

**PENCATAT DAYA ELEKTRIK SATU FASA
DENGAN PENGATURAN BIAYA PENGGUNAAN SECARA
TERPROGRAM YANG DILENGKAPI DENGAN PENDETEKSI
KESALAHAN PENGGABELAN**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

AHMAD ZULFI ARDIAN

NIM. 0210630014

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN ELEKTRO
MALANG
2007**

**PENCATAT DAYA ELEKTRIK SATU FASA
DENGAN PENGATURAN BIAYA PENGGUNAAN SECARA
TERPROGRAM YANG DILENGKAPI DENGAN PENDETEKSI
KESALAHAN PENGKABELAN**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

AHMAD ZULFI ARDIAN

NIM. 0210630014

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

DOSEN PEMBIMBING :

Ir. Ponco Siwindarto, MS.

NIP. 131 837 966

Moch. Rif'an, ST., MT.

NIP. 132 283 659

**PENCATAT DAYA ELEKTRIK SATU FASA
DENGAN PENGATURAN BIAYA PENGGUNAAN SECARA
TERPROGRAM YANG DILENGKAPI DENGAN PENDETEKSI
KESALAHAN PENGKABELAN**

Disusun oleh:

AHMAD ZULFI ARDIAN

NIM. 0210630014

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada

Tanggal 13 Juli 2007

DOSEN PENGUJI

Ir. Bambang Siswojo
NIP. 131 759 588

Adharul Muttaqin, ST., MT.
NIP. 132 311 886

Tibyani, ST., MT.
NIP. 132 135 200

Panca Mudjirahardjo, ST., MT.
NIP. 132 288 163

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. Heru Nurwarsito, M.Kom
NIP. 131 879 033

PENGANTAR

Segala puji hanya bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya kepada penulis sehingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan. Hanya karena pertolongan-Nya semata penulis mampu melewati segala kendala yang ada selama penyusunan skripsi ini. Semoga sholawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, sahabat dan para pengikut beliau sampai hari akhir.

Skripsi berjudul “ Pencatat Daya Elektrik Satu Fasa dengan Pengaturan Biaya Penggunaan Secara Terprogram yang dilengkapi dengan Pendeteksi Kesalahan Pengkabelan ” ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

- Ir. Heru Nurwasito, M. Kom. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang,
- Rudy Yuwono, ST. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang,
- Ir. Ponco Siwindarto, MS. selaku KKDK Elektronika Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dan selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan ide, bimbingan, motivasi, pengarahan serta saran dalam penyusunan skripsi ini,
- Moch. Rif'an ST., MT. selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan ide, bimbingan, motivasi, pengarahan serta saran dalam penyusunan skripsi ini,
- Bapak, Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini,
- Ayah dan Ibunda-ku yang aku cintai karena-Nya, atas do'a, kasih sayang, dan motivasi baik secara spiritual maupun material yang telah engkau berikan padaku.
- Shinta Puspitasari atas motivasi, dukungan dan perhatiannya. Semoga Allah membalas kebaikannya dan senantiasa memudahkan segala urusannya.

- Adikku yang menyayangi aku dan semua keluargaku, jazakumullah khairan katsir atas dukungannya selama ini,
- *Digital System Crews*, Mbak Yayah, Mbak Lia, Pak Dik, Ucup, Mr. Day, Burhan, Njoel, Aswin, Mas Dul selaku laboran dan rekan-rekan asisten yang lain yang belum saya sebutkan namanya, terima kasih atas dukungan dan kesabarannya. Jazaakumullah khairan katsir. saya mendapatkan begitu banyak ilmu dan pengalaman berharga di Lab. Ini,
- *Elkmania Crews*, Mbak May, Mbak Erli, te2h Ucie, Dende, Farid, Sony dan rekan-rekan asisten yang lain yang belum saya sebutkan namanya, Jazakumullah khairan katsir atas dukungan dan kesabarannya
- Teman-teman seperjuangan di Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang yang tidak memungkinkan untuk kutulis semua namanya disini, terima kasih atas bantuan dan dukungannya.

Penyusun menyadari bahwa yang tersusun dalam skripsi ini masih banyak kekurangan-kekurangan dan jauh dari sempurna, hal ini tidak lain karena keterbatasan materi dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, penulis mengharapkan semoga yang terdapat dalam skripsi ini, dapat bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa khususnya dan bagi seluruh pembaca pada umumnya.

Malang, 24 Juni 2007

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
ABSTRAK	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan masalah.....	2
1.3 Ruang Lingkup.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Tujuan.....	3
1.6 Sistematika Pembahasan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengukuran Energi Listrik.....	5
2.1.1 Rangkaian Penyesuai Tegangan.....	6
2.1.2 Konverter Arus ke Tegangan.....	7
2.1.2.1 Penguat Sinyal AC.....	8
2.2 Mikrokontroler AVR.....	9
2.2.1 Arsitektur AVR.....	10
2.2.2 Periperal.....	12
2.2.2.1 10-bit Analog to Digital Converter.....	12
2.2.2.2 Timer/Counter.....	14
2.2.3 EEPROM.....	17
2.3 RTC (Real Time Clock) DS 1302.....	19
2.3.1 <i>Crystal Oscillator</i>	21
2.4 Rangkaian <i>Keypad</i> Matriks 4 x 4.....	22
2.5 Relay.....	23
2.6 LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>).....	23
2.7 Kesalahan Pengkabelan pada Instalasi Listrik.....	25

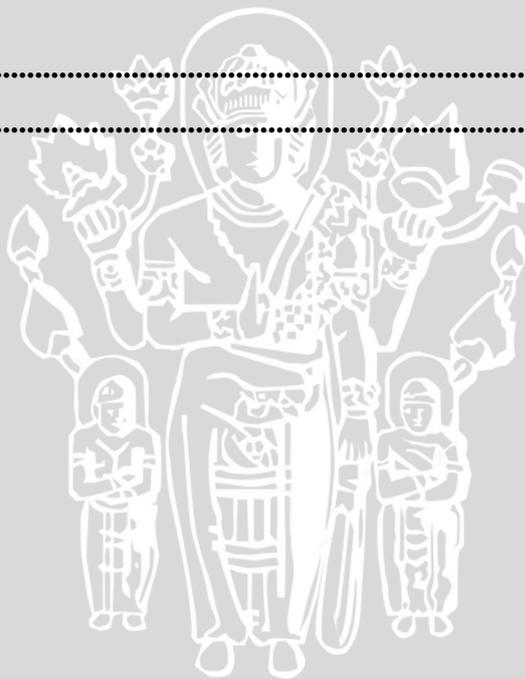


2.7.1	Kesalahan pengkabelan Beban dengan Bumi (<i>Earth Fault Conditions</i>)...	25
2.7.2	Kehilangan koneksi kabel neutral (<i>Missing Neutral Condition</i>)	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		28
3.1	Perencanaan Alat	28
3.2	Pembuatan Alat.....	28
3.3	Pengujian Alat	29
3.4	Penyusunan Kesimpulan dan Saran.....	29
BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT.....		30
4.1	Spesifikasi Alat.....	30
4.3	Prinsip Kerja Sistem	31
4.4	Perancangan Perangkat Keras	32
4.4.1	Rangkaian Penyesuai Tegangan.....	32
4.4.2	Konverter Arus ke Tegangan.....	37
4.4.3	Penguat Sinyal AC.....	39
4.4.4	Mikrokontroler ATMEGA 16	43
4.4.4.1	Minimum Sistem Mikrokontroler ATMEGA 16.....	43
4.4.4.2	Rangkaian Reset.....	44
4.4.4.3	<i>Analog Digital Conversion (ADC)</i>	46
4.4.5	Real Time Clock (RTC)	48
4.4.6	Rangkaian Antarmuka Keypad 4 x 4.....	49
4.4.7	Rangkaian pengendali relay.....	51
4.4.8	Rangkaian Antarmuka Modul LCD	52
4.5	Perancangan Perangkat Lunak.....	53
4.5.1	Perangkat Lunak Program Utama.....	53
4.5.2	Perangkat Lunak Program Interrupt ADC.....	54
4.5.2.1	Perangkat Lunak Program Perhitungan Cos (ϕ).....	57
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS		63
5.1.1	Pengujian Rangkaian Penyesuai Tegangan	64
a.	Tujuan	64
b.	Peralatan.....	64
c.	Prosedur Pengujian	64

d.	Hasil	65
e.	Analisis Data dan Kesimpulan	66
5.1.2	Pengujian Rangkaian Konverter Arus ke Tegangan.....	67
a.	Tujuan	67
b.	Peralatan.....	67
c.	Prosedur Pengujian	68
d.	Hasil	68
e.	Analisis Data dan Kesimpulan	69
5.1.3	Pengujian Rangkaian Penguat Sinyal AC	70
a.	Tujuan	70
b.	Peralatan.....	70
c.	Prosedur Pengujian	70
d.	Hasil	71
e.	Analisis Data dan Kesimpulan	72
5.1.4	Pengujian Rangkaian Antarmuka Modul LCD	72
a.	Tujuan	72
b.	Peralatan.....	72
c.	Prosedur Pengujian	73
d.	Hasil	73
e.	Analisis Data dan Kesimpulan	73
5.1.5	Pengujian ADC pada mikrokontroler ATMEGA 16.....	74
a.	Tujuan	74
b.	Peralatan.....	74
c.	Prosedur Pengujian	74
d.	Hasil	75
e.	Analisis Data dan Kesimpulan	76
5.1.6	Pengujian Rangkaian Antarmuka RTC	76
a.	Tujuan	76
b.	Peralatan.....	76
c.	Prosedur Pengujian	76
d.	Hasil	77
e.	Analisis dan Kesimpulan.....	78
5.1.7	Pengujian Rangkaian Keypad 4 x 4.....	78
a.	Tujuan	78

b.	Peralatan.....	78
c.	Prosedur Pengujian	78
d.	Hasil	80
e.	Analisis Data dan Kesimpulan.....	80
5.2	Pengujian Perangkat Lunak.....	80
5.2.1	Pengujian Perangkat Lunak Perhitungan Arus <i>rms</i> pertama, Arus <i>rms</i> kedua dan Tegangan <i>rms</i>	80
a.	Tujuan	80
b.	Peralatan.....	81
c.	Prosedur Pengujian	81
d.	Hasil	83
e.	Analisis Data dan Kesimpulan.....	84
5.2.2	Pengujian Perangkat Lunak Perhitungan $\cos(\phi)$	85
a.	Tujuan	85
b.	Peralatan.....	85
c.	Prosedur Pengujian	85
d.	Hasil	88
e.	Analisis Data dan Kesimpulan.....	90
5.2.3	Pengujian Perangkat Lunak Perhitungan Daya Aktif.....	92
a.	Tujuan	92
b.	Peralatan.....	92
c.	Prosedur Pengujian	92
d.	Hasil	95
e.	Analisis Data dan Kesimpulan.....	96
5.2.4	Pengujian Perangkat Lunak Perhitungan Energi listrik.....	96
a.	Tujuan	96
b.	Peralatan.....	96
c.	Prosedur Pengujian	96
d.	Hasil	98
e.	Analisis Data dan Kesimpulan.....	98
5.2.5	Pengujian Perangkat Lunak Detektor Kesalahan Pengkabelan.....	98
a.	Tujuan	98
b.	Peralatan.....	98
c.	Prosedur Pengujian	98

d.	Hasil	102
e.	Analisis Data dan Kesimpulan	102
5.3	Pengujian Keseluruhan Sistem	103
a.	Tujuan	103
b.	Peralatan	103
c.	Prosedur Pengujian	103
d.	Hasil	105
e.	Analisis Data dan Kesimpulan	106
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		109
6.1	Kesimpulan	109
6.2	Saran	110
DAFTAR PUSTAKA		111
LAMPIRAN		113



DAFTAR TABEL

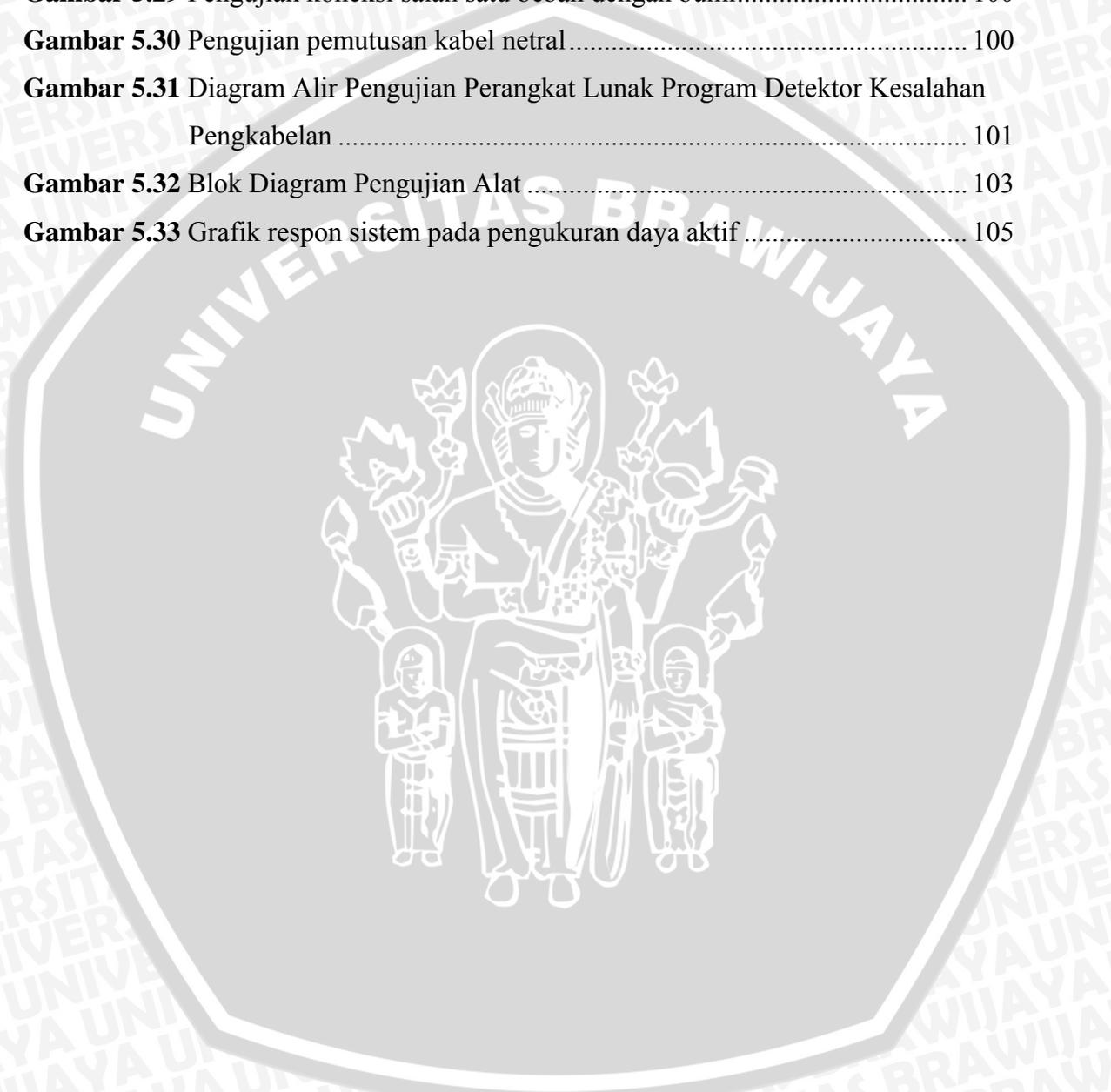
Tabel 2.1 Pemilihan <i>clock timer/counter</i> pada AVR	15
Tabel 2.2 Mode <i>compare</i> pada Timer/Counter1	17
Tabel 2.3 Fungsi dari masing-masing pin	19
Tabel 2.4 Alamat register RTC	21
Tabel 4.1 Konfigurasi <i>Keypad</i>	50
Tabel 4.2 Kode hasil penekanan tombol <i>keypad</i>	50
Tabel 5.1 Data Hasil Pengujian Rangkaian Konverter Arus ke Tegangan	69
Tabel 5.2 Hasil pengujian ADC	75
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Arus <i>rms</i> dengan variasi beban	83
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Tegangan <i>rms</i>	84
Tabel 5.5 Beban 40 W lampu pijar	88
Tabel 5.6 Beban lampu pijar 40 W + lampu fluorescent 20 W	88
Tabel 5.7 Beban lampu pijar 40 W + 2 buah lampu fluorescent 20 W	88
Tabel 5.8 Beban lampu pijar 75 W	89
Tabel 5.9 Beban lampu pijar 75 W + lampu fluorescent 20 W	89
Tabel 5.10 Beban lampu pijar 40 W + 2 buah lampu fluorescent 20 W	89
Tabel 5.11 Beban 2 buah lampu fluorescent 20 W + 18 W + 9 W	90
Tabel 5.12 Beban 1 buah lampu pijar 100 W	90
Tabel 5.13 Pengujian Daya Aktif	95
Tabel 5.14 Pengujian Pengukuran Energi Listrik	98
Tabel 5.15 Pengujian Pendeteksi Kesalahan Pengkabelan	102
Tabel 5.16 Pengujian daya dan energi listrik dengan variasi beban	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rangkaian Penyesuai Tegangan	6
Gambar 2.2 Rangkaian konverter arus ke tegangan	7
Gambar 2.3 Penguat sinyal AC	8
Gambar 2.4 Arsitektur AVR	10
Gambar 2.5 Peta memori AVR	11
Gambar 2.6 Blok diagram ADC	12
Gambar 2.7 Blok diagram <i>clock timer/counter</i>	14
Gambar 2.8 Blok diagram Timer/Counter0	15
Gambar 2.9 Blok diagram Timer/Counter1	16
Gambar 2.10 EEPROM <i>address register</i>	17
Gambar 2.11 EEPROM <i>control register</i>	18
Gambar 2.12 EEPROM <i>data register</i>	18
Gambar 2.13 Konfigurasi pin DS1302	19
Gambar 2.14 Blok diagram IC DS1302	20
Gambar 2.15 Rangkaian Setara <i>Crystal Oscillator</i>	21
Gambar 2.16 Keypad matrik 4x4	22
Gambar 2.17 Konfigurasi <i>normally white</i> tanpa medan listrik	23
Gambar 2.18 Konfigurasi <i>normally white</i> dengan medan listrik	24
Gambar 2.19 Diagram blok modul LCD M1632	24
Gambar 2.20 Koneksi Normal pada listrik 1 fasa 2 kawat	25
Gambar 2.21 Koneksi beban dengan Ground ($I_N = 0$)	26
Gambar 2.22 Koneksi salah satu beban dengan Ground ($I_P > I_N$)	26
Gambar 2.23 Pemutusan kabel neutral dan koneksi beban dengan Ground	27
Gambar 4.1 Blok Diagram Alat	31
Gambar 4.2 Rangkaian Penyesuai Tegangan	33
Gambar 4.3 Analisis ac rangkaian <i>clamper</i>	35
Gambar 4.4 Rangkaian konverter arus ke tegangan	38
Gambar 4.5 Penguat sinyal ac	39
Gambar 4.6 Penguat sinyal ac dengan clamper	42
Gambar 4.7 Rangkaian Mikrokontroler ATMEGA 16	43
Gambar 4.8 Timing Diagram Sinyal Reset	44

Gambar 4.9 Rangkaian Reset.....	45
Gambar 4.10 Rangkaian <i>Real Time Clock</i> DS1302	49
Gambar 4.11 Rangkaian <i>keypad</i> sistem mikrokontroler	49
Gambar 4.12 Rangkaian Pengendali Relay.....	51
Gambar 4.13 Rangkaian antarmuka modul penampil LCD.....	53
Gambar 4.14 <i>Flowchart</i> Program Utama.....	54
Gambar 4.15 Prinsip Perhitungan $\cos(\phi)$	57
Gambar 4.16 Diagram Alir Perhitungan $\cos\phi$	59
Gambar 4.17 Diagram Alir Program Interrupt ADC	60
Gambar 4.18 Lanjutan Diagram Alir Program Interrupt ADC	61
Gambar 5.1 Pengujian Rangkaian Penyesuai Tegangan.....	65
Gambar 5.2 Sinyal Masukan (1) Sinyal Keluaran (2) Rangkaian Pembagi Tegangan. 65	
Gambar 5.3 Sinyal Masukan (1) Sinyal Keluaran (2) Rangkaian <i>Clamper</i>	66
Gambar 5.4 Sinyal Keluaran Rangkaian Penyesuai Tegangan.....	66
Gambar 5.5 Pengujian rangkaian konverter arus ke tegangan.....	68
Gambar 5.6 Sinyal Keluaran V_1 dan V_2 Rangkaian konverter arus ke tegangan.....	69
Gambar 5.7. Pengujian Rangkaian Penguat Sinyal AC	71
Gambar 5.8 Sinyal Masukan (1) Sinyal Keluaran (2) Rangkaian Penguat Sinyal AC .71	
Gambar 5.9 Sinyal Masukan (1) Sinyal Keluaran (2) Rangkaian Penguat Sinyal AC .72	
Gambar 5.10 Diagram alir pada pengujian rangkaian antarmuka modul LCD	73
Gambar 5.11 Hasil pengujian rangkaian antarmuka modul LCD.....	73
Gambar 5.12 Diagram Alir Program Pengujian ADC Mikrokontroler ATMEGA 16..74	
Gambar 5.13 Blok Diagram Pengujian ADC.....	75
Gambar 5.14 Blok Diagram Pengujian RTC	77
Gambar 5.15 Diagram Alir Program Pengujian RTC	77
Gambar 5.16 Hasil pengujian rangkaian RTC	77
Gambar 5.17 Diagram Alir Program Pengujian Keypad 4 x 4	79
Gambar 5.18 Hasil pengujian rangkaian <i>keypad</i>	80
Gambar 5.19 Pengujian Arus <i>rms</i>	81
Gambar 5.20 Pengujian Tegangan <i>rms</i>	81
Gambar 5.21 Diagram Alir Pengujian Arus <i>rms</i> dan Tegangan <i>rms</i>	82
Gambar 5.22 Pengujian $\cos(\phi)$ dengan 3 voltmeter.....	86
Gambar 5.23 Diagram Alir Pengujian Perangkat Lunak Program $\cos(\phi)$	87

Gambar 5.24 Pengujian $\cos(\varphi)$ dengan 3 voltmeter.....	90
Gambar 5.25 Pengujian Perhitungan Daya Aktif.....	93
Gambar 5.26 Diagram Alir Pengujian Perangkat Lunak Program Daya Aktif.....	94
Gambar 5.27 Diagram Alir Pengujian Perangkat Lunak Program Energi listrik.....	97
Gambar 5.28 Pengujian koneksi beban dengan bumi	99
Gambar 5.29 Pengujian koneksi salah satu beban dengan bumi.....	100
Gambar 5.30 Pengujian pemutusan kabel netral	100
Gambar 5.31 Diagram Alir Pengujian Perangkat Lunak Program Detektor Kesalahan Pengkabelan	101
Gambar 5.32 Blok Diagram Pengujian Alat	103
Gambar 5.33 Grafik respon sistem pada pengukuran daya aktif	105



ABSTRAK

Ahmad Zulfi Ardian, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, 2007, *Pencatat Daya Elektrik Satu Fasa Dengan Pengaturan Biaya Penggunaan Secara Terprogram Yang Dilengkapi Dengan Pendeteksi Kesalahan Pengkabelan*, Dosen Pembimbing : Ir. Ponco Siwindarto, MS dan Moch. Rif'an, ST, MT.

Hampir semua aktivitas manusia saat ini memerlukan energi listrik dalam pelaksanaannya. Untuk itulah, PLN, sebagai penyedia energi listrik harus dapat memenuhi permintaan akan listrik yang semakin meningkat. Padahal kondisi yang ada saat ini, terbatasnya jumlah pembangkit menyebabkan *supply* ke pelanggan menjadi tidak maksimal dan dengan sistem pencatatan penggunaan energi listrik yang diterapkan sekarang berpeluang menimbulkan kerugian bagi PLN maupun pelanggan terutama bila terjadi kesalahan dalam pengkabelan. Untuk itulah diperlukan sebuah alat yang dapat meminimalisir kerugian-kerugian yang timbul akibat kondisi tersebut.

Sebagai salah satu solusi yang dapat ditempuh, dengan menggunakan metode pengukuran energi listrik dengan menggunakan *Analog to Digital Converter* yang terdapat pada mikrokontroler ATMEGA 16 dapat dibuat sebuah alat yang mampu melakukan pencatatan jumlah kWh terpakai dan dapat diprogram untuk membatasi jumlah tarif listrik yang harus dikeluarkan oleh pelanggan dalam rangka penghematan penggunaan energi listrik serta dapat mendeteksi adanya kondisi kesalahan pengkabelan pada masing-masing pelanggan. Alat ini juga dilengkapi dengan beberapa fasilitas lain seperti dapat menampilkan biaya pemakaian listrik yang telah digunakan setiap bulannya selama satu tahun kebelakang serta menampilkan tegangan dan arus efektif yang mengalir pada masing – masing pelanggan.

keyword: energi listrik, kesalahan pengkabelan, tarif listrik.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya kebutuhan masyarakat akan listrik, maka PLN sebagai penyedia energi listrik berusaha untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Padahal kondisi saat ini keterbatasan jumlah pembangkit menyebabkan *supply* ke pelanggan menjadi tidak maksimal dan dengan sistem pencatatan penggunaan energi listrik yang diterapkan sekarang berpeluang menimbulkan kerugian bagi PLN maupun pelanggan bila terjadi kesalahan pengkabelan (*illegal connections*).

Dengan keterbatasan pasokan energi listrik, penghematan juga perlu dilakukan untuk menekan biaya yang harus dibayarkan tiap akhir bulannya. Karena proses penghitungan pemakaian kWh yang dilakukan pihak PLN saat ini membuat pelanggan masih belum bisa mengetahui berapa besar biaya yang dikeluarkan tiap bulannya. Untuk menghitung pemakaian kWh tiap bulan, PLN masih menggunakan peralatan mekanik dan yang dihitung hanya pemakaian kWhnya dan perhitungan tarifnya masih dilakukan di kantor PLN. Akhirnya pelanggan harus memperkirakan sendiri berapa biaya yang akan dibebankan padanya.

Alat kWh meter mekanik yang dipakai saat ini hanya mampu mencatat daya aktif yang telah dipakai pada kondisi normal saja, akan tetapi bila terjadi penyimpangan maka kWh mekanik ini akan melakukan pencatatan dengan berbagai kesalahan. Penyimpangan yang mungkin terjadi ialah adanya kesalahan pengkabelan pada instalasi listrik dan terjadi pemutusan kabel netral. Bila kondisi ini terjadi maka akan sulit dideteksi.

Oleh karena itu diperlukan sebuah alat yang mampu mencatat daya listrik yang telah terpakai serta menghitung biaya pemakaiannya, mendeteksi kesalahan pengkabelan pada instalasi listrik dan pemutusan kabel netral sekaligus mampu mencatat daya aktif. Sebagai tindak lanjut dari penghematan energi, juga diperlukan alat yang mampu diprogram oleh pelanggan maupun pihak PLN untuk membatasi tarif listrik yang digunakan, sehingga apabila penggunaan tarif listrik melebihi jumlah yang telah ditetapkan sebelumnya maka listrik akan padam secara otomatis. Dengan alasan inilah akan dirancang alat yang mampu bertindak sebagai “Pencatat daya elektrik satu

fasa dengan pengaturan biaya penggunaan secara terprogram yang dilengkapi dengan pendeteksi kesalahan pengkabelan”.

Dengan alat ini, data yang ditampilkan bukan hanya berupa besar energi listrik (kWh), namun juga besaran arus dan tegangan *rms*, jumlah tarif listrik dan juga tarif maksimal yang telah ditetapkan oleh pelanggan maupun PLN. Alat ini juga mampu menyimpan jumlah pemakaian energi listrik serta biaya yang telah dikeluarkan setiap bulannya selama 1 tahun sebagai media informasi baik pihak PLN maupun pelanggan.

Perencanaan alat ini merupakan pengembangan dari skripsi sebelumnya dengan judul “Perencanaan dan pembuatan tarif listrik kWh meter Digital”. Namun bila dibandingkan akan terdapat perbedaan baik dalam penggunaan komponen, pemrosesan data maupun fungsi-fungsi yang lain seperti pendeteksi kesalahan pengkabelan.

1.2 Rumusan masalah

Mengacu pada permasalahan yang ada, maka rumusan masalah ini ditekankan pada:

- a. Bagaimana cara membuat alat yang dapat mengukur arus listrik bolak-balik.
- b. Bagaimana cara membuat alat yang dapat mengukur tegangan bolak - balik.
- c. Bagaimana mendeteksi kesalahan pengkabelan pada instalasi listrik.
- d. Bagaimana membuat antamuka rangkaian pengkondisi sinyal dengan mikrokontroler ATMEGA 16.
- e. Bagaimana cara membuat *software* yang akan dipakai untuk menghitung energi listrik yang terpakai serta biaya penggunaannya dengan menggunakan mikrokontroler.
- f. Bagaimana membuat antamuka mikrokontroler dengan RTC sebagai penyedia informasi mengenai waktu.
- g. Bagaimana membuat antamuka mikrokontroler dengan *keypad* dan LCD sebagai sistem penampil alat ini.

1.3 Ruang Lingkup

Mengacu pada permasalahan yang ada maka pembahasan skripsi ini hanya meliputi :

- a. Membahas pengukuran dan pencatatan daya listrik satu fasa.
- b. Informasi biaya penggunaan hanya bertambah dalam perubahan 1 kilowatt-second.
- c. Membahas mengenai cara pembuatan *software* ATMEGA 16.

1.4 Batasan Masalah

Dalam perencanaan dan pembuatan skripsi ini perlu dilakukan pembatasan masalah. Pembatasan masalah yang diajukan dalam skripsi ini antara lain:

- a. Tidak membahas mengenai pengukuran sinyal selain sinyal sinusoida dengan frekuensi 50 Hz.
- b. Tidak membahas tentang interferensi dari luar pada perangkat.
- c. Tidak membahas penempatan pengaman jala-jala seperti MCB ataupun sekering.

1.5 Tujuan

Tujuan penyusunan skripsi ini adalah terealisasinya sebuah alat yang dapat mengukur dan mencatat energi listrik sekaligus biaya yang digunakan dan mampu mendeteksi kesalahan pengkabelan. Selain itu dapat diprogram agar secara otomatis memutuskan arus listrik bila pengguna telah melebihi dari jumlah tarif listrik yang ditetapkan serta mampu menyimpan jumlah energi listrik serta biaya yang telah terpakai perbulan selama 1 tahun kebelakang.

1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

Bab I : Pendahuluan

Menjelaskan latar belakang permasalahan, rumusan masalah, ruang lingkup pembahasan, batasan masalah, tujuan dan sistematika pembahasan tugas akhir.

Bab II : Tinjauan Pustaka

Menjelaskan tentang teori - teori dasar yang meliputi pengertian daya listrik beserta pengukurannya, penyesuaian tegangan, konverter arus ke tegangan, penguat sinyal ac, mikrokontroler ATMEGA 16, RTC (*Real Time Clock*) DS1302, *keypad*, relay dan Modul LCD M1632 yang digunakan sebagai landasan penyusunan skripsi.

Bab III : Metodologi Penelitian

Menjelaskan tahap-tahap dan metode yang dilakukan dalam perencanaan pembuatan alat .

Bab IV : Perencanaan dan Pembuatan Alat

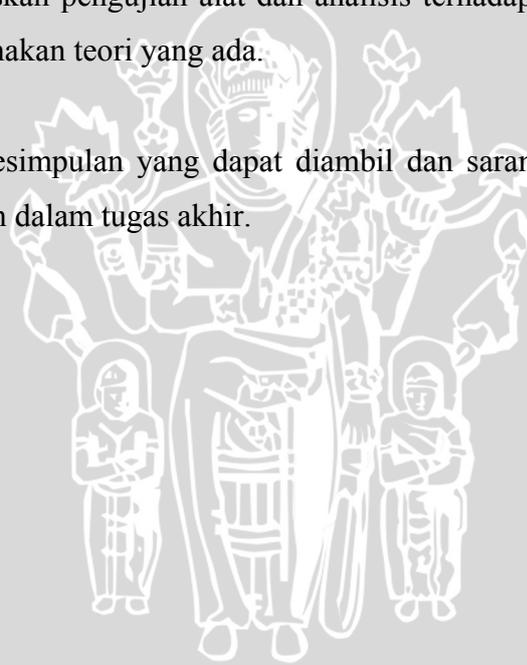
Menjelaskan spesifikasi, diagram blok, dan prinsip kerja rangkaian dari alat yang dirancang.

Bab V : Pengujian dan Analisis

Menjelaskan pengujian alat dan analisis terhadap data hasil pengujian menggunakan teori yang ada.

Bab VI : Penutup

Berisi kesimpulan yang dapat diambil dan saran terhadap hasil yang diperoleh dalam tugas akhir.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam merencanakan dan merealisasikan pencatat daya elektrik satu fasa dengan pengaturan biaya penggunaan secara terprogram yang dilengkapi dengan pendeteksi kesalahan pengkabelan dibutuhkan pemahaman tentang berbagai hal yang mendukung. Pemahaman ini akan bermanfaat untuk merancang perangkat keras dan perangkat lunak sistem yang dirancang. Teori-teori penunjang yang akan digunakan dalam penulisan skripsi ini meliputi teknik pengukuran energi elektrik, penyesuai tegangan, konverter arus ke tegangan, penguat sinyal ac, mikrokontroler avr, *real time clock* ds1302, keypad, relay dan Modul LCD M1632.

2.1 Pengukuran Energi Listrik

Energi listrik dapat diartikan sebagai ukuran yang diperlukan suatu peralatan listrik untuk bekerja optimal. Dalam rangkaian listrik, energi listrik juga dapat diartikan sebagai jumlah daya yang dilepaskan dalam setiap selang dt selama satu periode T . (Mismail, Budiono, 1995).

Energi listrik pada selang waktu tertentu dapat diperoleh dengan mengalikan daya rata-rata yang terpakai dengan selang waktu tersebut. Daya yang diberikan oleh sumber kepada suatu unsur sebagai fungsi waktu merupakan hasil perkalian tegangan sesaat $v(t)$ yang dikenakan pada unsur tersebut dengan arus sesaat $i(t)$ yang mengalir melalui unsur tersebut. (Hayt, Kemmerly, 1982).

$$p(t) = v(t) \times i(t)$$

$$v(t) = V_{\max} \cos(\omega t)$$

$$i(t) = I_{\max} \cos(\omega t + \theta)$$

$$p(t) = V_{\max} \cos(\omega t) \times I_{\max} \cos(\omega t + \theta)$$

$$p(t) = \frac{V_{\max} I_{\max}}{2} [\cos(2\omega t + \theta) + \cos \theta]$$

$$p(t) = \frac{V_{\max} I_{\max}}{2} \cos \theta + \frac{V_{\max} I_{\max}}{2} \cos(2\omega t + \theta)$$

Suku kedua persamaan $p(t)$ diatas adalah sebuah gelombang cosinus yang mempunyai

nilai rata-rata nol maka daya rata-rata adalah $\frac{1}{2} V_{\max} I_{\max} \cos \theta$

$$P = \frac{1}{2} V_{max} I_{max} \cos \theta$$

$$V_{max} = \sqrt{2} V_{rms}$$

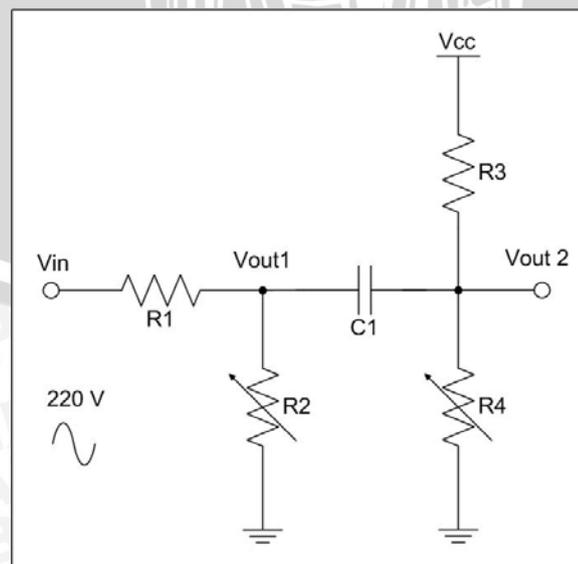
$$I_{max} = \sqrt{2} I_{rms}$$

$$P = V_{rms} I_{rms} \cos \theta$$

Dari persamaan di atas diketahui bahwa untuk memperoleh daya aktif diperlukan pengoperasian dari beberapa besaran listrik yaitu besaran arus dan besaran tegangan, sehingga untuk melakukan pengukuran daya tersebut terlebih dahulu diperlukan pengukuran tegangan dan pengukuran arus listrik.

2.1.1 Rangkaian Penyesuai Tegangan

Rangkaian penyesuai tegangan digunakan untuk mengubah tegangan jala-jala listrik menjadi level tegangan yang dapat diproses oleh rangkaian selanjutnya. Rangkaian penyesuai tegangan terdiri dari rangkaian pembagi tegangan dan rangkaian *clamper*. Rangkaian pembagi tegangan berfungsi untuk mengubah level tegangan dari tegangan jala-jala sebesar 220 volt menjadi sekitar 2,56 V_{p-p} yang sesuai dengan tegangan referensi ADC (*analog to digital converter*) yang digunakan. Rangkaian pembagi tegangan yang digunakan ialah konfigurasi resistor R₁ dengan R₂. Agar sinyal yang dihasilkan dapat diterima oleh ADC maka diperlukan rangkaian *clamper* yang berfungsi untuk menaikkan *dc offset* pada sinyal ac sehingga menghasilkan keluaran dengan range antara 0 - 2,56 V. Rangkaian *clamper* dikonfigurasi oleh R₃, R₄ dan C₁. Rangkaian penyesuai tegangan ini ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Rangkaian Penyesuai Tegangan

2.1.2 Konverter Arus ke Tegangan

Untuk mengukur arus listrik dibutuhkan suatu konverter yang mampu mengukur besaran secara akurat dan menghasilkan keluaran berupa level tegangan yang dapat diproses. Salah satunya ialah dengan menggunakan resistor yang memiliki resistansi kecil agar tidak membebani sistem pada saat melakukan pengukuran. Penempatan resistor ini diseri dengan sistem dengan jumlah resistor yang digunakan sebanyak 2 buah, pada kabel fasa sebelum memasuki beban dan pada kabel neutral setelah melalui beban. Prinsip kerja dari konverter ini berdasarkan hukum Ohm yang menyatakan bahwa tegangan antara kutub-kutubnya berbanding lurus dengan arus yang melaluinya. Secara kuantitatif, tegangan diberikan oleh persamaan :

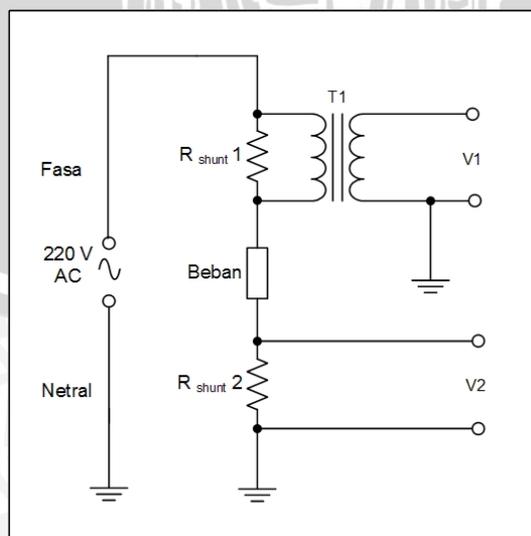
$$v = R i \text{ volt}$$

dengan i adalah arus dalam ampere dan konstanta pembandingnya ialah R dalam satuan ohm, sehingga tegangan yang terdapat pada masing-masing resistor sesuai dengan arus yang melaluinya dengan konstanta R tertentu.

