



UNIVERSITAS INDONESIA

**ALAT UKUR ENERGI LISTRIK BERBASIS
MIKROKONTROLER DENGAN IC MCP3909**

SKRIPSI

**ZAMRONI
0304020825**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN FISIKA
DEPOK
JUNI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ALAT UKUR ENERGI LISTRIK BERBASIS
MIKROKONTROLER DENGAN IC MCP3909**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains

Zamroni
0304020825

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN FISIKA
PEMINATAN FISIKA INSTRUMENTASI
DEPOK
2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Zamroni

NPM : 0304020825

Tanda tangan :

Tanggal : 16 Juni 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Zamroni
NPM : 030402825
Program Studi : Fisika Instrumentasi
Judul Skripsi : Alat Ukur Energi Listrik Berbasis Mikrokontroler
dengan IC MCP3909

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

Dewan Penguji

Pembimbing : Dr. Prawito (.....)

Pembimbing : Lingga Hermanto, M.Si (.....)

Penguji : Dr. Sastra Kusumawijaya (.....)

Penguji : Dr. Cuk Imawan (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 16 Juni 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika pada Fakultas MIPA Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Dr. Prawito dan Lingga Hermanto,MSi., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- 2) Keluarga besar dari Penulis, kedua orang tua Penulis yang selalu memberikan segala bantuan.
- 3) Pujaan hati yang selalu ada di dalam pikiran dan hati penulis.
- 4) Sandi Wibowo, Sugiharto, Budi P., Dony HS dan teman-teman Fisika angkatan 2004 yang tak mungkin dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 16 Juni 2009

Zamroni

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Zamroni

NPM : 0304020825

Program Studi : Fisika Instrumentasi

Departemen : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Noneksklusif (*NON-exclusif Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Alat Ukur Energi Listrik Berbasis Mikrokontroler dengan IC MCP3909

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 16 juni 2009

Yang menyatakan

(Zamroni)

ABSTRAK

Nama : Zamroni
Program Studi : Fisika
Judul : Alat Ukur Energi Listrik Berbasis Mikrokontroler Dengan IC
MCP3909

Energi listrik dapat dihitung dari informasi daya dan waktu pemakaian. Daya merupakan perkalian antara arus yang mengalir dengan tegangan yang digunakan. Dengan menggunakan *Current transformer* (CT) untuk mengukur arus yang mengalir dan resistor pembagi tegangan untuk mengukur dan memperkecil tegangan beban, sistem dapat dengan mudah mengukur daya tampak dan energi tampak yang digunakan oleh beban tersebut dari informasi frekuensi pulsa digital IC MCP3909 dengan bantuan mikrokontroler ATmega32. Sistem tersebut telah berhasil dibuat dan menghasilkan hasil pengukuran daya tampak dan energi tampak yang sesuai dengan beban yang digunakan yang hasilnya ditampilkan pada LCD.

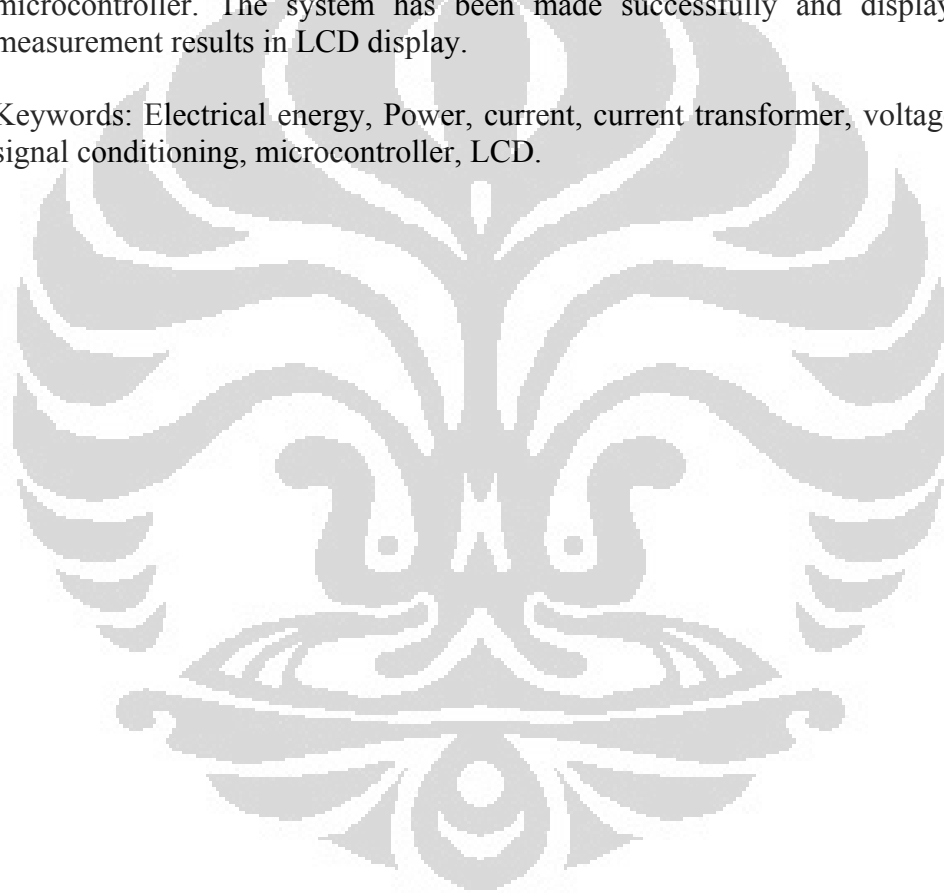
Kata kunci: Energi, daya, arus, tegangan, mikrokontroler, current trafo, ADC, pengkondisi sinyal

ABSTRACT

Name : Zamroni
Study Program: Physics
Topic : Electrical Energy Meter based on Micrcontroller with IC
MCP3909

Electrical energy can be calculated from the information of power and time. Power is multiplication between current and voltage. By using Current transformer (CT) to measure current and using resistor divider to measure voltage, the system can measure the apparent power and energy consumed by the load from the frequency of digital pulse output IC MCP3909 by applying ATmega32 microcontroller. The system has been made successfully and displaying the measurement results in LCD display.

