

**INVERTER 15V DC-220V AC BERBASIS TENAGA SURYA UNTUK  
APLIKASI SINGLE POINT SMART GRID**

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**Disusun oleh:**

**DIAN SARITA WIDARINGTYAS  
NIM. 105060300111032 – 63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2014**

LEMBAR PERSETUJUAN

**INVERTER 15V DC-220V AC BERBASIS TENAGA SURYA UNTUK  
APLIKASI SINGLE POINT SMART GRID**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

**DIAN SARITA WIDARINGTYAS  
NIM. 105060300111032 – 63**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing 1

**Eka Maulana, ST., MT., M.Eng.**  
NIK. 841130 06 11 0280

Pembimbing 2

**Nurussa'adah, Ir., MT.**  
NIP. 19680706 199203 2 001

LEMBAR PENGESAHAN

**INVERTER 15V DC-220V AC BERBASIS TENAGA SURYA UNTUK  
APLIKASI SINGLE POINT SMART GRID**

**SKRIPSI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Disusun Oleh:

**DIAN SARITA WIDARINGTYAS  
NIM. 105060300111032 - 63**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 11 Agustus 2014

**MAJELIS PENGUJI**

**Ir. Nanang Sulistiyanto, M.T  
NIP. 19700113 199403 1 002**

**Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc  
NIP. 19590304 198903 1 001**

**Ir. M. Julius St., M.S  
NIP. 19540720 198203 1 002**

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro**

**M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 19741203 200012 1 001**



## PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas karunia dan pertolongan-Nya sehingga skripsi dengan judul “*Inverter 15V DC – 220V AC Berbasis Tenaga Surya untuk Aplikasi Single Point Smart Grid*” dapat diselesaikan dengan baik. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, di kesempatan yang baik ini penulis ingin menghaturkan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar besarnya atas bantuan sehingga terselesainya skripsi ini kepada:

- Kedua orang tua tercinta, Bapak Dwi Eko Sihwinarno dan Ibu Winanik Endang Windarwati yang senantiasa mendoakan, memberikan nasihat, kasih sayang, perhatian, dan kesabaran selama ini. Untuk Mbak Rima Anggraita, Mas Gaguk dan Mas Krisna Yogi Pramono yang selalu memberikan kasih dan motivasi.
- Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Mohammad Rif'an, S.T., M.T sebagai Kaprodi Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Ibu Ir. Nurussa'adah, M.T. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Elektronika Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya ddan dosen pembimbing yang selalu memberi semangat dan motivasi kepada Elektronika 2010 untuk cepat menyelesaikan skripsinya.
- Bapak Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan, nasehat, bimbingan, motivasi, dan saran hingga selesaiannya skripsi ini.
- Seluruh dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya teristimewa Bapak Erfan Achmad Dahlan, Ir., MT, selaku dosen pembimbing akademik dan seluruh



dosen konsentrasi Elektronika atas segala bimbingan yang diberikan selama penulis berkuliah di Universitas Brawijaya.

- Bapak Mulyadi, ST selaku pranata Laboratorium Elektronika Teknik Elektro Universitas Brawijaya yang telah membantu penulis dalam meminjam alat-alat dan ruang Laboratorium Elektronika dan saran yang membangun.
- Bapak Ahmad Dulhadi, ST selaku pranata Laboratorium Sistem Digital Teknik Elektro Universitas Brawijaya yang telah membantu penulis selama menjadi Asisten Laboratorium Sistem Digital.
- Staf Pengajaran, staf rekording dan staf Ruang Baca Jurusan Teknik Elektro terutama Mbak Kokom, Mas Jun, Mbak Heni dan Mbak Frida yang telah membantu segala urusan penulis selama ini.
- Kepada teman hidup Mudeng, Vicky Vendy Hengki yang selalu memberikan bantuan, semangat, perhatian, saran, dan kritik yang membangun moral, mental, dan jiwa penulis.
- Kepada sahabat-sahabat kudus “Missio Dei”: Utek, Visi, Bayu, Yakin, Andre, Dian, Meriko, Candra, Poppy, Hana dan Bela terima kasih untuk doa, *support*, cinta dan perhatian yang tulus, untuk kisah hidup yang tidak akan pernah terlupakan.
- Adik KTB tercinta dimanapun kalian berada Yustus, Arum, Dinda, Lily dan Gaby yang memberikan diri untuk berbagi dan bertumbuh bersama, tetaplah saling mendoakan.
- Kakak KTB tercinta Kak Yori dan Kak Jean yang telah rela memberikan diri bagi penulis, mendengar curahan hati dan memberi kekuatan di dalam menghadapi pergumulan hidup.
- Sahabat setia Ex-MD Chris, Ema dan Iin, terima kasih untuk doa dan dukungan yang tidak habis-habis selama penulis mengerjakan tugas akhir.



- Staf Perkantas Malang yang luar biasa Mbak Eny, Kak Siska, Kak Honglan, Bang Berman, Kak Viktor dan Pak Endik yang selalu memberikan dukungan doa, firman dan teladan hidup.
- Sahabat RINDAM Ika, Nisa, Mutek dan Dila yang selalu memberikan dukungan dan semangat.
- Teman-Teman Assisten Laboratorium Sistem Digital atas pengalaman dan kesempatan untuk menjadi bagian Laboratorium Sistem Digital.
- Teman-teman Divisi Mikrokontroler, terima kasih untuk pengalaman, semangat dan kerjasama yang terjalin selama ini.
- Rekan - rekan seperjuangan dalam penggeraan skripsi, Veri, Anas, Abu, Erwan, Zara, Tanhsu, Hakiki, Azwar, Basori, Mas Alfian dan Ari atas segala dukungan dan bantuan yang telah diberikan.
- Teman-teman kost Bendungan Tangga 4A Erin, Tsani dan Eka terima kasih untuk keceriaan setiap hari, semangat dan bantuan selama mengerjakan skripsi ini.
- Keluarga besar “MAGNETRONIKA’10” dan keluarga besar angkatan 2010 “MAGNET’10” khususnya Renie, Zara, Aya, Erny, Nunik dan Safti serta Magnety dan Magneto yang memberikan doa, semangat serta dukungan.

Sekiranya Tuhan YME membalas kebaikan semua pihak yang turut membantu sehingga skripsi ini terselesaikan. Akhirnya, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, namun semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Amin.

*Soli Deo Gloria.*

Malang, Agustus 2014  
Penulis

**DAFTAR ISI**

LEMBAR PERSETUJUAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
RINGKASAN .....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	2
1.3    Batasan Masalah.....	2
1.4    Tujuan.....	3
1.5    Sistematika Pembahasan .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1    Teknologi <i>Smart Grid</i> .....	4
2.1.1 Jaringan Listrik Tradisional vs <i>Smart Grid</i> .....	4
2.2.2 Manajemen dan Aplikasi <i>Smart Grid</i> .....	6
2.2    Sel Surya.....	7
2.3    DC-AC Inverter.....	10
2.4    ICL8038.....	11
2.5 <i>Transformator</i> .....	13
2.6    Model Penguat.....	14
2.6.1 Penguat Differensial Dasar.....	14
2.6.2 Rangkaian Buffer .....	16
2.6.3 Penguat Transistor Common -Emitter .....	17



2.6.4 Penguat <i>Push Pull</i> Kelas B .....	18
2.7 Sensor Tegangan .....	19
2.8 IC <i>Microcontroller</i> ATMEGA 16 .....	20
2.9 LCD <i>Character</i> 16x2.....	23
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>25</b>
3.1 Penentuan Spesifikasi Alat.....	25
3.2 Studi Literatur.....	25
3.3 Perancangan dan Perealisasian Alat .....	26
3.3.1 Diagram Blok.....	26
3.3.2 Perancangan Perangkat Keras ( <i>Hardware</i> ).....	26
3.3.3 Perancangan Perangkat Lunak ( <i>Software</i> ) .....	27
3.4 Pengujian Alat .....	27
3.4.1 Pengujian Perangkat Keras ( <i>Hardware</i> ) .....	27
3.4.2 Pengujian Keseluruhan Sistem .....	28
3.6 Pengambilan Kesimpulan.....	28
<b>BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT .....</b>	<b>29</b>
4.1 Spesifikasi Perancangan .....	29
4.2 Diagram Blok Perancangan.....	29
4.3 Perancangan Perangkat Keras .....	30
4.3.1 Performansi Sel Surya.....	30
4.3.2 Rangkaian Pembangkit Sinyal dengan ICL8038 .....	31
4.3.3 Rangkaian Sensor Tegangan.....	32
4.3.4 Rangkaian <i>Driver</i> Tegangan .....	34
4.3.5 Rangkaian <i>Driver</i> Arus .....	40
4.3.6 Rangkaian LCD .....	40
4.3.7 Rangkaian Sistem Minimum <i>Microcontroller</i> ATMEGA 16.....	41



4.4	Perancangan Perangkat Lunak .....	43
4.4.1	Program Utama .....	43
4.4.2	Sub Program Sensor Tegangan Sel Surya .....	43
	BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS .....	44
5.1	Pengujian Sel Surya.....	45
5.2	Pengujian Sensor Tegangan .....	47
5.3	Pengujian Pembangkit Sinyal dengan ICL8038.....	50
5.4	Pengujian Rangkaian <i>Driver</i> Tegangan Sinyal Sinusoida .....	56
5.5	Pengujian Rangkaian <i>Driver</i> Tegangan Sinyal Segitiga .....	58
5.6	Pengujian Rangkaian <i>Driver</i> Tegangan Sinyal Kotak .....	60
5.7	Pengujian <i>Driver</i> Arus.....	62
5.8	Pengujian Keseluruhan Sistem.....	64
	BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....	67
6.1	Kesimpulan.....	67
6.2	Saran .....	67
	DAFTAR PUSTAKA .....	68
	LAMPIRAN .....	70
	LAMPIRAN I .....	71
	LAMPIRAN II .....	73
	LAMPIRAN III.....	75
	LAMPIRAN IV.....	78



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Jaringan listrik tradisional .....	4
Gambar 2. 2	Sistem <i>Smart Grid Multipoint</i> .....	5
Gambar 2. 3	Konsep Smart Power Management System .....	6
Gambar 2. 4	<i>Home Area Network</i> untuk aplikasi <i>Smart Home</i> .....	7
Gambar 2. 5	Pengaruh cahaya matahari terhadap sel surya.....	8
Gambar 2. 6	<i>Solar cell, module, panel, array</i> .....	8
Gambar 2. 7	Kurva I-V sel surya .....	9
Gambar 2. 8	Topologi <i>inverter</i> satu fasa, <i>full bridge inverter</i> .....	10
Gambar 2. 9	Konfigurasi pin ICL8038 .....	11
Gambar 2. 10	Skema rangkaian internal ICL 8038.....	12
Gambar 2. 11.	Rangkaian ICL8038 .....	13
Gambar 2. 12.	Rangkaian dasar transformator .....	13
Gambar 2. 13.	Rangkaian penguat differensial dasar .....	15
Gambar 2. 14.	Rangkaian buffer.....	17
Gambar 2. 15.	Rangkaian <i>common emitter</i> transistor BJT npn .....	17
Gambar 2. 16.	Karakteristik <i>common-emitter</i> untuk transistor BJT npn .....	18
Gambar 2. 17.	Rangkaian penguat <i>push pull</i> kelas B .....	19
Gambar 2. 18.	Cacat silang pada sinyal <i>output</i> penguat <i>push pull</i> .....	19
Gambar 2.19	Konfigurasi pin ATMEGA 16 .....	21
Gambar 4. 1.	Diagram blok sistem .....	30
Gambar 4. 2.	Skema rangkaian ICL8038.....	31
Gambar 4. 3.	Diagram pemrosesan sensor tegangan sel surya .....	32
Gambar 4. 4.	Skema rangkaian sensor tegangan sel surya .....	33
Gambar 4. 5.	Skema rangkaian <i>driver</i> tegangan sinyal sinusoida .....	34
Gambar 4. 6	Rangkaian analisis DC transistor .....	35
Gambar 4. 7.	Skema rangkaian <i>driver</i> tegangan sinyal segitiga.....	38
Gambar 4. 8.	Skema rangkaian <i>driver</i> tegangan sinyal kotak .....	39
Gambar 4. 9.	Skema rangkaian <i>driver</i> arus.....	40
Gambar 4. 10.	Skema Rangkaian LCD.....	41



Gambar 4. 11 Rangkaian Sistem Minimum <i>Microcontroller</i> ATMEGA 16.....	42
Gambar 4. 12. Flow chart algoritma program utama.....	43
Gambar 4. 13. Flow chart algoritma sub program sensor tegangan sel surya .....	44
Gambar 5. 1. Diagram blok pengujian sel surya .....	46
Gambar 5. 2. Grafik pengujian sel surya .....	47
Gambar 5. 3. Diagram blok pengujian rangkaian sensor tegangan .....	48
Gambar 5. 4. Grafik pengujian rangkaian sensor tegangan .....	50
Gambar 5. 5. Rangkaian Pengujian ICL8038 .....	51
Gambar 5. 6. Grafik Tegangan dan Arus Keluaran Sinyal Sinusoida .....	52
Gambar 5. 7. Sinyal sinusoida ICL8038 .....	52
Gambar 5. 8. Grafik Tegangan dan Arus Keluaran Sinyal Segitiga.....	53
Gambar 5. 9. Sinyal segitiga ICL8038.....	54
Gambar 5. 10. Grafik Tegangan dan Arus Keluaran Sinyal Kotak.....	55
Gambar 5. 11. Sinyal kotak ICL8038 .....	55
Gambar 5. 12. Rangkaian Pengujian <i>Driver</i> Tegangan Sinusoida .....	56
Gambar 5. 13. Perbandingan sinyal masukan dan keluaran <i>driver</i> tegangan sinusoida .....	57
Gambar 5. 14. Rangkaian pengujian <i>driver</i> tegangan sinyal segitiga .....	58
Gambar 5. 15. Perbandingan sinyal masukan dan keluaran <i>driver</i> tegangan segitiga.....	60
Gambar 5. 16. Rangkaian pengujian <i>driver</i> tegangan sinyal kotak .....	61
Gambar 5. 17. Perbandingan sinyal masukan dan keluaran <i>driver</i> tegangan kotak .....	62
Gambar 5. 18. Rangkaian pengujian <i>driver</i> arus .....	63
Gambar 5. 19. Hasil perbandingan arus masukan dan arus keluaran sinyal.....	64
Gambar 5.20.. Rangkaian ekivalen <i>transformator</i> .....	66
Gambar 1. Rangkaian Lengkap Skematik Alat.....	72
Gambar 2. Bentuk Fisik Alat .....	74
Gambar 3. Rangkaian Elektrik Sistem.....	74

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2. 1 Perbandingan <i>Traditional Grid</i> dan <i>Smart Grid</i> .....	5
Tabel 2. 2 Fungsi khusus Port B .....	22
Tabel 2. 3 Konfigurasi pin LCD .....	23
Tabel 4. 1 Parameter sel surya .....	31
Tabel 5. 1 Hasil pengujian sel surya .....	46
Tabel 5. 2. Data performansi sel surya .....	47
Tabel 5. 3 Hasil pengujian rangkaian sensor tegangan.....	49
Tabel 5. 4 Hasil pengukuran sinyal sinusoida ICL8038.....	51
Tabel 5. 5 Hasil pengukuran sinyal segitiga ICL8038 .....	53
Tabel 5. 6 Hasil pengukuran sinyal kotak ICL8038 .....	54
Tabel 5. 7 Data pengukuran tegangan keluaran <i>driver</i> tegangan sinusoida .....	57
Tabel 5. 8 Data pengukuran tegangan keluaran <i>driver</i> tegangan segitiga .....	59
Tabel 5. 9 Data pengukuran tegangan keluaran <i>driver</i> tegangan kotak .....	61
Tabel 5. 10 Hasil pengukuran tegangan <i>transformator</i> .....	65



## RINGKASAN

**Dian Sarita Widaringtyas**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Agustus 2014, *Inverter 15V DC – 220V AC Berbasis Tenaga Surya untuk Aplikasi Single Point Smart Grid*, Dosen Pembimbing: Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng dan Nurussa'adah, Ir, MT.

Abstrak— *Smart Grid* sebagai model jaringan listrik masa depan memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan jaringan listrik konvensional yang masih menggunakan bahan bakar fosil untuk menghasilkan energi listrik. *Smart grid* dapat menggabungkan sumber energi terbarukan dan fosil dalam satu jaringan listrik, salah satu sumber energi terbarukan dalam *smart grid* adalah energi matahari. Energi dari sinar matahari tidak dapat langsung digunakan karena berupa tegangan DC, perlu *inverter DC-AC* agar energi surya dapat dimanfaatkan sebagai sumber listrik.

Penelitian ini menggunakan *inverter* 15V DC-220V AC yang dirancang dengan pembangkit sinyal ICL8038. IC ini dapat menghasilkan tiga keluaran sinyal yaitu sinyal sinus, sinyal segitiga, dan sinyal kotak. Sinyal-sinyal tersebut memiliki tegangan dan arus yang kecil, sehingga dirancang *driver* tegangan untuk menguatkan tegangan sinyal dan *driver* arus sinyal untuk menguatkan arus sinyal. *Monitoring* proteksi sistem menggunakan rangkaian sensor tegangan untuk mengetahui tegangan sel surya yang dikonversi menjadi tegangan AC 220V.

Pengujian sensor tegangan menghasilkan *error* rata-rata sebesar 0,02%. Pengujian ICL8038 menghasilkan karakteristik tegangan dan arus sinyal yang linier dengan frekuensi sebesar 50,20 - 52,30Hz. Pengujian *driver* tegangan sinyal sinusoida menghasilkan tegangan 15,6V. Pengujian *driver* tegangan sinyal segitiga menghasilkan tegangan 15,4V. Pengujian *driver* tegangan dan sinyal kotak menghasilkan tegangan 11,1V. *Driver* arus menghasilkan  $I_{SC} = 0,35A$ . Hasil akhir pengujian sistem memberikan perbedaan hasil konversi tegangan dari masing-masing sinyal, sinyal sinusoida menghasilkan tegangan 95,5V, sinyal segitiga menghasilkan tegangan 91,2V dan sinyal kotak menghasilkan tegangan 152V.

**Kata Kunci:** *Smart Grid, sel surya, Inverter, ICL8038*



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Fenomena krisis energi saat ini terjadi di seluruh dunia, meliputi krisis energi, minyak bumi dan gas alam, bahan bakar fosil, serta energi listrik. Pertumbuhan dalam permintaan listrik (daya) di Indonesia telah meningkat seiring pertumbuhan ekonomi sebesar 6% tiap tahun, yang mendorong kebutuhan akan sumber energi primer terutama listrik juga semakin meningkat (BMKG, 2009:2). Relevansi krisis energi listrik dengan krisis bahan bakar fosil terjadi karena banyak pembangkit tenaga listrik menggunakan bahan bakar fosil sebagai bahan bakar utamanya. Padahal cadangan bahan bakar fosil sudah semakin menipis dan menyumbang emisi gas yang cukup besar (BMKG, 2009:10).

Mengatasi permasalahan tersebut, saat ini tengah dikembangkan teknologi yang dapat mengelola energi listrik lebih efisien, fleksibel dan murah yaitu teknologi *Smart Grid*. *Smart Grid* merupakan teknologi yang mengintegrasikan segala sumber energi yang ada di bumi untuk menghasilkan energi listrik dengan teknologi kontrol dan telekomunikasi (Ekanayake, 2012:1). Tidak hanya energi bahan bakar fosil tetapi juga berbagai jenis energi baru dan terbarukan. Teknologi ini sudah diterapkan dan berkembang dengan baik di negara-negara maju seperti Jepang, Inggris dan Amerika.

Menurut Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konversi Energi macam-macam energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik yaitu geothermal, angin, *bioenergy*, cahaya matahari, air terjun/ aliran air dan arus laut (*ocean flow*) ( EBTKE, 2013). Indonesia sebenarnya sangat berpotensi untuk menjadikan sel surya sebagai salah satu sumber energi masa depannya mengingat posisi Indonesia pada garis khatulistiwa yang memungkinkan sinar matahari dapat optimal diterima di permukaan bumi hampir di seluruh Indonesia (Yuliarto, 2012: 3). Jika di masa depan teknologi *Smart Grid* dikembangkan dengan baik, maka panel surya akan menjadi salah satu penyedia energi terbesar di Indonesia.

Pemanfaatan energi listrik yang dihasilkan oleh sel surya memerlukan instalasi listrik berupa sel surya, *inverter* dan beban. *Inverter* menjadi bagian penting untuk mengubah energi listrik dari sel surya yang merupakan tegangan DC (*Direct Current*) menjadi tegangan AC (*Alternating Current*). Jenis *inverter* yang banyak beredar di masyarakat adalah *squarewave inverter* dan *modified sinewave inverter*. Kedua jenis

*inverter* ini memiliki kelemahan yaitu jenis *inverter* dengan keluaran *squarewave* baik digunakan untuk lampu pijar tetapi tidak dapat digunakan untuk peralatan listrik, sedangkan *modified sinewave inverter* sudah dapat digunakan untuk peralatan listrik seperti TV dan komputer tetapi tidak dapat digunakan untuk beban induktif seperti pompa air dan kulkas (Doucet, 2007:5).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini akan membahas perancangan *Inverter* 15V DC - 220V AC Berbasis Tenaga Surya untuk Aplikasi *Single Point Smart Grid*. *Inverter* yang dirancang dapat menghasilkan tiga jenis gelombang keluaran yaitu gelombang sinusoida, gelombang segitiga dan gelombang kotak sehingga pemakaian *inverter* dapat dipilih berdasarkan jenis beban.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang *inverter* sel surya 15 volt DC ke 220 volt AC agar dapat diaplikasikan pada sistem *Smart Grid*.
2. Bagaimana merancang sistem *monitoring proteksi* untuk *Single Point Smart Grid inverter*.
3. Bagaimana perbedaan hasil konversi tegangan dari bentuk sinyal sinusoida, segitiga dan kotak pada pembangkit sinyal ke sinyal sinusoida 220V.

## 1.3 Batasan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang telah dirumuskan, maka hal-hal yang berkaitan dengan perancangan akan diberi batasan sebagai berikut:

1. *Smart Grid* yang dirancang hanya *single point* menggunakan satu sumber yaitu sel surya.
2. Sinyal listrik yang dihasilkan oleh *inverter* adalah sinyal satu fasa.
3. Sistem proteksi yang dirancang hanya berfungsi untuk memantau tegangan yang dikonversi oleh *inverter*.
4. Bentuk gelombang yang diuji coba pengaruhnya pada keluaran pada penelitian ini adalah gelombang sinusoida, gelombang segitiga dan gelombang kotak.

## 1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat *inverter* sel surya DC 15 volt ke AC 220 volt agar dapat diaplikasikan pada *Smart Grid System*.
2. Membuat sistem *monitoring* proteksi untuk *Single Point Smart Grid Inverter*.
3. Mengetahui perbedaan hasil konversi tegangan dari bentuk sinyal sinusoida, segitiga dan kotak ke sinyal sinusoida 220V.

## 1.5 Sistematika Pembahasan

Penelitian ini terdiri atas enam bab dengan sistematika pembahasan sebagai berikut:

### **BAB I Pendahuluan**

Memuat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika pembahasan.

### **BAB II Tinjauan Pustaka**

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan pembuatan alat.

### **BAB III Metode Penelitian**

Berisi tentang metode-metode yang dipakai dalam melakukan perancangan, pengujian, dan analisis data.

### **BAB IV Perancangan**

Perancangan dan perekayasaan alat meliputi spesifikasi alat, diagram blok perancangan, perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak dan realisasi alat.

### **BAB V Pengujian dan Analisis**

Memuat aspek pengujian meliputi penjelasan tentang cara pengujian dan hasil pengujian. Aspek analisis meliputi penilaian atau komentar terhadap hasil-hasil pengujian alat yang telah direalisasikan dari masing-masing blok dan sistem secara keseluruhan.

### **BAB VI Kesimpulan dan Saran**

Memuat intisari hasil pengujian dan menjawab rumusan masalah serta memberikan rekomendasi untuk perbaikan kualitas penelitian di masa yang akan datang.

## BAB II

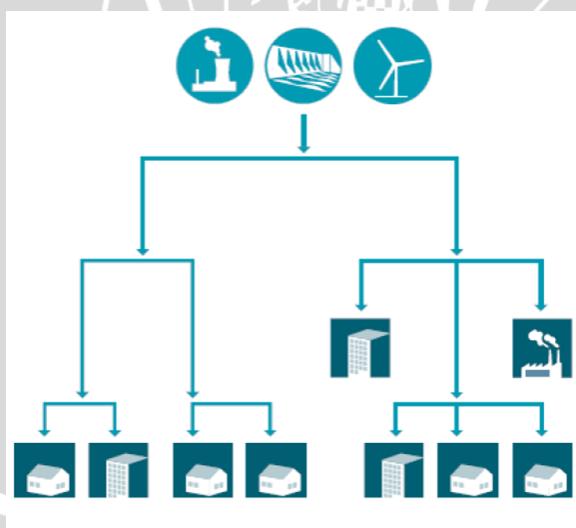
### TINJAUAN PUSTAKA

Dalam merencanakan dan merealisasikan *inverter* DC 15V-AC 220V dibutuhkan pemahaman tentang berbagai hal yang mendukung sistem ini. Pemahaman ini akan bermanfaat untuk merancang perangkat keras dan perangkat lunak sistem. Pengetahuan yang mendukung perencanaan dan realisasi alat meliputi teknologi *Smart Grid*, sel surya, *inverter*, ICL8038, penguat, sensor tegangan, *transformator*, *Microcontroller* ATMEGA 16 dan LCD *character*.