Penggunaan resistor sebagai konverter arus ke tegangan ini mempunyai kelebihan dibandingkan dengan *instrument* arus bolak-balik lainnya yaitu :

- Mempunyai tingkat kelinieran yang tinggi pada pengukuran arus listrik bolak-balik.
- Tidak terjadi saturasi pada pengukuran arus tinggi dan tidak mengalami *hysteresis* dalam perubahan nilai pengukuran.
- Biaya yang diperlukan sangat terjangkau.

Rangkain konverter arus ke tegangan ini ditunjukkan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Rangkaian konverter arus ke tegangan

Pada rangkaian konverter arus ke tegangan terdapat sebuah transformator kopling yang berfungsi untuk mendapatkan tegangan differensial pada resistor *shunt* 1 dengan perbandingan lilitan sebesar 1 : 1 sehingga dengan menganggap transformator tersebut sebagai transformator ideal maka tegangan pada sisi kumparan sekunder sebesar :

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

$$V_s = \frac{N_s}{N_p} \times V_p$$

$$V_s = \frac{1}{1} \times V_p$$

$$V_s = V_p$$

Keterangan : V_s = Tegangan pada sisi primer

V_p = Tegangan pada sisi sekunder

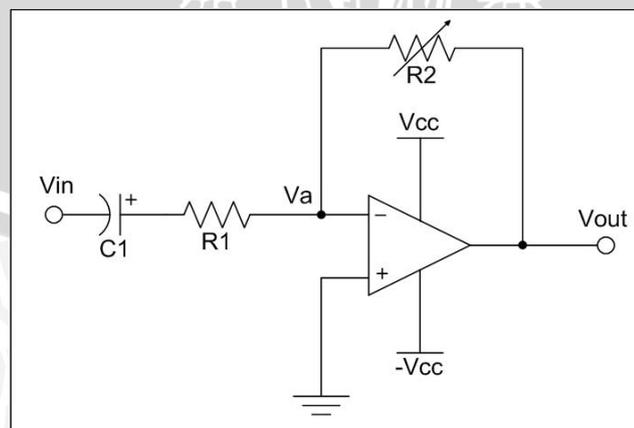
N_p = Jumlah lilitan pada sisi primer

N_s = Jumlah lilitan pada sisi sekunder

Dengan menggunakan resistor dengan resistansi yang kecil maka level tegangan yang terdapat pada resistor tersebut juga mempunyai level yang kecil sehingga diperlukan adanya penguatan dengan *gain* tertentu. Penguatan dapat diperoleh dengan menggunakan rangkaian penguat sinyal ac.

2.1.2.1 Penguat Sinyal AC

Di dalam beberapa aplikasi membutuhkan suatu nilai penguatan terhadap suatu sinyal tertentu agar sinyal tersebut sesuai dengan sistem yang digunakan. Sebuah penguat sinyal ac yang sangat sederhana ditunjukkan dalam Gambar 2.6, dimana kapasitor C_1 mem-blok komponen dc dari sinyal input. Konfigurasi C_1 dan R_1 menentukan frekuensi *cut off* bawah dari penguat secara keseluruhan. Adapun gambar penguat sinyal AC ditunjukkan dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Penguat sinyal AC

Tegangan keluaran V_{out} sebagai sebuah fungsi variabel kompleks s didapat dari persamaan rangkaian diatas menjadi:

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1 + \frac{1}{sC_1}} V_{in}$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1 + \frac{1}{sC_1}}$$

Sedangkan frekuensi *cut off* bawah sebagai berikut :

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

Adapun frekuensi *cut off* atasnya ditentukan oleh karakteristik frekuensi dari penguat operasional itu sendiri dan pasangan rangkaian umpan balik yang tersedia.

Sedangkan tanggapan fasa dari rangkaian tersebut dapat diperoleh dengan perhitungan :

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_1 + \frac{1}{sC_1}}$$

$$= -\frac{R_f}{R_1 - j\frac{1}{\omega C_1}}$$

$$\phi(\omega) = -\tan^{-1}\left(\frac{1}{\omega R_1 C_1}\right)$$

$$= -\tan^{-1}\left(\frac{1}{2\pi R_1 C_1}\right)$$

dimana $s = j\omega$

Dengan menggunakan analisis sinyal ac maka kapasitor yang terdapat pada rangkaian tersebut dapat dihilangkan atau dihubung singkat sehingga nilai penguatan yang terdapat pada penguat tersebut menjadi :

$$A_v = -\frac{R_2}{R_1}$$

Selain berfungsi sebagai penguat, rangkaian penguat sinyal ac ini digunakan agar keluaran yang dihasilkan sesuai dengan masukan ADC (*analog to digital converter*) yang terdapat pada mikrokontroler AVR.

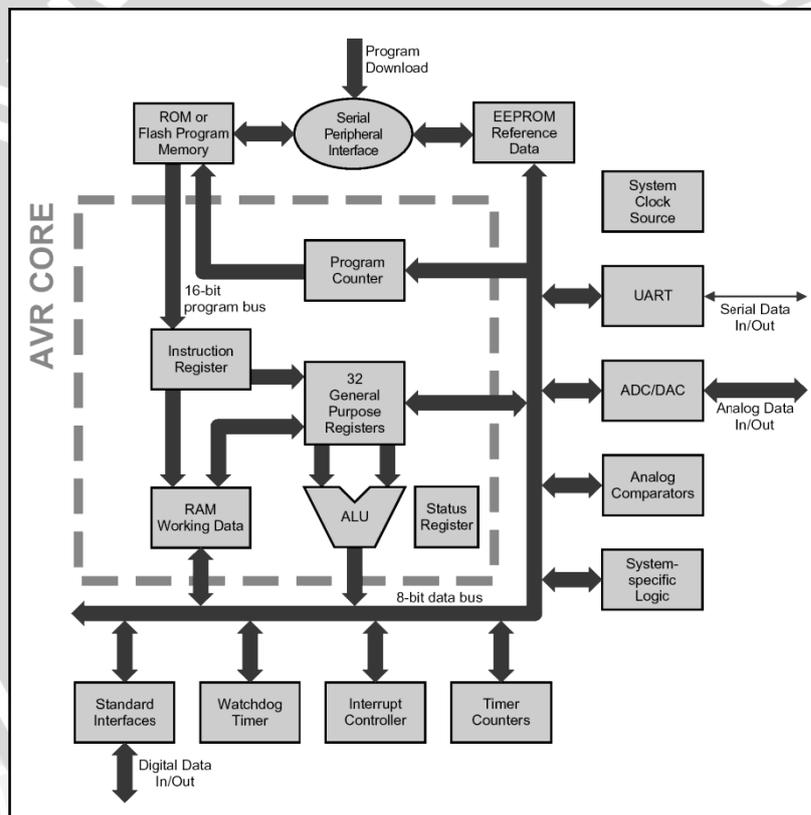
2.2 Mikrokotroller AVR

AVR merupakan mikrokontroler produksi Atmel yang menggunakan arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computing*) 8 bit. AVR pertama kali diperkenalkan pada

tahun 1996. AVR mengkombinasikan arsitektur RISC, memori *flash* internal dan jumlah *register* yang besar (32 buah) untuk memperoleh ukuran code program, kinerja, dan konsumsi daya yang optimal. Sebagian besar instruksi AVR dieksekusi dalam satu siklus *clock*. Kelebihan lainnya, arsitektur AVR dirancang untuk bekerja secara efisien menggunakan bahasa tingkat tinggi C.

2.2.1 Arsitektur AVR

AVR menggunakan konsep arsitektur Harvard dengan memori dan bus terpisah untuk data dan program. Lebar bus program pada AVR adalah 16 bit sedangkan lebar bus data 8 bit. Memori program dieksekusi dengan *pipeline* satu tingkat. Saat instruksi sedang dieksekusi, instruksi yang berikutnya dibaca dari memori program. Konsep ini memungkinkan instruksi untuk dieksekusi dalam tiap-tiap siklus *clock*.



Gambar 2.4 Arsitektur AVR

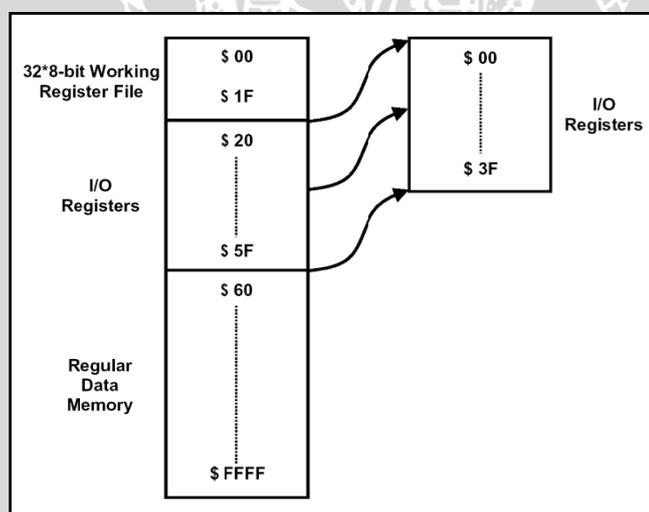
Sumber: Atmel, 2004 : 5

AVR memiliki jumlah *register* yang relatif besar untuk ukuran mikrokontroler 8 bit, yaitu 32 buah *general purpose registers*. AVR tidak memiliki *accumulator* seperti yang dimiliki sebagian besar mikroprosesor/mikrokontroler. Seluruh *register* terhubung ke ALU (*Arithmetic Logic Unit*) sehingga operasi ALU dapat dilaksanakan dengan menggunakan *general purpose registers* sebagai *operand*. Dua *operand* diambil dari

register, operasi ALU dijalankan, dan hasil operasi disimpan ke dalam *register*, semuanya dilakukan dalam satu siklus *clock*. Dalam skala operasi yang relatif besar, operasi ALU dapat dijalankan dengan lebih cepat. Semua *general purpose registers* juga dapat digunakan untuk mengakses data dari dan ke memori dengan instruksi *load* dan *store*.

Enam dari 32 *register* dapat digunakan sebagai pasangan *register* 16 bit. Pasangan *register* 16 bit dapat digunakan sebagai *register* pointer untuk pengalamatan area data sehingga memungkinkan perhitungan alamat menjadi lebih efisien. Ketiga *register* tersebut adalah *register* X (R26 dan R27), Y (R28 dan R29), dan Z (R30 dan R31).

Peta memori data AVR dapat dilihat dalam Gambar 2.5. Memori data dibagi menjadi 4 bagian. 32 alamat paling bawah (0000-001F) ditempati oleh *general purpose registers*. 64 alamat berikutnya (0020-005F) ditempati oleh *register* I/O yang mengatur piranti CPU seperti *register* kontrol, *timer/counter*, ADC, dan fungsi I/O lainnya. Alamat berikutnya digunakan oleh SRAM internal dan eksternal. Perlu dicatat, ukuran SRAM internal tidak sama untuk masing-masing tipe AVR, dan tidak semua tipe memiliki SRAM internal atau SRAM eksternal.



Gambar 2.5 Peta memori AVR

Sumber: Atmel, 2004 : 6

Selama interupsi dan pemanggilan *subroutine*, alamat pada *Program Counter* (PC) disimpan pada *stack*. Pada tipe AVR yang memiliki SRAM internal atau eksternal, *stack* dialokasikan di SRAM sehingga ukuran *stack* hanya terbatas oleh total ukuran dan pemakaian SRAM. Semua program harus menginisialisasi *Stack Pointer* (SP) di dalam rutin *reset*, sebelum *subroutines* atau *interrupt* dieksekusi. Sedangkan tipe AVR yang

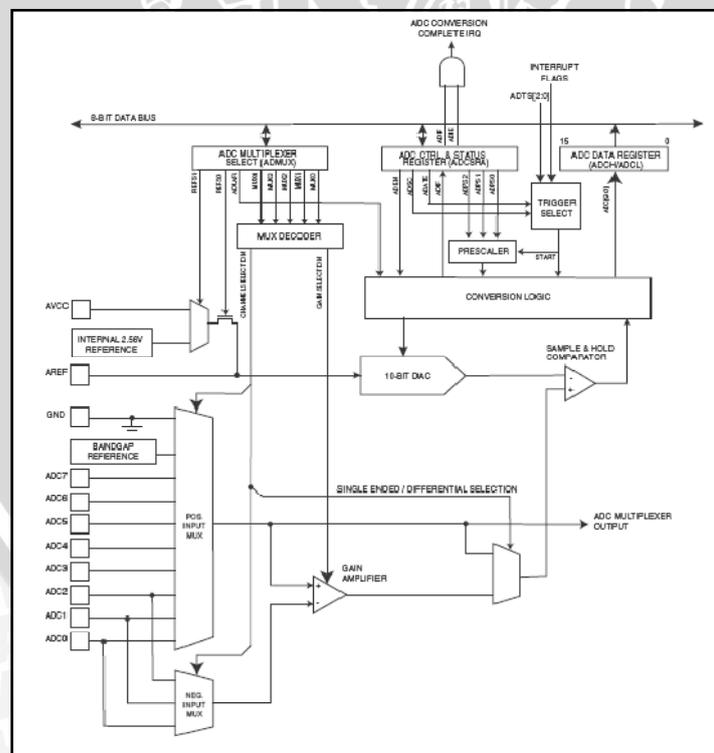
tidak memiliki SRAM, alamat pada PC disimpan di *stack hardware* yang memiliki ukuran terbatas.

2.2.2 Periperal

AVR memiliki beberapa jenis periperal internal, diantaranya 10-bit *analog to digital compertter*, 3 buah *timer/counter*, 4 *channel PWM*, *Programmable Serial USART*, *Master/Slave SPI Serial Interface*, *watchdog timer*, *Power On Reset*, *Brown Out detector* dan *Internal Calibrate RC Oscillator*. Periperal yang ada dalam chip AVR tergantung tipe AVR. Berikut ini akan dibahas dua jenis *periperal* AVR yang digunakan, yaitu 10-bit ADC dan *timer/counter*.

2.2.2.1 10-bit Analog to Digital Converter

Pada sebagian jenis AVR memiliki fasilitas ADC 10 bit. ADC terhubung dengan 8-saluran multiplekser analog yang membolehkan setiap pin pada port A untuk digunakan sebagai input untuk ADC. ADC terdiri dari satu Sample/Hold Amplifier yang memastikan bahwa tegangan input ke ADC ditahan pada level konstan selama konversi. Blok diagram dari ADC ditunjukkan dalam Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Blok diagram ADC

Sumber: Atmel, 2004: 203

ADC mempunyai 2 pin tegangan analog yang terpisah yaitu AVCC dan AGND. AGND harus dihubungkan ke GND dan tegangan pada AVCC tidak boleh beda lebih dari $\pm 0.3V$ dari VCC. Tegangan referensi pada berupa tegangan referensi internal atau tegangan referensi eksternal. Tegangan referensi internal dapat dipilih sebesar Vcc atau 2,56 volt yang mana direkomendasikan untuk menambahkan kapasitor pada pin AREF ini. Bila menggunakan tegangan referensi eksternal maka suatu level tegangan dalam range AGND-AVCC dengan harus dikenakan ke pin AREF. Tegangan ini harus berada ADC bias beroperasi dalam 2 mode yaitu Single Conversion dan Free Run Mode. Pada Single Conversion Mode, setiap konversi harus diinisialisasi oleh pengguna. Pada Free Run Mode, ADC secara konstan menyampling dan mengupdate ADC Data Register.

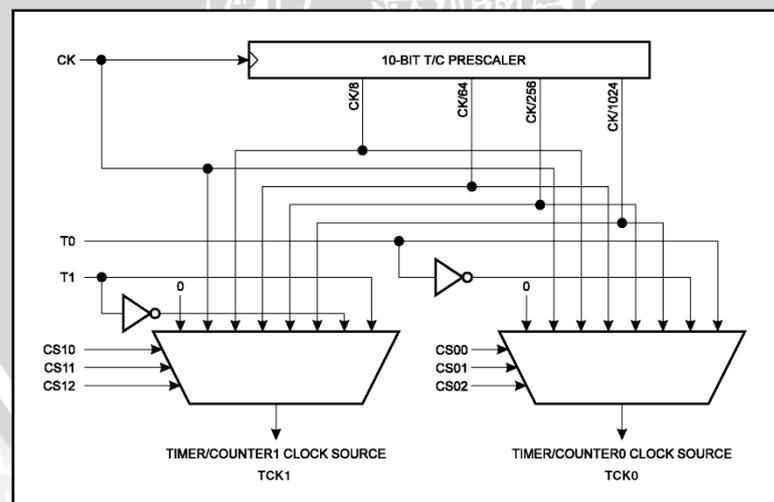
Bit ADFR pada ADCSR memilih antara 2 mode yang tersedia. ADC aktif dengan memberikan logika 1 ke bit ADC Enable, ADEN pada ADCSR. Konversi pertama dimulai setelah mengaktifkan ADC, kemudian akan didahului oleh suatu konversi tiruan ke inisialisasi ADC. Untuk pengguna, satu-satunya perbedaan akan menjadikan konversi ini mengambil 12 clock lebih ADC dibanding suatu konversi normal. Konversi dimulai dengan menuliskan logika 1 pada bit ADC Start Conversion, ADSC. Bit ini tetap high selama konversi berlangsung dan akan diset nol oleh hardware ketika konversi lengkap. Jika suatu saluran data berbeda terpilih sedangkan suatu konversi masih dalam proses, ADC akan menyelesaikan konversi yang sekarang sebelum melakukan perubahan saluran. Sebagaimana ADC menghasilkan 10-bit, dua register data, ADCH dan ADCL, harus dibaca untuk mendapatkan hasil ketika konversi lengkap. Logika perlindungan data khusus digunakan untuk memastikan bahwa isi dari register data kepunyaan konversi yang sama ketika dibaca.

Mekanisme kerja sebagai berikut: ketika pembacaan data, ADCL harus dibaca pertama kali. Sekali ADCL dibaca, akses ke register data diblok. Ini berarti bahwa jika ADCL telah dibaca dan konversi selesai sebelum ADCH dibaca, tidak ada satu register pun yang diupdate dan hasil dari konversi hilang. Ketika ADCH dibaca, akses ADC ke register ADCH dan ADCL di enable ulang. ADC pada ATMEGA 16 memiliki interrupt sendiri, ADIF, yang bisa dipicu ketika konversi selesai. Ketika akses ADC ke register data dilarang antara pembacaan dari ADCH dan ADCL, interup akan terpicu bahkan ketika hasil konversi hilang. ADC terdiri dari prescaler, yang membagi system clock menjadi frekuensi clock ADC yang mudah diterima. ADC menerima frekuensi clock input dalam range 50 - 200 kHz. Penggunaan frekuensi input yang lebih tinggi akan menghasilkan tingkat akurasi yang rendah. Bit ADPS0 - ADPS2 pada ADCSR

digunakan untuk menghasilkan frekuensi clock input ADC yang diperlukan dari frekuensi XTAL di bawah 100 kHz. Prescaler mulai menghitung saat ADC diswitch on dengan mengeset bit ADEN pada ADCSR. Prescaler dijaga tetap bekerja selama bit ADEN diset dan secara kontinyu direset ketika ADEN rendah. Ketika penginisialisasian konversi dengan mengeset bit ADSC pada ADCSR, konversi mulai pada tepi naik dari siklus clock ADC. Pada kenyataannya sample/hold memerlukan 1,5 siklus clock ADC setelah konversi dimulai. Hasil konversi siap dan ditulis pada Register Hasil ADC setelah 13 siklus. Pada single conversion mode, ADC memerlukan lebih dari satu siklus clock sebelum konversi yang baru bisa dimulai lagi. Jika ADSC diset high pada period ini, ADC akan mulai konversi baru dengan seketika. Pada Free Run Mode, konversi yang baru akan dimulai dengan tiba-tiba setelah hasil konversi ditulis pada ADC Result Register.

2.2.2.2 Timer/Counter

Timer/counter pada AVR dibagi menjadi dua, yaitu 8 bit (Timer/Counter0) dan 16 bit (Timer/Counter1). *Clock timer/counter* dapat berupa *clock* internal CPU atau *clock* eksternal dari pin T0/T1. *Timer/counter* pada AVR memiliki pembagi frekuensi *clock* dari CPU (CK). Dengan menggunakan *clock* internal CPU, dapat dipilih frekuensi CK, CK/8, CK/64, CK/256, dan CK/1024.



Gambar 2.7 Blok diagram *clock timer/counter*

Sumber: Atmel, 2004 : 32

Tabel 2.1 Pemilihan *clock timer/counter* pada AVR

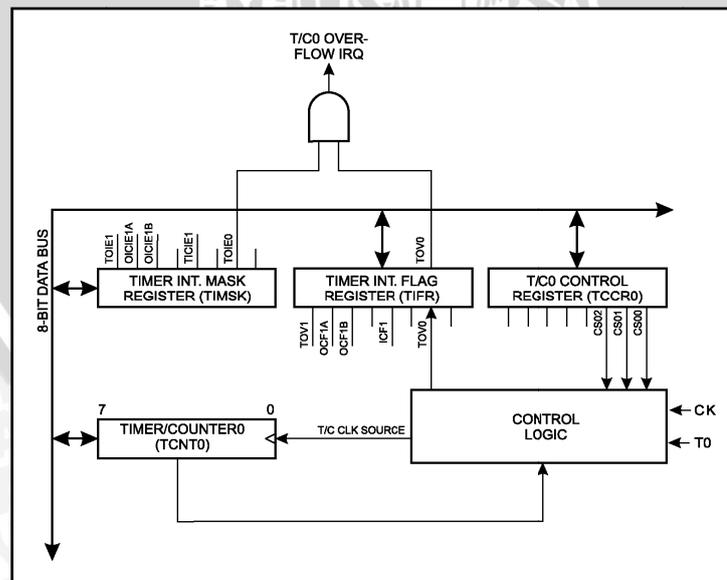
CSX2	CSX1	CSX0	KETERANGAN
0	0	0	Stop
0	0	1	CK
0	1	0	CK/8
0	1	1	CK/64
1	0	0	CK/256
1	0	1	CK/1024
1	1	0	Pin TX, sisi turun
1	1	1	Pin TX, sisi naik

Keterangan : X = 0 atau 1

Sumber: Atmel, 2004 : 33

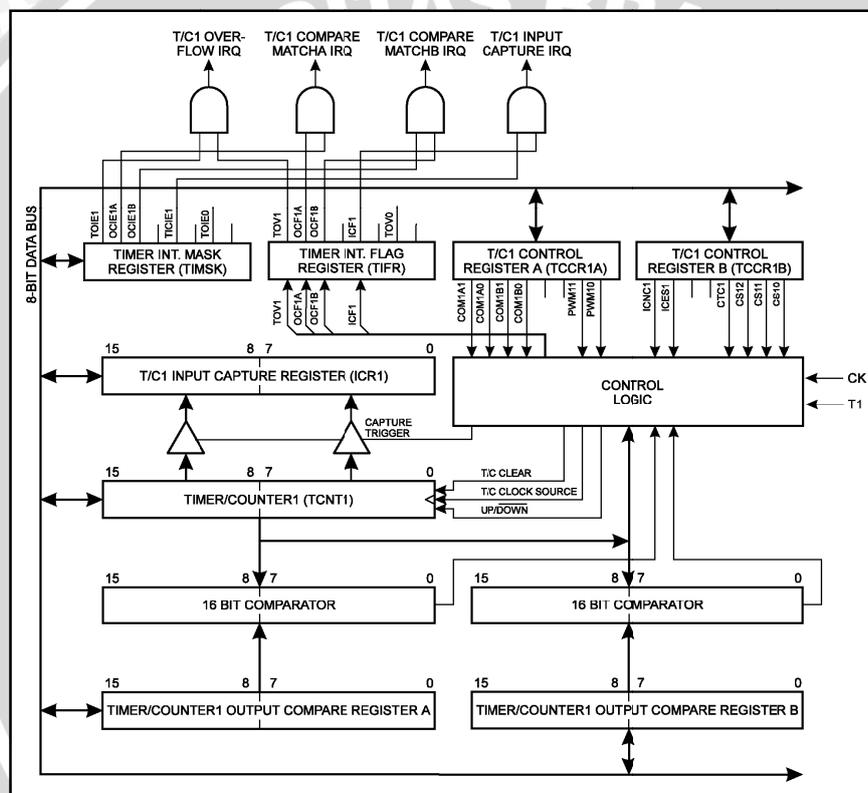
Saat *timer/counter* menggunakan *clock* eksternal, sinyal eksternal disinkronkan dengan frekwensi osilator CPU. Untuk mendapatkan sampling *clock* eksternal yang sesuai, waktu minimum antara dua transisi *clock* eksternal harus sedikitnya satu periode *clock* internal CPU. Sinyal *clock* eksternal disampling pada tepi naik *clock* internal CPU.

Timer/Counter0 merupakan *up counter* 8 bit (TCNT0) dengan akses baca dan tulis. Saat Timer/Counter0 overflow, akan dibangkitkan sinyal TOV0 yang dapat digunakan untuk membangkitkan *interrupt* dengan men-*set* bit TOIE dalam *Timer Interrupt Mask Register* (TIMSK). Blok diagram Timer/Counter0 dapat dilihat dalam Gambar 2.8.

**Gambar 2.8** Blok diagram Timer/Counter0

Sumber: Atmel, 2004 : 33

Timer/Counter1 merupakan *up/down counter* 16 bit (*down counter* hanya bisa digunakan saat mode PWM). Timer/Counter1 dapat dibaca atau ditulisi dengan mengakses Timer/Counter1 High (TCNT1H) dan Timer/Counter1 Low (TCNT1L). Saat CPU menulis ke TCNT1H, data disimpan ke *register* TEMP. Saat CPU menulis ke TCNT1L, data dari CPU dikombinasikan dengan data di *register* TEMP ditulis ke Timer/Counter1, sehingga penulisan ke Timer/Counter1 harus diawali dengan penulisan ke TCNT1H. Sedangkan saat pembacaan TCNT1L, data TCNT1L dikirimkan ke CPU dan data TCNT1H di simpan ke *register* TEMP. Saat CPU membaca data dari TCNT1H, CPU menerima data dari *register* TEMP, sehingga pembacaan ke Timer/Counter1 harus diawali dengan pembacaan ke TCNT1L.



Gambar 2.9 Blok diagram Timer/Counter1

Sumber : Atmel, 2004 : 34

Timer/Counter1 mendukung fungsi perbandingan (*compare*) keluaran *timer/counter* dengan *Timer/Counter1 Output Compare Register* (OCR1). Pemilihan mode perbandingan dapat dilihat dalam Tabel 2.2. Dengan men-*set* bit *Clear Timer/Counter1 on Compare Match* (CTC1) pada *Timer/Counter1 Control Register B* (TCCR1B), Timer/Counter1 akan di-*clear* saat nilai *counter* sama dengan OCR1.

Fungsi Timer/Counter1 yang lain adalah *pulse width modulation* (PWM) dan *input capture*. Lebih lanjut tentang dua fungsi ini dapat dilihat dalam *datasheet*.

Tabel 2.2 Mode *compare* pada Timer/Counter1

COM1X1	COM1X0	Description
0	0	Timer/Counter1 tidak terhubung dengan OC1X
0	1	<i>Toggle</i> keluaran OC1X
1	0	<i>Clear</i> keluaran OC1X
1	1	<i>Set</i> keluaran OC1X

Keterangan : X = A atau B

Sumber: Atmel, 2004 : 36

2.2.3 EEPROM

Pada keluarga mikrokontroler AVR terdapat memory yang bersifat *non-volatile* yaitu EEPROM yang mana data yang tersimpan akan tetap tertahan walaupun catu daya dimatikan. Kapasitas EEPROM yang dimiliki mikrokontroler AVR ini sebesar 512 *byte* yang dapat ditulis dan dibaca sampai 100.000 kali. Untuk mengakses EEPROM pada mikrokontroler ini diperlukan beberapa register khusus yaitu EEPROM *address register*, EEPROM *data register* dan EEPROM *control register*.

Pada EEPROM *address register* terdapat 2 buah register EEARL dan EEARH yang digunakan untuk pengalamatan pada proses baca atau tulis. Konfigurasi EEPROM *address register* ditunjukkan dalam Gambar 2.10.

Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	
	-	-	-	-	-	-	-	EEAR8	EEARH
	EEAR7	EEAR6	EEAR5	EEAR4	EEAR3	EEAR2	EEAR1	EEAR0	EEARL
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R	R/W	R/W
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	X	X

Gambar 2.10 EEPROM *address register*

Sumber: Atmel, 2004: 18

Bit 15 .. 9 - *Reserved bit*

Pada bit-bit ini merupakan invalid bit dan akan selalu terbaca logika rendah(0).

Bit 8 .. 0 - EEPROM *Address*

Pada register ini untuk pengalamatan EEPROM dengan kapasitas 512 *byte* yang dapat dialamati dari alamat 0 sampai 511.

EEPROM *control register* digunakan pengontrolan mode yang digunakan seperti dalam Gambar 2.11.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	-	-	-	-	EERIE	EEMWE	EWE	EERE	EEDR
Read/Write	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	X	0	

Gambar 2.11 EEPROM control register

Sumber: Atmel, 2004: 18

Bit 7 .. 4 : *Reserved bit*

Pada bit-bit ini merupakan *invalid bit* dan akan selalu terbaca logika rendah(0).

Bit 3 : EEPROM *Ready Interrupt Enable*

Jika pada bit ini diset 1, maka mode *Ready Interrupt Enable* akan aktif.

Bit 2 : EEMWE : EEPROM *Master Write Enable*

Bit ini digunakan untuk menentukan mode penulisan selain EWE pada EEPROM. Jika diset 1 maka dengan menyeting EWE dengan 4 *clock* akan melakukan penulisan pada alamat yang dituju. Jika diset 0 maka konfigurasi EWE tidak berfungsi.

Bit 1 : EWE : EEPROM *Write Enable*

Jika diset 1 maka EEPROM berada pada mode tulis.

Bit 0 : EERE : EEPROM *Read Enable*

Jika diset 1 maka EEPROM berada pada mode baca.

Sedangkan pada EEPROM *data register* digunakan untuk memberikan atau menerima data pada EEPROM dengan alamat tertentu. EEPROM *data register* berkapasitas 8 bit seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.12.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	MSB							LSB	EEDR
Read/Write	R/W								
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Gambar 2.12 EEPROM data register

Sumber: Atmel, 2004: 18

Bit 7 .. 0 - EEDR7..0 : EEPROM Data

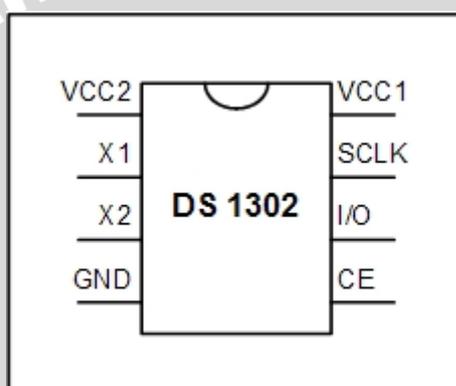
Pada mode penulisan, Register EEDR berisikan data yang akan dituliskan pada EEPROM dengan alamat yang terdapat EEPROM *address register*. Sedangkan pada mode pembacaan, hasil dari mode pembacaan pada alamat yang berada EEPROM *address register* akan terdapat pada register ini.

Penggunaan *memory non-volatile* pada mikrokontroler avr ini bertujuan untuk menjamin keamanan data mengenai informasi energi yang telah terpakai pada saat catu daya utama mati. Selain menjamin keamanan data, EEPROM juga dipakai sebagai

media penyimpan data mengenai jumlah total energi yang telah terpakai selama satu bulan. Informasi akhir bulan didapat dari *real time clock* DS1302.

2.3 RTC (Real Time Clock) DS 1302

RTC merupakan rangkaian jam dan kalender dalam sebuah IC lengkap dengan battery back up-nya, bahkan rangkaian jam dalam IC tersebut dapat tetap bekerja walaupun power supply sudah dimatikan. RTC yang digunakan adalah tipe DS1302. IC ini dapat menghitung detik, menit, jam, tanggal, bulan, hari, dan tahun. Memiliki 31 x 8 RAM dan dalam transfer datanya baik proses baca atau tulis dapat dilakukan dengan cara *single-byte* maupun *multiple-byte*. DS1302 memiliki delapan buah pin, dimana konfigurasi pinnya dapat dilihat dalam Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Konfigurasi pin DS1302
Sumber: Data Sheet DS1302,2004:1

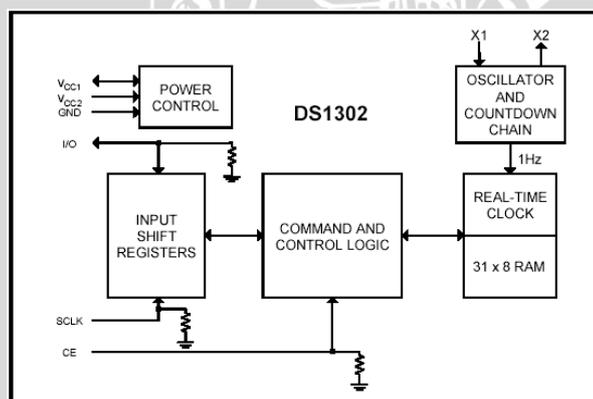
Adapun fungsi dari masing-masing pin dijelaskan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Fungsi dari masing-masing pin

PIN	NAMA	FUNGSI
1	V _{CC2}	Pin power supply utama dalam konfigurasi supply dual. V _{CC1} dihubungkan pada sumber backup dan memelihara kerja dari DS1302 jika power supply utama tidak mampu untuk mencatu. Jika V _{CC2} lebih besar dari V _{CC1} + 0,2 volt, maka DS1302 akan dicatu oleh V _{CC2} . Jika V _{CC2} kurang dari V _{CC1} maka V _{CC1} yang akan mencatu DS1302.
2	X1	Koneksi untuk 32,768kHz Quartz Crystal Standard. Osilator internal dirancang untuk beroperasi dengan crystal yang

3	X2	mempunyai beban kapasitansi sebesar 6pF. Dapat juga digunakan osilator eksternal 32,768kHz dimana pin X1 dihubungkan ke osilator eksternal dan pin X2 diambangkan.
4	GND	Ground
5	CE	Input. Sinyal CE harus dinyatakan tinggi selama proses baca atau tulis. Pin ini mempunyai 40kΩ resistor pulldown internal yang terhubung ke ground.
6	I/O	Input/Push-Pull Output. Merupakan jalur data bidirectional untuk 3-wire interface dan mempunyai 40kΩ resistor pulldown internal yang terhubung ke ground.
7	SCLK	Input. Digunakan untuk perpindahan data sinkron pada antarmuka serial. Pin ini mempunyai 40kΩ resistor pulldown internal yang terhubung ke ground.
8	V _{CC1}	Digunakan sebagai <i>charger</i> daya dari DS1302 dan dihubungkan ke baterai.

IC DS1302 mempunyai elemen-elemen utama yaitu *shift register*, *control logic*, *oscillator*, *real-time clock*, dan RAM. Blok diagram dari DS1302 ditunjukkan dalam Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Blok diagram IC DS1302

Sumber: Data Sheet DS1302,2004:1

Informasi penanggalan dan waktu diperoleh dengan pembacaan byte register yang sesuai. Tabel 2.4 menggambarkan register-register RTC. Penanggalan dan waktu di-set dengan penulisan byte register yang sesuai. Isi dari register penanggalan dan waktu adalah dalam format binary-coded desimal (BCD).

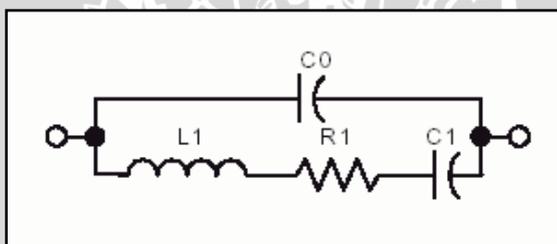
Tabel 2.4 Alamat register RTC

READ	WRITE	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	RANGE
81h	80h	CH	10 Seconds			Seconds				00–59
83h	82h		10 Minutes			Minutes				00–59
85h	84h	12/24	0	10 AM/PM		Hour		Hour		1–12/0–23
87h	86h	0	0	10 Date		Date				1–31
89h	88h	0	0	0	10 Month		Month			1–12
8Bh	8Ah	0	0	0	0	Day				1–7
8Dh	8Ch	10 Year				Year				00–99
8Fh	8Eh	WP	0	0	0	0	0	0	0	—
91h	90h	TCS	TCS	TCS	TCS	DS	DS	RS	RS	—

Sumber: Data Sheet DS1302,2004:8

2.3.1 Crystal Oscillator

Sebuah *Crystal Oscillator* bekerja berdasarkan getaran yang diberasal dari *piezoelectric material* yang digunakan agar dapat menghasilkan sinyal listrik dengan frekuensi tertentu yang mana pada RTC DS1302 direkomendasikan sebuah *crystal oscillator* dengan frekuensi 32,768 Hz. *Crystal Oscillator* dapat dimodelkan sebagai rangkaian listrik yang terdiri dari konfigurasi komponen RLC.



