

**UNIT PENGHITUNG PEMAKAIAN ENERGI LISTRIK
PADA SISTEM kWh METER PRABAYAR
YANG MENGGUNAKAN JALA-JALA LISTRIK
SEBAGAI MEDIA KOMUNIKASI DATA**

SKRIPSI

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik*



Disusun oleh :

**WIJAYA KUSUMA
NIM. 0210633083**

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2007

**UNIT PENGHITUNG PEMAKAIAN ENERGI LISTRIK
PADA SISTEM kWh METER PRABAYAR
YANG MENGGUNAKAN JALA-JALA LISTRIK
SEBAGAI MEDIA KOMUNIKASI DATA**

SKRIPSI

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik*



Disusun oleh :

WIJAYA KUSUMA
NIM. 0210633083

Telah Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing :

Ir. Ponco Siwindarto, MS.
NIP. 131 837 966

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

**UNIT PENGHITUNG PEMAKAIAN ENERGI LISTRIK
PADA SISTEM kWh METER PRABAYAR
YANG MENGGUNAKAN JALA-JALA LISTRIK
SEBAGAI MEDIA KOMUNIKASI DATA**

SKRIPSI

Disusun oleh :

**WIJAYA KUSUMA
NIM. 0210633083-63**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus
Pada tanggal :

14 JUNI 2007

MAJELIS PENGUJI

Drs. Ir. Moch Dhofir, MT
NIP. 131 879 031

Waru Djuriatno, ST,MT.
NIP. 132 158 733

Ir. Bambang Siswojo.
NIP. 131 759 588

Tri Astoto Kurniawan, ST, MT.
NIP. 132 283 659

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

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

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT Tuhan yang telah memberi rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi dengan judul “Unit Penghitung Pemakaian Energi Listrik Pada Sistem kWh Meter Prabayar Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8515 Menggunakan *Power Line Carrier (PLC)* Sebagai Pentransmisi Data” ini bisa terselesaikan.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan dalam menyelesaikan pendidikan dan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Jurusan Elektro Universitas Brawijaya Malang.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam menyelesaikan skripsi ini banyak memperoleh dorongan serta bantuan dari berbagai pihak. Maka dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tidak terhingga kepada :

1. Bapak Ir. Heru Nurwarsito, M.Kom. dan Bapak Rudy Yuwono, ST, MT selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Ir. Ponco Siwindarto MS. dan Bapak Adharul Muttaqin ST, MT. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan begitu banyak masukan.
3. Seluruh Staf Pengajar dan Karyawan Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, karena itulah segala kritik dan saran yang mengarah kepada perbaikan akan sangat penulis terima dengan senang hati. Semoga skripsi ini bisa berguna untuk perkembangan teknologi di masa yang akan datang.

Akhir kata, Semoga Allah SWT selalu memberikan hidayah dan hinayah-Nya kepada kita semua. Amin.

Wassalamualaikum Wr. Wb
Malang, 18 Mei 2007

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
RINGKASAN	ix
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Ruang Lingkup	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Listrik Prabayar	4
2.1.1 Perhitungan Energi Listrik	5
2.2 IC Pengukur Energi Listrik ADE7755	6
2.3 Mikrokontroler	9
2.3.1 Struktur dan Operasi Port	11
2.3.2 Sistem Interup	12
2.3.3 Komunikasi Serial	13
2.3.4 Memori	14
2.4 EEPROM Serial	15
2.4.1 Protokol i2c	15
2.4.2 Pengalamatan EEPROM Serial	16
2.4.3 Operasi Penulisan	17
2.4.4 Operasi Pembacaan	18
2.5 Liquid Crystal Display	19
2.6 Optocoupler	21
III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Lingkup Perancangan	23
3.2 Persiapan Perancangan	23
3.3 Variabel Perancangan dan Pembuatan Alat	23

3.4	Langkah-Langkah Perancangan dan Pembuatan Alat	24
3.4.1	Studi Kepustakaan	24
3.4.2	Penentuan Spesifikasi Alat	24
3.4.3	Perancangan Alat	24
3.4.3.1	Perangkat Keras	24
3.4.3.2	Perangkat Lunak	25
3.4.4	Pembuatan Alat	25
3.4.5	Pengujian dan Analisis Alat	25
3.4.6	Pengambilan Kesimpulan dan Saran	26
3.4.7	Penulisan Laporan	26
IV.	PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	
4.1	Gambaran umum	28
4.2	Gambaran Unit Penghitung Pemakaian Energi Listrik	29
4.3	Cara Kerja Unit Penghitung Pemakaian Energi Listrik	30
4.4	Perancangan Perangkat Keras	31
4.4.1	Rangkaian Penghitung Pemakaian Energi Listrik Menggunakan <i>IC ADE7755</i>	31
4.4.1.1	Rangkaian Transduser Arus	32
4.4.1.2	Rangkaian Penurun Tegangan	34
4.4.1.3	Osilator Kristal	35
4.4.1.4	Pemilihan Mode Kerja ADE7755	35
4.4.1.5	Kalibrasi ADE7755	36
4.4.2	Rangkaian Mikrokontroler ATMEGA8515	37
4.4.3	Rangkaian <i>EEPROM</i> Serial	39
4.4.4	Rangkaian <i>Display</i>	40
4.4.5	Rangkaian <i>Optocoupler</i>	40
4.4.6	Rangkaian Sakelar Otomatis	42
4.5	Perancangan Protokol Komunikasi	43
4.5.1	Protokol Komunikasi Unit Penghitung Pemakaian Energi Listrik Dengan Unit Sentral Data	43
4.5.2	Protokol Komunikasi Mikrokontroler 1 Dengan Mikrokonroler 2	45
4.6	Perancangan Perangkat Lunak Mikrokontroler	46
4.6.1	Mikrokontroler 1	47

4.6.1.1	Diagram Alir Program Utama	47
4.6.1.2	Diagram Alir Fungsi <i>Interrupt</i> 0	48
4.6.1.3	Diagram Alir Fungsi <i>Interrupt</i> 1	48
4.6.2	Mikrokontroler 2	52
V. PENGUJIAN DAN ANALISIS		
5.1	Pengujian Mikrokontroler dan LCD	55
5.1.1	Tujuan	55
5.1.2	Peralatan Pengujian	55
5.1.3	Prosedur Pengujian	55
5.1.4	Data Pengujian	56
5.1.5	Analisis Data Pengujian	57
5.2	Pengujian Rangkaian Pengukur Energi Listrik ADE7755	57
5.2.1	Pengujian Pengaruh Tegangan Pada <i>Channel</i> V2 (V2P dan V2 N) Terhadap Frekuensi Keluaran Pada pin CF	57
5.2.1.1	Tujuan	57
5.2.1.2	Peralatan Pengujian	57
5.2.1.3	Prosedur Pengujian	58
5.2.1.4	Data Pengujian	59
5.2.1.5	Analisis Data Pengujian	59
5.2.2	Pengujian Transduser Arus	61
5.2.2.1	Tujuan	61
5.2.2.2	Peralatan Pengujian	61
5.2.2.3	Prosedur Pengujian	61
5.2.2.4	Data Pengujian	62
5.2.2.5	Analisis Data Pengujian	63
5.2.3	Pengujian Rangkaian Penghitung Pemakaian Energi Listrik Menggunakan <i>IC</i> ADE7755 Dalam Menghitung Pemakaian energi Listrik	65
5.2.3.1	Tujuan	65
5.2.3.2	Peralatan Pengujian	65
5.2.3.3	Prosedur Pengujian	65
5.2.3.4	Data Pengujian	66
5.2.3.5	Analisis Data Pengujian	66

5.3	Pengujian <i>EEPROM</i> Serial	67
5.3.1	Tujuan	67
5.3.2	Peralatan Pengujian	68
5.3.3	Prosedur Pengujian	68
5.3.4	Data Pengujian	69
5.3.5	Analisis Data Pengujian	69
5.4	Pengujian Keseluruhan Sistem kWh Meter Prabayar	69
5.4.1	Tujuan	69
5.4.2	Peralatan Pengujian	69
5.4.3	Pengujian Pengiriman Nominal kWh	69
5.4.3.1	Tujuan	69
5.4.3.2	Prosedur Pengujian	69
5.4.3.3	Data Pengujian Pengiriman Nominal kWh	74
5.4.3.4	Analisis Data Pengujian	74
5.4.4	Pengujian Pemantauan Nominal kWh	75
5.4.4.1	Tujuan	75
5.4.4.2	Prosedur Pengujian Pemantauan Nominal kWh	75
5.4.4.3	Data Pengujian Pemantauan Nominal kWh	75
5.4.4.4	Analisis Data Pengujian	76
VI.	KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1	Kesimpulan	77
6.2	Saran	77
	DAFTAR PUSTAKA	79
	LAMPIRAN A	80
	LAMPIRAN B	82
	LAMPIRAN C	95

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Fungsi pin ADE7755	7
Tabel 2.2	Pilihan penguatan pada <i>channel V1</i>	8
Tabel 2.3	Pilihan mode kerja <i>IC ADE7755</i>	9
Tabel 2.4	Fungsi tambahan port B	11
Tabel 2.5	Fungsi tambahan port D	12
Tabel 2.6	Alamat vektor interrupt ATMEGA8515	13
Tabel 2.7	Rumus menghitung <i>baudrate</i>	14
Tabel 2.8	Fungsi pin-pin pada <i>LCD M1632</i>	20
Tabel 5.1	Data keluaran pada PORT A	57
Tabel 5.2	Data pengujian pengaruh tegangan <i>channel V2 (V2)</i> terhadap Keluaran pin CF	59
Tabel 5.3	Perbandingan frekuensi keluaran pada pin CF ADE7755	60
Tabel 5.4	Pengaruh suhu terhadap tegangan keluaran transduser arus untuk beban 300 W	62
Tabel 5.5	Pengaruh kerusakan resistor terhadap tegangan keluaran transduser arus untuk beban 100 W	63
Tabel 5.6	Pengaruh kerusakan resistor terhadap tegangan keluaran transduser arus untuk beban 300 W	63
Tabel 5.7	Kesalahan pengukuran akibat rusaknya beberapa resistor transduser arus untuk beban 100 W	64
Tabel 5.8	Kesalahan pengukuran akibat rusaknya beberapa resistor transduser arus untuk beban 300 W	64
Tabel 5.9	Data pengujian rangkaian penghitung energi listrik menggunakan <i>IC ADE7755</i>	66
Tabel 5.10	Perbandingan perhitungan energi listrik <i>IC ADE7755</i>	67
Tabel 5.11	Standar internasional batas kesalahan alat ukur energi listrik	67
Tabel 5.12	Data pengiriman data pertama	74
Tabel 5.13	Data pengiriman data kedua	74
Tabel 5.14	Perhitungan dan pemantauan nominal kWh 15 menit pertama	75
Tabel 5.15	Perhitungan dan pemantauan nominal kWh 15 menit kedua	76
Tabel 5.16	Perhitungan dan pemantauan nominal kWh 15 menit ketiga	76
Tabel 5.17	Perhitungan dan pemantauan nominal kWh 15 menit keempat	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram blok pemrosesan sinyal ADE7755	6
Gambar 2.2	Konfigurasi pin ADE7755	7
Gambar 2.3	Konfigurasi pin ATMEGA8515	10
Gambar 2.4.	Format data pengiriman	14
Gambar 2.5	<i>Timing diagram</i> protokol i2c	16
Gambar 2.6	Operasi penulisan pada <i>EEPROM</i> serial AT24C16	18
Gambar 2.7	Operasi pembacaan pada <i>EEPROM</i> serial AT24C16	19
Gambar 2.8	Diagram blok modul <i>LCD</i>	20
Gambar 2.9	Diagram blok <i>LCD</i> tipe M1632	21
Gambar 2.10	Dasar <i>optocoupler</i>	22
Gambar 2.11	Diagram rangkaian <i>optocoupler</i>	22
Gambar 4.1	Diagram blok sistem kWh meter prabayar	29
Gambar 4.2	Diagram blok unit penghitung pemakaian energi listrik	30
Gambar 4.3	Sub diagram blok penghitung pemakaian energi listrik	31
Gambar 4.4	Rangkaian <i>IC</i> ADE7755	32
Gambar 4.5	Rangkaian transduser arus	33
Gambar 4.6	Rangkaian penurun tegangan	34
Gambar 4.7	Rangkaian mikrokontroler 1	37
Gambar 4.8	Rangkaian mikrokontroler 2	38
Gambar 4.9	Rangkaian <i>EEPROM</i>	39
Gambar 4.10	Rangkaian <i>LCD</i>	40
Gambar 4.11	Rangkaian optoswitch 1	40
Gambar 4.12	Rangkaian <i>relay</i>	42
Gambar 4.13	Format data komunikasi antara unit sentral data dengan unit penghitung pemakaian energi listrik	44
Gambar 4.14	Diagram alir fungsi utama	47
Gambar 4.15	Diagram alir fungsi <i>interrupt 0</i>	48
Gambar 4.16	Diagram alir fungsi <i>interrupt 1</i>	51
Gambar 4.17	Diagram alir program mikrokontroler 2	54
Gambar 5.1	Diagram blok pengujian mikrokontroler dan <i>LCD</i>	55
Gambar 5.2	Rangkaian LED	56
Gambar 5.3	Diagram alir perangkat lunak pengujian mikrokontroler dan	

	<i>LCD</i>	56
Gambar 5.4	Karakter yang berhasil ditulis mikrokontroler pada <i>LCD</i>	57
Gambar 5.5	Diagram blok pengujian pengaruh beda tegangan pada <i>channel V2</i> (pin <i>V2P</i> dan <i>V2N</i>) terhadap frekuensi keluaran pada pin <i>CF</i>	58
Gambar 5.6	Grafik kesalahan pengukuran yang diakibatkan oleh ketidaktepatan tegangan <i>channel V2</i>	60
Gambar 5.7	Rangkaian pengujian transduser arus	62
Gambar 5.8	Diagram blok pengujian perhitungan energi listrik	66
Gambar 5.9	Diagram blok pengujian <i>EEPROM</i> serial	68
Gambar 5.10	Diagram alir program pengujian <i>EEPROM</i> serial	68
Gambar 5.11	Hasil pengujian <i>EEPROM</i> serial	69
Gambar 5.12	Diagram blok pengujian sistem keseluruhan	70
Gambar 5.13	Tampilan utama program <i>PC</i> pada unit sentral data	70
Gambar 5.14	Tampilan untuk mengubah atau memasukkan identitas pelanggan ...	71
Gambar 5.15	Tampilan untuk mengubah atau memasukkan identitas pelanggan setelah data pelanggan dimasukkan	71
Gambar 5.16	Tampilan untuk mengganti nominal kWh yang tersimpan di <i>EEPROM</i> unit penghitung pemakaian energi listrik	72
Gambar 5.17	Tampilan pengganti nominal kWh yang telah terisi ID unit penghitung pemakaian energi listrik tujuan dan nominal kWh yang baru	72
Gambar 5.18	Tampilan untuk mengirim nominal kWh ke unit penghitung pemakaian energi listrik	73
Gambar 5.19	Tampilan <i>window</i> daftar harga energi listrik	73

RINGKASAN

Wijaya Kusuma, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2007, Unit Penghitung Pemakaian Energi Listrik Pada Sistem kWh Meter Prabayar Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8515 Menggunakan Power Line Carrier (PLC) Sebagai Pentransmisi Data, Dosen Pembimbing : Ir. Ponco Siwindarto, MS. dan Adharul Muttaqin, ST, MT.

Penggunaan kartu isi ulang dalam metode pengisian nominal kWh pada sistem listrik prabayar saat ini masih memiliki kekurangan. Kekurangan tersebut yaitu sulit untuk dikembangkan ke arah pembelian nominal kWh melalui SMS atau melalui ATM. Oleh karena itu dibuat sistem kWh meter prabayar yang menggunakan jala-jala listrik sebagai media komunikasi data. Dengan pengembangan lebih lanjut, sistem ini diharapkan bisa dikembangkan ke arah pembelian nominal kWh melalui SMS atau ATM karena terdapat komunikasi secara langsung antara pos sentral dengan kWh meter di rumah pelanggan.

Sistem kWh meter prabayar terdiri atas unit sentral data yang diletakkan di pos sentral dan unit penghitung pemakaian energi listrik yang diletakkan di rumah pelanggan. Pada unit penghitung pemakaian energi listrik, perhitungan energi listrik terpakai dilakukan oleh IC ADE7755 dengan memberikan keluaran berupa frekuensi rendah yang dapat dihubungkan langsung ke mikrokontroler. Perhitungan dilakukan dengan menyampling dua sinyal masukan pada pin V1 dan V2 yang kemudian diolah ke bentuk digital. Selanjutnya dilakukan perkalian langsung untuk mendapatkan besarnya energi listrik. Hasil perkalian ini kemudian diubah dalam bentuk frekuensi pulsa dan dikeluarkan pada pin CF. Pulsa keluaran ADE7755 akan dihitung oleh mikrokontroler dan mengurangi nominal kWh di EEPROM sesuai pulsa terhitung. Sisa nominal kWh ditampilkan pada *display* dan jika nominal kWh telah habis maka aliran listrik akan terputus. Nominal kWh yang dibeli, dikirimkan ke unit penghitung pemakaian energi listrik melalui jala-jala listrik dengan memanfaatkan modem *Power Line Carrier* (PLC).

Analisis data pengujian sistem menunjukkan bahwa alat mampu berfungsi baik dengan kesalahan pengukuran energi listrik sebesar 1,5 %. Kesalahan ini masih dalam batas kesalahan yang diizinkan dalam sebuah alat ukur energi listrik yang ditetapkan oleh *International Electrotechnical Commission* (IEC). Dari kesalahan tersebut, kWh meter yang dibuat termasuk dalam kWh meter kelas 2. Selain itu, unit penghitung pemakaian energi listrik dapat melakukan komunikasi dengan unit sentral data menggunakan jala-jala listrik sebagai media komunikasi.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. PLN (persero) telah meluncurkan sistem pembayaran tagihan listrik secara prabayar. Untuk mendukung sistem prabayar, PLN telah meluncurkan sebuah produk yang diberi nama "Meter Prabayar". Meter prabayar adalah sebuah produk layanan yang memberi pilihan kepada pelanggan untuk berlangganan energi listrik dengan sistem kartu prabayar melalui kartu isi ulang. Prinsip kerjanya hampir sama dengan kartu prabayar telepon seluler. Kartu isi ulang ini dibawa ke loket PLN untuk diisi dengan nilai nominal energi listrik (berupa nominal kWh atau nominal uang) yang dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan energi listrik, sehingga pada produk meter prabayar telah dilengkapi dengan mesin pembaca kartu. Nominal pada kartu isi ulang akan berkurang sesuai pemakaian listrik, sama seperti penggunaan kartu telepon prabayar.

Penggunaan kartu isi ulang masih memiliki kelemahan yaitu mengharuskan pelanggan untuk datang langsung ke loket pengisian nominal energi listrik untuk mengisi ulang kartu sehingga sulit untuk dikembangkan ke arah peningkatan pelayanan berupa pembelian nominal energi listrik tanpa harus datang ke loket PLN, seperti pembelian melalui ATM atau SMS. Selain itu, pihak PLN tidak dapat memantau penggunaan energi listrik oleh pelanggan, kecuali dengan mendatangkan petugas ke setiap rumah pelanggan.

Jika pada perkembangan selanjutnya diinginkan bahwa pelanggan tidak perlu datang ke loket pengisian kartu untuk membeli nominal energi listrik, tetapi cukup melalui ATM atau SMS, maka diperlukan suatu metode lain yang dapat mengirim nominal energi listrik secara langsung ke rumah pelanggan yang membeli nominal energi listrik. Oleh karena itu, melalui tugas akhir ini dirancang dan dibuat *prototype* kWh meter prabayar untuk mendukung sistem pembayaran tagihan listrik secara prabayar tanpa menggunakan kartu isi ulang. Nominal energi listrik (berupa nominal kWh) yang dibeli akan dikirimkan ke rumah pelanggan secara langsung melalui jala-jala listrik. Sistem yang dirancang dan dibuat terdiri dari dua bagian, yaitu unit penghitung pemakaian energi listrik yang berfungsi untuk menghitung pemakaian energi listrik dan unit sentral data yang berfungsi sebagai pengontrol komunikasi untuk pengiriman dan pemantauan nominal kWh.

Alat ini dapat dikembangkan untuk pembelian nominal kWh melalui ATM karena komputer pada unit sentral data dapat dihubungkan dengan jaringan ATM dengan mudah. Selain itu, perusahaan penyedia jasa listrik dapat terus memantau pemakaian energi listrik dan sisa nominal kWh yang dapat dipakai oleh pelanggan tanpa harus mendatangkan petugas ke setiap rumah pelanggan karena antara pos sentral data dan rumah-rumah pelanggan terdapat hubungan komunikasi secara langsung.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam skripsi ini hanya dibahas unit penghitung pemakaian energi listrik, karena unit sentral data telah dibahas pada skripsi yang lain. Pada unit penghitung pemakaian energi listrik dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang dan membuat alat ukur energi listrik (*watt-hour meter*) menggunakan *IC AD7755*.
2. Bagaimana merancang dan membuat *software* mikrokontroler ATMEGA8515 untuk menghitung pemakaian energi listrik dan sisa nominal kWh, menyimpan data nominal kWh ke *EEPROM*, serta menampilkannya pada *LCD*.
3. Bagaimana merancang protokol komunikasi antara unit sentral data dan unit penghitung pemakaian energi listrik pada sistem kWh meter prabayar berbasis mikrokontroler ATMEGA8515.
4. Bagaimana merancang dan membuat *software* mikrokontroler ATMEGA8515 untuk mengontrol jalannya komunikasi data.

1.3 Tujuan

Tugas akhir ini bertujuan untuk merealisasikan unit penghitung pemakaian energi listrik pada sistem kWh meter prabayar yang menggunakan jala-jala listrik sebagai media komunikasi data. Dengan pengembangan lebih lanjut, alat ini diharapkan menjadi salah satu solusi bagi perusahaan penyedia jasa listrik seperti PLN dalam metode pengisian nominal kWh pelanggan agar dapat meningkatkan pelayanan kepada pelanggan.

1.4 Ruang Lingkup

Karena begitu luasnya objek kajian maka perlu dilakukan pembatasan masalah agar pembahasan lebih terfokus pada rumusan masalah. Permasalahan dalam tugas akhir ini akan dibatasi pada beberapa hal sebagai berikut:

1. Membahas Unit Penghitung Pemakaian Energi listrik pada sistem kWh meter prabayar yang menggunakan jala-jala listrik sebagai media komunikasi data.

2. Sistem dirancang untuk dapat bekerja pada jala-jala listrik 1 fasa dengan tegangan sebesar 220 V dan frekuensi sebesar 50 Hz.
3. Tarif yang digunakan adalah tarif berdasarkan golongan daya konsumen dengan perhitungan yang sama untuk setiap waktu.
4. Jalur komunikasi tidak melalui transformer.
5. Belum memperhitungkan pengaruh harmonisa dan *noise* pada jala-jala listrik terhadap kinerja sistem.
6. Belum memperhitungkan keamanan data.
7. Parameter keberhasilan alat adalah dapat menghitung pemakaian energi listrik sesuai dengan beban terpakai serta dapat melakukan komunikasi dengan unit sentral data dalam area terbatas yang telah ditentukan sebagai simulasi.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah:

Bab I : Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, ruang lingkup, dan sistematika penulisan.

Bab II : Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori dasar penunjang perancangan dan pembuatan alat.

Bab III : Metode Penelitian

Membahas metodologi yang digunakan dalam penulisan skripsi.

Bab IV : Perancangan dan Pembuatan

Memuat prinsip kerja, perancangan, dan pembuatan alat

Bab V : Hasil dan Pembahasan

Memuat hasil pengujian dan analisis sistem yang dibuat.

Bab VI : Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan dan saran dari skripsi ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Untuk memudahkan dalam memahami cara kerja rangkaian maupun dasar-dasar perencanaan unit penghitung pemakaian energi listrik pada sistem kWh meter Prabayar yang menggunakan jala-jala listrik sebagai media komunikasi data, maka perlu penjelasan dan uraian teori penunjang yang digunakan dalam tugas akhir ini.

Teori-teori penunjang yang dijelaskan dalam bab ini meliputi:

1. Listrik Prabayar
2. IC pengukur energi listrik ADE7755 .
3. Mikrokontroler ATMEGA8515.
4. *EEPROM* serial.
5. *Liquid Crystal Display*.
6. *Optocoupler*.

2.1 Listrik Prabayar

Saat ini, sistem pembayaran rekening listrik di Indonesia sebagian besar masih menggunakan metode pasca bayar. Pada sistem pembayaran listrik pascabayar terdapat beberapa kelemahan. Yang pertama yaitu adanya kemungkinan terjadinya kesalahan pembacaan kWh meter oleh petugas sehingga tagihan yang dibayarkan tidak sesuai dengan daya listrik yang dipakai (Hilmy Wanamulya, 2005). Yang kedua yaitu terjadinya pemutusan sementara ketika terlambat dalam membayar tagihan dan pelanggan harus membayar denda.

Untuk itu, saat ini mulai dikembangkan metode pembelian energi listrik secara Prabayar. Pelanggan dapat membeli nominal energi listrik seperti membeli pulsa telepon seluler. Nominal energi listrik dikemas dalam bentuk nominal uang atau kWh yang kemudian diisikan ke meteran pelanggan, kemudian secara otomatis energi listrik bisa digunakan oleh pelanggan. Pengisian nominal energi listrik ke pelanggan bisa melalui media yang bermacam-macam, seperti menggunakan kartu isi ulang, dikirim melalui frekuensi radio, atau dikirim melalui jala-jala listrik. Dengan sistem ini, diharapkan pelanggan bisa menggunakan energi listrik secara cermat mengingat jumlah nominal kWh yang ada pada meteran sesuai dengan nilai yang dibayar.

Nominal kWh yang dibeli oleh pelanggan akan dikurangi oleh meteran yang ada dirumah pelanggan sesuai dengan beban yang digunakan. Untuk itu perlu dilakukan suatu perhitungan energi listrik yang digunakan oleh pelanggan.

2.1.1 Perhitungan Energi Listrik

Energi listrik adalah pemakaian daya (P) dalam satuan waktu (t) yang menggunakan satuan *joule*. Persamaan 2.1 menunjukkan bagaimana perhitungan energi listrik.

$$E = P \cdot t \quad (2-1)$$

dengan:

E = Energi (*Joule*)

P = Daya (*Watt*)

t = Waktu (*detik*)

Sebagai contoh, jika kita memiliki lampu pijar dengan nominal 60 *Watt* maka, energi yang digunakan selama 1 jam adalah $60 \times 3600 = 216$ kJ.