#### 2.1. Teknologi *Smart Grid*

##### 2.1.1 Jaringan Listrik Tradisional vs *Smart Grid*

Menurut Momoh (2012: 1), sistem jaringan listrik yang ada saat ini didesain untuk dioperasikan dengan struktur vertikal, termasuk pembangkitan, transmisi dan distribusinya yang didukung dengan kontrol dan peralatan yang menjaga keandalan, stabilitas dan efisiensi. Hal ini membuat pengguna tidak mendapatkan banyak informasi dan tidak berpartisipasi aktif dalam pendistribusian energi. Gambar 2.1 menunjukkan sistem jaringan listrik tradisional.



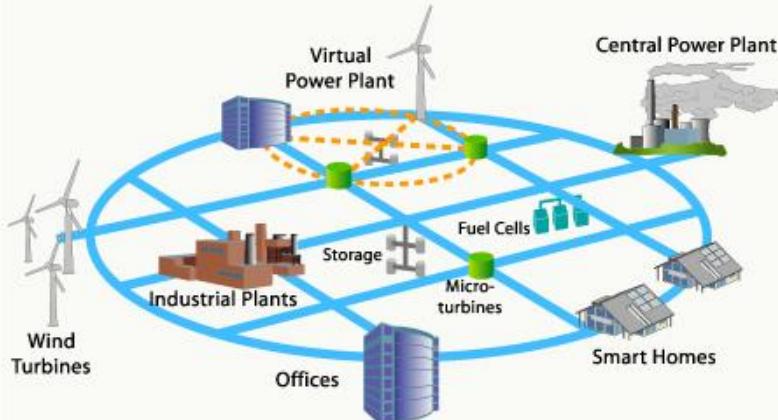
Gambar 2. 1 Jaringan listrik tradisional

Sumber: ABB (2009: 3)

Sistem *Smart Grid* mendukung komunikasi secara *real time* antara *utility company* dengan pengguna. Secara umum, *Smart Grid* merupakan generasi baru jaringan listrik yang mampu menyelesaikan berbagai permasalahan pada model jaringan listrik tradisional, seperti isu ekonomi dan emisi karbon yang merupakan masalah lingkungan (Nejad,



2013:1). Model jaringan listrik dalam *Smart Grid* meliputi: menangani dan mengontrol pendistribusian transfer energi antar area, mengakomodasi sumber energi terbarukan, mengatasi masalah yang tidak terduga dan sistem komunikasi jaringan (*network*) (Momoh, 2012: 1). Gambar 2.2 menunjukkan model sistem *smart grid multipoint*.



Gambar 2. 2 Sistem *Smart Grid Multipoint*

Sumber: Powegenasia (2013)

Perbandingan antara jaringan tradisional dengan *Smart Grid* dijelaskan dalam Tabel 2.1:

Tabel 2. 1 Perbandingan *Traditional Grid* dan *Smart Grid*

<b>Traditional Grid</b>	<b>Smart Grid</b>
- Pembangkitan energi tersentralisasi	- Pembangkitan energi terdistribusi
- Aliran daya satu arah	- Aliran daya lebih dari satu arah ( <i>multi direction</i> )
- Pembangkitan mengikuti beban	- Beban mengikuti pembangkit
- Keterbatasan akses pada jaringan untuk jenis pembangkit baru	- Akses jaringan tidak terbatas dan efisien
- Operasi berdasarkan pengalaman	- Operasi berdasarkan data <i>real time</i>
- Konsumen tidak berpartisipasi aktif	- Konsumen berpartisipasi secara aktif
	- Memanfaatkan pembangkit energi terbarukan secara bergantian

Sumber: ABB (2009: 3).



## 2.2.2 Manajemen dan Aplikasi *Smart Grid*

Dibutuhkan *smart management* untuk menangani sistem *Smart Grid* yang kompleks agar transmisi dan distribusi energi dapat dikelola dengan lebih efektif. Manajemen sistem *Smart Grid* yang disebut dengan *Smart Power Management System* melingkupi lima hal utama, yaitu: pemodelan sistem *Smart Grid*, memonitor sistem *Smart Grid* secara *real time*, membuat teknik pengambilan basis data (*database*) dan manajemennya, pengecekan kondisi jaringan dan pemeliharaan peralatan, serta menganalisis kesalahan jaringan *Smart Grid* (Tang, 2011: 1). Gambar 2.3 menjelaskan konsep *Smart Power Management System* untuk mengelola sebuah jaringan *Smart Grid*.



Gambar 2.3 Konsep *Smart Power Management System*

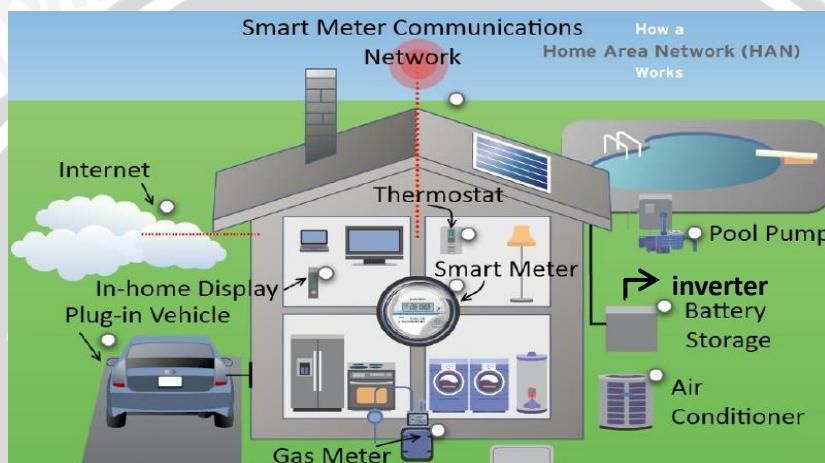
Sumber: Hardin (2011: 1)

Berdasarkan sistem antarmukanya desain *Smart Power Management System* dibagi menjadi tiga hal:

- i. *Home energy management*
- ii. *Building energy management*
- iii. *Grid Interconnect*

Mengacu pada hal tersebut, masih banyak ruang untuk mengembangkan sistem *Smart Grid* menjadi lebih andal dari saat ini. Salah satu aplikasi yang masih perlu banyak pengembangan dan dekat dengan pengguna adalah HAN (*Home Area Network*). HAN merupakan infrastruktur yang dikontrol dengan teknologi tinggi sehingga memungkinkan komunikasi dua arah antara alat-alat pengguna dengan *supplier*. HAN juga memungkinkan pengguna untuk mengatur penggunaan energi alat-alat rumah tangganya dari pembangkit energi mandiri maupun *supplier* menggunakan sistem monitoring yang *real time* (Leeds, 2009: 81). Hal ini akan terealisasi dengan baik jika didukung dengan instalasi listrik yang baik pada *smart home*.

Secara mandiri setiap *smart home* akan memiliki sumber energi listrik yang salah satunya berasal dari panel surya dan energi listrik tersebut disimpan untuk kebutuhan pasokan listrik berbagai alat elektronik dan rumah tangganya. Melalui *smart metering* pengguna dapat secara aktif mengatur berapa banyak daya yang digunakan sendiri dan berapa banyak daya yang dibutuhkan dari *supplier* lain. Jika daya yang dimiliki dari sumber energi listriknya berlebih maka daya tersebut dapat dijual dan disalurkan kepada pengguna lain yang membutuhkan melalui jaringan *Smart Grid*. Gambar 2.4 menjelaskan aplikasi HAN (*Home Area Network*) yang terkoneksi dengan sistem *Smart Grid*.

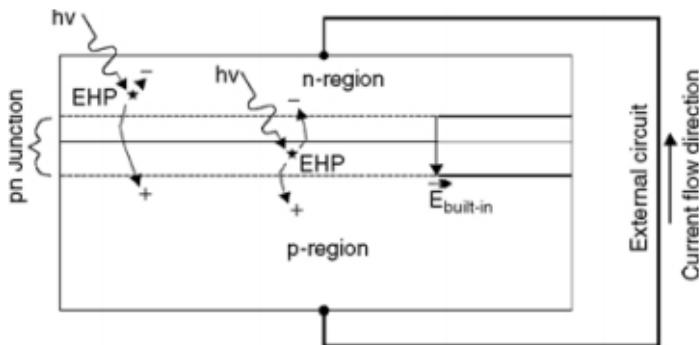


Gambar 2. 4 *Home Area Network* untuk aplikasi *Smart Home*

Sumber: Leeds (2009:81)

## 2.2 Sel Surya

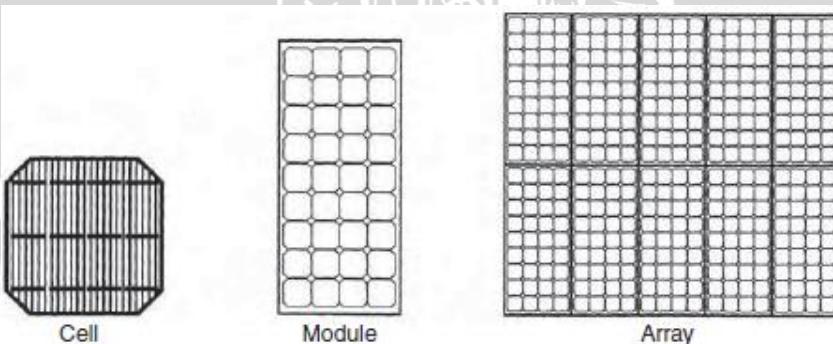
Sel surya atau dalam dunia internasional lebih dikenal sebagai *solar cell*/*photovoltaic cell* (*PV cell*) merupakan sebuah divais semikonduktor yang memiliki permukaan luas dan terdiri dari semikonduktor tipe P dan tipe N (Mukund, 2006: 125). Prinsip kerja sel surya yaitu foton dari cahaya matahari mengenai permukaan divais sel surya, jika energi foton lebih besar dari energi *band gap* bahan sel surya, maka energi foton tersebut akan mengeksitasi elektron sehingga dihasilkan pasangan *electron hole*. Jika energi foton diperbesar, maka akan dihasilkan banyak pasangan *electron hole*, sehingga akan terjadi pengumpulan muatan sejenis yang apabila divais dihubungkan dengan beban akan mengalir arus listrik (Messenger, 2002: 533). Gambar 2.5 menunjukkan pengaruh cahaya matahari terhadap sel surya.



Gambar 2. 5 Pengaruh cahaya matahari terhadap sel surya

Sumber: Messenger (2002: 534)

Sel surya membutuhkan perawatan yang rendah dan tidak menghasilkan polusi, sehingga banyak dimanfaatkan dan diterapkan dalam berbagai kebutuhan. Di seluruh dunia pembangkit dengan tenaga surya berkembang 57% dalam 10 tahun. Pada tahun 2010, daya yang dihasilkan pembangkit tenaga surya total mencapai 47GW yang merupakan 0,78% dari daya pembangkit seluruh dunia (Mehta, 2011: 92). Di Eropa, pembangkit tenaga surya menyumbang hingga 18,2% dari total konsumsi listrik. Pertumbuhan yang cepat ini terutama disebabkan oleh penurunan biaya dan harga, meningkatnya efisiensi konversi, berkembangnya teknologi pembuatan sel surya, dan secara ekonomi lebih menguntungkan (Bouzguenda, 2011: 1). Gambar 2.6 menunjukkan bentuk fisik modul dan panel sel surya di pasaran.



Gambar 2. 6 Solar cell, module, panel, array

Sumber: Mukund (2006:164)

Sel surya banyak memiliki keuntungan, yaitu:

1. Tidak membutuhkan bahan bakar minyak dan tidak ada gas emisi selama beroperasi, sehingga tidak menyebabkan polusi lingkungan. Energi yang dibutuhkan hanyalah energi matahari yang didapatkan secara gratis. Sel surya juga

beroperasi tanpa adanya suara yang bising dan tidak ada bagian yang bergerak sehingga dapat mengurangi biaya operasional dan mengurangi pekerjaan *maintenance* untuk pembersihan.

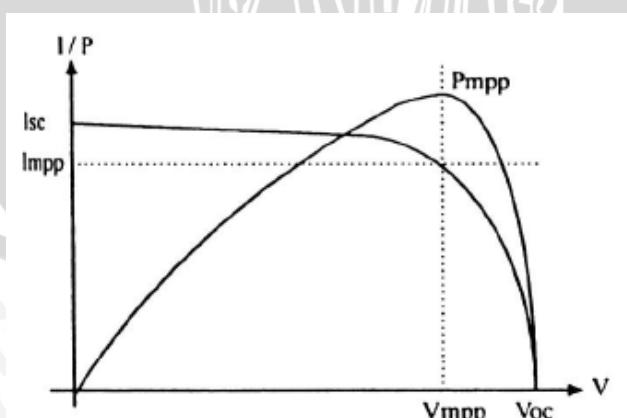
2. Modul sel surya terpercaya, stabil, tahan lama, dan memiliki waktu operasi lebih dari 10 tahun karena modul sel surya tahan terhadap perubahan cuaca.
3. Sistem sel surya adalah unit modular sehingga dapat dibangun untuk memenuhi kebutuhan perbedaan tenaga yang siap untuk ditambahkan ke sistem yang ada untuk memenuhi kenaikan kebutuhan.

Beberapa kekurangan sel surya, antara lain:

1. *Output* tenaga tergantung pada intensitas cahaya matahari yang diterimanya.
2. Hanya menghasilkan tegangan DC.
3. Biaya awal lebih besar dibandingkan dengan sistem pengkonversian energi yang lainnya.

(Mukund, 2006:171).

Sel surya dapat bekerja sesuai kurva karakteristik V-I. Terdapat 2 titik penting yaitu tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) dan arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ). *Open Circuit Voltage* ( $V_{oc}$ ) merupakan tegangan maksimal yang dapat dicapai panel surya pada saat tidak ada arus. Daya pada saat  $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$  adalah 0 watt. *Short Circuit Current* ( $I_{sc}$ ) adalah arus keluaran maksimal dari panel surya pada kondisi tidak ada resistansi. *Short circuit current* dapat diukur dengan menghubung singkat terminal positif dan negatif dari modul panel surya (Mukund, 2006:167). Gambar 2.7 menunjukkan kurva karakteristik arus terhadap tegangan pada sel surya.



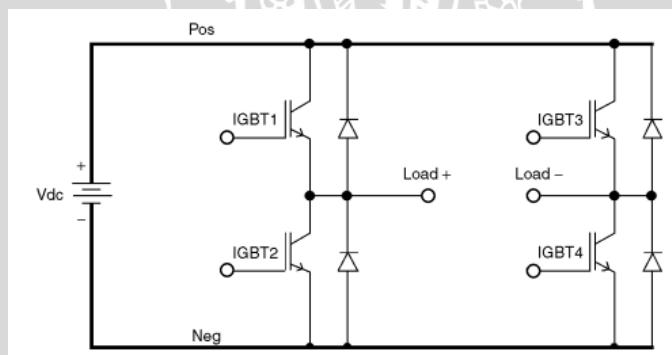
Gambar 2.7 Kurva I-V sel surya

Sumber: Mukund (2006: 131)

### 2.3 DC-AC Inverter

DC-AC *inverter* adalah alat yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan AC dari masukan tegangan DC. Frekuensi dan amplitudo yang dihasilkan oleh *inverter* umumnya dapat diatur. Dalam aplikasinya, *inverter* satu fasa dan tiga fasa adalah yang paling banyak digunakan tetapi *inverter* dengan jumlah fasa lain juga memungkinkan untuk dibuat. Jenis *inverter* dengan masukan berupa sumber tegangan DC disebut dengan *Voltage Source Inverters* (VSI). Sedangkan *inverter* dengan masukan DC berupa sumber arus disebut *Current Source Inverters* (CSI) (Karpati, 2002: 200).

Berdasarkan bentuk gelombangnya jenis-jenis *inverter* antara lain: *sine wave inverter* yaitu *inverter* yang menghasilkan tegangan keluaran berupa sinusoida, *sine wave modified inverter* yaitu *inverter* yang menghasilkan tegangan keluaran berupa kotak yang dibuat menyerupai sinusoida, dan *square wave inverter* yaitu *inverter* yang menghasilkan tegangan keluaran berupa kotak. Berdasarkan prosesnya beberapa jenis *inverter* antara lain: *inverter seri*, *inverter pararel* dan *inverter bridge* (Karpati, 2002: 213). Gambar 2.8 menunjukkan topologi rangkaian *inverter* satu fasa dengan *full bridge inverter*.



Gambar 2. 8 Topologi *inverter* satu fasa, *full bridge inverter*

Sumber: Giesselmann (2002: 195)

Menghubungkan antara sumber energi dari sel surya ke dalam sistem *Smart Grid* yang kompleks memerlukan koneksi arus dan komunikasi dua arah. Di antara sel surya dan *Smart Grid* tersebut terdapat *inverter* sebagai perantara. Berdasarkan penelitian, terdapat tiga macam *inverter* yang dapat diterapkan dalam desain *Smart Grid* berbasis sel surya, yaitu: *central inveter*, *strings inverter* dan *micro inverter* (Bouzguenda, 2011: 2).

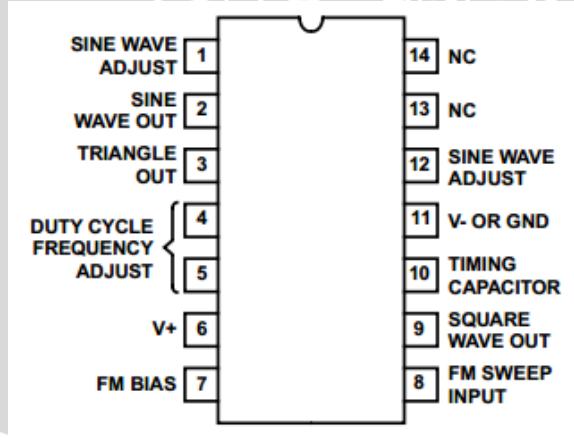
*Central inverter* merupakan model *inverter* konvensional yang digunakan pada array sel surya skala besar. *Inverter* ini memiliki resiko kebakaran dan bahaya yang cukup tinggi. Hal tersebut menyebabkan *central inverter* mulai ditinggalkan penggunaanya. *String inverter* merupakan *inverter* yang sering digunakan di rumah dan sistem tenaga surya komersial. *String inverter* diletakkan agak jauh dari array sel surya dan jumlah *inverter*

yang dipasang didasarkan pada ukuran instalasinya. Jika ukuran instalasi berskala besar dapat dipasang lebih dari satu *inverter*.

*Micro inverter* mempunyai ukuran yang lebih kecil dari *inverter* yang lain, *inverter* ini dipasang sangat dekat dengan panel surya dan mengonversikan tegangan DC dari sel surya tunggal. *Inverter* ini sudah memanfaatkan panel level MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) dan panel level *monitoring*. *Micro inverter* terus dikembangkan karena efisien dalam mengonversi tegangan DC-AC, terdapat proteksi rangkaian dan performansi panel sel surya lebih baik dengan adanya MPPT (Energy Matter, 2012: 1).

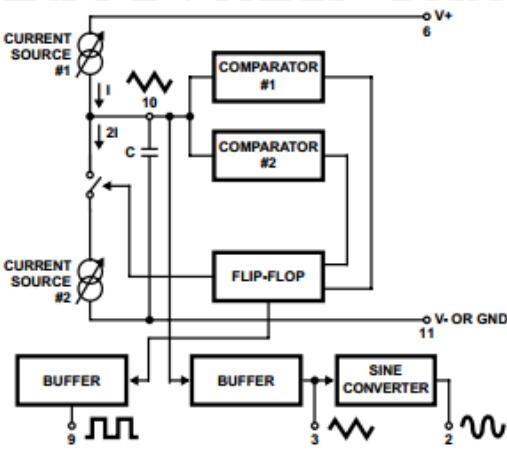
## 2.4 ICL8038

ICL8038 adalah IC yang mampu membangkitkan gelombang kotak, gelombang segitiga, gelombang gergaji dan gelombang sinusoida pada waktu hampir bersamaan. IC ini dibuat dengan teknologi monolitik yang canggih, terdiri dari dioda Schottky dan resistor film tipis yang keluarannya stabil pada berbagai variasi tegangan dan temperatur. Frekuensi keluaran ICL8038 juga dapat diatur antara 0,001Hz sampai lebih dari 300kHz dengan melakukan perhitungan resistor dan kapasitor dan pengaturan tegangan sumber (Intersil, 1998: 1). Gambar 2.9 menerangkan konfigurasi pin yang terdapat pada ICL8038 dan Gambar 2.10 menerangkan skema rangkaian di dalam ICL8038.



Gambar 2. 9 Konfigurasi pin ICL8038

Sumber: Intersil (1998: 1)



Gambar 2. 10 Skema rangkaian internal ICL 8038

Sumber: Intersil (1998: 1)

Pengaturan nilai frekuensi tegangan keluaran yang diinginkan memerlukan perhitungan waktu naik (*rising portion*), waktu turun (*falling portion*) dan perhitungan resistor serta kapasitor. Amplitudo sinyal segitiga diatur  $\frac{1}{3} V_{\text{supply}}$ , sehingga waktu naik didapatkan dengan rumus:

$$t_1 = \frac{C \times V}{I} = \frac{C \times \frac{1}{3} \times V_{\text{supply}} \times R_A}{0.22 \times V_{\text{supply}}} = \frac{R_A \times C}{0.66} \quad (2-1)$$

Waktu turun amplitudo gelombang segitiga dan gelombang sinusoida dan kotak berlogika 0 ( $t_2$ ), didapatkan dengan rumus:

$$t_2 = \frac{C \times V}{I} = \frac{C \times \frac{1}{3} \times V_{\text{supply}}}{2(0.22) \times \frac{V_{\text{supply}}}{R_B} - 0.22 \frac{V_{\text{supply}}}{R_A}} = \frac{R_A R_B R_C}{0.66(2R_A - R_B)} \quad (2-2)$$

Jika ingin mendapatkan sinyal dengan *duty cycle* = 50%, nilai  $R_A$  dibuat sama dengan  $R_B$ . Dengan memasukkan nilai  $t_1$  dan  $t_2$  pada persamaan (2-1) dan (2-2) ke dalam rumus frekuensi didapatkan frekuensi tegangan keluaran adalah:

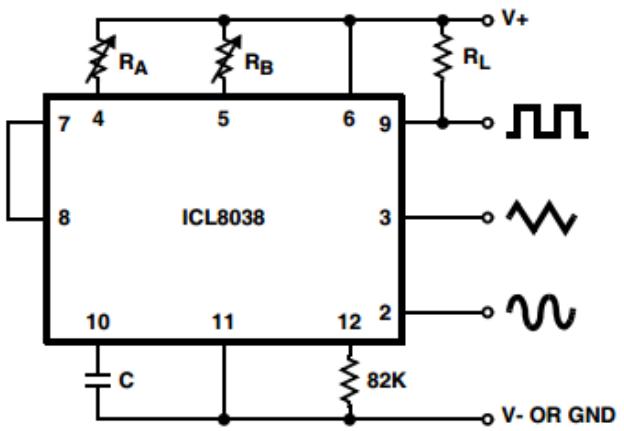
$$f = \frac{1}{t_1 + t_2} = \frac{1}{\frac{R_A C}{0.66} \left( 1 + \frac{R_B}{2R_A - R_B} \right)}$$

$R_A = R_B = R$  maka:

$$f = \frac{0.33}{RC} \quad (2-3)$$

Gambar 2.11 menunjukkan rangkaian yang digunakan untuk mendapatkan hasil keluaran dengan frekuensi sesuai perhitungan.



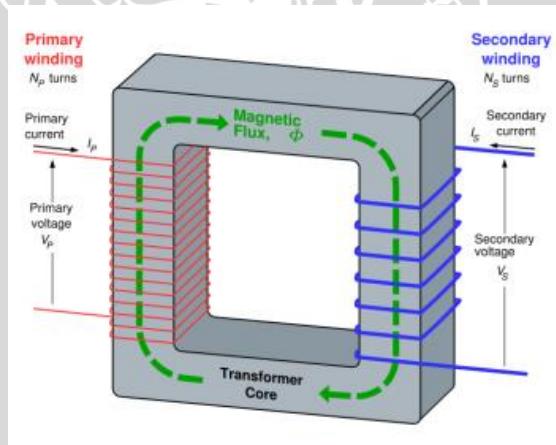


Gambar 2. 11. Rangkaian ICL8038

Sumber: Intersil (1998: 5)

## 2.5 Transformer

*Transformator* atau yang lebih dikenal dengan trafo terdiri dari dua kumparan yang saling mengonduksi dan terdapat pada inti besi yang sama. Kumparan disisi *input* disebut kumparan primer dan disisi *output* disebut kumparan sekunder. Ketika bagian primer diberi tegangan AC, arus yang berubah-ubah terhadap waktu mengalir di sisi primer dan menimbulkan flux magnet AC di dalam inti transformator (Hambley, 2011: 739). Susunan kumparan primer dan sekunder ditunjukkan dalam Gambar 2.12.