Keywords: Electrical energy, Power, current, current transformer, voltage, ADC, signal conditioning, microcontroller, LCD.



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Pembatasan Masalah.....	2
1.4 Metode Penelitian.....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 TEORI DASAR	5
2.1 Karakteristik Sumber PLN.....	5
2.1.1 Tegangan dan Arus Bolak-balik.....	5
2.1.2 Tegangan dan Arus RMS.....	8
2.1.3 Daya Listrik.....	8
2.1.4 Energi Listrik.....	9
2.2 Pengukuran Arus.....	9
2.2.1 Prinsip Pengukuran Arus.....	9
2.2.2 <i>Current Transformer</i> (Trafo Arus).....	10
2.3 <i>Analo- to-Digital Conversion</i> (ADC).....	11
2.3.1 Proses Konversi Sinyal Analog Menjadi Digital ...	13
2.3.2 Fungsi Transfer.....	14
2.3.2.1 <i>Transition Point</i> (titik transisi).....	14
2.3.2.2 <i>Code Widht</i> (lebar code).....	15
2.3.2.3 <i>Absolute Error</i>	15
2.3.2.4 <i>Offset Error (zero Error)</i>	16
2.3.2.5 <i>Full Scale Error (Gain Error)</i>	17
2.3.3 Delta-sigma ADC.....	17
2.4 IC Energi Meter MCP3909.....	18
2.4.1 Fitur dan Karakteristik MCP3909.....	18
2.4.2 Konfigurasi Pin MCP3909.....	19
2.4.3 Blok Diagram MCP3909.....	20
2.4.4 <i>Dual Function</i> MCP3909.....	22
2.4.4.1 <i>Active Power Pulse Output</i>	22

2.4.4.2	<i>Waveform Output Via SPI Interface</i>	24
2.5	AVR ATmega32.....	25
2.5.1	Arsitektur ATmega32.....	25
2.5.2	Fitur ATmega32.....	27
2.5.3	Konfigurasi Pin ATmega32.....	28
BAB 3	PERANCANGAN ALAT DAN PROGRAM	29
3.1	Perancangan Sistem Umum Perangkat Keras.....	29
3.2	Perancangan Subsistem Perangkat Keras.....	30
3.2.1	Perancangan Power Suplay.....	30
3.2.2	Perancangan Rangkaian Pengkondisi Sinyal Arus dan Tegangan.....	31
3.2.3	Perancangan Rangkaian MCP3909.....	33
3.2.4	Perancangan Sistem Minimum ATmega32.....	35
3.2.5	Perancangan Antarmuka LCD dengan Mikrokontroler.....	36
3.3	Perancangan Program.....	38
3.3.1	Perancangan Program Umum.....	38
BAB 4	PENGUJIAN DAN ANALISA	42
4.1	Pengujian Pengkondisi Sinyal.....	42
4.1.1	Pengujian Pengkondisi Sinyal Arus.....	42
4.1.2	Pengujian Pengkondisi SinyalTegangan.....	43
4.2	Pengujian Program Frekuensi Counter pada ATmega32.....	46
4.3	Pengujian Rangkaian IC MCP3909 metode <i>Active power Pulse</i>	48
4.4	Hasil Pembuatan Alat.....	49
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	54
5.1	Kesimpulan.....	54
5.2	Saran.....	54
	DAFTAR REFERENSI	55

DAFTAR GAMBAR

Judul	Halaman
Gambar 1.1 Diagram Langkah-langkah penelitian.....	3
Gambar 2.1 Tegangan atau Arus AC.....	5
Gambar 2.2 Arus dan Tegangan AC pada Resistor.....	6
Gambar 2.3 Arus dan Tegangan AC pada Konduktor.....	6
Gambar 2.4 Arus dan Tegangan AC pada Kapasitor.....	7
Gambar 2.5 Arah Medan H pada Arus yang Mengalir dalam Kabel Panjang.....	11
Gambar 2.6 Fungsi Transfer Ideal ADC.....	14
Gambar 2.7 Titik Transisi Tidak Tepat Satu Titik.....	15
Gambar 2.8 <i>Differential Non-Linearity</i>	15
Gambar 2.9 <i>Absolute Error</i>	16
Gambar 2.10 <i>Offset Error</i>	16
Gambar 2.11 <i>Full Scale Error</i>	17
Gambar 2.12 Delta-sigma Modulator.....	17
Gambar 2.13 Rangkaian Dasar Delta-sigma ADC Orde-1.....	18
Gambar 2.14 Konfigurasi Pin MCP3909.....	19
Gambar 2.15 Diagram Blok MCP3909.....	21
Gambar 2.16 Respon frekuensi pada HPF.....	21
Gambar 2.17 Respon frekuensi LPF.....	22
Gambar 2.18 Proses Memasuki Mode Serial dan Transfer Data.....	24
Gambar 2.19 Arsitektur ATmega32.....	26
Gambar 2.20 Konfigurasi Pin AVR ATmega32.....	28
Gambar 3.1 Rancangan Sistem Umum.....	29
Gambar 3.2 Power Suplay 5 V	30
Gambar 3.3 Contoh Current Trafo (CT).....	32
Gambar 3.4 Skema Rangkaian Pengkondisi Sinyal Arus.....	32
Gambar 3.5 Skema Rangkaian Pengkondisi Sinyal Tegangan...	33
Gambar 3.6 IC Energi Meter MCP3909.....	33

