.8 Implementasi Sistem

Penerapan/implementasi sistem dapat dilakukan di Laboratorium Sistem Daya Elektrik dan Energi Terbarukan, Teknik Elektro Universitas Brawijaya dengan mengacu pada profil/kurva beban di suatu pedesaan. Adapun pada penelitian ini, kurva beban diambil dari data sekunder yaitu data beban PLTD Mandangin pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sean Yudha Yahya, 2014 yang berjudul “Analisis Pembangkit Listrik Hibrida Diesel dan Energi Terbarukan di Pulau Mandangin, Sampang, Madura Menggunakan *Software* Homer”.

Tabel 5.9 Data beban PLTD Mandangin

Waktu (WIB)	Beban (kW)
09.00	256
10.00	275
11.00	285
12.00	285
13.00	270
14.00	220
15.00	285
16.00	259
17.00	287
18.00	447
19.00	502
20.00	517
21.00	537
22.00	479
23.00	400
00.00	380
01.00	365
02.00	345
03.00	305
04.00	305
05.00	355
06.00	327
07.00	271
08.00	261
<b>Total Beban 24 jam</b>	<b>8.218</b>

Berdasarkan data beban pada Tabel 5.9, beban dasar terjadi pada pukul 14.00 WIB sebesar 220 kW. Sedangkan beban puncak terjadi pada pukul 21.00 WIB sebesar 537 kW. Namun, dikarenakan ketersediaan panel surya yang terpasang di laboratorium tersebut hanya memiliki kapasitas 205 Wp dan ketersediaan baterai berkapasitas 90 Ah 24 V, maka dilakukan penurunan skala beban menjadi skala laboratorium. Untuk memperoleh kurva beban dengan skala laboratorium yang memenuhi kapasitas panel surya dan baterai, diperlukan perhitungan energi harian yang dihasilkan oleh panel surya dan energi dari baterai tersebut.

### 5.8.1 Perhitungan Manajemen Energi

Berdasarkan kapasitas panel surya yang digunakan yakni 1 unit 205 Wp, dan kapasitas baterai yakni 2 unit 12 V 90 Ah, maka dapat diketahui energi harian yang dapat dipasok oleh *solar cell* dan baterai sehingga dapat diketahui profil beban harian.

#### 5.8.1.1 Energi dari *Solar cell*

Kapasitas daya modul sel surya dapat diperhitungkan dengan memperhatikan beberapa faktor, yaitu kebutuhan energi yang harus disuplai modul, radiasi matahari, dan faktor penyesuaian. Pada penelitian ini, jumlah modul yang tersedia adalah 1 unit 205 Wp, maka kapasitas modul dapat diketahui melalui persamaan (2-2):

$$\text{Jumlah modul} = \frac{\text{Kapasitas modul yang dirancang}}{\text{Kapasitas modul yang digunakan}}$$

$$\text{Kapasitas modul} = 1 \text{ unit} \times 205 \text{ Wp} = 205 \text{ Wp}$$

Kemudian, energi yang harus dipasok oleh modul dapat diketahui melalui persamaan (2-1):

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

Faktor penyesuaian pada kebanyakan instalasi *photovoltaic* adalah 1,1. Karena yang dipakai dalam perhitungan merupakan jumlah jam, bukan besar radiasi matahari, maka data radiasi terendah yang ada ( $3.360 \text{ Wh/m}^2$ ) harus dibagi dengan *standard test condition* yakni sebesar  $1.000 \text{ W/m}^2$ .

$$\text{Jumlah jam kerja matahari} = \frac{3.360 \text{ Wh/m}^2}{1.000 \text{ W/m}^2} = 3,360 \text{ h}$$

Sehingga energi yang dipasok modul dapat dihitung:

$$\text{Energi yang dipasok modul} = \frac{205 \text{ Wp} \times 3,360 \text{ h}}{1,1} = 626,182 \text{ Wh}$$

Jadi, total energi yang disuplai modul adalah 626,182 Wh.