Gambar 2. 12. Rangkaian dasar transformator

Sumber: Durham (2006: 2)

Pada bagian primer, tegangan yang masuk disebut tegangan primer ( $V_p$ ) dengan lilitannya disebut lilitan primer ( $N_p$ ), sedangkan pada bagian sekunder tegangan yang masuk disebut dengan tegangan sekunder ( $V_s$ ) dengan lilitannya disebut lilitan sekunder ( $N_s$ ). Dengan demikian didapatkan hubungan bahwa:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (2-4)$$

Keterangan:

$V_p$  = tegangan primer (volt)

$V_s$  = tegangan sekunder (volt)

$N_p$  = lilitan primer (lilitan)

$N_s$  = lilitan sekunder (lilitan)

$I_p$  = arus primer (ampere)

$I_s$  = arus sekunder (ampere)

Jenis-jenis transformator antara lain:

1. Trafo *step down*: tegangan keluaran lebih kecil dari tegangan masukan
2. Trafo *step up*: tegangan keluaran lebih besar dari tegangan masukan
3. Trafo isolasi: tegangan keluaran sama dengan tegangan masukan
4. Trafo CT (*Center Tapped*): memiliki dua macam tegangan keluaran yang mempunyai amplitudo sama tetapi saling berlawanan fasa.

(Durham, 2006: 5).

## 2.6 Model Penguat

Secara umum model penguat (*amplifier*) dikelompokkan menjadi tiga yaitu penguat tegangan, penguat arus dan penguat transresistansi. Pada dasarnya kerja sebuah penguat adalah mengambil masukan (*input*), mengolahnya dan menghasilkan keluaran (*output*) yang besarnya sebanding dengan masukan (Bishop, 2006: 154). Besarnya tegangan keluaran ( $v_o$ ) dibandingkan dengan tegangan masukan ( $v_i$ ) dinyatakan sebagai:

$$v_o = A_v v_i \quad (2-5)$$

dimana  $A_v$  adalah penguatan tegangan (*voltage gain*). Hal yang sama untuk penguat arus berlaku:

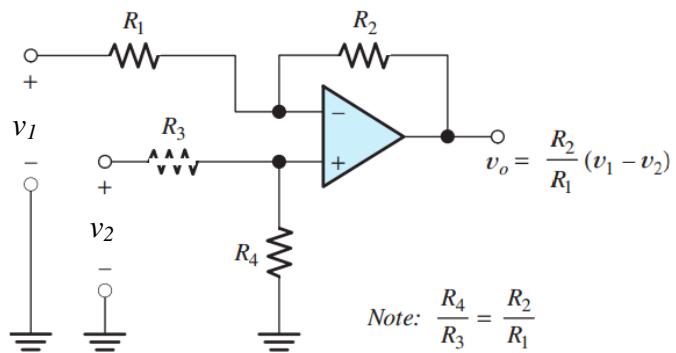
$$i_o = A_i i_i \quad (2-6)$$

dimana  $i_o$  adalah arus keluaran,  $i_i$  adalah arus masukan dan  $A_i$  adalah penguatan arus (*current gain*). Beberapa jenis penguat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

### 2.6.1 Penguat Differensial Dasar

Penguat differensial dasar merupakan penguat tegangan yang memanfaatkan op-amp untuk menguatkan atau melemahkan sinyal masukan. Jika op-amp yang digunakan

adalah op-amp ideal dan  $R_4/R_3 = R_2/R_1$ , penguatan sinyal *common mode rejection ratio* (CMRR) adalah 0. Untuk mengurangi efek arus bias ditentukan  $R_2 = R_4$  dan  $R_1 = R_3$ . Impedansi keluaran rangkaian penguat differensial dasar mendekati 0 (Hambley, 2011: 693). Rangkaian penguat differensial dasar ditunjukkan dalam Gambar 2.13.



Gambar 2. 13. Rangkaian penguat differensial dasar

Sumber: Hambley (2011: 693)

Perhitungan tegangan masukan dan tegangan keluaran dijelaskan sebagai berikut:

$$\frac{V_1 - V_-}{R_1} = \frac{V_- - V_o}{R_2}$$

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_o}{R_2} = \frac{V_-}{R_2} + \frac{V_-}{R_1}$$

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_o}{R_2} = \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right) V_-$$

$$V_- = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_o}{R_2}}{\left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right)}$$

Jika,  $V_- = V_+$

$$\frac{V_2 - V_+}{R_1} = \frac{V_+ - 0}{R_2}$$

$$\frac{V_2 - \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_o}{R_2}}{\left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right)}}{R_1} = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_o}{R_2}}{\left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right) R_2}$$

$$V_2 R_2 - \frac{\frac{R_2 V_1}{R_1} + V_o}{\left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right)} = \frac{V_1 + \frac{R_1 V_o}{R_2}}{\left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right)}$$



$$V_2 R_2 = \frac{V_1 + \frac{R_1 V_o}{R_2}}{\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1}\right)} + \frac{\frac{R_2 V_1}{R_1} + V_o}{\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1}\right)}$$

$$V_2 R_2 = \frac{V_1 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + V_o \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)}{\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1}\right)}$$

$$V_2 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = V_1 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + V_o \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

$$V_2 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) - V_1 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = V_o \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

$$V_o = \frac{V_2 \left(\frac{R_1}{R_1} + \frac{R_2}{R_1}\right) - V_1 \left(\frac{R_1}{R_1} + \frac{R_2}{R_1}\right)}{\left(\frac{R_2}{R_2} + \frac{R_1}{R_2}\right)}$$

$$V_o = \frac{(V_2 - V_1) \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1}\right)}{\frac{R_1 + R_2}{R_2}}$$

Didapatkan persamaan rangkaian penguat differensial dasar adalah:

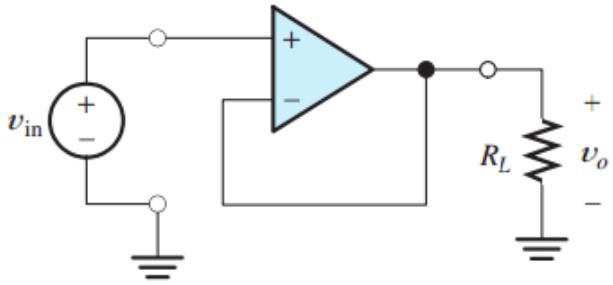
$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) \quad (2-7)$$

### 2.6.2 Rangkaian Buffer

Rangkaian buffer disebut juga rangkaian pengikut tegangan (*Voltage follower*). Penguatan (*gain*) minimum op-amp adalah 1, yang diperoleh dengan membuat nilai  $R_2 = 0$  dan  $R_1$  dihubung buka (*open circuit*). Dengan penguatan bernilai 1 akan didapatkan tegangan keluaran yang sama dengan tegangan masukan (Hambley, 2011: 673). Hal tersebut ditunjukkan dalam Persamaan (2-8):

$$A_v = \frac{V_o}{V_{in}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 1 \quad (2-8)$$

Rangkaian buffer digunakan sebagai penyangga dan digunakan untuk menghasilkan penguat yang memiliki impedansi masukan sangat tinggi dan impedansi keluaran sangat rendah, sehingga mendekati kondisi ideal. Dengan menghubungkan *input inverting* ke jalur *output* op-amp akan memberikan kemampuan untuk mengalirkan arus secara maksimal sesuai kemampuan maksimal op-amp mengalirkan arus *output*. Rangkaian buffer ditunjukkan dalam Gambar 2.14.

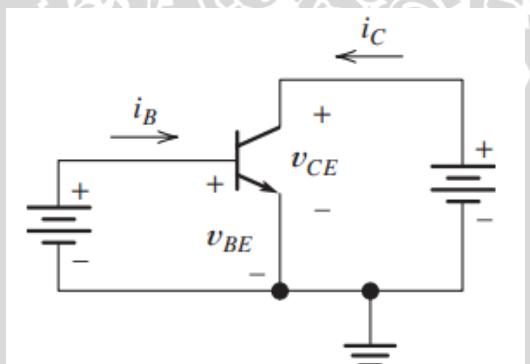


Gambar 2. 14. Rangkaian buffer

Sumber: Hambley (2011: 673)

### 2.6.3 Penguat Transistor *Common-Emitter*

Konfigurasi yang banyak dipakai sebagai penguat adalah *Common-Emitter*, karena memiliki penguatan arus ( $A_i$ ) dan penguatan tegangan ( $A_v$ ) yang tinggi. Penguat ini disebut *Common-Emitter* karena masukan berada pada kaki basis, keluaran pada kaki kolektor dan kaki emitor ditanahkan (Hambley, 2011: 619). Konfigurasi *common emitter* untuk transistor BJT npn ditunjukkan dalam Gambar 2.15.

Gambar 2. 15. Rangkaian *common emitter* transistor BJT npn

Sumber: Hambley (2011: 619)

Sumber tegangan dihubungkan antara kaki basis dan kaki emitor dengan tegangan positif  $V_{BE}$  yang dibias maju antara sambungan basis dan emitor. Sumber tegangan  $V_{CE}$  menghasilkan tegangan positif pada kaki kolektor dan emitor, sehingga nilai  $V_{BC}$  ditentukan dengan Persamaan (2-9):

$$V_{BC} = V_{BE} - V_{CE} \quad (2-9)$$

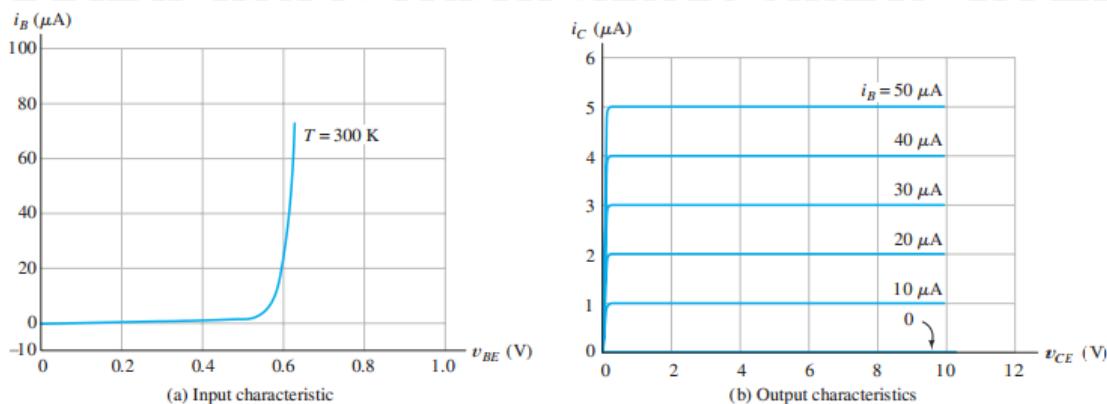
Ketika  $V_{CE}$  lebih besar dari  $V_{BE}$ , tegangan antara basis dan kolektor bernilai negatif (bias mundur). Analisis tegangan untuk *loop* masukan dari rangkaian *Common-Emitter* diberikan dalam Persamaan (2-10):

$$V_{IN} = R_B I_B + V_{BE} \quad (2-10)$$

Analisis tegangan untuk *loop* keluaran diberikan dalam Persamaan (2-11):

$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} \quad (2-11)$$

Karakteristik dari *input* dan *output* rangkaian *common emitter* dijelaskan dalam Gambar 2.16.



Gambar 2. 16. Karakteristik *common-emitter* untuk transistor BJT npn

Sumber: Hambley (2011; 619)

Pada karakteristik *input* dijelaskan hubungan antara  $i_B$  dengan  $V_{BE}$ , terlihat bahwa karakteristiknya hampir sama dengan karakteristik diode yang dibias maju yaitu  $V_{BE}$  bernilai 0,6-0,7V. Pada karakteristik *output* diberikan hubungan antara  $i_C$  dengan  $V_{CE}$  dengan  $i_B$  bernilai konstan. Selama kolektor-basis dibias mundur maka:

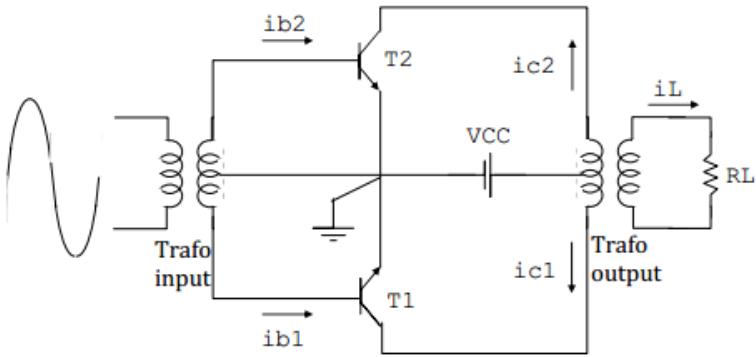
$$i_C = \beta i_B \quad (2-12)$$

Jika basis-kolektor dibias maju maka  $V_{CE} = 0$  dan  $i_C = 0$ .

#### 2.6.4 Penguat *Push Pull* Kelas B

Apabila transistor dibias pada titik mati (*cut-off*) atau dengan kata lain tidak diberi bias, maka transistor bekerja pada kelas B. Oleh karena penguat kelas B hanya dapat menguatkan setengah siklus sinyal *input*, maka agar diperoleh sinyal *output* secara penuh diperlukan dua buah transistor yang bekerja pada kelas B. Rangkaian dengan menggunakan dua buah transistor pada kelas B ini sering disebut dengan penguat *push pull* (Surjono, 2008: 86).

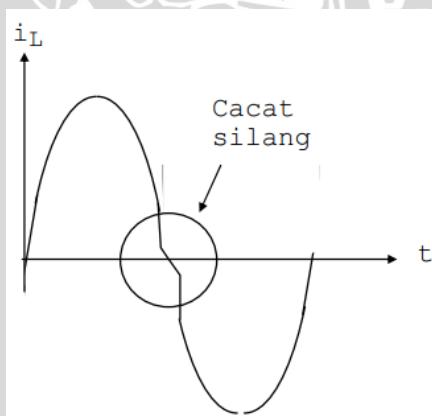
Dalam praktek terdapat bermacam-macam variasi penguat *push pull*, di antaranya yang paling banyak dikenal adalah: penguat *push pull* dengan trafo *input* dan *output*, simetri komplementer, komplementer semu, dan lain sebagainya. Gambar 2.17 menunjukkan rangkaian penguat *push pull* kelas B menggunakan trafo *input* dan *output*.



Gambar 2. 17. Rangkaian penguat *push pull* kelas B

Sumber: Surjono (2008: 87)

Prinsip kerja penguat *push pull* yaitu transistor T<sub>1</sub> dan T<sub>2</sub> bekerja secara bergantian. Pada saat sinyal *input* berpolaritas positif, maka T<sub>2</sub> menjadi hidup karena basis emitor T<sub>2</sub> mendapat bias maju sedangkan T<sub>1</sub> menjadi mati karena basis emitor T<sub>1</sub> tidak mendapat bias maju. Sebaliknya saat *input* berpolaritas negatif, maka T<sub>1</sub> menjadi hidup karena basis emitor T<sub>1</sub> mendapat bias maju sedangkan T<sub>2</sub> menjadi mati karena basis emitor T<sub>2</sub> tidak mendapat bias maju. Pada sinyal *output* yang diperoleh dari penguat *push pull* terdapat cacat silang atau *crossover distortion*. Cacat ini terjadi karena ketidaklinieran karakteristik transistor pada awal kerjanya. Bentuk gelombang *output* dengan cacat silang ditunjukkan dalam Gambar 2.18.



Gambar 2. 18 Cacat silang pada sinyal *output* penguat *push pull*

Sumber: Surjono (2008: 92)

## 2.7 Sensor Tegangan

Sensor tegangan terdiri dari beberapa bagian yaitu rangkaian pengondisi sinyal, bagian pemroses yaitu *microcontroller* dan bagian tampilan/*display*. Bagian-bagian tersebut diperlukan untuk membantu pengguna melakukan pengukuran tegangan dengan mudah.



Bagian rangkaian pengondisi sinyal berfungsi untuk mengubah level tegangan *input* ke tegangan 0-5V. Tegangan *input* perlu diturunkan agar dapat diolah oleh *microcontroller* yang bekerja pada tegangan 5V. *Microcontroller* berfungsi untuk mengolah data tegangan *input* analog dan mengubahnya menjadi data digital/biner. Bagian tampilan/*display* berfungsi untuk menunjukkan hasil pengukuran.

Rangkaian pengondisi sinyal yang dapat digunakan untuk mengubah level tegangan *input* menjadi level tegangan yang diinginkan dapat dilakukan dengan melakukan penguatan atau peredaman sinyal. Salah satu rangkaian yang dapat digunakan adalah rangkaian penguat diferensial dasar. Tegangan keluaran rangkaian sensor tegangan dapat ditentukan dengan Persamaan (2-7):

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) \quad (2-7)$$

## 2.8 IC Microcontroller ATMEGA 16

Salah satu IC *microcontroller* yang banyak digunakan adalah ATMEGA 16 dari keluarga AVR. AVR merupakan seri *microcontroller* CMOS 8-bit buatan Atmel, berbasis arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computer*). Hampir semua instruksi dieksekusi dalam satu siklus *clock*. AVR mempunyai 32 register *general-purpose*, *timer/counter* fleksibel dengan *mode compare*, *interrupt internal* dan *eksternal*, serial UART, *programmable Watchdog Timer*, dan *mode power saving*, ADC dan PWM *internal*. AVR juga mempunyai *In-System Programmable Flash on-chip* yang mengijinkan memori program untuk diprogram ulang dalam sistem menggunakan hubungan serial SPI (Atmel, 2002:4).

ATMega16 mempunyai *throughput* mendekati 1 MIPS per MHz membuat disainer sistem untuk mengoptimasi konsumsi daya *versus* kecepatan proses (Atmel, 2002:3).

Beberapa keistimewaan dari AVR ATMega16 antara lain:

1. *Microcontroller* AVR 8 bit yang memiliki kemampuan tinggi, dengan daya rendah.
2. Arsitektur RISC dengan *throughput* mencapai 16 MIPS pada frekuensi 16 MHz.
3. Memiliki kapasitas *flash* memori 16 Kbyte, EEPROM 512 Byte dab SRAM 1 Kbyte.
4. Saluran I/O sebanyak 32 buah, yaitu port A, port B, port C dan port D.
5. CPU yang terdiri dari 32 buah register
6. Unit interupsi internal dan eksternal.
7. Port USART untuk komunikasi serial
8. Fitur *peripheral*

- a. Tiga buah *Timer/Counter* dengan kemampuan pembandingan.
  - i. Dua buah *Timer/Counter* 8 bit dengan *prescaler* terpisah dan *Mode Compare*
  - ii. Satu buah *Timer/Counter* 16 bit dengan *prescaller* terpisah, *Mode Compare*, dan *Mode Capture*
- b. *Real Time Counter* dengan *Oscilator* tersendiri
- c. 4 *channel* PWM
- d. 8 *channel*, 10-bit ADC
  - i. 8 *Single-ended Channel*
  - ii. 7 *Differential Channel* hanya pada kemasan TQFP
  - iii. 2 *Differential Channel* dengan *programmable Gain* 1x, 10x, atau 200x
- e. *Byte-Oriented Two-wire Serial Interface*
- f. *Progammable serial USART*
- g. Antarmuka SPI
- h. *Watchdog Timer* dengan *oscillator internal*
- i. *On-chip Analog Comparator*

ATMEGA 16 memerlukan sistem minimum agar dapat digunakan sebagai mana mestinya (Atmel, 2002:1). Konfigurasi pin yang terdapat pada ATMEGA 16 ditunjukkan dalam Gambar 2.19.

(XCK/T0)	PB0	1	40	PA0 (ADC0)
(T1)	PB1	2	39	PA1 (ADC1)
(INT2/AIN0)	PB2	3	38	PA2 (ADC2)
(OC0/AIN1)	PB3	4	37	PA3 (ADC3)
(SS)	PB4	5	36	PA4 (ADC4)
(MOSI)	PB5	6	35	PA5 (ADC5)
(MISO)	PB6	7	34	PA6 (ADC6)
(SCK)	PB7	8	33	PA7 (ADC7)
	RESET	9	32	AREF
VCC		10	31	GND
GND		11	30	AVCC
XTAL2		12	29	PC7 (TOSC2)
XTAL1		13	28	PC6 (TOSC1)
(RXD)	PD0	14	27	PC5 (TDI)
(TXD)	PD1	15	26	PC4 (TDO)
(INT0)	PD2	16	25	PC3 (TMS)
(INT1)	PD3	17	24	PC2 (TCK)
(OC1B)	PD4	18	23	PC1 (SDA)
(OC1A)	PD5	19	22	PC0 (SCL)
(ICP1)	PD6	20	21	PD7 (OC2)

Gambar 2. 19. Konfigurasi pin ATMEGA 16

Sumber: Atmel (2002: 2)

Bagian-bagian ATMEGA 16 adalah sebagai berikut:

1. Catu Daya

Catu daya adalah sumber *power/tegangan* yang akan menghidupkan sistem

minimum. Catu daya yang dibutuhkan oleh sistem minimum ini sebesar 4,5 - 5V.

## 2. Clock/ Crystal

*Clock/ Crystal* merupakan hal yang sangat penting juga dalam rangkaian sistem minimum karena bagian ini yang berfungsi memberikan *clock* untuk berjalannya transfer data.

## 3. Reset

Rangkaian *reset* berfungsi sebagai *interrupt* untuk *set* ke program awal. Ketika pin ini diaktifkan maka program akan berjalan lagi dimulai dari awal.

## 4. Port A(PA0...PA7)

merupakan pin *input/output* dua arah dan pin masukan ADC.  
5. Port B (PB0...PB7) merupakan pin *input/output* dua arah dan pin fungsi khusus. Pin fungsi khusus port B pada *Microcontroller* ATMEGA 16 dijelaskan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Fungsi khusus Port B

Pin	Fungsi Khusus
<b>PB7</b>	SCK ( <i>SPI Bus Serial Clock</i> )
<b>PB6</b>	MISO ( <i>SPI Bus Master Input/Slave Output</i> )
<b>PB5</b>	MOSI ( <i>SPI Bus Master Output/Slave Input</i> )
<b>PB4</b>	$\overline{SS}$ ( <i>SPI Slave Select Input</i> )
<b>PB3</b>	AIN1 ( <i>Analaog Comparator Negative Input</i> )  OC0 ( <i>Timer/Counter0 Output Compare Match Output</i> )
<b>PB2</b>	AIN0 ( <i>Analog Comparator Positive Input</i> )  INT2 ( <i>External Interrupt 2 Input</i> )
<b>PB1</b>	T1 ( <i>Timer/Counter1 External Counter Input</i> )
<b>PB0</b>	T0 T1 ( <i>Timer/Counter0 External Counter Input</i> )  XCX ( <i>USART External Clock Input/Output</i> )

## 6. AVCC

merupakan pin masukan tegangan ADC.

## 7. AREF

merupakan pin masukan tegangan referensi ADC.

(Atmel, 2002:5)

## 2.9 LCD *Character* 16 x 2

LCD adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. Pada LCD berwarna terdapat banyak sekali titik cahaya (pixel) yang terdiri dari satu buah kristal cair sebagai sebuah titik cahaya. Walau disebut sebagai titik cahaya, sumber cahaya kristal cair pada LCD adalah lampu neon berwarna putih di bagian belakang susunan kristal cair tadi.

Titik cahaya yang jumlahnya puluhan ribu bahkan jutaan inilah yang membentuk tampilan citra. Kutub kristal cair yang dilewati arus listrik akan berubah karena pengaruh polarisasi medan magnetik yang timbul, oleh karena itu hanya beberapa warna yang akan diteruskan sedangkan warna lainnya tersaring. Bentuk fisik LCD *Character* 16x2 ditunjukkan dalam Gambar 2.19.