Perhitungan pemakaian energi listrik di Indonesia menggunakan satuan kWh (*kilo Watt hour*), dimana 3600 *Joule* adalah sama dengan 1 kWh. Secara umum perhitungan untuk daya listrik dapat di bedakan menjadi tiga macam, yaitu:

1. Daya aktif (P)

$$P = V \cdot I \cos \varphi \text{ (Watt)} \quad (2-2)$$

2. Daya reaktif (Q)

$$Q = V \cdot I \sin \varphi \text{ (VAR)} \quad (2-3)$$

3. Daya kompleks (S)

$$S = V \cdot I \text{ (VA)} \quad (2-4)$$

dengan:

V = Tegangan (*Volt*)

I = Arus (*Ampere*)

Φ = Beda fasa antara tegangan dan arus

Daya kompleks merupakan penjumlahan secara vektorial antara daya aktif dan daya reaktif seperti yang ditunjukkan oleh Persamaan 2.5.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2-5)$$

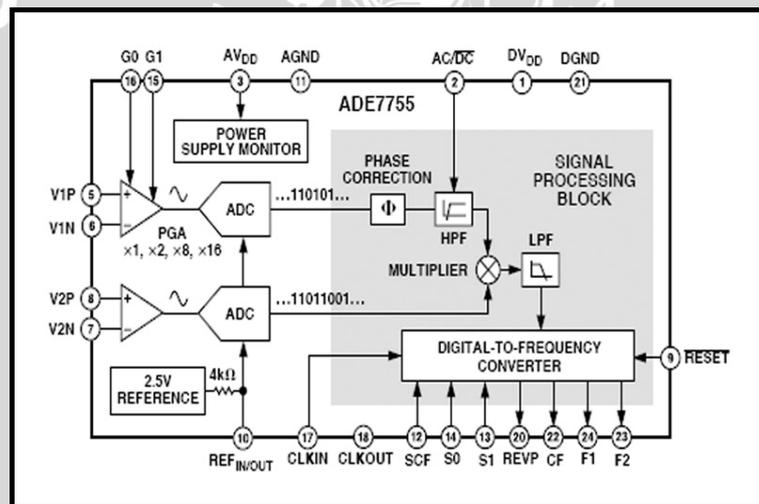
$$S = \sqrt{V^2 \cdot I^2 \cdot (\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi)}$$

$$S = V \cdot I$$

2.2 IC Pengukur Energi Listrik ADE7755

ADE7755 merupakan IC pengukur energi listrik yang akurat. Rangkaian analog dalam ADE7755 hanya terdapat pada bagian ADC dan rangkaian referensinya. Diluar itu, semua diolah dalam bentuk digital. Pengolahan sinyal dalam bentuk digital ini menghasilkan perhitungan energi listrik yang akurat.

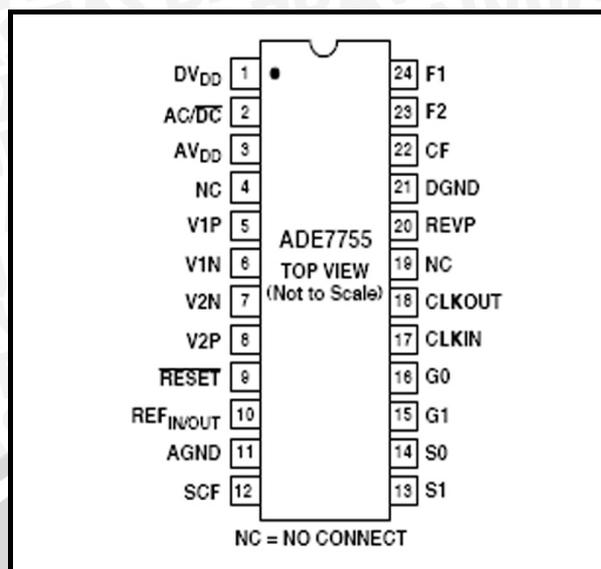
ADE7755 memberikan keluaran berupa rata-rata daya nyata (*real power*) dalam bentuk frekuensi rendah. Keluaran yang berupa pulsa-pulsa listrik ini dapat digunakan untuk menggerakkan suatu penghitung elektromekanik atau dihubungkan ke mikrokontroler. Sinyal tegangan dan arus yang masih berupa sinyal analog diubah kedalam bentuk digital. Perhitungan daya nyata diberikan oleh sinyal daya sesaat yang dihasilkan dari perkalian langsung antara arus dan tegangan hasil sampling ADC. Untuk memperoleh komponen daya nyata, sinyal dari daya sesaat difilter menggunakan *low-pass filter*, kemudian daya nyata yang didapat diubah dalam bentuk frekuensi. Gambar 2.1 menjelaskan bagaimana daya nyata dapat dihasilkan oleh IC ADE7755.



Gambar 2.1 Diagram blok pemrosesan sinyal ADE7755

Sumber: Data sheet ADE7755t, 2002

Pemrosesan sinyal berdasarkan Gambar 2.1 memberikan perhitungan daya nyata yang tepat untuk sinyal arus dan tegangan sinusoida dalam semua faktor daya. Semua pemrosesan sinyal dibuat dalam bentuk digital agar diperoleh hasil yang lebih akurat dan memiliki kestabilan terhadap pengaruh suhu dan waktu penggunaan.



Gambar 2.2. Konfigurasi pin ADE7755
 Sumber: Data sheet ADE7755t, 2002

Tabel 2.1 menjelaskan fungsi pin-pin ADE7755 seperti yang dilihat dalam Gambar 2.2.

Tabel 2.1. Fungsi pin ADE7755

No. PIN	Nama	Fungsi
1	DV _{DD}	<i>Digital Power Supply.</i> Pin ini sebagai masukan tegangan sumber bagi rangkaian digital. Nilai tegangan $5\text{ V} \pm 5\%$. Pin ini harus diparalelkan dengan kapasitor elektronik $10\ \mu\text{F}$ dan kapasitor keramik $100\ \text{nF}$.
2	AC/ $\overline{\text{DC}}$	<i>High Pass Filter Select.</i> Pin ini digunakan untuk mengaktifkan High Pass Filter di rangkaian pengukur arus. Logika 1 mengaktifkan HPF. HPF harus dalam kondisi <i>enable</i> dalam aplikasi pengukuran energi listrik.
3	AV _{DD}	<i>Analog Power Supply.</i> Pin ini sebagai masukan tegangan sumber bagi rangkaian analog. Nilai tegangan $5\text{ V} \pm 5\%$. Pin ini harus diparalelkan dengan kapasitor elektronik $10\ \mu\text{F}$ dan kapasitor keramik $100\ \text{nF}$.
4	NC	<i>No Connect.</i>
5	V1P	Pin masukan dari transduser arus listrik. Terdiri dari dua buah penguat diferensial. Beda tegangan maksimum bagi penguat diferensial adalah sebesar $\pm 600\ \text{mV}$.
6	V1N	
7	V2N	
8	V2P	Pin masukan tegangan listrik. Terdiri dari dua buah penguat diferensial. Beda tegangan maksimum bagi penguat diferensial adalah sebesar $\pm 600\ \text{mV}$.
9	$\overline{\text{RESET}}$	<i>Reset.</i> Logika 0 akan menyebabkan rangkaian ADC dan seluruh rangkaian digital dalam kondisi reset, juga menyebabkan reset bagi register internal.
10	REF _{IN/OUT}	Pin ini menyediakan akses ke rangkaian tegangan referensi internal. Tegangan referensi internal sebesar $2,5\text{ V} \pm 8\%$. Rangkaian tegangan referensi eksternal dapat dihubungkan

		dengan pin ini. Jika yang digunakan tegangan referensi internal, maka pin ini harus diparalelkan dengan kapasitor elektronik 1 μ F dan kapasitor keramik 100 nF.
11	AGND	Pin ini berfungsi sebagai referensi tegangan <i>ground</i> bagi rangkaian analog internal.
12	SCF	<i>Select Calibration Frequency.</i> Pin ini digunakan sebagai pemilih frekuensi bagi pin CF.
13	S1	Pin ini digunakan untuk memilih frekuensi dari rangkaian pengubah tegangan ke frekuensi.
14	S0	
15	G1	Pin ini digunakan sebagai pemilih nilai penguatan bagi rangkaian pengukur arus.
16	G0	
17	CLKIN	Pulsa <i>clock</i> eksternal dapat dihubungkan melalui pin ini. Sebagai alternatif, sebuah kristal dapat dihubungkan ke pin ini dan pin CLKOUT. Frekuensi yang digunakan adalah 3,57945 MHz..
18	CLKOUT	Sebuah kristal dapat dihubungkan ke pin ini dan pin CLKIN. Pin ini dapat menyediakan sinyal bagi satu gerbang CMOS jika pin CLKIN dihubungkan dengan sumber frekuensi eksternal.
19	NC	<i>No Connect.</i>
20	REVP	Logika tinggi akan dihasilkan pin ini jika terdeteksi aliran energi yang berlawanan arah.
21	DGND	Pin ini berfungsi sebagai referensi tegangan <i>ground</i> bagi rangkaian digital.
22	CF	<i>Calibration Frequency LogIC Output.</i> Pin ini ditujukan untuk keperluan kalibrasi atau dihubungkan ke rangkaian pengolah sinyal digital.
23	F2	<i>Low Frequency LogIC Output.</i> Pin ini dapat dihubungkan langsung ke pencacah elektromekanik atau dihubungkan ke rangkaian pengolah sinyal digital.
24	F1	

Sumber: Data Sheet ADE7755, 2002 : 5

Pada *channel VI* terdapat *programmable gain amplifier (PGA)* dengan pilihan penguatan 1, 2, 8, dan 16. Penguatan ini dipilih dengan mengatur pin G0 dan G1. Tabel 2.2 menunjukkan bagaimana mengatur pin G0 dan G1 untuk memilih penguatan pada *Channel VI*.

Tabel 2.2 Pilihan penguatan pada *channel VI*

G1	G0	Penguatan	Tegangan Masukan Maksimum
0	0	1	± 470 mV Peak
0	1	2	± 235 mV Peak
1	0	8	± 60 mV Peak

1	1	16	$\pm 30 \text{ mV Peak}$
---	---	----	--------------------------

Sumber: Data Sheet ADE7755, 2002 : 11

IC ADE7755 memiliki beberapa pilihan mode kerja dalam melakukan perhitungan pemakaian daya listrik. Pemilihan mode kerja ini dapat dilakukan dengan mengatur logika pada pin S0, S1, dan SCF. S0 dan S1 merupakan pin untuk memilih F_{1-4} , yaitu frekuensi kerja dari *digital-to-frequency converter*, sedangkan pin SCF untuk memilih konstanta pengali keluaran pin CF yang akan digunakan untuk menghitung energi listrik terpakai. Pilihan mode kerja IC ADE7755 dapat dilihat dalam Tabel 2.3

Tabel 2.3 Pilihan mode kerja IC ADE7755

No	SCF	S1	S0	F_{1-4} (Hz)	Keluaran Pin CF
1.	1	0	0	1,7	128 x F1,F2
2.	0	0	0	1,7	64 x F1,F2
3.	1	0	1	3,4	64 x F1,F2
4.	0	0	1	3,4	32 x F1,F2
5.	1	1	0	6,8	32 x F1,F2
6.	0	1	0	6,8	16 x F1,F2
7.	1	1	1	13,6	16 x F1,F2
8.	0	1	1	13,6	2048 x F1,F2

Sumber: Data Sheet ADE7755, 2002 : 15

Besarnya frekuensi yang keluar dari pin F1 dan F2 diberikan oleh Persamaan 2.6. Persamaan ini juga digunakan untuk mengkalibrasi perhitungan energi listrik yang dilakukan ADE7755

$$Freq = \frac{8,06 \times V1 \times V2 \times Gain \times F_{1-4}}{V_{ref}^2} \quad (2-6)$$

dengan:

$Freq$ = frekuensi keluaran pada pin F1 dan F2 (Hz)

$V1$ = diferensial tegangan (rms) pada *channel V1* (Volt)

$V2$ = diferensial tegangan (rms) pada *channel V2* (Volt)

Gain = penguatan pada *channel V1* yang telah dipilih dari Tabel 4.1

F_{1-4} = frekuensi kerja *digital-to-frequency converter* yang telah dipilih dari

Tabel 4.2

V_{REF} = tegangan referensi *internal ADE7755* sbesar 2,5 Volt

2.3 Mikrokontroler

Secara umum, mikrokontroller berfungsi sama dengan komputer. Bedanya adalah mikrokontroller memiliki desain dalam sebuah *single chip (IC)*. Mikrokontroller terdapat di hampir semua peralatan elektronik di sekeliling kita, di dalam *tape*, TV, radio, telepon genggam (*Hand Phone*), dan peralatan elektronik lainnya. Mikrokontroller memiliki kemampuan yang diperlukan untuk membuat keputusan berdasarkan sinyal dari luar dengan kata lain mikrokontroller merupakan otak dari sebuah perangkat elektronik. Mikrokontroller terdiri atas empat unsur yaitu prosessor (*CPU*), memori, perangkat I/O dan perangkat lain.

Mikrokontroller ATMEGA8515 yang diproduksi oleh *ATMEL Company* Amerika Serikat merupakan salah satu anggota keluarga dari jenis AVR. *IC* jenis ini berorientasi pada kontrol yang dapat diprogram ulang. Mikrokontroller ATMEGA8515 mempunyai karakteristik utama sebagai berikut:

1. *CPU* dengan lebar data 8 bit
2. Empat buah I/O 8 bit dan sebuah I/O 3 bit.
3. *UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) full duplex*
4. Satu buah *timer/counter* 8 bit dan 16 bit
5. Tiga buah pin PWM
6. 3 jalur interupsi
7. *Oscillator* internal terdapat dalam *chip*
8. Ruang memori program sebesar 8 Kbyte
9. Ruang memori data sebesar 512 byte
10. *EEPROM* sebesar 512 byte untuk memori program pada chip

Gambar 2.3 memperlihatkan bagaimana struktur pin-pin mikrokontroler ATMEGA8515.

PDIP			
(OC0/T0) PB0	1	40	VCC
(T1) PB1	2	39	PA0 (AD0)
(AIN0) PB2	3	38	PA1 (AD1)
(AIN1) PB3	4	37	PA2 (AD2)
(SS) PB4	5	36	PA3 (AD3)
(MOSI) PB5	6	35	PA4 (AD4)
(MISO) PB6	7	34	PA5 (AD5)
(SCK) PB7	8	33	PA6 (AD6)
RESET	9	32	PA7 (AD7)
(RXD) PD0	10	31	PE0 (ICP/INT2)
(TDX) PD1	11	30	PE1 (ALE)
(INT0) PD2	12	29	PE2 (OC1B)
(INT1) PD3	13	28	PC7 (A15)
(XCK) PD4	14	27	PC6 (A14)
(OC1A) PD5	15	26	PC5 (A13)
(WR) PD6	16	25	PC4 (A12)
(RD) PD7	17	24	PC3 (A11)
XTAL2	18	23	PC2 (A10)
XTAL1	19	22	PC1 (A9)
GND	20	21	PC0 (A8)

Gambar 2.3 Konfigurasi pin ATMEGA8515
 Sumber : Data sheet ATMEGA8515, 2003

2.3.1 Struktur dan operasi port

Mikrokontroler ATMEGA8515 memiliki 5 buah port. Empat buah port memiliki 8 buah jalur I/O dan sebuah port memiliki 3 buah jalur I/O yang bersifat bidirectional. Port-port ini dapat dihubungkan dengan berbagai macam komponen elektronika lainnya yang akan diatur oleh mikrokontroler seperti LCD, EEPROM, Relay, Sensor dan lain sebagainya. Beberapa karakteristik port mikrokontroler ATMEGA8515 dijelaskan secara singkat berikut ini :

1. Unit I/O dapat dialamati perjalur atau per port
2. Setiap jalur I/O memiliki buffer, penahan (*latch*), kemudi input dan kemudi output.
3. Setiap jalur I/O terdapat register pengatur apakah dijadikan input atau dijadikan output.
4. Port A merupakan port I/O 8 bit dua arah dengan pull up internal. Fungsi tambahan dari port A adalah sebagai jalur alamat dan data pada saat mengakses memori eksternal yaitu AD0-AD7.
5. Port B merupakan port I/O dua arah dengan pull up internal. Fungsi tambahan dari port B seperti yang terlihat dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Fungsi tambahan dari port B

Port pin	Fungsi tambahan
PB7	SCK (Bus serial clock SPI)
PB6	MISO (Bus Master Input/Slave Output SPI)

PB5	MOSI (Bus Master Output/Slave Input SPI)
PB4	SS (Pemilih input slave SPI)
PB3	AN1 (Input inferting analog komparator)
PB2	AN2 (Input noninferting analog komparator)
PB1	T1 (Input counter pada timer/counter 1)
PB0	T0 (Input counter pada timer/counter 0) OCO (output compare match pada timer/counter 0)

Sumber : Data sheet ATMEGA8515, 2003

- Port C merupakan port I/O dua arah dengan pull up internal. Fungsi tambahan dari port C adalah sebagai jalur alamat atas pada saat akses memori eksternal yaitu A8-A15.
- Port D merupakan port I/O dua arah dengan pull up internal. Fungsi tambahan dari port D seperti yang terlihat dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Fungsi tambahan port D

Port pin	Fungsi tambahan
PD7	RD (Sinyal stobe pada saat membaca memori eksternal)
PD6	WR (Sinyal strobe pada saat menulis memori eksternal)
PD5	OC1A (Output compare A pada timer/counter 1)
PD4	XCK (Input/output klok eksternal dari USART)
PD3	INT1 (Interupt eksternal 1)
PD2	INT0 (Interupt eksternal 0)
PD1	TXD (output pin pada USART)
PD0	RDX (Input pin pada USART)

Sumber : Data sheet ATMEGA8515, 2003

2.3.2 Sistem interupt

Apabila *CPU* dalam mikrokontroler sedang melaksanakan suatu program, pelaksanaan program tersebut dapat dihentikan sementara dengan meminta interupsi. Apabila *CPU* mendapat permintaan interupsi, *program counter* akan diisi alamat vektor interupsi, *CPU* kemudian melaksanakan rutin pelayanan interupsi mulai alamat tersebut. Bila rutin pelayanan interupsi selesai dilaksanakan, *CPU* kembali ke pelaksanaan program utama yang ditinggalkan.

Mikrokontroler ATMEGA8515 memiliki 17 alamat vektor *interrupt* yang ditunjukkan dalam Tabel 2.6 dimana nomor urut dari vektor *interrupt* tadi menyatakan prioritas dari interrupt tersebut.



Tabel 2.6 Alamat vektor interrupt dari ATMEGA8515

Vector No.	Program Address ⁽²⁾	Source	Interrupt Definition
1	\$000 ⁽¹⁾	RESET	External Pin, Power-on Reset, Brown-out Reset and Watchdog Reset
2	\$001	INT0	External Interrupt Request 0
3	\$002	INT1	External Interrupt Request 1
4	\$003	TIMER1 CAPT	Timer/Counter1 Capture Event
5	\$004	TIMER1 COMPA	Timer/Counter1 Compare Match A
6	\$005	TIMER1 COMPB	Timer/Counter1 Compare Match B
7	\$006	TIMER1 OVF	Timer/Counter1 Overflow
8	\$007	TIMER0 OVF	Timer/Counter0 Overflow
9	\$008	SPI, STC	Serial Transfer Complete
10	\$009	USART, RXC	USART, Rx Complete
11	\$00A	USART, UDRE	USART Data Register Empty
12	\$00B	USART, TXC	USART, Tx Complete
13	\$00C	ANA COMP	Analog Comparator
14	\$00D	INT2	External Interrupt Request 2
15	\$00E	TIMER0 COMP	Timer/Counter0 Compare Match
16	\$00F	EE_RDY	EEPROM Ready
17	\$010	SPM_RDY	Store Program memory Ready

Sumber : Data sheet ATMEGA8515, 2003

2.3.3 Komunikasi serial

Mikrokontroler ATMEGA8515 dilengkapi dengan fasilitas komunikasi serial *UART* dengan fitur sebagai berikut:

1. Komunikasi *full-duplex* dengan register serial untuk penerima dan pengirim data.
2. Dapat dioperasikan pada mode komunikasi sinkronus dan asinkronus
3. Pada operasi sinkronus clock berasal dari *master* atau *slave*
4. Mempunyai resolusi tinggi untuk generator *baudrate*
5. Layanan pengiriman data terdiri dari 5,6,7,8, dan 9 bit dan 1 atau 2 bit stop.
6. Paritas genap atau ganjil dan didukung dengan pengecekan paritas oleh *hardware*.
7. Pendeteksi pengiriman kelebihan data.
8. Pendeteksi kesalahan pada format data yang dikirim
9. Memiliki filter *noise* yang terdiri dari pendeteksi kesalahan bit start dan *low pass filter*.
10. Memiliki 3 layanan interrupt yaitu TX complete, TX data empty, dan RX complete.
11. Mode komunikasi multi processor
12. Mode komunikasi asinkron dengan dua kecepatan.

Untuk menghitung *baudrate* dari komunikasi serial digunakan persamaan seperti yang terlihat dalam Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Rumus menghitung *baudrate*.

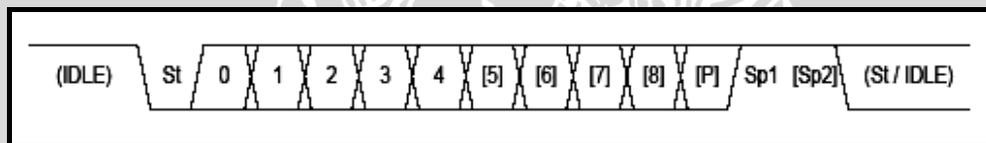
Operating Mode	Equation for Calculating Baud Rate ⁽¹⁾	Equation for Calculating UBRR Value
Asynchronous Normal mode (U2X = 0)	$BAUD = \frac{f_{OSC}}{16(UBRR + 1)}$	$UBRR = \frac{f_{OSC}}{16BAUD} - 1$
Asynchronous Double Speed mode (U2X = 1)	$BAUD = \frac{f_{OSC}}{8(UBRR + 1)}$	$UBRR = \frac{f_{OSC}}{8BAUD} - 1$
Synchronous Master mode	$BAUD = \frac{f_{OSC}}{2(UBRR + 1)}$	$UBRR = \frac{f_{OSC}}{2BAUD} - 1$

Sumber : Data sheet ATMEGA8515, 2003

dengan:

- f_{osc} = Frekuensi *clock* dari sistem osilator
- UBRR = Register baudrate yang terdiri dari UBRRH dan UBRRH
- BAUD = Baudrate dalam bit per secon (bps)

Pada pengiriman data secara serial menggunakan ATMEGA8515 memakai format seperti dalam Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Format data pengiriman
 Sumber : Data sheet ATMEGA8515, 2003

dengan:

- St = Bit start selalu berlogika rendah
- (n) = Banyaknya data yang dikirim (0-8)
- P = Bit paritas (ganjil atau genap)
- Sp = Bit stop selalu berlogika tinggi (bit stop bisa berjumlah 1 atau 2)
- IDLE = Tidak ada data yang ditransfer pada RX dan TX, IDLE selalu berlogika tinggi

2.3.4 Memori

ATMEGA8515 memiliki tiga memori internal yaitu *Flash memory*, *SRAM*, dan *EEPROM*. *Flash memory* merupakan memori tempat penyimpanan program mikrokontroler. Memori ini berukuran 8 kB dan dapat di tulis ulang sebanyak 10.000 kali. *SRAM* merupakan tempat penyimpanan data yang bersifat sementara. Data pada

memori ini akan hilang apabila catu daya dimatikan. *SRAM memory* berukuran 512 B. *EEPROM* merupakan memori yang dapat digunakan sebagai tempat penyimpanan data yang berukuran 512 B. *EEPROM internal ATMEGA8515* hanya dapat ditulis ulang sebanyak 100.000 kali, oleh karena itu penggunaan *EEPROM internal ATMEGA8515* kurang tepat jika digunakan sebagai suatu *data logger*.

2.4 *EEPROM* Serial

EEPROM serial dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan jumlah I/O pada mikroprosesor/mikrokontroler. Yang membedakan antara *EEPROM* serial dengan *EEPROM* paralel adalah antarmuka *EEPROM* serial yang diakses secara serial. Sebuah *IC* memori dengan kapasitas 2 kByte yang dibentuk dengan teknik transfer data secara paralel paling tidak mempunyai 24 kaki, 8 kaki untuk jalur data, 11 kaki untuk jalur alamat, 3 kaki untuk jalur kontrol, 2 kaki untuk catu daya. Memori yang sama kalau dibentuk dengan teknik transfer data secara seri mempunyai 8 kaki, dan hanya 2 atau 3 kaki yang perlu dihubungkan ke mikroprosesor/mikrokontroler. Keunggulan lainnya adalah daya yang dibutuhkan lebih rendah dan ukuran fisik yang lebih kecil.

Teknik transfer data secara seri antar *IC* dikembangkan oleh 3 perusahaan *IC*, yang pertama adalah teknik I2C (*Inter Integrated Circuit*) yang dikenalkan oleh Philips, teknik SPI (*Serial Peripheral Interface*) dari Motorola dan teknik MICroWire dari National Semiconductor. Protokol I2C memakai 2 jalur untuk keperluan transfer data secara seri, sedangkan SPI dan MICroWire memakai 3 jalur. Semua protokol mempunyai 1 jalur untuk *clock*, I2C hanya punya satu jalur data 2 arah, sedangkan SPI dan MICroWire mempunyai 2 jalur data satu arah, masing-masing untuk jalur data masuk dan jalur data keluar. Protokol yang paling sering digunakan pada *EEPROM* serial adalah I2C.