Gambar 3.7	Rancangan Rangkaian IC MCP3909.....	34
Gambar 3.8	Skema Rangkaian Optocoupler.....	35
Gambar 3.9	Skema Sistem Minimum ATmega 32 + LCD.....	36
Gambar 3.10	LCD 20x4.....	37
Gambar 3.11	Rancangan Rangkaian Antarmuka LCD.....	38
Gambar 3.12	Flowchart Program Frequency Counter.....	40
Gambar 4.1	Skema Alat pengujian Pengkondisi sinyal Arus.....	42
Gambar 4.2	Grafik Perbandingan Arus dan Tegangan Keluaran Pengkondisi Sinyal Arus.....	43
Gambar 4.3	Skema Alat Pengujian Pengkondisi Sinyal Tegangan...	44
Gambar 4.4	Grafik Perbandingan Arus dan Tegangan Keluaran Pengkondisi Sinyal Arus.....	45
Gambar 4.5	Grafik Perbandingan Antara Vs Terhadap Vrms.....	46
Gambar 4.6	Blok Diagram Pengujian Program Frekuensi Counter...	47
Gambar 4.7	Blok Diagram Setting Alat Untuk Pengujian IC MCP3909.....	48
Gambar 4.8	Grafik Hubungan Antara Frekuensi dan Daya Tampak.....	49
Gambar 4.9	Alat Ukur Energi Listrik dengan Lampu 40 watt Posisi 1	50
Gambar 4.10	Alat Ukur Energi Listrik dengan Lampu 40 watt Posisi 2	50
Gambar 4.11	Alat Ukur Energi Listrik.....	51

DAFTAR TABEL

Judul	Halaman
Tabel 2.1 Penjelasan Konfigurasi Pin MCP3909.....	19
Tabel 2.2 Logika F0 dan F1.....	23
Tabel 2.3 Logika F0 dan F1 dan F2 Untuk Menentukan Konstanta H_{Fc}	23
Tabel 3.1 <i>Gain</i> (G) pada Chanel Arus (CH0).....	31
Tabel 3.2 Konfigurasi Pin LCD Modul 20x4 H2004A.....	37
Tabel 3.3 Penentuan Nilai konstanta H_{Fc}	40
Tabel 4.1 Hasil Uji Program Frekuensi Counter dengan Atmega 32.....	47
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Energi Listrik dengan Lampu 40 watt.....	51
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Energi Listrik dengan Lampu 60 watt.....	52
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Energi Listrik dengan Lampu 40 watt dan 60 watt yang Dihubungkan Paralel.....	52

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Hasil Pengujian Peengkondisi Sinyal Arus Beban Lampu 60 watt.....	56
Lampiran 2.	Hasil Pengujian Peengkondisi Sinyal Tegangan Beban Lampu 60 watt.....	57
Lampiran 3.	Hasil Uji IC MCP3909.....	58
Lampiran 4.	Program Frekuensi Counter.....	60
Lampiran 5.	Hubungan Antara Daya Tampak (VA) dengan Frekuensi (Hz).....	63



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tidak diragukan lagi listrik sudah menjadi bagian dari kehidupan kita, mulai dari lampu yang digunakan untuk penerangan sampai alat-alat elektronika yang kita gunakan sehari-hari semuanya menggunakan energi listrik. Akan tetapi di zaman sekarang ini, dimana semakin menipisnya cadangan minyak bumi dan meningkatnya harga BBM maka listrik semakin menjadi barang yang mahal. Untuk itu suatu usaha penghematan harus dilakukan agar energi listrik tidak terbuang sia-sia dan biaya untuk penggunaan listrik tidak membengkak. Salah satu cara penghematan yang dapat dilakukan adalah dengan mengetahui seberapa besar energi listrik yang kita gunakan setiap hari dengan menggunakan alat ukur energi listrik yaitu kWhmeter dari PLN. Namun informasi energi listrik yang diperoleh dari alat tersebut adalah energi listrik dari keseluruhan alat elektronik yang kita gunakan di dalam rumah. Untuk itu kita memerlukan suatu alat ukur energi listrik yang dapat digunakan untuk beberapa peralatan elektronika saja yang dianggap menyedot energi listrik yang besar, sehingga kita dapat mengontrol pemakaian peralatan elektronika melalui hasil pengukurannya. Dengan menggunakan alat ukur energi listrik berbasis mikrokontroler dimungkinkan juga untuk mematikan peralatan apabila telah melebihi kuota energi yang kita tetapkan.

Untuk merealisasikan hal tersebut diatas penulis melakukan penelitian untuk membuat sebuah alat yang nantinya akan ditulis dalam skripsi dengan judul "Alat Ukur Energi Listrik berbasis Mikrokontroler dengan IC MCP3909". Kelebihan alat ini adalah data hasil ukur adalah berupa sinyal digital, sehingga sebagaimana kita ketahui sinyal digital dapat dengan mudah di distribusikan ataupun dikomunikasikan secara jarak jauh sehingga dapat diakses dengan mudah misalkan melalui fasilitas internet. Kelebihan lain alat ini adalah ukurannya yang kecil sehingga termasuk alat ukur portabel yang mudah di bawa kemana saja.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Mempelajari pengukuran daya berupa pulsa output frekuensi oleh IC MCP3909 yang nilainya sebanding dengan daya dan energy yang digunakan oleh beban.
2. Mempelajari pemrograman pada mikrokontroler untuk melakukan penghitungan daya dan energi.

1.3 Pembatasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada beberapa hal dibawah ini :

- a. Pembuatan sistem pengukuran arus dengan current trafo.
- b. Pembuatan sistem pengukuran tegangan.
- c. Pemrograman mikrokontroler untuk penghitungan daya dan energi listrik.
- d. Pemrograman frekuensi counter untuk pengukuran daya.