LCD (*Liquid Crystal Display*) yang dipakai adalah LCD *Character* 16 x 2. Pengiriman data ke LCD ada dua macam yaitu data sebagai instruksi dan data sebagai karakter yang tampilan di *layer*. Keduanya dibedakan oleh sebuah kaki yang diberi nama RS (*Register Select*) dimana bila logika = ‘1’ (*high*) maka data yang diterima LCD adalah data *character* sedangkan bila RS = ‘0’ (*low*) maka data yang diterima LCD adalah data instruksi bagi LCD (Xiamen, 2008:3). Konfigurasi pin pada LCD *Character* 16x2 ditunjukkan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Konfigurasi pin LCD

No. Kaki	Simbol	Level	Fungsi
1	VSS	-	Ground
2	VDD	-	Power supply for logic (+5 volt)
3	VO	-	Power Supply for LCD
4	RS	H/L	Register Selection H : Display data L : Instruksi code
5	R/W	H/L	Read/Write Selection H : Read operation L : Write operation
6	E	H/L	Enable Signal
7	DB0	H/L	In 8-bit mode, used as low order bidirectional data bus.
8	DB1	H/L	
9	DB2	H/L	In 4-bit mode, open these terminals.
10	DB3	H/L	
11	DB4	H/L	In 8-bit mode, used as high order bidirectional data bus.
12	DB5	H/L	



<b>13</b>	DB6	H/L	<i>In 4-bit mode, used as both high and low order data bus.</i>
<b>14</b>	DB7	H/L	
<b>15</b>	LED A	-	LED Power Supply (+5 volt)
<b>16</b>	LED K	-	LED Power Supply (0 volt)

LCD yang digunakan mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

1. Terdiri atas 32 karakter yang tersusun dalam dua baris (masing-masing 16 karakter) dengan *display* dot matrik 5 x 7
2. Karakter generator ROM dengan 192 tipe karakter
3. Karakter generator RAM dengan 8 tipe karakter
4. *Display* data RAM ukuran 80 x 8 bit
5. Catu daya + 5 volt
6. *Reset* pada saat *power on*.



### BAB III

## METODE PENELITIAN

Penyusunan penelitian ini berdasarkan pada masalah yang bersifat aplikatif, yaitu perencanaan dan perealisasian alat agar dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan dengan mengacu pada rumusan masalah. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang akan dibuat adalah sebagai berikut:

### 3.1 Penentuan Spesifikasi Alat

Penentuan spesifikasi alat ini bertujuan agar dapat dibuat sesuai yang diinginkan dan dapat bekerja dengan efektif serta efisien. Spesifikasi alat ditentukan untuk setiap bagian sistem dan spesifikasi sistem secara keseluruhan.

### 3.2 Studi Literatur

Dalam penyusunan karya tulis ini, pengumpulan data dilakukan dengan melakukan studi literatur (*library research*), penelusuran informasi digital, dan wawancara narasumber dengan sasaran tinjauan antara lain:

1. Informasi internet.
2. Pustaka-pustaka referensi.
3. Pustaka penunjang.

Studi literatur yang dilakukan bertujuan untuk mengkaji hal-hal yang berhubungan dengan teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan perealisasian alat. Teori-teori yang dikaji adalah sebagai berikut:

1. Teori umum mengenai *Smart Grid*.
2. Teori umum mengenai *inverter DC-AC*.
3. Teori umum mengenai sensor tegangan.
4. Teori umum mengenai *microcontroller*.
5. Teori umum mengenai *transformator*.
6. Teori umum mengenai *driver* tegangan dan arus AC.
7. Teori umum mengenai sel surya.
8. Teori mengenai rangkaian keseluruhan sistem.



### 3.3 Perancangan dan Perealisasian Alat

Dalam perancangan dan perealisasian alat membahas tentang diagram blok, perencanaan perangkat keras, dan perencanaan perangkat lunak.

#### 3.3.1 Diagram Blok

Diagram blok memuat seluruh bagian sistem. Pembuatan diagram blok merupakan dasar dari perancangan sistem agar perancangan dan perealisasian alat berjalan secara sistematis.

#### 3.3.2 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perencanaan perangkat keras meliputi perencanaan rangkaian sensor tegangan, rangkaian *inverter*, rangkaian ATMEGA 16 dan rangkaian LCD.

##### a. Rangkaian Sensor Tegangan

Rangkaian sensor tegangan yang diinginkan terbuat dari *operational amplifier* dengan IC tipe LM324. Rangkaian sensor tegangan ini berbentuk penguat differensial dan rangkaian *buffer* pada keluaran penguat differensial.

##### b. Rangkaian Pembangkit Sinyal

Rangkaian pembangkit sinyal yang berfungsi sebagai *inverter* sinyal DC-AC dirancang dengan ICL8038, kapasitor dan resistor bernilai tertentu sehingga menghasilkan gelombang kotak, segitiga dan sinusoida dengan frekuensi 50 Hz.

##### c. Rangkaian *Driver* Tegangan dan Arus AC

Rangkaian *driver* tegangan sinyal sinus yang digunakan dalam sistem adalah jenis penguat kelas A *Common-Emitter* menggunakan transistor tipe 2n2222 dan penguat differensial dasar menggunakan IC op-amp tipe UA741. *Driver* tegangan sinyal segitiga menggunakan penguat differensial dasar dan *driver* tegangan kotak menggunakan rangkaian komparator dengan IC op-amp tipe UA741. Rangkaian *driver* arus AC yang digunakan dalam sistem merupakan jenis penguat *push pull* menggunakan dua buah transistor tipe NPN TIP 3055 dan PNP tipe TIP 2955.

##### d. Rangkaian ATMEGA 16

Rangkaian ATMEGA 16 merupakan rangkaian sistem minimum agar *microcontroller* dapat berfungsi sesuai yang diharapkan. ATMEGA 16 akan

menerima masukan dari tombol *mode* sensor tegangan dan akan mengeluarkan data sesuai yang diinginkan *user* ke tampilan LCD.

#### e. Rangkaian LCD

Rangkaian LCD dibuat agar LCD dapat menampilkan karakter yang telah deprogram melalui sistem minimum *microcontroller*.

### 3.3.3 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Perancangan perangkat lunak berupa *flowchart* (diagram alir) bahasa pemrograman yang dipakai untuk ATMEGA16. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa C++ yang nantinya dibuat dan di-*compile* menggunakan *software codevision AVR*. Desain dan *layout PCB* dibuat menggunakan *software Eagle*.

### 3.4 Pengujian Alat

Analisis kinerja alat apakah sudah sesuai dengan yang direncanakan dilakukan dengan pengujian sistem. Pengujian dilakukan pada masing-masing blok pada perancangan *hardware* serta pengujian keseluruhan untuk mengetahui *software* dapat berjalan atau tidak.

#### 3.4.1 Pengujian Perangkat Keras (*Hardware*)

Pada bagian ini pengujian dilakukan pada masing-masing blok. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah masing- masing blok dapat bekerja sesuai dengan fungsinya seperti yang telah direncanakan. Pengujian tersebut meliputi :

##### a. Pengujian Rangkaian *Microcontroller* ATMEGA 16

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui *port-port* dari IC ATMEGA16 dapat berfungsi dengan baik. Pengujian dilakukan dengan memberikan program sederhana pada *microcontroller* dan ditampilkan dalam LCD.

##### b. Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan

Pengujian dilakukan dengan cara memberi nilai tegangan yang berbeda pada sensor dan hasil dari pengukuran sensor tegangan ditampilkan di LCD, kemudian dibandingkan dengan perhitungan dan pengukuran menggunakan Voltmeter.

### c. Pengujian Rangkaian Pembangkit Sinyal

Pengujian rangkaian pembangkit sinyal dilakukan untuk mengetahui hasil gelombang keluaran pada pin gelombang kotak, segitiga dan sinusoida serta frekuensi yang dihasilkan menggunakan rangkaian pengujian ICL8038. Pengujian ini juga bertujuan membandingkan hasil tegangan keluaran dari masing-masing bentuk gelombang sehingga didapatkan metode konversi tegangan 15V DC ke 220V AC yang paling baik. Hasil pengujian rangkaian pembangkit sinyal dapat diamati melalui osiloskop.

### d. Pengujian Rangkaian *Driver* Tegangan dan Arus AC

Pengujian rangkaian *driver* tegangan dan arus AC hasil keluaran rangkaian pembangkit sinyal dilakukan dengan mengukur tegangan dan arus pada keluaran rangkaian *driver*. Dari hasil pengukuran tersebut kemudian dibandingkan dengan perhitungan.

### e. Pengujian Sel Surya

Pengujian terhadap sel surya yaitu pengujian terhadap tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sel surya.

#### 3.4.2 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem ini dengan menyambungkan semua *hardware* yang dibuat berdasarkan blok diagram dan memasukkan program berupa *software* yang bekerja untuk mengendalikan *hardware* yang telah dibuat. Sistem bekerja dengan baik jika dapat berjalan sesuai *flowchart* yang telah direncanakan.

### 3.5 Pengambilan Kesimpulan

Kesimpulan didapat berdasarkan hasil realisasi dan pengujian sistem *Inverter* 15V DC-220V AC Berbasis Tenaga Surya untuk Aplikasi *Single Point Smart Grid*. Jika hasil yang diperoleh telah sesuai dengan spesifikasi yang direncanakan maka alat tersebut telah memenuhi harapan dan memerlukan pengembangan untuk penyempurnaannya.

## BAB IV

### PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perancangan ‘*Inverter 15V DC-220V AC Berbasis Tenaga Surya untuk Aplikasi Single Point Smart Grid*’ dilakukan secara bertahap sehingga memudahkan dalam analisis setiap bloknya maupun secara keseluruhan. Perancangan ini terdiri atas:

1. Perancangan perangkat keras (performansi sel surya, rangkaian pembangkit sinyal dengan ICL8038, rangkaian sensor tegangan, rangkaian *driver* tegangan, rangkaian *driver* arus, rangkaian LCD, dan rangkaian sistem minimum *microcontroller*).
2. Perancangan perangkat lunak (*software*) yang terdiri atas program utama dan *sub* program sensor tegangan sel surya.

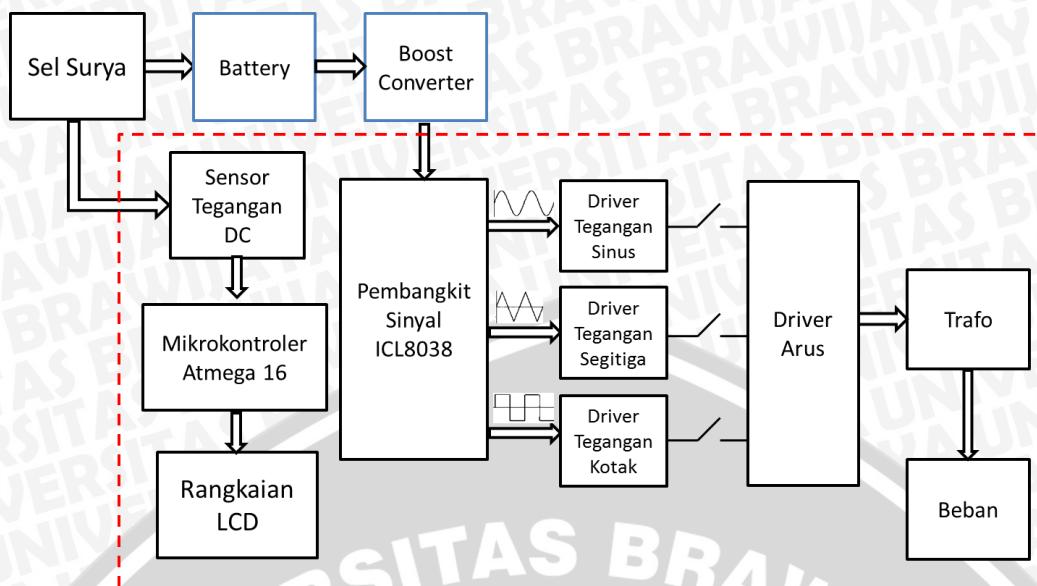
#### 4.1 Spesifikasi Perancangan

Alat yang dirancang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Sel surya yang digunakan adalah sel surya 50 Wp tipe *polycristalline*.
2. Pembangkit sinyal menggunakan ICL8038 yang dapat diatur frekuensi tegangan keluarannya.
3. *Driver* tegangan sinyal sinusoida menggunakan transistor 2n222 dengan konfigurasi penguat kelas A *Common-Emitter* dan penguat differensial.
4. *Driver* tegangan sinyal segitiga menggunakan rangkaian penguat differensial dasar dengan IC op-amp UA741.
5. *Driver* tegangan sinyal kotak menggunakan rangkaian komparator dengan IC op-amp tipe UA741.
6. *Driver* arus menggunakan penguat *push pull* dengan dua buah transistor yaitu transistor NPN tipe TIP 3055 dan PNP tipe TIP 2955.
7. *Microcontroller* yang digunakan adalah ATMEGA 16 buatan ATMEL.
8. Sensor tegangan menggunakan penguat differensial dasar dan buffer.
9. LCD yang digunakan adalah LCD character 16 x 2 sebagai penampil.
10. *Transformator* yang digunakan adalah *transformator step up* 2 ampere.

#### 4.2 Diagram Blok Perancangan

Perancangan dan perealisasian alat dilakukan sesuai dengan diagram blok perancangan yang ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4. 1. Diagram blok sistem

Penjelasan mengenai diagram blok sistem sebagai berikut:

- Sel surya berfungsi sebagai sumber energi listrik DC 15V yang diubah menjadi tegangan AC 220V.
- Rangkaian sensor tegangan berfungsi sebagai pengukur tegangan yang dihasilkan oleh sel surya.
- Microcontroller* ATMEGA 16 berfungsi sebagai pengontrol dan pengolah semua data yang masuk dan akan mengeluarkan data sesuai keinginan *user*.
- LCD *character* 16 x 2 berfungsi sebagai penampil.
- ICL8038 berfungsi sebagai pembangkit sinyal berbentuk sinyal kotak, segitiga dan sinusoida.
- Driver* tegangan dan arus AC berfungsi untuk menghasilkan keluaran sinyal dengan penguatan arus maksimum dan tegangan mendekati nilai  $V_{CC}$ .
- Saklar berfungsi untuk memilih bentuk gelombang dari keluaran ICL8038 yang akan dikonversi menjadi tegangan AC 220V.
- Transformator* digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan tegangan AC 220V.

### 4.3 Perancangan Perangkat Keras

#### 4.3.1 Performansi Sel Surya

Perancangan ‘Inverter 15V DC-220V AC Berbasis Tenaga Surya untuk Aplikasi Single Point Smart Grid’ membutuhkan beberapa parameter sel surya. Parameter-

parameter tersebut didapatkan dari performansi yang terdapat pada sel surya. Parameter sel surya ditunjukkan dalam Tabel 4.1.

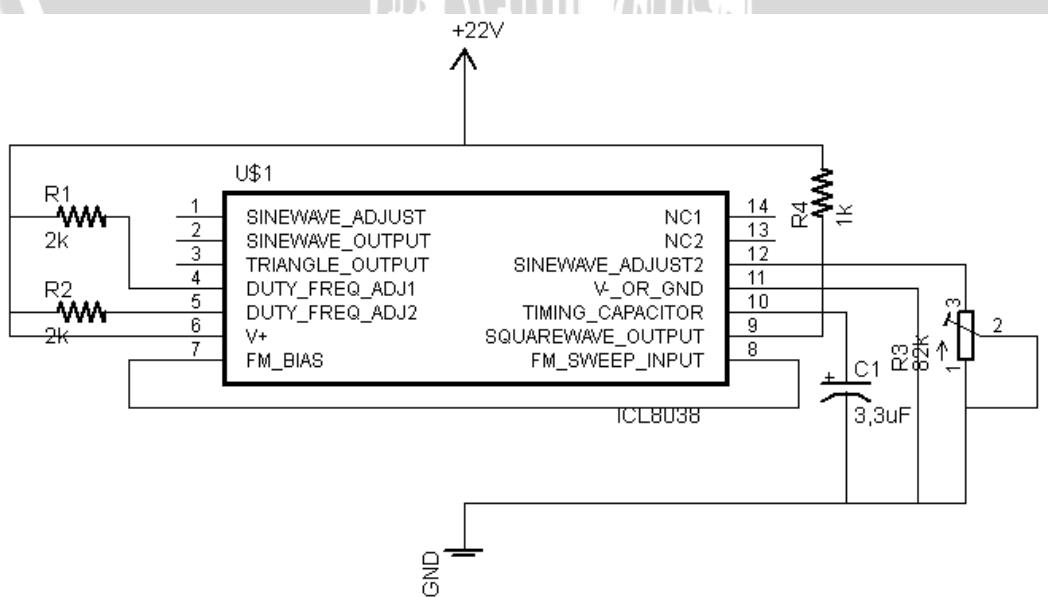
Tabel 4. 1 Parameter sel surya.

Parameter Sel Surya	Nilai
Maximum Power ( $P_{max}$ )	50 Watt-Peak
Short Circuit Current ( $I_{sc}$ )	3,12A
Maximum Power Current ( $I_{mpp}$ )	2,92A
Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ )	21,63V
Nominal Voltage ( $V_{mpp}$ )	17,13V

Performansi sel surya ini digunakan sebagai acuan sumber tegangan masukan untuk perancangan rangkaian lainnya yaitu: sensor tegangan, rangkaian pembangkit sinyal dengan ICL8038, rangkaian *driver* tegangan dan rangkaian *driver* arus.

#### 4.3.2 Rangkaian Pembangkit Sinyal dengan ICL8038

Pembangkit sinyal AC menggunakan rangkaian ICL8038. ICL8038 mampu membangkitkan sinyal sinusoida, segitiga, dan kotak dan dapat diatur frekuensi keluaran sinyalnya antara 0,01Hz hingga lebih dari 300kHz. Gambar 4.2 menunjukkan rangkaian pembangkit sinyal dengan ICL8038 yang menggunakan nilai  $R_1$  pada pin 4 dan  $R_2$  pada pin 5 sebesar  $2k\Omega$  serta nilai  $C_1$  pada pin 10 sebesar  $3,3\mu F$ . Nilai resistor  $R_4$  pada pin 9 dipasang sebesar  $1k\Omega$  untuk membuat tegangan puncak keluaran sinyal kotak mendekati  $V_{CC}$ . Berdasarkan *datasheet*, untuk memperkecil distorsi sinyal sinusoida digunakan *variable* resistor sebesar  $82k\Omega$  yang dihubungkan antara pin 11 dan pin 12 ICL8038.



Gambar 4. 2. Skema rangkaian ICL8038

Nilai frekuensi perancangan rangkaian pembangkit sinyal dengan ICL8038 diatur sebesar 50Hz menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$f = \frac{0,33}{RC}$$

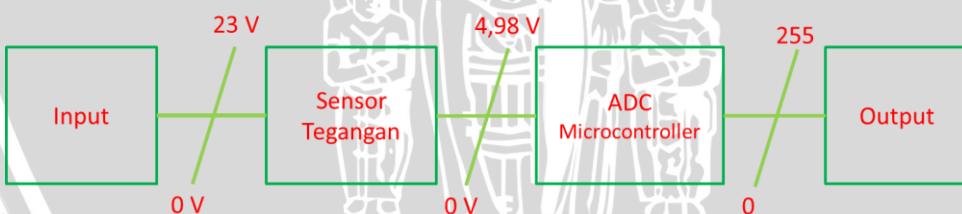
Nilai  $R = R_1 = R_2$  untuk *duty cycle* 50% ditetapkan sebesar  $2k\Omega$ , sehingga nilai C didapatkan sebesar:

$$50 = \frac{0,33}{2000 \cdot C}$$

$$C = \frac{0,33}{2000 \cdot 50} = 3,3\mu F$$

#### 4.3.3 Rangkaian Sensor Tegangan

Sensor tegangan berfungsi untuk mengetahui nilai tegangan pada sel surya dan berfungsi sebagai penurun tegangan agar nilai tegangan yang dihasilkan sel surya dapat diproses oleh *microcontroller*. Sensor tegangan dirancang menggunakan rangkaian penguat differensial dasar dan rangkaian *buffer* yang memiliki penguatan (*gain*) sebesar 1 kali. Sensor tegangan sel surya dirancang agar *microcontroller* dapat memproses tegangan yang besarnya 0 volt sampai 23 volt. Bit ADC ATMEGA 16 dalam perancangan ini menggunakan 8 bit ADC. Gambar 4.3 menunjukkan diagram pemrosesan sensor tegangan sel surya.



Gambar 4. 3 Diagram pemrosesan sensor tegangan sel surya

Tegangan masukan maksimum ADC *microcontroller* didapatkan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V_{in\ ADC} = V_{ref} \cdot \left( \frac{2^n - 1}{2^n} \right)$$

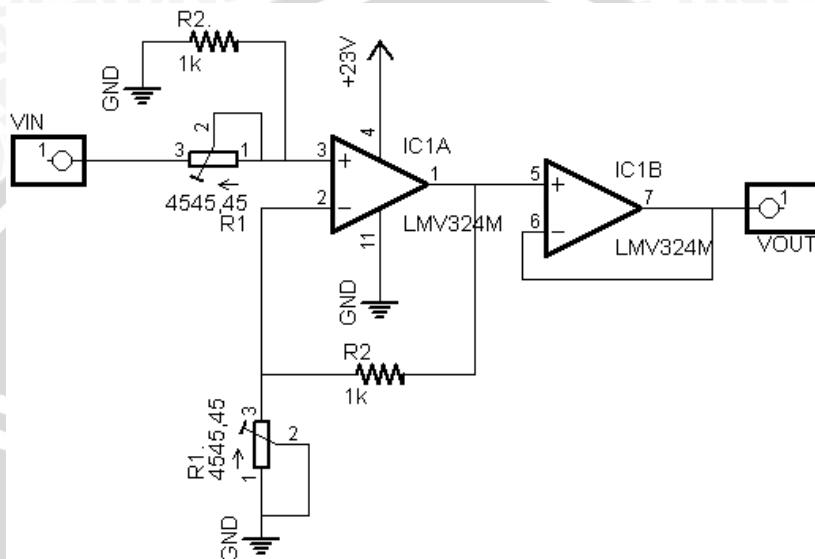
$$V_{in\ ADC} = 5 \cdot \left( \frac{2^8 - 1}{2^8} \right) = 4,98V$$

Persamaan berikut digunakan untuk mencari resolusi ADC (*analog to digital converter*) *microcontroller*:

$$Resolusi_{ADC\ microcontroller} = \frac{V_{ref}}{2^n}$$

$$Resolusi_{ADC\ microcontroller} = \frac{5}{2^8} = 0,0195V/bit$$

Artinya setiap kenaikan 1 bit, maka tegangan *input microcontroller* akan naik sebesar 0,0195 volt. Perancangan sensor tegangan sel surya ditunjukkan dalam Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Skema rangkaian sensor tegangan sel surya

Pada bagian pin *non inverting* penguat differensial dasar, di antara tegangan masukan dengan pin 3 LM324 dipasang *variable resistor*  $R_1$  sebesar  $4545,45\Omega$  dan di antara pin 3 LM324 dan *ground* dipasang resistor  $R_2$  sebesar  $1k\Omega$ . Sedangkan pada bagian pin *inverting* penguat differensial dasar, di antara pin 2 LM324 dengan *ground* dipasang *variable resistor* dengan nilai  $R_1 = 4545,45\Omega$  dan di antara pin 1 dengan pin 2 LM324 dipasang resistor dengan nilai  $R_2$  sebesar  $1k\Omega$ . Pin 1 LM324 juga dihubungkan ke pin 5 LM324 sebagai masukan *buffer*. Pin 6 yang merupakan kaki *inverting buffer* dihubungkan dengan pin 7 yang merupakan kaki *output buffer*.

Nilai  $R_1$  dan  $R_2$  didapatkan menggunakan persamaan berikut:

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$

Nilai  $V_1 = 0V$ , maka didapatkan:

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} \cdot V_2$$

$$4,98 = \frac{R_2}{R_1} \cdot 23$$

$$0,22 = \frac{R_2}{R_1}$$

Ditetapkan nilai  $R_2 = 1\text{k}\Omega$ , maka nilai  $R_1$  sebesar:

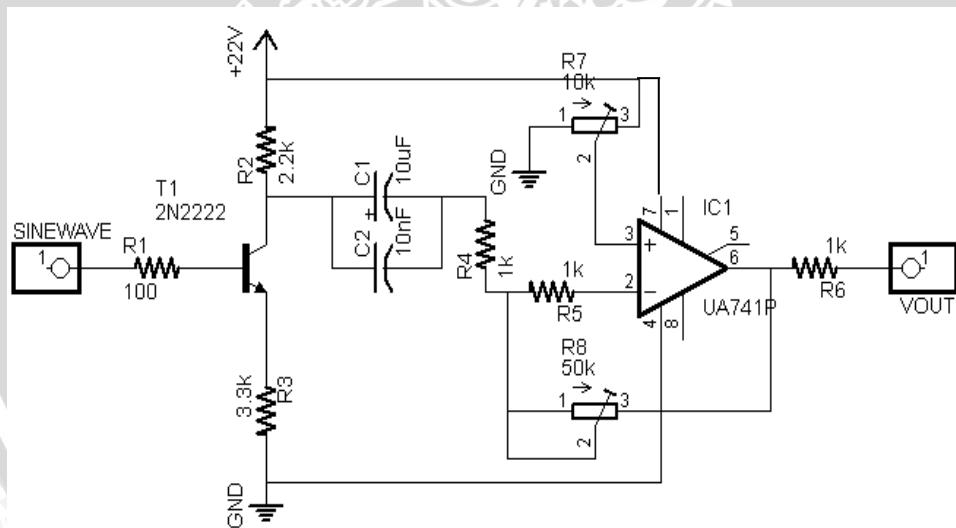
$$0,22 = \frac{1000}{R_1}$$

$$R_1 = \frac{1000}{0,22} = 4545,45\Omega$$

#### 4.3.4 Rangkaian *Driver* Tegangan

##### a. Rangkaian *Driver* Tegangan Sinyal Sinusoida

*Driver* tegangan sinyal sinusoida berfungsi sebagai penguat tegangan sinyal sinusoida yang dihasilkan oleh rangkaian pembangkit sinyal. Rangkaian *driver* tegangan sinyal sinusoida pada perancangan ini menggunakan transistor dengan konfigurasi *common-emitter* dan op-amp sebagai penguat differensial dasar. Rangkaian *driver* tegangan sinyal sinusoida ditunjukkan dalam Gambar 4.5.