Gambar 2.15 Rangkaian Setara *Crystal Oscillator*

Sumber: Maxim, Dallas Semiconductor, 2001

Impedansi dari rangkaian setara ditunjukkan sebagai berikut :

$$Z(s) = \left(\frac{1}{sC_1} + sL_1 + R_1 \right) \parallel \left(\frac{1}{sC_0} \right)$$

atau

$$Z(s) = \frac{s^2 + s \frac{R_1}{L_1} + \omega_s^2}{s \left[s^2 + s \frac{R_1}{L_1} + \omega_p^2 \right]}$$

sehingga

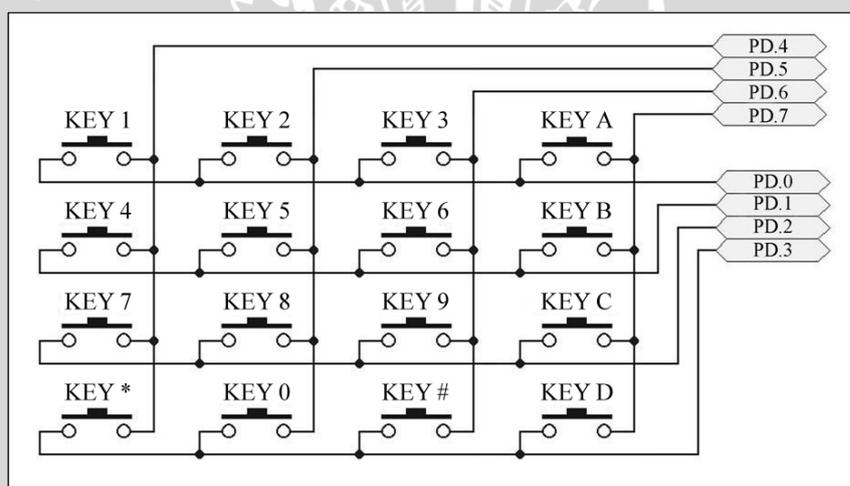
$$\omega_s = \frac{1}{\sqrt{L_1 \times C_1}} \quad \omega_p = \sqrt{\frac{C_1 + C_0}{L_1 \times C_1 \times C_0}}$$

Dimana ω_p ialah frekuensi resonansi paralel dalam *radian per second* dan ω_s ialah frekuensi resonansi seri dalam *radian per second*.

Penambahan nilai kapasitansi pada *crystal* akan menyebabkan frekuensi resonansi paralel berkurang. Pengaruh dari nilai kapasitansi tersebut dapat digunakan untuk menyesuaikan frekuensi osilasi dari *crystal* sehingga *real time clock* DS1302 membutuhkan *crystal* dengan frekuensi osilasi 32,768 kHz dengan nilai kapasitansi 6pF.

2.4 Rangkaian Keypad Matriks 4 x 4

Keypad digunakan untuk memasukkan suatu kode atau data yang akan diolah, untuk itu setiap *key* (tombol) dari *keypad* akan mempunyai kode sendiri setelah masuk ke sistem yang dirancang. *Keypad* matrik adalah *keypad* yang dapat menghasilkan suatu kode ke sistem bila ditekan salah satu tombolnya, sebagai hasil pertemuan dua jalur, yang pertama adalah jalur kolom (sumbu tegak) dengan baris (sumbu datar). *Keypad* matrik 4 x 4 di sini artinya terdapat 4 jalur kolom dan 4 jalur baris sehingga akan membentuk matriks 4 x 4 sama dengan menghasilkan 16 kode yang berbeda. Gambar di bawah ini adalah rancangan untuk *keypad* matrik 4 x 4.



Gambar 2.16 Keypad matrik 4x4

Keypad ini bekerja menggunakan dasar *scanning*, bila diantarmukakan dengan mikrokontroler, program dalam mikrokontroler akan mengaturnya. Pertama akan dikirim sebuah sinyal aktif ke sebuah kolom, selanjutnya mikrokontroler akan membaca secara bergantian baris 1 sampai baris 4, untuk menyeleksi tombol mana yang aktif. Hal ini akan berulang ulang sampai kolom keempat, kemudian kembali lagi ke kolom pertama.

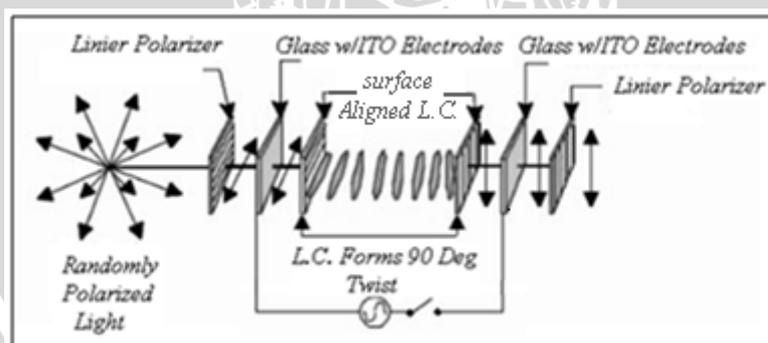
2.5 Relay

Relay adalah suatu komponen yang akan langsung bekerja sebagai saklar apabila mendapat catu daya. Relay dilengkapi dengan kontak-kontak NO (normaly open) atau NC (normaly close). Kontak-kontak ini akan berubah kedudukan (NO-NC : NC-NO) bersamaan dengan kerja relay.

2.6 LCD (*Liquid Crystal Display*)

Liquid Crystal Display (LCD) adalah suatu media penampil dalam bentuk matrik titik dengan struktur kristal cair berupa *twisted nematic cell*. *Twisted Nematic (TN) liquid crystal cell* mempunyai sifat dapat memutar orientasi molekul pada jalur tertentu akibat gaya eksternal berupa medan listrik atau magnet. *Twisted Nematic (TN) liquid crystal cell* bekerja dengan konfigurasi *normally white* yaitu cahaya ditransmisikan dalam keadaan tanpa pemberian tegangan dan dihalangi ketika tegangan yang diberikan melampaui tegangan *threshold*-nya.

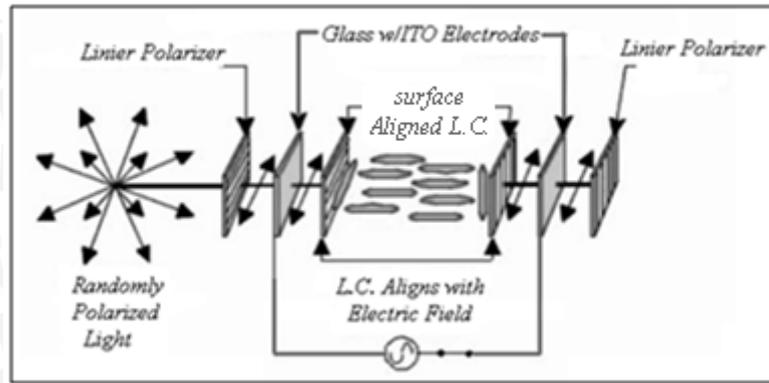
Pada saat tidak terdapat medan listrik maka suatu berkas cahaya terpolarisasi linier datang pada salah satu permukaan sedemikian rupa sehingga terpolarisasi sejajar dengan alur mikro. Pada waktu berjalan melalui sel, polarisasi cahaya akan berputar sesuai dengan orientasi molekul dan sejajar terhadap alur mikro pelat kedua (polarisasi cahaya berputar dengan sudut 90°) sehingga berkas cahaya dapat terlihat.



Gambar 2.17 Konfigurasi *normally white* tanpa medan listrik

Sumber : www.lctecdisplays.com, 2007

Bila suatu medan listrik eksternal diberikan tegak lurus terhadap pelat maka gaya listrik yang dihasilkan akan cenderung meluruskan molekul – molekul kristal cair sejajar dengan medan tersebut sehingga molekul – molekul tersebut secara optik tidak aktif atau terhalangi. Dengan kata lain *twisted nematic cell* berperan sebagai sebuah *switch* yang termodulasi tegangan.

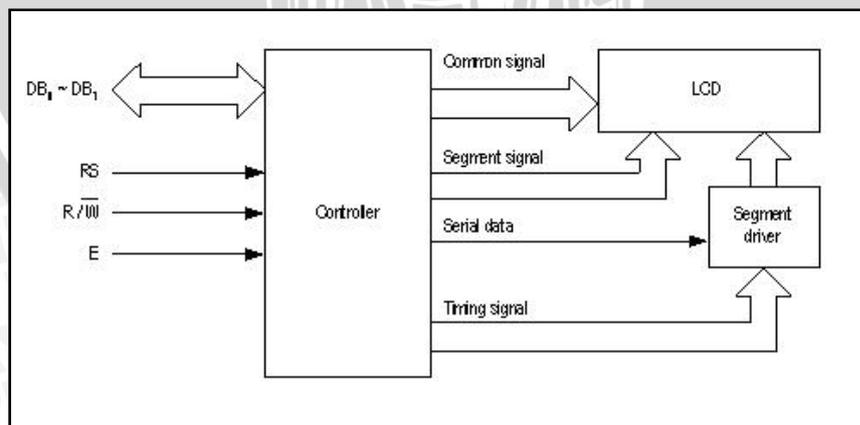


Gambar 2.18 Konfigurasi *normally white* dengan medan listrik

Sumber : www.lcteddisplays.com, 2007

Penggunaan teknologi *twisted nematic liquid crystal cell* ini diterapkan pada LCD M1632 yang diproduksi oleh Seiko Instruments Inc. LCD M1632 dilengkapi dengan panel LCD dengan tingkat kontras yang cukup tinggi serta pengontrol LCD CMOS yang telah terpasang dalam modul tersebut. Pengontrol mempunyai ROM/RAM pembangkit karakter dan RAM data *display*. Semua fungsi untuk tampilan diatur menggunakan instruksi-instruksi, sehingga modul LCD ini dengan mudah dapat diantarmukakan dengan unit mikroprosesor atau mikrokontroler (Seiko, 1987).

Masukan yang diperlukan untuk mengendalikan modul ini berupa *bus* data yang masih termultipleks dengan *bus* alamat serta 3 bit sinyal kontrol. Sementara pengendalian dot matrik LCD dilakukan secara internal oleh kontroler yang sudah terpasang pada modul LCD. Diagram blok untuk bagian penampil terlihat dalam Gambar 2.19.

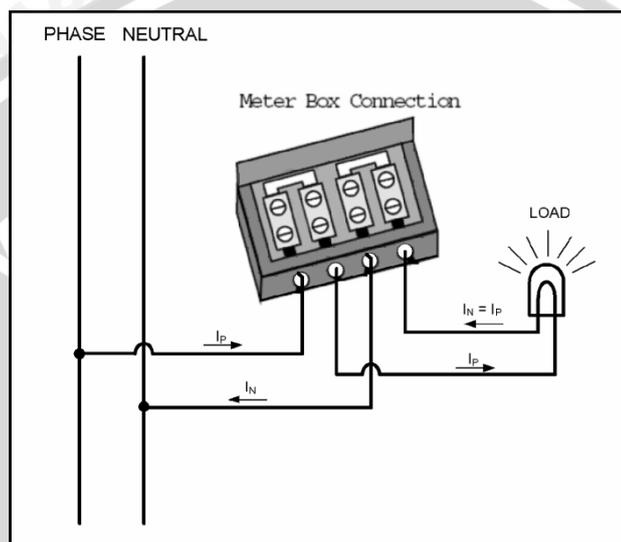


Gambar 2.19 Diagram blok modul LCD M1632

Sumber: Seiko, 1987: 3

2.7 Kesalahan Pengkabelan pada Instalasi Listrik

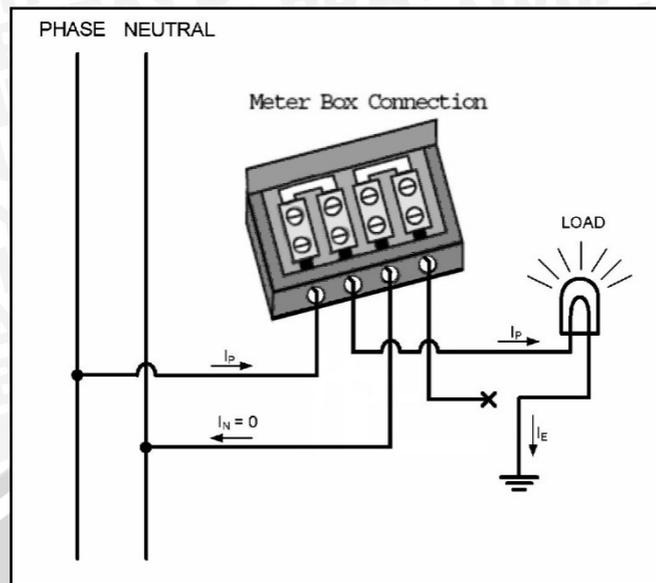
Pengkabelan atau instalasi listrik merupakan salah satu hal penting dalam mendistribusikan energi listrik. Untuk mendapatkan energi yang optimal diperlukan teknik yang benar dalam hal instalasi atau pengkabelan. Selain itu teknik pengkabelan merupakan komponen pendukung dalam hal penghitungan energi listrik yang telah dipakai misalnya oleh konsumen. Teknik pengkabelan yang direkomendasikan dapat diilustrasikan dalam Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Koneksi Normal pada listrik 1 fasa 2 kawat
Sumber: Analog Device, 2004 : 1

2.7.1 Kesalahan pengkabelan Beban dengan Bumi (*Earth Fault Conditions*)

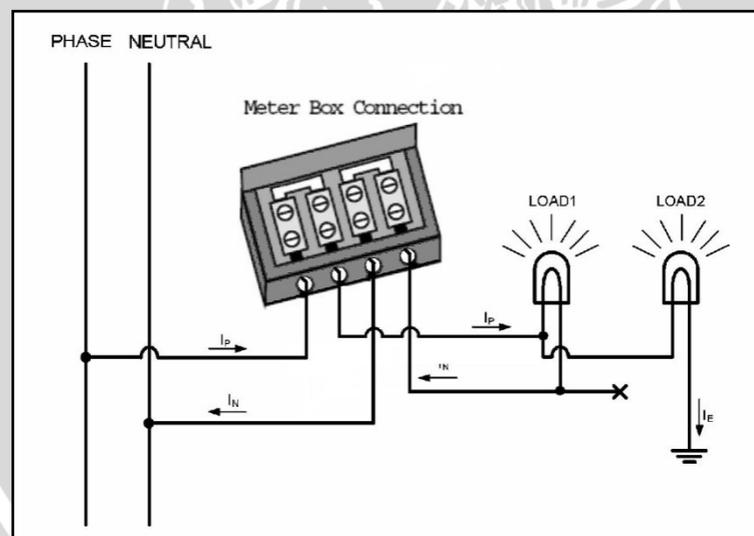
Kesalahan pengkabelan Beban dengan bumi akan menimbulkan ketidaksamaan arus pada yang mengalir pada kabel fasa dan netral. Hal ini akan mengakibatkan adanya perbedaan pencatatan energi listrik bila dibandingkan dengan pada saat kondisi normal. Bila kondisi ini terjadi maka arus yang mengalir setelah beban (I_N) = 0. Salah satu contohnya diilustrasikan dalam Gambar 2.21.



Gambar 2.21 Koneksi beban dengan Ground ($I_N = 0$)

Sumber: Analog Device, 2004 : 1

Dalam Gambar 2.21, kondisi yang terjadi ialah bila semua beban dihubungkan dengan Bumi, maka pencatatan energi listrik dilakukan dengan menggunakan besaran arus I_p . Akan tetapi bila tidak semua beban dihubungkan dengan bumi seperti dalam Gambar 2.22, maka pencatatan daya listrik ini secara otomatis akan memilih arus terbesar.



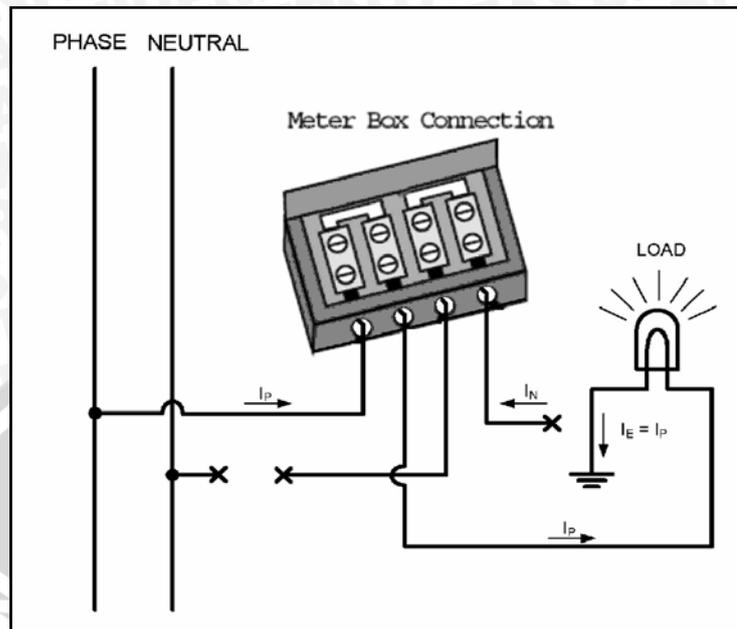
Gambar 2.22 Koneksi salah satu beban dengan Ground ($I_p > I_N$)

Sumber: Analog Device, 2004 : 1

2.7.2 Kehilangan koneksi kabel netral (*Missing Neutral Condition*)

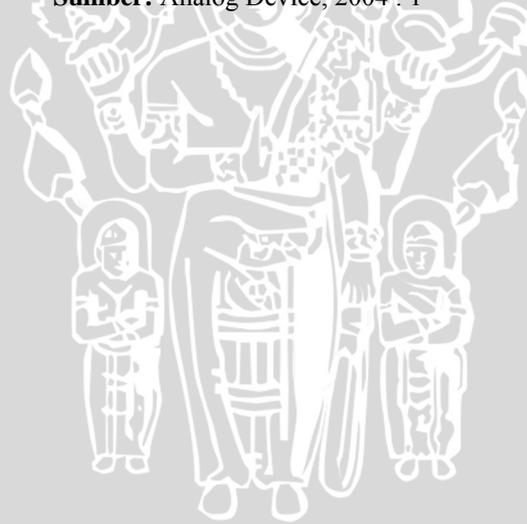
Kemungkinan kecurangan yang dapat dilakukan dalam memperoleh energi listrik yaitu dengan memutuskan koneksi dengan kabel netral dan menghubungkan beban dengan bumi. Bila hal ini terjadi level tegangan tidak terdeteksi. Pencatatan energi listrik dilakukan dengan menggunakan arus terbesar yang mengalir menuju

beban dan dengan menggunakan suatu konstanta yang sesuai dengan tegangan pada kondisi normal. Salah satu contohnya diilustrasikan dalam Gambar 2.23.



Gambar 2.23 Pemutusan kabel neutral dan koneksi beban dengan Ground

Sumber: Analog Device, 2004 : 1



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penyusunan skripsi ini didasarkan pada masalah yang bersifat aplikatif, yaitu perencanaan dan perealisasiannya agar dapat menampilkan unjuk kerja sesuai dengan yang direncanakan dengan mengacu pada rumusan masalah. Data dan spesifikasi komponen yang digunakan dalam perencanaan merupakan data sekunder yang diambil dari buku data komponen elektronika. Pemilihan komponen berdasarkan perencanaan dan disesuaikan dengan komponen yang ada di pasaran.

Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang akan dibuat adalah sebagai berikut:

3.1 Perencanaan Alat

Perencanaan pencatat daya elektrik satu fasa dengan pengaturan biaya penggunaan secara terprogram yang dilengkapi dengan pendeteksi kesalahan pengkabelan meliputi:

- a. Penentuan spesifikasi alat.
- b. Pemilihan komponen elektronika penyusun sistem sesuai dengan yang tersedia di pasaran dan mempelajari karakteristik tiap-tiap komponen elektronika tersebut.
- c. Perencanaan perangkat keras berupa rangkaian penyesuai tegangan, rangkaian konverter arus ke tegangan, rangkaian penguat sinyal ac, minimum sistem mikrokontroler, modul RTC, pengendali relay, *keypad* dan LCD dot matrik.
- d. Pembuatan diagram alir perangkat lunak mikrokontroler untuk menangani kebutuhan sistem yang direncanakan.

3.2 Pembuatan Alat

Pembuatan pencatat daya elektrik satu fasa dengan pengaturan biaya penggunaan secara terprogram yang dilengkapi dengan pendeteksi kesalahan pengkabelan meliputi:

- a. Pembuatan perangkat keras sistem dengan menggunakan komponen elektronika yang telah direncanakan meliputi pembuatan *Printed Circuit Board* (PCB), pengujian komponen, pengeboran, perakitan, penyolderan komponen pada PCB.

- b. Pembuatan perangkat lunak mikrokontroler sesuai dengan diagram alir yang telah direncanakan meliputi penulisan kode dan kompilasi program menggunakan *software CodeVision C Compiler*, AVR Studio 4 dan Ponyprog *downloader*.

3.3 Pengujian Alat

Pengujian alat ini bertujuan untuk mengetahui apakah alat hasil perancangan dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang direncanakan. Adapun bentuk pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Pengujian Perangkat Keras

Untuk pengujian perangkat kerasnya, pengujian dilakukan per blok terlebih dahulu, kemudian dilakukan pengujian keseluruhan sistem.

- b. Pengujian Perangkat Lunak

Untuk pengujian perangkat lunak digunakan *emulator* AVR sehingga dapat diketahui apakah program yang dibuat sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

- c. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan dengan menyambungkan blok perangkat keras dan mengoperasikan sistem kemudian dapat diketahui apakah alat ini bekerja sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.

3.4 Penyusunan Kesimpulan dan Saran

Tahap berikutnya adalah pengambilan kesimpulan dari peralatan yang dibuat. Pengambilan kesimpulan ini didasarkan pada kesesuaian antara perancangan dengan hasil pengujian. Tahap terakhir adalah saran yang dimaksudkan untuk memperbaiki kesalahan-kesalahan yang terjadi serta menyempurnakan penelitian.

BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Dalam perencanaan alat ini dilakukan bertahap blok demi blok untuk memudahkan analisis sistem setiap bagian maupun sistem secara keseluruhan. Perencanaan dan pembuatan sistem ini terdiri atas dua bagian yaitu perencanaan perangkat keras dan perencanaan perangkat lunak. Beberapa aspek lain yang perlu dijelaskan dalam pembahasan bab ini adalah penentuan spesifikasi dari sistem yang dirancang, blok diagram dan prinsip kerja sistem.

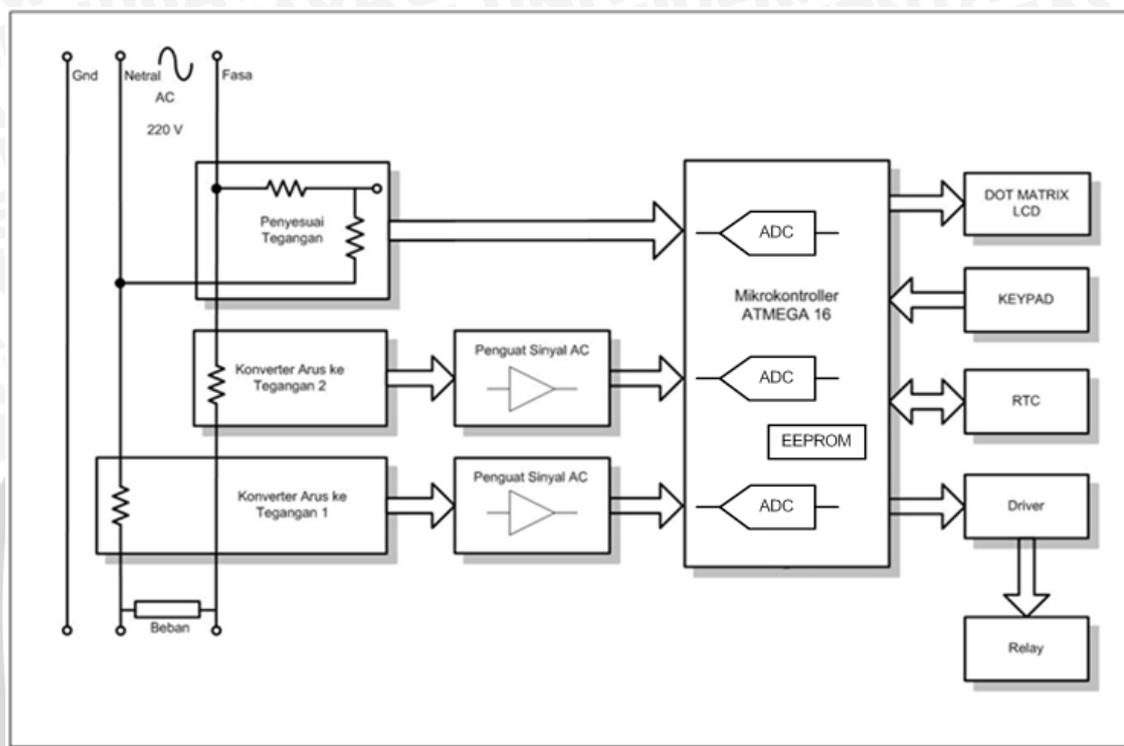
4.1 Spesifikasi Alat

Adapun spesifikasi alat yang direncanakan adalah sebagai berikut :

- a. Alat yang dirancang menggunakan mikrokontroler ATMEGA 16 sebagai pengontrol utama dengan pengukuran daya maksimal sebesar 1300 VA.
- b. Alat yang dirancang dapat mendeteksi perubahan arus sebesar 0,05 ampere dan perubahan tegangan sebesar 1,5 volt dengan menggunakan ADC yang terdapat pada mikrokontroler ATMEGA 16.
- c. Alat dapat mencatat dan menampilkan daya aktif yang telah terpakai maupun biaya penggunaan melalui LCD dotmatrix.
- d. Alat yang dirancang menggunakan 2 buah konverter arus ke tegangan untuk mendeteksi adanya kesalahan pengkabelan dan sebuah rangkaian penyesuaian tegangan.
- e. Data daya aktif yang telah terpakai dicatat dalam EEPROM yang terdapat dalam mikrokontroler dengan kapasitas 512 byte.
- f. Alat yang dirancang mempunyai tombol *keypad* untuk pemilihan menu dan konfigurasi awal.
- g. Informasi mengenai tanggal dan bulan diperoleh dari *Real Time Clock* (RTC) DS1302.
- h. Alat mampu memutuskan arus listrik melalui relay secara otomatis.

4.2 Perencanaan Blok Rangkaian

Blok diagram rangkaian pencatat daya aktif ini merupakan dasar dari perancangan sistem. Diagram blok ini nantinya digunakan untuk pengecekan masing - masing blok yang menyusun sistem seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Blok Diagram Alat

4.3 Prinsip Kerja Sistem

Pencatat daya elektrik satu fasa ini bekerja berdasarkan tegangan yang terdapat pada jala-jala dan arus listrik yang mengalir menuju beban. Untuk pengukuran tegangan jala-jala digunakan rangkaian penyesuai tegangan dengan tujuan agar level tegangan yang terukur sesuai dan dapat diproses oleh rangkaian konverter sinyal analog ke digital. Sedangkan pengukuran arus listrik digunakan rangkaian konverter arus ke tegangan sebelum beban dan sesudah beban. Keluaran dari rangkaian konverter arus ke tegangan ini perlu dikuatkan karena level tegangan yang dihasilkan sangat kecil dan perlu disesuaikan dengan rangkaian konverter sinyal analog ke digital (ADC). ADC berfungsi untuk mengkonversi level tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian penyesuai tegangan dan rangkaian penguat menjadi data digital. Data - data digital tersebut diproses untuk mendapatkan nilai rata-ratanya atau *root mean square (rms)* dari masing-masing pengukuran yaitu nilai *rms* dari tegangan jala-jala dan nilai *rms* arus yang mengalir sebelum dan sesudah beban. Selain itu data-data digital tersebut juga

digunakan untuk menghitung faktor daya yang ditimbulkan beban. Proses penghitungan daya aktif dilakukan dengan operasi perkalian antara tegangan rms (V_{rms}), arus rms terbesar (I_{rms}) dan faktor daya atau $\cos(\phi)$. Untuk menjamin keakuratan data maka hasil dari perkalian tersebut disimpan didalam *memory* 32-bit. Daya nyata yang diperoleh dikalikan dengan konstanta waktu dalam detik untuk mendapatkan energi listrik atau daya waktu (Ws).

Pendeteksian kesalahan pengkabelan seperti penghubungan beban dengan bumi dapat dideteksi dengan membandingkan nilai arus rms sebelum beban dengan nilai arus rms sesudah beban. Bila terdapat perbedaan atau selisih dari konstanta yang telah ditetapkan maka mikrokontroler akan mengindikasikan terjadinya kesalahan pengkabelan dengan menyalanya indikator LED kondisi penghubungan beban dengan bumi. Kesalahan pengkabelan kedua yaitu kehilangan koneksi kabel netral sehingga tegangan yang terukur (V_{rms}) = 0 volt tetapi terdapat aliran arus listrik menuju beban ($I_{rms} \geq 0$). Bila kondisi ini terjadi maka mikrokontroler akan mengindikasikan terjadinya kesalahan pengkabelan dengan menyalanya indikator LED kondisi kehilangan koneksi kabel netral. Untuk melakukan proses penghitungan energi listrik pada kondisi ini diperlukan adanya konstanta tegangan tertentu.

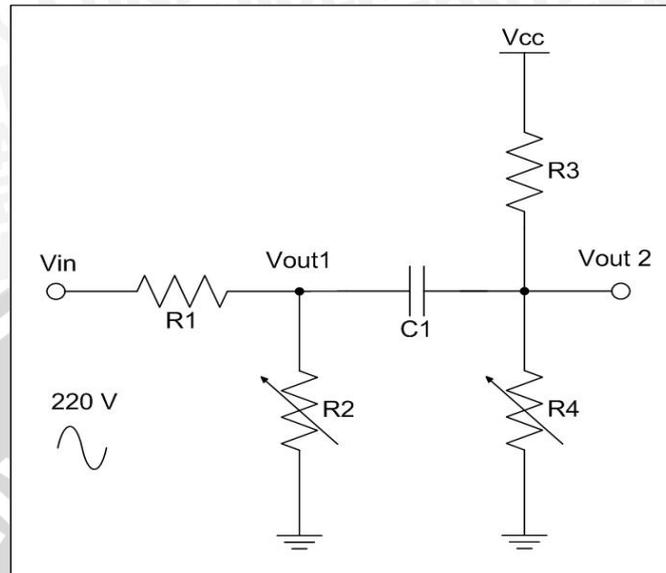
Energi listrik yang tercatat akan terus menerus diakumulasi dan dihitung biaya penggunaannya, apabila biaya tersebut melebihi dari biaya yang telah ditentukan maka aliran listrik akan diputus oleh relay secara otomatis. Pencatatan jumlah energi listrik dan biaya penggunaan perbulan disimpan pada EEPROM pada waktu awal bulan. Informasi mengenai waktu awal bulan diperoleh dari RTC. Jumlah energi yang telah digunakan akan disimpan pada EEPROM pada mikrokontroler setiap perubahan 1kWs dengan tujuan untuk menjamin keamanannya apabila tegangan jala-jala melemah atau terputus. Pengaturan biaya penggunaan, pengaturan waktu maupun pemilihan menu dilakukan melalui *keypad* sedangkan *display* dari sistem ini menggunakan *LCD dot matrix*.

4.4 Perancangan Perangkat Keras

4.4.1 Rangkaian Penyesuai Tegangan

Rangkaian penyesuai tegangan yang dipakai terdiri dari rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*) dan rangkaian *clamper*. Rangkaian pembagi tegangan tersebut berfungsi mengubah level tegangan dari tegangan jala-jala sebesar 220 V

dengan level tegangan maksimal ditetapkan sebesar 120 % menjadi tegangan 2,56 V_{p-p} yang sesuai dengan tegangan referensi pada ADC. Rangkaian pembagi tegangan tersebut dikonfigurasi R₁ dan R₂ seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Rangkaian Penyesuai Tegangan

Keluaran V_{out1} diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut :

$$V_{out1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in}$$

Perhitungan diatas diperoleh dengan mengabaikan efek membebani oleh rangkaian selanjutnya yaitu konfigurasi R₃, R₄ dan C₁.

Jika tegangan yang diharapkan pada V_{out1} sebesar 2,56 V_{p-p} atau 0,905 V_{rms} dengan masukan maksimal sebesar 120 % dari 220 volt yaitu 264 volt maka:

$$V_{out1} = V_{in} \times 1,2 \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (4.1)$$

Dengan menggunakan R₁ sebesar 270 kΩ maka nilai R₂ diperoleh sebesar :

$$V_{out1} = V_{in} \times 1,2 \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$0,905 = 220 \times 1,2 \times \frac{R_2}{270k + R_2}$$

$$0,905 = 264 \times \frac{R_2}{270k + R_2}$$

$$0,905 (270k + R_2) = 264 R_2$$

$$244,35k + 0,905 R_2 = 264 R_2$$

$$R_2 = \frac{244,35 \text{ k}}{(264 - 0,905)}$$

$$R_2 = 928,75 \Omega$$

Berdasarkan nilai resistor yang terdapat dipasaran, maka dipilih resistor variabel multitrim dengan hambatan maksimal 1 k Ω .

Perhitungan daya maksimal pada masing-masing resistor sebagai berikut :

Arus yang mengalir (I_1) :

$$I_1 = \frac{220 \times 1,20}{270 \text{ k}\Omega + 928,752 \Omega} = 0,974 \text{ mA}$$

$$P_{R_1} = I_1^2 R_1 = (0,974 \times 10^{-3})^2 \times 270 \times 10^3 = 0,256 \text{ W}$$

$$P_{R_2} = I_1^2 R_2 = (0,974 \times 10^{-3})^2 \times 928,752 = 0,881 \text{ mW}$$

Agar sinyal keluaran dari rangkaian pembagi tegangan dapat diterima oleh ADC maka diperlukan adanya rangkaian *clammer* yang menaikkan *dc offset* pada sinyal masukan karena range masukan ADC yang digunakan berkisar antara 0 - 2,56 volt. Dengan menggunakan tegangan referensi pada ADC sebesar 2,56 volt maka sinyal masukan yang berupa sinyal ac perlu di *clammer* dengan sebesar setengah dari tegangan referensi tersebut yaitu 1,28 V_{dc}. Rangkaian *clammer* ini dikonfigurasi oleh R₃, R₄ dan C₁.

Bila sinyal masukan $V_{out1} = A \sin \omega t$ volt dimana A adalah Amplitudo maka diharapkan keluaran dari rangkaian *clammer* ini menjadi $V_{out2} = 1,28 + A \sin \omega t$ volt.

Dengan menggunakan analisis sinyal ac yaitu dengan mengabaikan kapasitor C₁ maka pada saat V_{out1} bernilai 0 volt maka V_{out2} akan bernilai 1,28 volt sehingga konfigurasi R₃ dan R₄ ialah :

$$V_{out2} = \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} V_{cc} \right) + V_{out1}$$

$$1,28 = \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \times 5 \right) + 0$$

$$1,28 (R_3 + R_4) = 5 R_4$$

$$1,28 R_3 = 5 R_4 - 1,28 R_4$$

$$R_3 = \frac{3,72}{1,28} R_4$$

$$R_3 = 2,906 R_4$$

Bila R_3 menggunakan resistansi 1 M Ω maka :

$$R_4 = \frac{R_3}{2,906} = \frac{1 \times 10^6}{2,906} = 344,12 \text{ k}\Omega$$

Berdasarkan nilai yang terdapat dipasaran maka R_4 dipilih dengan menggunakan sebuah resistor 330 k Ω yang diseri dengan resistor variabel multitrim dengan hambatan 100k Ω .

Perhitungan daya resistor R_3 dan R_4 adalah :

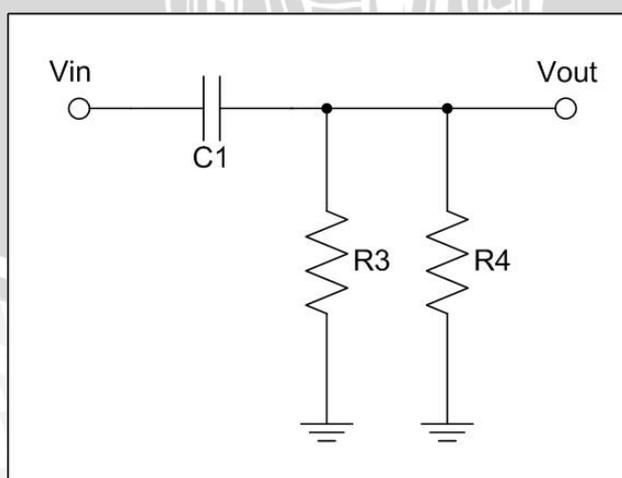
Arus yang mengalir (I_2) :

$$I_2 = \frac{5V}{1M\Omega + 344,12k\Omega} = 3,720 \mu A$$

$$P_{R1} = I_2^2 R_3 = (3,720 \times 10^{-6})^2 \times 1 \times 10^6 = 13,838 \mu W$$

$$P_{R2} = I_2^2 R_4 = (3,720 \times 10^{-6})^2 \times 969,277 = 13,316 \text{ nW}$$

Untuk mendapatkan nilai kapasitor yang dipakai maka diperlukan analisis ac dari rangkaian *clamper*. Dengan menggunakan analisis ac maka rangkaian setaranya ditunjukkan dalam Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Analisis ac rangkaian *clamper*

Fungsi alih dari Gambar 4.3 dapat diperoleh dari perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_3 // R_4}{(R_3 // R_4) + \frac{1}{sC_1}}$$

Bila menggunakan frekuensi *cut off* sama dengan frekuensi jala-jala yaitu 50 Hz maka tanggapan amplitudo dari rangkaian tersebut diperoleh sebesar :

$$\begin{aligned} \left| \frac{V_o}{V_i} \right| &= \frac{(f/f_c)}{[1+(f/f_c)^2]^{1/2}} \\ &= \frac{(50/50)}{[1+(50/50)^2]^{1/2}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707 = -3\text{dB} \end{aligned}$$

Dengan adanya peredaman amplitudo sebesar -3dB akan mengakibatkan ketidaksamaan pengukuran dengan nilai yang sebenarnya atau terjadi kesalahan pengukuran. Maka untuk meminimalkan kesalahan yang terjadi maka redaman amplitudo dibuat teredam 0,1 % atau dengan kata lain tidak teredam sebesar 99,9 % atau setara dengan -0.008 dB dengan frekuensi masukan sebesar 50 Hz.

$$\begin{aligned} \left| \frac{V_o}{V_i} \right| &= \frac{(f/f_c)}{[1+(f/f_c)^2]^{1/2}} \\ 0,999 &= \frac{(50/f_c)}{[1+(50/f_c)^2]^{1/2}} \\ f_c &= \sqrt{\frac{(50)^2}{(0,999)^2} - (50)^2} \\ &= 2,238 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Dari frekuensi *cutoff* diatas dapat peroleh nilai C_1 sebesar :

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{1}{2\pi (R_3 // R_4) C_1} \\ C_1 &= \frac{1}{2\pi f_c (R_3 // R_4)} \\ C_1 &= \frac{1}{2 \times 3,14 \times 2,238 \times (1 \times 10^6 // 344,12 \times 10^3)} \\ C_1 &= 277,913 \text{ nF} \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai yang terdapat dipasaran maka C_1 dipilih dengan menggunakan kapasitor dengan nilai 330 nF.