1.4 Metode Penelitian

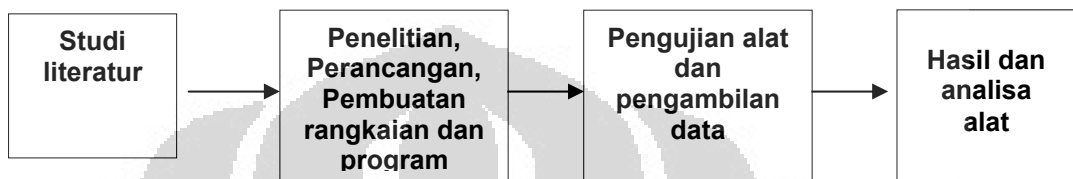
Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu :

- a. Studi literatur dan diskusi
Tahap ini bertujuan untuk mengumpulkan informasi mengenai teori-teori dasar sebagai sumber penulisan skripsi. Informasi dan pustaka yang berkaitan dengan masalah ini diperoleh dari literatur, penjelasan yang diberikan dosen pembimbing, internet dan buku-buku yang berkaitan dengan penelitian penulis.
- b. Penelitian laboratorium dan Pembuatan Alat
Penelitian laboratorium dilakukan untuk perancangan hardware yang berkaitan dengan pembuatan system pengukuran arus dan tegangan, komunikasi MCP3909 dengan mikrokontroler dan sebagainya.
- c. Pengujian sistem dan pengambilan data
Tahap ini dilakukan setelah kedua tahapan diatas selesai, alat akan di uji untuk melakukan pengukuran.

d. Metode Analisis

Metode ini merupakan pengamatan terhadap data yang telah diperoleh dari pengujian alat serta pengambilan data. Setelah itu dilakukan penganalisisan sehingga dapat ditarik kesimpulan dan saran – saran untuk pengembangan lebih lanjut.

Berikut ini adalah diagram langkah-langkah yang yang akan dilakukan dalam penelitian ini :



Gambar 1.1 Diagram langkah-langkah penelitian

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari bab-bab yang memuat beberapa sub-bab. Untuk memudahkan pembacaan dan pemahaman maka penulisan skripsi ini ini terdiri atas 5 bab dan secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Pendahuluan berisi latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan penulisan, metode penulisan dan sistematika penulisan dari skripsi ini.

BAB 2 TEORI DASAR

Teori Dasar berisi landasan teori sebagai hasil dari studi literatur yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dijelaskan.

BAB 3 PERANCANGAN ALAT DAN PROGRAM

Pada bab ini akan dijelaskan sistem kerja keseluruhan dari semua perangkat control (hardware) dan program penghubung (software) yang terlibat.

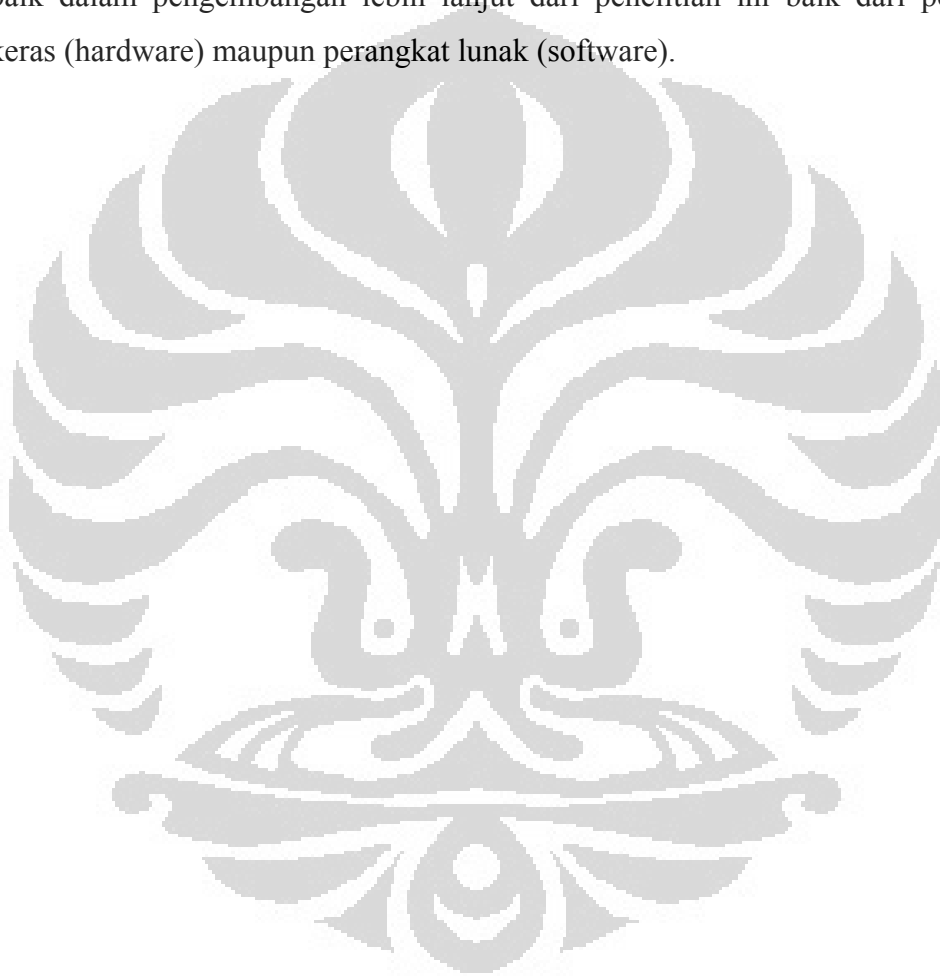
BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISA

Bab ini menjelaskan tentang unjuk kerja alat sebagai hasil dari perancangan sistem. Pengujian akhir ini dilakukan dengan menyatukan seluruh bagian dari

sistem sehingga dapat diketahui apakah sistem dapat berfungsi dengan baik. Hasil pengujian tersebut kemudian di analisa.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

BaB ini berisi kesimpulan penulis yang diperoleh berdasarkan pengujian sistem dan pengambilan data selama penelitian berlangsung, selain itu penutup juga berisikan tentang saran-saran dari penulis untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dalam pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini baik dari perangkat keras (hardware) maupun perangkat lunak (software).