Gambar 4. 5. Skema rangkaian *driver* tegangan sinyal sinusoida

Pin 2 ICL8038 yang menghasilkan sinyal sinusoida dihubungkan dengan resistor  $R_1 = 100\Omega$ , sedangkan kaki resistor  $R_1 = 100\Omega$  yang lain dihubungkan dengan basis transistor 2N2222. Kaki kolektor transistor 2N2222 dihubungkan dengan resistor  $R_2 = 2,2\text{k}\Omega$ , kaki polaritas positif kapasitor  $C_1 = 10\mu\text{F}$ , dan kaki polaritas positif kapasitor  $C_2 = 10\text{nF}$ . Kaki resistor  $R_2 = 2,2\text{k}\Omega$  yang lain dihubungkan dengan catu daya +22V. Di antara kaki emitor transistor 2N2222 dengan *ground* dipasang resistor  $R_3$  sebesar  $3.3\text{k}\Omega$ .

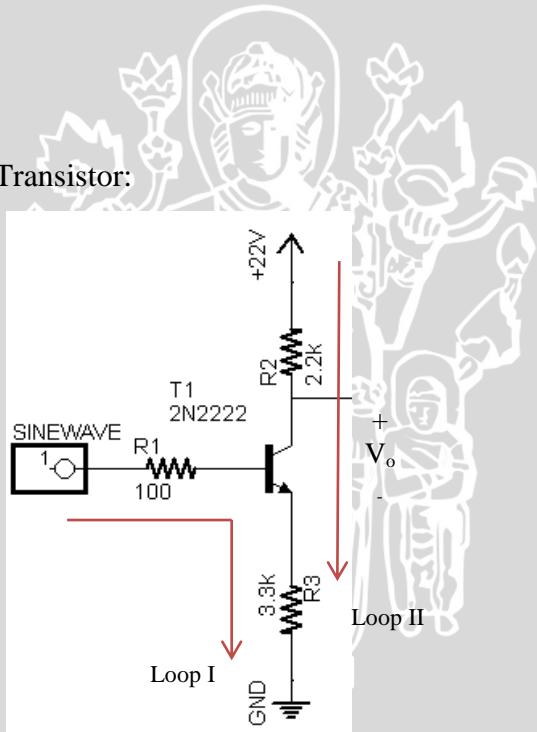


Kaki polaritas negatif kapasitor  $C_1 = 10\mu F$  dan  $C_2 = 10nF$  dihubungkan dengan resistor  $R_4 = 1k\Omega$ . Kaki resistor  $R_4 = 1k\Omega$  yang lain dihubungkan dengan resistor  $R_5 = 1k\Omega$ , kaki 1 dan kaki 2 *variable* resistor  $50k\Omega$ . Kaki resistor  $R_5 = 1k\Omega$  yang lain dihubungkan dengan pin 2 op-amp UA741. Pada pin 3 op-amp UA741 dipasang *variable* resistor  $10k\Omega$  yang kaki 1 dihubungkan ke *ground* dan kaki 3 dihubungkan ke  $V_{CC}$ . Pin 6 op-amp UA741 dihubungkan dengan kaki 3 *variable* resistor  $50k\Omega$  dan resistor  $R_6 = 1k\Omega$ . Kaki resistor  $R_6 = 1k\Omega$  yang lain merupakan tegangan keluaran rangkaian *driver* tegangan sinyal sinusoida.

Semua komponen dan nilai yang digunakan dalam perancangan didapatkan melalui perhitungan. Transistor yang digunakan adalah tipe 2N2222A. Transistor 2N2222A memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1.  $V_{CE\ Max} = 40V$
2.  $I_B\ Max = 200mA$
3.  $hfe = \beta = 100$
4.  $I_C = 10mA$

Perhitungan analisis DC Transistor:



Gambar 4. 6 Rangkaian analisis DC transistor

Loop II:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

$$0V = 22 - 10 \cdot 10^{-3} R_C$$

$$22 = 10 \cdot 10^{-3} R_C$$

$$R_C = 2,2 \cdot 10^3 \Omega$$



Loop I:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{100} = 1 \cdot 10^{-4} A$$

$$I_E = (1 + \beta)I_B = (101)1 \cdot 10^{-4} = 10,1 mA$$

$$V_{in} = \frac{1}{3}V_{supply} = \frac{1}{3} \times 22 = 7,3 V$$

$$V_{in} = I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E$$

$$7,3 = 1 \cdot 10^{-4} R_B + 0,7 + 10,1 \cdot 10^{-3} R_E$$

$$6,8 = 1 \cdot 10^{-4} R_B + 10,1 \cdot 10^{-3} R_E$$

$$6800 = 0,1 R_B + 10,1 R_E$$

Jika  $R_B = 100\Omega$ , maka:

$$6800 - 10 = 10,1 R_E$$

$$R_E = \frac{6790}{10,1} = 672,27 \Omega$$

Tegangan yang akan masuk ke kapasitor didapatkan melalui persamaan sebagai berikut:

Transistor *on*:

$$V_{out T} = \frac{3,3 \cdot 10^3}{3,3 \cdot 10^3 + 2,2 \cdot 10^3} \cdot 22 = 13,2 V$$

Transistor *off*:

$$V_{out T} = \frac{2 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^6 + 2,2 \cdot 10^3} \cdot 22 = 21,98 V$$

Perhitungan  $V_{pp}$  sebagai berikut:

$$V_{pp} = 21,98 - 13,2 = 8,78 V$$

Hasil sinyal keluaran transistor merupakan sinyal sinusoida yang terpotong karena adanya batasan catu daya yang diberikan yaitu 22V, oleh karena itu diperlukan kapasitor agar sinyal yang dihasilkan menjadi sinyal sinusoida. Perhitungan nilai kapasitor sebagai berikut:

$$\Delta V = E(1 - e^{-\frac{t}{R.C}})$$

$$t = R.C \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta V}{E}}\right)$$

Nilai  $e = 2,718$

$$t = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0,02s$$

$$t_{setengah siklus} = \frac{0,02}{2} = 0,01$$

Nilai kapasitor saat *charge* dan *discharge*:

$$0,01 = 1000 \cdot C \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - \frac{13,2}{21,98}}\right)$$

$$0,00001 = C \cdot \ln(2,503)$$

$$C = 10,8\mu F$$

Nilai kapasitor yang menghasilkan bentuk sinyal terbaik adalah sebesar  $10,01\mu F$  sehingga pada perancangan dipasang secara pararel dua buah kapasitor sebesar  $10\mu F$  dan  $10nF$ . Tegangan keluaran kapasitor saat siklus *charging* didapatkan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V_{out\ C} = \frac{1}{C} \int_0^{0,01} i \cdot dt$$

Arus keluaran maksimal ICL8038 berdasarkan *datasheet* sebesar 20mA sehingga dapat diketahui arus yang mengalir di kapasitor. Digunakan 50% dari arus keluaran maksimal.

$$V_{out\ C} = \frac{1}{C} \int_0^{0,01} \beta \cdot I_B \cdot dt$$

$$V_{out\ C} = \frac{1}{10,01 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,01 \cdot (75 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3}) = 7,49V$$

Digunakan penguat differensial sebagai penguat tegangan yang telah menjadi sinyal sinus. Persamaan penguat differensial sebagai berikut:

$$V_{out} = \frac{R_{V2}}{R_5} (V_{non\ inverting} - V_{out\ C})$$

Diinginkan  $V_{out} = 15V$ , nilai  $R_5 = 1000\Omega$ ,  $V_{non\ inverting} = 17V$  maka:

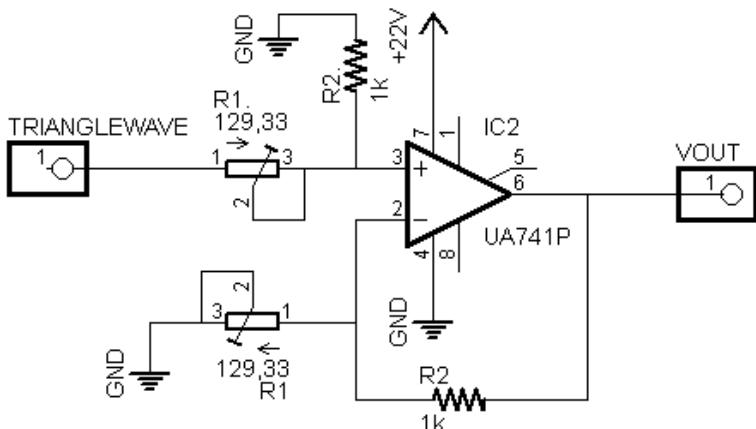
$$15 = \frac{R_{V2}}{1000} (17 - 7,49)$$

$$R_{V2} = 1577,29\Omega$$

### b. Rangkaian *Driver* Tegangan Sinyal Segitiga

*Driver* tegangan sinyal segitiga berfungsi sebagai penguat tegangan sinyal segitiga yang dihasilkan oleh rangkaian ICL8038. Rangkaian *driver* tegangan sinyal segitiga menggunakan penguat differensial dasar. Rangkaian *driver* tegangan sinyal segitiga ditunjukkan dalam Gambar 4.7.





Gambar 4. 7. Skema rangkaian *driver* tegangan sinyal segitiga

Terdapat satu buah *variable* resistor  $R_1 = 129,33\Omega$  dan satu buah resistor  $R_2 = 1k\Omega$  pada masing-masing masukan *inverting* dan *non inverting* UA741. Pada bagian *non inverting*, di antara pin 3 ICL8038 dan pin 3 UA741 dipasang *variable* resistor  $R_1$  sebesar  $129,33\Omega$ , sedangkan di antara *ground* dan pin 3 UA741 dipasang  $R_2$  sebesar  $1k\Omega$ . Pada bagian *inverting*, di antara pin 2 op-amp UA741 dengan *ground* dipasang resistor  $R_1 = 129,33\Omega$  dan di antara pin 2 dengan pin 6 op-amp UA741 dipasang  $R_2$  sebesar  $1k\Omega$ . Pin 7 op-amp UA741 dihubungkan dengan catu daya  $+22V$  dan pin 4 dihubungkan ke *ground*.

Perhitungan semua komponen dan nilai yang digunakan dalam perancangan didapatkan melalui perhitungan sebagai berikut:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_{triangle} - 0)$$

Nilai  $V_{out} = 15V$ ,  $R_2 = 1000\Omega$ ,  $V_{triangle}$  saat  $V_{supply}$  sebesar  $22V = 1,94V$

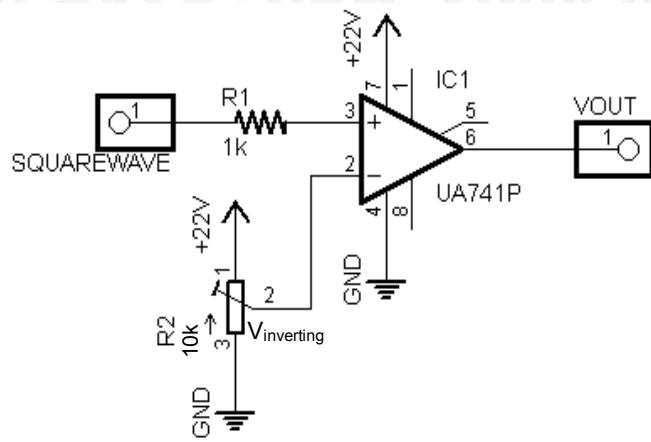
$$15 = \frac{1000\Omega}{R_1} (1,94)$$

$$R_1 = 129,33\Omega$$

Maka  $R_1 = R_3 = 129,33\Omega$  dan  $R_2 = R_4 = 1000\Omega$

### c. Rangkaian *Driver* Tegangan Sinyal Kotak

Rangkaian *driver* tegangan sinyal sebagai penguat tegangan sinyal kotak yang dihasilkan oleh rangkaian ICL8038 menggunakan rangkaian komparator. Rangkaian *driver* tegangan sinyal kotak ditunjukkan dalam Gambar 4.9.



Gambar 4. 8. Skema rangkaian *driver* tegangan sinyal kotak

Pin 9 ICL8038 yang merupakan keluaran sinyal kotak dihubungkan dengan resistor  $R_1 = 1\text{k}\Omega$  yang kaki lainnya dihubungkan ke pin 3 op-amp UA741. Pada bagian *inverting*, dipasang *variable* resistor sebesar  $10\text{k}\Omega$  yang kaki 1 dihubungkan dengan catu daya  $+22\text{V}$ , kaki 2 dihubungkan dengan pin 2 op-amp UA741 dan kaki 3 dihubungkan dengan *ground*. Pin 4 dihubungkan ke *ground*, pin 7 dihubungkan ke catu daya  $+22\text{V}$  dan pin 6 op-amp UA741 merupakan tegangan keluaran.

Semua komponen dan nilai yang digunakan dalam perancangan didapatkan melalui perhitungan sebagai berikut:

Persamaan tegangan komparator sebagai berikut:

$$V_{non\ inverting} > V_{inverting} = +V_{sat} = 22\text{V}$$

$$V_{non\ inverting} < V_{inverting} = -V_{sat} = 0\text{V}$$

Op-amp yang digunakan adalah UA741. Tegangan keluaran UA741 minimal  $\pm 12\text{V}$  dan *typically*  $\pm 14\text{V}$ .

Nilai *variable* resistor yang dipasang pada pin *inverting* UA741 sebagai berikut:

$$V_{inverting} = \frac{R_{23}}{R_{23} + R_{12}} \cdot 22$$

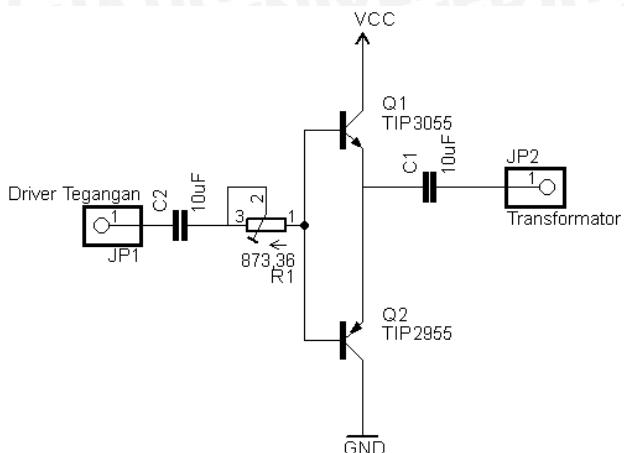
Dengan  $V_{inverting} = 5\text{V}$ , maka:

$$5 = \frac{R_{23}}{10\text{k}\Omega} \cdot 22$$

$$R_{23} = 2272,72\Omega$$

### 4.3.5 Rangkaian *Driver Arus*

Rangkaian *driver arus* menggunakan penguat *push pull* dengan transistor tipe NPN dan PNP agar dapat menghasilkan sinyal dengan siklus positif dan negatif. Rangkaian *driver arus* ditunjukkan dalam Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Rangkaian *driver arus*

Nilai kapasitor dan resistor yang digunakan dalam rangkaian didapatkan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$t = R_1 \cdot C_2 \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta V}{E}}\right)$$

$$0,01 = R_1 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - \frac{15}{22}}\right)$$

$$0,01 = R_1 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 1,14513$$

$$R_1 = 873,36\Omega$$

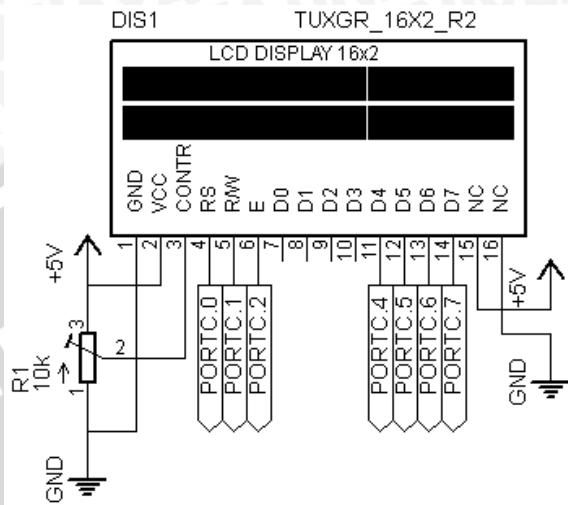
### 4.3.6 Rangkaian LCD

Pada perancangan sistem ini menggunakan LCD *character* 16x2 modul ADM1602K yang merupakan sebuah LCD dot matriks yang membutuhkan daya kecil. LCD modul ADM1602K dilengkapi dengan tingkat kontras yang tinggi dan dapat diatur kecerahannya. Spesifikasi LCD modul ADM1602K sebagai berikut:

1. Memiliki 16 karakter dengan 2 baris tampilan yang terdiri atas 5x7 dot matriks ditambah dengan kursor.
2. Catu daya yang dibutuhkan sebesar 5V.
3. *Automatic reset* saat dinyalakan.

4. 80x8 *display RAM* (maksimal 80 karakter).
5. Menggunakan 4 bit data dan 3 bit kontrol.
6. *Adjustable contrast* dan *backlight*.

Skema rangkaian LCD modul ADM1602K dengan *microcontroller* ditunjukkan dalam Gambar 4.10.



Gambar 4. 10. Skema Rangkaian LCD

Rangkaian LCD dirancang dengan kontras yang dapat diatur, maka dipasang sebuah *variable* resistor pada pin kontras sebagai pengatur tegangan. Pin 1 LCD dihubungkan dengan pin 16 LCD, kaki 1 *variable* resistor dan *ground*. Pin 2 LCD dihubungkan dengan pin 15 LCD, kaki 3 *variable* resistor, dan catu daya +5V. Pin 3 LCD dihubungkan dengan kaki 2 *variable* resistor. Pin 4, 5, 6, 11, 12, 13, 14 LCD masing-masing dihubungkan dengan PORTC.0, PORTC.1, PORTC.2, PORTC.4, PORTC.5, PORTC.6, dan PORTC.7 yang merupakan data masukan dari *microcontroller*.

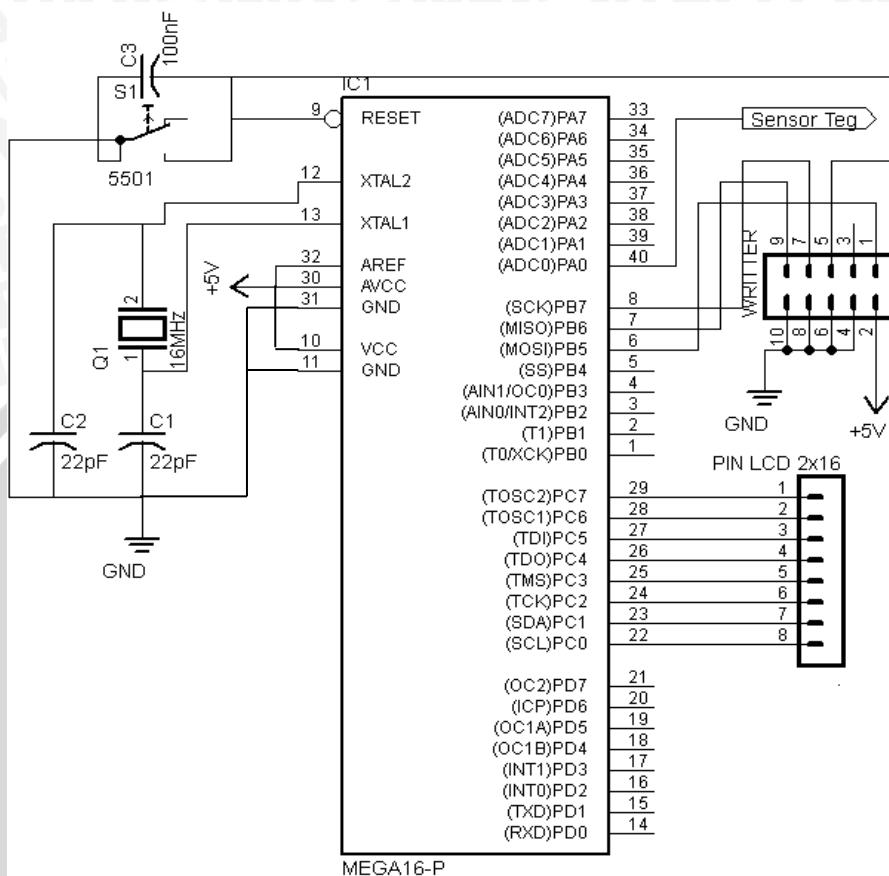
#### 4.3.7 Rangkaian Sistem Minimum *Microcontroller* ATMEGA 16

*Microcontroller* yang digunakan dalam perancangan ini adalah ATMEGA 16 yang dibuat dalam rangkaian sistem minimum *microcontroller*. *Microcontroller* berfungsi untuk mengolah data sensor tegangan sel surya. Fungsi setiap pin sistem minimum *microcontroller* ATMEGA 16 adalah sebagai berikut:

1. Pin A.0 digunakan untuk sensor tegangan sel surya.
2. Pin C digunakan sebagai sinyal data LCD 16x2.

*Microcontroller* menggunakan kristal eksternal sebesar 16MHz yang dihubungkan dengan kapasitor sebesar 22pF sesuai *datasheet* ATMEGA 16. Mode reset

pada sistem minimum ATMEGA 16 disusun menggunakan resistor dan kapasitor yang dihubungkan dengan pin *Reset* pada *microcontroller*. Rangkaian sistem minimum *microcontroller* ATMEGA 16 ditunjukkan Gambar 4.11.



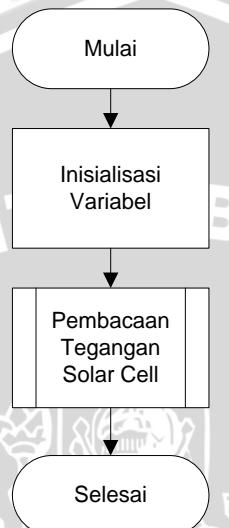
Gambar 4. 11. Konfigurasi pin sistem minimum ATMEGA 16

Pin AREF, AVCC, VCC *microcontroller* dihubungkan dengan catu daya +5 volt. Pin GND *microcontroller* dihubungkan dengan kaki 1 kapasitor C<sub>1</sub> 22pF, kaki 1 kapasitor C<sub>2</sub> 22pF, kaki 1 kapasitor 100nF dan kaki 1 *tact switch*. Kaki 2 kapasitor 100nF dihubungkan dengan kaki 2 *tact switch* dan pin *reset* *microcontroller*. Di antara pin 12 dan pin 13 dipasang crystal 16Mhz, pin 12 juga dihubungkan ke kaki 2 kapasitor C<sub>2</sub> 22pF dan pin 13 juga dihubungkan ke kaki 2 kapasitor C<sub>1</sub> 22pF. Kaki PIN ADC.0 dihubungkan ke rangkaian sensor tegangan sel surya. Pin 4 (RS), 5(R/W), 6 (E), 11 (D4), 12(D5), 13(D6), 14(D7) pada LCD masing-masing dihubungkan dengan PORTC.0, PORTC.1, PORTC.2, PORTC.4, PORTC.5, PORTC.6, dan PORTC.7 *microcontroller*.

## 4.4 Perancangan Perangkat Lunak

### 4.4.1 Program Utama

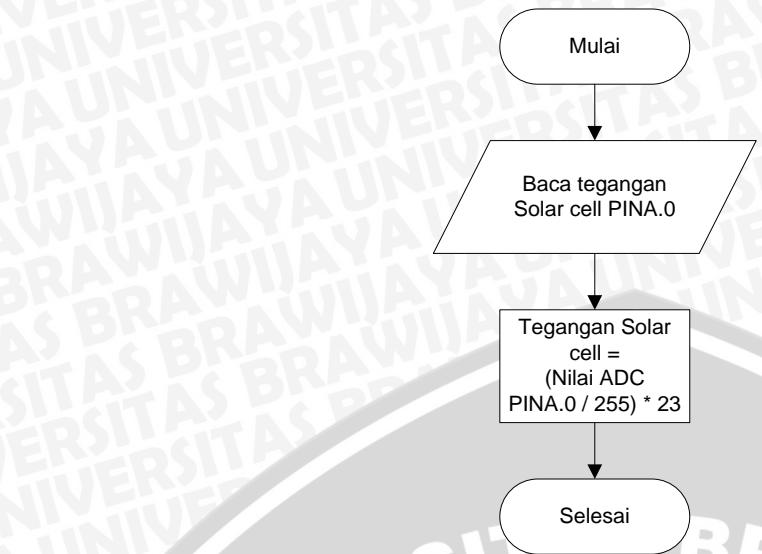
Tujuan program utama adalah mengatur urutan kerja sistem yang diwujudkan dengan melalui algoritma sehingga sistem mampu menjalankan fungsinya dengan baik. Tugas yang harus dikerjakan oleh program utama meliputi pengambilan data sensor tegangan sel surya. Algoritma program utama ditunjukkan dalam Gambar 4.12.