Maka frekuensi *cutoff* dengan pemilihan kapasitor dengan kapasitansi sebesar 330 nF sebesar :

$$f_c = \frac{1}{2\pi (R_3 // R_4) C_1}$$

$$= \frac{1}{2 \times 3,14 \times (1 \times 10^6 // 344,12 \times 10^3) \times 330 \times 10^{-9}}$$

$$f_c = 1,884 \text{ Hz}$$

Tanggapan amplitudo dari rangkaian tersebut berubah menjadi :

$$\left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{(f/f_c)}{[1+(f/f_c)^2]^{1/2}}$$

$$= \frac{(50/1,884)}{[1+(50/1,884)^2]^{1/2}}$$

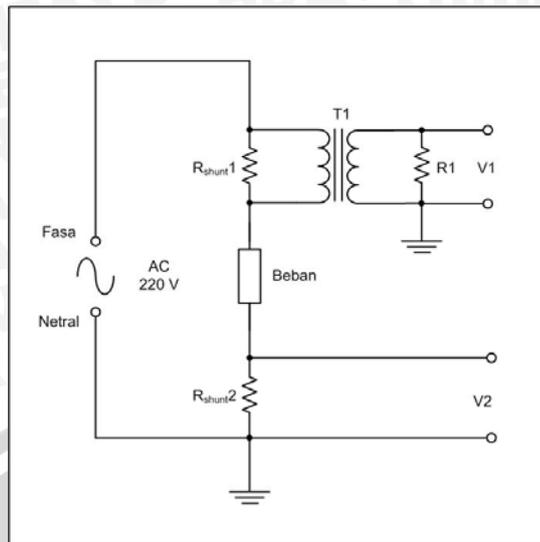
$$= \frac{26,539}{26,558}$$

$$= 0,999 = -0,008 \text{ dB}$$

Sehingga tanggapan amplitudo dengan penggantian nilai kapasitor sebesar 330 nF sesuai dengan redaman yang diharapkan yaitu teredam 0,1 % atau dengan kata lain tidak teredam sebesar 99,9% atau setara dengan -0,008 dB pada saat frekuensi masukan sebesar 50 Hz.

4.4.2 Konverter Arus ke Tegangan

Konverter Arus ke tegangan pada alat ini berfungsi untuk mendapatkan informasi besaran arus yang mengalir pada beban secara akurat dari pengukuran. Konverter arus ke tegangan ini menggunakan resistor yang mempunyai resistansi kecil agar tidak membebani sistem. Jumlah resistor yang digunakan sebanyak 2 buah, pada kabel fasa sebelum memasuki sistem dan pada kabel netral setelah sistem pengukuran. Hal ini digunakan untuk mendeteksi kesalahan pengkabelan dengan cara membandingkan tegangan pada resistor shunt pertama dengan tegangan pada resistor shunt kedua.



Gambar 4.4 Rangkaian konverter arus ke tegangan

Range pengukuran arus ini berkisar antara $0 - 6 A_{rms}$ sehingga bila menggunakan resistor $50 m\Omega$ maka tegangan yang terdapat pada resistor tersebut mempunyai persamaan :

$$V_{out} = R \times i$$

$$V_{out} = 50 \times 10^{-3} \times i \tag{4.1}$$

Bila arus maksimal sebesar $6 A_{rms}$ maka keluaran maksimalnya ialah

$$V_{out} = 50 m\Omega \times 6 A = 0,3 V_{rms}$$

Besarnya disipasi daya maksimal pada resistor *shunt* (P_R) adalah:

$$P_{R\ max} = \frac{V^2}{R_{sh}}$$

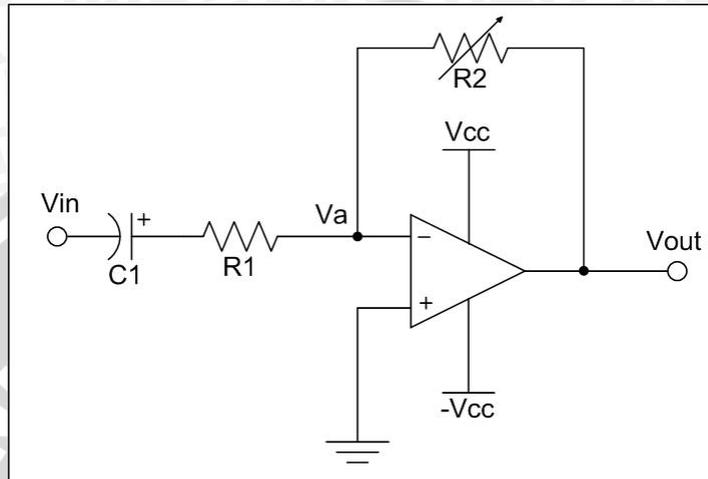
$$P_{R\ max} = \frac{(0,3)^2}{50 \times 10^{-3}} = 1,8 W$$

Berdasarkan nilai resistor yang terdapat dipasaran, maka dipilih 2 buah resistor $0,1\Omega/5W$ yang diparalel sehingga menghasilkan harga resistansi sebesar $0,05 \Omega$ untuk menghindari panas yang berlebihan.

Pada R_{shunt1} terdapat sebuah *coupled transformer* dengan perbandingan $1 : 1$ yang digunakan untuk mendapatkan tegangan diferensial pada R_{shunt1} , bila rugi-rugi yang terdapat pada transformator diabaikan maka tegangan pada R_{shunt1} akan sama dengan tegangan pada sisi sekunder transformator.

4.4.3 Penguat Sinyal AC

Penguat sinyal ac berfungsi untuk menguatkan sinyal ac yang dihasilkan oleh konverter arus ke tegangan dan juga digunakan untuk menahan sinyal dc. Komponen utama dari penguat sinyal ac ini ialah sebuah IC op-amp LM 072. Adapun rangkaian dari penguat sinyal ac ini dapat ditunjukkan dalam Gambar 4.5 berikut:



Gambar 4.5 Penguat sinyal ac

Pada sisi masukan, perancangan pada penguat sinyal ac ini disesuaikan dengan sinyal keluaran yang pada konverter arus ke tegangan yang keluaran maksimalnya $0,3 V_{rms}$ yang setara dengan $0,849 V_{p-p}$ sedangkan pada sisi keluaran perancangan ini disesuaikan dengan tegangan referensi ADC yaitu 2,56 volt sehingga diperlukan penguatan sebesar 3,016 kali. Dari gambar 4.5 tersebut diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\frac{V_{out} - V_a}{R_2} = \frac{V_a - V_{in}}{R_1 + \frac{1}{sC_1}}$$

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1 + \frac{1}{sC_1}} V_{in} \quad (4.2)$$

Bila menggunakan frekuensi *cutoff* sama dengan frekuensi jala-jala yaitu 50 Hz maka tanggapan amplitudo dari rangkaian tersebut diperoleh sebesar :

$$\begin{aligned} \left| \frac{V_o}{V_i} \right| &= \frac{(f/f_c)}{[1+(f/f_c)^2]^{1/2}} \\ &= \frac{(50/50)}{[1+(50/50)^2]^{1/2}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707 = -3\text{dB} \end{aligned}$$

Dengan adanya peredaman ampiltudo sebesar -3dB akan mengakibatkan ketidaksamaan penguatan dengan nilai yang sebenarnya. Maka untuk meminimalkan kesalahan yang terjadi maka redaman amplitudo dibuat teredam 0,1 % atau dengan kata lain tidak teredam sebesar 99,9 % atau setara dengan -0,008 dB dengan frekuensi masukan sebesar 50 Hz.

$$\begin{aligned} \left| \frac{V_o}{V_i} \right| &= \frac{(f/f_c)}{[1+(f/f_c)^2]^{1/2}} \\ 0,999 &= \frac{(50/f_c)}{[1+(50/f_c)^2]^{1/2}} \\ f_c &= \sqrt{\frac{(50)^2}{(0,999)^2} - (50)^2} \\ &= 2,238 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Dari frekuensi *cutoff* diatas dapat peroleh nilai C_1 sebesar :

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{1}{2\pi \times R_1 \times C_1} \\ C_1 &= \frac{1}{2\pi \times f_c \times C_1} \\ C_1 &= \frac{1}{2 \times 3,14 \times 2,238 \times 10 \times 10^3} \\ C_1 &= 7,155 \mu\text{F} \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai yang terdapat dipasaran maka C_1 dipilih dengan menggunakan kapasitor dengan nilai 10 μF .

Maka frekuensi *cutoff* dari rangkaian penguat sinyal AC dengan pemilihan kapasitor dengan kapasitansi sebesar 10 μF sebesar :

$$\begin{aligned}
 f_c &= \frac{1}{2\pi \times R_1 \times C_1} \\
 &= \frac{1}{2 \times 3,14 \times 10 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-6}} \\
 &= 1,592 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

Tanggapan amplitudo dengan penggantian nilai kapasitor sebesar 10 μF tersebut berubah menjadi :

$$\begin{aligned}
 \left| \frac{V_o}{V_i} \right| &= \frac{(f/f_c)}{[1 + (f/f_c)^2]^{1/2}} \\
 &= \frac{(50 / 1,592)}{[1 + (50 / 1,592)^2]^{1/2}} \\
 &= \frac{31,407}{31,423} \\
 &= 0,999 = -0,008 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Sehingga tanggapan amplitudo dengan penggantian nilai kapasitor sebesar 10 μF sesuai dengan redaman yang diharapkan yaitu teredam 0,1 % atau dengan kata lain tidak teredam sebesar 99,9% atau setara dengan -0,008 dB pada saat frekuensi masukan sebesar 50 Hz.

Sedangkan tanggapan fasa dari rangkaian tersebut dengan penggantian nilai kapasitor sebesar 10 μF diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \frac{V_{out}}{V_{in}} &= -\frac{R_2}{R_1 + \frac{1}{sC_1}} \quad \text{dimana } s = j\omega \\
 &= -\frac{R_2}{R_1 - j\frac{1}{\omega C_1}} \\
 \phi(\omega) &= -\tan^{-1}\left(\frac{1}{\omega R_1 C_1}\right) = -\tan^{-1}\left(\frac{1}{2\pi R_1 C_1}\right) \\
 &= -\tan^{-1}\left(\frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 10 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-6}}\right) \\
 &= -\tan^{-1}(0,0318) \\
 &= -1,825^\circ = 178,175^\circ
 \end{aligned}$$

Sehingga dengan adanya tanggapan fasa sebesar 178,175° maka dalam perhitungan untuk mendapatkan beda fasa perlu ditambahkan nilai sebesar 1,825°.

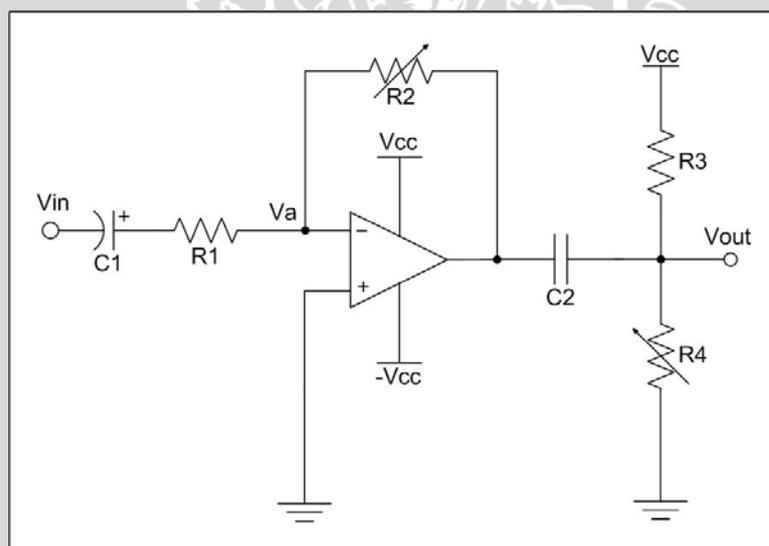
Untuk memperoleh penguatan sebesar 3,016 kali, maka dengan menggunakan analisis sinyal ac yang mana kapasitor dapat dihubung singkat maka persamaan 4.2 berubah menjadi :

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Dengan nilai $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ maka R_2 diperoleh sebesar $30,16 \text{ k}\Omega$.

Agar sinyal keluaran dari rangkaian penguat AC dapat diterima oleh ADC maka diperlukan adanya rangkaian *clamper* yang menaikkan *dc offset* pada sinyal masukan karena range masukan ADC yang digunakan berkisar antara 0-2,56 volt. Dengan menggunakan tegangan referensi pada ADC sebesar 2,56 volt maka sinyal masukan yang berupa sinyal ac perlu di *clamper* dengan sebesar setengah dari tegangan referensi tersebut yaitu 1,28 Vdc maka keluaran dari rangkaian penguat ac ini perlu ditambah rangkaian *clamper* seperti Gambar 4.6.



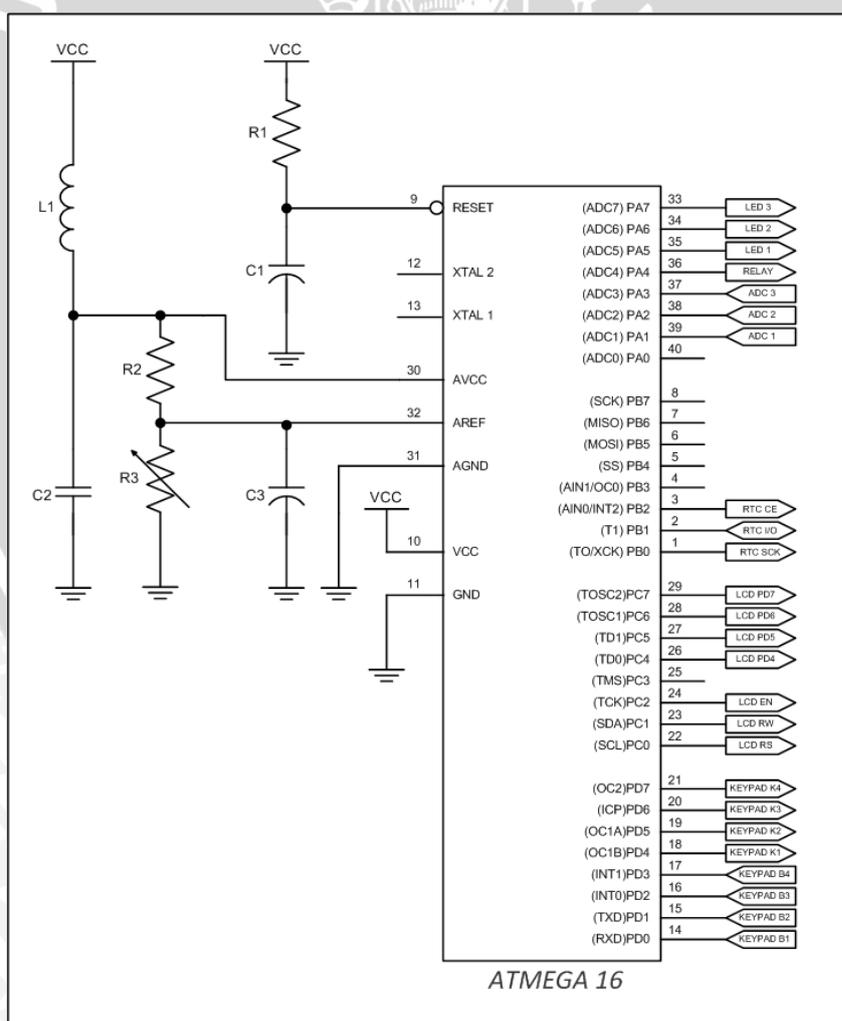
Gambar 4.6 Penguat sinyal ac dengan clamper

Perhitungan rangkaian pembias dc pada rangkaian penguat sinyal ac ini sama dengan rangkaian clamper pada rangkaian penyesuai tegangan pada sub bab 4.4.1 yang mana didapat nilai $R_3 = 1 \text{ M}\Omega$, $R_4 = 344,12 \text{ k}\Omega$ dan $C_2 = 330 \text{ nF}$.

4.4.4 Mikrokontroler ATMEGA 16

4.4.4.1 Minimum Sistem Mikrokontroler ATMEGA 16

Sistem mikrokontroler ATMEGA 16 berfungsi sebagai pengendali utama dalam sistem antara lain sebagai pengubah sinyal analog menjadi data digital (ADC) resolusi 10-bit, pengatur aliran data, sinyal-sinyal kontrol dan pengoperasian aritmatik. Port-port mikrokontroler digunakan sebagai jalur data analog maupun data digital, jalur alamat dan sinyal - sinyal kontrol. Mikrokontroler ini menggunakan mode *single chip operation*, sehingga tidak memerlukan *external memory* untuk menyimpan perangkat lunak selain itu juga mempunyai kapasitas RAM (Random Acces Memory) 16 *kbyte*, SRAM 1 *kbyte* dan juga terdapat EEPROM sebesar 512 *byte*. Sebagai pengendali utama dari pengolahan data dan pengontrolan sistem, pin-pin ATMEGA 16 dihubungkan dengan rangkaian pendukung membentuk suatu sistem minimum seperti dalam Gambar 4.7.



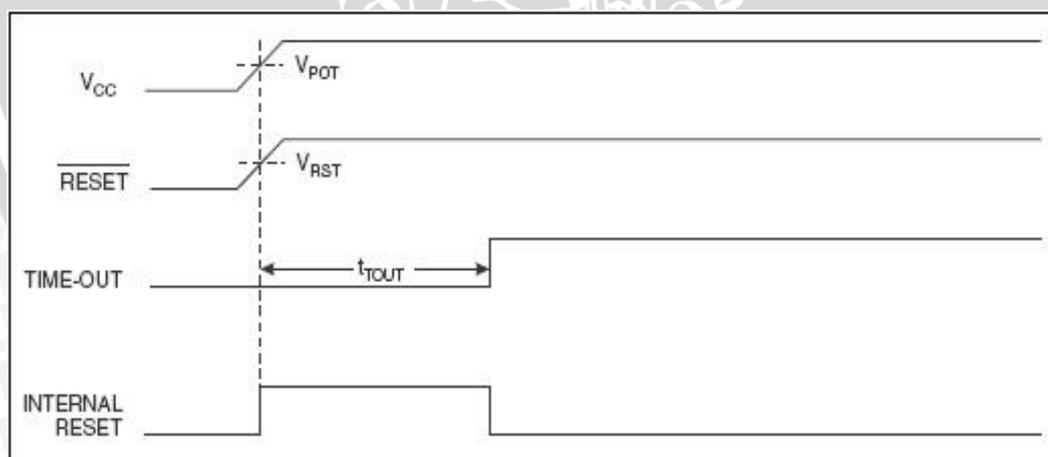
Gambar 4.7 Rangkaian Mikrokontroler ATMEGA 16

Mikrokontroler ATMEGA 16 mempunyai 4 port, 32 jalur dapat diprogram menjadi masukan atau keluaran, pada perancangan ini pin-pin yang digunakan ialah :

$P_{A.1} - P_{A.3}$: Masukan ADC
$P_{A.4}$: Pengendali Driver Relay
$P_{A.5}$: Indikator Limit Biaya
$P_{A.6} - P_{A.7}$: Indikator kesalahan Pengkabelan
$P_{B.0}, P_{B.1}, P_{B.2}$: Pengendali RTC yaitu clock, I/O dan CE
Port C	: Antarmuka LCD
Port D	: Masukan dari keypad 4 x 4

4.4.4.2 Rangkaian Reset

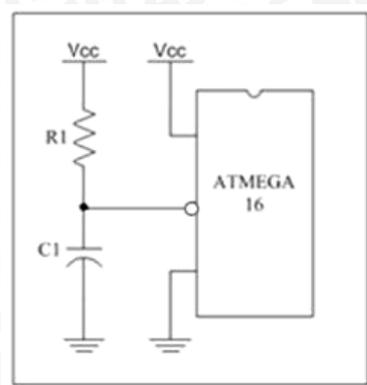
Rangkaian reset diperlukan untuk mereset mikrokontroler secara otomatis setiap kali catu daya dinyalakan, hal ini akan mereset program counter sehingga perintah program dieksekusi dimulai pada alamat awal. Ketika catu daya diaktifkan, rangkaian reset menahan logika rendah pada pin reset dengan jangka waktu yang ditentukan oleh lamanya pengisian muatan C yaitu membutuhkan waktu t_{TOUT} pada saat tegangan pada V_{CC} mencapai tegangan V_{POT} (*Voltage Power On Threshold*). Tegangan logika rendah pada pin reset antara $-0,5 - 0,2V_{CC}$. Sedangkan resistor *pull-up* yang direkomendasikan sebesar $30\text{ k}\Omega - 60\text{ k}\Omega$. Timing diagram sinyal reset ditunjukkan dalam Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Timing Diagram Sinyal Reset

Sumber: ATMEGA 16, 2004 : 37

Rangkaian reset dibentuk dengan rangkaian RC yang dapat dilihat dalam Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Rangkaian Reset

Dari rangkaian tersebut dan data dari timing diagram dapat diperoleh :

$$V_o = \frac{1}{sC_1 + \frac{1}{R_1}} V_i$$

$$V_o = \frac{1}{sR_1C_1 + 1} V_i$$

Dengan tegangan V_i adalah V_{POT} (Voltage Power On Threshold) sebesar 2,3 V dalam fungsi Laplace menjadi $\frac{2,3}{s}$ sehingga :

$$V_o = \frac{2,3}{s} \times \frac{1}{sR_1C_1 + 1}$$

$$V_o = 2,3 \times \frac{1}{s(sR_1C_1 + 1)} \quad (4.3)$$

Dengan metode parsial dari persamaan 4.3 dapat diubah menjadi :

$$\frac{1}{s(sR_1C_1 + 1)} = \frac{X_1}{s} + \frac{X_2}{sR_1C_1 + 1}$$

$$X_1 = \left[\frac{1}{s(sR_1C_1 + 1)} \times s \right]_{s=0} = 1$$

$$X_2 = \left[\frac{1}{s(sR_1C_1 + 1)} \times (sR_1C_1 + 1) \right]_{s=-\frac{1}{R_1C_1}} = -R_1C_1$$

$$V_o = 2,3 \times \frac{1}{s(sR_1C_1 + 1)} =$$

$$V_o = 2,3 \times \left[\frac{1}{s} - \frac{R_1C_1}{sR_1C_1 + 1} \right] \quad (4.4)$$

Sehingga dengan menggunakan transformasi Laplace balik persamaan 4.4 diperoleh :

$$\begin{aligned} \mathcal{F}^{-1}[V_o] &= 2,3\mathcal{F}^{-1}\left[\frac{1}{s} - \frac{R_1C_1}{sR_1C_1 + 1}\right] \\ \mathcal{F}^{-1}[V_o] &= 2,3\mathcal{F}^{-1}\left[\frac{1}{s} - \frac{1}{s + \frac{1}{R_1C_1}}\right] \\ V_o &= 2,3(1 - e^{-\frac{t}{R_1C_1}}) \end{aligned} \quad (4.5)$$

Dengan menggunakan Persamaan 4.5, maka nilai t dapat ditentukan:

$$\frac{V_o}{2,3} = 1 - e^{-\frac{t}{R_1C_1}} \Leftrightarrow 1 - \frac{V_o}{2,3} = e^{-\frac{t}{R_1C_1}}$$

$$\ln\left(1 - \frac{V_o}{2,3}\right) = \frac{-t}{R_1C_1}$$

$$t = -R_1C_1 \ln\left(1 - \frac{V_o}{2,3}\right)$$

Jika V_o adalah tegangan logika rendah pada pin reset maksimal sebesar $0,2V_{cc}$ maka $V_o = 0,2 \times 5 = 1 \text{ V}$.

$$t = -R_1C_1 \ln\left(1 - \frac{1}{2,3}\right)$$

$$t = 0,571 R_1C_1$$

Dengan menggunakan R_1 sebesar $30 \text{ k}\Omega$ dan $t = t_{\text{TOUT}}$ sebesar 65 ms maka :

$$65 \times 10^{-3} = 0,571 \times 30 \times 10^3 \times C_1$$

$$C_1 = 3,795 \mu\text{F}$$

Berdasarkan nilai yang terdapat dipasaran maka C_1 dipilih dengan menggunakan kapasitor dengan nilai $4,7 \mu\text{F}$ sehingga t_{TOUT} menjadi :

$$\begin{aligned} t_{\text{TOUT}} &= 0,571 \times 30 \times 10^3 \times 4,7 \times 10^{-6} \\ &= 80,51 \text{ ms} \end{aligned}$$

4.4.4.3 Analog Digital Conversion (ADC)

ADC adalah rangkaian yang berfungsi untuk mengubah sinyal analog menjadi data digital. Pada mikrokontroler ATMEGA 16 ini terdapat ADC dengan resolusi 10 bit yang mampu mengkonversi data selama $13 - 260 \mu\text{s}$. Tegangan referensi yang terdapat pada ADC ini dapat dipilih dari tegangan internal atau dari tegangan yang berasal dari luar. Pada perancangan ini tegangan referensi yang digunakan ialah tegangan eksternal

sebesar 2,56 volt. Masukan pada ADC ini terdapat 8 buah *channel* yang dimultiplexer namun dalam perancangan ini hanya digunakan 3 buah *channel*.

Spesifikasi alat yang dirancang ialah mampu mendeteksi perubahan arus sebesar 0,05 ampere dan perubahan tegangan sebesar 1,5 volt. Resolusi 0,05 ampere dan 1,5 volt ini menentukan jumlah bit minimal yang harus dimiliki oleh ADC.

Fungsi alih dari sistem pengukuran arus diperoleh sebesar :

$$\left| \frac{V_{out}}{I_{input}} \right| = 0,1508$$

Bila diinginkan alat mampu mendeteksi perubahan 0,05 A maka

$$\begin{aligned} V_{out} &= 0,05 \times 0,1508 \\ &= 7,54 \text{ mV} \end{aligned}$$

Jika menggunakan tegangan referensi untuk ADC sebesar 2,56 volt maka jumlah bit ADC yang dibutuhkan sebesar :

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_{ref} \times 2^{-n} \\ 7,54 \times 10^{-3} &= 2,56 \times (2^{-n}) \\ n &= 8,407 \approx 9 \text{ bit} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk pengukuran tegangan mempunyai fungsi alih sebesar :

$$\left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| = 3,4279 \times 10^{-3}$$

Bila diinginkan alat mampu mendeteksi perubahan 1,5 volt maka

$$\begin{aligned} V_{out} &= 1,5 \times 3,4279 \times 10^{-3} \\ &= 5,14185 \text{ mV} \end{aligned}$$

Jika menggunakan tegangan referensi untuk ADC sebesar 2,56 volt maka jumlah bit ADC yang dibutuhkan sebesar :

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_{ref} \times 2^{-n} \\ 5,14185 \times 10^{-3} &= 2,56 \times (2^{-n}) \\ n &= 8,959 \approx 9 \text{ bit} \end{aligned}$$

Sehingga jumlah bit minimal yang harus dimiliki oleh ADC sebesar 9 bit. Dengan ketersediaannya ADC 10 bit yang terdapat pada mikrokontroler telah mencukupi untuk melakukan konversi sesuai dengan perancangan alat.

Resolusi nominal yang terdapat pada ADC 10 bit diperoleh dari perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{resolusi ADC} &= V_{ref} \times 2^{-n} \\ &= 2,56 \times 2^{-10} \end{aligned}$$

$$= 2,5 \text{ mV}$$

Dengan adanya penguatan yang dihasilkan oleh penguat sinyal ac sebesar 3,016 kali maka resolusi ADC akan berubah menjadi :

$$\begin{aligned} \text{resolusi ADC} &= \frac{\text{resolusi nominal ADC}}{\text{Gain}} \\ &= \frac{2,5 \text{ mV}}{3,016} = 0,829 \text{ mV} \end{aligned}$$

Frekuensi kerja ADC tergantung dari frekuensi mesin pada mikrokontroler yang mana frekuensi ADC dapat dipilih dengan konfigurasi CK/2, CK/4, CK/8, CK/16, CK/32, CK/64 dan CK/128. Dalam perancangan ini frekuensi kerja mikrokontroler sebesar 8 MHz dan konfigurasi ADC yang digunakan sebesar CK/8 yaitu 1 MHz. Untuk melakukan konversi diperlukan 13 *clock* dan *channel* yang digunakan sebanyak 3 buah sehingga frekuensi sampling masing-masing *channel* sebesar :

$$\begin{aligned} f_{\text{sampling}} &= \frac{f_{\text{ADC}}}{3 \times 13} \\ &= \frac{1000000 \text{ Hz}}{3 \times 13} \\ &= 25,641 \text{ kHz} \end{aligned}$$

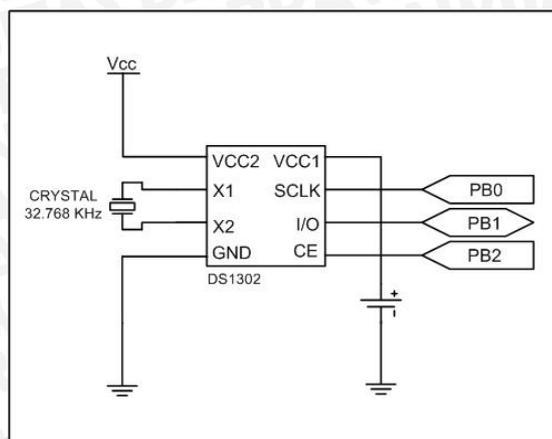
Hasil konversi data diperoleh dari perhitungan :

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= \frac{V_{\text{in}}}{V_{\text{ref}}} \times 2^{10} \\ &= \frac{V_{\text{in}}}{2,56} \times 1024 \\ &= 400 V_{\text{in}} \end{aligned}$$

Data hasil pengkonversian tersebut disimpan pada *ADC Data Register* 10 bit yang mana pada register tersebut terdiri dari 2 buah register yaitu *Register ADCL* dan *Register ADCH*.

4.4.5 Real Time Clock (RTC)

RTC pada alat ini digunakan untuk memberikan informasi tanggal maupun jam yang diinginkan. RTC yang digunakan adalah jenis DS1302. Rangkaian dari RTC dapat dilihat dalam Gambar 4.10.

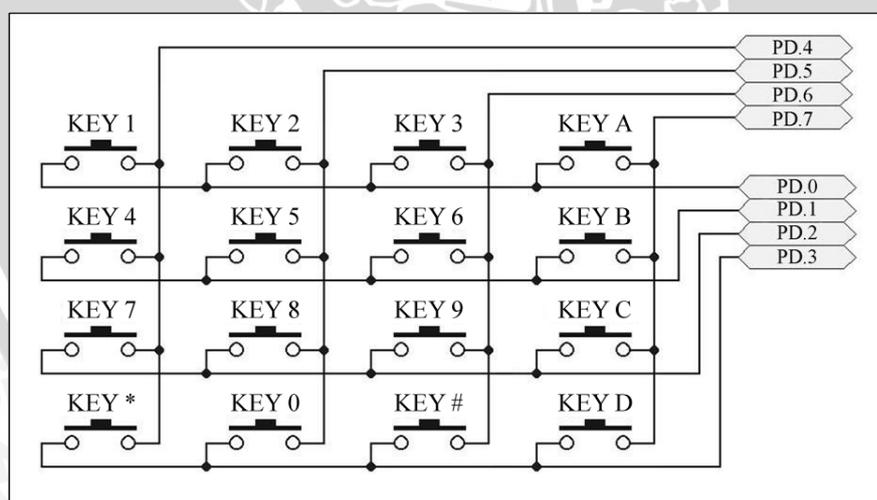


Gambar 4.10 Rangkaian Real Time Clock DS1302

RTC DS1302 merupakan IC yang memiliki dua buah catu daya. V_{CC2} dihubungkan ke catu 5 volt dan V_{CC1} dihubungkan dengan baterai *backup*. V_{CC1} berfungsi untuk memelihara kerja dari DS1302 jika catu utama tidak mampu untuk mencatu. Sesuai dengan *datasheet*, kaki 2 dan 3 dihubungkan dengan *crystal* 32,768 kHz untuk memberikan frekuensi yang sesuai (Dallas Semiconductor, 2004:3).

4.4.6 Rangkaian Antarmuka Keypad 4 x 4

Keypad matrik 4 x 4 dihubungkan dengan port D mikrokontroler sebagai masukan kode. Rangkaian *keypad* ditunjukkan dalam Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Rangkaian keypad sistem mikrokontroler

Keypad yang digunakan adalah *keypad* 4 baris x 4 kolom yang tersusun atas 16 buah tombol tekan yang memiliki 2 buah terminal. Masing-masing terminal dari setiap tombol tekan dihubungkan ke kelompok baris dan kelompok kolom. Masing-masing baris dihubungkan dengan PD0 sampai PD3, sedangkan masing - masing kolom dihubungkan dengan PD4 sampai PD7 seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Konfigurasi *Keypad*

Kolom Baris	PD4	PD5	PD6	PD7
PD0	<i>KEY 1</i>	<i>KEY 2</i>	<i>KEY 3</i>	<i>KEY A</i>
PD1	<i>KEY 4</i>	<i>KEY 5</i>	<i>KEY 6</i>	<i>KEY B</i>
PD2	<i>KEY 7</i>	<i>KEY 8</i>	<i>KEY 9</i>	<i>KEY C</i>
PD3	<i>KEY *</i>	<i>KEY 0</i>	<i>KEY #</i>	<i>KEY D</i>

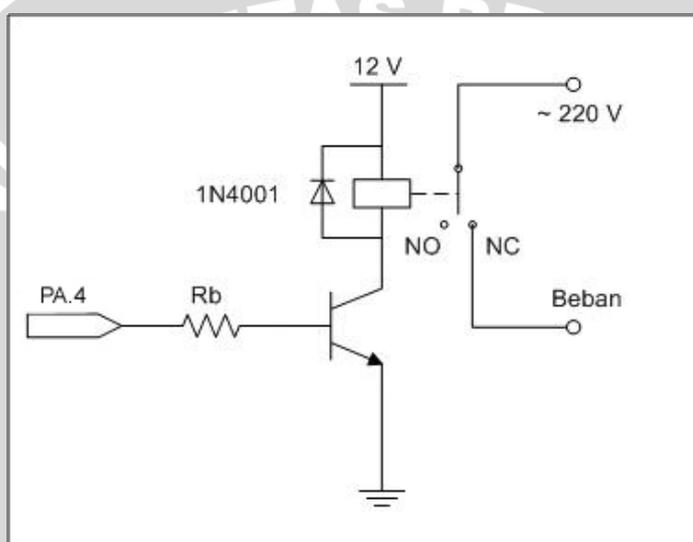
Dengan konfigurasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 masing-masing tombol *keypad* yang direncanakan akan menghasilkan kode penekanan yang didapat dari pemeriksaan tombol-tombol, misalnya untuk memeriksa tombol *key1*, *key4*, *key7* dan *key** yang ditekan maka pada PD4 dikirimkan logika 0, kemudian hasilnya akan dibaca pada PD0, PD1, PD2 dan PD3. Bila *key1* ditekan maka akan menghasilkan kode biner 1110 1110 atau EE h. Bila tombol tidak ditekan maka akan terbaca logika 1, hal ini disebabkan adanya *internal pullup* pada mikrokontroler. Kode hasil penekanan *keypad* ditunjukkan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kode hasil penekanan tombol *keypad*.

Nama Tombol	Kode penekanan	Kode perancangan
<i>KEY 1</i>	EE h	01 h
<i>KEY 2</i>	DE h	02 h
<i>KEY 3</i>	BE h	03 h
<i>KEY 4</i>	ED h	04 h
<i>KEY 5</i>	DD h	05 h
<i>KEY 6</i>	BD h	06 h
<i>KEY 7</i>	EB h	07 h
<i>KEY 8</i>	DB h	08 h
<i>KEY 9</i>	BB h	09 h
<i>KEY 0</i>	D7 h	00 h
<i>KEY *</i>	E7 h	0E h
<i>KEY #</i>	B7 h	0F h
<i>KEY A</i>	7E h	0A h
<i>KEY B</i>	7D h	0B h
<i>KEY C</i>	7B h	0C h
<i>KEY D</i>	77 h	0D h

4.4.7 Rangkaian pengendali relay

Rangkaian pengendali relay ini digunakan agar relay dapat memutuskan arus listrik bila pada pengguna telah melebihi biaya yang telah ditentukan. Rangkaian pengendali relay menggunakan transistor sebagai switch untuk mengaktifkan relay. Pemakaian dioda yang paralel dengan relay untuk melindungi transistor dari GGL lawan relay yang cukup besar pada saat relay dalam keadaan off. Jika suatu tegangan yang mewakili level logika 1 untuk memberikan bias pada transistor, maka transistor akan on dan mengalirkan arus pada relay sehingga relay akan memutuskan arus listrik. Rangkaian pengendali relay ini ditunjukkan dalam Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Rangkaian Pengendali Relay

Dari datasheet mikrokontroler ATMEGA 16 diketahui bahwa arus keluaran mikrokontroler pada saat logika *high* adalah 20mA. Sedangkan dari hasil pengukuran diketahui bahwa arus yang diperlukan oleh kumparan *relay* sebesar 30 mA. Sehingga dari data-data tersebut nilai $\beta_{(\min)}$ yang diperlukan adalah:

$$\begin{aligned}\beta_{(\min)} &= \frac{I_{\text{relay}}}{I_{\text{OH}}} \\ &= \frac{30 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-3}} \\ &= 1,5\end{aligned}$$

Sehingga transistor yang digunakan harus memiliki β lebih besar dari 1,5 dan arus I_C yang lebih besar dari 30 mA. Transistor 2N2222 memenuhi spesifikasi diatas karena transistor ini memiliki β_{\min} sebesar 75 dan arus kolektor maksimal 800 mA.