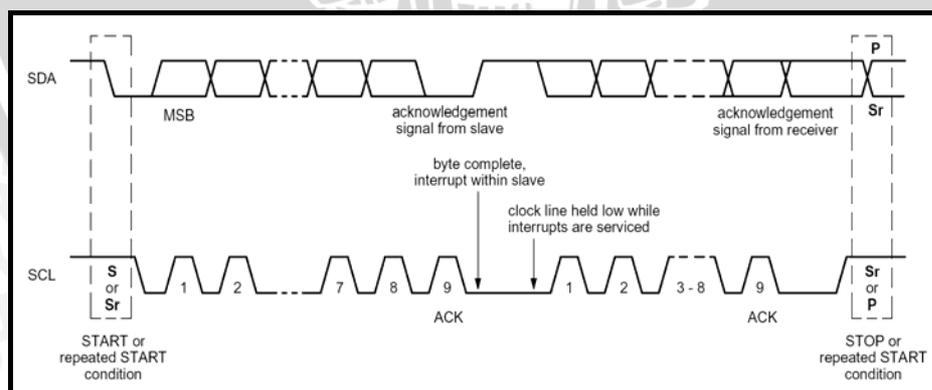
2.4.1 Protokol I2C

I2C versi 1.0 dikenalkan oleh Philips pada tahun 1992, direvisi menjadi versi 2.0 pada tahun 1998, kemudian direvisi lagi menjadi versi 2.1 pada tahun 2000. Komunikasi data secara I2C dilakukan melalui dua saluran, masing-masing adalah saluran data secara seri (SDA) dan saluran *clock* (SCL), kedua saluran ini dikenal sebagai bus I2C yang dipakai menghubungkan banyak *IC* I2C untuk berbagai macam keperluan. *IC-IC* I2C itu dibedakan menjadi *master* dan *slave*. yang dimaksud dengan *master* adalah peralatan I2C yang memulai transfer data dan yang membangkitkan *clock*

(SCK). Yang bertindak sebagai master umumnya adalah mikroprosesor/mikrokontroler yang bertugas mengendalikan bus I2C.

Pada kondisi normal, SDA hanya boleh berubah selama SCL *low*. Pengecualian kondisi ini adalah saat kondisi *start* dan *stop*. Kondisi *start* menandakan *master* akan memulai proses pertukaran data dengan ditandai transisi *high* ke *low* pada saluran SDA saat saluran SCL *high*. Sedangkan kondisi *stop* menandakan *master* akan menghentikan proses pertukaran data dengan ditandai transisi *low* ke *high* pada saluran SDA saat saluran SCL *high*.

Lebar data yang dikirimkan melalui SDA harus sebanyak 8 bit atau 1 byte. Banyaknya byte yang dapat dikirimkan tidak dibatasi. Masing-masing byte harus diikuti bit *acknowledge* oleh pihak penerima data dengan menahan saluran SDA pada kondisi *low* saat pulsa *clock acknowledge* sedang dalam periode *high*. Jika pihak penerima tidak memberikan *acknowledge*, berarti pihak penerima tidak sedang dalam kondisi siap bertukar data. Data ditransfer dengan MSB terlebih dahulu. Jika *slave* tidak dapat menerima atau mengirimkan byte data selama melakukan beberapa fungsi lain, sebagai contoh melayani interrupt internal, *slave* dapat memaksa *master* ke kondisi *wait* dengan menahan saluran SCL pada kondisi *low*. Perpindahan data kemudian dilanjutkan jika *slave* siap untuk bertukar data dan melepaskan saluran SCL. Proses pengiriman data dapat dihentikan dengan memberikan kondisi *stop* walaupun proses pengiriman belum lengkap satu byte. Dalam kasus ini, tidak ada sinyal *acknowledge*. *Timing diagram* protokol I2C dapat dilihat dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 *Timing diagram* protokol I2C
Sumber: Philips, 2000 : 10

2.4.2 Pengalamanatan *EEPROM* Serial

Karena *IC* I2C hanya dikendalikan lewat kaki SDA dan SCK saja, tidak ada sarana lainnya dari *master* yang bisa dipakai untuk mengendalikan I2C, maka alamat

yang dipakai untuk memilih isi *IC* I2C dikirimkan secara serial pula, persis seperti halnya pengiriman data.

Pengalamatan dasar *IC* I2C dilakukan dengan Nomor Group dan Nomor Chip. Nomor group adalah nomor yang diberikan oleh Philips sebagai pencipta I2C pada kelompok-kelompok *IC* I2C. Sebagai contoh nomor group untuk *EEPROM* serial adalah 1010 (biner). Nomor *chip* adalah nomor yang diberikan pada masing-masing chip lewat kaki A0, A1, dan A2 dari masing-masing *IC*. Dalam *IC* I2C tertentu, A0..A2 tidak dihubungkan ke kaki *IC*, tapi dipakai didalam *IC* untuk menomori *register* atau memori di dalam *IC* bersangkutan.

Setelah *master* I2C mengirimkan sinyal *start*, byte pertama yang dikirim berisi nomor group, nomor *chip* dan 1 bit lagi sebagai penentu arah data (*low* = *write*, *high* = *read*), seperti yang digambarkan dalam Gambar 2.12. Setelah *master* mengirimkan byte pertama, *IC* I2C yang memiliki nomor group dan *chip* yang bersesuaian menyisipkan sinyal *acknowledge* sebagai kesiapannya bertukar data. Selanjutnya *master* akan melakukan pertukaran data dengan *slave* sesuai dengan bit penentu arah data. Jika pertukaran data telah selesai, *master* mengakhiri hubungan dengan mengirimkan sinyal *stop*.

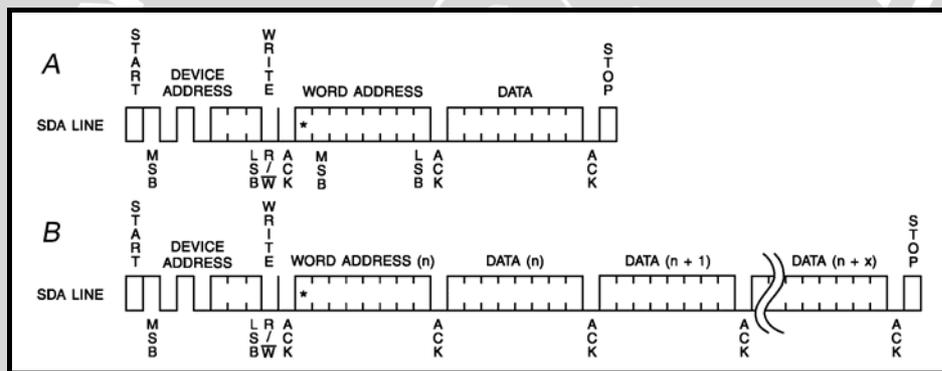
Dengan cara pengalamatan diatas *master* dapat mengendalikan 128 (7 bit) alamat. Untuk *EEPROM* serial, dimana dibutuhkan jumlah alamat yang lebih banyak, digunakan cara pengalamatan yang lain. *EEPROM* dengan kapasitas 2 kB kebawah, misal 24C16 yang memiliki kapasitas 2 kB, menggunakan 3 bit nomor *chip* dan 1 byte alamat yang dikirim setelah byte pertama sehingga dapat mengalami 11 bit alamat pada *EEPROM*. Sedangkan *EEPROM* dengan kapasitas lebih dari 2 kB, misal 24C256 yang memiliki kapasitas 32 kB, menggunakan 2 byte alamat yang masing-masing dikirim setelah byte pertama.

2.4.3 Operasi Penulisan

Operasi penulisan Operasi penulisan pada *EEPROM* serial dapat dibagi menjadi dua jenis seperti yang terlihat dalam Gambar 2.6, yaitu penulisan perbyte (Gambar 2.6 A) dan penulisan perhalaman (Gambar 2.6 B). Pada penulisan perbyte, 8 bit data dikirimkan setelah *master* mengirimkan kondisi *start*, 4 bit alamat group, 3 bit alamat *chip* atau alamat *EEPROM*, bit “0” untuk mode *write*, *acknowledge* dari *EEPROM*, 8 bit alamat *EEPROM*, dan *acknowledge* dari *EEPROM*. Setelah 8 bit data diterima *EEPROM* akan memberikan *acknowledge* dan *master* mengakhiri operasi penulisan

dengan kondisi *stop*. Setelah kondisi *stop*, *EEPROM* memasuki siklus penulisan ke memori *nonvolatile* selama waktu siklus tulis. Semua masukan tidak berfungsi selama siklus penulisan dan *EEPROM* tidak akan menjawab panggilan sampai proses penulisan selesai

Langkah-langkah penulisan perhalaman hampir sama dengan penulisan perbyte, namun setelah data 8 bit dikirim dan mendapat *acknowledge* dari *EEPROM*, *master* tidak mengirimkan kondisi *stop* tetapi mengirimkan data yang akan di tulis pada alamat selanjutnya. Pada akhir pengiriman masing-masing byte *EEPROM* memberikan *acknowledge*. Masing-masing tipe *EEPROM* serial biasanya mempunyai ukuran halaman tertentu, misalnya AT24C16 memiliki halaman sebesar 16 byte. Setiap selesai menerima data, empat bit LSB alamat *EEPROM* otomatis dinaikkan, sedangkan bit yang lain tetap. Setelah batas akhir halaman terlampaui, alamat akan kembali ke awal halaman.



Gambar 2.6 Operasi penulisan pada *EEPROM* serial AT24C16

Sumber: Atmel, 2002 : 11

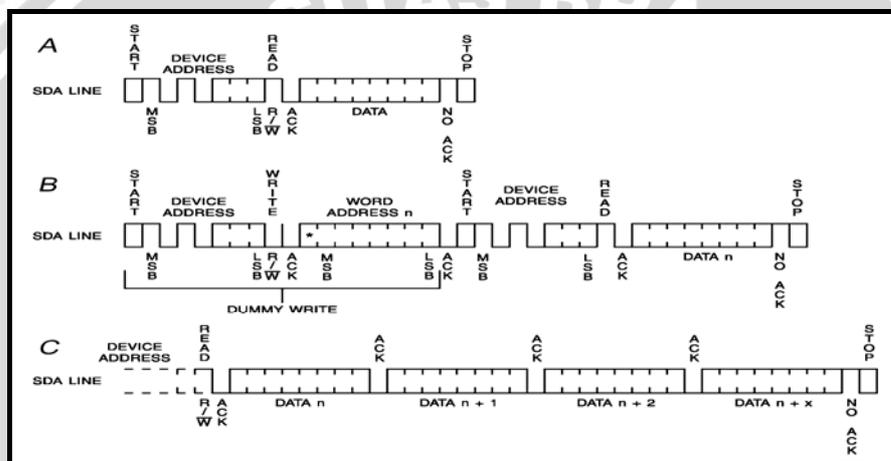
2.4.4 Operasi Pembacaan

EEPROM serial *EEPROM* serial memiliki *counter* alamat internal yang menyimpan satu alamat sesudah alamat terakhir yang diakses dengan operasi *write* atau *read*. Alamat pada *counter* alamat internal akan tetap valid selama *EEPROM* masih mendapat catu daya. Untuk memulai operasi pembacaan, *master* mengirimkan kondisi *start* diikuti byte pertama. Setelah mengirimkan *acknowledge*, *EEPROM* mengirimkan data ke *master*. Untuk mengakhiri hubungan, *master* tidak memberikan *acknowledge* setelah bit data terakhir dikirimkan oleh *EEPROM*, kemudian disusul dengan mengirimkan kondisi *stop*. Proses pembacaan *EEPROM* serial dapat dilihat dalam Gambar 2.7 A.

Untuk melakukan pembacaan secara acak (*random read*), dibutuhkan urutan penulisan semu untuk memuat alamat ke *counter* alamat *EEPROM* seperti pada Gambar

2.7 B. *Master* memulai dengan urutan operasi penulisan. Setelah alamat *EEPROM* dikirim dan mendapat *acknowledge* dari *EEPROM*, master tidak mengirimkan data, tetapi mengirimkan kondisi *start* baru dan memulai proses pembacaan.

Pembacaan juga dapat dilakukan secara berurutan (*sequential read*) dengan memberikan *acknowledge* setelah *EEPROM* mengirimkan byte data. Secara otomatis *EEPROM* menaikkan alamat *counter* internal dan mengirimkan data pada alamat berikutnya. Gambar 2.7 C memberikan gambaran bagaimana proses pembacaan secara urut. Sama seperti proses pembacaan diatas, untuk mengakhiri pembacaan, master tidak memberikan *acknowledge* setelah bit data terakhir dikirimkan oleh *EEPROM*, kemudian disusul dengan mengirimkan kondisi *stop*.



Gambar 2.7 Operasi pembacaan pada *EEPROM* serial AT24C16
 Sumber : Atmel, 2002 : 12

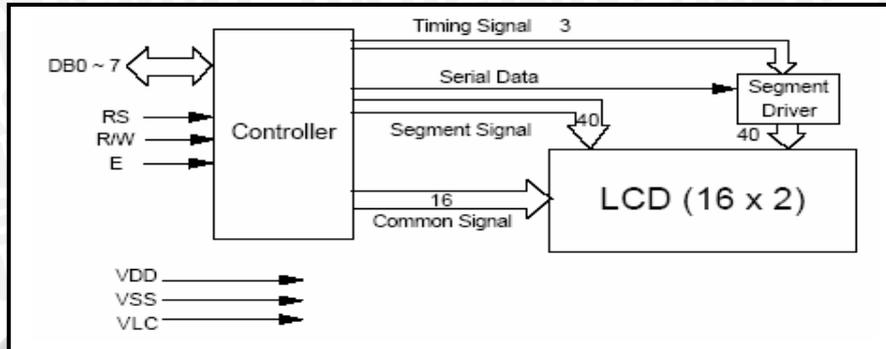
2.5 Liquid Crystal Display

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah salah satu jenis penampil yang digunakan untuk menampilkan angka, karakter atau bahkan angka dan karakter. *LCD* terdiri atas tumpukan tipis atau sel dari dua lembar kaca dengan pinggiran yang tertutup rapat. Di antara dua lembar kaca tersebut diberi bahan kristal cair (*liquid crystal*) yang tembus cahaya di mana akan beremulsi apabila diberi tegangan. Tampilannya berupa dot matrik 5 x 7 dengan jenis huruf yang ditampilkan akan lebih banyak dan lebih baik resolusinya jika dibandingkan dengan *seven-segment*. Adapun contoh modul *LCD* 16x2 ditunjukkan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2.8 *LCD* 16x2
 Sumber: Anonymous, 1998:4

Selain sebagai suatu modul tampilan yang mempunyai konsumsi daya yang relatif rendah, *LCD* juga memiliki keistimewaan dibandingkan tampilan yang lain seperti *sevent-segment* yaitu kemampuan untuk menampilkan karakter dan berbagai macam simbol. Adapun blok diagram *LCD* ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Diagram blok modul *LCD*

Sumber: *Anonymous*, 1998:13

Untuk dapat menggunakan *LCD* maka hal-hal yang perlu diperhatikan adalah sinyal kontrol dari *LCD* yaitu : RS, R/W dan EN. Instruksi operasi meliputi operasi dasar *register*, *busy flag*, *address counter*, *display data RAM*, *character generator ROM*.

Fungsi port-port pada *LCD* ditunjukkan dalam Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Fungsi pin-pin pada *LCD* M1632

No Pin	Nama Pin	Fungsi
16	V – BL	Sebagai <i>ground</i> dari <i>backlight</i>
15	V + BL	Sebagai kutub positif dari <i>backlight</i>
7 - 14	DB0– DB7	Merupakan saluran data, berisi perintah dan data yang akan ditampilkan.
6	E	Sinyal operasi awal, sinyal ini mengaktifkan data tulis atau baca
5	R/W	Sinyal seleksi tulis atau baca 0 = tulis

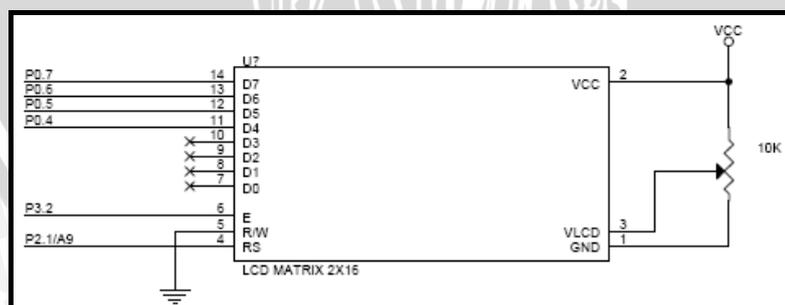
		1 = baca
4	RS	Sinyal pemilih register 0 = register instruksi (tulis) 1 = register data (tulis dan baca)
3	Vlc	Untuk mengendalikan kecerahan <i>LCD</i> dengan mengubah Vlc
2	Vcc	Tegangan catu + 5 volt
1	Vss	Terminal <i>Ground</i>

Sumber: Datasheet *LCD* seiko, 1998:12

LCD tipe M1632 merupakan suatu jenis tampilan yang menggunakan *liquid crystal* dalam menampilkan suatu karakter secara *dot matrik*. *LCD* ini memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

1. *LCD* ini terdiri dari 32 karakter dengan 2 baris masing-masing 16 karakter dengan display dot matrik 5x7.
2. Karakter generator ROM dengan 192 tipe karakter.
3. Karakter generator RAM dengan 8 bit karakter.
4. 80x8 bit display data RAM.
5. Dapat diinterfacekan ke MCU 8 atau 4.
6. Dilengkapi fungsi tambahan; *display clear*, *cursor home*, *display on/off*, *cursor on/off*, *display character blink*, *cursor shift*, *display shift*, dan *Internal data*.
7. Reset pada saat power on.
8. Tegangan +5 volt PSU tunggal.

Diagram blok penampil *LCD* tipe M1632 ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Diagram blok *LCD* tipe M1632

Sumber: www.delta-electronic.com

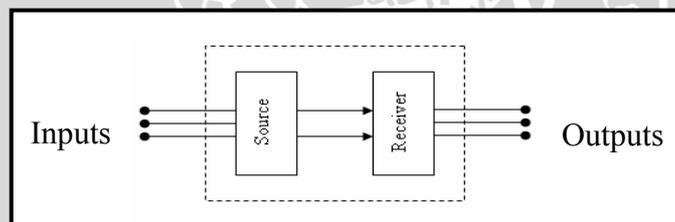
LCD ini mempunyai konsumsi daya yang relatif rendah dan terdapat sebuah kontroler CMOS di dalamnya. Kontroler tersebut sebagai pembangkit dari karakter ROM/RAM dan display data RAM. Semua fungsi tampilan dikontrol oleh suatu

instruksi dan modul *LCD* dapat dengan mudah diinterfacekan dengan mikrokontroler. Masukan yang diperlukan untuk mengendalikan modul ini berupa bus data yang masih termultiplex dengan bus alamat serta 3 bit sinyal kontrol. Sementara pengendalian dot matrik *LCD* secara internal oleh kontroler yang sudah ada pada modul *LCD*.

2.6 Optocoupler

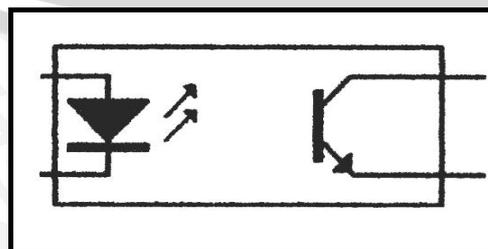
Optocoupler merupakan komponen yang dapat memisahkan dua rangkaian secara elektrik tetapi menghubungkan kedua rangkaian tersebut secara optik. Karena sifat dasarnya yang seperti itu, *optocoupler* digunakan untuk isolasi suatu rangkaian dari suatu gangguan elektrik yang disebabkan oleh rangkaian lain yang terhubung. Satu contoh, misalnya suatu rangkaian yang terhubung dengan jala-jala listrik, dihubungkan ke suatu rangkaian mikrokontroler. Agar kerja mikrokontroler tidak terganggu oleh harmonisa jala-jala, maka dipasang *optocoupler* sebagai penghubungnya.

Optocoupler mempunyai sebuah sumber (*source*) yang terangkai secara optik dengan sebuah penerima (*receiver*). Sumber dan penerima ini tertutup dalam satu paket. Alat ini memiliki dua atau lebih terminal input yang terhubung dengan sumber dan dua atau lebih terminal output yang terhubung dengan penerima. Desain dasar dari sebuah *optocoupler* ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Dasar *optocoupler*
Sumber: *Optoelectronics*, 1995, 285

Optocoupler memiliki dua rangkaian terpisah seperti yang digambarkan dalam Gambar 2.12. Rangkaian masukan terdiri dari sebuah radiasi. Flux dari sumber diterima oleh sebuah detektor pada rangkaian keluaran, yang disebut *receiver*.



Gambar 2.12 Diagram rangkaian *optocoupler*
Sumber: *Motorola Semiconductor Technical Data* 7:2

Optocoupler memiliki sebuah LED yang dihubungkan dengan masukan dan sebuah transistor yang dihubungkan dengan keluaran.

Prinsip kerja dari *optocoupler* dapat jelaskan sebagai berikut:

- a. Jika tidak ada arus yang melalui LED maka LED akan *off* dan transistor akan *off* sehingga *output* dari kolektor akan berlogika *high*.
- b. Sebaliknya jika LED *on* maka transistor akan *on* sehingga outputnya akan berlogika *low*.



BAB III METODOLOGI

3.1 Lingkup Perancangan

Perancangan ini bertujuan untuk menjadikan sistem kWh meter Prabayar yang menggunakan jala-jala listrik sebagai media komunikasi data sebagai salah satu solusi metode pembayaran tagihan listrik secara Prabayar. Perancangan ini bersifat eksperimental dimana pengujiannya hanya dalam lingkup laboratorium.

3.2 Persiapan Perancangan

Perancangan, pembuatan, dan pengujian alat ini dilakukan di Laboratorium Dasar Elektrik dan Pengukuran Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Adapun alat-alat yang digunakan dalam perancangan, pembuatan, dan pengujian alat ini adalah:

1. Voltmeter.
2. Ammeter digital.
3. Frekuensimeter digital.
4. *Osciloskop*.
5. *Function generator*.
6. Catu energi DC.

3.3 Variabel Perancangan dan Pembuatan Alat

Variabel merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi perancangan dan pembuatan sistem. Dalam perancangan dan pembuatan alat unit penghitung pemakaian energi listrik pada sistem kWh meter Prabayar yang menggunakan jala-jala listrik sebagai media komunikasi data, terdapat variabel-variabel yang ditetapkan, diubah, dan diukur, untuk selanjutnya dianalisa. Variabel-variabel tersebut adalah sebagai berikut:

1. Frekuensi keluaran ADE7755
2. Tegangan keluaran transduser arus (*V Channel 1*).
3. Tegangan keluaran rangkaian penurun tegangan (*V Channel 2*).
4. Tegangan jala-jala.
5. Arus beban.
6. Data pulsa listrik.

3.4 Langkah-langkah perancangan dan pembuatan alat.

Agar perancangan dan pembuatan alat ini dapat berjalan secara sistematis, maka perlu ditetapkan langkah-langkah yang akan diambil untuk melakukan perancangan dan pembuatan alat ini. Langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut:

3.4.1 Studi Kepustakaan

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan dasar teori tentang segala sesuatu yang mendukung perancangan dan pembuatan alat. Dasar teori tersebut diambil dari buku-buku maupun internet untuk mengetahui karakteristik komponen, prinsip kerja serta teori yang menunjang, antara lain:

1. Teori dasar perhitungan energi listrik.
2. Perangkat keras dan perangkat lunak mikrokontroler ATMEGA8515.
3. Teori dasar penggunaan *EEPROM* serial.
4. Teori dasar *optocoupler*.
5. Teori dasar penggunaan *LCD*.
6. Teori dasar komunikasi serial.

3.4.2 Penentuan Spesifikasi Alat

Setelah mempelajari berbagai literatur yang menunjang perancangan alat ini, ditetapkan spesifikasi alat yang dibuat berdasarkan permasalahan yang telah dirumuskan.

3.4.3 Perancangan Alat

Perancangan alat meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak yang keduanya akan dikombinasikan untuk memenuhi spesifikasi alat yang telah ditentukan sebelumnya.

3.4.3.1 Perangkat Keras

Perancangan alat ini disesuaikan dengan fungsi dari komponen-komponen yang akan digunakan sehingga terbentuk rangkaian elektronik yang siap direalisasikan.

Untuk perancangan alat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Penyusunan blok diagram sistem untuk mempermudah pemahaman tentang alur kerja dari alat yang dibuat.

2. Menentukan nilai dan jenis komponen yang sesuai dengan hasil perhitungan serta ditekankan ada di pasaran sehingga jika terjadi kerusakan mudah dalam mencari komponen.
3. Perencanaan dan pembuatan rangkaian dari masing-masing blok, yang meliputi:
 - a. Rangkaian ADE7755.
 - b. Rangkaian ATMEGA8515.
 - c. Rangkaian *EEPROM* Serial
 - d. Rangkaian Sakelar otomatis.
 - e. Rangkaian *Optocoupler*.
 - f. *Power Line Carrier (PLC)*.
4. Menggabungkan beberapa blok menjadi keseluruhan sistem yang direncanakan.
5. Pembuatan perangkat lunak untuk pengendali peralatan.
6. Mengadakan pengujian-pengujian per blok rangkaian dan keseluruhan sistem yang direncanakan.

3.4.3.2 Perancangan Perangkat Lunak

Setelah perangkat keras dirancang sesuai dengan perencanaan, maka langkah selanjutnya adalah perancangan perangkat lunak. Perangkat lunak ini difungsikan untuk mengatur keseluruhan sistem yang terdiri atas beberapa perangkat keras sehingga sistem ini dapat bekerja dengan baik. Perancangan perangkat lunak dilakukan dengan pembuatan diagram alir dan membuat *source code* program.

3.4.4 Pembuatan Alat

Setelah selesai dirancang, langkah berikutnya adalah perealisasi/pembuatan alat. Langkah ini dilakukan dengan pembuatan PCB, setelah itu memasang komponen-komponen pada PCB sesuai dengan hasil perancangan.

3.4.5 Pengujian dan Analisis Alat

Setelah komponen dipasangkan ke PCB dan perangkat lunak untuk mendukung sistem selesai dibuat, maka diadakan pengujian. Tahap pengujian meliputi pengujian tiap blok rangkaian yang bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja dari masing-masing blok serta kesesuaian dengan spesifikasi perancangan kemudian pengujian dilakukan dengan menggabungkan blok-blok rangkaian yang telah dibuat dengan tujuan untuk mengetahui tingkat keberhasilan dari sistem yang telah dibuat. Pengujian yang dilakukan menghasilkan data-data yang nantinya akan dianalisis

untuk mengetahui tingkat keberhasilan perancangan, data yang dihasilkan dianalisis dengan cara membandingkannya dengan hasil perhitungan. Hasil analisis tersebut selanjutnya akan disusun suatu kesimpulan. Analisis akhir dilakukan untuk mengetahui serta memastikan bekerjanya alat ini.