Gambar 4. 12. *Flow chart* algoritma program utama

### 4.4.2 Sub Program Sensor Tegangan Sel Surya

Pembacaan tegangan pada sel surya melalui rangkaian penguat differensial dasar dan *buffer* berkisar antara 0 volt sampai 5 volt yang mewakili tegangan sel surya sebesar 0 volt sampai 23 volt. Data tersebut akan diubah menjadi bentuk digital menggunakan fitur ADC yang ada pada *microcontroller* ATMEGA 16. Resolusi yang digunakan adalah 8 bit, sehingga data ADC sel surya berada dalam rentang 0-255. Algoritma *sub* program sensor tegangan sel surya ditunjukkan dalam Gambar 4.13.



Gambar 4. 13. *Flow chart* algoritma *sub program* sensor tegangan sel surya

Rentang/jangkauan hasil konversi ADC ditunjukkan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Rentang hasil konversi ADC sensor tegangan

$V_{sel\ surya}$	Sensor Tegangan	Hasil Pengukuran Tegangan
0-23V	$V_o = 0,22 \cdot V_{in}$ Tegangan keluaran: 0-5V	$V_o = \frac{\text{Nilai ADC}}{255} \cdot 23$ Tegangan keluaran: 0-23V

## BAB V

### PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dilakukan pada masing-masing blok kemudian secara keseluruhan.

Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pengujian sel surya
2. Pengujian rangkaian sensor tegangan
3. Pengujian rangkaian pembangkit sinyal dengan ICL8038
4. Pengujian rangkaian *driver* tegangan sinyal sinusoida
5. Pengujian rangkaian *driver* tegangan sinyal segitiga
6. Pengujian rangkaian *driver* tegangan sinyal kotak
7. Pengujian rangkaian *driver* arus
8. Pengujian keseluruhan sistem

#### 5.1 Pengujian Sel Surya

##### 5.1.1 Tujuan

Tujuan pengujian sel surya adalah untuk mengetahui arus *short circuit* ( $I_{SC}$ ) dan tegangan *open circuit* ( $V_{OC}$ ) yang dihasilkan sel surya. Pengujian dengan luxmeter juga dilakukan untuk mengetahui intensitas cahaya matahari saat pengujian dilakukan.

##### 5.1.2 Alat yang Digunakan

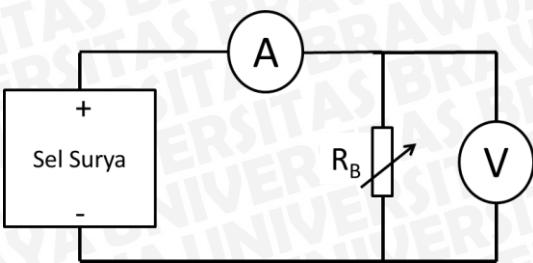
Alat yang digunakan dalam pengujian sel surya adalah sebagai berikut:

1. Sel surya 50 Wp tipe *polycrystalline*
2. Amperemeter analog
3. *Variable resistor*
4. Voltmeter

##### 5.1.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan mengukur arus *short circuit* ( $I_{SC}$ ) dan tegangan *open circuit* ( $V_{OC}$ ) yang dihasilkan sel surya dengan merangkai alat seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.1





Gambar 5. 1. Diagram blok pengujian sel surya

Pengukuran arus *short circuit* ( $I_{SC}$ ) dilakukan dengan cara mengatur nilai *variable* resistor hingga nilai resistansinya mendekati  $0\Omega$ , sedangkan pengukuran tegangan *open circuit* ( $V_{OC}$ ) dengan cara mengatur nilai *variable* resistor hingga nilai resistansinya sangat besar.

#### 5.1.4 Hasil Pengujian dan Analisis

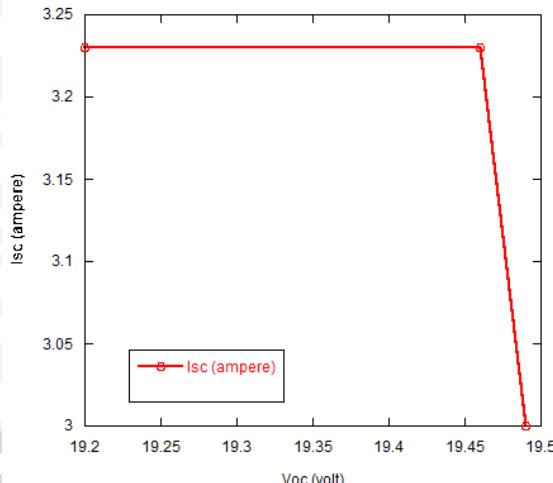
Kondisi saat pengujian sel surya dilakukan adalah sebagai berikut:

Tanggal	: 15 Maret 2014
Suhu lingkungan	: $25^{\circ}\text{C}$
Waktu	: 1-1.287 AM
Lokasi	: 7.949386 LS dan 112.611912 BT

Dari pengujian sel surya didapatkan arus *short circuit* ( $I_{SC}$ ) terbesar adalah 3,23A dan tegangan *open circuit* ( $V_{OC}$ ) maksimal sebesar 19,49V. Hasil pengukuran  $I_{SC}$  dan  $V_{OC}$  ditunjukkan dalam Tabel 5.1 dan Gambar 5.2.

Tabel 5. 1 Hasil pengujian sel surya

Waktu (WIB)	$V_{oc}$ (V)	$I_{sc}$ (A)	Intensitas Cahaya (lux)
10.00	19,20	3,23	87,200
11.00	19,46	3,23	94,300
12.00	19,49	3,00	76,300



Gambar 5. 2. Grafik pengujian sel surya

Pengujian yang telah dilakukan menghasilkan data performansi sel surya ditunjukkan dalam Tabel 5.2:

Tabel 5. 2. Data performansi sel surya

Parameter Sel Surya	Nilai Spesifikasi	Nilai Pengukuran
<i>Short Circuit Current</i> ( $I_{SC}$ )	3,12A	3,23A
<i>Open Circuit Voltage</i> ( $V_{OC}$ )	21,63V	19,49V

Hasil pengukuran menunjukkan perbedaan  $I_{SC}$  dan  $V_{OC}$  yang ada pada spesifikasi sel surya dengan hasil pengukuran. Nilai  $I_{SC}$  spesifikasi dengan  $I_{SC}$  pengukuran menghasilkan perbedaan arus sebesar 0,11A. Nilai tegangan *open circuit* ( $V_{OC}$ ) spesifikasi dengan tegangan *open circuit* ( $V_{OC}$ ) pengukuran menghasilkan perbedaan tegangan sebesar 2,14V. Hal ini disebabkan performansi sel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang diterima oleh sel surya.

## 5.2 Pengujian Sensor Tegangan

### 5.2.1 Tujuan

Pengujian sensor tegangan bertujuan untuk mengetahui apakah sensor tegangan dapat mengukur tegangan masukan antara 0-23V dengan tepat sehingga sensor tegangan dapat digunakan sebagai pengukur tegangan sel surya. Pengujian ini juga bertujuan untuk membandingkan tegangan hasil perhitungan dengan tegangan hasil pengukuran.



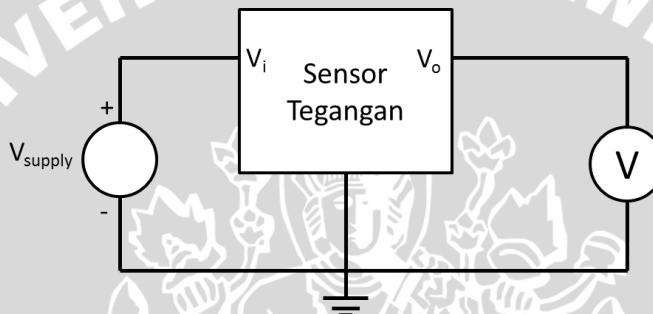
### 5.2.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian rangkaian sensor tegangan sel surya adalah:

1. *Power supply*
2. Sensor tegangan sel surya
3. Voltmeter

### 5.2.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan merangkai alat sesuai dengan diagram blok pengujian rangkaian seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.3.



Gambar 5. 3. Diagram blok pengujian rangkaian sensor tegangan

Menghidupkan *power supply* dan mengatur tegangan *power supply* dengan kenaikan sebesar 1V untuk setiap pengukuran tegangan keluaran hingga mencapai 23V. Mengukur tegangan keluaran sensor tegangan untuk setiap kenaikan tegangan masukan ( $V_{\text{supply}}$ ) menggunakan voltmeter.

### 5.2.1 Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian sensor tegangan adalah dengan membandingkan antara perhitungan dan pengukuran. Pengujian sensor tegangan menghasilkan *error rata-rata* yang didapat menggunakan Persamaan (5-2).

$$\text{Error}(\%) = \frac{|\text{Perhitungan} - \text{Pengukuran}|}{\text{Perhitungan}} \cdot 100\% \quad (5-1)$$

$$\text{error rata - rata}(\%) = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \text{Error}(\%)}{n} \quad (5-2)$$

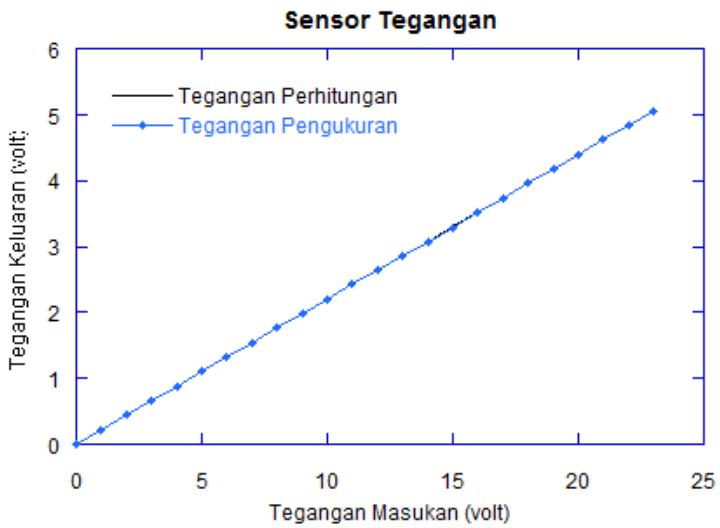
Pengujian rangkaian sensor tegangan menghasilkan data tegangan perhitungan ( $V_{\text{perhitungan}}$ ), tegangan pengukuran ( $V_{\text{pengukuran}}$ ), selisih  $V_{\text{perhitungan}}$  dan  $V_{\text{pengukuran}}$  dan persen *error* yang ditunjukkan dalam Tabel 5.3.



Tabel 5. 3 Hasil pengujian rangkaian sensor tegangan

Tegangan Masukan (V)	Tegangan Keluaran Perhitungan (V)	Tegangan Keluaran Pengukuran (V)	Selisih (V)	Error (%)
0	0	0	-	0
1	0.22	0.22	-	0
2	0.44	0.44	-	0
3	0.66	0.66	-	0
4	0.88	0.88	-	0
5	1.1	1.1	-	0
6	1.32	1.32	-	0
7	1.54	1.54	-	0
8	1.76	1.76	-	0
9	1.98	1.98	-	0
10	2.2	2.2	-	0
11	2.42	2.42	-	0
12	2.64	2.64	-	0
13	2.86	2.86	-	0
14	3.08	3.08	-	0
15	3.3	3.29	0.01	0.30
16	3.52	3.52	-	0
17	3.74	3.74	-	0
18	3.96	3.96	-	0
19	4.18	4.17	0.01	0.24
20	4.4	4.4	-	0
21	4.62	4.62	-	0
22	4.84	4.84	-	0
23	5.06	5.06	-	0

Berdasarkan data dalam Tabel 5.3 dapat diketahui bahwa perancangan sensor tegangan ini memberikan selisih terbesar antara  $V_{\text{perhitungan}}$  dengan  $V_{\text{pengukuran}}$  adalah sebesar 0,01V yaitu saat tegangan masukan 15V dan 19V dan rata-rata *error* sensor adalah sebesar 0,02%. Dari data tersebut juga diperoleh grafik  $V_{\text{perhitungan}}$  dengan  $V_{\text{pengukuran}}$  seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.4.



Gambar 5. 4. Grafik pengujian rangkaian sensor tegangan

Sensor tegangan telah bekerja sesuai dengan perancangan dan 91,3% pengukuran oleh sensor tegangan sesuai dengan perhitungan sehingga dapat digunakan sebagai pengukur tegangan sel surya.

### 5.3 Pengujian Pembangkit Sinyal dengan ICL8038

#### 5.3.1 Tujuan

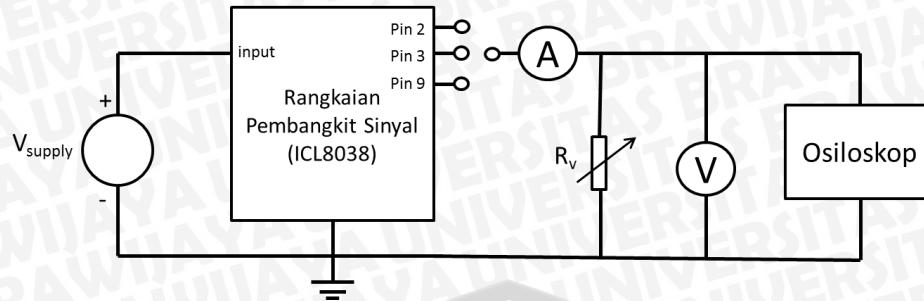
Pengujian pembangkit sinyal dengan ICL8038 bertujuan untuk mengetahui tegangan dan arus keluaran sinyal sinusoida, sinyal segitiga dan sinyal kotak pada ICL8038. Parameter lain yang diukur dalam pengujian ini adalah frekuensi sinyal keluaran dan bentuk sinyal yang dihasilkan.

#### 5.3.2 Alat yang Digunakan

1. Rangkaian pembangkit sinyal dengan ICL8038
2. *Power supply*
3. Voltmeter
4. Amperemeter
5. Osiloskop digital

#### 5.3.3 Prosedur Pengujian

Pengujian rangkaian pembangkit sinyal ICL8038 dilakukan dengan merangkai alat seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.5.



Gambar 5. 5. Rangkaian Pengujian ICL8038

Kemudian tegangan masukan dari *power supply* diatur dengan kenaikan tegangan sebesar 2V dari tegangan 10V sampai 22V setiap kali pengukuran dilakukan.

Menghubungkan pin 2 ICL8038 dengan amperemeter, voltmeter dan osiloskop untuk mengetahui tegangan dan arus sinyal sinusoida. Menghubungkan pin 3 ICL8038 dengan amperemeter, voltmeter dan osiloskop untuk mengetahui tegangan dan arus sinyal segitiga. Menghubungkan pin 9 ICL8038 dengan amperemeter, voltmeter dan osiloskop untuk mengetahui tegangan dan arus sinyal kotak.

### 5.3.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Secara keseluruhan hasil pengujian rangkaian ICL8038 sudah dapat diketahui melalui osiloskop. Rangkaian pembangkit sinyal yang diterapkan sesuai perancangan telah mampu menghasilkan sinyal sinusoida, sinyal segitiga dan sinyal kotak dengan frekuensi 50 hingga 52Hz. Bentuk sinyal sinusoida, sinyal segitiga dan sinyal kotak pada osiloskop juga memiliki *duty cycle* sebesar 50%.

#### Sinyal Sinusoida

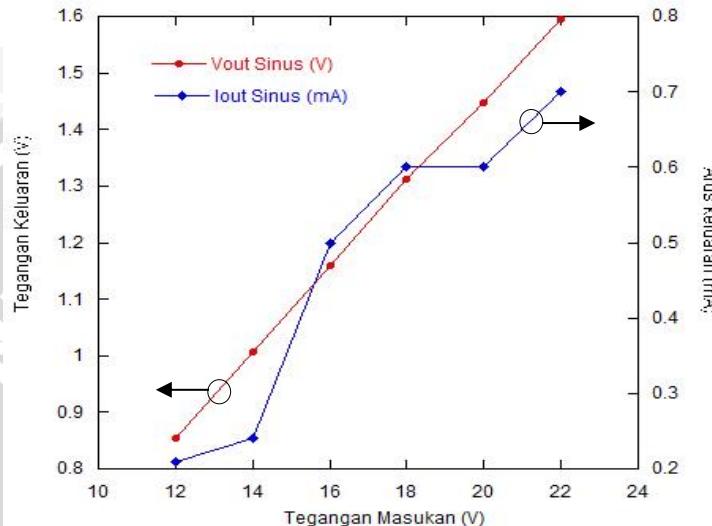
Pengujian sinyal sinusoida menghasilkan nilai tegangan keluaran ( $V_{rms}$ ) sinyal sinusoida adalah sebesar 0.86-1.59V dan arus keluaran sebesar 0,21-0,70mA. Data pengukuran tegangan dan arus sinyal sinusoida ditunjukkan dalam Tabel 5.4.

Tabel 5. 4 Hasil pengukuran sinyal sinusoida ICL8038

$V_{in}$ (V)	$V_{out}$ (V)	$I_{out}$ (mA)
12	0.86	0.21
14	1.01	0.24
16	1.16	0.50
18	1.31	0.60

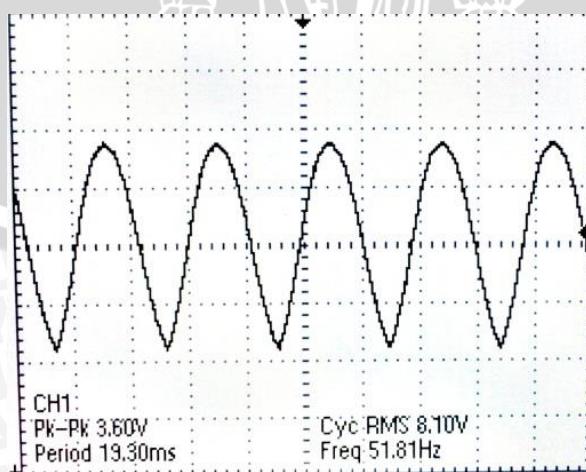
20	1.45	0.60
22	1.59	0.70

Dari data pengukuran tersebut didapatkan hubungan antara tegangan keluaran ( $V_{out}$ ) terhadap tegangan masukan ( $V_{in}$ ) yang linier, begitu pula arus keluarannya ( $I_{out}$ ) yang sebanding dengan  $V_{out}$ . Gambar 5.6 menunjukkan grafik karakteristik tegangan dan arus keluaran pembangkit sinyal sinusoida.



Gambar 5. 6. Grafik Tegangan dan Arus Keluaran Sinyal Sinusoida

Pengamatan sinyal juga dilakukan melalui osiloskop untuk mengetahui bentuk dan frekuensi sinyal sinusoida yang dihasilkan oleh ICL8038. Melalui osiloskop dapat diketahui sinyal sinuosa yang dihasilkan telah memiliki *duty cycle* sebesar 50% dan frekuensi sinyal antara 50 hingga 52Hz. Bentuk sinyal sinusoida keluaran ICL8038 dan frekuensi sinyal ditunjukkan dalam Gambar 5.7.



Gambar 5. 7. Sinyal sinusoida ICL8038

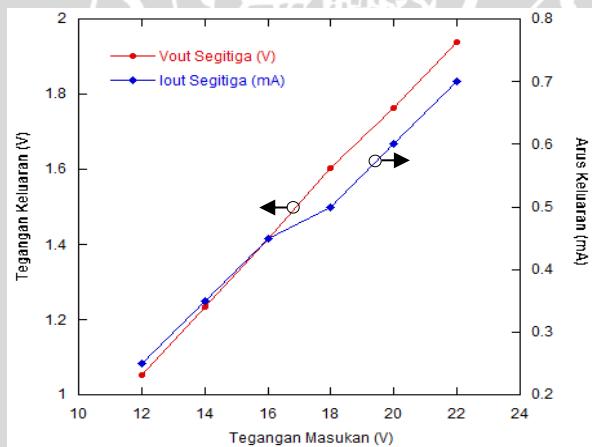
## Sinyal Segitiga

Pengujian sinyal segitiga menghasilkan nilai tegangan keluaran ( $V_{rms}$ ) sinyal segitiga adalah sebesar 1.05-1.94V dan arus keluaran sebesar 0.25-0,70mA. Data pengukuran tegangan dan arus sinyal segitiga ditunjukkan dalam Tabel 5.5.

Tabel 5. 5 Hasil pengukuran sinyal segitiga ICL8038

$V_{in}$ (V)	$V_{out}$ (V)	$I_{out}$ (mA)
12	1.05	0.25
14	1.23	0.35
16	1.42	0.45
18	1.60	0.50
20	1.76	0.60
22	1.94	0.70

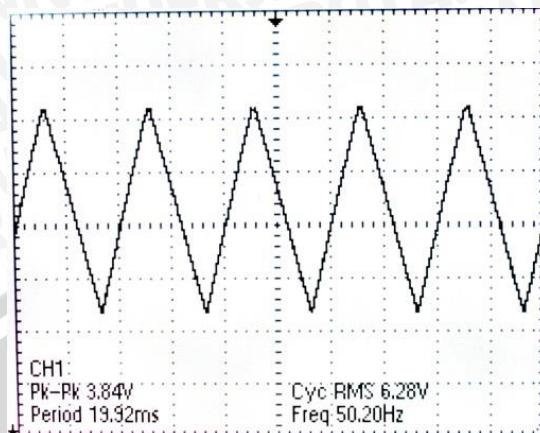
Dari data pengukuran berupa tabel tersebut didapatkan hubungan antara tegangan keluaran ( $V_{out}$ ) terhadap tegangan masukan ( $V_{in}$ ) yang linier, begitu pula arus keluarannya ( $I_{out}$ ) yang sebanding dengan  $V_{out}$ . Gambar 5.8 menunjukkan grafik karakteristik tegangan dan arus keluaran pembangkit sinyal segitiga.



Gambar 5. 8. Grafik Tegangan dan Arus Keluaran Sinyal Segitiga

Pengamatan sinyal juga dilakukan melalui osiloskop untuk mengetahui bentuk dan frekuensi sinyal segitiga yang dihasilkan oleh ICL8038. Melalui osiloskop sinyal segitiga yang dihasilkan telah memiliki *duty cycle* sebesar 50% dan frekuensi sinyal antara 50 hingga 52Hz. Nilai tegangan, arus dan frekuensi keluaran sinyal segitiga mendekati nilai tegangan, arus dan frekuensi sinyal sinusoida. Hal tersebut disebabkan sinyal sinusoida pada ICL8038 merupakan hasil konversi dari sinyal segitiga ke bentuk

sinusoida. Bentuk sinyal segitiga keluaran ICL8038 dan frekuensi sinyalnya ditunjukkan dalam Gambar 5.9.



Gambar 5. 9. Sinyal segitiga ICL8038

### Sinyal kotak

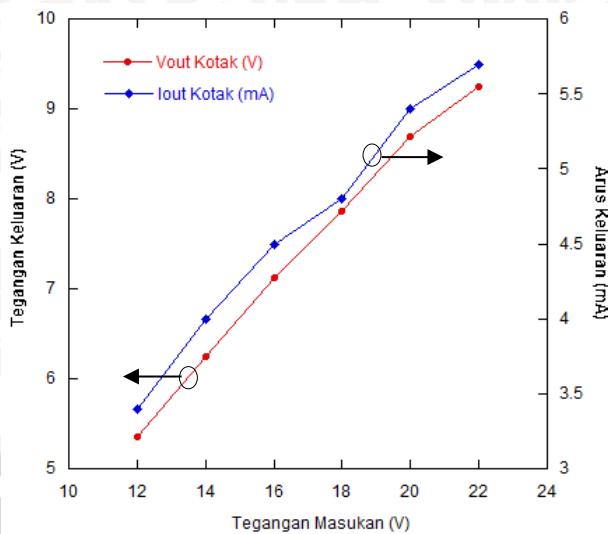
Pengujian sinyal kotak menghasilkan tegangan keluaran ( $V_{rms}$ ) sinyal kotak adalah antara 5,36-9,24V dan arus keluaran antara 3,4-5,7mA. Data pengukuran tegangan dan arus sinyal kotak ditunjukkan dalam Tabel 5.6.