Dari datasheet transistor diketahui bahwa:

$$I_{C(\max)} = 800\text{mA}$$

$$V_{BE(\max)} = 1,3\text{V}$$

$$\beta_{(\min)} = 75$$

Transistor 2N2222 akan memerlukan arus basis untuk memastikan transistor akan tetap saturasi pada level arus *relay*, sehingga arus basis transistor harus lebih besar daripada arus *relay* dibagi dengan penguatan minimum transistor.

$$I_B \gg \frac{I_{\text{relay}}}{\beta_{(\min)}}$$

$$I_B \gg \frac{30 \times 10^{-3}}{75}$$

$$I_B \gg 0,4\text{ mA}$$

Sehingga nilai resistor pembatas arus pada basis adalah:

$$V_{OH(\min)} - R_B \times I_B - V_{BE(\max)} = 0$$

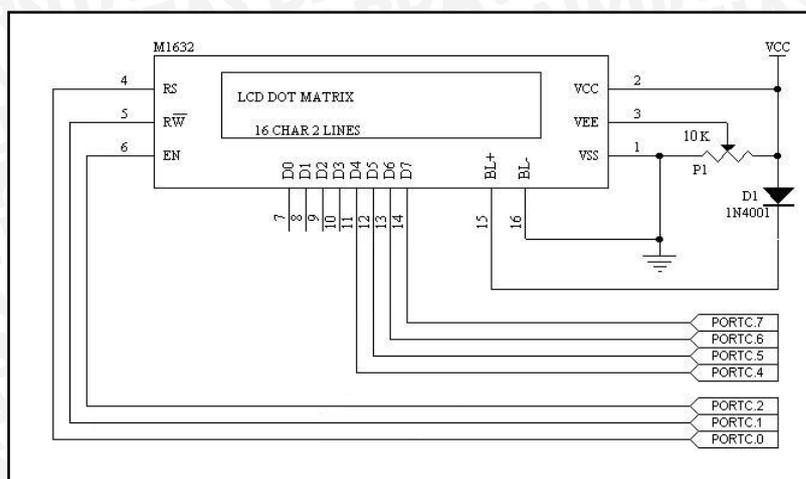
$$R_B = \frac{V_{OH(\min)} - V_{BE(\max)}}{I_B}$$

$$R_B = \frac{4,2 - 1,2}{0,4 \times 10^{-3}}$$

$$R_B = 7,5\text{ k}\Omega$$

4.4.8 Rangkaian Antarmuka Modul LCD

Sebagai unit masukan, keluaran dan unit kontrol sistem mikrokontroler, PORTC digunakan sebagai jalur data 4 bit dan jalur kontrol 3 bit bagi modul penampil LCD. Dengan mengubah nilai V_{EE} menggunakan potensiometer P1 akan diperoleh tingkat kecerahan yang berbeda pada tampilan LCD. Dioda D1 dipasang antara V_{CC} dan terminal BL+ untuk mencatu lampu latar tampilan LCD pada tegangan 4,3 V. Rangkaian antarmuka modul LCD ditunjukkan dalam Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Rangkaian antarmuka modul penampil LCD.

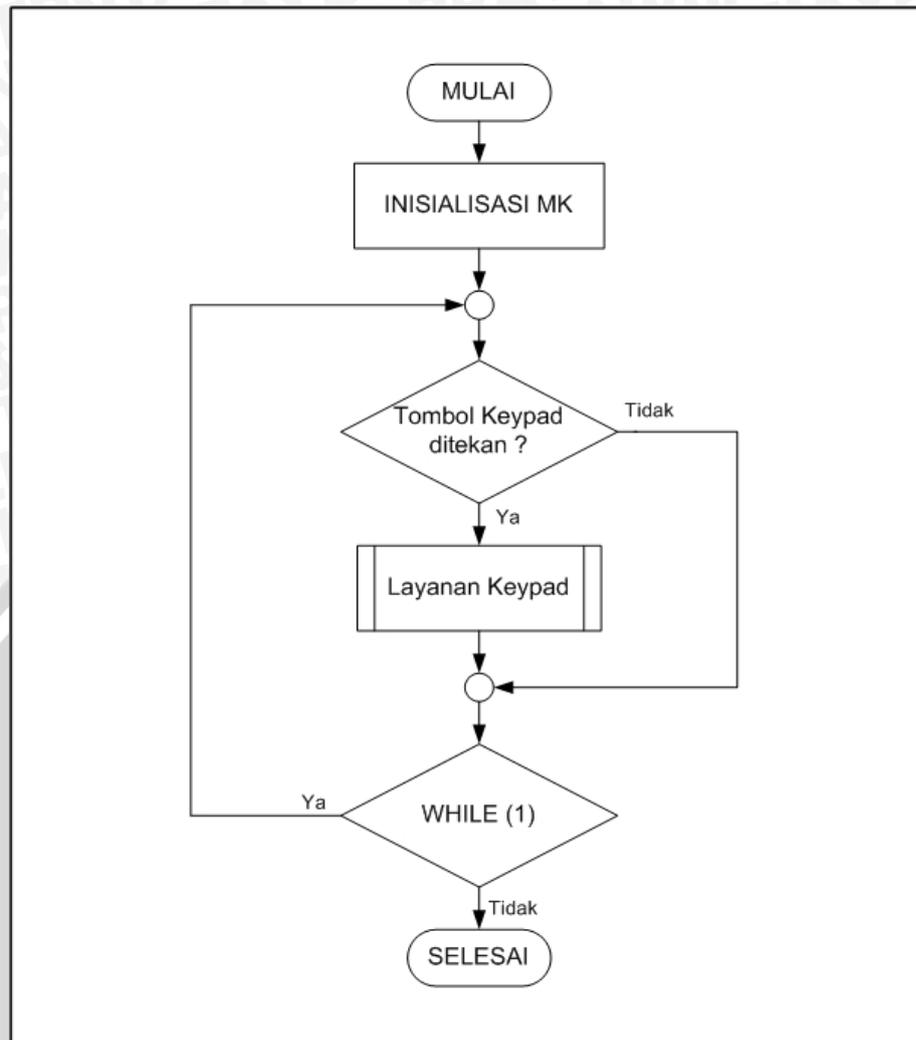
4.5 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang dirancang untuk unit-unit mikrokontroler harus mampu menerima dan mengkonversi sinyal analog menjadi data digital, mampu melakukan proses aritmatika dan logika untuk mendapatkan nilai *rms* dari masing-masing besaran arus dan besaran tegangan, perhitungan $\cos(\phi)$ dan perhitungan daya aktif, mampu menangani penerimaan data dari keypad, mampu mendapatkan informasi waktu dari RTC, mampu mendeteksi kondisi kesalahan pengkabelan dan mampu menampilkan energi listrik yang terpakai serta biaya penggunaan pada LCD.

4.5.1 Perangkat Lunak Program Utama

Program utama merupakan program perulangan terus menerus yang berupa proses pendeteksian dan pelayanan keypad. Diagram alir dari program utama ditunjukkan dalam Gambar 4.14.

Adapun penjelasan dari diagram alir program utama adalah sebagai berikut : proses yang pertama kali dijalankan ialah proses inisialisasi bila mikrokontroler di reset, dalam proses inisialisasi ini terdiri dari inisialisasi mikrokontroler, inisialisasi RTC dan inisialisasi LCD. Inisialisasi mikrokontroler terdiri dari inisialisasi ADC, Timer, dan port-port yang digunakan. Inisialisasi RTC digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai waktu sedangkan inisialisasi LCD digunakan untuk menampilkan tampilan awal. Bila inisialisasi telah selesai maka dilanjutkan dengan pengecekan keypad, bila keypad ditekan maka akan melakukan proses sesuai dengan definisi tombol keypad yang tertekan tersebut.



Gambar 4.14 Flowchart Program Utama

4.5.2 Perangkat Lunak Program Interrupt ADC

Program Interrupt ADC ini akan dijalankan apabila ADC pada mikrokontroler telah selesai pengkonversi data analog menjadi data digital 10 bit. Pada saat data ADC didapat, perlu dihilangkan komponen DC sebesar 1,28 volt sehingga data ADC ini diseleksi dan disearahkan sehingga data ADC tersebut berada dalam *range* 0x000 - 0x200. Proses selanjutnya ialah memproses data digital hasil konversi ADC dari masing-masing *channel* (2 *channel* besaran arus dan 1 *channel* besaran tegangan) untuk memperoleh nilai *root mean square* (*rms*)-nya. Perhitungan nilai *rms* ini diperoleh dengan rumus :

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} u^2(n)}{N}} \quad \text{dimana} \quad \begin{array}{l} N = \text{jumlah sampling} \\ n = \text{indeks sampling} \end{array}$$

Sehingga data adc akan dikuadratkan dan ditambahkan dengan data kuadrat sebelumnya sampai jumlah sampling mencapai 2020 kali. Bila program yang direncanakan disimulasikan maka untuk mendapatkan 1 data hasil konversi adc yang menggunakan masukan sebanyak 3 *channel* maka membutuhkan clock sebesar 789 clock mikrokontroler atau membutuhkan 99 clock adc.

Penentuan jumlah sampling dengan menggunakan frekuensi mikrokontroler sebesar 8MHz dan frekuensi ADC dengan menggunakan konfigurasi *prescaler* CK/8 dengan mengeset ADC *Prescaler Select Bit* (ADPS0 dan ADPS1) pada register *ADC Control and Status Register A* (ADCSRA) maka diperoleh :

$$\begin{aligned}
 f_{\text{mikrokontroler}} &= 8000000\text{Hz} \\
 f_{\text{ADC}} &= \frac{f_{\text{mikrokontroler}}}{8} \\
 &= \frac{8000000}{8} = 1000000\text{Hz} \\
 f_{\text{sampling}} &= \frac{f_{\text{ADC}}}{99} \\
 &= \frac{1000000}{99} = 10101,01\text{Hz} \\
 N &= \frac{f_{\text{sampling}}}{f_{\text{masukan}}} \\
 &= \frac{10101,01}{50} \\
 &= 202,02 \approx 202
 \end{aligned}$$

Untuk menjamin ketepatan data, pengambilan sampling dibuat menjadi 10 periode dari periode sinyal masukan sehingga jumlah sampling menjadi 2020 kali. Bila jumlah sampling sudah mencapai 2020 kali maka data akumulatif hasil pengkuadratan tersebut dibagi dengan jumlah sampling (counter sampling) kemudian hasilnya diakumulatikan dengan data yang diperoleh berikutnya sampai terjadi penjumlahan sebanyak 10 kali. Bila sudah mencapai 10 kali maka data tersebut di rata-rata kemudian hasilnya diakar untuk menghasilkan nilai *rms* masing-masing *channel* ADC yaitu nilai *rms* dari data channel pertama, kedua dan ketiga. Untuk memperoleh nilai yang sesuai dengan nilai arus dan tegangan yang sebenarnya maka diperlukan perhitungan sebagai berikut :

Fungsi alih dari pengukuran arus sebelum dikonversi menjadi data digital ialah:

$$\left| \frac{V_{\text{out}}}{I_{\text{input}}} \right| = 0,1508$$

Bila dikonversi menjadi data digital maka

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= \frac{V_{\text{in}}}{V_{\text{ref}}} \times 2^n = \frac{V_{\text{in}}}{2,56} \times 2^{10} \\ &= \frac{0,1508 I_{\text{input}}}{2,56} \times 2^{10} = 60,32 I_{\text{input}} \end{aligned}$$

Dengan adanya penghilangan *dc offset* pada data yang didapat maka data ADC tersebut berada dalam *range* 0-0x200, sehingga nilai V_{out} perlu dibagi 2 sehingga

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= \frac{60,32 \times I_{\text{input}}}{2} = 30,16 I_{\text{input}} \\ I_{\text{input}} &= \frac{V_{\text{out}}}{30,16} = 33,156 \times 10^{-3} V_{\text{out}} \end{aligned}$$

Sedangkan fungsi alih dari pengukuran tegangan sebelum dikonversi menjadi data digital ialah :

$$\left| \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} \right| = 3,4279 \times 10^{-3}$$

Bila dikonversi menjadi data digital maka

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= \frac{V_{\text{in}}}{V_{\text{ref}}} \times 2^n = \frac{V_{\text{in}}}{2,56} \times 2^{10} \\ &= \frac{3,4279 \times 10^{-3} V_{\text{input}}}{2,56} \times 2^{10} = 1,37116 V_{\text{input}} \end{aligned}$$

Dengan adanya penghilangan *dc offset* pada data yang didapat maka data ADC tersebut berada dalam *range* 0-0x200, sehingga nilai V_{out} perlu dibagi 2 sehingga

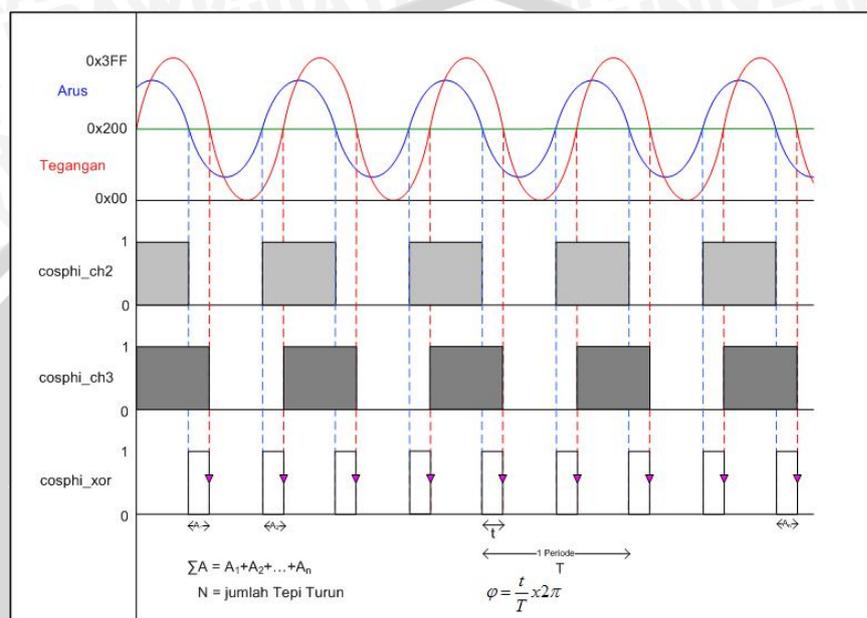
$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= \frac{1,37116 V_{\text{input}}}{2} = 0,68558 V_{\text{input}} \\ V_{\text{input}} &= \frac{V_{\text{out}}}{0,68558} = 1,459 V_{\text{out}} \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan nilai *rms* dari arus dan tegangan maka data yang diperoleh harus dikalikan dengan $33,16 \times 10^{-3}$ untuk pengukuran arus dan 1,459 untuk pengukuran tegangan. Konstanta tersebut merupakan resolusi untuk masing-masing pengukuran sehingga untuk pengukuran arus mempunyai resolusi 33,16 mA dan tegangan sebesar 1,459 volt.

Bila data mengenai arus dan tegangan didapat maka arus *rms* yang terbesar akan dikalikan dengan nilai tegangan *rms* sehingga mendapatkan daya semu. Untuk mendapatkan daya aktif dibutuhkan nilai *rms* dari tegangan dan arus dan juga diperlukan nilai $\cos(\phi)$.

4.5.2.1 Perangkat Lunak Program Perhitungan Cos (ϕ)

Perangkat lunak program perhitungan cos (ϕ) ini merupakan sub-program dari program interrupt adc yang mana menggunakan prinsip kerja dari detektor nol. Perhitungan cos (ϕ) ini didapat dari perbedaan fasa dari *channel* arus (*channel* 2) dengan *channel* tegangan (*channel* 3) yang ditunjukkan dalam Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Prinsip Perhitungan Cos (ϕ)

Logika pada *cosphi_ch2* dan *cosphi_ch3* akan berubah menjadi logika tinggi bila berada diatas 0x200 dan sebaliknya. Penentuan 0x200 ini berasal dari *dc offset* dari sinyal masukan yaitu sebesar 1,28 volt yang ekuivalen dengan 0x200. Hasil operasi XOR dari *cosphi_ch2* dan *cosphi_ch3* akan mencerminkan perbedaan fasa dari gelombang arus dan tegangan. Lebar rata-rata dari hasil xor inilah yang digunakan dalam perhitungan perbedaan fasa. *t* merupakan selisih dari sinyal arus dengan sinyal tegangan yang mana nilai *t* sebanding dengan lebar logika 1 hasil dari operasi XOR. Untuk memperoleh jumlah clock diperlukan simulasi program dengan simulator AVR.

$$t = \frac{\Sigma A}{N} \times t_{cycle}$$

$$t_{cycle} = \text{Jumlah Clock} \times \frac{1}{\text{frekuensi Mikrokontroler}}$$

$$t_{cycle} = 805 \times \frac{1}{8 \times 10^6} = 1,006 \times 10^{-4}$$

$$t = \frac{\Sigma A}{N} \times 1,006 \times 10^{-4}$$

Sedangkan periode masukan (T) sebesar $\frac{1}{50\text{Hz}}$ yaitu 20 ms sehingga nilai $\cos\phi$ didalam dengan perhitungan :

$$\phi(\text{rad}) = \frac{t}{T} \times 2\pi$$

$$\phi(\text{rad}) = \frac{\frac{\Sigma A}{N} \times 1,006 \times 10^{-4}}{20 \times 10^{-3}} \times 2\pi$$

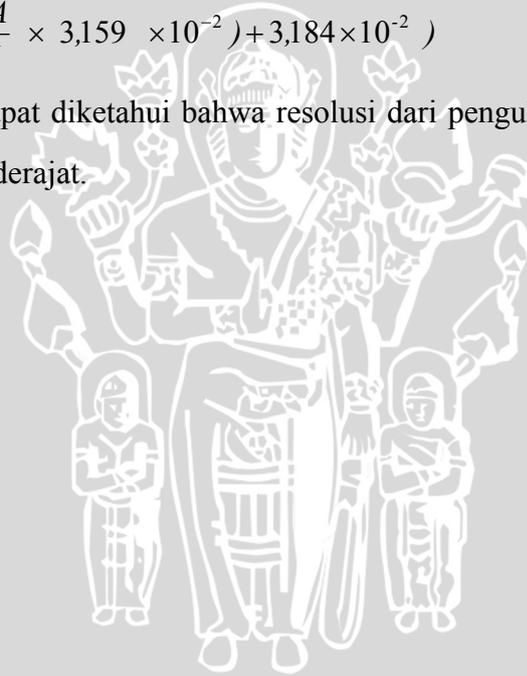
$$\phi(\text{rad}) = \frac{\Sigma A}{N} \times 3,159 \times 10^{-2}$$

$$\cos(\phi) = \cos\left(\frac{\Sigma A}{N} \times 3,159 \times 10^{-2}\right)$$

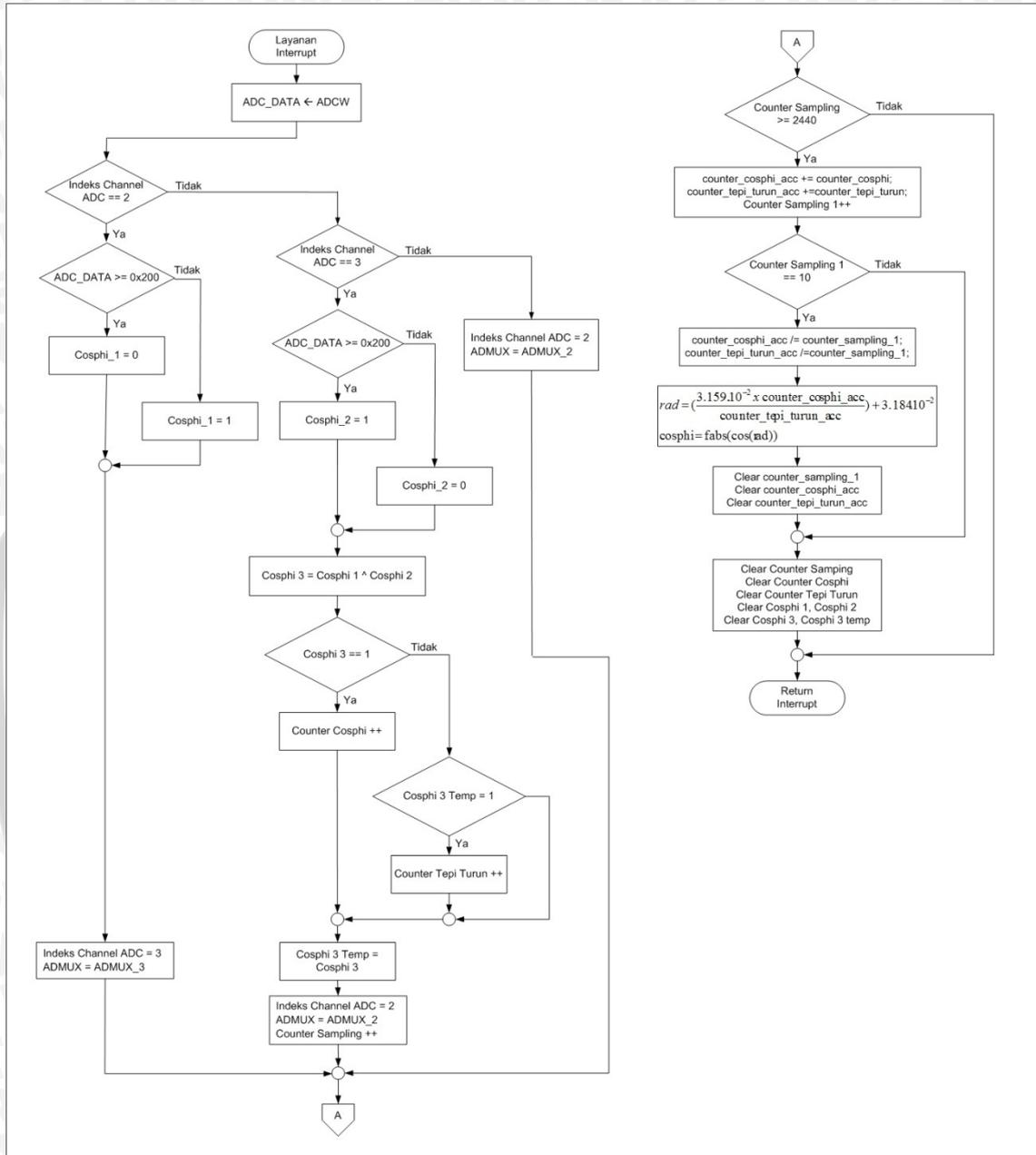
Karena terdapat perbedaan fasa pada *channel* arus dengan *channel* tegangan yang berasal dari rangkaian penguat sinyal ac sebesar $-3,184 \times 10^{-2}$ rad maka

$$\cos(\phi) = \cos\left(\left(\frac{\Sigma A}{N} \times 3,159 \times 10^{-2}\right) + 3,184 \times 10^{-2}\right)$$

Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa resolusi dari pengukuran $\cos(\phi)$ sebesar $3,159 \times 10^{-2}$ rad atau 1,81 derajat.

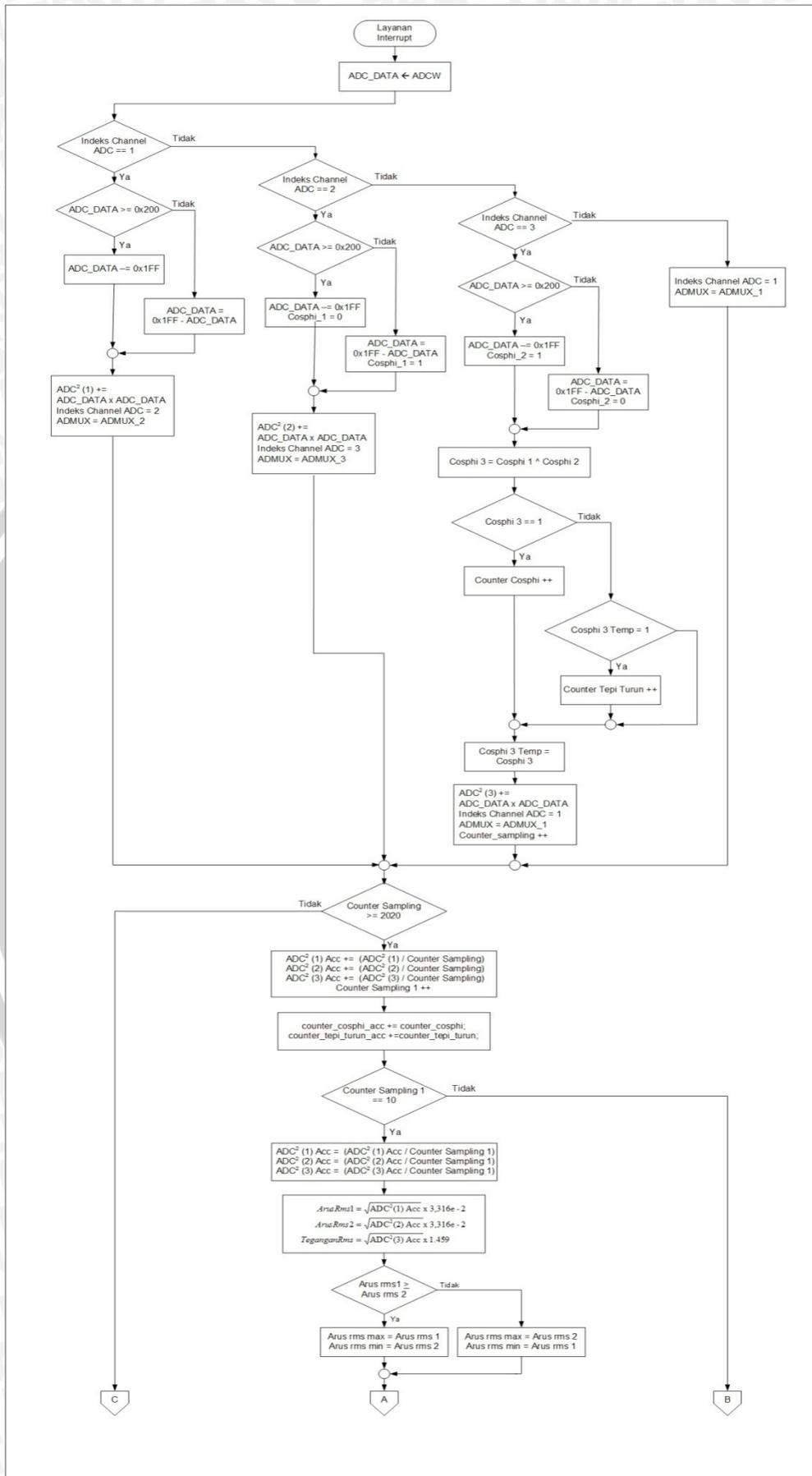


Flowchart perhitungan cosphi ditunjukkan dalam Gambar 4.16.

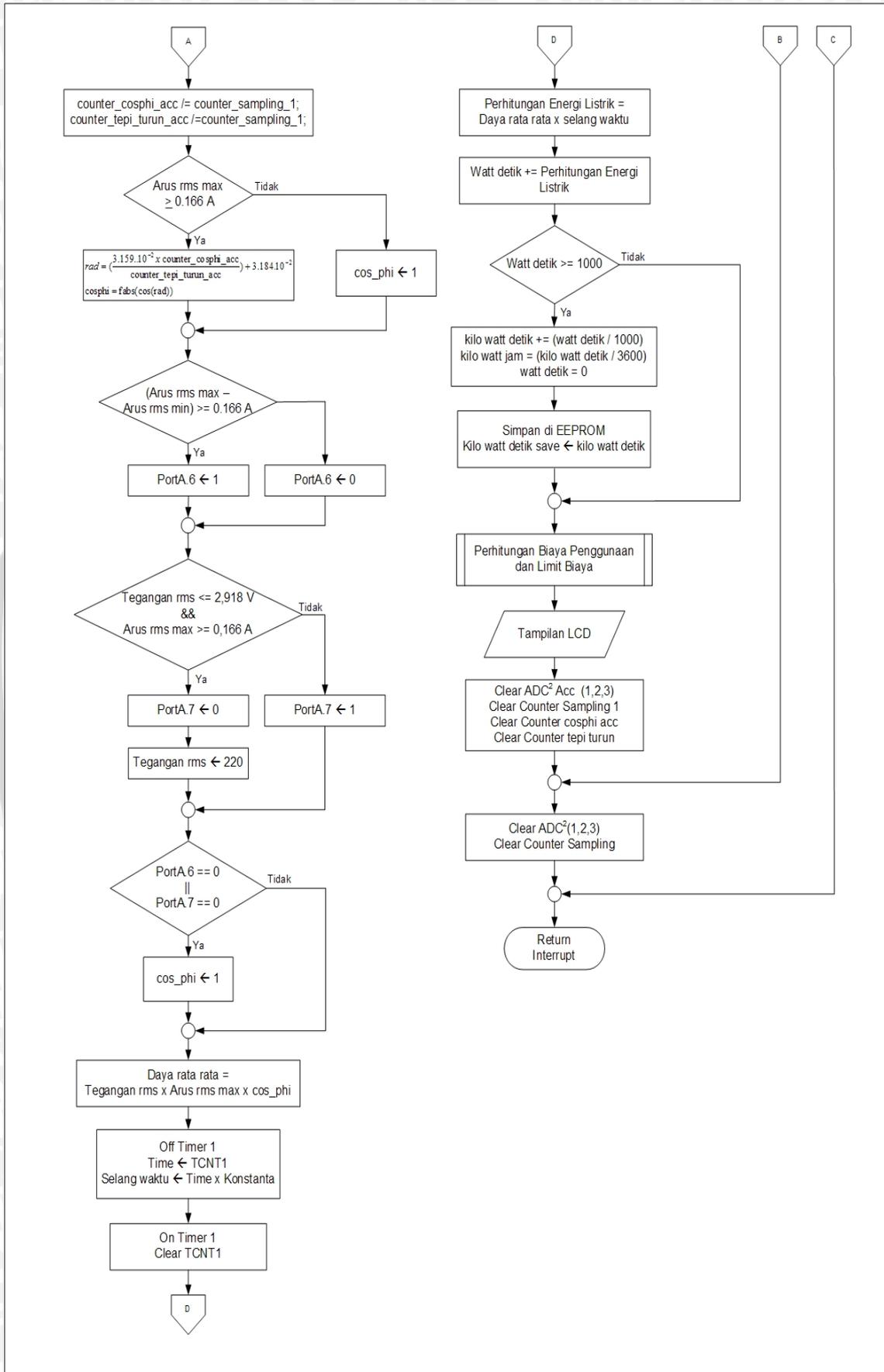


Gambar 4.16 Diagram Alir Perhitungan Cosphi

Jika diagram alir dari perhitungan daya dan cosphi dijadikan satu maka akan menjadi diagram alir seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.17 dan Gambar 4.18.



Gambar 4.17 Diagram Alir Program Interrupt ADC



Gambar 4.18 Lanjutan Diagram Alir Program Interrupt ADC

Untuk mendeteksi adanya kesalahan pengkabelan seperti penghubungan beban dengan bumi dapat dideteksi dengan membandingkan data arus pertama dengan data arus kedua, dalam keadaan normal data arus pertama sama dengan data arus kedua. Jika terjadi koneksi beban dengan dengan bumi maka data arus pertama tidak sama dengan data arus kedua atau terdapat selisih data arus pertama dengan kedua. Jika selisih dari data arus tersebut lebih besar dari selisih yang ditentukan maka led indikator pada port A.6 akan menyala ($PA.6 \leftarrow 0$) dan jika lebih kecil dari selisih yang ditentukan maka led indikator akan padam ($PA.6 \leftarrow 1$).

Jika terjadi kondisi kehilangan kabel netral maka data tegangan akan bernilai nol sedangkan arus listrik tetap mengalir atau lebih besar dari nol sehingga perhitungan daya akan menghasilkan nilai 0 watt, untuk mengatasi keadaan ini diperlukan konstanta pada data tegangan *rms* yang ditetapkan sebesar 220 volt. Bila kondisi ini terpenuhi maka led indikator pada port A.7 akan menyala ($PA.7 \leftarrow 0$) dan begitu sebaliknya.



BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dan analisis dilakukan untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil perancangan dan pembuatan alat dengan yang diharapkan. Pengujian dibagi menjadi dua yaitu pengujian perangkat keras dan pengujian perangkat lunak. Pengujian dilakukan tiap blok perancangan untuk memudahkan analisis data. Setelah pengujian perangkat keras telah diuji maka dilakukan pengujian perangkat lunak terhadap komponen penyusun energi listrik. Bila pengujian perangkat keras dan perangkat lunak telah diuji maka dilakukan pengujian sistem secara keseluruhan.

Adapun pengujian perangkat keras tiap - tiap blok yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Pengujian Rangkaian Penyesuai Tegangan
- b. Pengujian Rangkaian Konverter Arus ke Tegangan
- c. Pengujian Rangkaian Penguat Sinyal AC
- d. Pengujian Rangkaian Antarmuka Modul LCD
- e. Pengujian ADC pada mikrokontroler ATMEGA 16
- f. Pengujian Rangkaian Antarmuka RTC
- g. Pengujian Rangkaian Antarmuka Keypad

Adapun pengujian perangkat lunak tiap - tiap blok yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Pengujian Perangkat Lunak Perhitungan Arus *rms* pertama, Arus *rms* kedua dan Tegangan *rms*.
- b. Pengujian Perangkat Lunak Perhitungan $\cos(\phi)$.
- c. Pengujian Perangkat Lunak Perhitungan Daya Aktif.
- d. Pengujian Perangkat Lunak Perhitungan Energi listrik.
- e. Pengujian Perangkat Lunak Detektor Kesalahan Pengkabelan.

5.1 Pengujian Perangkat Keras

5.1.1 Pengujian Rangkaian Penyesuai Tegangan

a. Tujuan

1. Mengetahui hubungan sinyal keluaran dengan sinyal masukan dari rangkaian pembagi tegangan.
2. Mengetahui besar *dc offset* pada sinyal keluaran dari rangkaian *clamper*.
3. Mengetahui bentuk sinyal keluaran dari rangkaian *clamper*.
4. Mengetahui bentuk sinyal keluaran dari rangkaian penyesuai tegangan.

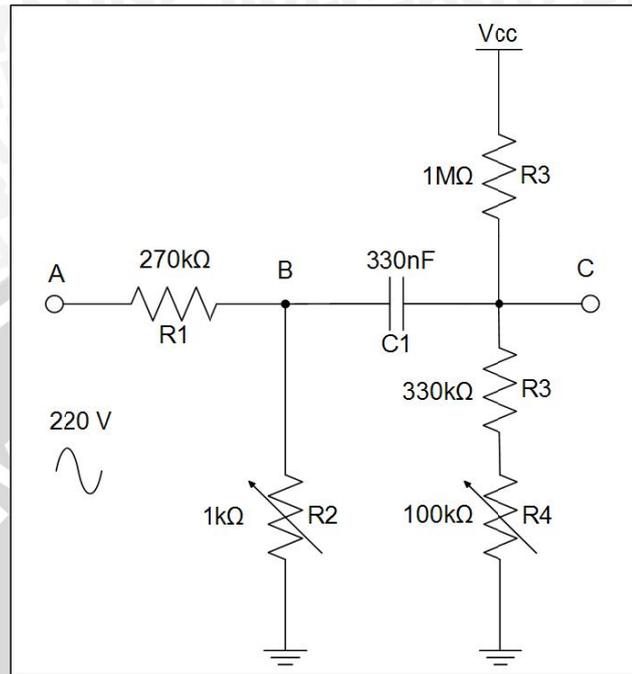
b. Peralatan

1. Osiloskop.
2. Rangkaian penyesuai tegangan terdiri dari rangkaian pembagi tegangan dan rangkaian *clamper*.
3. Voltmeter.
4. *Function Generator*.

c. Prosedur Pengujian

1. Pengujian rangkaian penyesuai tegangan dilakukan dengan menggunakan rangkaian yang ditunjukkan dalam Gambar 5.1
2. Untuk pengujian rangkaian pembagi tegangan, pada titik A diberikan masukan sinyal sinusoida dengan tegangan *peak to peak* sebesar $20 V_{p-p}$ dengan frekuensi 50 Hz dari *function generator*, keluaran bentuk sinyal masukan dan keluaran dari rangkaian pembagi tegangan pada titik B ditampilkan pada osiloskop.
3. Untuk mengetahui besarnya pembiasan dc terhadap sinyal masukan pada rangkaian *clamper* maka masukan rangkaian *clamper* yaitu pada titik B dihubungkan ke ground dan keluaran dari rangkaian *clamper* (titik C) diukur dengan menggunakan voltmeter.
4. Masukan rangkaian *clamper* (titik B) diberikan sinyal sinusoida dengan tegangan $2 V_{p-p}$ yang mempunyai frekuensi sebesar 50 Hz dari *function generator*. Sinyal masukan dan sinyal keluaran pada titik C ditampilkan pada osiloskop.

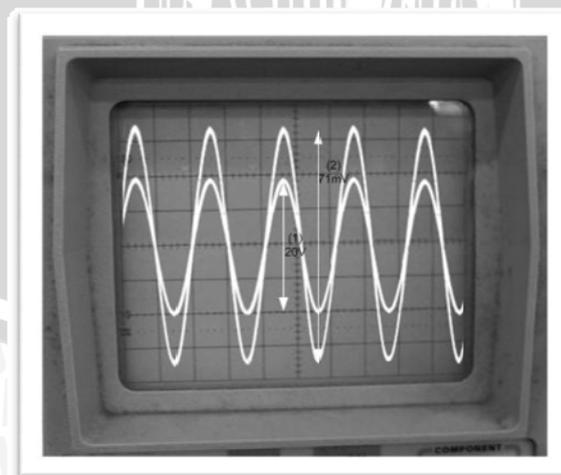
- Untuk pengujian rangkaian penyesuai tegangan, pada titik A dihubungkan dengan tegangan jala-jala listrik 220 volt 50 Hz. Sinyal keluaran pada titik C ditampilkan pada osiloskop.