Asumsi rugi-rugi sistem adalah sebesar 15 %, maka energi yang dapat dihasilkan modul ( $E_{PV}$ ) dapat dihitung melalui persamaan:

$$\text{Energi modul} = E_{PV} + (15 \% \times E_{PV}) = 1,15 \times E_{PV}$$

$$E_{PV} = \frac{626,182 \text{ Wh}}{1,15} = \mathbf{544,506 \text{ Wh}}$$

Jadi, energi yang dapat dihasilkan oleh modul 205 Wp adalah hanya sebesar **544,506 Wh**.

Asumsi prosentase kumulatif beban yang dipasok oleh PV adalah sebesar 40 % dari total beban harian, maka jumlah energi beban harian dapat dihitung melalui persamaan:

$$E_{PV} = 40 \% \times E_{Beban}$$

$$E_{Beban} = \frac{E_{PV}}{0,4} = \frac{544,506 \text{ Wh}}{0,4} = \mathbf{1.361,265 \text{ Wh}}$$

Jadi, total energi beban harian yang dapat disuplai sistem PV 205 Wp adalah sebesar **1.361,265 Wh**.

Berdasarkan data beban PLTD Mandangin pada Tabel 5.9, total energi beban harian adalah sebesar 8.218 kWh atau 8.218.000 Wh. Maka, penurunan skala beban menjadi skala laboratorium dapat dilakukan dengan cara membagi 1.361,265 Wh dengan 8.218.000 Wh.

$$\text{Skala} = \frac{1.361,265 \text{ Wh}}{8.218.000 \text{ Wh}} = \frac{1}{6.037,03}$$

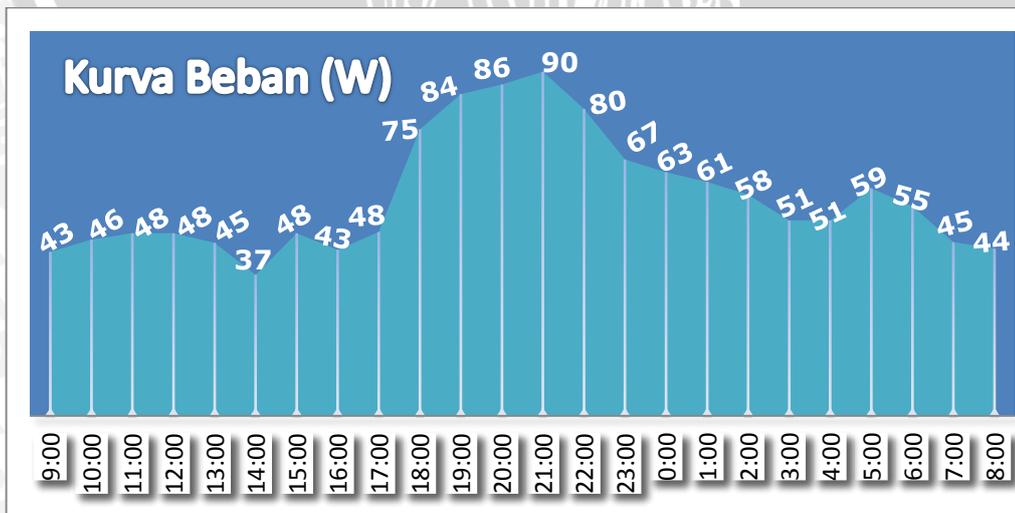
Jadi, skala laboratorium yang digunakan pada penelitian ini adalah **1:6000**.

Dengan demikian, data beban dalam skala laboratorium adalah sebagai berikut:

Tabel 5.10 Data beban dalam skala laboratorium

Waktu (WIB)	Beban (kW)	Beban (W)
		(skala 1:6000)
09.00	256	43
10.00	275	46
11.00	285	48
12.00	285	48
13.00	270	45
14.00	220	37
15.00	285	48
16.00	259	43
17.00	287	48
18.00	447	75
19.00	502	84
20.00	517	86
21.00	537	90
22.00	479	80
23.00	400	67
00.00	380	63
01.00	365	61
02.00	345	58
03.00	305	51
04.00	305	51
05.00	355	59
06.00	327	55
07.00	271	45
08.00	261	44

Berdasarkan Tabel 5.10, dapat dibuat dalam grafik kurva beban yang ditunjukkan pada Gambar 5.16 berikut.