Tabel 5. 6 Hasil pengukuran sinyal kotak ICL8038

$V_{in}$ (V)	$V_{out}$ (V)	$I_{out}$ (mA)
12	5.36	3.4
14	6.25	4.0
16	7.12	4.5
18	7.86	4.8
20	8.70	5.4
22	9.24	5.7

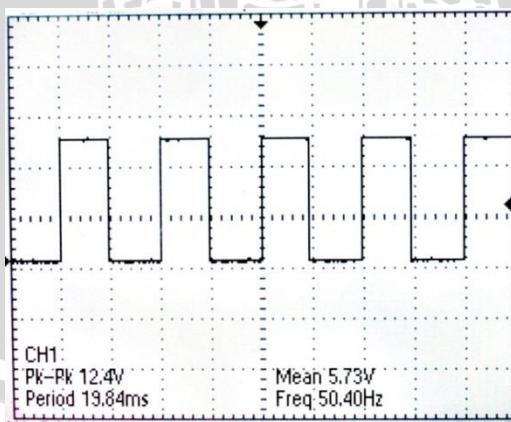
Dari data pengukuran berupa tabel tersebut didapatkan hubungan antara tegangan keluaran ( $V_{out}$ ) terhadap tegangan masukan ( $V_{in}$ ) yang linier, begitu pula arus keluarannya ( $I_{out}$ ) yang sebanding dengan  $V_{out}$ . Gambar 5.10 menunjukkan grafik karakteristik tegangan dan arus keluaran pembangkit sinyal kotak.





Gambar 5. 10. Grafik Tegangan dan Arus Keluaran Sinyal Kotak

Pengamatan sinyal juga dilakukan melalui osiloskop untuk mengetahui bentuk dan frekuensi sinyal kotak yang dihasilkan oleh ICL8038. Melalui osiloskop sinyal kotak yang dihasilkan telah memiliki *duty cycle* sebesar 50% dan frekuensi sinyal antara 50 hingga 52Hz. Nilai tegangan dan arus keluaran sinyal kotak ICL8038 memiliki nilai terbesar jika dibandingkan dengan tegangan dan arus keluaran sinyal sinusoida dan segitiga. Hal tersebut sesuai dengan karakteristik tegangan keluaran sinyal kotak yang terdapat di dalam *datasheet* ICL8038 yaitu tegangan keluaran sinyal kotak mendekati nilai  $V_{CC}$ . Bentuk sinyal kotak keluaran ICL8038 dan frekuensi sinyal kotak ditunjukkan dalam Gambar 5.11.



Gambar 5. 11. Sinyal kotak ICL8038

Berdasarkan seluruh hasil pengujian rangkaian pembangkit sinyal dengan ICL8038 diperoleh kesimpulan bahwa sinyal sinusoida dan segitiga memiliki karakteristik tegangan dan arus sinyal yang hampir sama. Sinyal dengan nilai tegangan dan arus keluaran terendah adalah sinyal sinusoida yaitu  $V_{out} = 1,59V$  dan  $I_{out} =$

0,70mA. Sinyal dengan tegangan dan arus keluaran yang terbesar adalah sinyal kotak yaitu  $V_{out} = 9,24V$  dan  $I_{out} = 5,7mA$ . Frekuensi sinyal yang dihasilkan oleh rangkaian pembangkit sinyal ICL8038 berada pada rentang 50-52Hz, tetapi sinyal yang dihasilkan telah memiliki *duty cycle* sebesar 50%.

#### 5.4 Pengujian Rangkaian *Driver* Tegangan Sinyal Sinusoida

##### 5.4.1 Tujuan

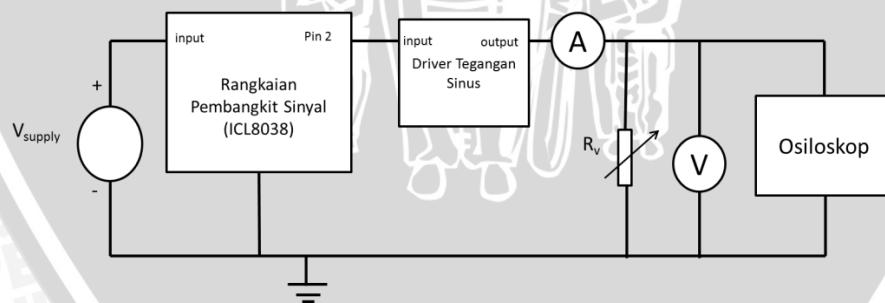
Pengujian rangkaian *driver* tegangan sinyal sinusoidea bertujuan untuk mengetahui penguatan tegangan yang dihasilkan oleh *driver* tegangan sinyal sinusoidea, bentuk sinyal dan frekuensi yang dihasilkan.

##### 5.4.2 Alat yang Digunakan

1. Rangkaian *driver* tegangan sinyal sinusoidea
2. *Power supply*
3. *Variable resistor*
4. Voltmeter
5. Amperemeter

##### 5.4.3 Prosedur Pengujian

Pengujian rangkaian *driver* tegangan sinusoidea dengan cara merangkai alat seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.12.



Gambar 5. 12. Rangkaian Pengujian *Driver* Tegangan Sinusoida

Menghidupkan *power supply* dan atur tegangan *power supply* sebesar 12V. Mengukur arus keluaran *driver* sinyal sinusoidea menggunakan amperemeter dengan mengatur resistansi *variable resistor* mendekati nilai  $0\Omega$ . Melepas *variable resistor* dan amperemeter, hubungkan *output driver* dengan voltmeter untuk mengetahui tegangan keluaran *driver* dan osiloskop untuk mengetahui bentuk sinyal dan frekuensi sinyal.

Mengulangi langkah tersebut dengan mengatur kenaikan tegangan *power supply* sebesar 2V dari tegangan 12V-22V.

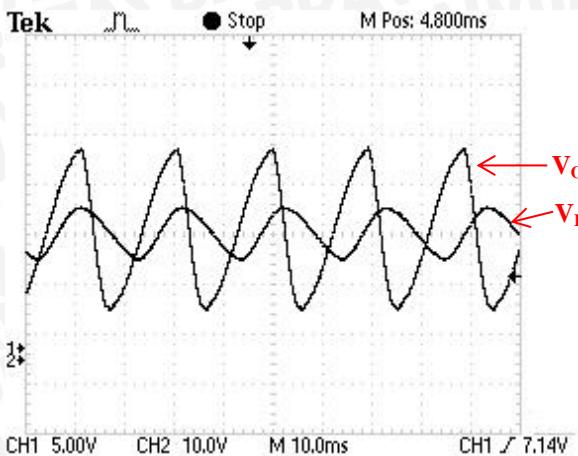
#### 5.4.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian berdasarkan rangkaian pengujian *driver* tegangan sinyal sinuosa didapatkan hasil perbandingan antara tegangan masukan dan tegangan keluaran *driver* tegangan sinyal sinusoida. Tabel 5.7 menunjukkan data pengukuran tegangan masukan dan tegangan keluaran *driver* tegangan sinyal sinusoida.

Tabel 5.7 Data pengukuran tegangan keluaran *driver* tegangan sinusoida

$V_{\text{supply}}$ (volt)	Tegangan Masukan (volt)	Tegangan Keluaran (volt)
12	0,86	8,36
14	1,01	9,83
16	1,16	11,2
18	1,31	12,9
20	1,45	14,2
22	1,59	15,6

Melalui data pengukuran dapat disimpulkan bahwa penguatan (*gain*) tegangan keluaran terhadap masukan sesuai perhitungan yaitu hingga 10x. Tegangan keluaran 15V didapatkan dengan memberikan  $V_{\text{supply}}$  sebesar 22V. Penguatan transistor *common-emitter* memberikan penguatan melebihi  $V_{\text{CC}}$  sehingga menyebabkan bentuk keluaran sinyal terpotong, agar sinyal sinusoida keluaran tidak terpotong digunakan kapasitor untuk mempertahankan bentuk sinyal sinusoida dan penguatan difrensial dasar untuk mengatur amplitudo keluaran sinyal sinusoida. Hasil perbandingan sinyal masukan dan sinyal keluaran *driver* tegangan sinyal sinusoida dari osiloskop ditunjukkan dalam Gambar 5.13.



Gambar 5. 13. Perbandingan sinyal masukan dan keluaran *driver* tegangan sinusoida

Bentuk sinyal sinusoida mengalami pergeseran fasa sebesar  $90^\circ$  dari sinyal masukannya, hal ini disebabkan pengaruh penguat yang digunakan. Pada penguat transistor, keluaran sinyal sinusoida didapatkan dari kaki kolektor transistor yang menyebabkan keluaran sinyal berbeda fasa sebesar  $180^\circ$  dengan masukan, adanya kapasitor menyebabkan pergeseran fasa  $90^\circ$  dan kemudian sinyal sinusoida masuk kaki *inverting* op-amp sehingga fasa berbalik  $180^\circ$ . Pengamatan terhadap frekuensi sinyal sinusoida menunjukkan tidak ada perbedaan nilai frekuensi setelah sinyal dikuatkan.

## 5.5 Pengujian Rangkaian *Driver* Tegangan Sinyal Segitiga

### 1.5.1 Tujuan

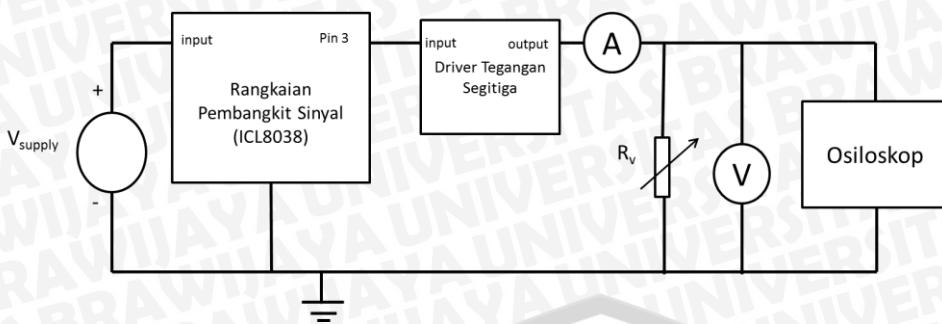
Pengujian rangkaian *driver* tegangan sinyal segitiga bertujuan untuk mengetahui penguatan tegangan yang dihasilkan oleh *driver* tegangan sinyal segitiga, bentuk sinyal dan frekuensi yang dihasilkan.

### 1.5.2 Alat yang Digunakan

1. Rangkaian *driver* tegangan sinyal segitiga
2. *Power supply*
3. *Variable resistor*
4. Voltmeter
5. Amperemeter

### 1.5.3 Prosedur Pengujian

Pengujian *driver* tegangan sinyal segitiga dilakukan dengan merangkai alat seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.14.



Gambar 5. 14. Rangkaian pengujian *driver* tegangan sinyal segitiga

Menghidupkan *power supply* dan mengatur tegangan *power supply* sebesar 12V. Mengukur arus keluaran *driver* sinyal segitiga menggunakan amperemeter dengan mengatur resistansi *variable* resistor mendekati nilai  $0\Omega$ . Melepas *variable* resistor dan amperemeter, kemudian menghubungkan *output* *driver* dengan voltmeter untuk mengetahui tegangan keluaran *driver* dan osiloskop untuk mengetahui bentuk sinyal dan frekuensi sinyal. Mengulangi langkah tersebut dengan mengatur kenaikan tegangan *power supply* sebesar 2V dari tegangan 12V-22V.

#### 1.5.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian rangkaian *driver* tegangan sinyal segitiga didapatkan hasil perbandingan antara tegangan masukan dan tegangan keluaran *driver* tegangan. Tabel 5.8 menunjukkan data pengukuran tegangan masukan dan keluaran pada *driver* tegangan sinyal segitiga.

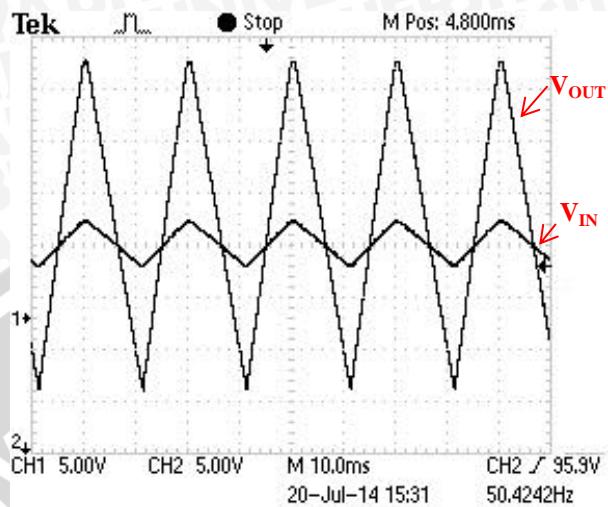
Tabel 5. 8 Data pengukuran tegangan keluaran *driver* tegangan segitiga

$V_{\text{supply}}$ (volt)	Tegangan Masukan (volt)	Tegangan Keluaran (volt)
12	1,05	8,46
14	1,23	9,85
16	1,42	11,2
18	1,60	12,6
20	1,76	14,1
22	1,94	15,4

Melalui data pengukuran dapat disimpulkan bahwa penguatan (*gain*) tegangan keluaran terhadap masukan sesuai perhitungan yaitu hingga 7,8x. Dengan memberikan



$V_{\text{supply}}$  sebesar 22V telah didapatkan tegangan AC sinyal segitiga sebesar 15,4V. Hasil perbandingan sinyal masukan dan sinyal keluaran *driver* tegangan segitiga ditunjukkan dalam Gambar 5.15.



Gambar 5. 15. Perbandingan sinyal masukan dan keluaran *driver* tegangan segitiga

Penguat differensial dasar merupakan penguat yang baik untuk sinyal segitiga. Penguatan terbesar dengan bentuk sinyal segitiga paling baik adalah ketika nilai  $R_1 = 129,33\Omega$  dan  $R_2 = 1k\Omega$  melebihi nilai resistansi tersebut sinyal segitiga akan terpotong. Terlihat melalui osiloskop bahwa sinyal segitiga tidak mengalami perbedaan fasa dengan sinyal masukan dan frekuensi yang tidak berubah dari frekuensi sinyal masukan.

## 5.5 Pengujian Rangkaian *Driver* Tegangan Sinyal Kotak

### 5.6.1 Tujuan

Pengujian rangkaian *driver* tegangan sinyal kotak bertujuan untuk mengetahui penguatan tegangan yang dihasilkan oleh *driver* tegangan sinyal kotak, bentuk sinyal dan frekuensi yang dihasilkan.

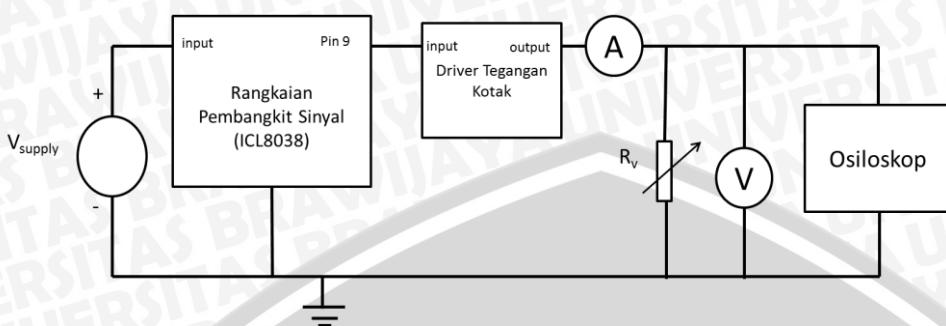
### 5.6.2 Alat yang Digunakan

1. Rangkaian *driver* tegangan sinyal kotak
2. *Power supply*
3. *Variable resistor*
4. Voltmeter
5. Amperemeter



### 5.6.3 Prosedur Pengujian

Pengujian *driver* tegangan sinyal kotak dilakukan dengan prosedur seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.16.



Gambar 5. 16. Rangkaian pengujian *driver* tegangan sinyal kotak

Menghidupkan *power supply* dan mengatur tegangan *power supply* sebesar 12V dan untuk setiap pengukuran tegangan dan arus *power supply* diatur dengan kenaikan sebesar 2V hingga mencapai 22V.

Pengukuran arus keluaran *driver* sinyal kotak menggunakan amperemeter dengan cara mengatur resistansi *variable* resistor mendekati nilai  $0\Omega$ . Pengukuran tegangan *driver* tegangan sinyal kotak dilakukan dengan cara melepas *variable* resistor dan amperemeter, kemudian menghubungkan *output driver* dengan voltmeter untuk mengetahui tegangan keluaran *driver* dan osiloskop untuk mengetahui bentuk sinyal dan frekuensi sinyal.

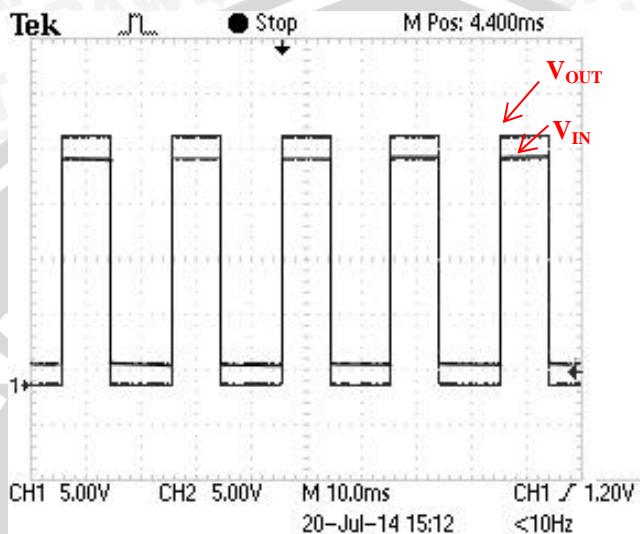
### 5.6.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Dari pengujian *driver* tegangan sinyal kotak didapatkan hasil perbandingan antara tegangan masukan dan tegangan keluaran *driver* tegangan kotak. Tabel 5.9 menunjukkan data pengukuran tegangan masukan dan tegangan keluaran *driver* tegangan sinyal kotak.

Tabel 5. 9 Data pengukuran tegangan keluaran *driver* tegangan kotak

$V_{\text{supply}}$ (volt)	Tegangan Masukan (volt)	Tegangan Keluaran (volt)
12	5,36	11,1
14	6,25	11,1
16	7,12	11,1
18	7,86	11,1
20	8,70	11,1

Pengukuran rangkaian *driver* tegangan kotak yang berupa komparator menghasilkan tegangan keluaran sinyal kotak dengan tegangan keluaran positif sebesar 11,1V selama  $V_{ref}$  kurang dari  $V_{in}$  dan  $V_{supply}$  lebih dari 10V. Hasil perbandingan sinyal masukan dan sinyal keluaran *driver* tegangan ditunjukkan dalam Gambar 5.17.



Gambar 5. 17. Perbandingan sinyal masukan dan keluaran *driver* tegangan kotak

Tegangan keluaran *driver* kotak tidak dapat mencapai 15V meskipun masukan tegangan kotak merupakan masukan dengan nilai tegangan paling besar dari rangkaian pembangkit sinyal ICL8038. Hal ini disebabkan tipe IC op-amp yang digunakan sebagai komparator yaitu UA741 memiliki kondisi ideal *maximum output voltage* sebesar 14V.

## 5.6 Pengujian *Driver* Arus

### 5.7.1 Tujuan

Pengujian *driver* arus yang terdiri dari transistor pasangan Darlington bertujuan untuk mengetahui besar penguatan arus keluaran sinyal terhadap arus masukan sinyal, bentuk dan frekuensi sinyal keluaran.

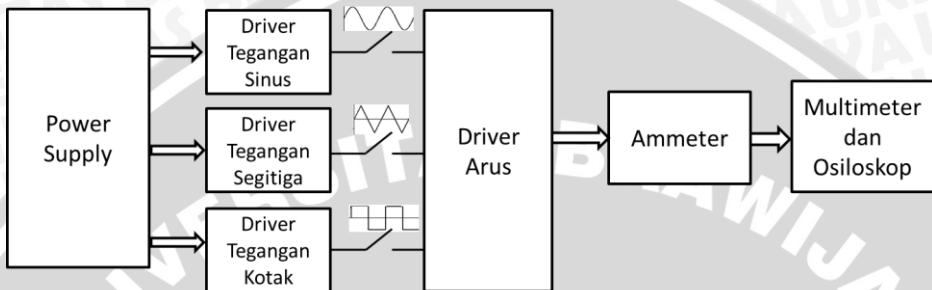
### 5.7.2 Alat yang Digunakan

1. *Power supply*
2. Rangkaian pembangkit sinyal ICL8038
3. Rangkaian *driver* tegangan sinyal sinusoida, segitiga dan kotak
4. Rangkaian *driver* arus sinyal
5. Voltmeter

6. Amperemeter
7. Osiloskop

### 5.7.3 Prosedur Pengujian

Pengujian rangkaian *driver* arus dilakukan dengan cara merangkai alat seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.18.



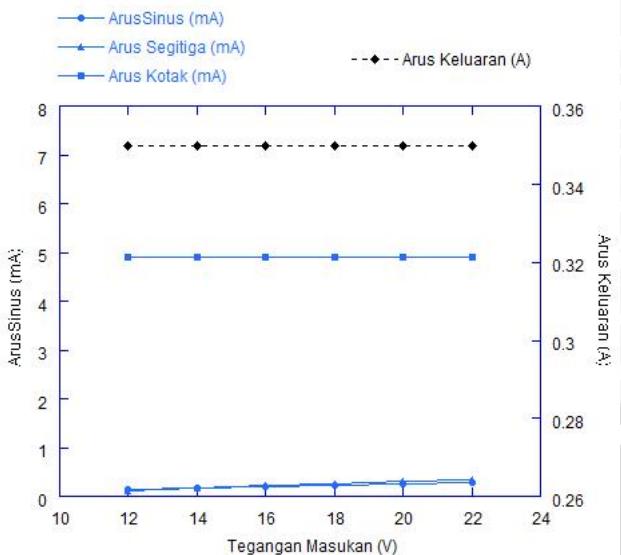
Gambar 5. 18. Rangkaian pengujian driver arus

Kemudian menghubungkan salah satu sinyal keluaran *driver* tegangan sebagai masukan *driver* arus secara bergantian. Mengatur tegangan *power supply* sebesar 12V untuk pengukuran pertama dan untuk setiap pengukuran  $V_{OC}$  dan  $I_{SC}$  tegangan *power supply* diatur dengan kenaikan sebesar 2V hingga mencapai 22V.

Pengukuran arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ) *driver* arus menggunakan amperemeter dengan cara mengatur resistansi *variable resistor* mendekati nilai  $0\Omega$ . Pengukuran tegangan *driver* arus dilakukan dengan cara melepas *variable resistor* dan menghubungkan keluaran *driver arus* dengan voltmeter dan osiloskop secara paralel.

### 5.7.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian *driver* arus menghasilkan arus keluaran sebesar 0,35A baik untuk sinyal sinusoida, segitiga dan kotak. Rangkaian transistor pasangan Darlington sebagai *driver* arus hanya mampu memberikan penguatan arus maksimum hingga 1667 kali, yaitu saat sinyal sinusoida dengan  $V_{supply}$  sebesar 12V dan arus sebesar 0,21mA. Grafik hasil penguatan arus sinyal sinusoida, sinyal segitiga dan kotak ditunjukkan dalam Gambar 5.19.



Gambar 5. 19. Hasil perbandingan arus masukan dan arus keluaran sinyal

Penguatan arus transistor Darlington sangat dipengaruhi oleh besarnya  $I_b$  dan  $I_c$  yang masuk ke dalam rangkaian. Penguatan arus maksimal hanya mencapai 0,35A karena arus  $I_c$  dari  $V_{CC}$  yang berupa *power supply* sebesar 0,35A dan nilai  $I_b$  yang kecil.

## 5.7 Pengujian Keseluruhan Sistem

### 5.8.1 Tujuan

Pengujian keseluruhan sistem bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem secara keseluruhan telah bekerja sesuai dengan peracangan yang telah dilakukan.

### 5.8.2 Alat yang Digunakan

1. Sel surya 50Wp tipe *polycrystalline*
2. Rangkaian sensor tegangan
3. Rangkaian pembangkit sinyal ICL8038
4. Rangkaian *driver* tegangan sinyal sinusoida, segitiga dan kotak
5. Rangkaian *driver* arus
6. Rangkaian LCD
7. Rangkaian sistem minimum *microcontroller* ATMEGA16
8. *Transformator*
9. Voltmeter

### 5.8.3 Prosedur Pengujian

Parameter yang diuji adalah tegangan keluaran pada sisi sekunder *transformator* dengan masukan di sisi primer *transformastor* berupa sinyal sinusoida, sinyal segitiga dan sinyal kotak keluaran *driver arus*. Pengujian dilakukan cara merangkai seluruh bagian sistem sesuai dengan diagram blok perancangan alat seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.1. Kemudian mengukur tegangan antara titik 0V dan 220V sisi sekunder *transformator* dengan memilih masukan sinyal sinusoida, sinyal segitiga dan sinyal kotak secara bergantian.