Gambar 5.1 Pengujian Rangkaian Penyesuai Tegangan

d. Hasil

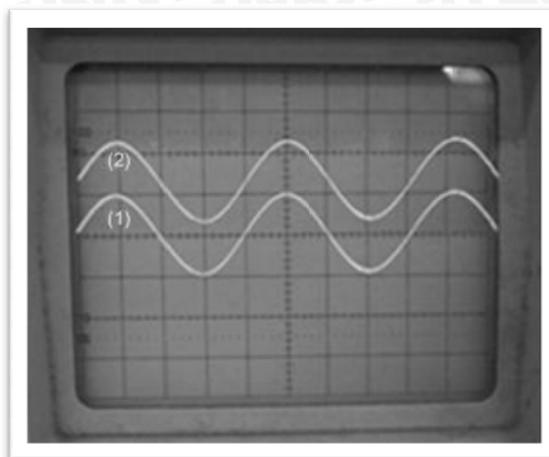
- Bentuk sinyal masukan (1) dan keluaran (2) dari rangkaian pembagi tegangan dengan masukan berupa sinyal sinusoida 20 V_{p-p} dengan frekuensi 50 Hz yang berasal dari *function generator* ditunjukkan dalam Gambar 5.2.



volt/div
 channel I = 5 V/div
 channel II = 10mV/div
 time/div = 10ms/div

Gambar 5.2 Sinyal Masukan (1) Sinyal Keluaran (2) Rangkaian Pembagi Tegangan

2. Bentuk sinyal masukan (1) dan keluran (2) dari rangkaian *clamper* dengan masukan berupa sinyal sinusoida $2 V_{p-p}$ dengan frekuensi 50 Hz yang berasal dari *function generator* ditunjukkan dalam Gambar 5.3.



volt/div

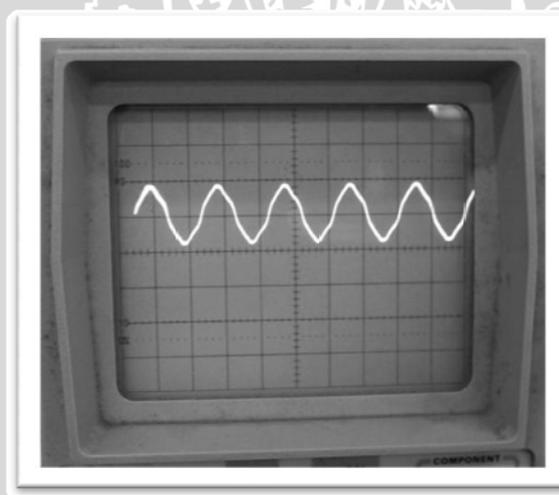
channel I = 1 V/div

channel II = 1 V/div

time/div = 5 ms/div

Gambar 5.3 Sinyal Masukan (1) Sinyal Keluran (2) Rangkaian *Clamper*

3. Bentuk sinyal keluran dari rangkaian penyesuai tegangan dengan masukan berasal dari tegangan jala-jala 220 V 50 Hz ditunjukkan dalam Gambar 5.4.



volt/div

channel I = 1 V/div

time/div = 10 ms/div

Gambar 5.4 Sinyal Keluran Rangkaian Penyesuai Tegangan

e. Analisis Data dan Kesimpulan

1. Dari pengujian rangkaian pembagi tegangan yang diberikan masukan berupa sinyal AC $20 V_{p-p}$ dengan frekuensi 50 Hz didapat sinyal keluaran sebesar $71 mV_{p-p}$ seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.2. Fungsi alih dari pengujian di peroleh sebesar $\frac{V_{out}}{V_{in}} = 3,55 \times 10^{-3}$. Sedangkan fungsi alih yang diperoleh dari perancangan diperoleh

$$\frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{969,277}{270 \times 10^3 + 969,277} = 3,57 \times 10^{-3}$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat selisih dengan nilai kesalahan sebesar 0,56 %. Hal ini disebabkan karena adanya nilai toleransi dari resistor yang digunakan. Akan tetapi dengan kesalahan yang cukup kecil ini dapat disimpulkan bahwa rangkaian pembagi tegangan telah sesuai dengan perancangan yang direncanakan.

2. Dari pengujian rangkaian *clamper*, bila diberikan yang mana masukan diberi tegangan 0 volt atau dihubungkan dengan ground, keluaran dari rangkaian *clamper* ini sebesar 1,28 V dc.
3. Bila rangkaian *clamper* ini diberi masukan berupa sinyal sinusoida sebesar $2 V_p$ dengan frekuensi sebesar 50 Hz, maka keluaran dari rangkaian *clamper* ini naik sebesar 1,28 volt seperti ditunjukkan pada gambar 5.3. Hal ini sesuai dengan perancangan yang direncanakan yaitu sinyal masukan ditambah komponen DC sebesar 1,28 volt.
4. Bila rangkaian penyesuai tegangan (rangkaiannya pembagi tegangan + rangkaian *clamper*) diberi masukan berupa sinyal sinusoida dari jala-jala PLN maka akan menghasilkan keluaran seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.4.

5.1.2 Pengujian Rangkaian Konverter Arus ke Tegangan

a. Tujuan

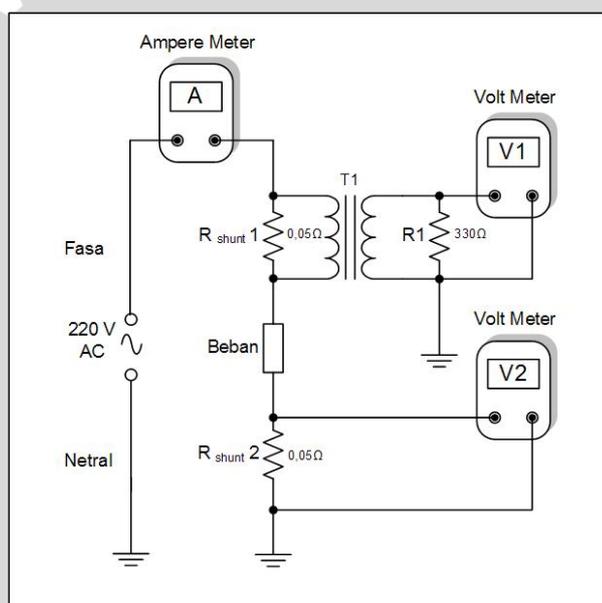
1. Mengetahui bentuk sinyal keluaran dari rangkaian konverter arus ke tegangan.
2. Mengetahui hubungan sinyal keluaran dengan sinyal masukan dari rangkaian konverter arus ke tegangan.

b. Peralatan

1. Osiloskop.
2. Rangkaian konverter arus ke tegangan.
3. Multimeter 3 buah.
4. Beban berupa Lampu Pijar 40 W, 75 W dan 100 W.

c. Prosedur Pengujian

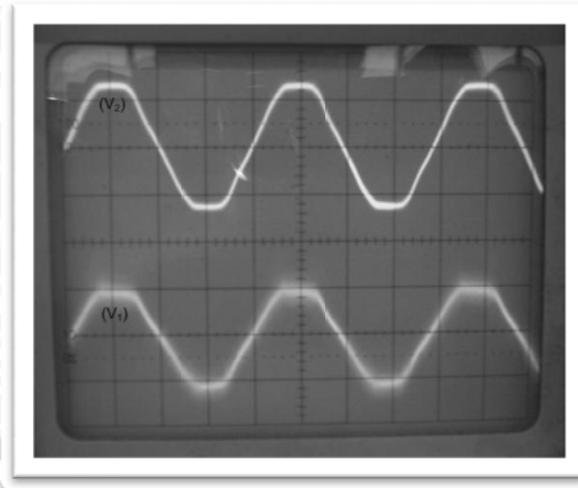
- Pengujian dilakukan dengan merangkai rangkaian konverter arus ke tegangan dengan beberapa volt meter dan ampere meter seperti dalam Gambar 5.2.
- Rangkaian konverter arus ke tegangan dihubungkan dengan tegangan 220 V AC 50 Hz dan diseri dengan beban berupa lampu pijar 100 W. Keluaran dari rangkaian konverter arus ke tegangan pertama dan kedua ditampilkan pada osiloskop.
- Mencatat arus yang mengalir ke beban sesuai dengan yang tertera pada ampermeter dan mencatat keluaran dari masing-masing rangkaian konverter arus ke tegangan yaitu V_1 dan V_2 dengan menggunakan voltmeter dengan menggunakan variasi beban yaitu 45 W dan 75 W.



Gambar 5.5 Pengujian rangkaian konverter arus ke tegangan

d. Hasil

Bentuk keluaran dari rangkaian konverter arus ke tegangan dengan beban berupa lampu pijar 100 W ditunjukkan dalam Gambar 5.6.



volt/div

channel I = 20 mV/div

channel II = 20 mV/div

time/div = 5 ms/div

Gambar 5.6 Sinyal Keluaran V_1 dan V_2 Rangkaian konverter arus ke tegangan

Tabel 5.1 Data Hasil Pengujian Rangkaian Konverter Arus ke Tegangan

No	Beban	Arus (I)	V_1	V_2
1.	40 W	0,14 A	5,4 mV	6,8 mV
2.	75 W	0,32 A	12,2 mV	15,2 mV
3.	100 W	0,44 A	16,4 mV	20,0 mV

e. Analisis Data dan Kesimpulan

Hasil pengujian rangkaian konverter arus ke tegangan ini didapat bahwa nilai tegangan sebanding dengan arus yang melalui rangkaian konverter arus ke tegangan. Untuk mengetahui nilai resistansi yang dimiliki oleh rangkaian konverter arus ke tegangan ini, maka untuk rangkaian kedua dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 R_{\text{shunt rata-rata}} &= \frac{\frac{V_{\text{out}_1}}{I_1} + \frac{V_{\text{out}_2}}{I_2} + \frac{V_{\text{out}_3}}{I_3}}{3} \\
 &= \frac{\frac{6,8 \times 10^{-3} \text{ V}}{0,14 \text{ A}} + \frac{15,2 \times 10^{-3} \text{ V}}{0,32 \text{ A}} + \frac{20,0 \times 10^{-3} \text{ V}}{0,44 \text{ A}}}{3} \\
 &= \frac{4,857 \times 10^{-2} + 4,75 \times 10^{-2} + 4,545 \times 10^{-2}}{3} \\
 &= 4,717 \times 10^{-2} \Omega
 \end{aligned}$$

Nilai ini mendekati dengan nilai yang dirancang dengan menggunakan 2 buah resistor $0,1 \Omega$ yang dihubungkan paralel sehingga nilai resistansinya menjadi $0,05 \Omega$ maka tegangan (V_2) pada resistor bila dilalui arus (I) sesuai dengan persamaan berikut :



$$V_2 = 4,717 \times 10^{-2} \times I$$

Untuk rangkaian converter arus ke tegangan pertama identik dengan rangkaian kedua yang menggunakan 2 buah resistor $0,1 \Omega$ yang disusun paralel akan tetapi terdapat tambahan sebuah transformator kopling dengan perbandingan 1 : 1 yang digunakan untuk mendapatkan tegangan diferensial yang terdapat pada resistor shunt. Bila dilakukan perhitungan seperti rangkaian konverter arus ke tegangan kedua maka didapat

$$V_1 = 3,799 \times 10^{-2} \times I$$

Nilai V_1 tidak sama dengan V_2 disebabkan adanya rugi-rugi pada transformator sehingga nilai yang diperoleh lebih kecil dari nilai V_2 . Dengan adanya perbedaan ini diperlukan penguatan pada keluaran rangkaian konverter arus ke tegangan pertama sebesar 1,242 kali dengan tujuan agar keluaran dari rangkaian konverter arus ke tegangan pertama dan kedua mempunyai keluaran yang sama.

5.1.3 Pengujian Rangkaian Penguat Sinyal AC

a. Tujuan

1. Mengetahui bentuk sinyal keluaran dari rangkaian penguat ac.
2. Mengetahui besar penguatan yang terdapat pada rangkaian penguat ac.

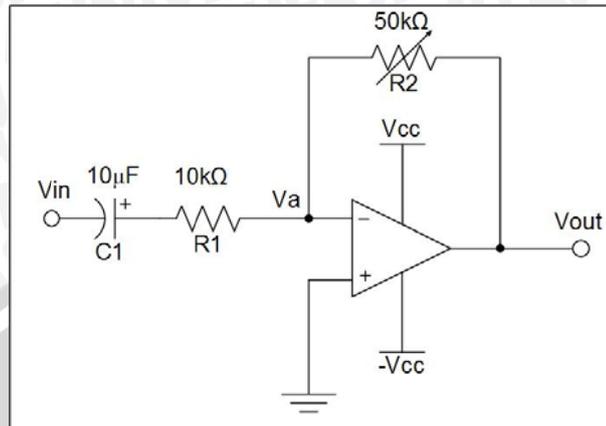
b. Peralatan

1. Osiloskop.
2. Rangkaian penguat sinyal ac.
3. *Function Generator*.

c. Prosedur Pengujian

1. Pengujian rangkaian penguat sinyal AC menggunakan rangkaian yang ditunjukkan dalam Gambar 5.7.
2. Masukan pada rangkaian penguat AC berupa sinyal sinusoida sebesar $2 V_{p-p}$ dengan frekuensi sebesar 50 Hz yang mempunyai komponen DC sebesar 1 volt yang berasal dari *function generator*, bentuk sinyal masukan dan keluaran dari rangkaian penguat sinyal ac ditampilkan pada osiloskop.

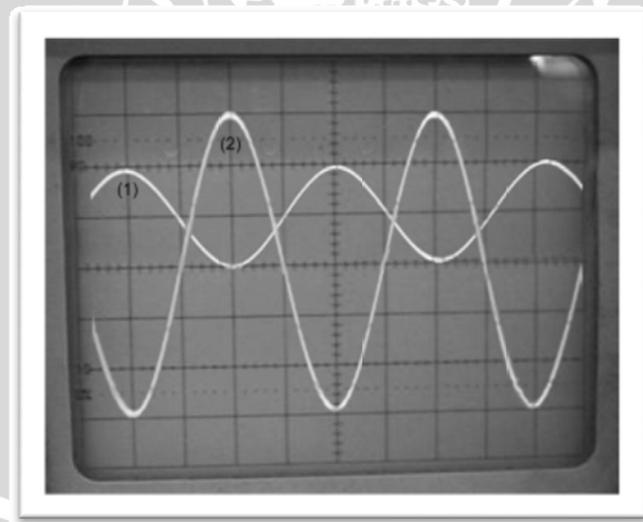
- Masukan rangkaian penguat AC berupa sinyal sinusoida sebesar $2 V_{p-p}$ dengan frekuensi sebesar 50 Hz dari *function generator*, bentuk sinyal masukan dan keluaran ditampilkan pada osiloskop.



Gambar 5.7. Pengujian Rangkaian Penguat Sinyal AC

d. Hasil

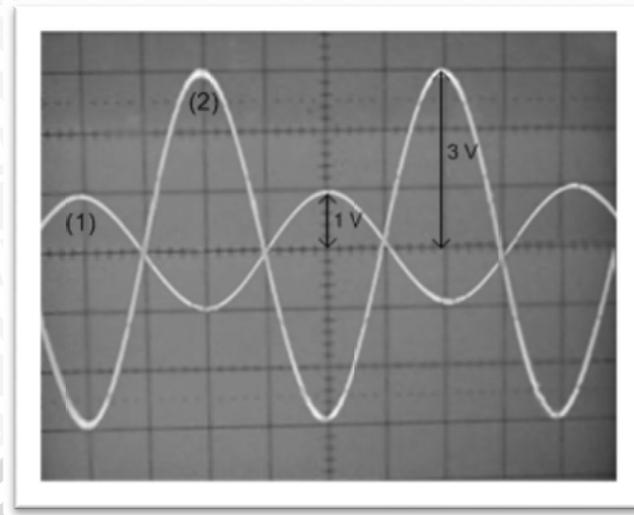
- Bentuk sinyal masukan (1) dan keluran (2) dari rangkaian penguat sinyal AC dengan masukan berupa sinyal sinusoida sebesar $2 V_{p-p}$ dengan frekuensi sebesar 50 Hz yang mempunyai komponen DC sebesar 1 volt ditunjukkan dalam Gambar 5.8.



volt/div
 channel I = 1 V/div
 channel II = 1 V/div
 time/div = 5 ms/div

Gambar 5.8 Sinyal Masukan (1) Sinyal Keluran (2) Rangkaian Penguat Sinyal AC .

- Bentuk sinyal masukan (1) dan keluran (2) dari rangkaian penguat sinyal AC dengan masukan berupa sinyal sinusoida sebesar $2 V_{p-p}$ dengan frekuensi sebesar 50 Hz ditunjukkan dalam Gambar 5.9.



volt/div

channel I = 1 V/div

channel II = 1 V/div

time/div = 5 ms/div

Gambar 5.9 Sinyal Masukan (1) Sinyal Keluaran (2) Rangkaian Penguat Sinyal AC

e. Analisis Data dan Kesimpulan

1. Dari pengujian rangkaian penguat sinyal AC bila diberi masukan berupa sinyal sinusoida $2 V_{p-p}$ yang terdapat tegangan DC sebesar 2 volt didapatkan sinyal AC pada keluaran rangkaian seperti dalam Gambar 5.8, sehingga dapat diambil kesimpulan rangkaian penguat sinyal AC ini hanya bekerja untuk menguatkan sinyal AC yang terdapat pada sinyal masukan.
2. Dari pengujian rangkaian penguat sinyal AC dengan penguatan sebesar 3,016 kali dan masukan sinusoida 50 Hz sebesar $2 V_{p-p}$ didapatkan tegangan keluaran sebesar $6 V_{p-p}$ (kesalahan 0,53%). Kesalahan sebesar 0,53% dapat dikarenakan adanya toleransi dari komponen yang dipakai terutama pada resistor dan dimungkinkan adanya kesalahan pembacaan pada osiloskop.

5.1.4 Pengujian Rangkaian Antarmuka Modul LCD

a. Tujuan

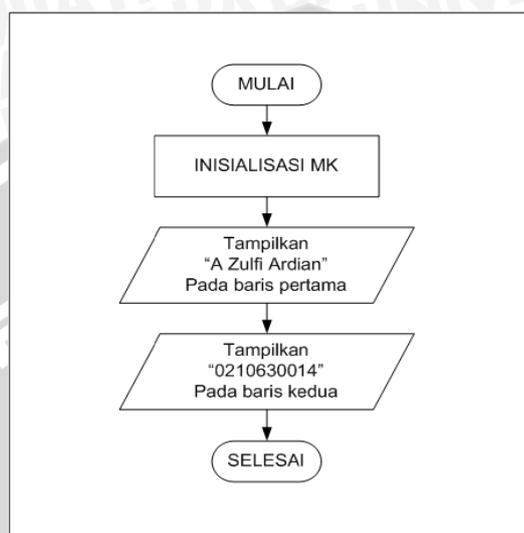
Tujuan pengujian adalah untuk menunjukkan bahwa port C pada mikrokontroler serta modul LCD dapat berfungsi sesuai program.

b. Peralatan

1. Mikrokontroler ATMEGA 16.
2. Modul LCD M1632.

c. Prosedur Pengujian

Program yang dibuat untuk pengujian adalah program sederhana yaitu menampilkan karakter ' A.Zulfi Ardian ' dan '0210630014' pada kedua baris layar LCD. Diagram alir yang digunakan untuk pengujian rangkaian antarmuka modul LCD ditunjukkan dalam Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Diagram alir pada pengujian rangkaian antarmuka modul LCD

Setelah memprogram mikrokontroler, langkah selanjutnya ialah mengamati tampilan pada LCD.

d. Hasil

Tampilan pada modul LCD ditunjukkan dalam Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Hasil pengujian rangkaian antarmuka modul LCD.

e. Analisis Data dan Kesimpulan

Hasil pengujian yang diperoleh adalah layar LCD menampilkan beberapa karakter pada kedua baris tanpa ada kesalahan. Dengan demikian rangkaian antarmuka modul LCD dapat berfungsi dengan baik dan dapat menerima data dari PORTC pada mikrokontroler.

5.1.5 Pengujian ADC pada mikrokontroler ATMEGA 16

a. Tujuan

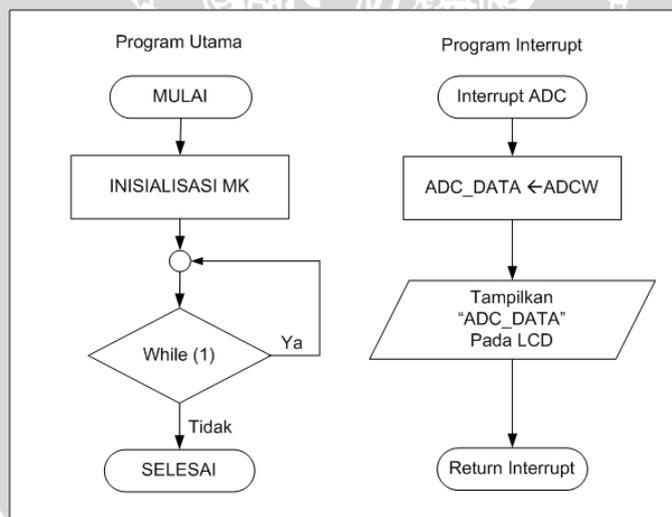
1. Mengetahui nilai keluaran ADC dalam bentuk bilangan desimal.
2. Mengetahui nilai penyimpangan hasil pembacaan ADC.

b. Peralatan

1. Modul Mikrokontroler ATMEGA 16.
2. Modul LCD.
3. Multimeter
4. Catu daya.

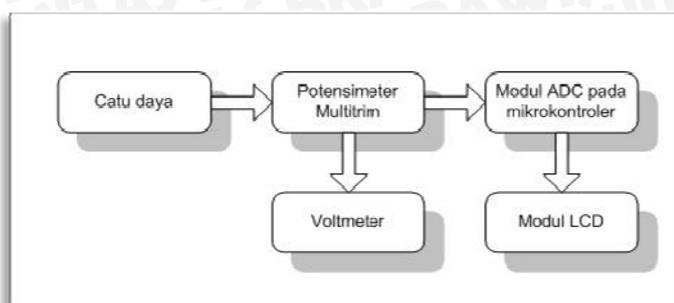
c. Prosedur Pengujian

1. Memprogram mikrokontroler dengan mengaktifkan ADC internal. Program yang dibuat untuk mengujian ADC adalah program interrupt adc yang mana bila data telah selesai dikonversi akan ditampilkan pada LCD. Diagram alir yang digunakan untuk pengujian rangkaian antarmuka modul LCD ditunjukkan dalam Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Diagram Alir Program Pengujian ADC Mikrokontroler ATMEGA 16

2. Pengujian ADC dilakukan dengan merangkai rangkaian seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Blok Diagram Pengujian ADC

3. Catu daya diatur supaya mempunyai keluaran sebesar 2,56 volt.
4. Dengan menggunakan potensiometer multitrिम dan sebuah voltmeter, atur masukan ADC sesuai dengan tabel 5.2.
5. Catat dan bandingkan data hasil pengujian yang tertera pada LCD dengan teori pada tabel 5.2.

d. Hasil

Hasil pengujian ADC dengan kisaran masukan antara 0 - 2,56 volt dan keluaran berupa data desimal ditunjukkan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil pengujian ADC

No	V_{in} (volt)	V_{out} (Desimal)		Kesalahan (%)
		Pengujian	Teori	
1.	0	0	0	0,000
2.	0.25	100	100	0,000
3.	0.50	199	200	0,500
4.	0.75	299	300	0,333
5.	1.00	401	400	0,250
6.	1.25	500	500	0,000
7.	1.28	512	512	0,000
8.	1.50	600	600	0,000
9.	1.75	699	700	0,143
10.	2.00	801	800	0,125
11.	2.25	902	900	0,222
12.	2.50	1001	1000	0,100
13.	2.56	1023	1023	0,000
Prosentase Kesalahan rata - rata				0,129

Keterangan :

$$\% \text{ Kesalahan} = \left| \frac{\text{Pengukuran} - \text{Teori}}{\text{Pengukuran}} \right| \times 100\%$$

e. Analisis Data dan Kesimpulan

Untuk menghitung hasil konversi secara teori didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$$V_{out} = \frac{2^n}{V_{ref}} \times V_{in}$$

dengan V_{out} adalah data digital hasil konversi, $n = 10$ bit dan $V_{ref} = 2,56$ volt.

Dari hasil pengujian, pada tabel 5.2 menunjukkan tercapainya kesesuaian konversi tegangan masukan ADC dengan kode digital setaranya namun didapat kesalahan sebesar 1 sampai 2 LSB pada beberapa kondisi pengujian. Hal ini diakibatkan karena keterbatasan dari komponen ADC ATMEGA 16. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa rangkaian ADC sudah bekerja sesuai dengan perencanaan.

5.1.6 Pengujian Rangkaian Antarmuka RTC

a. Tujuan

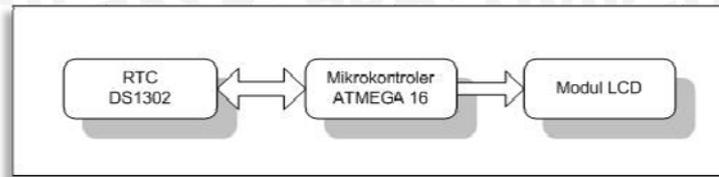
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah *Real Time Clock* DS1302 dapat bekerja dengan baik dan mampu memberikan informasi yang diinginkan berupa informasi detik, menit, jam, tanggal, bulan, maupun tahun.

b. Peralatan

1. Mikrokontroler ATMEGA 16.
2. Modul RTC DS1302.
3. Modul LCD M1632.
4. *Stopwatch*

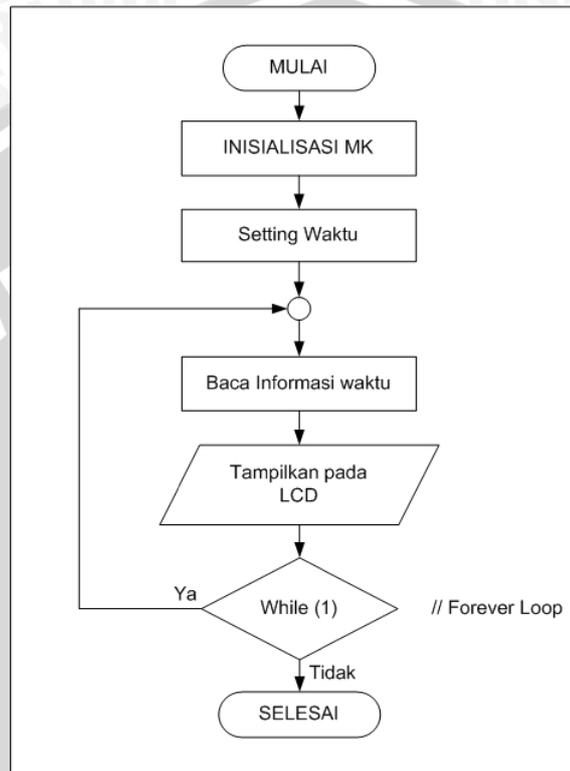
c. Prosedur Pengujian

1. Memprogram mikrokontroler ATMEGA 16 sesuai dengan program pengujian untuk mengeluarkan informasi detik, menit, jam, tanggal, bulan dan tahun.
2. Merangkai rangkaian pengujian seperti dalam Gambar 5.14.
3. Mengamati perubahan tiap waktu melalui LCD.



Gambar 5.14 Blok Diagram Pengujian RTC

Diagram alir dari program pengujian RTC ditunjukkan dalam Gambar 5.15.



Gambar 5.15 Diagram Alir Program Pengujian RTC

d. Hasil

Informasi waktu yang didapat dari RTC ditampilkan pada LCD seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.16.



Gambar 5.16 Hasil pengujian rangkaian RTC.

e. Analisis dan Kesimpulan

Dari hasil pengujian diperoleh kesimpulan bahwa rangkaian RTC DS1302 dapat berfungsi dengan baik. Data detik, menit, jam, tanggal, bulan dan tahun dapat ditampilkan pada LCD sesuai dengan waktu awal yang telah ditentukan terlebih dahulu pada program pengujian. Perubahan setiap detik dan menitnya sesuai dengan perhitungan waktu pada *stopwatch*.

5.1.7 Pengujian Rangkaian Keypad 4 x 4

a. Tujuan

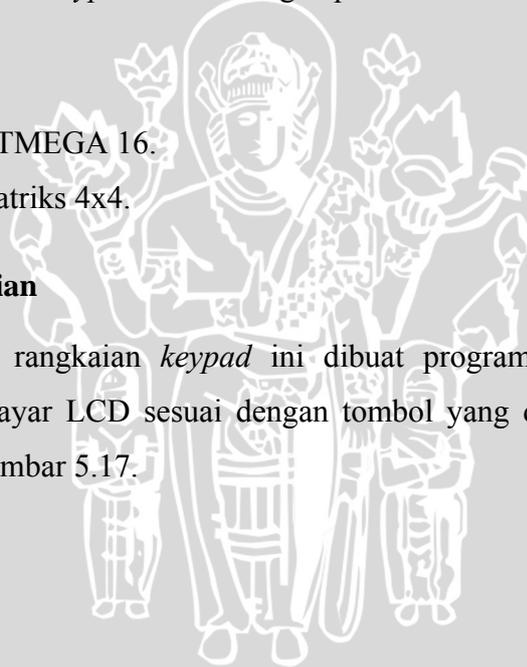
Tujuan pengujian yang harus dicapai adalah untuk menunjukkan bahwa setiap penekanan tombol *keypad* menghasilkan kode tertentu yang mewakili karakter yang tertera pada setiap tombol *keypad* sesuai dengan perencanaan.

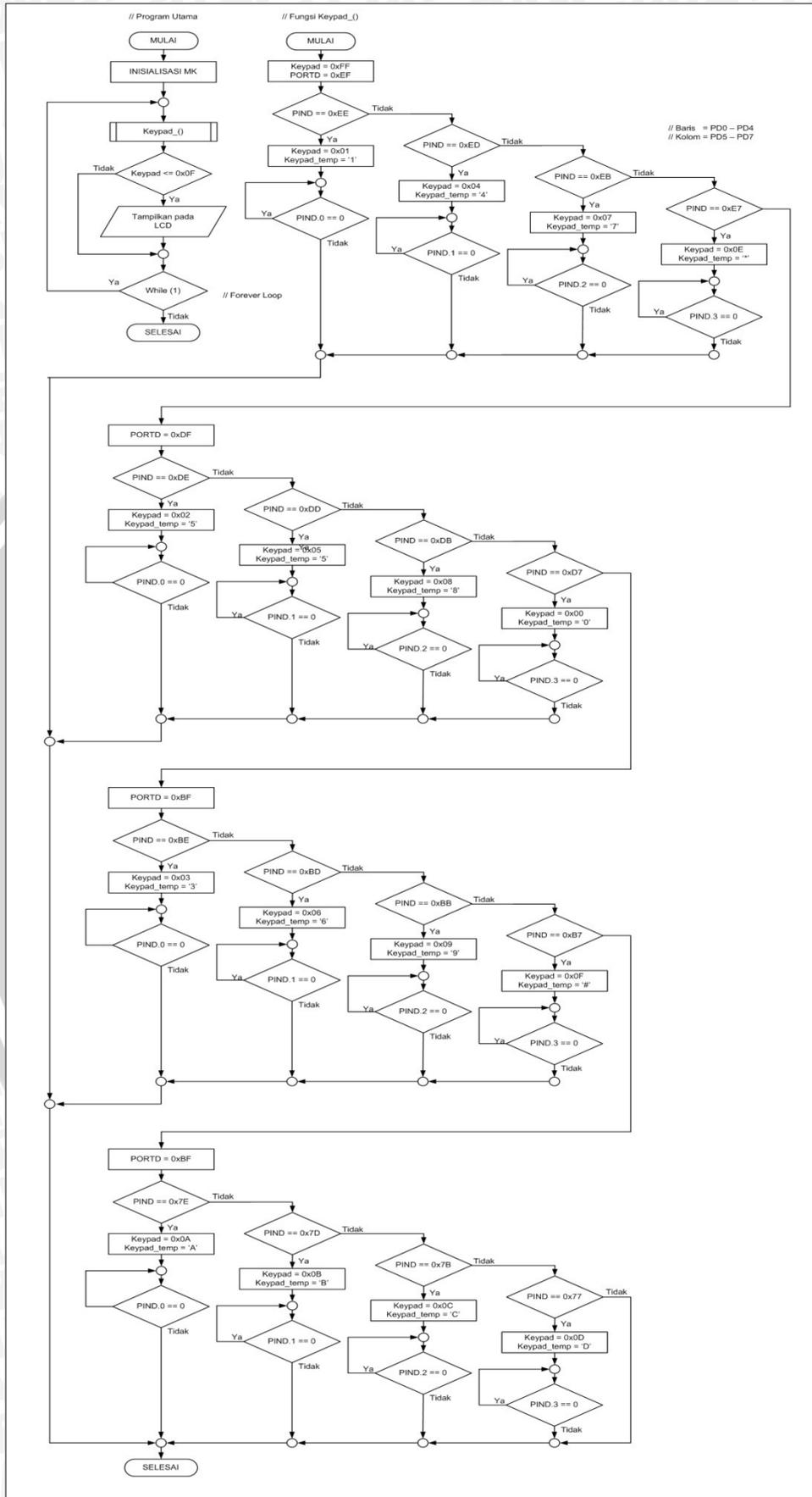
b. Peralatan

1. Mikrokontroler ATMEGA 16.
2. Modul Keypad Matriks 4x4.

c. Prosedur Pengujian

Dalam pengujian rangkaian *keypad* ini dibuat program yang menampilkan karakter karakter ke layar LCD sesuai dengan tombol yang ditekan. Diagram alir ditunjukkan dalam Gambar 5.17.





Gambar 5.17 Diagram Alir Program Pengujian Keypad 4 x 4



d. Hasil

Tampilan pada LCD yang berupa beberapa karakter yang berasal dari penekanan tombol pada keypad ditunjukkan dalam Gambar 5.18.



Gambar 5.18 Hasil pengujian rangkaian keypad.

e. Analisis Data dan Kesimpulan

Hasil pengujian yang diperoleh adalah semua karakter hasil penekanan tombol dapat ditampilkan dengan benar diseluruh sel dari layar LCD. Dari hasil yang diperoleh dalam pengujian ini dapat disimpulkan bahwa rangkaian keypad dapat diantarmukakan dengan port D dan dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan perencanaan.

5.2 Pengujian Perangkat Lunak

5.2.1 Pengujian Perangkat Lunak Perhitungan Arus *rms* pertama, Arus *rms* kedua dan Tegangan *rms*

a. Tujuan

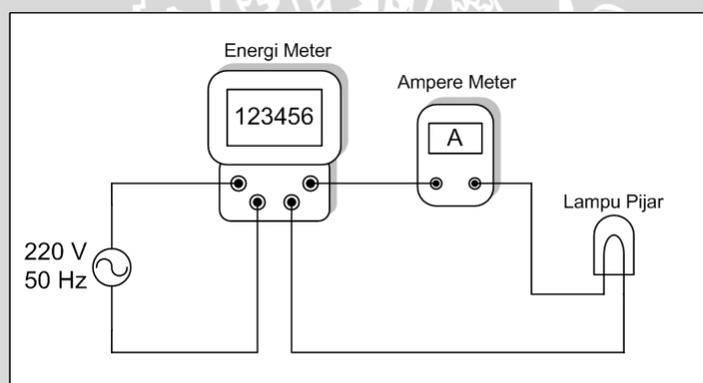
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah perhitungan arus *rms* dan tegangan *rms* yang diukur sesuai *instrument* pengukuran arus (amperemeter) dan *instrument* pengukuran tegangan (voltmeter).

b. Peralatan

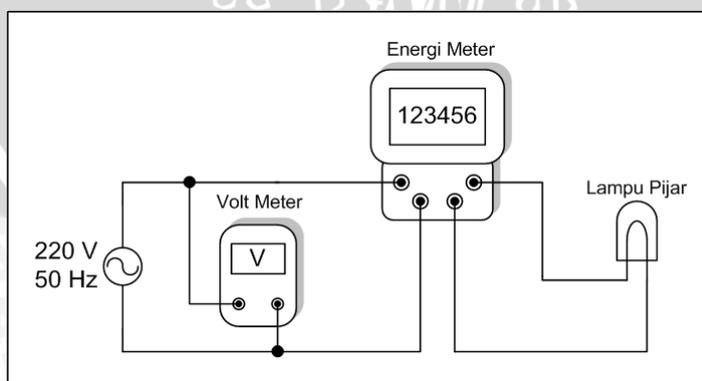
1. Modul Rangkaian Lengkap.
2. 2 buah Multimeter.
3. Beban berupa lampu pijar 40 watt, 75 watt dan 100 watt.

c. Prosedur Pengujian

1. Memprogram mikrokontroler ATMEGA 16 sesuai dengan program pengujian perhitungan arus *rms* dan tegangan *rms*.
2. Merangkai rangkaian pengujian seperti dalam Gambar 5.19 untuk pengujian pengukuran arus.
3. Mengamati nilai arus *rms* melalui LCD dengan variasi beban.
4. Merangkai rangkaian pengujian seperti dalam Gambar 5.20 untuk pengujian pengujian tegangan.
5. Mengamati nilai tegangan *rms* melalui LCD dengan beban berupa lampu pijar 100 W.

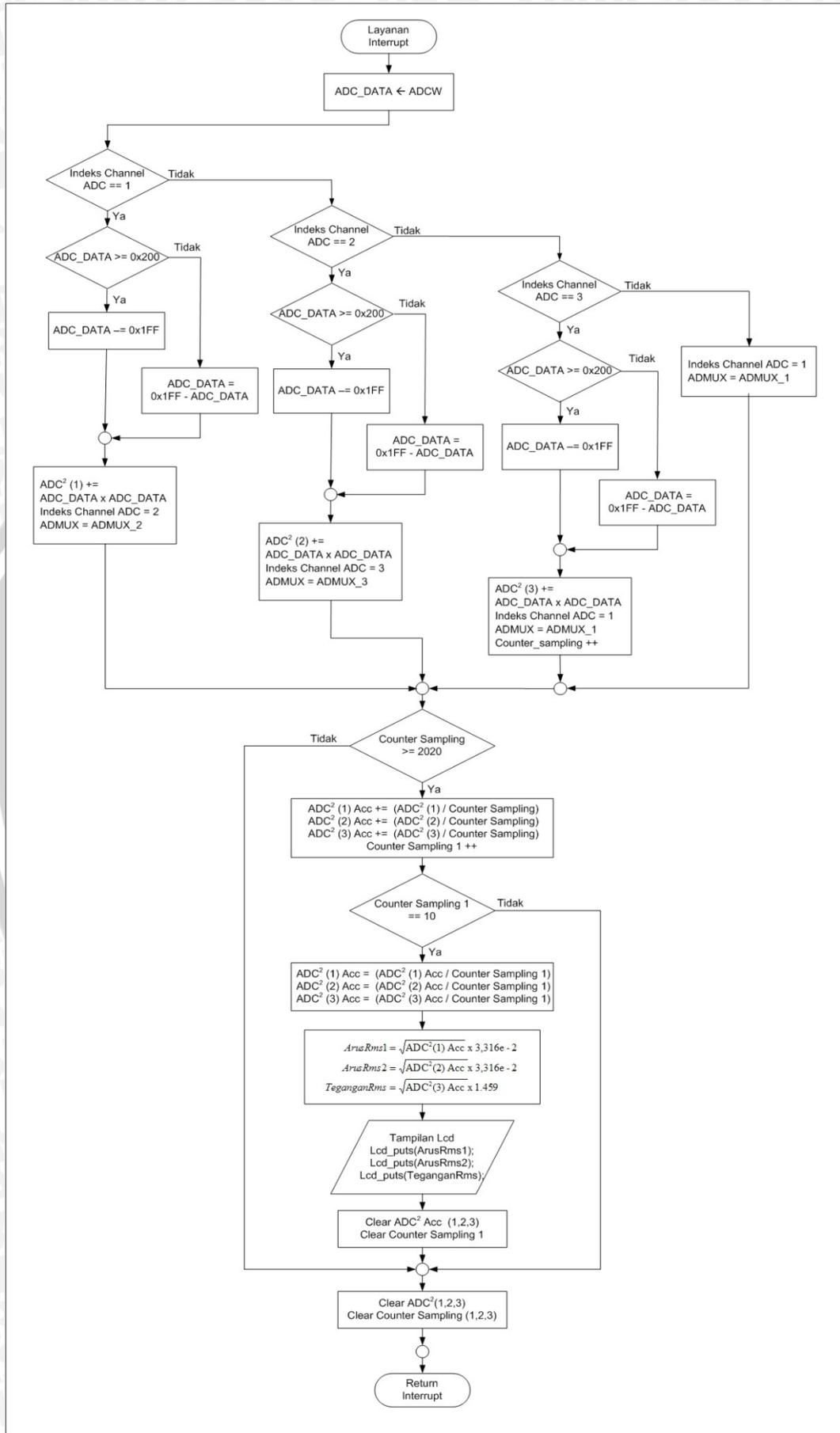


Gambar 5.19 Pengujian Arus *rms*



Gambar 5.20 Pengujian Tegangan *rms*

Diagram Alir dari program perhitungan arus *rms* dan tegangan *rms* ditunjukkan dalam Gambar 5.21.