Gambar 5.16 Kurva beban.

Berdasarkan Tabel 5.10, pada penelitian ini, ada 3 pola operasi sistem yang direncanakan. Pertama, pada pukul 09.00-17.00 WIB, beban akan disuplai oleh sistem PV (ditandai warna kuning). Kedua, pada pukul 18.00-23.00 WIB, beban akan disuplai oleh genset (ditandai warna hijau). Dan yang ketiga, pada pukul 00.00-08.00 WIB, beban hanya disuplai oleh baterai (ditandai warna biru) dengan asumsi baterai telah *charge* penuh saat genset beroperasi.

### 5.8.1.2 Energi dari Baterai

Kapasitas baterai yang tersedia di laboratorium adalah 2 unit baterai masing-masing berkapasitas 90 Ah 12 V. Baterai tidak boleh digunakan sepenuhnya karena ada faktor yang harus diperhatikan yaitu *Deep of Discharge* (DOD) baterai. Besarnya DOD baterai umumnya sebesar 80%. Maka, kemampuan baterai untuk menyuplai beban hanya sebesar 20% dari kapasitasnya. Hal ini dilakukan agar tidak memperpendek usia baterai.

$$\text{Energi yang dihasilkan baterai} = 20\% \times (90 \text{ Ah} \times 12 \text{ V}) \times 2 \text{ unit} = 432 \text{ Wh}$$

Berdasarkan pola operasi yang direncanakan, pada malam hari, baterai beroperasi selama 9 jam. Maka, beban rata-rata yang dapat disuplai oleh baterai pada malam hari adalah:

$$\text{Beban rata-rata} = \frac{432 \text{ Wh}}{9 \text{ jam}} = 48 \text{ W}$$

Sedangkan, berdasarkan data beban pada malam hari (pukul 00.00-08.00 WIB) yang direncanakan, beban rata-rata yang disuplai baterai adalah sebesar 54 W. Meskipun demikian, hal tersebut masih dalam batas aman karena saat pukul 06.00 WIB, matahari sudah mulai memberikan energi ke panel surya.

### 5.8.2 Pengujian Implementasi Sistem

Pengujian implementasi sistem dapat dilakukan dengan mengacu pada profil beban dalam skala laboratorium. Berdasarkan Tabel 5.10, beban dasar adalah sebesar 37 W, dan beban puncak adalah sebesar 90 W. Maka, dapat diketahui nilai arus untuk beban 37 W dan 90 W berturut-turut sebesar 0,168 A dan 0,409 A. Dikarenakan pada bab perancangan sensor arus yang digunakan adalah rentang 0-5 A, maka harus dilakukan penurunan menjadi antara 0-0,4 A agar sensor arus lebih sensitif dalam mendeteksi arus beban yang mengalir. Sehingga, nilai tegangan keluaran sensor arus adalah 0-0,08 V.

Selain itu, nilai *Gain* dan  $R_G$  pada RPS yang telah dirancang sebelumnya harus di-*setting* ulang melalui perhitungan sebagai berikut:

Diketahui tegangan keluaran dari sensor arus untuk 0 A sampai 0,4 A adalah sebesar 0 V sampai 0,08 V. Tegangan keluaran RPS yang direncanakan adalah 0 V sampai 10 V.

Maka, sesuai persamaan (4-1)

$$0 = G \cdot 0 + V_0$$

$$10 = G(0,08) + V_0$$

Dengan menggunakan metode eliminasi, diperoleh nilai *Gain* ( $G$ ) sebesar 125. Sehingga,

$$R_G = \frac{49,4}{G - 1} = \frac{49,4}{125 - 1} = 0,398 \text{ k}\Omega$$

Namun, pada penelitian ini, pengujian implementasi sistem berdasarkan data beban PLTD Mandangin dalam skala laboratorium tidak dapat dilakukan karena keterbatasan perangkat sistem yang tersedia. Hal ini dapat dijadikan saran untuk pengembangan selanjutnya.