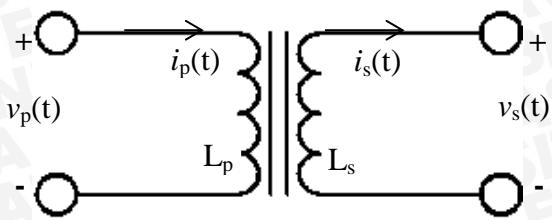
### 5.8.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian keseluruhan sistem yang diperoleh dari keluaran rangkain driver arus dihubungkan ke masukan *transformator step up* 2 ampere di titik 15V dan keluaran pada *transformator* diambil dari titik 220V menghasilkan tegangan keluaran AC seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Hasil pengukuran tegangan *transformator*

Jenis Sinyal	Tegangan Masukan (V)	Tegangan Keluaran (V)
Sinyal Sinusoida	15,6	95,5
Sinyal Segitiga	15,4	91,2
Sinyal Kotak	11,1	152

Dibandingkan tegangan keluaran sinyal sinusoida dan sinyal segitiga, sinyal kotak menghasilkan tegangan keluaran AC dengan nilai terbesar yaitu 152V walaupun nilai tegangan masukannya paling rendah. Tegangan keluaran sinyal dari *transformator* tidak dapat mencapai tegangan 220V karena dipengaruhi oleh efisensi *transformator* dalam perancangan yang tidak ideal. Selain itu sinyal yang dihasilkan rangkaian adalah saat siklus positif sehingga belum bisa menghasilkan sinyal AC murni. Untuk menghasilkan sinyal sinusoida murni memerlukan arus yang memiliki nilai bolak balik dan berubah terhadap waktu.



Gambar 5. 20 Rangkaian ekivalen *transformator*

Sesuai dengan perhitungan transformator yang jumlah lilitan pada kumparan primer dan sekundernya diasumsikan sama yaitu:

$$v_p(t) = L_p \frac{di}{dt} \text{ dan } v_s(t) = L_s \frac{di}{dt}$$

Jika diketahui  $i_p(t) = 1 + \sin \omega t$ ,  $\omega = 2\pi f$  dan  $f = 50\text{Hz}$

$$v_p(t) = L_p \frac{d(1 + \sin \omega t)}{dt}$$

$$v_p(t) = \omega L_p \cos \omega t$$

$$\text{Sehingga, } v_s(t) = \omega L_s \cos \omega t$$

Saat  $t = 0$

$$v_p(t) = 314 L_p \cos 0^\circ = 314 L_p$$

Tegangan keluaran berupa tegangan positif

Saat  $t = 20$

$$v_p(t) = 314 L_p \cos 6280^\circ = -314 L_p$$

Tegangan keluaran berupa tegangan negatif

Perubahan arus terhadap waktu menyebabkan tegangan *transformator* menjadi sinyal sinusoida murni. Sehingga keluaran *driver* arus memerlukan desain yang dapat menghasilkan arus bolak balik yaitu saat siklus positif dan negatif.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian tiap bagian dan keseluruhan sistem yang telah dilaksanakan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan *inverter* 15 volt DC ke 220 volt AC terdiri dari rangkaian sensor tegangan, rangkaian pembangkit sinyal ICL8038, *driver* tegangan dan *driver* arus. Rangkaian ICL8038 mampu menghasilkan tiga sinyal keluaran, yaitu sinyal sinusoida, sinyal segitiga, dan sinyal kotak dengan frekuensi yang dapat diatur tanpa menggunakan filter. Frekuensi sinyal yang dihasilkan sebesar 50-52Hz.
2. Perancangan sistem *monitoring* proteksi pada *Single Point Smart Grid* menggunakan sensor tegangan untuk mengukur tegangan sel surya. Sensor tegangan sel surya memiliki *error* rata-rata sebesar 0,22% dengan perbedaan tegangan keluaran antara perhitungan dan pengukuran paling besar adalah 0,01V.
3. Perbedaan konversi tegangan sinyal pada *inverter* memberikan keluaran: *driver* tegangan sinyal sinusoida, sinyal segitiga, dan sinyal kotak menghasilkan tegangan rms sebesar 15,6V, 15,4V dan 11,1V. *Driver* arus sinyal sinusoida, sinyal segitiga, dan sinyal kotak mampu mengeluarkan  $I_{SC}$  rata-rata sebesar 0,35A. Perancangan *inverter* telah mampu menghasilkan tegangan keluaran dari sinyal sinusoida sebesar 95,5V, sinyal segitiga sebesar 91,2V dan sinyal kotak sebesar 152V.

#### 6.2 Saran

Saran-saran dalam pengimplementasian maupun peningkatan unjuk kerja sistem ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Sistem yang dihasilkan belum bisa menghasilkan sinyal AC sinusoida murni sehingga dapat dikembangkan dengan memperhatikan siklus positif dan negatif sinyal .
2. Sistem ini dapat dikembangkan dengan memperhatikan efisiensi *transformator*, melakukan perhitungan lilitan dan membuat *transformator* yang dapat menghasilkan sinyal 220V dengan masukan 15V.

## DAFTAR PUSTAKA

- ABB. 2009. "When Grids Get Smart". Germany: Power Technologies.
- Atmel. *Datasheet ATMega 16*. <http://alldatasheet.com>. Diakses tanggal 22 Februari 2014.
- Bishop, Owen. 2006. *Dasar-dasar Elektronika*. Jakarta: Erlangga.
- BMKG. 2009. *Laporan Analisa Lingkungan Indonesia: Energi dan Perubahan Iklim*. Ciputat: BMKG.
- Bouzguenda, M., A. Gastli, dkk. 2011. *Solar Photovoltaic Inverter Requirements for Smart Grid Applications*. Innovative Smart Grid Technologies - Middle East (ISGT Middle East: 1-5. Jeddah: IEEE.
- Doucet, Jim, dkk. 2007. *DC/AC Pure Sine Wave Inverter*. Worcester: Worcester Polytechnic Institute.
- Durham, Marcus O. 2006. *Electrical Power Concepts*. United States of America: Theway Corp.
- Ekanayake, Janaka, dkk. 2012. *SMART GRID: Technology and Applications*. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.
- Energy Matter. 2012. *Micro, String And Central Inverters*. <http://www.energymatters.com.au/renewable-energy/inverters/micro-string-central-inverters.php>. Diakses tanggal 20 April 2014.
- EBTKE (Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konversi Energi). 2013. *Strategi Pengembangan Energi Baru Terbarukan*. <http://www.ebtke.esdm.go.id/en/berita/865-strategi-pengembangan-energi-baru-terbarukan.html>. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Diakses tanggal 22 Februari 2014.
- Giesselman, Michael. 2002. *The Power Electronics Handbook*. Dalam J. David Irwin (Ed.). Inverters (hlm. 193-199). Florida: CRC Press.
- Hambley, Allan R. 2011. *ELECTRICAL ENGINEERING: Principles and Applications*. New Jersey: Pearson Education Inc.
- Hardin, Dave. 2011. *Smart Grid and Dynamic Power Management, Energy Management Systems*. Dalam Dr Giridhar Kini (Ed.). USA: EnerNOC.
- Karpati, Attila. 2002. *The Power Electronics Handbook*. Dalam J. David Irwin (Ed.). DC-AC Conversion (hlm. 200-216). Florida: CRC Press.
- Leeds, David J. 2009. *THE SMART GRID IN 2010: Market Segments, Applications and Industry Players*. Massachusetts: Greentech Media Inc.



- Intersil. 1998. *ICL8038 Datasheet*. <http://alldatasheet.com>. Diakses tanggal 22 Februari 2014.
- Mehta, Shyam. 2011. *State of Solar Union, Presents and Future*. IEEE Power and Energy Magazine: 92-94.
- Messenger, Roger. 2002. *The Power Electronics Handbook*. Dalam J. David Irwin (Ed.). Photovoltaic Cells and Systems (hlm. 533-542). Florida: CRC Press.
- Momoh, James A. 2012. *SMART GRID: Fundamentals of Design and Analysis*. Institute of Electrical and Electronics Engineering (IEEE) Press. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Mukund, Patel. 2006. *Wind and Solar Power System*. New York: CRC.
- Nejad, Mohsen Fadee., Amin Mohammad Saberian, dkk. 2013. *Application of Smart Power Grid in Developing Countries*. Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO): 427-431. Langkawi: IEEE.
- Surjono, Herman Dwi. 2008. *Elektronika Analog*. Jember: Cerdas Ulet Kreatif.
- Tang, Grace Q. 2011. *Smart Grid Management & Visualization: Smart Power Management System*. Emerging Technologies for a Smarter World (CEWIT): 1-6. New York: IEEE.
- Xiamen Amotec Display Co.,LTD. 2008. *Specifications of LCD Module*.
- Yuliarto, Brian. 2012. *Energi Surya: Alternatif Sumber Energi Masa Depan di Indonesia*. <http://www.alpensteel.com/article/46-102-energi-matahari-surya-solar/2184>. Diakses tanggal 29 Juli 2014.



## **LAMPIRAN**

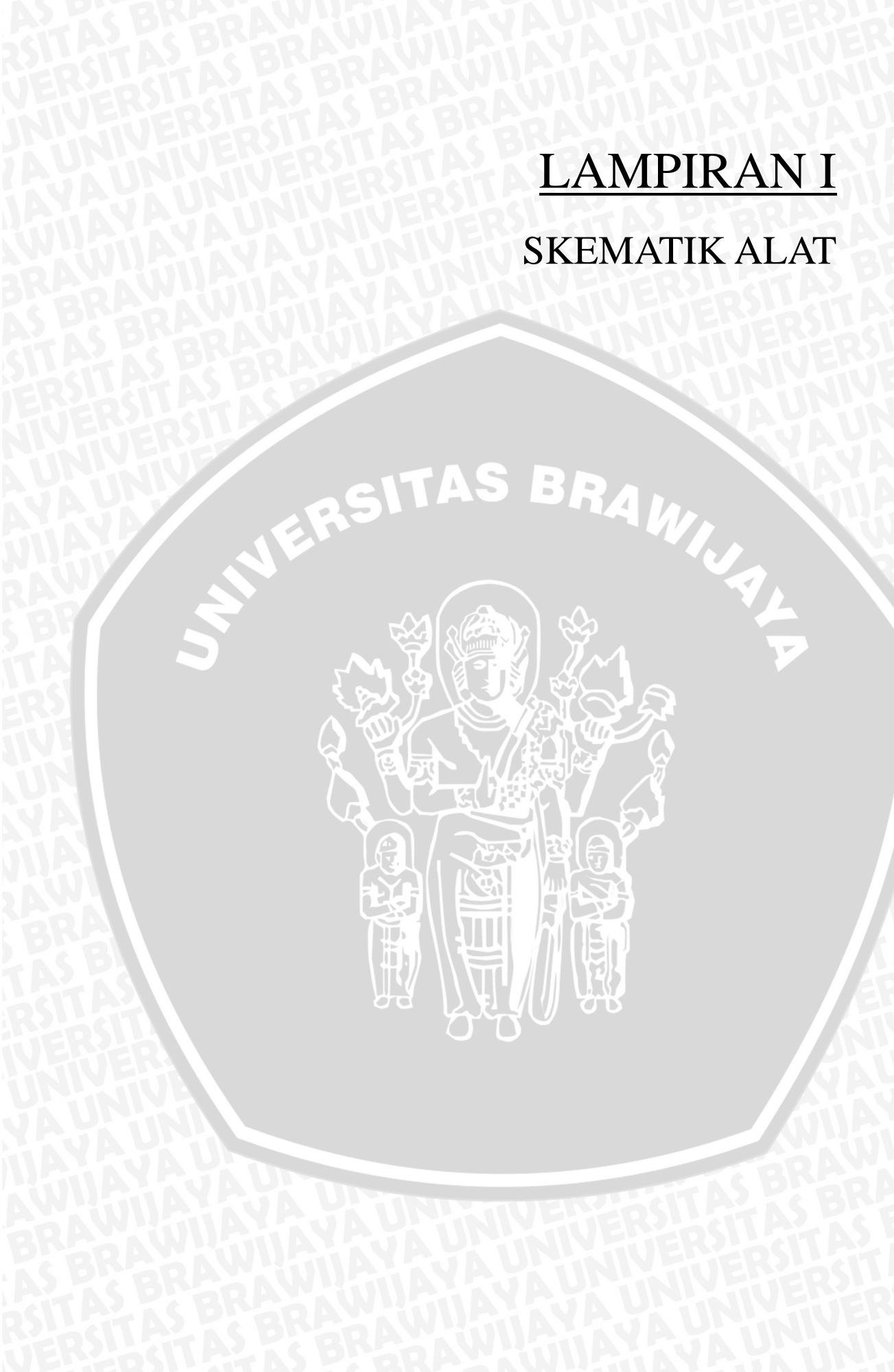


UNIVERSITAS BRAWIJAYA



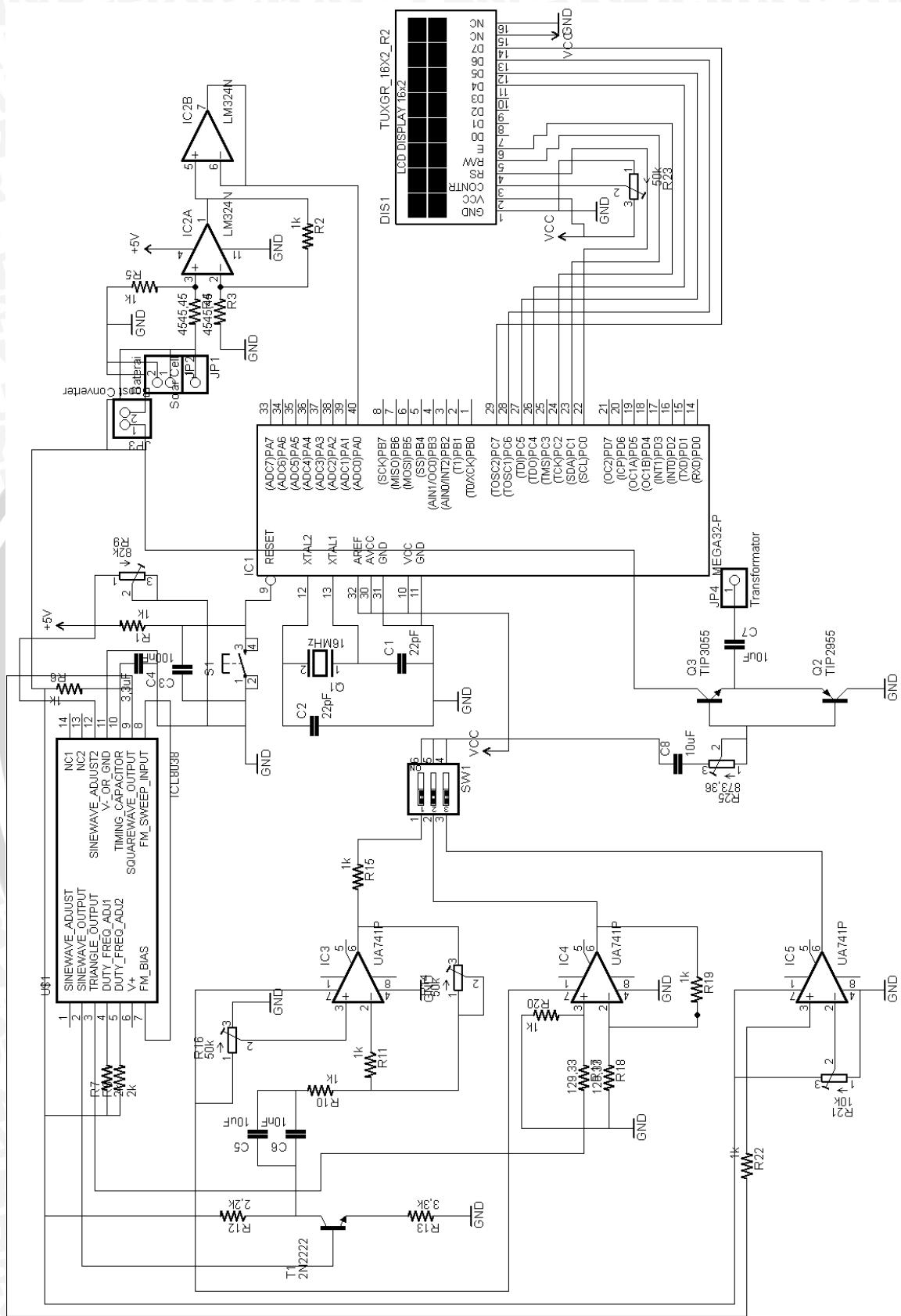
## LAMPIRAN I

### SKEMATIK ALAT



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

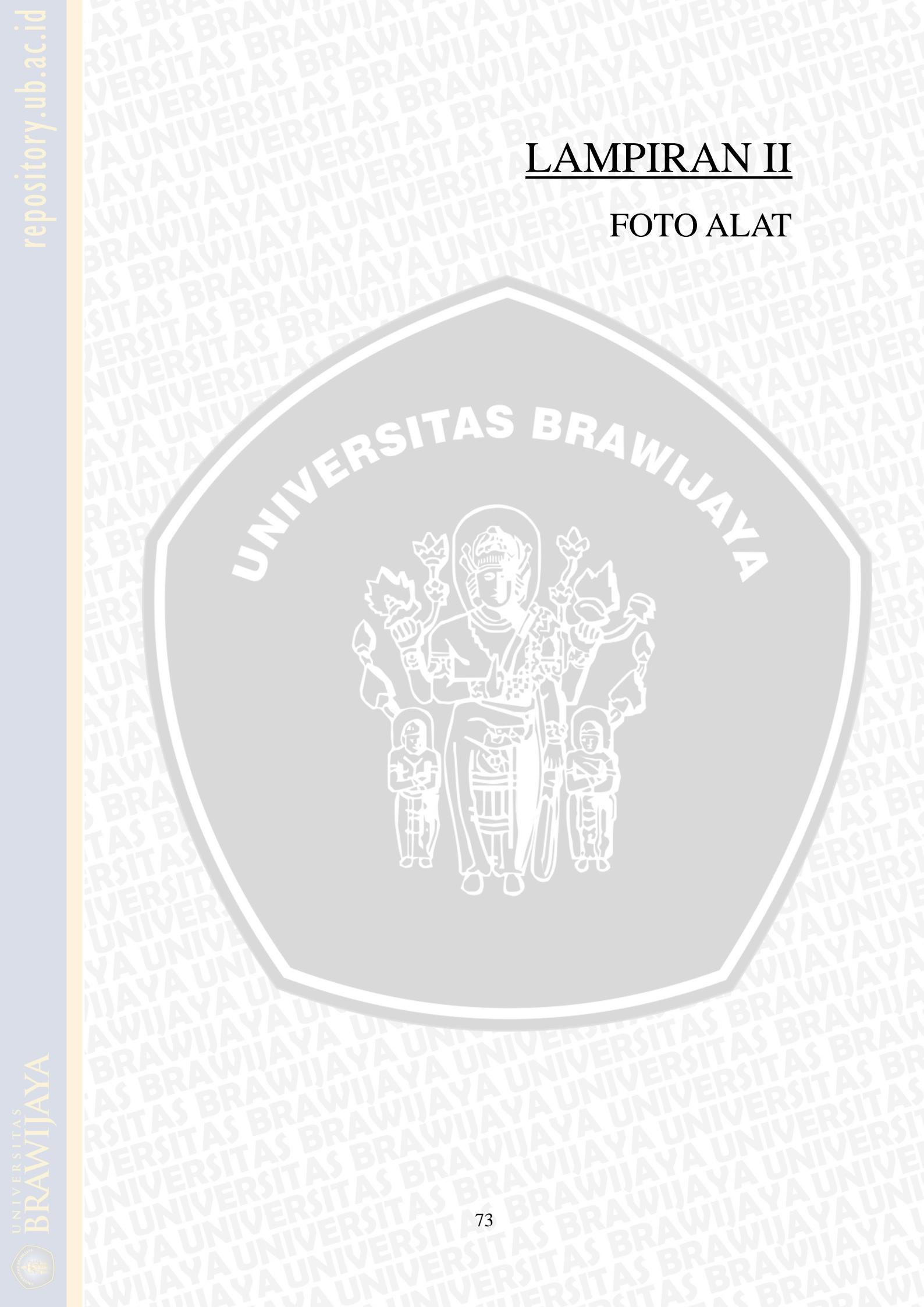




Gambar 1. Rangkaian lengkap skematik alat

## LAMPIRAN II

### FOTO ALAT

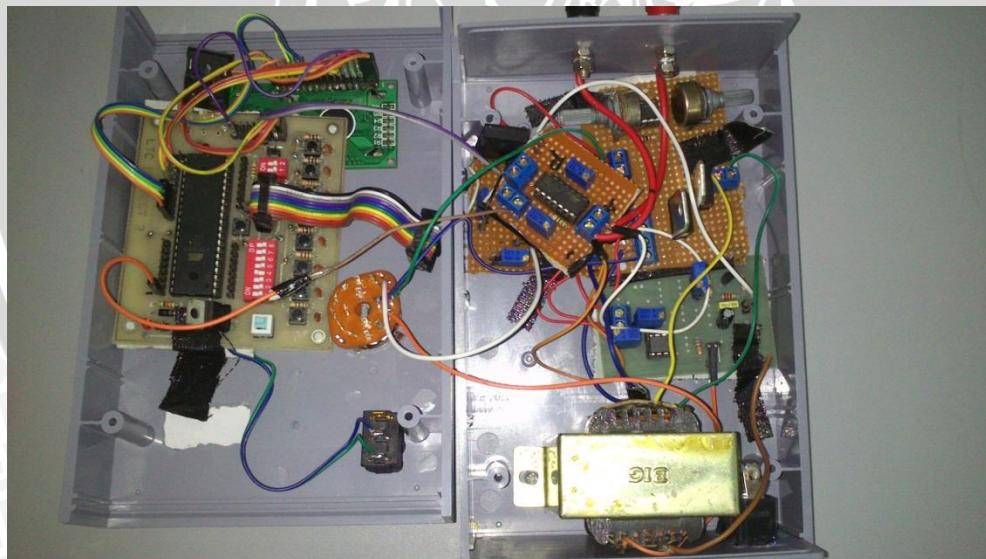


UNIVERSITAS BRAWIJAYA





Gambar 2. Bentuk Fisik Alat



Gambar 3. Rangkaian Elektrik Sistem

## LAMPIRAN III

### LISTING PROGRAM



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



```
*****
***** Skripsi Sukses...
Clock Source: 16MHz
*****/
#include <mega16.h>
#include <delay.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

char volt[33];

float tegangan_sel_surya;

// Alphanumeric LCD Module
functions
// Alphanumeric LCD Module
functions
#asm
    .equ __lcd_port=0x15 ;PORTC
#endasm
#include <lcd.h>

#define ADC_VREF_TYPE 0x60

// Read the 8 most significant bits
// of the AD conversion result
unsigned char read_adc(unsigned
char adc_input)
{
ADMUX=adc_input
(ADC_VREF_TYPE & 0xff);
// Delay needed for the stabilization
of the ADC input voltage
delay_us(10);
// Start the AD conversion
ADCSRA|=0x40;
// Wait for the AD conversion to
complete
while ((ADCSRA & 0x10)==0);
ADCSRA|=0x10;
return ADCH;
}

void sensor_tegangan_sel_surya()
{
    tegangan_sel_surya = (float)read_adc(0)/255*18.7;//rumus
untuk mengubah ADC ke tegangan
ftoa(tegangan_sel_surya,1,volt);//floa
t to array, mengubah tipedata float k
tipe data array yg kan ditampilkan di
LCD
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_puts(volt);

lcd_gotoxy(4,0);
lcd_putsf("V");
}

// Declare your global variables here
void main(void)
{
// Declare your local variables here

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

// Port B initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In
Func4=In Func3=In Func2=Out
Func1=Out Func0=Out
// State7=P State6=P State5=P
State4=P State3=P State2=0
State1=0 State0=0
PORTB=0xF8;
DDRB=0x07;

// Port C initialization
// Func7=Out Func6=Out Func5=Out
Func4=Out Func3=In Func2=Out
Func1=Out Func0=Out
```

```

// State7=0  State6=0  State5=0
State4=0      State3=P      State2=0
State1=0 State0=0
PORTC=0x08;
DDRC=0xF7;

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

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

// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 691.200
kHz
// ADC Voltage Reference: AVCC
pin
// ADC Auto Trigger Source: ADC
Stopped
                                         // Only the 8 most significant bits of
                                         // the AD conversion result are used
                                         ADMUX=ADC_VREF_TYPE   &
                                         0xff;
                                         ADCSRA=0x84;

                                         // Alphanumeric LCD initialization
                                         // Connections specified in the
                                         // Project|Configure|C
                                         Compiler|Libraries|Alphanumeric
                                         LCD menu:
                                         // RS - PORTC Bit 0
                                         // RD - PORTC Bit 1
                                         // EN - PORTC Bit 2
                                         // D4 - PORTC Bit 4
                                         // D5 - PORTC Bit 5
                                         // D6 - PORTC Bit 6
                                         // D7 - PORTC Bit 7
                                         // Characters/line: 16
                                         lcd_init(16);

while (1)
{
    // Place your code here
    lcd_gotoxy(0, 1);
    lcd_putsf("Baca Tegangan");

    sensor_tegangan_sel_surya();
}

```



## LAMPIRAN IV

### DATASHEET



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