BAB 2

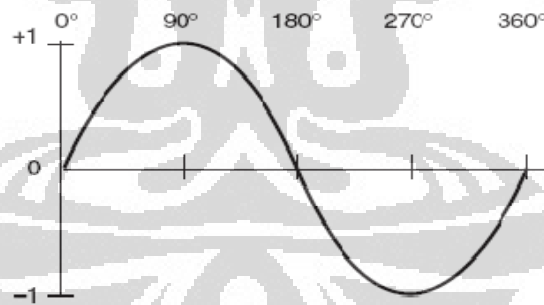
TEORI DASAR

Bab ini berisi pembahasan teori dasar yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan. Teori dasar yang akan dibahas pada bab ini yaitu besaran-besaran fisis untuk besaran listrik AC (*Alternating Current*), prinsip pengukuran listrik AC, penjelasan perangkat keras (*hardware*) yang digunakan.

2.1 Karakteristik Sumber PLN

2.1.1 Tegangan dan Arus Bolak-Balik

Sumber tegangan AC menghasilkan tegangan dengan besar serta polaritas yang berubah-ubah secara priodik berdasarkan fungsi waktu, yang biasanya merupakan fungsi sinusoid^[1], Gambar 2.1. Menurut hukum Ohm, jika tegangan berubah-ubah dan impedansi tetap, maka arusnya pun akan berubah-ubah sesuai dengan perubahan tegangan tersebut dan nilai amplitudonya akan tergantung dari nilai impedansi.



Gambar 2.1 Tegangan atau Arus AC^[1]

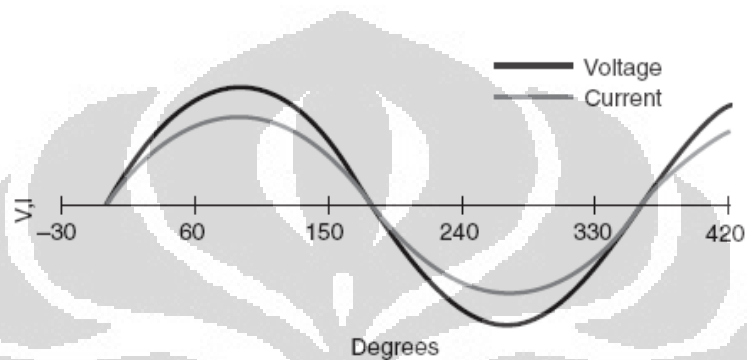
Jika arus AC mengalir pada sebuah rangkaian, maka arus AC tersebut dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$\varepsilon = \varepsilon_{maks} \sin \omega t \quad (2.1)$$

Dengan ε_{maks} adalah emf maksimum dan $\omega = 2 \pi f$, dimana f adalah frekuensi dalam hertz. Arus ac tersebut menimbulkan tegangan (emf) yang bervariasi terhadap waktu secara sinusoidal yang dapat dituliskan pada persamaan (2.2).

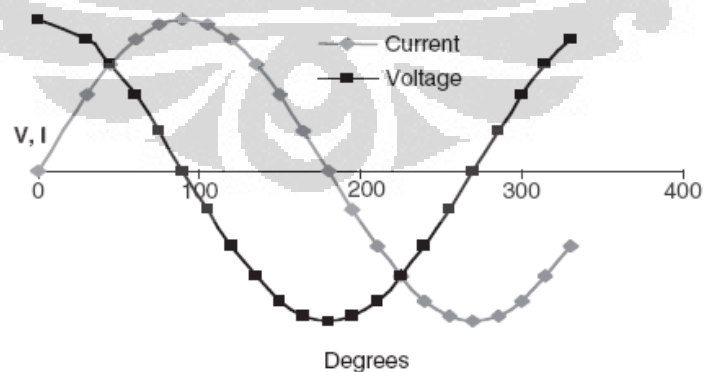
$$i = i_m \sin(\omega t - \theta) \quad (2.2)$$

dimana i_m adalah amplitudo arus maksimum dan θ adalah beda fase antara arus terhadap tegangan. Nilai θ pada rangkaian resistif murni adalah nol sedangkan pada rangkaian kapasitif dan induktif nilainya tidak sama dengan nol, lihat gambar di bawah. Di dalam sebuah resistor arus dan tegangan muncul secara bersamaan sehingga bentuk gelombang arus dan tegangan AC dapat digambarkan pada Gambar 2.2.

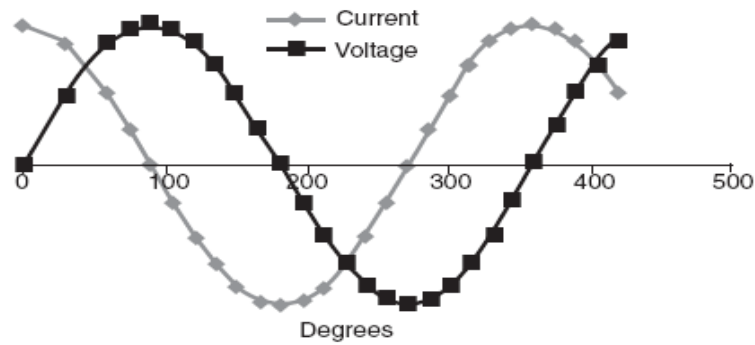


Gambar 2.2 Arus dan Tegangan AC pada Resistor^[1]

Pada sebuah induktor tegangan mendahului arus 90° , lihat Gambar 2.3. Sedangkan pada sebuah kapasitor tegangan ketinggalan 90° oleh arus, Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Arus dan Tegangan AC pada Induktor^[1]



Gambar 2.4 Arus dan Tegangan AC pada Kapasitor^[1]

Di Indonesia tegangan AC yang berasal dari PLN frekuensinya adalah 50 Hz. Tegangan AC memiliki kelebihan dari tegangan DC karena Tegangan AC lebih mudah dibangkitkan serta lebih mudah untuk dinaikkan dan diturunkan menggunakan transformator sehingga tegangan AC mudah dalam proses pendistribusian.