## BAB VI PENUTUP

### 6.1 Kesimpulan

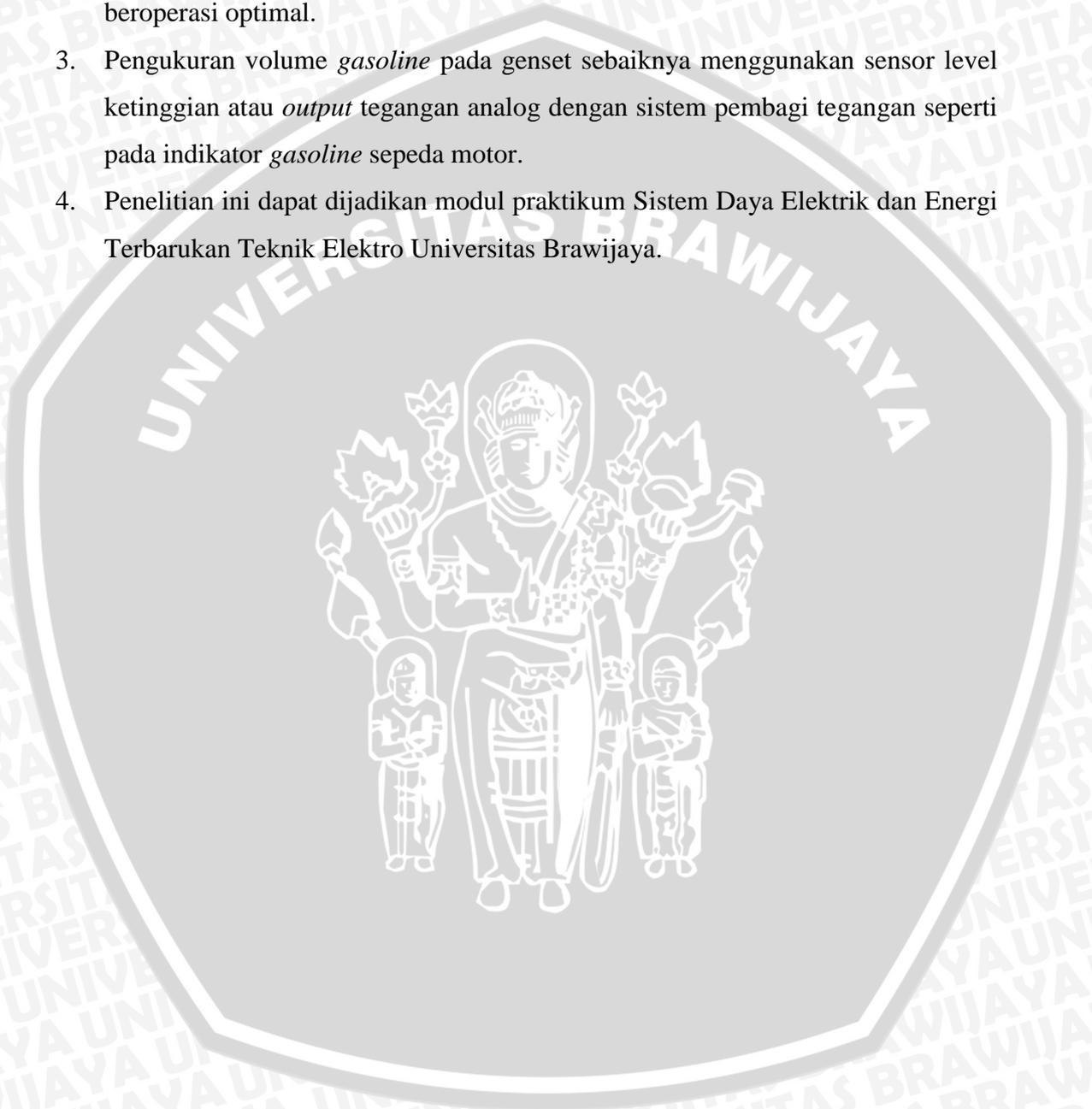
Pada penelitian ini, rancangan perangkat untuk sistem hibrida PV-Genset menggunakan *Zelio Logic Smart Relay* telah dilakukan. Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah diuraikan, dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Nilai tegangan dan daya keluaran *solar cell* akan meningkat seiring meningkatnya intensitas matahari, sedangkan arusnya akan semakin menurun. Selain itu, terdapat perbedaan tegangan dan arus berturut-turut sebesar 2,13 V dan 1,01 A dari hasil pengukuran.
2. Sensor arus dan RPS yang digunakan dalam sistem mampu mendeteksi perubahan arus yang mengalir ke beban dengan memberikan respon berupa tegangan keluaran yang menjadi masukan *Zelio*.
3. Pada otomatisasi genset, rangkaian otomatisasi genset dapat bekerja dan berfungsi dengan baik. Di samping itu, pada pengukuran SFC genset, didapatkan nilai SFC yang optimal adalah sebesar 0,67 1/kWh pada saat pembebanan 72 % dari kapasitas genset.
4. Peralihan energi dari baterai ke genset dan sebaliknya dapat dilakukan oleh *Zelio* dengan baik. Sistem hibrida bekerja berdasarkan sensor tegangan baterai ( $I_b$ ) dan tegangan beban ( $I_c$ ). Saat  $I_b > I_c$ , beban disuplai oleh baterai dan kondisi genset masih *OFF*. Saat  $I_b \leq I_c$ , genset *ON* untuk menyuplai beban dan relai *charger ON* untuk men-charge baterai.
5. Berdasarkan ketersediaan panel surya dan baterai yang ada di laboratorium, didapatkan energi yang dihasilkan panel surya hanya sebesar 544,506 Wh/hari. Dan total energi beban yang dapat disuplai sistem PV 205 Wp adalah sebesar 1361,265 Wh/hari. Sedangkan, energi yang dihasilkan baterai adalah sebesar 432 Wh. Sehingga, didapatkan profil beban yang memenuhi sistem dalam skala laboratorium 1:6000 dari data beban PLTD Mandangin adalah beban dasar sebesar 37 W dan beban puncak sebesar 90 W.