3.4.6 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

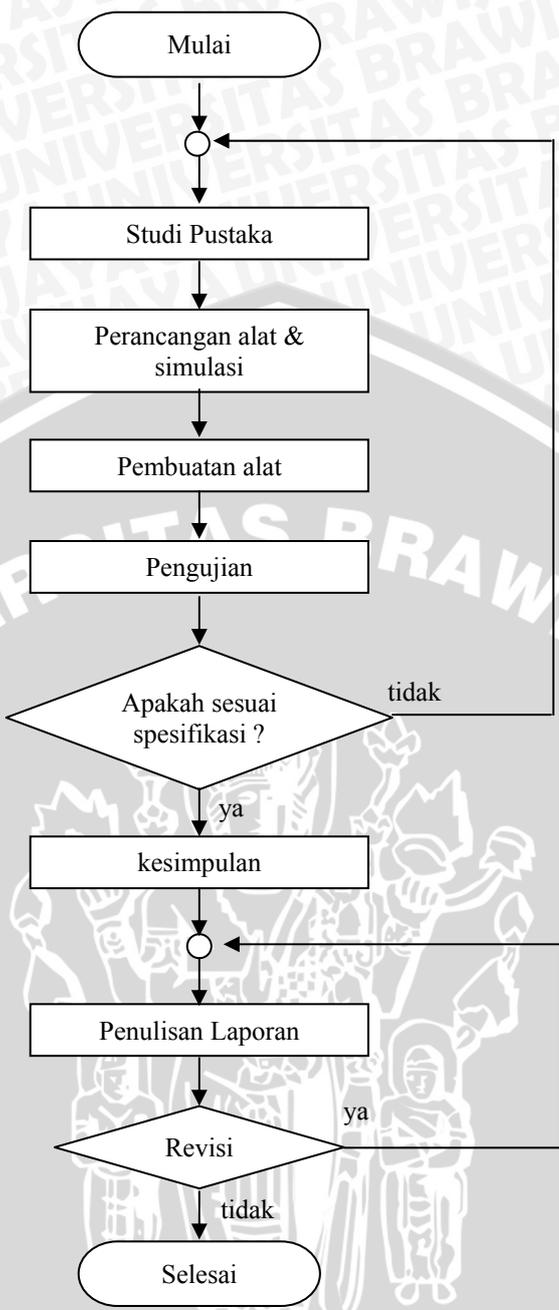
Tahap berikutnya adalah pengambilan kesimpulan dari peralatan yang dibuat. Tahap terakhir adalah saran yang dimaksudkan untuk memperbaiki kesalahan-kesalahan yang terjadi serta menyempurnakan penelitian.

3.4.7 Penulisan Laporan

Setelah semua data hasil perancangan, pembuatan dan pengujian didapat maka disusun laporan agar tugas akhir ini dapat didokumentasikan dan dapat digunakan sebagai referensi untuk pengembangan dimasa yang akan datang.

Gambar 3.1 menggambarkan urutan kegiatan perancangan, pembuatan, pengujian alat hingga penulisan laporan.





Gambar 3.1 Diagram alir pelaksanaan tugas akhir.

BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

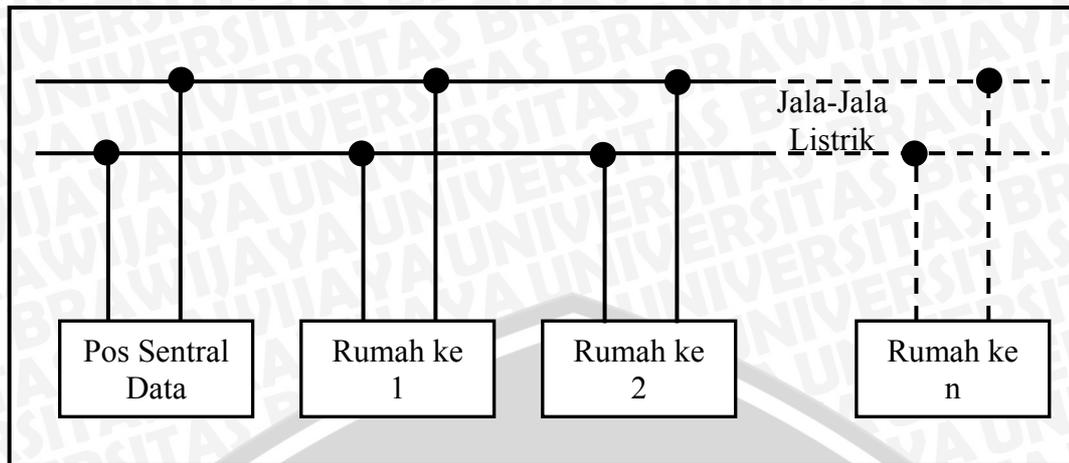
Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai perancangan dan pembuatan unit penghitung pemakaian energi listrik pada Sistem kWh meter prabayar yang menggunakan jala-jala listrik sebagai media komunikasi data. Perancangan dan pembuatan ini meliputi gambaran umum sistem dan unit penghitung pemakaian energi listrik serta spesifikasinya, cara kerja alat, perancangan perangkat keras, protokol komunikasi, dan perangkat lunaknya.

4.1 Gambaran Umum

Gambaran umum dari sistem kWh meter prabayar yang akan dibuat dapat dilihat dalam Gambar 4.1. Dalam sistem tersebut akan terjadi komunikasi yang terus menerus antara setiap rumah pelanggan dengan pos sentral data. Komunikasi yang terjadi terdiri dari komunikasi untuk memberikan besar kWh yang bisa dipakai (nominal kWh) oleh pelanggan dari unit sentral data ke rumah pelanggan yang membeli nominal kWh dan komunikasi untuk memberikan informasi sisa nominal kWh dari setiap rumah ke unit sentral data. Komunikasi yang terjadi menggunakan jala-jala listrik sebagai media penyaluran data, sehingga dibutuhkan modem *Power Line Carrier* sebagai *transceiver* data.

Dari gambaran tersebut dapat ditentukan spesifikasi umum dari sistem ini, antara lain :

1. Jala-jala listrik yang digunakan sebagai media komunikasi adalah satu fasa dengan tegangan sebesar 220 V dan frekuensi sebesar 50 Hz.
2. Komunikasi hanya dalam satu jalur jala-jala, bukan komunikasi yang melalui transformator.



Gambar 4.1 Diagram blok sistem kWh meter Prabayar

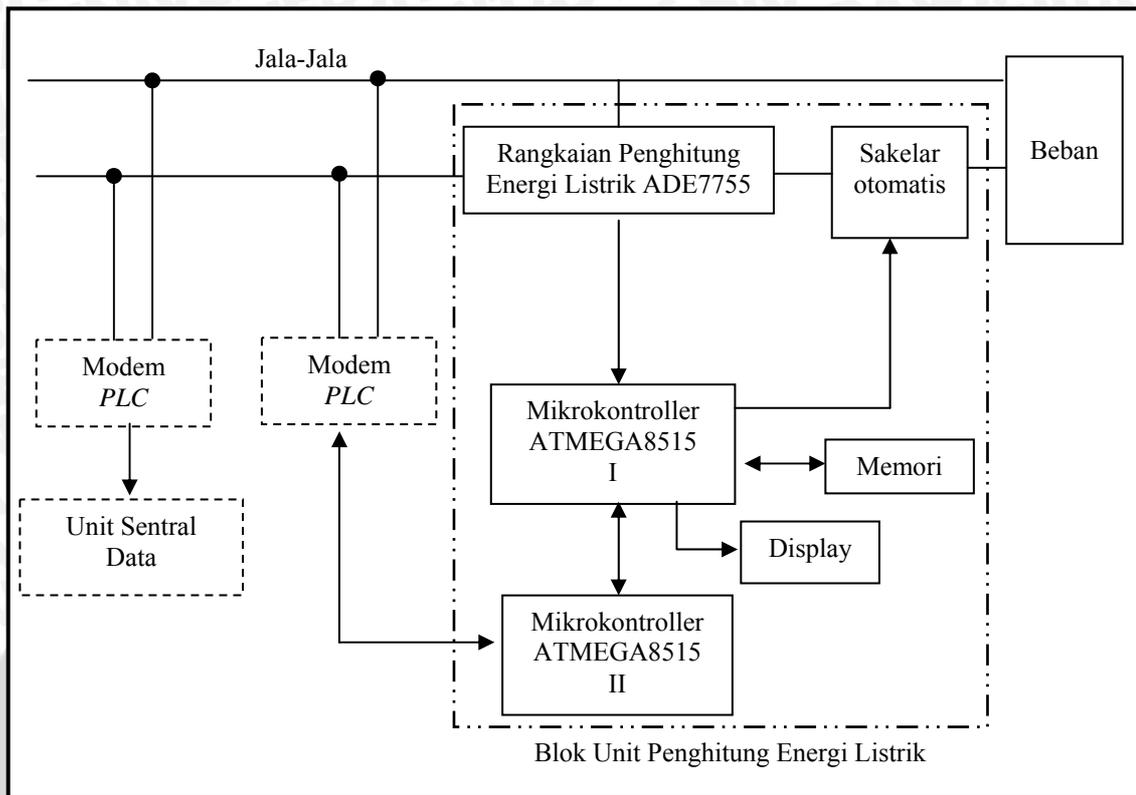
4.2 Gambaran Unit Penghitung Pemakaian Energi Listrik

Unit penghitung pemakaian energi listrik merupakan salah satu bagian dari sistem kWh meter Prabayar yang berfungsi sebagai pengurang nominal kWh yang dibeli oleh pelanggan sesuai dengan beban listrik yang digunakan, indikator nominal kWh yang tersisa, dan pemutus aliran listrik ke rumah pelanggan jika nominal kWh telah habis.

Spesifikasi unit penghitung pemakaian energi listrik ditentukan sebagai berikut:

1. Alat bekerja pada jala-jala 1 fasa, tegangan 220 V pada frekuensi 50 Hz.
2. Menggunakan Mikrokontroler ATMEGA8515 sebagai pengontrol utama dalam sistem.
3. Menggunakan IC pengukur energi listrik ADE7755 sebagai penghitung pemakaian energi listrik.
4. Menggunakan LCD tipe 2x16 sebagai *display* dan *EEPROM* sebagai unit memori.
5. Untuk mengirimkan data melalui jala-jala listrik digunakan *Power Line Carrier (PLC) Modem* menggunakan IC LM1893.
6. Arus beban dibatasi hingga 5 Ampere.
7. Ketelitian pengukuran adalah 0,01 kWh.

Gambar 4.2 memperlihatkan diagram blok unit penghitung pemakaian energi listrik yang akan dirancang.



Gambar 4.2 Diagram blok unit penghitung pemakaian energi listrik

4.3 Cara Kerja Unit Penghitung Pemakaian Energi Listrik

Perhitungan energi listrik terpakai dilakukan oleh IC ADE7755 dengan memberikan keluaran berupa frekuensi rendah yang dapat dihubungkan langsung ke mikrokontroler. Perhitungan dilakukan dengan menyampling dua sinyal masukan pada pin V1 dan V2 yang kemudian diolah ke bentuk digital. Selanjutnya dilakukan perkalian langsung untuk mendapatkan besarnya energi listrik. Hasil perkalian ini kemudian diubah dalam bentuk frekuensi pulsa dan dikeluarkan pada pin F1, F2 dan CF.

Agar data dapat dikirim melalui jala-jala listrik, data digital yang telah dihasilkan ditumpangkan ke Modulator *Power Line Carrier (PLC)*. Modem *PLC* terdiri dari pembangkit frekuensi pembawa untuk menumpangkan sinyal dari mikrokontroler yang terdiri atas rangkaian yang berbasis IC LM1893. Modem *PLC* ini juga merupakan pengkopel sebagai penghubung dengan jala-jala listrik. Sinyal yang dipancarkan diterima oleh Demodulator *Power Line Carrier (PLC)*. Demodulator terdiri dari pengkopel untuk melewatkan frekuensi sinyal dan menahan frekuensi jala-jala, serta *Phase Locked Loop (PLL)* untuk memisahkan frekuensi sinyal dengan frekuensi pembawa.

LCD adalah alat penampil yang digunakan untuk menampilkan besarnya pemakaian energi listrik.

Mikrokontroller ATMEGA8515 adalah pengontrol utama sistem. Mikrokontroller 1 berfungsi sebagai penghitung pemakaian listrik dan mengatur tampilan *LCD*. Sedangkan mikrokontroller 2 berfungsi untuk mengatur komunikasi dengan pos data.

Power Supply berfungsi sebagai sumber tegangan untuk seluruh rangkaian. Power Supply yang digunakan dapat mengeluarkan tegangan sebesar +5 V dan +15V.

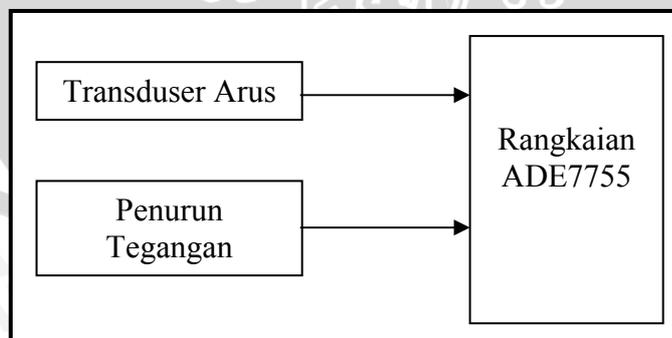
4.4 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras meliputi perancangan dari tiap-tiap blok sistem yang telah disusun. Perancangan perangkat keras yang dilakukan yaitu:

1. Merancang penghitung pemakaian energi listrik menggunakan *IC* pengukur energi listrik ADE7755 serta komponen-komponen pendukungnya.
2. Merancang minimum sistem ATMEGA8515 untuk mengolah data hasil perhitungan energi listrik dari ADE7755 dan mengatur jalannya komunikasi antara unit sentral data dengan unit penghitung pemakaian energi listrik.
3. Merancang memori eksternal *EEPROM* untuk menyimpan data nominal kWh, *display* penampil sisa nominal kWh, dan sakelar otomatis sebagai pemutus aliran listrik.

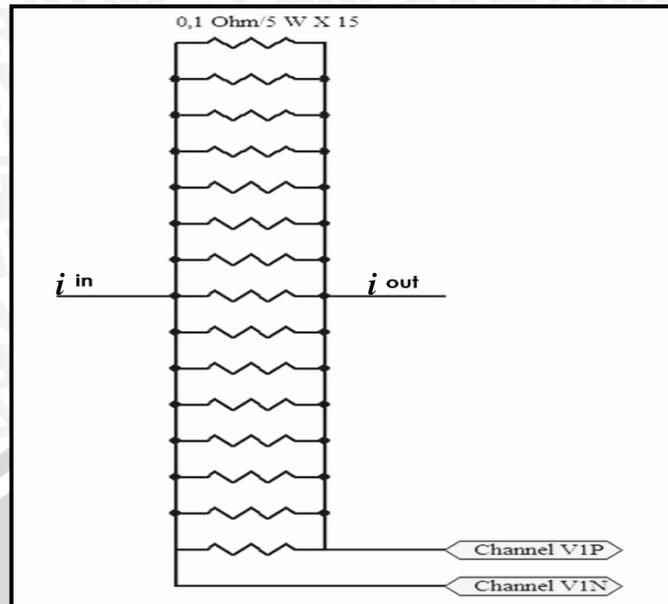
4.4.1 Rangkaian penghitung pemakaian energi listrik menggunakan *IC* ADE7755

Dalam Gambar 4.3 dapat dilihat komponen-komponen pendukung dari penghitung pemakaian energi listrik menggunakan *IC* ADE7755 yang akan dirancang.



Gambar 4.3 Sub diagram blok penghitung pemakaian energi listrik

Gambar 4.4 memperlihatkan rangkaian penghitung pemakaian energi listrik *IC* ADE7755 secara lengkap.



Gambar 4.5 Rangkaian transduser arus

Dengan susunan tersebut, arus yang lewat pada tiap-tiap resistor pada saat arus beban sebesar 6 A (arus maksimum yang ditetapkan) menjadi :

$$I = \frac{6 A}{15} = 0,4 A$$

Arus sebesar 0,4 A akan mengakibatkan disipasi daya pada tiap-tiap resistor transduser arus sebesar:

$$P = I^2 \times R \quad (4-1)$$

$$P = (0,4 A)^2 \times 0,1 \Omega = 0,016 \text{ Watt}$$

Dari perhitungan diatas, maka harus dipilih resistor dengan daya minimum sebesar 0,016 Watt. Dalam pembuatan unit penghitung energi listrik ini dipilih resistor dengan daya 5 Watt. Resistor ini dipilih agar dapat mengantisipasi jika ada arus berlebih yang melewati resistor sehingga tidak resistor tidak menjadi terlalu panas.

Disipasi daya pada transduser arus dapat diketahui dengan melihat Persamaan 4-1. Dari persamaan tersebut, diketahui bahwa semakin besar arus beban, maka daya pada transduser arus akan semakin besar pula. Daya di transduser arus pada saat arus beban sebesar 6 A adalah:

$$P = (6 A)^2 \times 0,0066 \Omega = 0,237 \text{ Watt}$$

4.4.1.2 Rangkaian Penurun Tegangan

Rangkaian penurun tegangan terdiri atas susunan resistor yang dihubungkan secara seri seperti Gambar 4.6 agar terdapat pembagian tegangan pada masing-masing resistor. Rangkaian ini digunakan untuk menurunkan tegangan jala-jala 220 V menjadi 467 mV *rms* (660 mV *peak*).

Dari Gambar 4.4, dengan menganggap $R_v = 0$, maka didapat persamaan 4-2.

$$V_{channel2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times 220 V \quad (4-2)$$

Nilai $V_{Channel2}$ yang diinginkan adalah sebesar 467 mV *rms*, sehingga Persamaan 4-2 di ubah menjadi Persamaan 4-3.

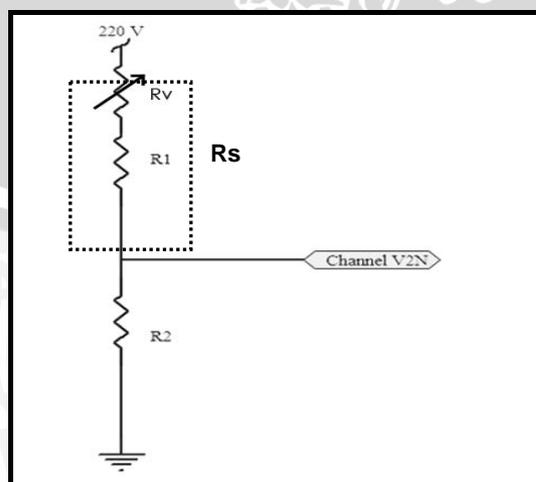
$$R_1 = \frac{(R_2 \times 220V) - (R_2 \times V_{Channel2})}{V_{Channel2}} \quad (4-3)$$

Dengan memberikan nilai R_2 sebesar $1k\Omega$, maka nilai R_1 dapat ditentukan menggunakan persamaan 4.3.

$$R_1 = \frac{(1k \times 220) - (1k \times 467 m)}{467 mV}$$

$$R_1 = \frac{219533}{467 m} = 470 k\Omega$$

R_v yang dipasang adalah sebesar $1M\Omega$. Konfigurasi R_v seperti Gambar 4.6 memungkinkan untuk membuat tegangan *channel 2* lebih kecil yang bisa digunakan untuk keperluan kalibrasi ADE7755 nantinya. Tetapi, walaupun $R_v = 0$, tegangan yang masuk *channel 2* ADE7755 tidak melebihi 467 mV *rms*.



Gambar 4.6 Rangkaian penurun tegangan

Tegangan pada *channel V2* pada Unit Penghitung Energi Listrik ditetapkan sebesar $208,89 \text{ mV}$. Penetapan tegangan ini akan dibahas pada Bab IV Sub Bab 4.4.1.5. Agar didapat tegangan sebesar $208,89 \text{ mV}$ pada *channel V2*, maka besar resistansi R_s berdasarkan Persamaan 4-2 adalah:

$$R_s = \frac{(R_2 \times 220V) - (R_2 \times V_{\text{ChannelV2}})}{V_{\text{ChannelV2}}}$$

$$R_s = \frac{(1k\Omega \times 220V) - (1k\Omega \times 208,89 \text{ mV})}{208,89 \text{ mV}} = 1,052 \text{ M}\Omega$$

Karena arus yang masuk ke *channel V2* IC ADE7755 adalah 0 A (karena adanya *operational amplifier* pada *channel V2*), maka arus yang melewati rangkaian pembagi tegangan adalah :

$$I = \frac{220V}{(1,052 \text{ M} + 1k)\Omega} = 0,208 \text{ mA}$$

Dengan arus yang melewati rangkaian pembagi tegangan adalah sebesar $0,208 \text{ mA}$, maka besar kesalahan pengukuran untuk arus beban pada transduser arus dapat berkurang. Dengan arus sebesar $0,208 \text{ mA}$ pula, maka daya yang diserap oleh rangkaian pembagi tegangan adalah sebesar:

$$P = I^2 \times R$$

$$P = (0,208 \text{ mA})^2 \times (1,052 \text{ M}\Omega + 1k\Omega) = 0,042 \text{ mW}$$

4.4.1.3 Osilator Kristal

ADE7755 membutuhkan pulsa *clock* untuk bekerja. *Clock* eksternal dapat ditambahkan melalui pin CLCKIN sebagai input dari rangkaian osilator kristal. Rangkaian osilator kristal untuk ADE7755 dapat dilihat dalam Gambar 4.4. Rangkaian osilator kristal terdiri dari kristal osilator $3,579 \text{ MHz}$ dan dua kapasitor bernilai 22 pF , akan membangkitkan pulsa *clock* yang menjadi penggerak bagi operasi internal ADE7755. Pemilihan nilai kristal osilator dan kapasitor berdasarkan *datasheet IC* ADE7755 produksi Analog Devices.

4.4.1.4 Pemilihan Mode Kerja ADE7755

IC ADE7755 memiliki beberapa pilihan mode kerja dalam melakukan perhitungan pemakaian energi listrik yang ditunjukkan dalam Tabel 2.3. Dalam perancangan alat penghitung pemakaian energi listrik ini dipilih mode kerja nomor 4

dengan menetapkan SCF dan S1 logika *low* sedangkan S0 logika *high*, sehingga keluaran pin CF adalah sebesar 32 x F1,F2.

4.4.1.5 Kalibrasi ADE7755

Agar pengukuran energi listrik sesuai dengan standar pengukuran yang telah ada, maka perlu dilakukan kalibrasi pada IC ADE7755. Sebelum melakukan kalibrasi, akan dijelaskan lebih detail lagi spesifikasi alat ukur pemakaian energi listrik menggunakan IC ADE7755 sebagai berikut:

1. Tegangan jala-jala sebesar 220 Volt dengan frekuensi 50 Hz.
2. Arus beban maksimum dibatasi sampai 6 A.
3. Keluaran dari pin F1 dan F2 ditetapkan 100 impuls/kWh.
4. Keluaran pin CF sebesar 32 x F1,F2.
5. Resistansi transduser arus sebesar 0,0066 Ω.
6. Kalibrasi dilakukan pada arus beban (I_b) = 5A.

Dengan menentukan keluaran F1 dan F2 sebesar 100 impuls/kWh, dapat ditentukan pula frekuensi keluaran F1 dan F2, yaitu sebesar:

$$F1, F2 = \frac{100 \text{ impuls}}{\text{jam}} = \frac{100}{3600 \text{ sec}} = 0,0277 \text{ Hz}$$

kWh meter akan dikalibrasi pada arus 5 A dan tegangan jala-jala sebesar 220 V, sehingga didapat disipasi daya pada saat 5 A adalah sebesar 1,1 kW. Saat $I_b = 5 \text{ A}$, tegangan pada *channel* V1 adalah sebesar $5 \times 0,0066 = 33,3 \text{ mV}$. Kemudian bisa diketahui frekuensi F1 dan F2 pada saat I_b adalah sebesar $1,1 \times 0,0277 \text{ Hz} = 0,0305 \text{ Hz}$. Frekuensi inilah yang akan dijadikan acuan kalibrasi.

Kalibrasi dilakukan menggunakan Persamaan 2-6. Dari perhitungan yang telah dilakukan, tinggal nilai V2 yang belum diketahui. Dengan menemukan nilai V2, maka proses kalibrasi telah selesai. Untuk menemukan nilai V2, Persamaan 2.6 diubah terlebih dahulu menjadi Persamaan 4-4.

$$V2 = \frac{\text{Freq} \times V_{REF}^2}{8,06 \times V1 \times \text{Gain} \times F_{1-4}} \quad (4-4)$$

Nilai-nilai variabel yang telah diketahui dimasukkan pada Persamaan 4-4.