Gambar 5.21 Diagram Alir Pengujian Arus rms dan Tegangan rms

d. Hasil

Hasil pengujian arus *rms* ditunjukkan dalam Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Arus *rms* dengan variasi beban

No	Beban	Arus Channel 1 (A)	Arus Channel 2 (A)	Amper Meter I (A)	Amper Meter II (A)	Amper Meter I		Amper Meter II	
						Kesalahan Ch1 (%)	Kesalahan Ch2 (%)	Kesalahan Ch1 (%)	Kesalahan Ch2 (%)
1.	40 W	0,13	0,13	0,14	0,13	7,69	7,69	0,00	0,00
2.		0,13	0,13	0,14	0,13	7,69	7,69	0,00	0,00
3.		0,13	0,13	0,13	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
4.		0,13	0,13	0,14	0,13	7,69	7,69	0,00	0,00
5.		0,13	0,13	0,13	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
6.		0,13	0,13	0,13	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
7.		0,13	0,13	0,14	0,13	7,69	7,69	0,00	0,00
8.		0,13	0,13	0,14	0,13	7,69	7,69	0,00	0,00
9.		0,13	0,13	0,14	0,13	7,69	7,69	0,00	0,00
10.		0,13	0,13	0,14	0,13	7,69	7,69	0,00	0,00
11.	75 W	0,33	0,33	0,31	0,32	6,06	6,06	3,03	3,03
12.		0,33	0,33	0,32	0,32	3,03	3,03	3,03	3,03
13.		0,33	0,33	0,32	0,32	3,03	3,03	3,03	3,03
14.		0,33	0,33	0,32	0,32	3,03	3,03	3,03	3,03
15.		0,33	0,33	0,32	0,32	3,03	3,03	3,03	3,03
16.		0,33	0,33	0,31	0,32	6,06	6,06	3,03	3,03
17.		0,33	0,33	0,32	0,32	3,03	3,03	3,03	3,03
18.		0,33	0,33	0,31	0,32	6,06	6,06	3,03	3,03
19.		0,33	0,33	0,31	0,32	6,06	6,06	3,03	3,03
20.		0,33	0,33	0,32	0,32	3,03	3,03	3,03	3,03
21.	100 W	0,43	0,43	0,42	0,43	2,33	2,33	0,00	0,00
22.		0,43	0,43	0,41	0,42	4,65	4,65	2,33	2,33
23.		0,43	0,43	0,42	0,42	2,33	2,33	2,33	2,33
24.		0,43	0,43	0,43	0,42	0,00	0,00	2,33	2,33
25.		0,43	0,43	0,42	0,42	2,33	2,33	2,33	2,33
26.		0,43	0,43	0,41	0,42	4,65	4,65	2,33	2,33
27.		0,43	0,43	0,42	0,42	2,33	2,33	2,33	2,33
28.		0,43	0,43	0,42	0,42	2,33	2,33	2,33	2,33
29.		0,43	0,43	0,42	0,43	2,33	2,33	0,00	0,00
30.		0,43	0,43	0,42	0,43	2,33	2,33	0,00	0,00
Kesalahan rata-rata (%)						4,06	4,06	1,55	1,55

Keterangan :

1. Multimeter I menggunakan tipe HC-3500 T
2. Multimeter II menggunakan tipe YF-3120

Hasil pengujian tegangan *rms* ditunjukkan dalam Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Tegangan *rms*

No.	Tegangan Channel 3	Volt Meter I (V)	Volt Meter II (V)	Kesalahan Ch3 (%)	
				VoltMeter I	VoltMeter II
1.	225	224	228	0,44	1,33
2.	225	224	228	0,44	1,33
3.	225	224	228	0,44	1,33
4.	225	224	228	0,44	1,33
5.	225	224	228	0,44	1,33
6.	225	225	228	0,00	1,33
7.	225	225	228	0,00	1,33
8.	225	225	229	0,00	1,78
9.	223	224	228	0,45	2,24
10.	223	225	229	0,90	2,69
11.	225	225	229	0,00	1,78
12.	225	224	229	0,44	1,78
13.	225	225	229	0,00	1,78
14.	255	255	229	0,00	10,20
15.	255	255	229	0,00	10,20
Kesalahan rata-rata (%)				0,27	2,78

Keterangan :

1. Multimeter I menggunakan tipe HC-3500 T
2. Multimeter II menggunakan tipe YF-3120

e. Analisis Data dan Kesimpulan

1. Pengukuran arus *rms* pada channel 1 dan channel 2 pada alat tidak terdapat perbedaan pembacaan nilai arus *rms* pada berbagai beban.
2. Pengukuran arus *rms* pada channel 1 dan channel 2 bila dibandingkan dengan amperemeter I didapat kesalahan sebesar 2,67 %.
3. Pengukuran arus *rms* pada channel 1 dan channel 2 bila dibandingkan dengan amperemeter II didapat kesalahan sebesar 1,55 %.
4. Pengujian pengukuran tegangan *rms* pada channel 3 bila dibandingkan dengan voltmeter I didapat nilai kesalahan sebesar 0,27 % dan bila dibandingkan dengan voltmeter II didapat nilai kesalahan sebesar 2,78 %.
5. Adanya nilai kesalahan pada pengukuran arus *rms* (channel 1 dan channel 2) maupun pengukuran tegangan *rms* (channel 3) dikarenakan adanya keterbatasan resolusi yang mana akan mengakibatkan perbedaan nilai dari pengukuran dengan nilai sebenarnya yang mana resolusi dari pengukuran arus yaitu sebesar

33,16 mA dan resolusi pengukuran tegangan sebesar 1,459 volt. Selain itu dapat disebabkan karena keterbatasan komponen pada ADC mikrokontroler yang menyebabkan terjadinya kesalahan sebesar 1 - 2 LSB. Namun dapat juga disebabkan adanya nilai kesalahan pada alat ukur yang digunakan (multimeter).

Secara keseluruhan hasil pengujian pengukuran arus *rms* dan pengukuran tegangan *rms* dengan variasi beban menunjukkan tercapainya kesesuaian pengukuran arus *rms* dan tegangan *rms* bila dibandingkan dengan *instrument* pengukuran yang ada dengan nilai kesalahan yang kecil. Dari hasil pengujian arus *rms* dan tegangan *rms* ini dapat disimpulkan bahwa program untuk pengukuran arus *rms* dan pengukuran tegangan *rms* sudah sesuai dengan perencanaan.

5.2.2 Pengujian Perangkat Lunak Perhitungan $\cos(\phi)$

a. Tujuan

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah perbedaan fasa antara tegangan dengan arus yang disebabkan oleh beban sesuai dengan perbedaan fasa yang diperoleh dengan pengukuran 3 buah voltmeter.

b. Peralatan

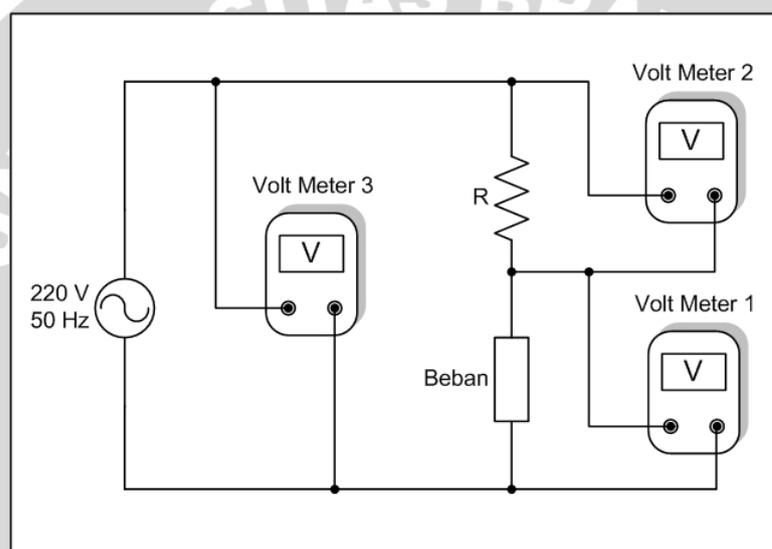
1. Modul Rangkaian Lengkap.
2. 3 buah Voltmeter.
3. Beban berupa lampu pijar 40 W, 75 W, 100 W dan lampu fluorescent 20 W 2 buah, 18 W 1 buah dan 9 W 1 buah.

c. Prosedur Pengujian

1. Untuk pengukuran $\cos(\phi)$ dengan menggunakan 3 buah Voltmeter, Rangkaian pengujian dirangkai seperti Gambar 5.22.
2. Memprogram mikrokontroler ATMEGA 16 sesuai dengan program pengujian $\cos(\phi)$.
3. Dengan menggunakan beban 1 buah lampu pijar 40 W, tegangan yang tertera pada voltmeter 1, 2, 3 dicatat dan dihitung nilai $\cos(\phi)$ dengan menggunakan rumus :

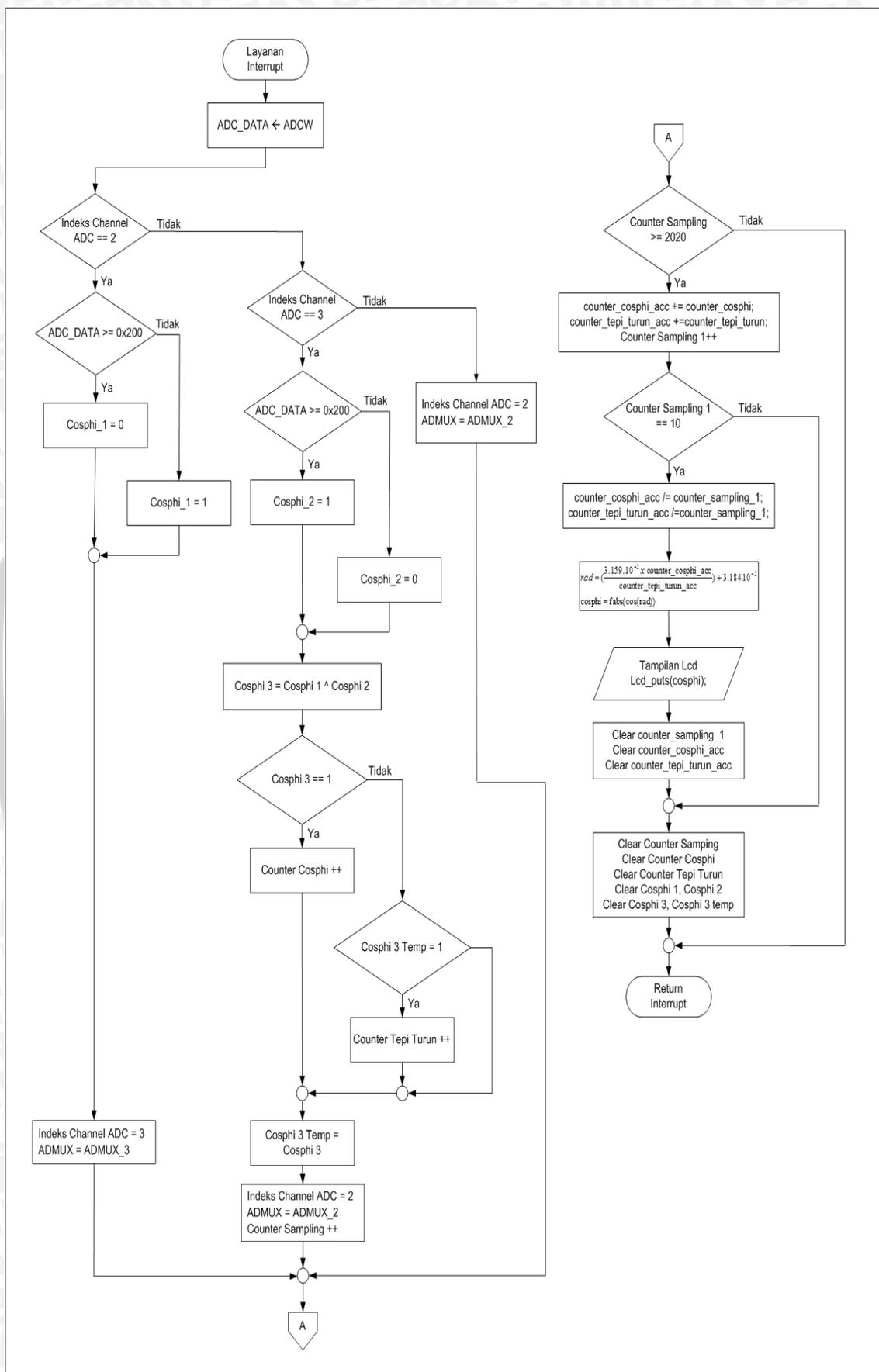
$$\cos(\phi) = \frac{V_3^2 - V_2^2 - V_1^2}{2 \times V_1 \times V_2}$$

4. Mengamati nilai $\cos(\phi)$ yang tertera pada modul rangkaian melalui LCD dengan menggunakan beban yang sama.
5. Mengulangi langkah 3 dan 4 dengan beban yang berbeda yaitu
 - 1 buah lampu pijar 40 W + 1 buah lampu fluorescent 20 W
 - 1 buah lampu pijar 40 W + 2 buah lampu fluorescent 20 W
 - 1 buah lampu pijar 75 W
 - 1 buah lampu pijar 75 W + 1 buah lampu fluorescent 20 W
 - 1 buah lampu pijar 75 W + 2 buah lampu fluorescent 20 W
 - 2 buah lampu fluorescent 20 W + 18 W + 9 W.
 - 1 buah lampu pijar 100 W



Gambar 5.22 Pengujian $\cos(\phi)$ dengan 3 voltmeter

Diagram Alir dari program $\cos(\phi)$ ditunjukkan dalam Gambar 5.23



Gambar 5.23 Diagram Alir Pengujian Perangkat Lunak Program cos(φ)

d. Hasil

Hasil pengujian $\cos(\phi)$ dengan beban berupa lampu pijar 40 W ditunjukkan dalam Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Beban 40 W lampu pijar

V1 (volt)	V2 (volt)	V3 (volt)	$\cos(\phi)$	
			3 Voltmeter	Modul Rangkaian
198	22,1	220	0,995	0,954
198	22,0	220	1,000	0,953
198	22,1	220	0,995	0,953
198	22,1	220	0,995	0,954
198	22,1	220	0,995	0,953
Rata - rata			0,996	0,953

Prosentase kesalahan rata-rata = 4,49 %

Hasil pengujian $\cos(\phi)$ dengan beban berupa lampu pijar 40 W dan lampu fluorescent 20 W ditunjukkan dalam Tabel 5.6

Tabel 5.6 Beban lampu pijar 40 W + lampu fluorescent 20 W

V1 (volt)	V2 (volt)	V3 (volt)	$\cos(\phi)$	
			3 Voltmeter	Modul Rangkaian
197	26,3	223	0,987	0,955
197	26,3	223	0,987	0,955
198	26,3	224	0,987	0,955
198	26,4	224	0,983	0,955
197	26,4	223	0,983	0,955
Rata - rata			0,985	0,955

Prosentase kesalahan rata-rata = 3,22 %

Hasil pengujian $\cos(\phi)$ dengan beban berupa lampu pijar 40 W dan 2 buah lampu fluorescent 20 W ditunjukkan dalam Tabel 5.7

Tabel 5.7 Beban lampu pijar 40 W + 2 buah lampu fluorescent 20 W

V1 (volt)	V2 (volt)	V3 (volt)	$\cos(\phi)$	
			3 Voltmeter	Modul Rangkaian
193	31,0	222	0,925	0,955
193	31,0	222	0,925	0,955
192	30,0	222	1,000	0,955
192	30,0	222	1,000	0,955
194	30,0	223	0,962	0,955
Rata - rata			0,963	0,955

Prosentase kesalahan rata-rata = 0,78 %

Hasil pengujian $\cos(\phi)$ dengan beban berupa lampu pijar 75 W ditunjukkan dalam Tabel 5.8

Tabel 5.8 Beban lampu pijar 75 W

V1 (volt)	V2 (volt)	V3 (volt)	cos(ϕ)	
			3 Voltmeter	Modul Rangkaian
174	45,4	219	0,989	0,989
174	45,6	219	0,983	0,989
174	45,6	219	0,983	0,989
174	45,6	219	0,983	0,989
172	45,7	217	0,981	0,989
Rata - rata			0,984	0,989

Prosentase kesalahan rata-rata = 0,55 %

Hasil pengujian cos (ϕ) dengan beban berupa lampu pijar 75 W dan lampu fluorescent 20 W ditunjukkan dalam Tabel 5.9

Tabel 5.9 Beban lampu pijar 75 W + lampu fluorescent 20 W

V1 (volt)	V2 (volt)	V3 (volt)	cos(ϕ)	
			3 Voltmeter	Modul Rangkaian
167	50,1	217	0,997	0,989
166	50,0	215	0,974	0,989
166	50,0	216	1,000	0,989
167	50,0	215	0,948	0,989
169	50,6	218	0,959	0,989
Rata - rata			0,976	0,989

Prosentase kesalahan rata-rata = 1,37 %

Hasil pengujian cos (ϕ) dengan beban berupa lampu pijar 40 W dan 2 buah lampu fluorescent 20 W ditunjukkan dalam Tabel 5.10

Tabel 5.10 Beban lampu pijar 40 W + 2 buah lampu fluorescent 20 W

V1 (volt)	V2 (volt)	V3 (volt)	cos(ϕ)	
			3 Voltmeter	Modul Rangkaian
180	57,8	235	0,936	0,989
179	57,2	235	0,972	0,989
178	56,8	233	0,958	0,989
178	57,0	234	0,977	0,989
178	57,1	235	0,998	0,989
Rata - rata			0,968	0,989

Prosentase kesalahan rata-rata = 2,10 %

Hasil pengujian $\cos(\phi)$ dengan beban berupa 2 buah lampu fluorescent 20 W, 1 buah lampu fluorescent 18 W dan 9 W ditunjukkan dalam Tabel 5.11

Tabel 5.11 Beban 2 buah lampu fluorescent 20 W + 18 W + 9 W

V1 (volt)	V2 (volt)	V3 (volt)	$\cos(\phi)$	
			3 Voltmeter	Modul Rangkaian
215	25,6	235	0,758	0,771
215	25,4	235	0,765	0,769
215	25,6	235	0,758	0,769
215	25,5	235	0,761	0,769
215	25,8	235	0,751	0,768
Rata - rata			0,759	0,769

Prosentase kesalahan rata-rata = 1,39 %

Hasil pengujian $\cos(\phi)$ dengan beban berupa lampu pijar 100 W ditunjukkan dalam Tabel 5.12

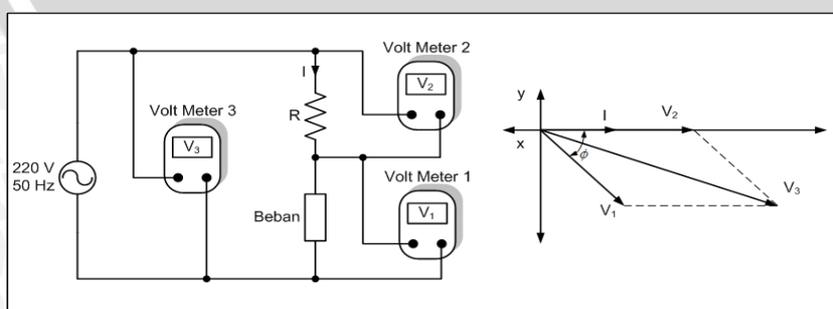
Tabel 5.12 Beban 1 buah lampu pijar 100 W

V1 (volt)	V2 (volt)	V3 (volt)	$\cos(\phi)$	
			3 Voltmeter	Modul Rangkaian
172	61,5	233	0,989	0,993
172	61,5	233	0,989	0,993
172	61,2	233	0,996	0,993
172	61,2	232	0,973	0,993
172	61,2	233	0,996	0,993
Rata - rata			0,989	0,993

Prosentase kesalahan rata-rata = 0,45 %

e. Analisis Data dan Kesimpulan

Data hasil pengukuran $\cos(\phi)$ dengan menggunakan 3 buah voltmeter menggunakan prinsip seperti dalam Gambar 5.24.



Gambar 5.24 Pengujian $\cos(\phi)$ dengan 3 voltmeter

Jika besar tegangan yang terukur pada masing-masing voltmeter ialah V_1 , V_2 dan V_3 sesuai dengan diagram vektor pada gambar diatas, ketiga tegangan tersebut memenuhi persamaan sebagai berikut :

$$V_3^2 = V_1^2 + V_2^2 + 2V_1 \times V_2 \times \cos(\phi)$$

$$\cos(\phi) = \frac{V_3^2 - V_2^2 - V_1^2}{2 \times V_1 \times V_2}$$

Dari hasil pengujian didapat data sebagai berikut :

1. Untuk beban 1 buah lampu pijar 40 W didapat nilai $\cos(\phi)$ dari alat sebesar 0,953 sedangkan dari pengukuran menggunakan 3 voltmeter didapat sebesar 0,996. Dari perbedaan ini didapat kesalahan sebesar 4,49 %.
2. Untuk beban 1 buah lampu pijar 40 W + 1 buah lampu fluorescent 20 W didapat nilai $\cos(\phi)$ dari alat sebesar 0,955 sedangkan dari pengukuran menggunakan 3 voltmeter didapat sebesar 0,985. Dari perbedaan ini didapat kesalahan sebesar 3,22%.
3. Untuk beban 1 buah lampu pijar 40 W + 2 buah lampu fluorescent 20 W didapat nilai $\cos(\phi)$ dari alat sebesar 0,955 sedangkan dari pengukuran menggunakan 3 voltmeter didapat sebesar 0,963. Dari perbedaan ini didapat kesalahan sebesar 0,78%.
4. Untuk beban 1 buah lampu pijar 75 W didapat nilai $\cos(\phi)$ dari alat sebesar 0,989 sedangkan dari pengukuran menggunakan 3 voltmeter didapat sebesar 0,993. Dari perbedaan ini didapat kesalahan sebesar 0,48%.
5. Untuk beban 1 buah lampu pijar 75 W + 1 buah lampu fluorescent 20 W didapat nilai $\cos(\phi)$ dari alat sebesar 0,989 sedangkan dari pengukuran menggunakan 3 voltmeter didapat sebesar 0,976. Dari perbedaan ini didapat kesalahan sebesar 1,37%.
6. Untuk beban 1 buah lampu pijar 75 W + 2 buah lampu fluorescent 20 W didapat nilai $\cos(\phi)$ dari alat sebesar 0,989 sedangkan dari pengukuran menggunakan 3 voltmeter didapat sebesar 0,968. Dari perbedaan ini didapat kesalahan sebesar 2,10%.
7. Untuk beban lampu fluorescent 20 W 2 buah + 18 W 1 buah + 9 W 1 buah didapat nilai $\cos(\phi)$ dari alat sebesar 0,769 sedangkan dari pengukuran menggunakan 3 voltmeter didapat sebesar 0,759. Dari perbedaan ini didapat kesalahan sebesar 1,39%.

8. Untuk beban 1 buah lampu pijar 100 W didapat nilai $\cos(\phi)$ dari alat sebesar 0,989 sedangkan dari pengukuran menggunakan 3 voltmeter didapat sebesar 0,759. Dari perbedaan ini didapat kesalahan sebesar 0,45%.

Dari data yang diperoleh maka kesalahan rata-rata diperoleh sebesar 1,57 %. Hal ini dapat disebabkan karena adanya kesalahan pembacaan dari voltmeter yang digunakan serta dapat disebabkan karena keterbatasan ADC yang digunakan sebagai *zero crossing detector* yang mempunyai kesalahan 1-2 LSB. Namun dengan kesalahan rata-rata sebesar 1,57 % tersebut program untuk mendapatkan nilai $\cos(\phi)$ sudah dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan.

5.2.3 Pengujian Perangkat Lunak Perhitungan Daya Aktif

a. Tujuan

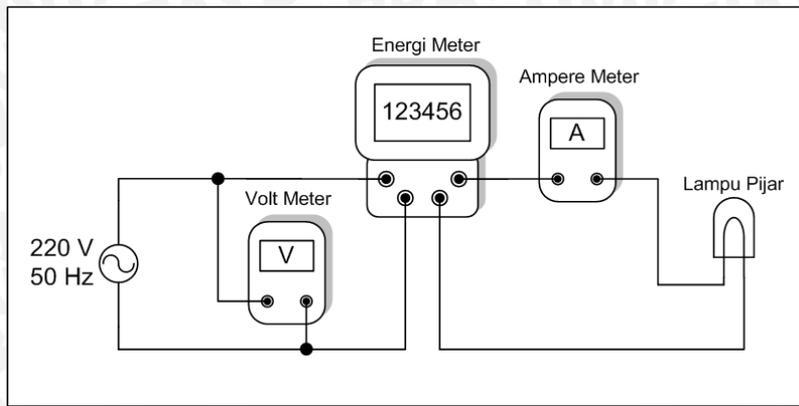
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah sistem dapat melakukan perhitungan terhadap daya aktif yang didapat dari perkalian arus *rms* dengan tegangan *rms* dan $\cos(\phi)$ dan sesuai dengan perhitungan menggunakan alat ukur lainnya.

b. Peralatan

1. Modul Rangkaian Lengkap.
2. 2 buah Multimeter.
3. Beban berupa lampu pijar 40 watt, 75 watt dan 100 watt

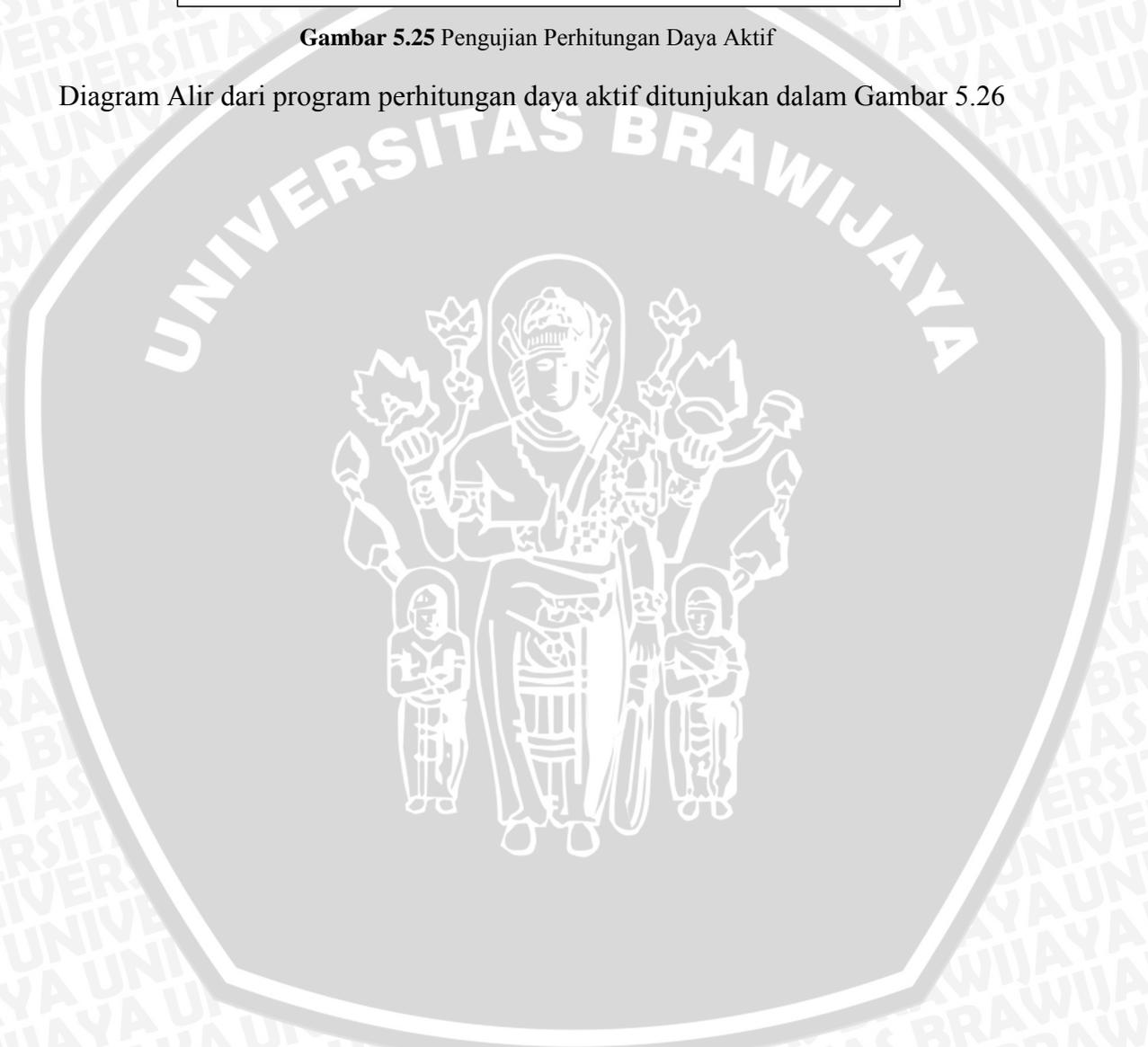
c. Prosedur Pengujian

1. Memprogram mikrokontroler ATMEGA 16 sesuai dengan program pengujian perhitungan daya aktif.
2. Merangkai rangkaian pengujian seperti dalam Gambar 5.25.
3. Mencatat nilai arus dan tegangan yang tertera pada multimeter dan hitung daya aktif dengan nilai $\cos(\phi)$ berasal dari data dari pengujian $\cos(\phi)$ dengan menggunakan metode 3 voltmeter.
4. Mengamati nilai daya aktif melalui LCD dengan variasi beban.



Gambar 5.25 Pengujian Perhitungan Daya Aktif

Diagram Alir dari program perhitungan daya aktif ditunjukkan dalam Gambar 5.26



d. Hasil

Data mengenai daya aktif dari pengujian dan perhitungan ditunjukkan dalam Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Pengujian Daya Aktif

No.	Beban	Daya rata-rata Pengujian	Daya rata-rata Perhitungan	Kesalahan (%)
1.	Lampu Pijar 40 W	29,14	30,04	3,09
2.		29,14	30,04	3,09
3.		29,02	29,91	3,07
4.		29,11	30,04	3,19
5.		29,02	29,91	3,07
6.		29,14	30,04	3,09
7.		28,96	29,91	3,28
8.		29,11	30,04	3,19
9.		29,17	30,04	2,98
10.		29,14	30,04	3,09
11.	Lampu Pijar 75 W	76,12	75,34	1,03
12.		76,12	75,01	1,46
13.		76,12	75,34	1,03
14.		76,12	75,34	1,03
15.		76,12	73,05	4,03
16.		76,12	73,05	4,03
17.		76,12	73,05	4,03
18.		76,12	75,34	1,03
19.		76,12	75,34	1,03
20.		76,12	73,05	4,03
21.	Lampu Pijar 100 W	99,49	99,16	0,33
22.		99,49	99,16	0,33
23.		99,49	98,73	0,76
24.		99,49	96,86	2,65
25.		99,49	99,16	0,33
26.		99,49	99,16	0,33
27.		99,49	99,16	0,33
28.		99,49	96,86	2,65
29.		99,49	99,16	0,33
30.		99,49	98,73	0,76
Kesalahan rata-rata (%)				2,09

Keterangan :

Nilai $\cos(\phi)$ untuk proses penghitungan didapat dari pengujian subbab 5.2.2 yaitu

- $\cos(\phi)$ lampu pijar 40 W sebesar 0,996

- $\cos(\phi)$ lampu pijar 75 W sebesar 0,984
- $\cos(\phi)$ lampu pijar 100 W sebesar 0,989

e. Analisis Data dan Kesimpulan

Untuk pengujian daya melalui perhitungan diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$P = VI \cos(\phi)$$

Untuk nilai V dan I merupakan nilai tegangan dan arus yang terukur pada multimeter dan $\cos(\phi)$ didapat dari pengujian subbab 5.2.2 dengan menggunakan metode 3 buah voltmeter.

Dari hasil pengujian program daya aktif sesaat didapat perbedaan antara daya yang diperoleh dari pengujian dengan perhitungan dengan kesalahan rata-rata sebesar 2,09 %. Hal ini dapat disebabkan adanya perbedaan nilai dari penyusun daya yaitu tegangan, arus dan $\cos(\phi)$ yang akan menyebabkan terjadinya perbedaan nilai daya aktif. Namun secara umum program yang direncanakan sudah bekerja sesuai dengan yang direncanakan.

5.2.4 Pengujian Perangkat Lunak Perhitungan Energi listrik.

a. Tujuan

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah sistem dapat melakukan perhitungan mengenai energi listrik yang terpakai yang berasal dari daya aktif rata-rata yang didapat selama selang waktu tertentu.

b. Peralatan

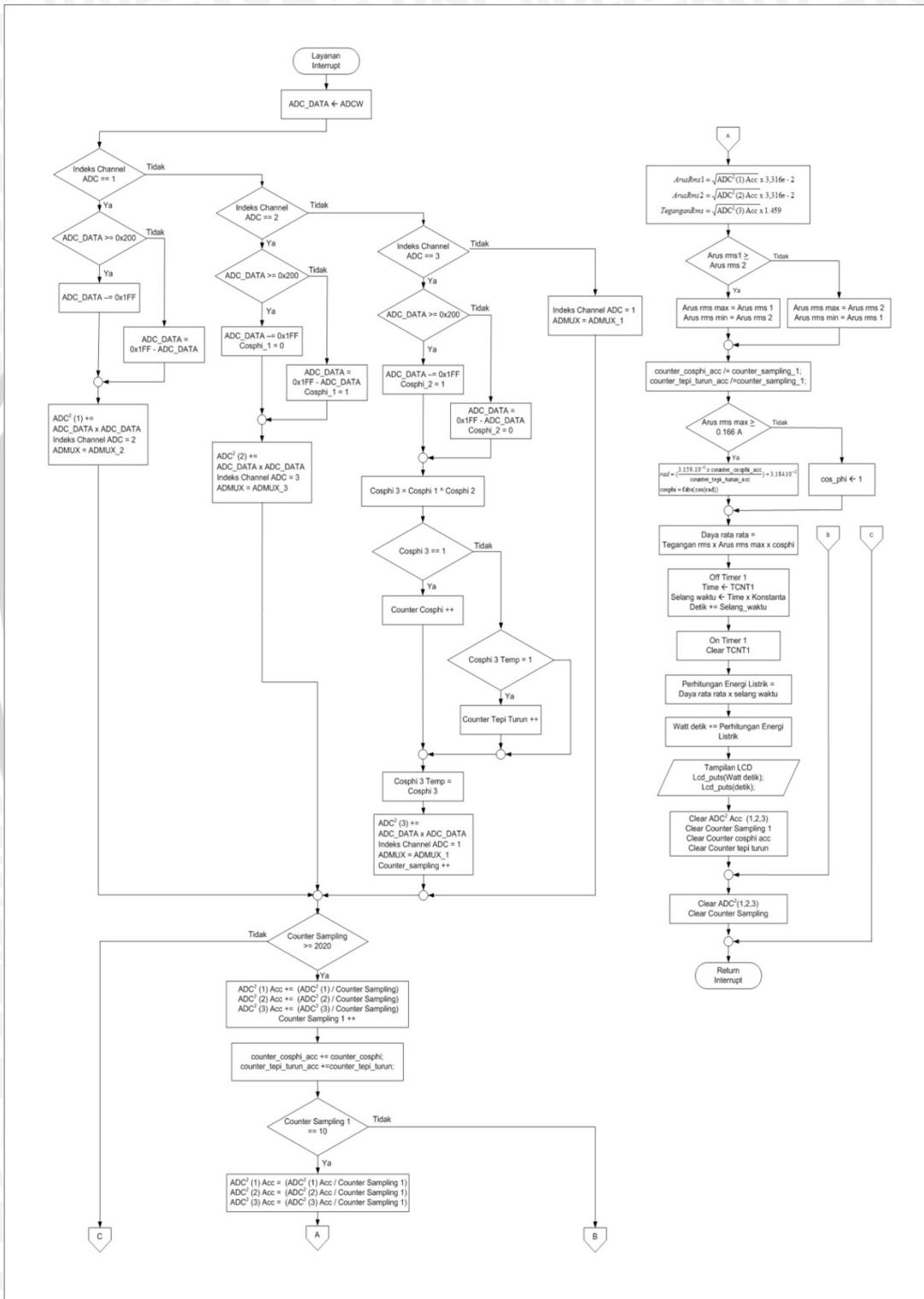
1. Modul Rangkaian Lengkap.
2. Multimeter 2 buah.
3. Beban berupa 3 buah lampu pijar 100 watt.

c. Prosedur Pengujian

1. Merangkai rangkaian pengujian seperti dalam Gambar 5.25 pada subbab 5.2.3.
2. Memprogram mikrokontroler ATMEGA 16 sesuai dengan program pengujian perhitungan energi listrik.
3. Mencatat nilai arus dan tegangan yang tertera pada multimeter.

4. Mengamati nilai $\cos(\phi)$ yang tertera pada alat melalui LCD dengan beban berupa 3 buah lampu pijar 100 watt.
5. Mencatat t (waktu) dalam detik dan nilai energi listrik (kWs) melalui LCD.