Dalam listrik AC ada beberapa definisi untuk tegangan dan arus diantaranya adalah:

1. Nilai sesaat (*instantaneous values*) adalah nilai arus atau tegangan pada waktu tertentu (sesaat/ *instant time*)^[2]
2. Nilai maksimum (*peak value*) adalah nilai maksimum atau amplitudo dari arus atau tegangan.
3. Nilai puncak ke puncak (*peak-to-peak*) adalah nilai perbedaan antara nilai maksimum dan minimum.
4. Nilai rata-rata (*mean value*) adalah nilai rata-rata arus atau tegangan yang terukur pada setengah siklus^[2]. Untuk gelombang sinus nilai rata-rata adalah:
average value = 0.637 x nilai maksimum = $2/\pi$ x nilai maksimum.
5. Nilai efektif atau *root mean square* (RMS) adalah nilai efektif arus atau tegangan yang akan menghasilkan efek pemanasan yang setara dengan arus DC^[2]. Nilai suplay tegangan RMS dari PLN adalah 220 V. nilai RMS arus dapat dinyatakan

$$I = \sqrt{\frac{i_1^2 + i_2^2 + \dots + i_n^2}{n}} \quad (2.3)$$

Dengan I adalah nilai arus rms dan i adalah nilai arus sesaat. Untuk gelombang sinus nilai rms = 0.707 x nilai maksimum = $1/\sqrt{2}$ x nilai maksimum^[2].

2.1.2 Tegangan dan Arus RMS

Tegangan dan arus AC biasanya dinyatakan dalam nilai RMS (*root mean square*). Definisi RMS tersebut secara matematis diberikan pada persamaan 2.4^[3].

$$F_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} f_i^2} \quad (2.4)$$

F_{RMS} merupakan nilai RMS arus atau tegangan, N banyaknya data, dan f_i nilai sampling per titik. Untuk perubahan tegangan dan arus secara sinusoidal nilai RMS dapat dihitung dengan persamaan (2.5)^[3], A merupakan amplitudo maksimum sinyal yang disampling :

$$F_{RMS} = \frac{1}{\sqrt{2}} A \quad (2.5)$$

Sedangkan secara praktis, tegangan/arus RMS dari sebuah tegangan/arus AC didefinisikan sebagai besarnya tegangan/arus DC yang dihasilkan untuk menghasilkan daya yang ekuivalen dengan daya yang dihasilkan oleh tegangan/arus AC tersebut pada suatu beban^[3].

2.1.3 Daya listrik

Pada sebuah rangkaian yang terdiri dari beban yang dihubungkan dengan sumber AC dengan nilai tegangan sesaat (*instantaneous*) $v(t)$ yang dinyatakan pada persamaan (2.6) dengan V_m adalah amplitudo tegangan:

$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta_v) \quad (2.6)$$

Maka pada rangkaian tersebut akan timbul arus sesaat yang dapat dinyatakan dengan :

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \theta_i) \quad (2.7)$$

Dari arus dan tegangan sesaat tersebut kita dapat menghitung daya sesaat $p(t)$ ^[3] dari rangkaian tersebut yaitu :

$$p(t) = v(t)I(t) = V_m I_m \cos(\omega t + \theta_v) \cos(\omega t + \theta_i) \quad (2.8)$$

Sedangkan daya aktif (*active power*)^[3] atau daya nyata (*real power*) rangkaian tersebut adalah :

$$P_{real} = V_{RMS} I_{RMS} \cos \theta \quad (2.9)$$

Sedangkan daya tampak (*apparent power*) merupakan perkalian antara tegangan RMS dengan arus RMS^[3], yaitu:

$$P_{app} = V_{RMS} I_{RMS} \quad (2.10)$$

Daya tampak tersebut secara fisis memberikan informasi besarnya daya yang dihasilkan oleh sumber daya. $\cos \theta$ pada daya real disebut sebagai faktor daya^[3]. Faktor daya ini dapat menjadi parameter efisiensi pemakaian energi listrik suatu beban^[3].

2.1.4 Energi listrik

Secara matematis energi listrik dapat didefinisikan sebagai integral dari daya pada interval waktu Δt ^[4], dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$E(\Delta t) = \int_{t_0}^{\Delta t + t_0} P dt \quad (2.11)$$

Dari persamaan tersebut energi merupakan besaran yang dinamis, yang berarti bervariasi terhadap waktu^[4].

2.2 Pengukuran Arus

2.2.1 Prinsip Pengukuran Arus

Pengukuran arus dapat dilakukan dengan beberapa cara ada yang dilakukan secara kontak (bersentuhan) ataupun non kotak (melalui induksi magnet). Secara kontak kita langsung memasang alat ukur tersebut secara seri dengan beban yang ingin kita ukur arusnya. Berdasarkan Hukum Ohm dan Hukum Kirchoff yang memberikan hubungan arus yang mengalir melalui sebuah resistor dengan tegangan maka kita dapat mengukur tegangan jatuh (*voltage drop*) pada resistor tersebut untuk mengetahui arusnya. Sedangkan secara non-kontak kita dapat memanfaatkan medan magnet yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir. Medan yang ditimbulkan tersebut dapat diubah kembali menjadi informasi arus. Beberapa sensor/alat yang digunakan untuk pengukuran arus yaitu,

Universitas Indonesia

r-shunt yang merupakan sensor yang harus dipasang langsung (kontak) sedangkan *current transformer*, *rogowsky coil* dan hall sensor untuk pengukuran non-kontak. Pada penelitian ini digunakan sensor *current transformer*/ trafo arus (CT) dikarenakan beberapa kelebihan dibandingkan dengan sensor arus lainnya.