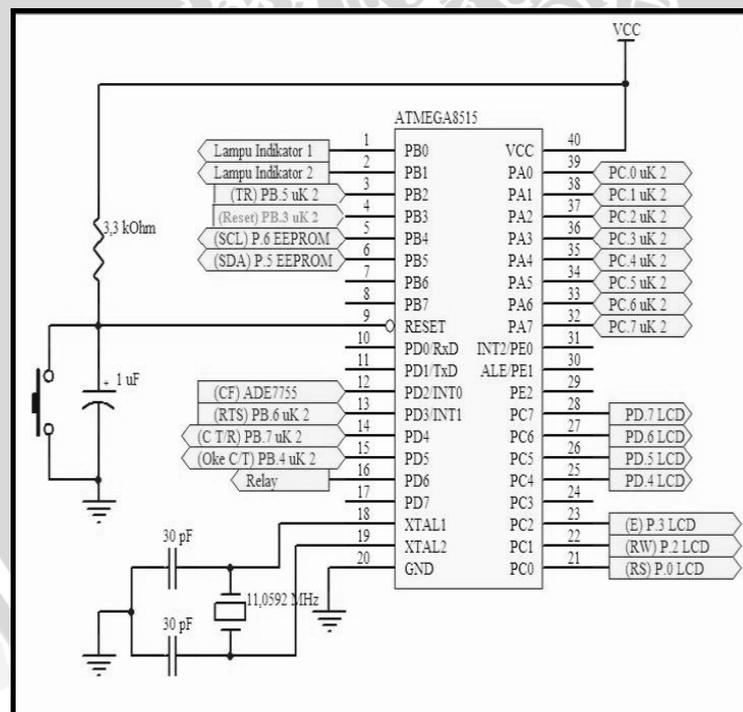
$$V_2 = \frac{0,0305 \times 2,5^2}{8,06 \times 33,3m \times 1 \times 3,4}$$

$$V_2 = \frac{0,1906}{0,9126} = 208,89 \text{ mV}$$

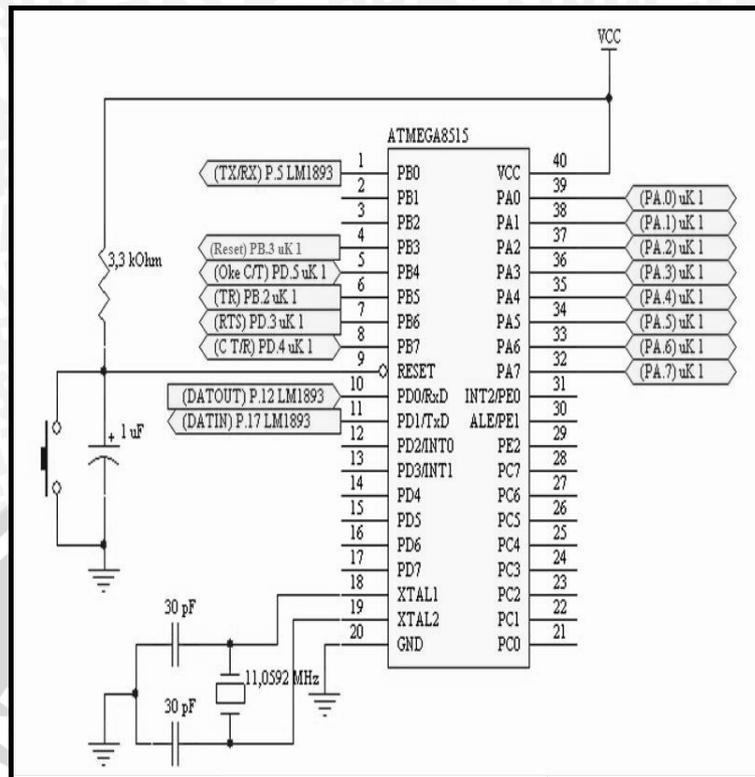
Untuk mendapatkan tegangan sebesar 208,85 V pada *channel* V2, resistor variabel pada rangkaian penurun tegangan dalam Gambar 4.6 diputar sampai didapatkan nilai yang sesuai.

4.4.2 Rangkaian mikrokontroler ATMEGA8515

Mikrokontroler yang digunakan pada rangkaian ini adalah mikrokontroler tipe ATMEGA8515 yang merupakan produk dari Atmel. Komponen ini merupakan sebuah chip tunggal sebagai pusat pengolah data dan pengontrolan alat. Mikrokontroler ini dipilih karena mudah diperoleh di pasaran. Sebagai otak dari pengolahan data dan pengontrolan alat, pin-pin ATMEGA8515 dihubungkan pada rangkaian pendukung membentuk suatu sistem seperti dalam Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.



Gambar 4.7 Rangkaian mikrokontroler 1



Gambar 4.8 Rangkaian mikrokontroler 2

Pin-pin mikrokontroler 1 yang digunakan yaitu:

1. Port A
PA.0-PA.7 digunakan sebagai bus data ke mikrokontroler 2.
2. Port B
PB.0 digunakan sebagai keluaran untuk lampu indikator perhitungan .
PB.1 digunakan sebagai keluaran untuk lampu indikator nominal kWh habis.
PB.2 digunakan sebagai penerima sinyal TR (tanda mikrokontroler 2 meminta atau memberi data.
PB.4 digunakan sebagai pemberi sinyal SCL pada EEPROM.
PB.5 digunakan sebagai pemberi sinyal SDA pada EEPROM.
3. Port C
PC.0 digunakan sebagai pengirim perintah RS pada LCD.
PC.1 digunakan sebagai pengirim perintah RW pada LCD.
PC.2 digunakan sebagai pengirim perintah E pada LCD.
PC.4-PC.7 digunakan sebagai bus data ke LCD port D4-D7.
4. Port D
PD.2 menerima sinyal counter dari ADE7755 (interrupt 0).
PD.3 menerima sinyal RTS dari mikrokontroler 2 (interrupt 1).

PD.4 sebagai pengirim dan penerima sinyal clock.

PD.5 sebagai pengirim dan penerima sinyal sebagai tanda bahwa data telah masuk.

PD.6 sebagai keluaran untuk sinyal pem/Cu relay.

Sedangkan mikrokontroler 2, pin-pin yang digunakan yaitu:

1. Port A

PA.0-PA.7 digunakan sebagai bus data ke mikrokontroler 2.

2. Port B

PB.0 digunakan sebagai pemilih mode *transmit* atau *receive* modem PLC

PB.4 sebagai pengirim dan penerima sinyal sebagai tanda bahwa data telah masuk.

PB.5 digunakan sebagai pengirim sinyal TR (tanda mikrokontroler 2 meminta atau memberi data).

PB.6 digunakan sebagai pengirim sinyal RTS untuk memulai komunikasi dengan mikrokontroler 1.

PB.7 sebagai pengirim dan penerima sinyal clock.

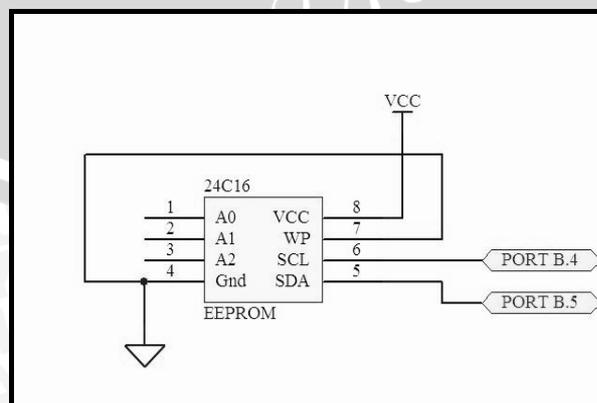
3. Port D

PD.0 sebagai jalur data *serial in*.

PD.1 sebagai jalur data *serial out*.

4.4.3 Rangkaian EEPROM Serial

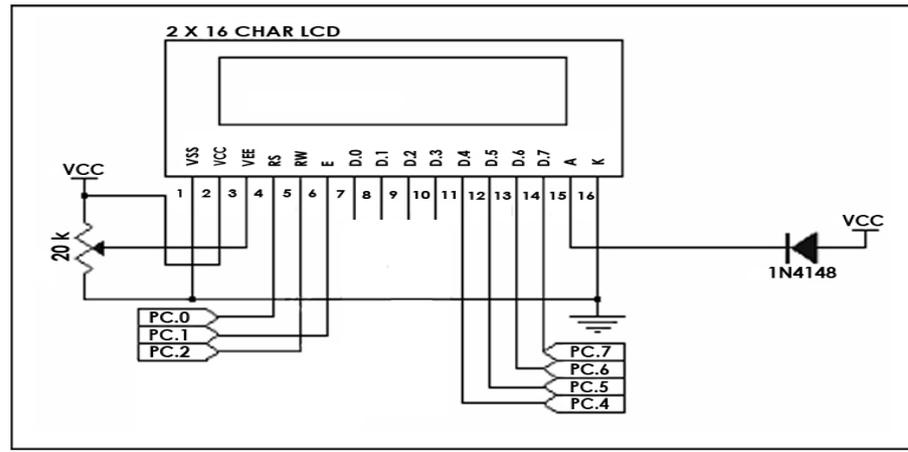
EEPROM yang digunakan adalah tipe serial *i2c* 24C16A buatan Atmel. Akses EEPROM 24C16A cukup dengan menghubungkan langsung pin SCL dan SDA ke mikrokontroler. Rangkaian memori eksternal menggunakan EEPROM 24C16A dapat dilihat dalam Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Rangkaian EEPROM

4.4.4 Rangkaian Display

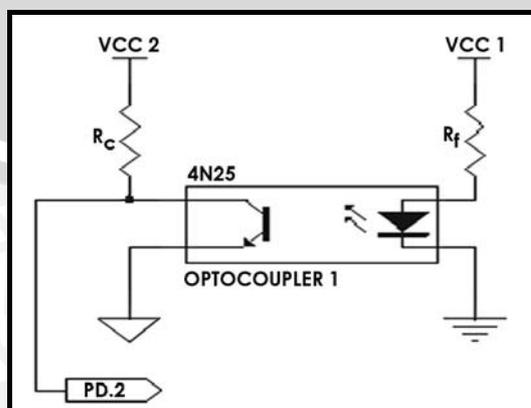
LCD yang digunakan adalah tipe M1632 (16 kolom x 2 baris). Bus data LCD (D4-D7) terhubung dengan port C mikrokontroler (PC.4-PC.7). RS dihubungkan dengan port C.0 dari mikrokontroler. Sedangkan untuk mengaktifkan E (Enable) LCD dibutuhkan keluaran dari port C.2. Untuk mengatur tingkat kecerahan LCD digunakan resistor variabel 20 k Ω . Gambar 4.10 memperlihatkan rangkaian LCD dan konfigurasi pinnya.



Gambar 4.10 Rangkaian LCD

4.4.5 Rangkaian Optocoupler

Optocoupler digunakan untuk mengisolasi rangkaian mikrokontroler dengan rangkaian penghitung pemakaian energi listrik ADE7755 yang terhubung dengan jala-jala listrik. Optocoupler dipasang agar gangguan dari jala-jala listrik tidak mengganggu kinerja mikrokontroler. Optocoupler yang digunakan adalah tipe Optoswitch 4N25 yang memiliki nilai CTR 20%. Rangkaian optoswitch yang dirancang dapat dilihat dalam Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Rangkaian Optoswitch 1

VCC 1 merupakan keluaran pin CF ADE7755 yaitu sebesar 4 V. Tegangan PD.2 yang diinginkan pada saat VCC 1 = 4 V adalah $\leq 0,5$ V dan tegangan PD.2 saat VCC 1 = 0 V adalah ≥ 4.5 V. Pertama tentukan besar arus I_f yang melewati R_f saat VCC 1= 4 V yaitu sebesar 10 mA. Nilai R_f dapat dicari menggunakan Persamaan 4-5.

$$R_f = \frac{VCC1 - V_{led}}{I_f} \quad (4-5)$$

$$R_f = \frac{(4 - 1,5)V}{10mA}$$

$$R_f = 250 \Omega$$

Dengan $I_f = 10$ mA dan CTR 20%, berikutnya nilai I_C dapat dicari menggunakan Persamaan 4-6.

$$CTR = \frac{I_C}{I_F} \times 100\% \quad (4-6)$$

$$I_C \times 100\% = I_F \times CTR$$

$$I_C \times 100\% = 10mA \times 20\%$$

$$I_C = 2mA$$

VCC 2 = 5 V dan keluaran PD.2 = 0,5 V. Dengan $I_C = 2$ mA, maka didapatkan nilai R_C sebagai berikut:

$$V_{PD,2} = VCC2 - (I_C \times R_C) \quad (4-7)$$

$$R_C = \frac{VCC2 - V_{PD,2}}{I_C}$$

$$R_C = \frac{(5 - 0,5)V}{2mA}$$

$$R_C = 2250 \Omega \approx 2,2 k\Omega$$

Sekarang dibuktikan bahwa keluaran PD.2 saat VCC 1 = 0 V adalah $\geq 4.5V$ dengan cara sebagai berikut:

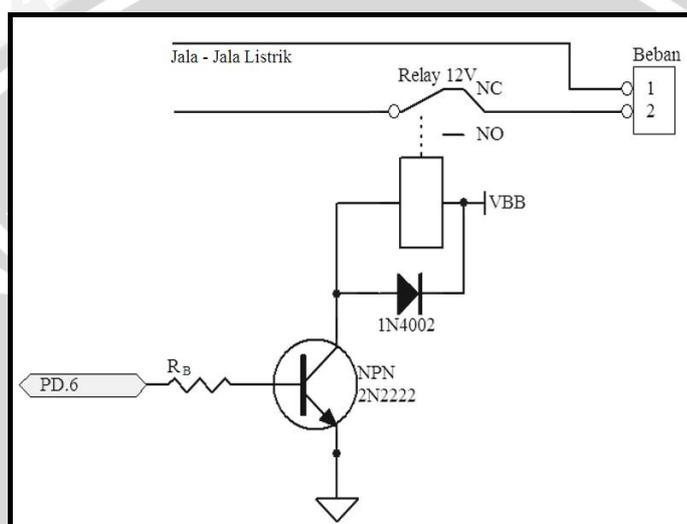
$$V_{PD,2} = VCC2 - (I_{CEO} \times R_C) \quad (4-8)$$

$$V_{PD,2} = 5 - (100n \times 2200)$$

$$V_{PD,2} = 4,99978 \text{ V}$$

4.4.6 Rangkaian Sakelar Otomatis

Sakelar otomatis yang digunakan adalah *relay* 12 Volt. Rangkaian *driver* yang digunakan untuk menggerakkan *relay* yang terhubung dengan jala-jala terdiri dari transistor NPN 2N2222 yang difungsikan sebagai transistor *switching* dan dioda 1N4002 yang dihubungkan paralel dengan *relay*. Rangkaian *driver relay* secara keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 4.12.



Gambar 4.12. Rangkaian *relay*

Rangkaian *driver* berfungsi untuk menggerakkan *relay* yang terhubung dengan jala-jala listrik. Tegangan keluaran dari mikrokontroler dihubungkan dengan *driver* *relay*, sehingga *relay* akan aktif dan dapat memutuskan aliran listrik ke rumah. Untuk Perhitungan rangkaian *driver* dalam Gambar 4.12, terlebih dahulu harus dicari nilai R_B . Data yang diperlukan untuk mencari besar resistansi R_B adalah sebagai berikut:

Data transistor 2N2222 yang diperoleh dari *datasheet* adalah:

- Besar pengukuran tahanan dalam *relay* ($R_{relay} = R_c$) = 400 Ω .
- V_{ce} saturasi = 0,4 V.
- V_{BB} = 15 volt.
- h_{fe} minimum = 35.
- V_{be} = 1,3 volt.

Dengan resistansi *relay* sebesar 400 Ω , tegangan catu sebesar 14 V, dan V_{ce} saturasi sebesar 0,5 V maka dengan menggunakan Persamaan 4-9 besar arus I_{relay} adalah :

$$I_{relay} = \frac{V_{cc} - V_{ce}}{R_{relay}} \tag{4-9}$$

$$I_{relay} = \frac{15\text{ V} - 0,4\text{ V}}{400\ \Omega} = 36,5\text{ mA}$$

Dengan *hfe* minimum 35 maka dalam perancangan dapat digunakan *hfe* 80 agar transistor berkerja optimal dan dengan menggunakan Persamaan 4-10 maka besar arus basis:

$$I_B = \frac{I_c}{hfe} \tag{4-10}$$

$$I_B = \frac{36,5\text{ mA}}{80} = 0,45\text{ mA}$$

Jika *Vbb* adalah tegangan keluaran dari mikrokontroler saat logika tinggi yaitu sebesar 4,5 V dan *Vbe* = 1,3 V maka dengan menggunakan Persamaan 4-11 besar resistansi *Rb* adalah:

$$R_B = \frac{V_{bb} - V_{be}}{I_b} \tag{4-11}$$

$$R_B = \frac{4,5\text{ V} - 1,3\text{ V}}{0,45\text{ mA}} = 7,1\text{ k}\Omega$$

Dengan resistansi *R_B* sebesar 7,1 kΩ, arus *I_B* menjadi 0,45 mA sehingga telah diperoleh arus *I_B* yang dibutuhkan.

4.5 Perancangan Protokol Komunikasi

Agar terjadi komunikasi antara unit sentral data dengan unit penghitung pemakaian energi listrik dan antara blok penghitung dengan blok *tranceiver* pada unit penghitung pemakaian energi listrik, diperlukan suatu protokol komunikasi.

4.5.1 Protokol Komunikasi Unit Penghitung Pemakaian Energi Listrik Dengan Unit Sentral Data

Format data komunikasi antara unit sentral data dengan unit penghitung pemakaian energi listrik dirancang dengan format seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.13.

Header	Kode Perintah	Tujuan	Sumber	Atas	Tengah	Bawah	Error check
--------	---------------	--------	--------	------	--------	-------	-------------

Gambar 4.13 Format data komunikasi antara unit sentral data dengan unit penghitung pemakaian energi listrik

Keterangan :

Header = 3 byte header

Kode Perintah = 8 bit kode perintah.

Tujuan = 8 bit alamat tujuan pengiriman data

Sumber = 8 bit alamat pengirim data

Atas, Tengah, Bawah = 24 bit nominal *nominal kWh*

Error check = 8 bit penanda kebenaran pengiriman data

Dengan format data komunikasi tersebut, maka jumlah rumah yang bisa ditangani adalah 255 rumah dan nominal *nominal kWh* maksimal yang bisa dibeli adalah 16777,215 kWh.

Adapun protokol antara unit penghitung pemakaian energi listrik dengan unit sentral data adalah sebagai berikut:

1. Unit sentral data akan mengirimkan perintah sesuai format data yang ditunjukkan oleh Gambar 4.13. Blok "tujuan" adalah ID pelanggan dan Blok "sumber" adalah ID pos sentral.
2. *Header* komunikasi yang dikirim secara urut adalah karakter "\$", "*", "#".
3. Begitu data sampai pada mikrokontroler 2 di unit penghitung energi listrik, maka akan diperiksa apakah *header* sesuai.
4. Jika *header* sesuai dengan yang telah ditetapkan, maka mikrokontroler 2 akan memeriksa apakah ID yang dikirim sesuai dengan ID pada mikrokontroler 2.
5. Jika ID sesuai, maka perintah akan diterima oleh mikrokontroler 2 dan selanjutnya mikrokontroler 2 akan melakukan pemeriksaan kebenaran data yang diterima dengan cara membandingkannya dengan *byte Error check* yang diterima. Jika tidak sama, maka mikrokontroler 2 akan mengirim informasi ke pos sentral bahwa data yang diterima salah.
6. Jika data yang dibandingkan sama, maka mikrokontroler 2 meneruskan data perintah ke mikrokontroler 1. Kemudian mikrokontroler 2 akan menunggu jawaban dari mikrokontroler 1.
7. Setelah mikrokontroler 2 menerima data dari mikrokontroler 1, maka mikrokontroler 2 akan mengirim data nominal kWh yang baru ke pos pusat dengan format data yang ditunjukkan dalam Gambar 4.13. Blok "tujuan" adalah ID pos sentral dan Blok "sumber" adalah ID pelanggan. *Header* yang dikirim secara urut adalah karakter "\$", "*", "#".

4.5.2 Protokol Mikrokontroler 1 dengan Mikrokontroler 2

Protokol komunikasi antara mikrokontroler 1 dengan mikrokontroler 2 yang dirancang adalah sebagai berikut:

1. Saat pusat data memberikan nominal kWh.
 - a. Untuk memulai komunikasi, uK 2 mengirim sinyal RTS (logika *high*) ke uK 1.
 - b. Uk 2 akan menunggu selama 5 mikrodetik agar uK1 siap melakukan komunikasi, kemudian uK 2 mengirim sinyal T/R (logika *high*) ke uK 1 yang berarti uK 2 akan mengirim data.
 - c. uK2 memasukkan data ke bus data.
 - d. uK 2 mengirim sinyal *clock* (logika *high*) ke uK 1 agar data disimpan di uK 1.
 - e. Uk 1 mengirim sinyal *data ok* (logika *high*) ke uK 2 yang berarti data sudah masuk.
 - f. Data baru yang telah diakumulasi dengan data lama dimasukkan ke bus data oleh uK untuk dikirim kembali ke uK 2.
 - g. uK 1 memberikan sinyal *clock* (logika *high*) ke uK 2 agar uK 2 menyimpan data yang baru.
 - h. uK 2 mengirim sinyal *data ok* (logika *high*) ke uK 1 yang berarti data sudah masuk.
2. Saat pusat data meminta sisa nominal kWh.
 - a. Untuk memulai komunikasi, uK 2 mengirim sinyal RTS (logika *high*) ke uK 1.
 - b. Uk 2 akan menunggu selama 5 mikrodetik agar uK1 siap melakukan komunikasi, kemudian uK 2 mengirim sinyal T/R (logika *low*) ke uK 1 yang berarti uK 2 meminta data.
 - c. uK1 memasukkan data ke bus data.
 - d. uK 1 mengirim sinyal *clock* (logika *high*) ke uK 2 agar data disimpan di uK 2.
 - e. Uk 2 mengirim sinyal *data ok* (logika *high*) ke uK1 yang berarti data sudah masuk.
3. Saat pusat data mengganti nominal kWh.
 - a. Untuk memulai komunikasi, uK 2 mengirim sinyal RTS (logika *high*) ke uK 1.

- b. Uk 2 akan menunggu selama 5 mikrodetik agar uK1 siap melakukan komunikasi, kemudian uK 2 mengirim sinyal *RESET* (logika *high*) yang berarti perintah untuk mengganti nominal kWh di *EEPROM* uK 1.
- c. uK 2 mengirim sinyal T/R (logika *high*) ke uK 1 yang berarti uK 2 akan mengirim data.
- d. uK2 memasukkan data ke bus data.
- e. uK 2 mengirim sinyal *clock* (logika *high*) ke uK 1 agar data disimpan di uK 1.
- f. Uk 1 mengirim sinyal *data ok* (logika *high*) ke uK 2 yang berarti data sudah masuk.
- g. Setelah nominal kWh telah diganti, data nominal kWh yang baru dimasukkan ke bus data oleh uK 1 untuk dikirim kembali ke uK 2.
- h. uK 1 memberikan sinyal *clock* (logika *high*) ke uK 2 agar uK 2 menyimpan data yang baru.
- i. uK 2 mengirim sinyal *data ok* (logika *high*) ke uK 1 yang berarti data sudah masuk.

4.6 Perancangan Perangkat Lunak Mikrokontroler

Pengendalian sistem dan pengolahan data pada alat ini dikendalikan sepenuhnya oleh perangkat lunak dari mikrokontroler ATMEGA8515. Perangkat lunak ini tersusun dari instruksi-intruksi yang membentuk sebuah listing program (*source program*).

Program dibuat secara terstruktur dalam beberapa subrutin yang secara khusus menangani fungsi tertentu agar memudahkan pembuatan dan pencarian kesalahan serta pengujian program sehingga dapat bekerja dengan baik. Program dibuat menggunakan *Code Vision AVR* buatan HP *info tech*. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa C.

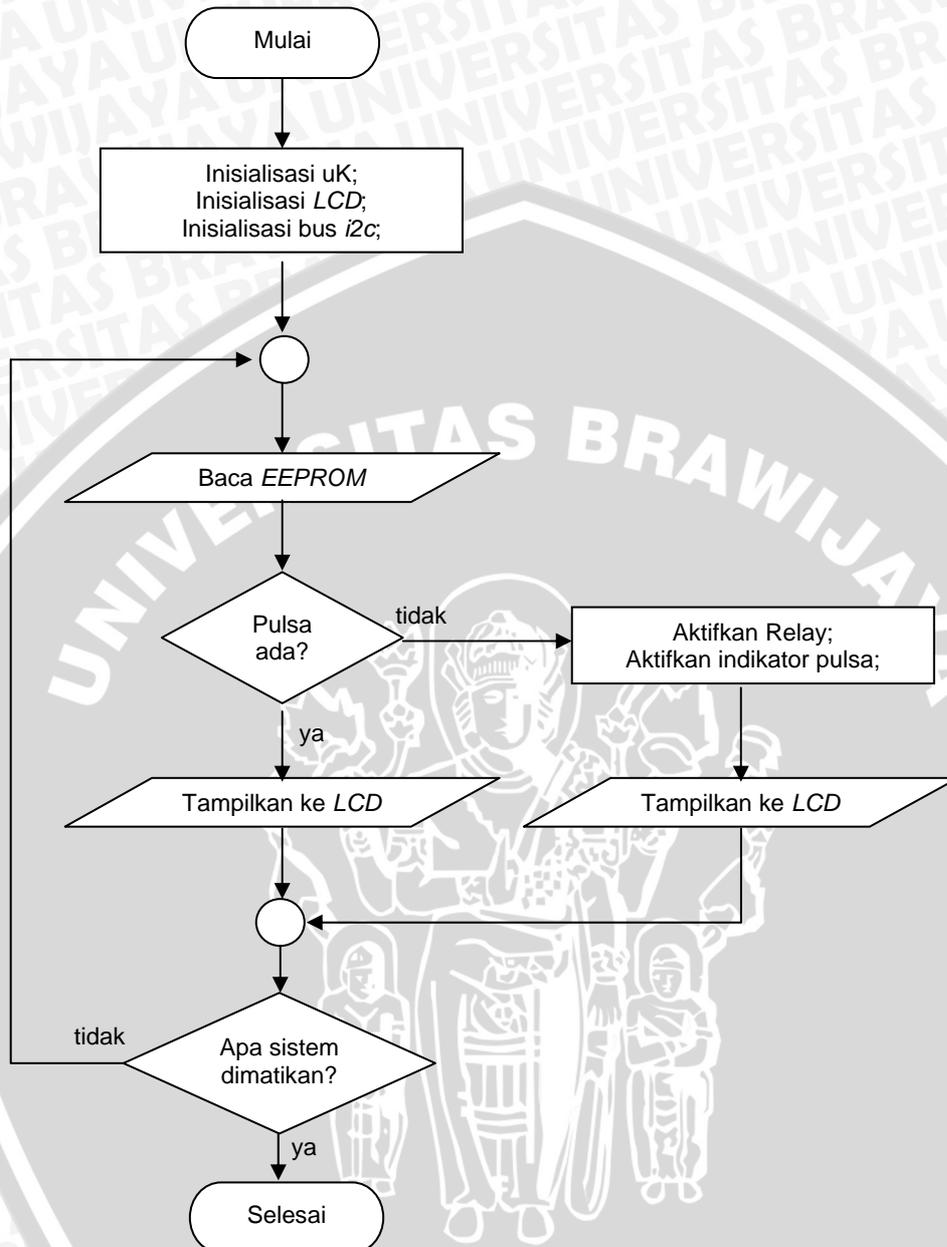
4.6.1 Mikrokontroler 1

Mikrokontroler 1 bertugas mengatur perhitungan energi listrik terpakai, menyimpan data nominal kWh ke *EEPROM*, dan menampilkannya pada *display*.