Diagram Alir dari program perhitungan energi listrik ditunjukkan dalam Gambar 5.27



Gambar 5.27 Diagram Alir Pengujian Perangkat Lunak Program Energi listrik

d. Hasil

Data pengujian energi listrik yang terpakai ditunjukkan dalam Tabel 5.14

Tabel 5.14 Pengujian Pengukuran Energi Listrik

waktu (detik)	Arus (ampere)	Tegangan (volt)	Cos(ϕ)	wattsecond Perhitungan	wattsecond Alat	Kesalahan (%)
100,379	1,17	232	0,996	27137,888	27202,793	0,24
100,379	1,16	231	0,996	26789,967	26424,363	1,38
100,379	1,16	232	0,996	26905,940	26703,046	0,76
100,377	1,16	231	0,996	26789,433	26467,728	1,22
100,383	1,16	232	0,996	26907,013	27113,802	0,76
Kesalahan rata - rata						0,87

e. Analisis Data dan Kesimpulan

Dari hasil pengujian program proses penghitungan energi listrik yang terpakai didapat perbedaan antara energi yang terukur dengan energi yang diperoleh dari perhitungan dengan kesalahan rata-rata kurang dari 1 % yaitu 0,87 %. Dengan demikian secara umum program penghitungan energi listrik yang terpakai sudah sesuai dengan yang direncanakan.

5.2.5 Pengujian Perangkat Lunak Detektor Kesalahan Pengkabelan.

a. Tujuan

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah sistem dapat mendeteksi kesalahan pengkabelan yaitu koneksi beban dengan bumi dan pemutusan kabel netral.

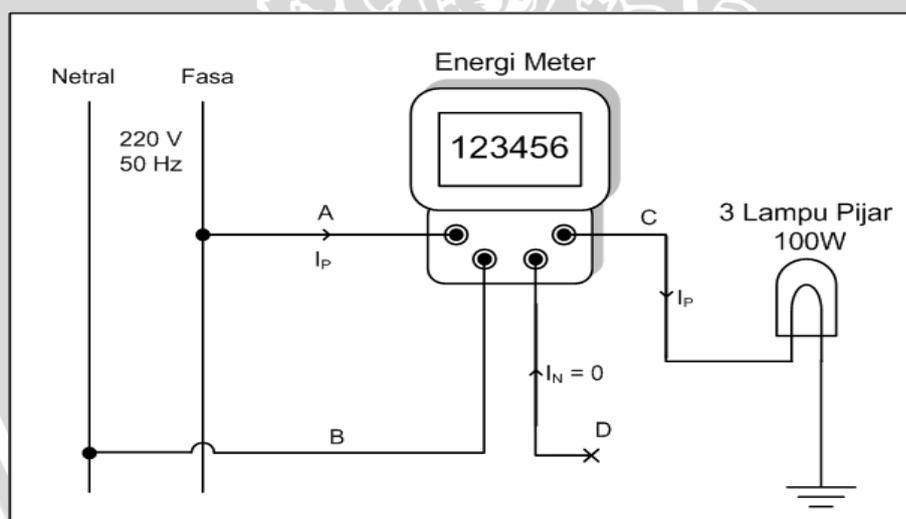
b. Peralatan

1. Modul Rangkaian Lengkap.
2. Beban berupa 3 buah lampu pijar 100 watt

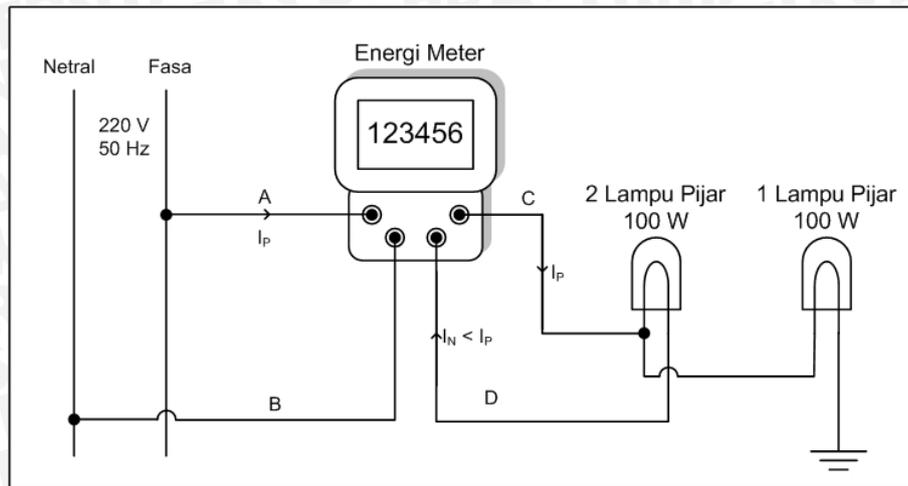
c. Prosedur Pengujian

1. Memprogram mikrokontroler ATMEGA 16 sesuai dengan program pengujian detektor kesalahan pengkabelan.
2. Untuk pengujian kesalahan pengkabelan beban dengan bumi, dilakukan dengan memutus kabel D dan menghubungkan beban berupa 3 buah lampu pijar 100 W dengan bumi seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.28.

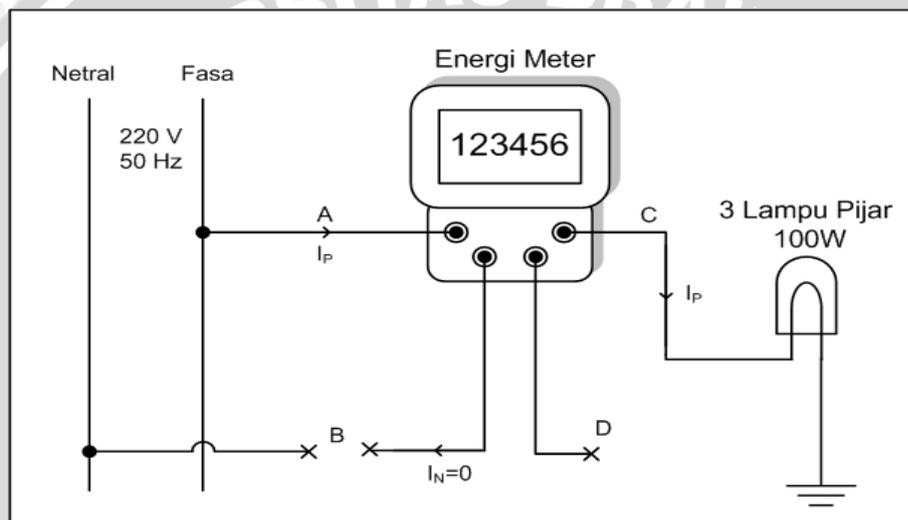
3. Mengamati indikator detektor kesalahan pengkabelan (penghubungan beban dengan bumi) melalui led dan mengamati arus yang terbaca pada channel 1 dan channel 2 pada LCD.
4. Untuk pengujian kesalahan pengkabelan salah satu beban dengan bumi, koneksi beban dengan 2 buah lampu pijar 100 W dalam kondisi normal dan beban 1 buah lampu pijar 100 W dengan bumi seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.29.
5. Mengamati indikator detektor kesalahan pengkabelan (penghubungan beban dengan bumi) melalui led dan mengamati arus pada channel 1 dan channel 2 pada LCD.
6. Untuk pengujian kehilangan koneksi kabel netral, dilakukan dengan memutus kabel B dan kabel D, beban berupa 3 buah lampu pijar 100 W seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.30.
7. Mengamati indikator detektor kesalahan pengkabelan (kehilangan koneksi kabel netral dan penghubungan beban dengan bumi) pada led indikator dan mengamati arus dan tegangan pada channel 1, channel 2 dan channel 3 pada LCD.



Gambar 5.28 Pengujian koneksi beban dengan bumi

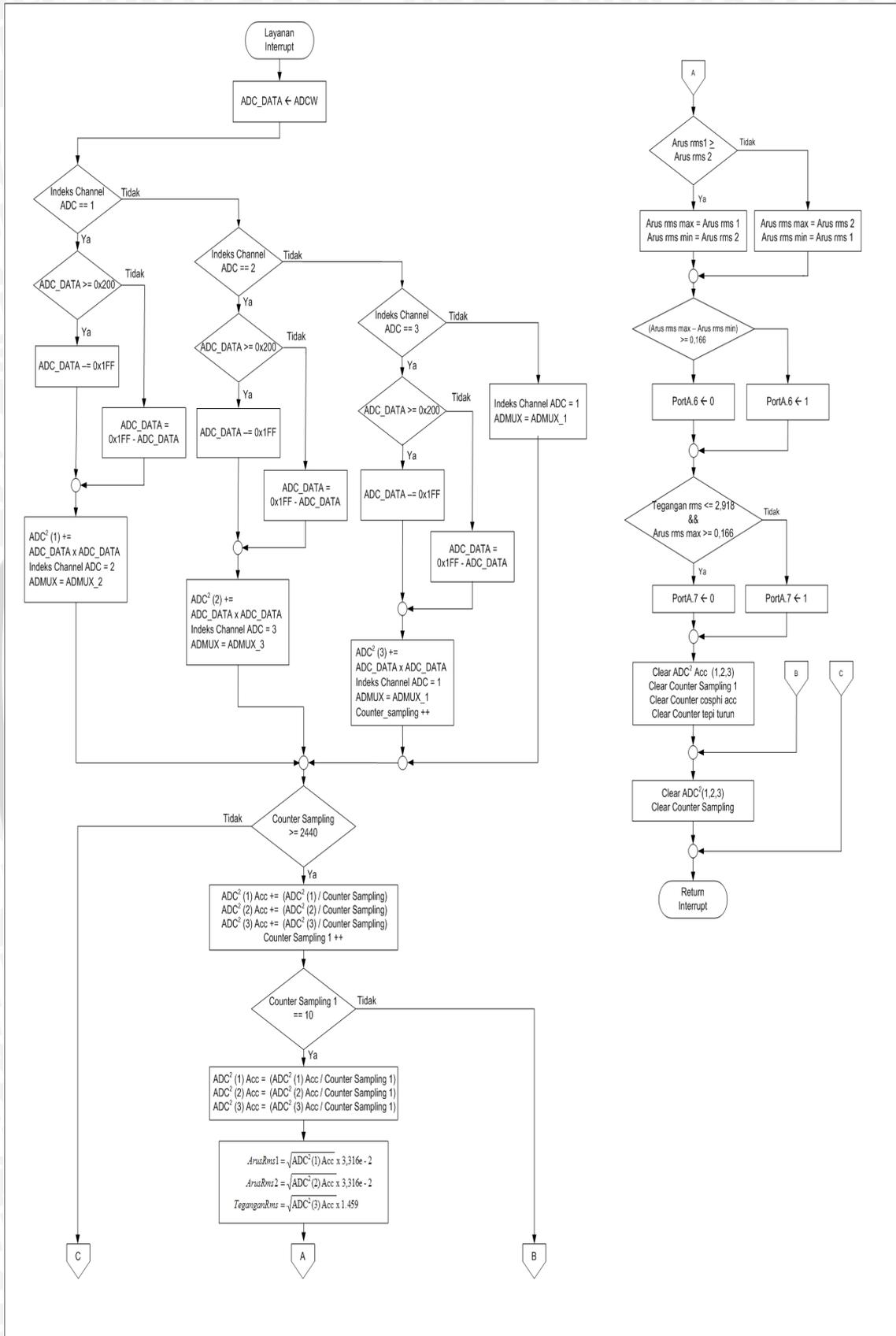


Gambar 5.29 Pengujian koneksi salah satu beban dengan bumi



Gambar 5.30 Pengujian pemutusan kabel netral

Diagram Alir dari program detektor kesalahan pengkabelan ditunjukkan dalam Gambar 5.31.



Gambar 5.31 Diagram Alir Pengujian Perangkat Lunak Program Detektor Kesalahan Pengkabelan



d. Hasil

Hasil dari pengujian pendeteksi kesalahan pengkabelan ditunjukkan dalam Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Pengujian Pendeteksi Kesalahan Pengkabelan

Kondisi Pengkabelan	Arus I (A)	Arus II (A)	Tegangan (V)	Led indikator	
				Koneksi Beban dengan bumi	Kehilangan Koneksi Kabel Netral
Koneksi Beban dengan bumi	1,16	0,00	219	On	Off
Koneksi Salah satu Beban dengan bumi	1,13	0,80	219	On	Off
Kehilangan Koneksi Kabel Netral	1,13	0,00	0	On	On

e. Analisis Data dan Kesimpulan

1. Untuk pengujian koneksi beban dengan bumi terdapat arus yang melalui rangkaian konverter arus ke tegangan pertama sedangkan pada rangkaian konverter arus ke tegangan kedua tidak dilalui arus sehingga arus yang terukur pada channel 2 sebesar 0 ampere. Syarat yang dapat dideteksi untuk kondisi koneksi beban dengan bumi yaitu perbedaan arus maksimal dengan arus minimal lebih besar dari 5 LSB yang setara dengan 0,166 A dari arus terbesar. Dari pengujian didapat arus minimal sebesar 0 A dan arus maksimal sebesar 1,16 A maka perbedaan dari kedua pengukuran arus lebih besar dari 0,166 A sehingga led indikator akan menyala.
2. Untuk pengujian koneksi salah satu beban dengan bumi terdapat arus yang melalui rangkaian konverter arus ke tegangan pertama lebih besar daripada arus yang mengalir melalui rangkaian konverter arus ke tegangan kedua. Perbedaan kedua arus tersebut sebesar 0,33 A. Dengan perbedaan arus diatas 0,166 A maka led indikator kesalahan pengkabelan beban dengan bumi menyala.
3. Untuk pengujian kehilangan koneksi dengan kabel netral didapat tegangan yang terukur pada channel 3 sama dengan nol (0) volt tetapi terdapat arus yang melalui rangkaian konverter arus ke tegangan pertama sedangkan pada rangkaian konverter arus ke tegangan kedua tidak dilalui arus. Syarat terdeteksinya kondisi kehilangan koneksi dengan kabel netral yaitu tegangan yang terukur kurang dari

2,918 volt yang setara dengan 2 LSB dari pengukuran tegangan dan terdapat arus lebih besar dari 0,166 A. Dengan terukurnya tegangan sebesar 0 volt dan terdapat arus sebesar 1,13 A maka led indikator kehilangan koneksi kabel netral dan led indikator koneksi beban dengan bumi menyala.

Dari ketiga pengujian pendeteksi kesalahan pengkabelan dapat disimpulkan bahwa program dapat bekerja sesuai dengan perencanaan.

5.3 Pengujian Keseluruhan Sistem

a. Tujuan

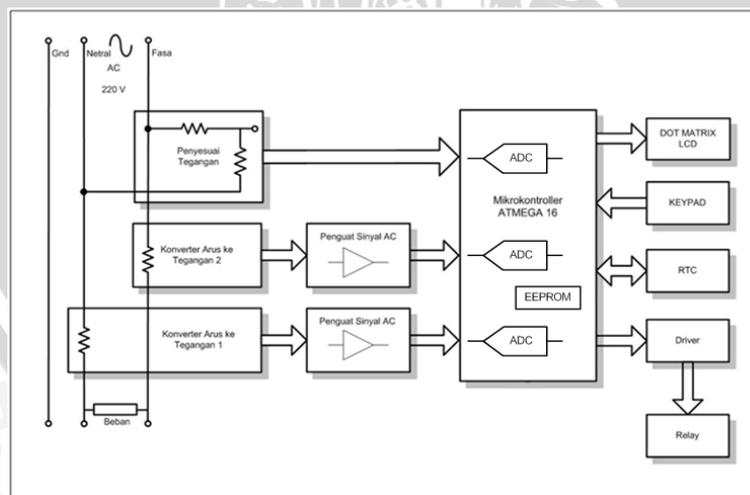
Untuk mengetahui kinerja sistem secara keseluruhan berdasarkan perancangan yang telah dibuat.

b. Peralatan

1. Modul Rangkaian Lengkap.
2. Multimeter 2 buah.
3. Beban dalam Tabel 5.14.

c. Prosedur Pengujian

1. Menyusun unit-unit penyusun sistem sesuai dengan diagram blok sistem keseluruhan seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.32.



Gambar 5.32 Blok Diagram Pengujian Alat

2. Menyusun voltmeter dan amperemeter seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.25 pada subbab 5.2.3.
3. Memprogram mikrokontroler ATMEGA 16 dengan program lengkap.

4. Mencatat daya (W) dan energi listrik (kWs) yang tertera pada alat dengan menggunakan beban seperti ditunjukkan dalam Tabel 5.14 dan membandingkan dengan perolehan daya dan energi listrik menggunakan perhitungan.
5. Untuk pengujian biaya penggunaan dilakukan dengan memasukkan data mengenai data waktu, harga per kWh pada blok 1 Rp 360, blok 2 Rp 445, blok 3 Rp 490 dan biaya maksimal perbulan sebesar Rp 1000 dengan memilih menu pengaturan dengan menekan tombol B pada keypad.
6. Dengan menggunakan beban berupa 3 buah lampu pijar 100 watt dan amati nilai energi listrik dan biaya yang penggunaan melalui LCD.
7. Mengamati jumlah saldo dengan menekan tombol A pada keypad untuk menu informasi dan pilih informasi saldo.
8. Untuk mempermudah pengujian indikator limit saldo dilakukan dengan mengubah nilai biaya yang digunakan mendekati jumlah biaya maksimal yaitu Rp 999, dan mengamati led indikator limit saldo dan informasi nilai saldo pada LCD.
9. Untuk pengujian pemutusan aliran listrik oleh relay dilakukan dengan mengubah nilai biaya yang digunakan mendekati 110 % dari biaya maksimal yaitu Rp 1099 dan mengamati kondisi relay.
10. Dengan memilih menu pengaturan dengan menekan tombol B. Untuk mengakses menu pengaturan diperlukan *password* yaitu 12345 kemudian memilih pengaturan waktu, informasi mengenai bulan diubah menjadi 1 bulan selanjutnya lalu pilih menu informasi mengenai jumlah energi dan mengamati jumlah energi listrik dan biaya penggunaan pada bulan lalu.
11. Mematikan catu daya selama beberapa menit, lalu dihidupkan kembali dan mengamati apakah data mengenai energi listrik yang terpakai telah diamankan pada EEPROM.
12. Untuk pengujian pendeteksi kesalahan pengkabelan dilakukan dengan menghubungkan beban berupa 3 buah lampu pijar 100 watt dengan bumi dan mengamati led indikator detektor kesalahan pengkabelan berupa hubungan beban dengan bumi.
13. Memutus kabel netral dan mengamati led indikator detektor kesalahan pengkabelan berupa kehilangan koneksi kabel netral.

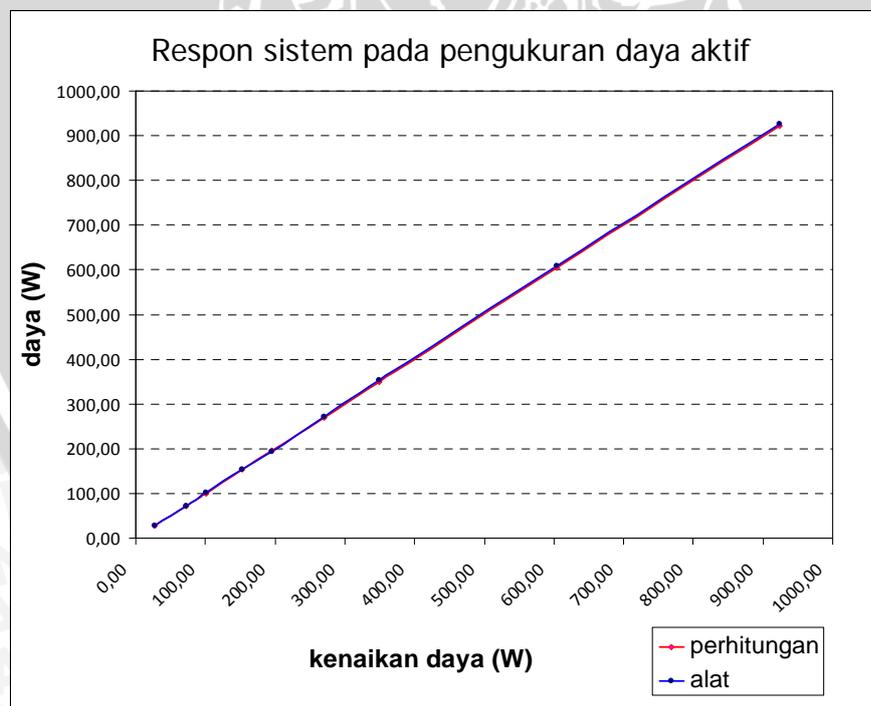
d. Hasil

Hasil pengujian daya dan energi listrik dengan variasi beban ditunjukkan dalam Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Pengujian daya dan energi listrik dengan variasi beban

No	Beban	Multimeter		Cos(ϕ)	Pengujian Daya (watt)	perhitungan Daya (watt)	Kesalahan pengukuran daya (%)	waktu (detik)	watt-second Alat	watt-second Perhitungan	Kesalahan pengukuran energi listrik (%)
		Arus (ampere)	Tegangan (volt)								
1	Lampu pijar 45 W	0,13	222	0,934	27,009	26,955	0,198	60,190	1625,659	1622,436	0,198
2	Lampu pijar 75 W	0,33	222	0,984	72,088	72,088	0,000	60,154	4336,366	4336,372	0,000
3	Lampu pijar 45 W dan 75 W	0,46	220	0,992	100,957	100,390	0,561	60,146	6072,158	6038,081	0,561
4	Lampu pijar 75 W dan 100 W	0,70	220	0,993	154,443	152,922	0,985	60,146	9289,154	9197,647	0,985
5	Lampu pijar 45 W,75 W dan 100 W	0,90	218	0,993	194,130	194,827	0,359	60,147	11676,355	11718,236	0,359
6	Lampu pijar 45 W,75 W dan 2 x 100 W	1,25	217	0,995	272,040	269,894	0,789	60,183	16372,201	16243,016	0,789
7	Lampu pijar 45 W,75 W dan 3 x 100 W	1,62	217	0,995	352,407	349,782	0,745	60,186	21209,962	21051,998	0,745
8	Lampu pijar 45 W,75 W dan 3 x 100 W + Setrika	2,85	213	0,996	608,410	604,622	0,623	60,207	36630,558	36402,465	0,623
9	Lampu pijar 45 W,75 W dan 3 x 100 W + Setrika + Heater	4,43	209	0,997	927,130	923,092	0,436	60,207	55819,738	55576,624	0,436
kesalahan rata - rata							0,522				0,522

Grafik respon sistem pada saat pengukuran daya listrik dengan berbagai beban ditunjukkan dalam Gambar 5.33.



Gambar 5.33 Grafik respon sistem pada pengukuran daya aktif

Untuk pengujian energi listrik dan biaya penggunaan diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Pada saat menjalankan prosedur ke - 6 dengan selang waktu sebesar 121,19 detik diperoleh nilai energi dalam kW's sebesar 34,012 kW's dengan biaya penggunaan sebesar Rp 3 .
2. Untuk prosedur ke - 7 diperoleh saldo sebesar Rp 997.
3. Pada prosedur ke - 8, saat mengubah data mengenai biaya penggunaan menjadi Rp 999, led indikator limit biaya tidak aktif tetapi pada saat biaya telah mencapai Rp 1.000 maka led indikator limit biaya aktif (menyala).
4. Pada prosedur ke - 9, saat mengubah data mengenai biaya penggunaan menjadi Rp 1.099, relay belum aktif atau belum bekerja untuk memutuskan aliran listrik tetapi pada saat biaya penggunaan bertambah menjadi Rp 1.100, relay aktif atau bekerja memutuskan aliran listrik.
5. Prosedur ke - 10 yaitu mengubah informasi waktu yaitu data bulan menjadi 1 bulan berikutnya. Setelah mengubah bulan dan mengamati jumlah energi listrik yang terpakai dan biaya penggunaan pada bulan yang lalu didapat bahwa jumlah energi yang terpakai sebesar 34,012 dalam satuan kW's dan biaya penggunaannya sebesar Rp 3.
6. Prosedur ke - 11, setelah catu daya dari alat dimatikan beberapa menit, didapatkan nilai mengenai jumlah energi yang terpakai sebesar 34,012 kilowatt-second.
7. Pada saat pengujian pendeteksi kesalahan pengkabelan (prosedur 12 dan 13) yaitu koneksi beban ke bumi didapat bahwa led indikator koneksi beban dengan bumi aktif / menyala dan pada saat pemutusan kabel netral, led indikator kehilangan koneksi kabel netral juga aktif / menyala.

e. Analisis Data dan Kesimpulan

1. Dari Tabel 5.14 dan grafik respon sistem pengukuran daya listrik dengan berbagai beban yang ditunjukkan dalam Gambar 5.33 diperoleh nilai penyimpangan maksimum (ΔP) sebesar 4,038 watt dengan skala penuh sebesar 1300 watt sehingga didapatkan nilai linieritas sebesar:

$$\begin{aligned}\text{Linieritas} &= \frac{\Delta P}{\text{Fullscale}} \times 100\% \\ &= \frac{4,038}{1300} \times 100\% \\ &= 0,31\%\end{aligned}$$

Sehingga hasil pengujian respon sistem secara keseluruhan didapat bahwa linieritas dari sistem cukup linier dengan linieritas 0,31 % skala penuh dan kesalahan rata-rata sebesar 0,522 %

2. Biaya penggunaan diperoleh dari harga per-kWh (kilowatt-hour) dikalikan dengan jumlah energi yang terpakai dalam kilowatt-hour, karena dalam pengujian yang diamati nilai energi dalam satuan kWs maka harga per-kWh perlu dibagi 3600 untuk mendapatkan harga per-kWs, sehingga dengan harga per-kWh sebesar Rp 360 maka harga per-kws sebesar 0,1 rupiah.

Dari pengujian pada prosedur ke-4 diperoleh biaya penggunaan sebesar 3 rupiah yang berasal dari jumlah energi yang terpakai sebesar 34,012 kWs dikalikan dengan 0,1 rupiah menjadi 3,4012 rupiah dan ditampilkan sebesar 3 rupiah.

3. Dari prosedur ke-5 diperoleh saldo sebesar Rp 997, saldo diperoleh dari pengurangan biaya maksimal dengan biaya penggunaan yaitu saldo = Rp 1.000-Rp 3 menjadi Rp 977.
4. Pada prosedur ke-6 indikator limit biaya akan aktif bila telah mencapai Rp 1.000. Led indikator akan aktif dengan syarat saldo telah mencapai nol atau kurang dari nol rupiah maka dengan biaya maksimal sebesar Rp 1.000 dan biaya penggunaan sebesar Rp 1.000 maka saldo = Rp 1.000-Rp 1.000 = 0 rupiah.
5. Pada prosedur ke-7. Relay memutuskan aliran listrik pada saat biaya penggunaan sebesar Rp 1.100. Hal ini terjadi karena relay akan bekerja (aktif) bila saldo telah berada pada atau dibawah minus 10 % dari biaya maksimal sehingga bila biaya maksimal sebesar Rp 1.000 maka relay akan aktif bila saldo $\leq - (1000 \times 10 \%)$ yaitu saldo \leq Rp 100.
6. Dengan mengubah informasi bulan (prosedur 8) menjadi bulan sesudahnya maka alat akan mendeteksi adanya perubahan bulan sehingga data mengenai jumlah energi yang terpakai dan biaya penggunaannya akan disimpan dengan indeks sesuai dengan bulan yang lalu. Hal ini bertujuan untuk mengetahui informasi mengenai energi listrik dan biaya penggunaannya yang terpakai pada bulan-bulan sebelumnya.

7. Dengan matikan catu daya beberapa menit, didapatkan bahwa data mengenai jumlah energi listrik yang terpakai dan biaya penggunaannya bernilai tetap, hal ini berarti data telah disimpan pada EEPROM sebagai langkah untuk pengamanan data apabila aliran dari jala-jala terputus.
8. Dari pengujian prosedur 10 dan prosedur 11, didapat alat telah mampu mendeteksi adanya kesalahan pengkabelan yaitu penghubungan beban dengan bumi dan kehilangan koneksi kabel netral. Hal ini ditandai dengan menyalnya kedua led indikator kesalahan pengkabelan.

Dari pengujian dari semua prosedur dapat disimpulkan bahwa alat dapat bekerja sesuai dengan yang dirancang dengan linieritas 0,31 % dari skala penuh dengan kesalahan rata-rata 0,522 %. Kesalahan ini dikarenakan ADC yang digunakan mempunyai kesalahan sebesar ± 2 LSB dan keterbatasan jumlah bit yang digunakan sehingga diperoleh resolusi sebesar 33,16 mA untuk pengukuran arus dan 1,459 V untuk resolusi tegangan sehingga akan menghasilkan pengukuran arus, tegangan dan $\cos(\phi)$ yang tidak sesuai dengan yang sebenarnya.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

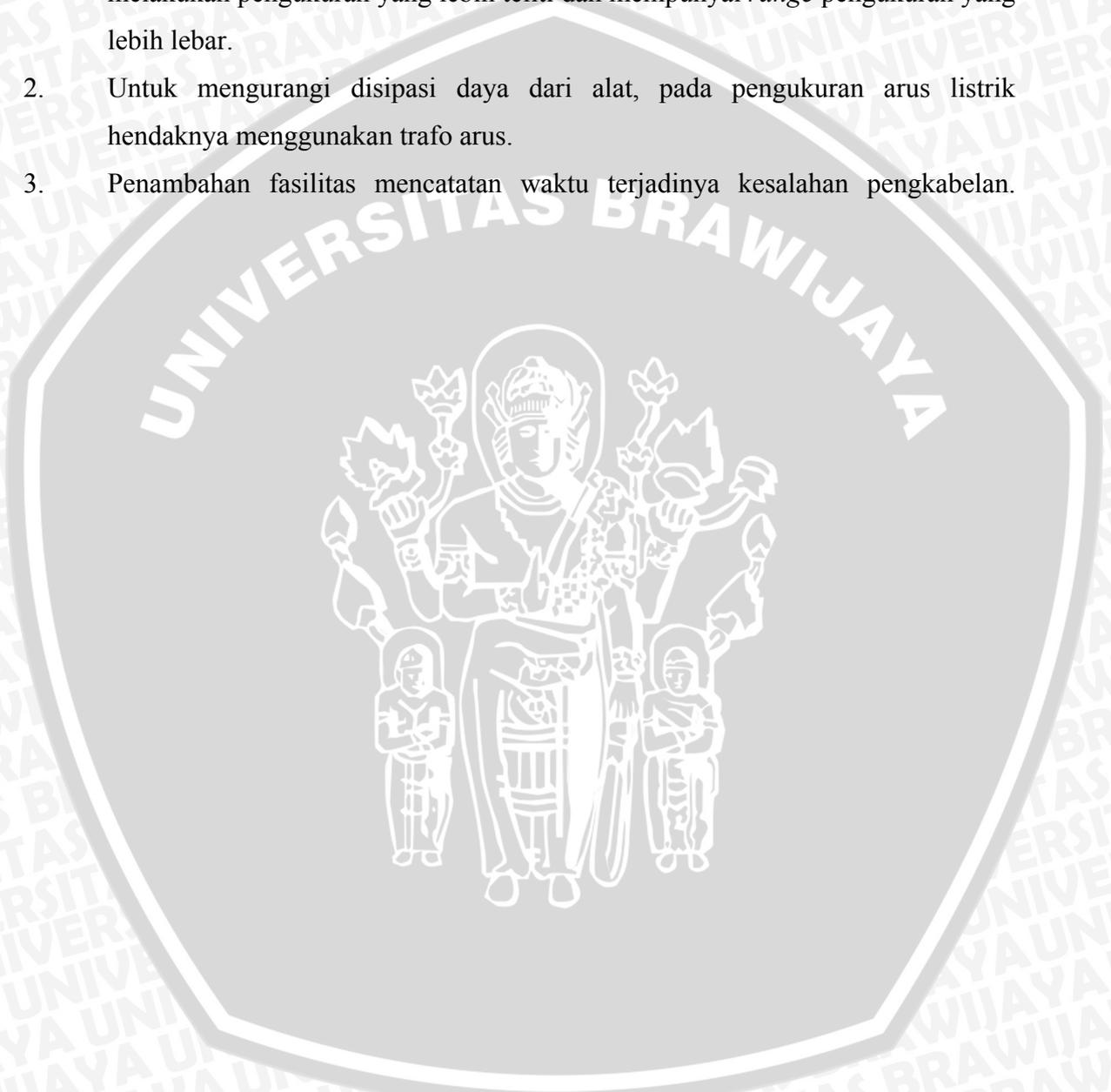
Dari hasil perancangan dan pengujian alat pencatat daya elektrik satu fasa dengan pengaturan biaya penggunaan secara terprogram yang dilengkapi dengan pendeteksi kesalahan pengkabelan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Alat pencatat daya elektrik menggunakan ADC yang terdapat pada mikrokontroler sebagai pengkonversi data dapat berfungsi dengan baik dengan linieritas 0,31 % *full scale* dan kesalahan sebesar 0,52 % pada pengukuran energi listrik.
2. Resolusi dari pengukuran arus *rms* sebesar 33,16 mA dan resolusi dari pengukuran tegangan *rms* sebesar 1,459 V sehingga resolusi daya sebesar 48,38 mVA. Perbedaan fasa terkecil yang dapat diukur sebesar $38,14 \times 10^{-3}$ rad atau sebesar 1,81 derajat.
3. Alat pencatat daya elektrik dapat mendeteksi kesalahan pengkabelan yaitu kondisi pengkabelan beban dengan bumi dengan perbedaan arus yang mengalir sebelum dan sesudah beban sebesar 0,166 A dan kondisi pemutusan kabel netral dengan level tegangan dibawah 2,918 V dengan arus lebih besar dari 0,166 A.
4. Biaya maksimal pada alat pencatat daya elektrik dapat diprogram dan mampu memutuskan arus listrik dengan menggunakan relay apabila biaya penggunaan telah melebihi 10 % dari biaya maksimal yang telah ditetapkan.
5. Alat pencatat daya elektrik menggunakan mikrokontroler sebagai pengontrol, pengolah, *timer* dan penyimpan data dapat berfungsi dengan baik.
6. Rangkaian modul RTC dapat bekerja dengan baik yaitu dapat memberikan informasi awal bulan.
7. Rangkaian modul LCD dapat bekerja dengan baik sehingga dapat menampilkan karakter tanpa ada kesalahan.

6.2 Saran

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengembangan alat ini di kemudian hari. Meskipun alat ini sudah dapat bekerja dengan baik dan sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan masih ada hal-hal yang perlu ditingkatkan, diantaranya:

1. Hendaknya menggunakan *programmable gain control* sehingga dapat melakukan pengukuran yang lebih teliti dan mempunyai *range* pengukuran yang lebih lebar.
2. Untuk mengurangi disipasi daya dari alat, pada pengukuran arus listrik hendaknya menggunakan trafo arus.
3. Penambahan fasilitas mencatat waktu terjadinya kesalahan pengkabelan.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 2006. *Characterization and Calibration of the ADC on an AVR*. Atmel Corporation. (<http://www.atmel.com/literature>). Diakses tanggal 20 Maret 2006
- Anonymous. 2006. *Code Vision AVR User Manual*. Rumania : HP infoTech. (<http://hpinfotech.com>). Diakses tanggal 28 Februari 2006
- Anonymous. 2007. *Crystal Oscillator*. USA : Wikimedia Foundation Inc. (<http://en.wikipedia.org>) . Diakses tanggal 18 Juli 2007
- Anonymous. 1987. *Liquid Crystal Display Module M1632 User Manual*. Japan : Seiko Instruments.
- Anonymous. 2004. *Tampering Energy Meter*. USA : Analog Device Inc. (<http://www.analog.com/energymeter>) . Diakses tanggal 20 Maret 2006
- Anonymous, 2004. *Zero Cross Detector*. Atmel Corporation. (<http://www.atmel.com/literature>) . Diakses tanggal 20 Maret 2006
- ATMEL Corporation. 2004. *ATMEGA 16*. (<http://www.atmel.com>) Diakses tanggal 20 September 2006
- Cage, Oliver. 1971. *Electronic Measurements dan Instrumentation*. Berkeley: McGraw – Hill.
- Cooper, Wiliam David. 1991. *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran* (terjemahan; Pakpanan, Sahat). Jakarta: Erlangga.
- Daigle, Paul, 2003. *Theft Resistant Energy Meters*. Wilmington : Analog Device Inc. (<http://www.analog.com/energymeter>). Diakses tanggal 3 September 2006
- Dallas Semiconductor. 2004. *DS1302 Trickle Charge Timekeeping Chip*. (<http://www.maxim-ic.com>). Diakses tanggal 16 Maret 2006
- Dallas Semiconductor. 2001. *Crystal Considerations with Dallas Real-Time Clocks (RTCs)*. (<http://www.maxim-ic.com>). Diakses tanggal 17 Juli 2007
- Fitzgerald, A.E. 1981. *Basic Electrical Engineering*. Northeastern : McGraw – Hill.
- Hayt, Kemmerly. 1982, *Rangkaian Listrik* (terjemahan; Silaban, Pantur). Jakarta: Erlangga.
- Hayt, William H. 1981. *Engineering Electromagnetic, 4th editions*. Purdue : McGraw – Hill.
- Kmeyer, 2004. *Single-Phase Power/Energy Meter with Tamper Detection*. Atmel Corporation. (<http://www.atmel.com/literature>) Diakses tanggal 20 Maret 2006

- Koon, William, 2001. *Current Sensing for Energy Metering*. Wilmington : Analog Device Inc. (<http://www.analog.com/energymeter>) Diakses tanggal 23 Februari 2006
- Kuphaldt, Tony R. *Lessons In Electric Circuits*. (<http://www.ibiblio.org>) Diakses tanggal 19 September 2006
- Kurniawan, Handoko. 1994. *Perencanaan dan pembuatan penghitung tarif listrik kwh meter digital*. Skripsi Tidak Diterbitkan. Malang : Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Mismail, Budiono. 1995. *Rangkaian Listrik Jilid pertama*. Bandung : Penerbit ITB
- Mismail, Budiono. 1997. *Rangkaian Listrik Jilid kedua*. Bandung : Penerbit ITB
- Palmer, Stephen. 2005. *Twisted nematic liquid crystal display*. (<http://www.lctecdisplay.com>). Diakses tanggal 23 Juli 2007
- Ponyprog. 2005. *Serial device programmer*. (<http://www.lancos.com>) Diakses tanggal 3 Maret 2006
- Sapiie, Soedjana. 2000. *Pengukuran dan Alat – Alat Ukur Listrik*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita