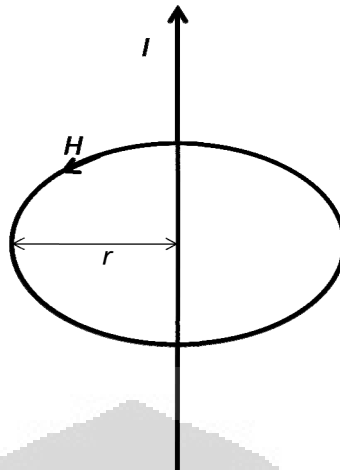
2.2.2 *Current Transformer* (trafo Arus)

Current transformer atau sering disebut CT merupakan sensor arus yang berbentuk seperti donat yang terbentuk dari material magnetik yang dililiti koil sehingga berbentuk toroida. Sensor ini tergolong sensor arus non-kontak. Untuk menggunakan sensor ini kabel (konduktor) yang dialiri arus listrik dimasukkan kedalam lubangnya. Pada CT lilitan primernya adalah kabel yang ingin kita ukur dan lilitan sekundernya ada dalam CT tersebut dengan jumlah N lilitan. Biasanya Pada CT didefinisikan Turn ratio n yang didefinisikan sebagai perbandingan antara lilitan sekunder N_s dengan lilitan primer N_p . Arus yang keluar dari CT adalah $1/N_s$ kali arus yang mengalir pada konduktor karena $N_p = 1$. Harga CT tergolong murah dan aman terutama pada pengukuran arus tinggi karena tidak berhubungan langsung dengan kabel yang ingin diukur arusnya.

Arus ac pada lilitan primer menimbulkan medan magnet H yang arahnya mengikuti kaidah tangan kanan^[5]. Dari teori dasar listrik, medan H yang timbul pada kabel panjang terlihat pada Gambar 2.5 dan dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$H = \frac{I}{2\pi r} \quad (2.12)$$

Dengan H adalah medan magnet, I adalah arus yang mengalir dan r adalah jarak ukur kabel ke medan magnet yang diukur.



Gambar 2.5 Arah Medan H pada Arus yang Mengalir dalam Kabel Panjang

Pada lilitan sekunder timbul tegangan emf dan arus yang menghilangkan medan tersebut. Jika lilitan sekunder memiliki hambatan nol, maka arus yang timbul akan benar-benar menghilangkan medan seluruhnya. Hasilnya arus sekunder sama dengan arus primer dibagi jumlah lilitan sekunder. Arus sekunder akan sefase dengan arus primer. Karena ketatnya loop magnet, maka hanya sedikit efek posisi pemasangan pada lubang CT.

Bagian sekunder selanjutnya dapat dihubungkan hambatan yang kecil yang terkalibrasi dengan baik, namun hambatan sekunder tidak pernah benar-benar nol sehingga tidak semua medan magnet hilang. Pada CT kita biasanya memasang burden resistor sehingga arus yang dihasilkan dari CT akan diukur dalam bentuk tegangan. Tegangan pada burden resistor ini merupakan output dari CT yang dapat kita manfaatkan misalkan ke ADC.

2.3 *Analog-to-Digital Conversion (ADC)*

Sinyal yang ada di dunia ini kebanyakan adalah sinyal analog, yaitu sinyal yang nilainya berubah kontinu terhadap variabel bebas tertentu misalnya waktu, sedangkan mikrokontroler hanya bisa mengolah sinyal dalam bentuk sinyal digital, yaitu sinyal yang nilainya berubah secara diskrit terhadap variabel bebas, oleh karena itu dibutuhkan ADC yaitu suatu komponen elektronika yang mampu mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital. Arus dan tegangan yang diukur oleh sensor merupakan salah satu sinyal analog yang harus diubah menjadi sinyal

digital agar dapat diproses oleh mikrokontroler. Dengan mikrokontroler kita akan lebih mudah mengolah arus dan tegangan tersebut.

Ada beberapa proses yang penting untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital dalam ADC, diantaranya yaitu:

1. Sampling
2. *Quantization* (kuantisasi)
3. *Encoding* (pengkodean)
4. Resolusi

Sampling merupakan proses pengambilan data pada sinyal analog pada rentang waktu tertentu^[6]. Semakin banyak Jumlah data yang diambil maka hasilnya akan lebih baik karena akan mendekati atau mewakili nilai sinyal analog tersebut dalam bentuk sinyal digital. Akan tetapi kita tidak harus melakukan hal tersebut, kita hanya membutuhkan beberapa data sampling saja sesuai dengan sinyal yang kita sampling. Minimum data sampling yang harus kita ambil disebut *minimum sampling rate*. *Minimum sampling rate* bergantung pada sinyal yang kita sampling. Menurut Harry Nyquist minimum sampling rate sinyal adalah dua kali frekuensi terbesar dari sinyal yang kita sampling^[6]. Misalkan sinyal yang di sampling memiliki frekuensi dari 50 Hz sampai 10 KHz maka minimum sampling rate adalah 20 KHz, yaitu 20000 data tiap detik.

Sinyal analog yang telah disampling oleh transducer kemudian akan di ubah oleh ADC dalam bentuk digital berdasarkan jumlah bit ADC yang digunakan. Jumlah bit tersebut mempengaruhi proses kuantisasi hasil pengukuran, semakin besar jumlah bit ADC maka kita dapat membedakan nilai pengukuran menjadi lebih teliti^[6]. Misal, kita memiliki ADC 1 bit maka hasil pengukuran sinyal analog hanya dapat dibedakan menjadi dua level yaitu besar atau kecil saja, yaitu 1 atau 0. Sedangkan bila memiliki 2 bit ADC sinyal dapat dibedakan menjadi 4 level yaitu 00, 01, 10, dan 11. Jumlah level nilai yang dapat dibedakan dipengaruhi jumlah bit n yaitu dengan rumus 2^n . Semakin besar level kuantisasi semakin baik kita menyatakan sinyal yang kita sampling dan akan mendekati nilai sesungguhnya.

Encoding merupakan proses penerjemahan sinyal analog menjadi sinyal digital berupa bilangan binary pada level kuantisasi^[6]. Resolusi berhubungan erat

Universitas Indonesia

dengan kuantisasi. Resolusi merupakan jarak antar level terdekat pada kuantisasi^[6]. Misalkan kita memiliki ADC 1 bit dengan range sebesar 5 V untuk menyatakan tegangan analog dalam digital. Resolusi pada kasus tersebut adalah 2,5 V.