4.6.1.1 Diagram Alir Program Utama

Gambar 4.14 memperlihatkan diagram alir program utama dari Unit Penghitung Pemakaian Energi Listrik yang diawali dengan inisialisasi port mikrokontroler yang

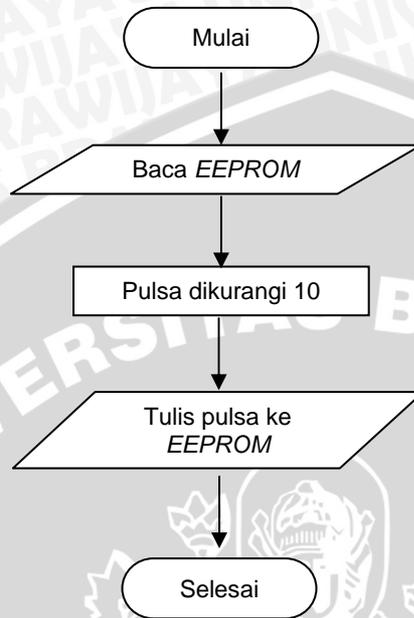
digunakan, inisialisasi *i2c Bus*, dan inisialisasi *LCD*. Program utama ini hanya membaca data di *EEPROM* dan menampilkannya ke *LCD*.



Gambar 4.14 Diagram alir fungsi utama

4.6.1.2 Diagram Alir Fungsi *Interrupt 0*

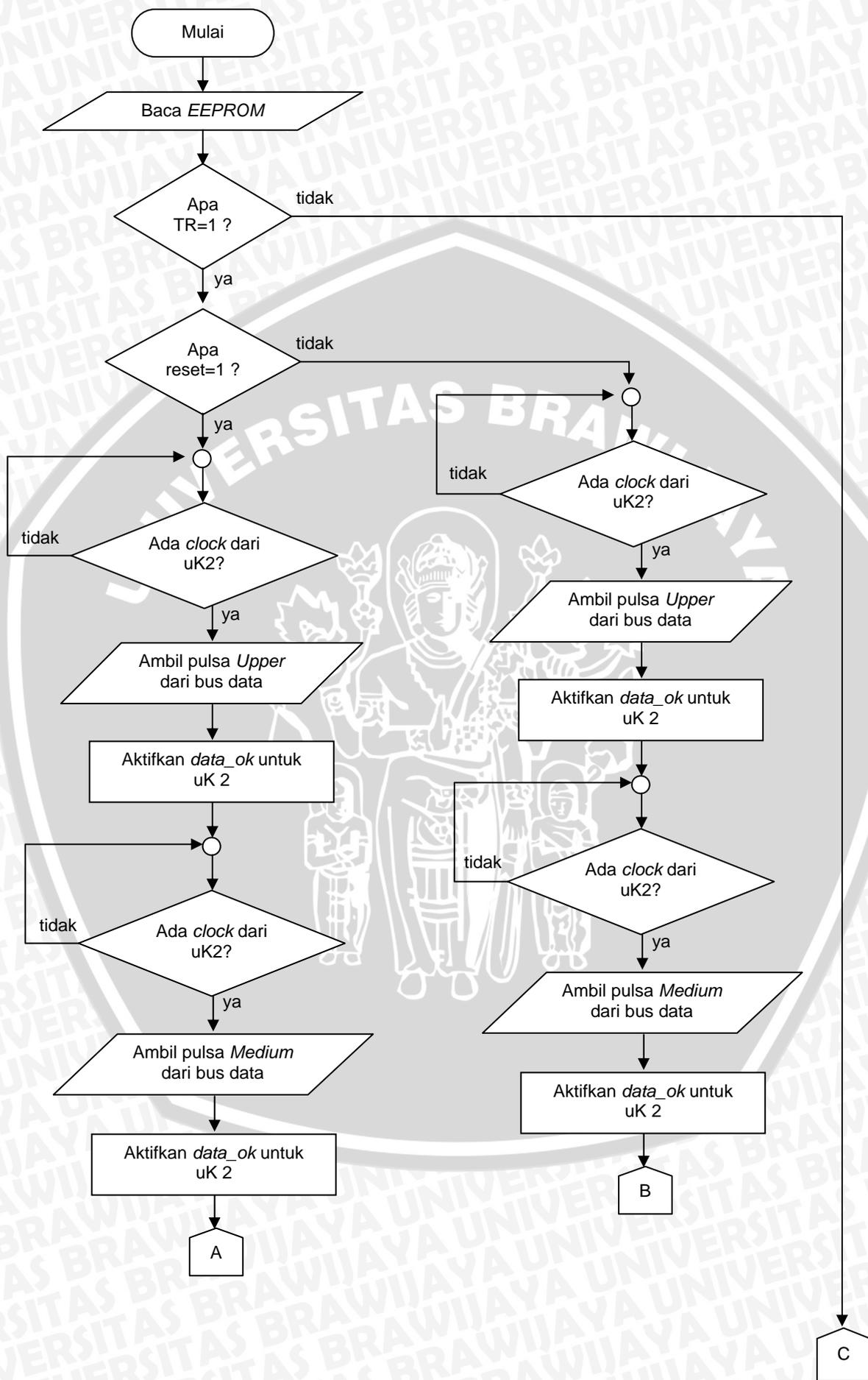
Fungsi *interrupt 0* merupakan *counter* yang akan mengurangi data nominal kWh apabila ADE7755 mengirim sinyal *clock* serta menyimpan data baru ke *EEPROM*. Diagram alir fungsi *interrupt 0* dapat dilihat dalam Gambar 4.15.

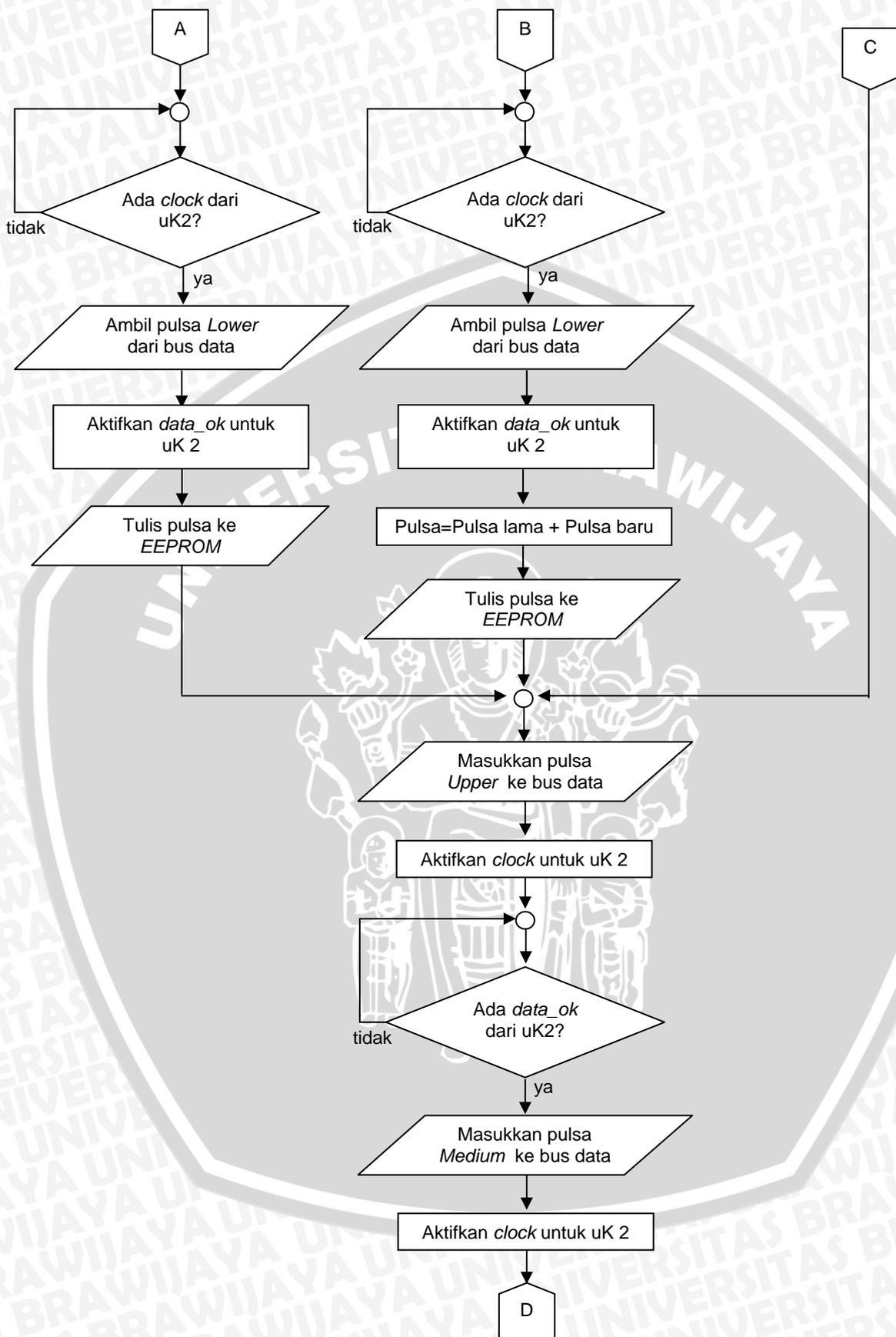


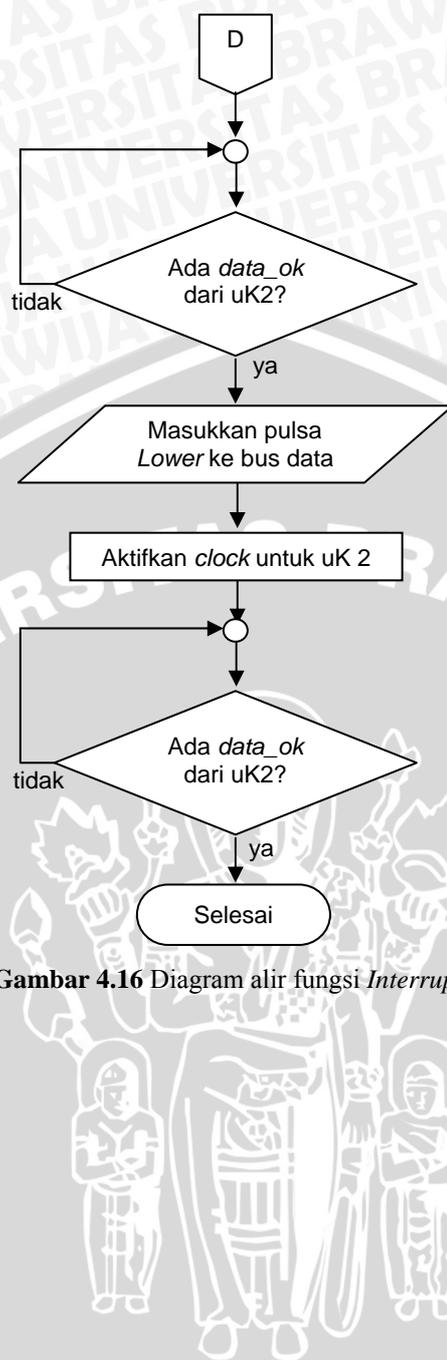
Gambar 4.15 Diagram alir fungsi *Interrupt 0*

4.6.1.3 Diagram Alir Fungsi *Interrupt 1*

Gambar 4.16. menjelaskan urutan dari subrutin *Interrupt 1*. *Interrupt 1* merupakan fungsi yang mengatur komunikasi dengan mikrokontroler 2. Untuk memulai komunikasi, mikrokontroler 2 akan mengirim sinyal RTS yang kemudian ditanggapi oleh mikrokontroler 1. Setelah mendapat sinyal RTS, mikrokontroler 1 akan mengecek sinyal T/R dari mikrokontroler 2 apakah bernilai 0 atau 1. Mikrokontroler 1 juga akan mengecek apakah sinyal *reset* bernilai 0 atau 1. Apabila T/R=0 berarti mikrokontroler 2 meminta data nominal kWh sedangkan jika T/R=1 berarti mikrokontroler 2 akan memberikan data nominal kWh. Apabila *reset* bernilai 1, maka mikrokontroler 1 akan menulis data yang dikirim pusat data di *EEPROM* tanpa menjumlahkannya dengan nominal kWh yang lama. Karena data nominal kWh sebesar 3 *byte*, pengiriman dan penerimaan data nominal kWh dilakukan per *byte* sebanyak tiga kali. Saat mikrokontroler 1 sudah menerima data nominal kWh lengkap maka nominal kWh yang ada diakumulasikan dengan nominal kWh yang baru dan nominal kWh yang baru akan dikirim lagi ke mikrokontroler 2 untuk seterusnya dikirim kembali ke pusat data sebagai konfirmasi bahwa nominal kWh yang telah dibeli sudah masuk ke unit penghitung pemakaian energi listrik di rumah pelanggan.



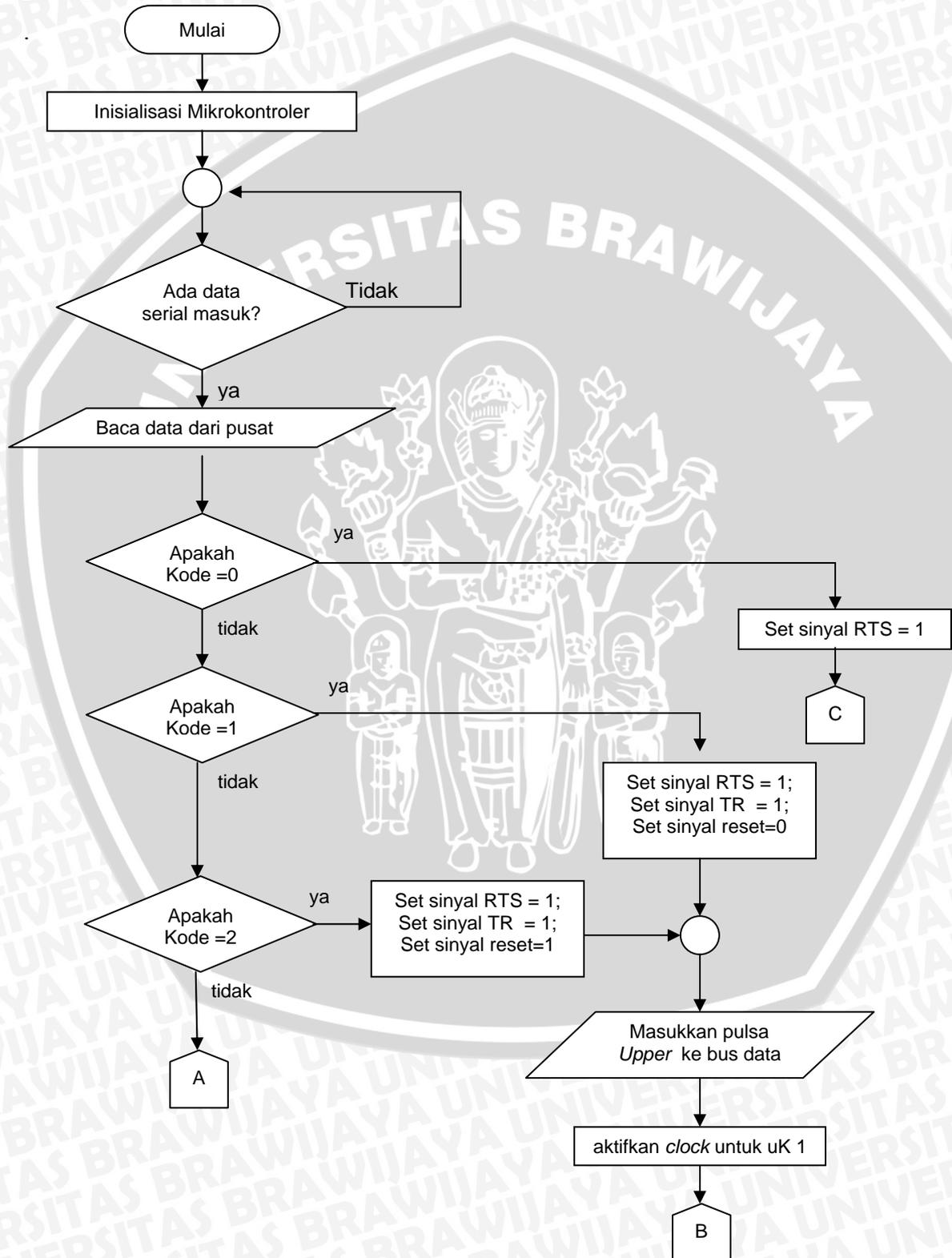


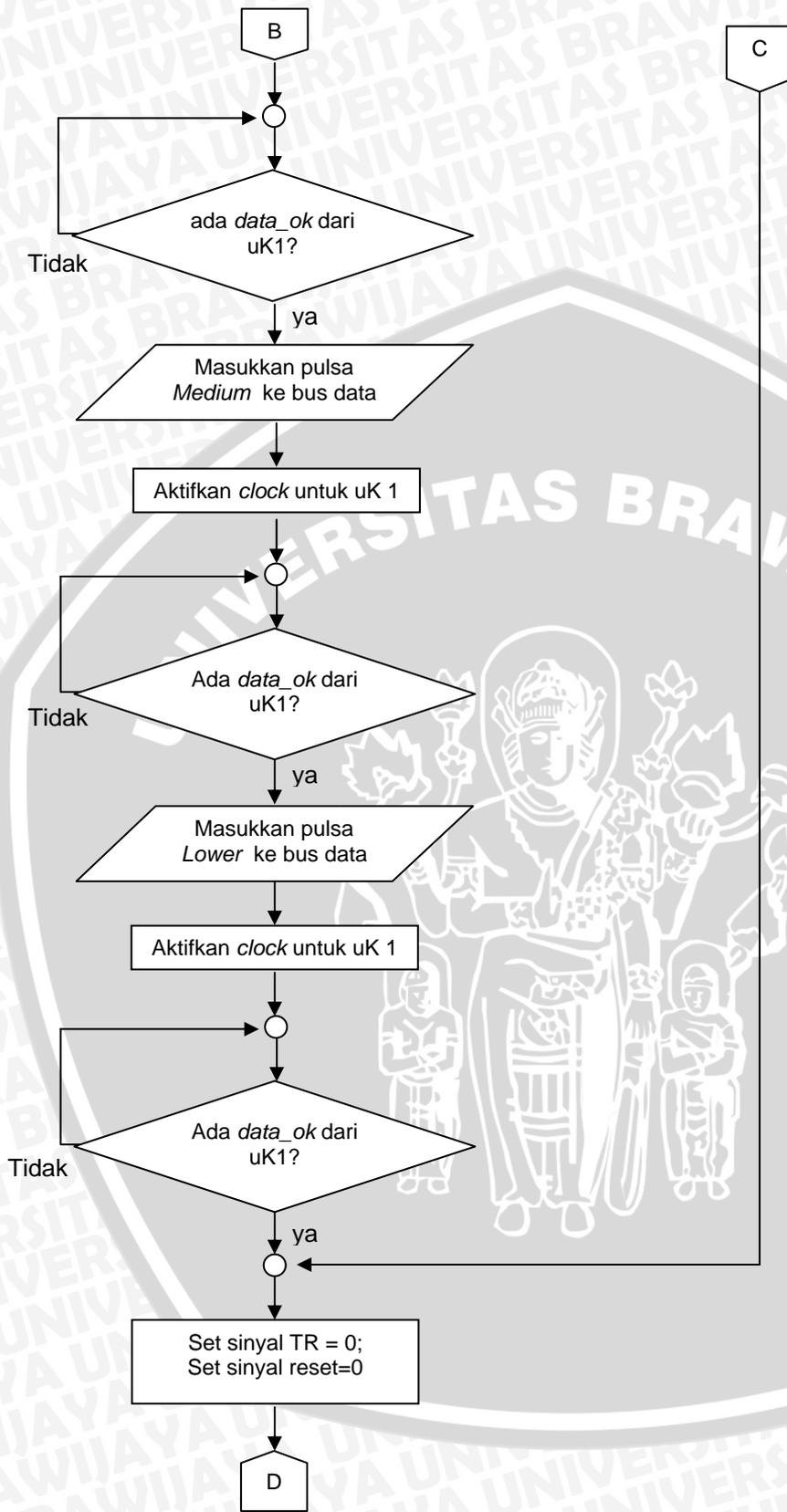


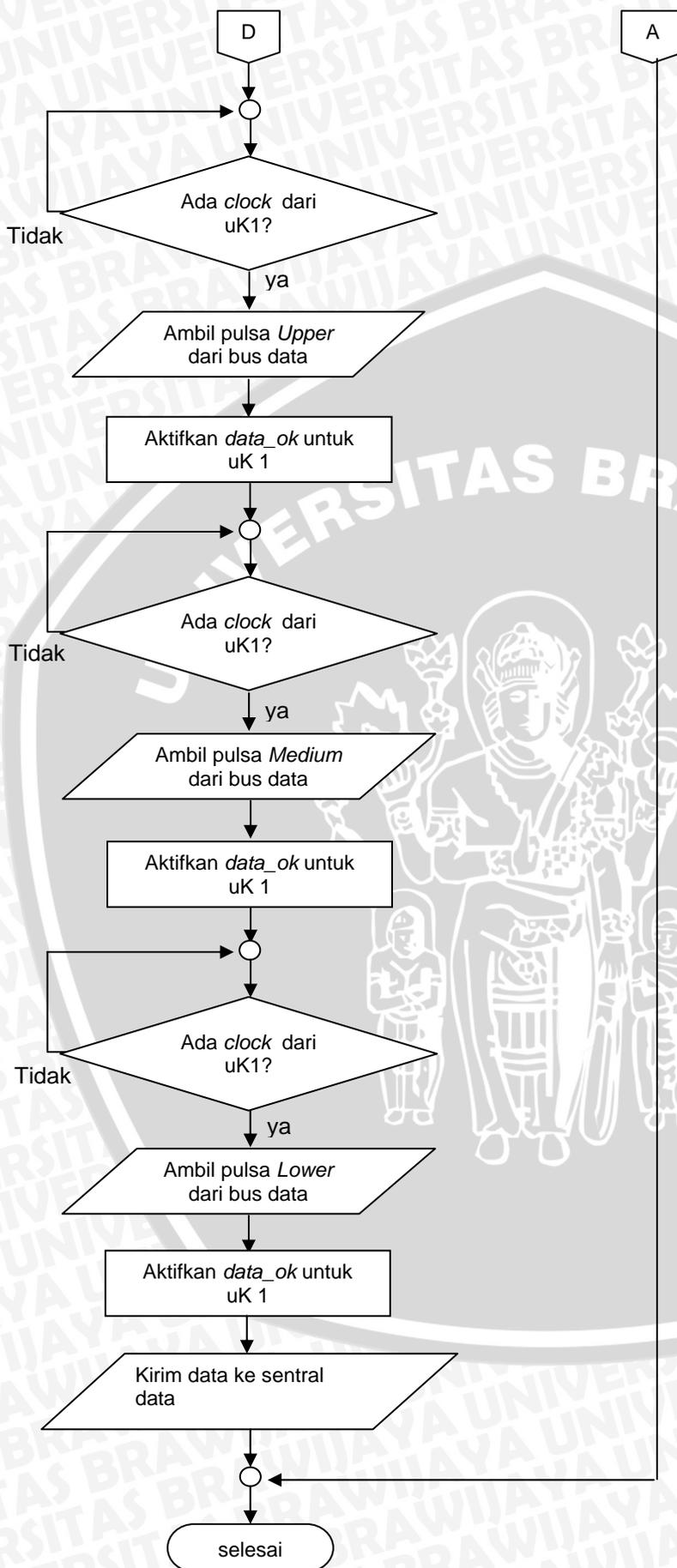
Gambar 4.16 Diagram alir fungsi *Interrupt 1*

4.6.2 Mikrokontroler 2

Mikrokontroler 2 bertugas mengatur komunikasi Unit Penghitung Pemakaian Energi Listrik dengan Unit Sentral Data. Mikrokontroler 2 terhubung dengan modem PLC secara serial dan terhubung dengan mikrokontroler 1 secara paralel. Diagram alir perangkat lunak untuk mikrokontroler 2 dapat dilihat dalam Gambar 4.17.







Gambar 4.17 Diagram alir program mikrokontroler 2

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini berisi penjelasan prosedur pengujian dari alat yang telah dirancang guna mengetahui sistem dapat bekerja dengan baik sesuai dengan perencanaan. Pengujian dilakukan dengan memberikan perubahan pada masukan blok rangkaian dan mengamati keluaran dari blok rangkaian yang diuji tersebut. Data hasil pengujian yang diperoleh nantinya akan dianalisis untuk dijadikan acuan dalam mengambil kesimpulan.

5.1 Pengujian mikrokontroler dan LCD

5.1.1 Tujuan

Pengujian dilakukan untuk melihat apakah sistem mikrokontroler dapat bekerja dan mampu menampilkan karakter pada LCD.

5.1.2 Peralatan Pengujian

Peralatan-peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. Rangkaian mikrokontroler ATMEGA8515.
2. Modul *Liquid Crystal Display* tipe 16x2.
3. Rangkaian LED.
4. Catu daya 5 Volt.