### 6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran yang perlu dilakukan untuk penyempurnaan, yaitu:

1. Pada program otomatisasi genset menggunakan Zelio, sebaiknya dilengkapi dengan sensor tegangan *output*, sensor frekuensi, sensor temperatur genset agar genset dapat beroperasi secara berkelanjutan.
2. Pada implementasi sistem, kapasitas sistem *photovoltaic* yang digunakan sebaiknya disesuaikan dengan kapasitas genset (*PLTD existing*) agar genset beroperasi optimal.
3. Pengukuran volume *gasoline* pada genset sebaiknya menggunakan sensor level ketinggian atau *output* tegangan analog dengan sistem pembagi tegangan seperti pada indikator *gasoline* sepeda motor.
4. Penelitian ini dapat dijadikan modul praktikum Sistem Daya Elektrik dan Energi Terbarukan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.



## DAFTAR PUSTAKA

- ..., <http://www.azetsurya.com>. (t.t.). *Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Menengah-Besar (Hybrid-Grid Interactive)*. (PT. Azet Surya Lestari). Diakses 6 April 2014.
- ..., <http://energy.gov>. (2013). *Photovoltaic Crystalline Silicon Cell Basics*. Diakses 6 April 2014.
- ..., <http://www.powerbell.co.id>. (2010). *CV. BERKAT ENERGY SOLLUSINDO*. Diakses 6 April 2014.
- ..., <http://www.leonics.com>. (2013). *LEONICS APOLLO S-210 Bidirectional Inverter*. Diakses 6 April 2014.
- ..., <http://www.vcc2gnd.com>. (2010). *5 A Non-Invasive AC Current Sensor Module*. Diakses 26 Juli 2014.
- ..., <http://www.schneider-electric.ca>. (t.t.). *Smart Relays*. Diakses 17 Maret 2014.
- ..., [http://id.wikipedia.org/wiki/Manajemen\\_energi](http://id.wikipedia.org/wiki/Manajemen_energi). (2014). *Manajemen Energi*. Diakses 27 April 2014.
- ..., <http://www.cartaholics.com>. (t.t.). *Chartaholics*. Diakses 19 Juni 2014.
- Analog Devices. (2003). *Low Cost Low Power Instrumentation Amplifier AD620*.
- Bien, L. E. dkk. (2008). *Perancangan System Hibrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Jala-Jala Listrik PLN untuk Rumah Perkotaan*. Jakarta: Teknik Elektro Universitas Trisakti.
- Chapman, S. (2005). *Electric Machinery Fundamentals (McGraw-Hill Series in Electrical and Computer Engineering)*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Duysinx, P. (2012). *Research Center in Sustainable Automotive*. Technologies of University of Liege.
- Fitriana, I. (2003). *Sustainable Energy Systems and Management (SESAM) MSc. Thesis*. Flensburg.
- Fitzgerald, A. E., Charles Kingley, Jr., Stephen, D. & Umans (1992). *Electrical Machinery* (5th Edition ed.). Singapore: McGraw-Hill, Inc.
- Fitzgerald, A. E., Charles Kingley, Jr., Stephen, D. & Umans. (2003). *Electrical Machinery* (5th Edition ed.). Singapore: McGraw-Hill, Inc.
- Hansen, A. D. dkk. (2000). *Model for a Stand-Alone PV System*. Roskilde: Riso National Laboratory.

- Herliana, D. (2010). Rancang Bangun Automatic Transfer Switch (ATS) dan Automatic Main Failur (AMF) PLN-Genset Berbasis Zelio Smart Relay.
- 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.
- Lhendhup, T. (2008). Rural Electrification in Bhutan and a Methodology for Evaluation of Distributed Generation System as an Alternative Option for Rural Electrification. *Energy for Sustainable Development*, 12 (3), 13-24.
- Messenger, R. A. dan Ventre, J. (2004). *Photovoltaic System Engineering* (2<sup>nd</sup> Edition ed.). New York: CRC Press.
- Muchsin, I. (2000). *Mesin Sinkron*. Digital.
- Patel, M. R. (1999). *Wind and Solar Power Systems*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press.
- Quaschnig, V. (2005). *Understanding Renewable Energi Systems*. London: Earthscan.
- Septina, W. (2011). *Teknologi Surya*. Retrieved February 6, 2014, from <http://www.teknologisurya.wordpress.com>
- Siahaan, P. (2013). Pengujian Performansi Generator Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. *SINGUDA ENSIKOM*, 3 (1), 23-28.
- Sumanto. (1996). *Mesin Sinkron*. Yogyakarta: Andi.
- Tanoto, Y. (2010). Analisa Optimasi Modular Distributed Generation untuk Beban Listrik Terisolasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2010 Bidang Teknik Elektro*, (pp. D63-D69).
- Trihadi, S. (2000). Rancangan Teknis dan Implementasi Sistem Pembangkit Listrik Hibrida PV-Diesel di Sulawesi. *Jurnal Ilmiah Teknologi Energi*.
- Yahya, S. Y. (2014). *Analisis Pembangkit Listrik Hibrida (PLH), Diesel dan Energi Terbarukan Di Pulau Mandangin, Sampang, Madura, Menggunakan Software Homer*. Skripsi: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Yu, G.-R., & Wei, J.-S. (2011). Modeling and Control of a Bi-directional Inverter for DC Microgrids. *International Conference on System Science and Engineering*, (pp. 425-430). Macau.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Dokumentasi



Lampiran 2 Hasil Perancangan Perangkat Lunak Menggunakan Bahasa Pemrograman *Ladder Diagram* pada *Software Zelio Soft 2*





**DATASHEET**  
**SR3B261BD**



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

**DATASHEET**  
**AD620**