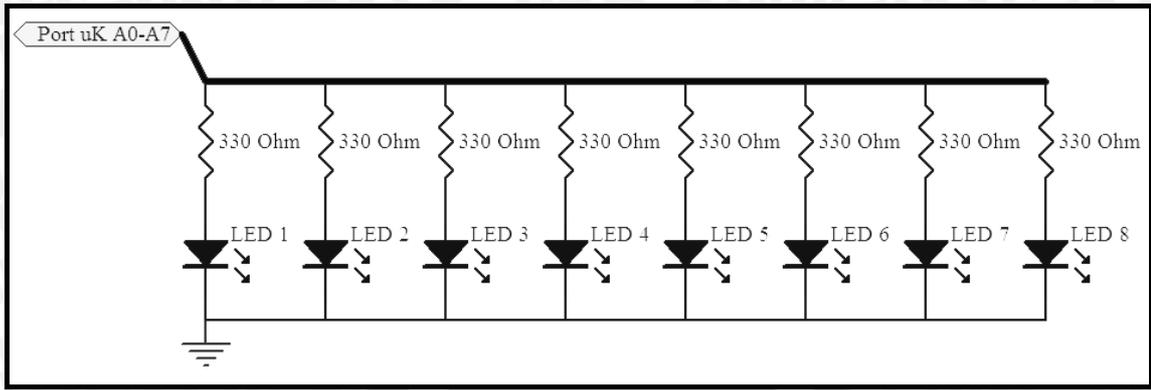
5.1.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian sistem mikrokontroler ATMEGA8515 dan LCD adalah sebagai berikut:

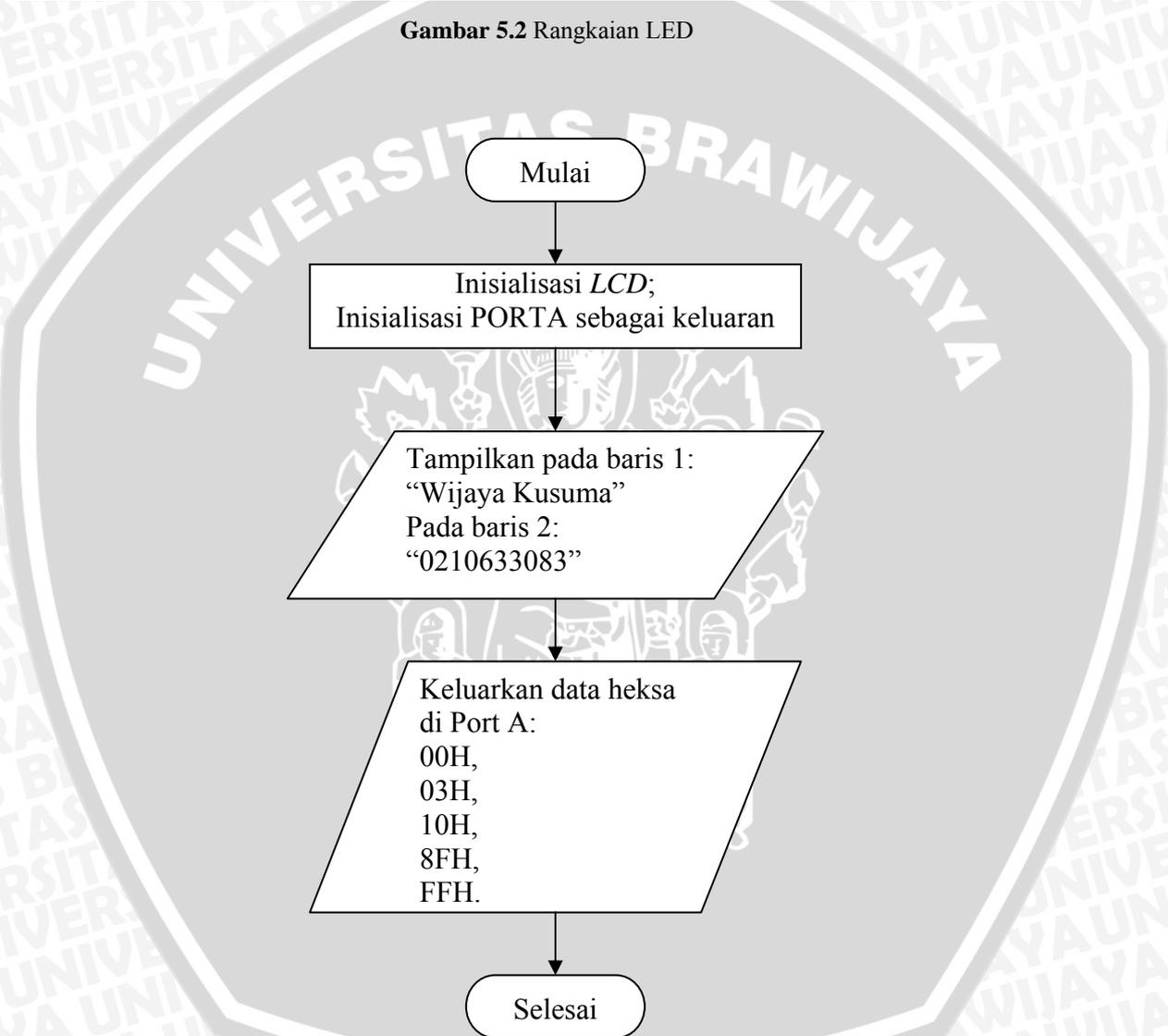
1. Menggabungkan rangkaian pengujian seperti blok Gambar 5.1.
2. Menggunakan rangkaian LED seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.2.
3. Membuat perangkat lunak mikrokontroler untuk pengujian yang di dalamnya membuat karakter "Wijaya Kusuma" pada baris pertama LCD dan "0210633083" pada baris kedua. Dan juga membuat Port A sebagai keluaran dan mengeluarkan data heksa 00H, 03H, 10H, 8FH, dan FFH.



Gambar 5.1 Diagram blok pengujian mikrokontroler dan LCD



Gambar 5.2 Rangkaian LED



Gambar 5.3 Diagram alir perangkat lunak pengujian mikrokontroler dan LCD

5.1.4 Data Pengujian

Saat diuji, mikrokontroler dapat membuat karakter yang diinginkan seperti yang terlihat dalam Gambar 5.4. Selain itu, PORTA pada mikrokontroler juga dapat mengeluarkan data seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5.1.



Gambar 5.4 Karakter yang berhasil ditulis oleh mikrokontroler pada *LCD*

Tabel 5.1 Data keluaran pada PORTA

No	Data	LED							
		7	6	5	4	3	2	1	0
1.	00 H	OFF							
2.	03 H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON
3.	10 H	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
4.	8F H	ON	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	ON
5.	FF H	ON							

5.1.5 Analisis Data Pengujian

Dari hasil pengujian yang ditunjukkan oleh Gambar 5.4 dan Tabel 5.1 dapat diketahui keberhasilan pengujian mikrokontroler dan *LCD* adalah 100%. Faktor yang perlu diperhatikan dalam penggunaan port ATMEGA8515 adalah inisialisasi port untuk digunakan sebagai keluaran atau masukan dengan mengisi *Data Direction Register* (DDR) port. Sedangkan dalam penggunaan *LCD* perlu diperhatikan juga bagaimana inisialisasinya sesuai yang ditunjukkan oleh *datasheet*.

5.2 Pengujian Rangkaian Pengukur Energi Listrik ADE7755

5.2.1 Pengujian Pengaruh Tegangan Pada *Channel V2* (*V2 P* dan *V2 N*) Terhadap Frekuensi Keluaran Pada Pin CF

5.2.1.1 Tujuan

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk melihat pengaruh beda tegangan pada *channel V2* (pin *V2 P* dan *V2 N*) terhadap frekuensi keluaran yang dihasilkan oleh *IC ADE7755* dan ketepatan pengukuran energi listrik karena tegangan tersebut merupakan salah satu faktor penentu keberhasilan kalibrasi.

5.2.1.2 Peralatan Pengujian

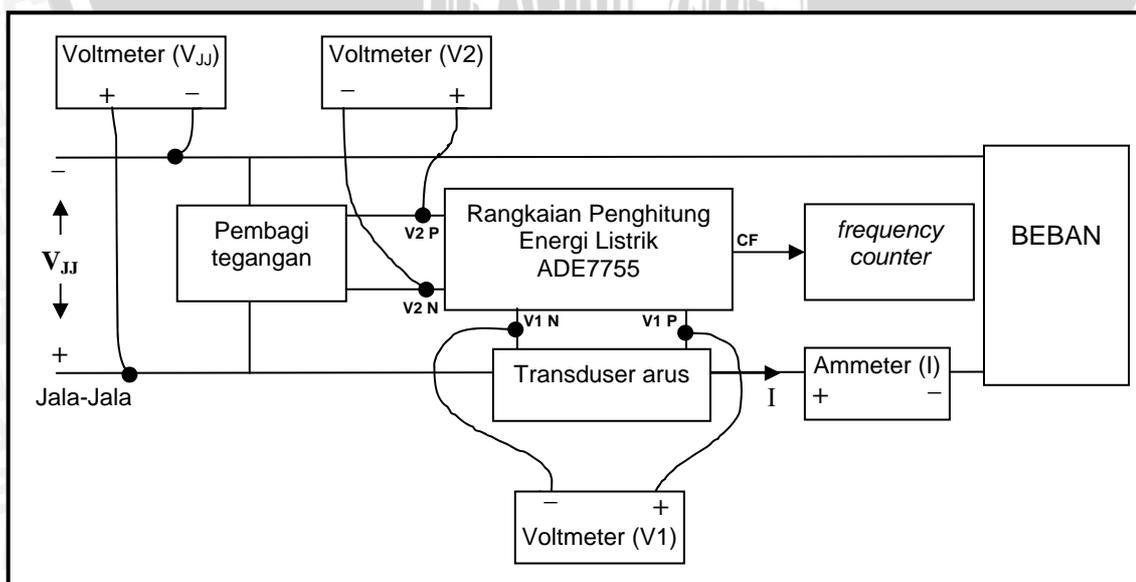
Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. Ammeter.
2. Voltmeter.
3. *Frequency Counter*.
4. Rangkaian penghitung energi listrik menggunakan *IC ADE7755*.
5. Catu energi 5 V.
6. Beban 100 W.

5.2.1.3 Prosedur Pengujian

Langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengkombinasikan rangkaian penghitung energi listrik menggunakan *IC ADE7755* dengan beban 100 watt, voltmeter, ammeter, dan *frequency counter* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.5.
2. Setelah semua terpasang dengan benar, sistem dihubungkan ke jala-jala listrik 220 V dengan frekuensi 50 Hz.
3. Mengubah-ubah beda tegangan pada *channel V2* (pin V2 P dan V2 N) dengan cara memutar resistor variabel pada rangkaian penurun tegangan kemudian arus beban (I), beda tegangan antara pin V1P dan V1N, tegangan jala-jala (V_{JJ}), beda tegangan antara pin V2P dan V2N diukur menggunakan voltmeter dan ammeter, serta frekuensi keluaran *ADE7755* pada pin CF diukur menggunakan *frequency counter*. Kemudian catat nilai-nilai yang ditampilkan oleh voltmeter, ammeter, dan *frequency counter*.



Gambar 5.5 Diagram blok pengujian pengaruh beda tegangan pada *channel V2* (pin V2 P dan V2 N) terhadap frekuensi keluaran pada pin CF

5.2.1.4 Data Pengujian

Pada pengujian ini, tegangan-tegangan V_2 yang ditetapkan dan pengaruhnya terhadap frekuensi keluaran pada pin CF dapat dilihat dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Data pengujian pengaruh tegangan *channel* V2 (V_2) terhadap frekuensi keluaran pin CF

No.	Beban	V_{JJ} (V)	I (A)	V_1 (mV)	V_2 (mV)	Freq. CF
1.	100 W	224	0,46	3,00	100,07	0,042 Hz
2.	100 W	225	0,46	3,00	150,52	0,063 Hz
3.	100 W	224	0,46	3,00	208,84	0,097 Hz
4.	100 W	224	0,46	3,00	250,12	0,105 Hz

5.2.1.5 Analisis Data Pengujian

Pada saat menggunakan beban 100 W, frekuensi yang seharusnya dikeluarkan oleh IC ADE7755 adalah sebesar 0,0888 Hz yang secara teori dapat dihitung menggunakan Persamaan (2-6) yang hasilnya dikali 32 seperti yang ditunjukkan dalam Persamaan (5-1).

$$Freq = \frac{8,06 \times V_1 \times V_2 \times Gain \times F_{1-4}}{V_{ref}^2} \times 32 \quad (5-1)$$

V_2 merupakan tegangan yang didapat dari hasil perhitungan saat dilakukan kalibrasi yang telah dijelaskan dalam bab IV, sub bab 4.4.1.5 yaitu sebesar 208,89 mV. Sedangkan V_1 , terlebih dahulu dihitung arus beban secara teori, yaitu:

$$I = \frac{V_{JJ}}{\left(\frac{(V_{JJ})^2}{Beban} \right)} \quad (5-2)$$

$$I = \frac{220}{\left(\frac{220^2}{100} \right)} = 0,4545 \text{ A}$$

Setelah arus beban didapat, maka V_1 bisa didapat dengan cara mengalikan arus beban dengan resistansi transduser arus yang dibuat.

$$V_1 = I \times R_{TR}$$

$$V_1 = 0,4545 \times 0,0066 = 3,03 \text{ mV}$$

Dengan memasukkan nilai V_1 dan V_2 kedalam Persamaan (5-1), maka didapat:

$$Freq = \frac{8,06 \times 3,03 \text{ mV} \times 208,89 \text{ mV} \times 1 \times 3,4 \text{ Hz}}{6,25 \text{ V}^2} \times 32$$

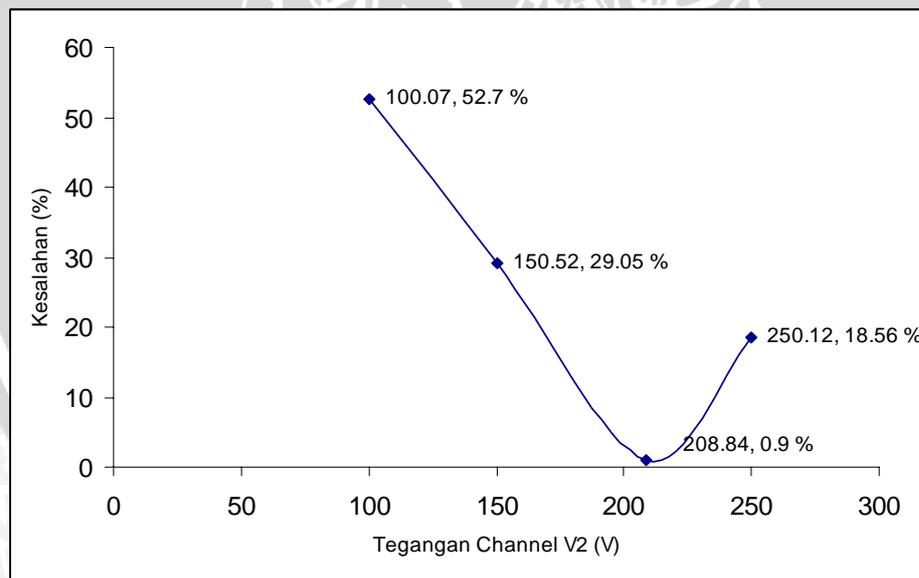
$$Freq = 0,0888 \text{ Hz}$$

Tabel 5.3 menunjukkan perbandingan hasil perhitungan frekuensi keluaran pada pin CF ADE7755 dengan hasil pengujian.

Tabel 5.3 Perbandingan frekuensi keluaran pada pin CF ADE7755

No	Beban	V ₁ (mV)	V ₂ (mV)	Freq. CF (Hasil pengujian Tabel 5.2)	Kesalahan (%)
1.	100 W	3,00	100,07	0,0420 Hz	52,70 %
2.	100 W	3,00	150,52	0,0630 Hz	29,05 %
3.	100 W	3,00	208,84	0,0880 Hz	0,90 %
4.	100 W	3,00	250,12	0,1050 Hz	18,56 %

Dari Tabel 5.3 didapat grafik kesalahan pengukuran yang diakibatkan oleh tegangan pada *channel* V2 (Pin V1P dan V2N) yang bervariasi seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Grafik kesalahan pengukuran yang diakibatkan oleh ketidak tepatan tegangan *channel* V2

Jika beda tegangan pada *channel* V2 (pin V2 P dan V2 N) tidak tepat sebesar 208,89 mV seperti yang telah ditetapkan pada saat kalibrasi, maka akan mengakibatkan frekuensi keluaran pada pin CF tidak sesuai dengan beban yang dipasang sehingga dapat menyebabkan kesalahan pengukuran. Pada Gambar 5.5 dapat dilihat saat tegangan

pada *channel V2* sebesar 208,84 kesalahan pengukuran yang terjadi sebesar 0,9 % yang merupakan kesalahan terkecil pada pengujian ini.

5.2.2 Pengujian Transduser Arus

5.2.2.1 Tujuan

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk melihat pengaruh suhu resistor terhadap perubahan resistansi yang menyebabkan perubahan tegangan keluaran transduser arus. Pengujian ini juga dilakukan untuk melihat kesalahan pengukuran yang diakibatkan oleh rusaknya beberapa resistor pada transduser arus.

5.2.2.2 Peralatan Pengujian

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

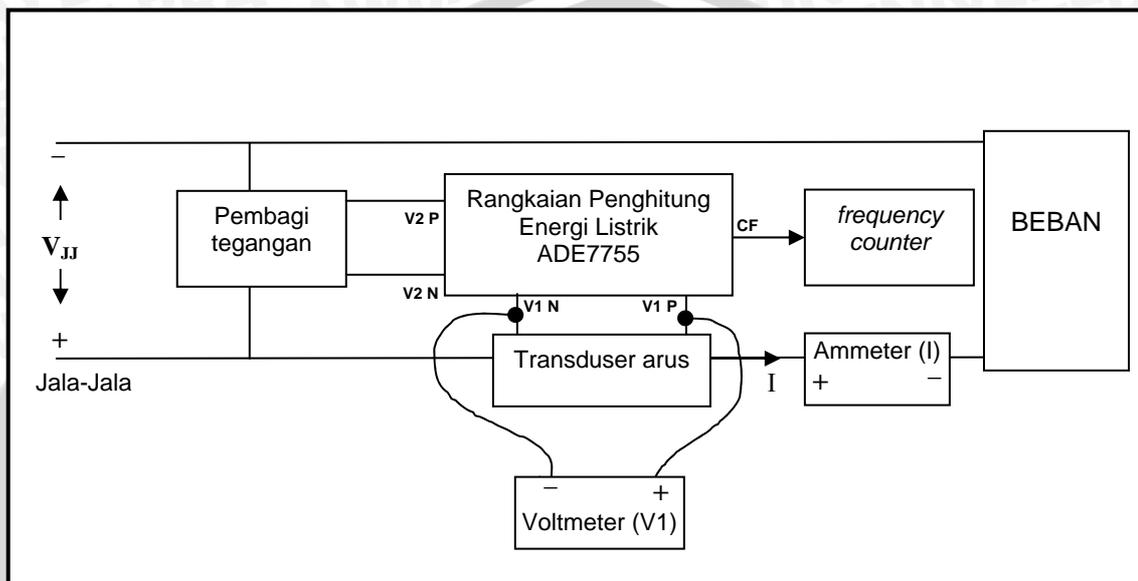
1. Ammeter.
2. Voltmeter.
3. *Frequency Counter*.
4. *Thermometer*.
5. Rangkaian transduser arus.
6. Rangkaian penghitung energi listrik menggunakan *IC ADE7755*.
7. Catu energi 5 V.
8. Setrika listrik.
9. Beban 100 W dan 300 W.

5.2.2.3 Prosedur Pengujian

Langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengkombinasikan rangkaian penghitung energi listrik menggunakan *IC ADE7755* dengan beban 300 *Watt*, voltmeter, ammeter, dan *frequency counter* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.7.
2. Setelah semua terpasang dengan benar, sistem dihubungkan ke jala-jala listrik 220 V dengan frekuensi 50 Hz.
3. Panaskan resistor pada transduser arus menggunakan setrika listrik selama 5 menit dan lihat perubahan tegangan keluarannya. Ukur juga suhu pada transduser arus menggunakan *thermometer*. Catat hasil pengujian dalam Tabel 5.4.
4. Pasang beban 100 *Watt* dan ukur tegangan keluaran transduser arus serta frekuensi keluaran pada pin CF pada *IC ADE7755*.

5. Lepas satu resistor pada transduser arus, kemudian ukur tegangan keluarannya serta frekuensi keluaran pada pin CF pada IC ADE7755. Bandingkan dengan hasil pengujian pada langkah nomor 4.
6. Lakukan lagi langkah nomor 5 sampai menyisakan 11 resistor saja.
7. Catat hasil pengujian dalam Tabel 5.5.
8. Lakukan percobaan yang sama untuk beban 300 Watt.



Gambar 5.7 Rangkaian pengujian transduser arus

5.2.2.4 Data Pengujian

Data pengujian pengaruh suhu resistor transduser arus terhadap tegangan keluarannya dapat dilihat dalam Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Pengaruh suhu terhadap tegangan keluaran transduser arus untuk beban 300 W.

No.	Durasi waktu	Suhu	Arus beban	Tegangan V_1
1	-	28 °C ⁽¹⁾	1,57 A	10,2 mV
2	1 menit	42 °C	1,57 A	10,2 mV
3	2 menit	57 °C	1,57 A	10,2 mV
4	3 menit	70 °C	1,57 A	10,2 mV
5	4 menit	83 °C	1,57 A	10,2 mV
6	5 menit	98 °C	1,57 A	10,2 mV

Catatan:

(1) Suhu normal (resistor tidak dipanaskan).

Data pengujian pengaruh kerusakan resistor transduser arus terhadap frekuensi keluaran pin CF pada IC ADE7755 dapat dilihat dalam tabel-tabel berikut ini.

Tabel 5.5 Pengaruh kerusakan resistor terhadap tegangan keluaran transduser arus untuk beban 100 W.

No.	Jumlah Resistor pada transduser arus	Arus beban	Tegangan V_1	Freq. Pin CF
1	15	0,46 A	3,1 mV	0,090 Hz
2	14	0,46 A	3,2 mV	0,096 Hz
3	13	0,46 A	3,5 mV	0,104 Hz
4	12	0,46 A	3,8 mV	0,112 Hz
5	11	0,46 A	4,1 mV	0,123 Hz

Tabel 5.6 Pengaruh kerusakan resistor terhadap tegangan keluaran transduser arus untuk beban 300 W.

No.	Jumlah Resistor pada transduser arus	Arus beban	Tegangan V_1	Freq. Pin CF
1	15	1,57 A	10,2 mV	0,307 Hz
2	14	1,57 A	11,1 mV	0,329 Hz
3	13	1,57 A	12,1 mV	0,354 Hz
4	12	1,57 A	13,0 mV	0,383 Hz
5	11	1,57 A	14,2 mV	0,418 Hz

5.2.2.5 Analisis Data Pengujian

Dari Tabel 5.4 dapat dilihat bahwa dalam rentang suhu antara 28 °C sampai 98 °C tidak terjadi perubahan tegangan pada transduser arus, sehingga dapat disimpulkan dalam rentang suhu tersebut perubahan resistansi akibat perubahan suhu dapat diabaikan.

Kesalahan akibat dari rusaknya beberapa resistor pada transduser arus dapat dilihat dalam Tabel 5.7 dan Tabel 5.8, dengan acuan bahwa transduser arus dengan 15 buah resistor memiliki kesalahan pengukuran 0 %.

Tabel 5.7 Kesalahan pengukuran akibat rusaknya beberapa resistor transduser arus untuk beban 100 W

No.	Jumlah Resistor pada transduser arus	Freq. Pin CF	% Kesalahan
1	15	0,090 Hz	0 %
2	14	0,096 Hz	7,14 %
3	13	0,104 Hz	15,38 %
4	12	0,112 Hz	25,00 %
5	11	0,123 Hz	36,36 %

Tabel 5.8 Kesalahan pengukuran akibat rusaknya beberapa resistor transduser arus untuk beban 300 W

No.	Jumlah Resistor pada transduser arus	Freq. Pin CF	% Kesalahan
1	15	0,307 Hz	0 %
2	14	0,329 Hz	7,12 %
3	13	0,354 Hz	15,38 %
4	12	0,383 Hz	25,03 %
5	11	0,418 Hz	36,33 %

Berdasarkan Tabel 5.7 dan 5.8 dapat dilihat kesalahan pengukuran akibat rusaknya beberapa resistor sangatlah besar. Hal ini merupakan kelemahan penggunaan resistor sebagai transduser arus.

5.2.3 Pengujian Rangkaian Penghitung Energi Listrik Menggunakan IC ADE7755 Dalam Menghitung Energi Listrik.

5.2.3.1. Tujuan

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah rangkaian penghitung energi listrik menggunakan IC ADE7755 sudah bekerja sesuai dengan spesifikasi awal yang ditetapkan. Selain itu, pengujian dilakukan untuk melihat ketepatan pengukuran energi listrik yang dilakukan oleh rangkaian IC ADE7755.

5.2.3.2 Peralatan Pengujian

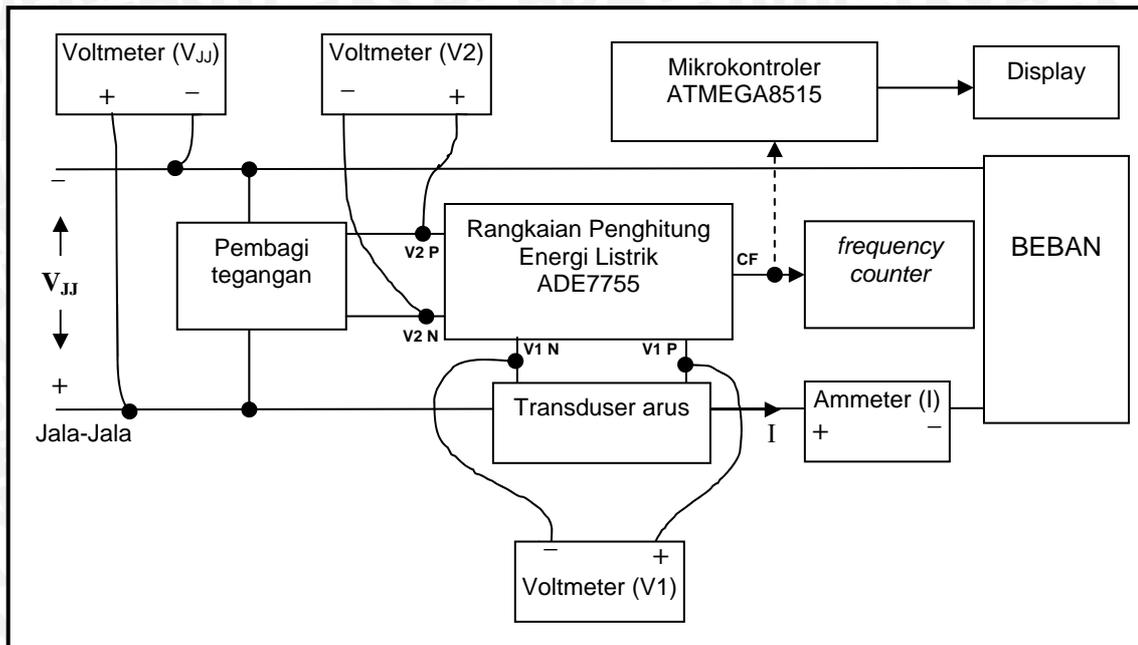
Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah :

1. Ammeter.
2. Voltmeter.
3. *Frequency Counter*.
4. Rangkaian ADE7755.
5. Minimum sistem ATMEGA8515.
6. *LCD*.
7. Catu energi 5 V.
8. Beban 40, 60, 100, dan 350 W.

5.2.3.3 Prosedur Pengujian

Langkah-langkah yang dilakukan untuk pengujian rangkaian penghitung energi listrik menggunakan IC ADE7755 adalah sebagai berikut :

1. Rangkain penghitung energi listrik menggunakan IC ADE7755 dikombinasikan dengan minimum sistem ATMEGA8515, *LCD*, voltmeter, ammeter, dan *frequency counter* seperti Gambar 5.8.
2. Mengubah-ubah beban listrik yang digunakan kemudian, arus beban (I), beda tegangan antara pin V1P dan V1N, tegangan jala-jala (V_{JJ}), beda tegangan antara pin V2P dan V2N diukur menggunakan voltmeter dan ammeter, serta frekuensi keluaran ADE7755 pada pin CF diukur menggunakan *frequency counter*.
3. Mencatat hasil perhitungan energi listrik terpakai sesuai dengan yang ditampilkan *LCD* serta nilai-nilai yang ditampilkan oleh voltmeter, ammeter, dan *frequency counter*.



Gambar 5.8 Diagram blok pengujian perhitungan energi listrik

5.2.3.4 Data Pengujian

Data pengujian perhitungan energi listrik yang dilakukan oleh rangkaian penghitung energi listrik menggunakan IC ADE7755 dapat dilihat dalam Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Data pengujian rangkaian penghitung energi listrik menggunakan IC ADE7755

No.	Beban	V_{JJ} (V)	I (A)	V_1 (mV)	V_2 (mV)	Freq. CF	Energi terukur (kWh)
1.	40 W	224	0,19	1,25	208,84	0,039 Hz	0,04
2.	60 W	225	0,25	1,66	208,85	0,054 Hz	0,06
3.	100 W	224	0,46	3,10	208,84	0,097 Hz	0,10
4.	350 W	224	1,64	12,21	208,85	0,303 Hz	0,16 ⁽¹⁾

Catatan:

⁽¹⁾ Pengujian dilakukan selama 30 menit.

5.2.3.5 Analisis Data Pengujian

Perbandingan hasil perhitungan energi listrik IC ADE7755 dengan perhitungan secara teori ditunjukkan oleh Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Perbandingan perhitungan energi listrik *IC ADE7755*

No	Beban	Nilai kWh (teori)	Nilai kWh (Hasil pengujian Tabel 5.4)	Kesalahan (%)
1.	40 W	0,040 kWh	0,04 kWh	0 %
2.	60 W	0,060 kWh	0,06 kWh	0 %
3.	100 W	0,100 kWh	0,10 kWh	0 %
4.	350 W	0,175 kWh	0,16 kWh	1,5 % ⁽¹⁾
Rata-rata kesalahan				0,37 %

Catatan:

⁽¹⁾Pengujian dilakukan selama 30 menit

Dari hasil pengujian dalam Tabel 5.10, kesalahan perhitungan energi listrik yang dilakukan oleh rangkaian *IC ADE7755* adalah sebesar 1,5 %. Kesalahan tersebut terjadi karena beda tegangan pada *channel V2* (pin *V2 P* dan *V2 N*) tidak tepat sebesar 208,89 *mV*. Tetapi, kesalahan 1,5 % tersebut dapat diterima karena masih dalam ketentuan yang telah ditetapkan untuk sebuah alat ukur energi listrik seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Standar internasional batas kesalahan alat ukur energi listrik

Nilai Arus	Faktor Energi	Batas Kesalahan Pengukuran	
		Kelas 1	Kelas 2
$0,05 I_b \leq I < 0,1 I_b$	1	$\pm 1,5 \%$	$\pm 2,5 \%$
$0,5 I_b \leq I \leq I_{MAX}$	1	$\pm 1,0 \%$	$\pm 2,0 \%$

Sumber : *The International Standard IEC1036 (1996-09) – Alternating Current Watt-Hour Meters for Active Energy (Classes 1 and 2)*

Dari hasil pengujian dan analisis yang didapat, ditarik kesimpulan bahwa alat ukur energi listrik yang telah dibuat masuk dalam kategori Kelas 2. Agar didapat kesalahan pengukuran yang lebih kecil, kecermatan pengaturan tegangan pada *channel V2* (pin *V2P* dan *V2N*) saat kalibrasi sangat diperlukan, karena tegangan ini sangat mempengaruhi hasil perhitungan energi listrik yang dilakukan *IC ADE7755*.

5.3 Pengujian *EEPROM* Serial

5.3.1 Tujuan

Pengujian *EEPROM* serial dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian *EEPROM* serial sudah benar dan mikrokontroler dapat menulis dan membaca data dari atau ke *EEPROM*.

5.3.2 Peralatan Pengujian

Peralatan yang digunakan dalam pengujian *EEPROM* adalah:

1. Rangkaian mikrokontroler ATMEGA8515.
2. Rangkaian *EEPROM* serial *i2c* 24C16.
3. Modul *Liquid Crystal Display* tipe 16x2.
4. Catu energi 5 Volt.

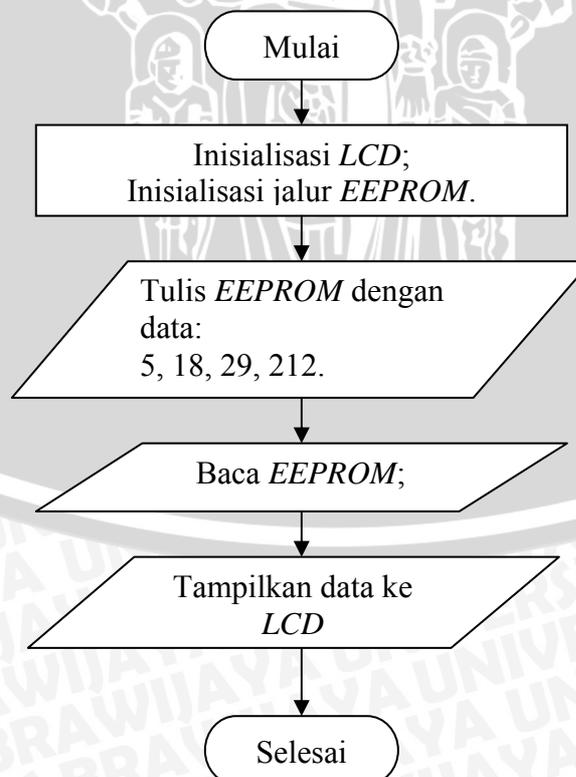
5.3.3 Prosedur Pengujian

Prosedur dalam pengujian *EEPROM* adalah sebagai berikut:

1. Menggabungkan rangkaian hingga membentuk sistem seperti Gambar 5.9.
2. Membuat program mikrokontroler untuk menulis *EEPROM* dengan data biner 5, 18, 29, dan 212. Kemudian pembacaan kembali data yang telah ditulis dan menampilkannya di *LCD*.
3. Mengamati karakter yang keluar pada *LCD*.



Gambar 5.9 Diagram blok pengujian *EEPROM* serial



Gambar 5.10 Diagram alir program pengujian *EEPROM* serial

5.3.4 Data Pengujian

Gambar 5.11 menunjukkan hasil pengujian penulisan dan pembacaan *EEPROM*.



Gambar 5.11 Hasil pengujian *EEPROM* serial

5.3.5 Analisis Data Pengujian

Dari data pengujian yang ditunjukkan oleh Gambar 5.10 dapat diketahui bahwa pada *EEPROM* serial yang digunakan dapat dilakukan proses baca dan tulis data. Faktor yang perlu diperhatikan dalam penggunaan *EEPROM* serial *i2c* adalah inisialisasi port mikrokontroler yang akan digunakan sebagai jalur data serial *i2c*.

5.4 Pengujian Keseluruhan Sistem kWh Meter Prabayar

5.4.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui hasil kerja rangkaian lengkap apakah perancangan alat telah berfungsi dengan baik jika telah tergabung menjadi satu dalam satu sistem.

5.4.2 Peralatan Pengujian

Peralatan yang digunakan terdiri dari :

1. Rangkaian unit penghitung pemakaian energi listrik
2. Rangkaian unit sentral data
3. Beban 40W, 60W, dan 120W.

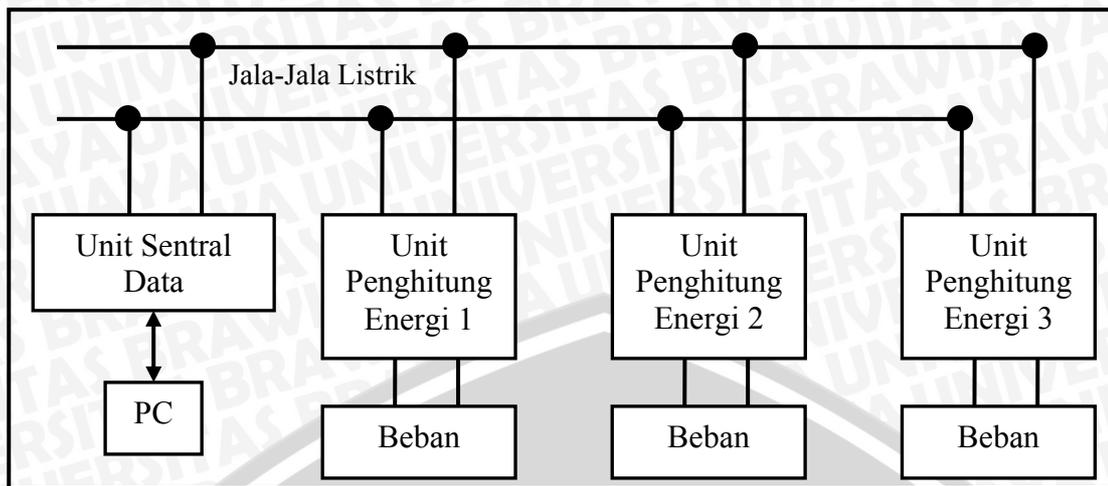
5.4.3 Pengujian Pengiriman Nominal kWh

5.4.3.1 Tujuan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah unit sentral data dapat mengirim nominal kWh ke unit penghitung pemakaian energi listrik dan sebaliknya.

5.4.3.2 Prosedur Pengujian

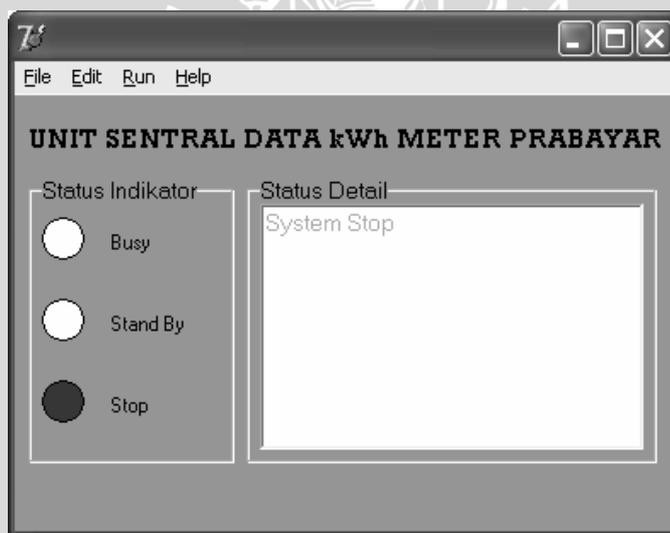
Diagram blok sistem dalam pengujian ini ditunjukkan oleh Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Diagram blok pengujian sistem keseluruhan

Prosedur pengujian dalam pengiriman nominal kWh adalah sebagai berikut:

1. Sistem disusun seperti yang ditunjukkan oleh diagram blok dalam Gambar 5.12.
2. Program PC pada unit sentral data diaktifkan sehingga muncul tampilan seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Tampilan utama program PC pada unit sentral data

3. Identitas pelanggan dimasukkan dengan ID 1, 2 dan 3 dengan langkah-langkah sebagai berikut :
 - a. Dengan memilih menu "Edit > Edit Pelanggan" pada tampilan utama, akan muncul tampilan seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.14.

The screenshot shows a window titled "EDIT PELANGGAN" with the following fields and buttons:

- ID:
- Nama:
- Alamat:
- Pekerjaan:
- Golongan Daya:
- Buttons: Previous, Next, Save, Remove, Search, Close

Gambar 5.14 Tampilan untuk memasukkan atau mengubah identitas pelanggan

- b. Identitas pelanggan dimasukkan sebagaimana yang ditunjukkan dalam Gambar 5.15.

The screenshot shows the "EDIT PELANGGAN" form with the following data entered:

- ID:
- Nama:
- Alamat:
- Pekerjaan:
- Golongan Daya:
- Buttons: Previous, Next, Save, Remove, Search, Close

Gambar 5.15 Tampilan untuk memasukkan atau mengubah identitas pelanggan setelah data pelanggan dimasukkan

- c. Menekan tombol "Save" untuk menyimpan data pelanggan yang sudah diisikan
 - d. Menekan tombol "Next" untuk mengisi data pelanggan pada ID berikutnya.
4. Data pulsa di *EEPROM* pada semua unit penghitung energi listrik dikosongkan dengan langkah-langkah sebagai berikut :
 - a. Dengan memilih menu "Run > Edit kWh" pada tampilan utama, akan muncul tampilan seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.16.



The image shows a software dialog box titled "EDIT kWh". It has a standard Windows-style title bar with minimize, maximize, and close buttons. The dialog contains two input fields: "ID" and "Jumlah kWh". Both fields are currently empty. At the bottom of the dialog, there are two buttons labeled "Send" and "Cancel".

Gambar 5.16 Tampilan untuk mengganti nominal kWh yang tersimpan di *EEPROM* unit penghitung pemakaian energi listrik

- b. ID unit penghitung pemakaian energi listrik yang akan dituju dimasukkan dan nominal kWh diisi dengan 0 seperti yang ditunjukkan dalam gambar 5.17.



The image shows the same "EDIT kWh" dialog box as in Gambar 5.16. In this version, the "ID" field now contains the number "1" and the "Jumlah kWh" field contains the number "0". The "Send" and "Cancel" buttons remain at the bottom.

Gambar 5.17 Tampilan pengganti nominal kWh yang telah terisi ID unit penghitung pemakaian energi listrik tujuan dan nominal kWh yang baru

- c. Menekan Tombol "Send" untuk menjalankan proses pengosongan nominal kWh.
 - d. Poin a, b, dan c diulangi untuk pengosongan *EEPROM* pada ID-ID berikutnya.
5. Pusat data mengirim data nominal kWh sebanyak dua kali ke masing-masing unit penghitung pemakaian energi listrik. Untuk pengiriman pertama, unit dengan ID "1" diberi nominal kWh sebesar 1 kWh, ID "2" diberi nominal kWh sebesar 2 kWh, dan ID "3" diberi nominal kWh sebesar 0,06 kWh. Untuk pengiriman kedua, unit dengan ID "1" diberi nominal kWh sebesar 3 kWh, ID "2" diberi nominal kWh sebesar 1 kWh, dan ID "3" diberi nominal kWh sebesar 0,06 kWh. Prosedur untuk

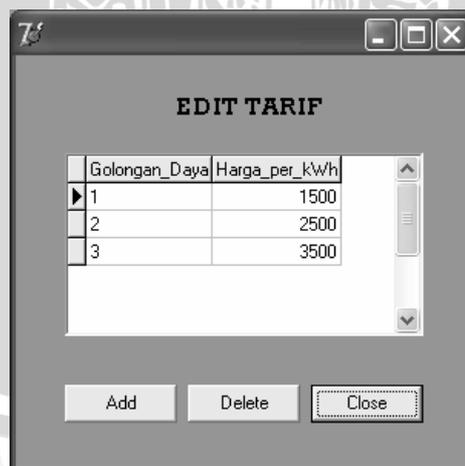
mengirimkan kWh ke unit penghitung pemakaian energi listrik adalah sebagai berikut :

- a. Dengan memilih menu "Run > Kirim kWh" pada tampilan utama, akan muncul tampilan seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.18.



Gambar 5.18 Tampilan untuk mengirim nominal kWh ke unit penghitung pemakaian energi listrik

- b. ID tujuan dan jumlah uang dimasukkan kedalam *form* yang tersedia pada *window* yang ditunjukkan dalam Gambar 5.18. Untuk mengetahui nilai jumlah uang yang harus dimasukkan supaya dapat mengirim nominal kWh sesuai dengan yang diinginkan, maka perlu dilihat daftar harga dan golongan energi dari ID tujuan. Golongan energi ID tujuan dapat dilihat melalui *window* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.14. Sedangkan daftar harga dapat dilihat dengan cara meng-klik menu "Edit > Edit Tarif", akan muncul tampilan seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.19.



Golongan_Daya	Harga_per_kWh
1	1500
2	2500
3	3500

Gambar 5.19 Tampilan *window* daftar harga energi listrik

- c. Menekan tombol "Send" pada *window* yang seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.18 untuk mengirim nominal kWh.

- Mencatat nominal kWh yang ditampilkan oleh *LCD* pada masing-masing Unit Penghitung Pemakaian Energi Lisrik.

5.4.3.3 Data Pengujian Pengiriman Nominal kWh

Data pengujian pengiriman pulsa listrik yang telah dilakukan ditunjukkan dalam Tabel 5.12 yang merupakan pengiriman nominal kWh yang pertama dimana nominal kWh awal yang dimiliki masing-masing ID adalah 0 kWh.

Tabel 5.12 Data pengiriman data pertama

No	ID Pelanggan	Nominal kWh yang dikirim dari pusat	Nominal kWh yang diterima pelanggan	Nominal kWh tercatat di database pusat
1.	1	1 kWh	1 kWh	1 kWh
2.	2	2 kWh	2 kWh	2 kWh
3.	3	0,06 kWh	0,06 kWh	0,06 kWh

Tabel 5.13 menunjukkan pengiriman data yang kedua dimana pulsa yang tercatat pada pelanggan merupakan hasil penjumlahan antara nominal kWh yang pertama dengan nominal kWh yang baru.

Tabel 5.13 Data pengiriman data kedua

No	ID Pelanggan	Nominal kWh yang dikirim dari pusat	Nominal kWh hasil akumulasi	Nominal kWh tercatat di database pusat
1.	1	3 kWh	4 kWh	4 kWh
2.	2	1 kWh	3 kWh	3 kWh
3.	3	0,06 kWh	0,12 kWh	0,12 kWh

5.4.3.4 Analisis Data Pengujian

Saat unit sentral data mengirimkan pulsa pertama kali, unit penghitung pemakaian energi listrik akan menyimpan data nominal kWh yang diterima di *EEPROM* serta menampilkannya di *LCD*. Dari hasil pengujian dalam Tabel 5.12, data nominal kWh dapat diterima dengan sempurna dan dapat ditampilkan. Hal ini menunjukkan bahwa unit penghitung pemakaian energi listrik dapat menerima data nominal kWh yang dikirim dari unit sentral data.

Saat pengiriman pulsa kedua, unit penghitung pemakaian energi listrik akan menambahkan pulsa yang baru dengan yang lama kemudian data tersebut disimpan di *EEPROM* dan ditampilkan di *LCD*. Tabel 5.13 menunjukkan bahwa unit penghitung

pemakaian energi listrik dapat menyimpan serta mengakumulasi data nominal kWh dan dapat menampilkan data tersebut di LCD.

5.4.4 Pengujian Pemantauan Nominal kWh

5.4.4.1 Tujuan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah unit sentral data dapat melakukan pemantauan sisa nominal kWh yang terdapat pada unit penghitung pemakaian energi listrik.

5.4.4.2 Prosedur Pengujian Pemantauan Nominal kWh

Prosedur dalam pengujian pengurangan dan pemantauan nominal kWh adalah:

1. Diagram blok sistem dalam pengujian ini ditunjukkan dalam Gambar 5.12.
2. Masing-masing Unit Penghitung Pemakaian Energi Listrik diberi beban yang berbeda yaitu:
 - a. Unit 1 dengan ID 1 diberi beban 60 W.
 - b. Unit 2 dengan ID 2 diberi beban 40 W.
 - c. Unit 3 dengan ID 3 diberi beban 120 W.
3. Unit penghitung pemakaian energi listrik akan mengurangi nominal kWh yang sudah dikirim pada pengujian pengiriman nominal kWh sesuai dengan beban yang dipasang. Sisa nominal kWh yang terdapat pada unit penghitung pemakaian energi listrik dipantau oleh unit sentral data setiap 15 menit selama 1 jam dengan cara memilih menu "Run > Start" pada tampilan seperti Gambar 5.13.
4. Mencatat pulsa yang diperoleh unit sentral data

5.4.4.3 Data Pengujian Pemantauan Nominal kWh

Data pengujian pengurangan dan pemantauan nominal kWh ditunjukkan dalam Tabel 5.13, 5.14, 5.15, dan 5.16.

Tabel 5.13 Perhitungan dan pemantauan nominal kWh 15 menit pertama

No	ID Pelanggan	Nominal kWh setelah energi dihitung	Nominal kWh yang terpantau oleh pusat
1.	1	3,99 kWh	3,99 kWh
2.	2	2,99 kWh	2,99 kWh
3.	3	0,09 kWh	0,09 kWh

Tabel 5.14 Perhitungan dan pemantauan nominal kWh 15 menit kedua

No	ID Pelanggan	Nominal kWh setelah energi dihitung	Nominal kWh yang terpantau oleh pusat
1.	1	3,97 kWh	3,97 kWh
2.	2	2,98 kWh	2,98 kWh
3.	3	0,06 kWh	0,06 kWh

Tabel 5.15 Perhitungan dan pemantauan nominal kWh 15 menit ketiga

No	ID Pelanggan	Nominal kWh setelah energi dihitung	Nominal kWh yang terpantau oleh pusat
1.	1	3,96 kWh	3,96 kWh
2.	2	2,97 kWh	2,97 kWh
3.	3	0,03 kWh	0,03 kWh

Tabel 5.16 Perhitungan dan pemantauan nominal kWh 15 menit keempat

No	ID Pelanggan	Nominal kWh setelah energi dihitung	Nominal kWh yang terpantau oleh pusat
1.	1	3,94 kWh	3,94 kWh
2.	2	2,96 kWh	2,96 kWh
3.	3	0,00 kWh	0,00 kWh

5.4.5 Analisis Data Pengujian

Setelah dilakukan pengisian, unit penghitung pemakaian energi listrik akan melakukan perhitungan energi sesuai dengan beban yang dipasang. Dari Tabel 5.16 dapat diketahui bahwa setelah satu jam, nominal kWh berkurang sebesar 60 untuk pelanggan dengan ID 1, 40 untuk pelanggan dengan ID 2, dan 120 untuk pelanggan dengan ID 3. Hal ini menunjukkan bahwa unit penghitung pemakaian energi listrik dapat melakukan perhitungan energi listrik sesuai dengan beban yang digunakan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian tiap blok rangkaian dan pengujian sistem keseluruhan yang telah dilakukan pada bab V, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari pengujian rangkaian mikrokontroler ATMEGA8515 dan LCD diketahui bahwa rangkaian tersebut dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan.
2. Penggunaan resistor sebagai transduser arus memiliki kelemahan dalam realibilitas.
3. Dari pengujian, rangkaian penghitung energi listrik yang dibuat dapat menghitung energi listrik terpakai dengan kesalahan rata-rata 1,5%. Kesalahan tersebut karena beda tegangan pada *channel V2* (pin V2 P dan V2 N) tidak tepat sebesar 208,89 mV.
4. Dengan kesalahan pengukuran sebesar 1,5 %, kWh meter yang dibuat masuk dalam kategori kWh meter kelas 2 sesuai dengan standar yang ditetapkan pada *International Standard IEC1036 (1996-09) – Alternating Current Watt-Hour Meters for Active Energy (Classes 1 and 2)*.
5. Data yang diterima oleh unit penghitung pemakaian energi listrik dapat diakumulasikan dengan data yang lama dan disimpan di *EEPROM* serta dapat ditampilkan pada *display*.
6. Sistem kWh meter Prabayar yang menggunakan jala-jala listrik sebagai media komunikasi data dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan yaitu mampu melakukan perhitungan energi listrik dan mampu melakukan pengiriman dan pemantauan nominal kWh.

6.2 Saran

Proses perancangan, pembuatan dan pengujian alat ini dilakukan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan sehingga terdapat beberapa faktor lain yang diabaikan yang mungkin dapat mempengaruhi kinerja sistem. Agar sistem ini benar-benar dapat diimplementasikan, maka perlu dilakukan beberapa penelitian tentang faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kinerja sistem seperti pengaruh adanya harmonisa dan *noise* terhadap proses perhitungan energi listrik.

Agar didapat disipasi daya yang lebih kecil pada transduser arus, sebaiknya digunakan trafo arus (toroida). Selain itu, dengan menggunakan trafo arus, maka jangka waktu penggunaan alat bisa lebih tahan lama.

Untuk pengembangan lebih lanjut, dapat ditambahkan pembelian nominal kWh melalui sms atau melalui ATM agar pelanggan dapat lebih mudah dalam memperoleh nominal kWh yang akan digunakan.



DAFTAR PUSTAKA

- _____. *Optocoupler & Optoisolator Application*.
<http://electronents.v21hosting.co.uk/optocoupler-applications.htm>
- Analog Devices. 2002. *ADE7755 Energy Metering IC with Pulse Output*.
www.analog.com
- Atmel. 2003. *8-bit AVR microcontroller with 8Kbytes In Sistem Programable Flash*.
www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2512.pdf
- Atmel. 2005. *Two-wire Serial EEPROM*. www.atmel.com/literature
- Nia. 2005. *Meter Prabayar, Produk Baru Layanan PLN*.
<http://www.balipost.co.id/balipostcetak/2005/4/8/e2.htm>
- Motorola. 1995. *6-Pin Optoisolator Transistor Output*. [Http://design-NET.com](http://design-NET.com).
- Philips Semiconductors. 1997. *2N2222 NPN Switching Transistors*.
<http://www.semiconductors.philips.com>
- Seiko Instruments Inc, 1987, *Liquid Crystal Display Module M1632 User Manual*,
Japan
- Soehardiyanto, Beni. 2003. *Alat Pengukur Penggunaan Energi Elektrik (Watt-Hour Meter) Dengan Sistem Pentarifan Progresif dan Berdasarkan Waktu*. Skripsi Tidak Diterbitkan. Malang: Jurusan Teknik Elektro UNIBRAW