2.3.1 Proses Konversi Sinyal Analog Menjadi digital

Sinyal analog diindera dengan *transducer* yang berguna untuk mengubah besaran fisis menjadi besaran listrik. Sinyal analog tersebut memiliki nilai maksimum dan minimum. Keluaran dari transducer tersebut harus dikondisikan dengan pengkondisi sinyal agar dapat dimasukkan ke ADC. Sinyal tersebut dikondisikan dengan perkalian sebesar K dan pergeseran sebesar B agar sesuai dengan nilai interval tegangan input ADC yang diperbolehkan. Misalkan tegangan maksimum keluaran transducer adalah V_{1max} dan tegangan minimum *transducer* V_{1min} maka tegangan masukan maksimum V_{2max} dan tegangan minimum ADC V_{2min} tersebut memenuhi persamaan berikut^[6]:

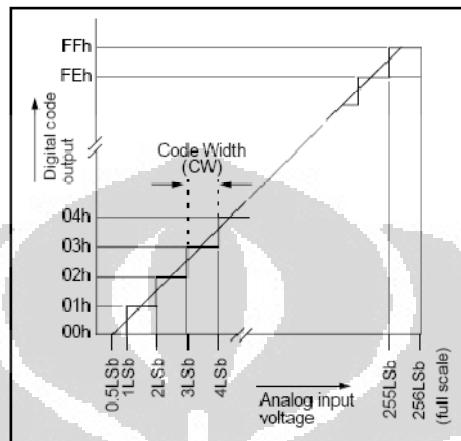
$$V_{2max} = (V_{1max} \times K) + B \quad (2.13)$$

$$V_{2min} = (V_{1min} \times K) + B \quad (2.14)$$

Dengan K merupakan scalar multiplier dan B merupakan tegangan *bias offset* DC. Setelah proses tersebut dilalui kita dapat mengubah sinyal analog tersebut yang berupa tegangan menjadi sinyal digital dengan menggunakan ADC. Proses pertama yang harus dilakukan adalah sampling sinyal analog dengan memperhatikan sinyal masukan ADC tersebut agar dapat menentukan minimum sampling rate sinyal tersebut. Setelah sinyal disampling oleh ADC proses berikutnya yang harus dilakukan adalah kuantisasi yang bergantung pada ADC yang digunakan. Kuantisasi didasarkan pada jumlah bit ADC yang digunakan. Selain jumlah bit ADC menentukan kuantisasi sinyal pada ADC, jumlah bit juga menentukan resolusi ADC tersebut. Setelah kuantisasi selesai maka kita dapat memasuki proses pengkodean (encoding) sinyal analog tersebut dalam bentuk sinyal digital berupa bilangan biner.

2.3.2 Fungsi Transfer

Fungsi transfer merupakan grafik hubungan antara tegangan analog terhadap N bit bilangan digital (misal: *hexadecimal*). Lihat gambar di bawah.

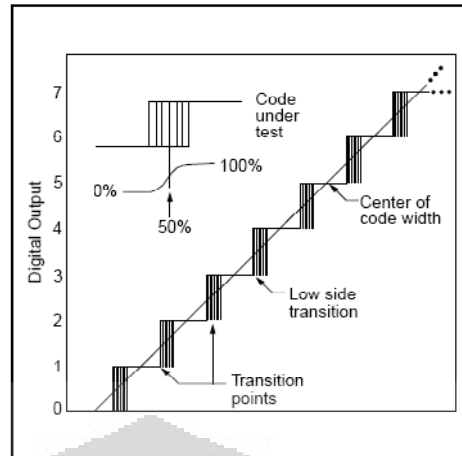


Gambar 2.6 Fungsi Transfer Ideal ADC^[7]

Akan tetapi kenyataannya fungsi transfer tidak seperti fungsi transfer ideal hal tersebut dikarenakan adanya eror dan ketidakidealan seperti titik transisi yang tidak tepat satu titik, *Code Width* (lebar code) tidak tepat 1LSB, adanya *Absolute Error*, *Offset Error* (*Zero Error*) dan *Full Scale Error* (*Gain Error*). Berikut ini penjelasan mengenai ketidakidealan dan eror-eror tersebut:

2.3.2.1 *Transition Point* (titik transisi)

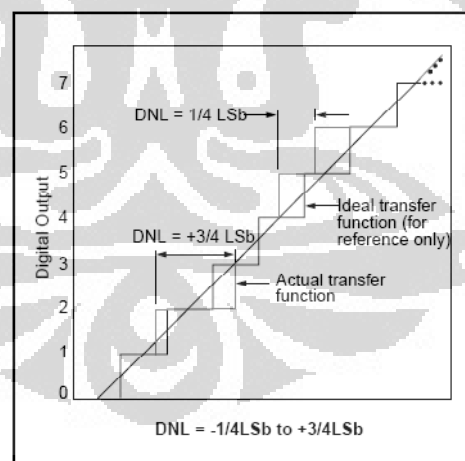
Transition point merupakan titik dimana tegangan input analog berubah dari satu output kode bilangan digital ke kode bilangan digital berikutnya^[7]. Dalam kenyataannya titik tersebut tidak tepat satu titik namun tersebar terdiri dari beberapa titik, lihat Gambar 2.7. Pada titik transisi tersebut ada bagian titik yang berada dibagian paling kiri pada daerah titik transisi yang disebut *low side transition*. Akibat adanya titik-titik transisi yang jumlahnya lebih dari satu maka sinyal digital yang diubah menjadi sinyal digital akan menghasilkan hasil penerjemahan yang kurang tepat atau tidak tepat.



Gambar 2.7 Titik Transisi Tidak Tepat Satu Titik^[7]

2.3.2.2 Code Widht (Lebar Code)

Code width merupakan jarak antara satu titik transisi terhadap titik transisi lain yang terdekat^[7]. Lihat gambar fungsi ideal. Lebar kode (*code widht*) tersebut biasanya tidak tepat 1LSB seperti pada fungsi transfer ideal. Lebar kode yang berbeda jauh dengan 1LSB biasanya dinyatakan dengan *Differential Non-Linearity* (DNL). Lihat Gambar 2.8.



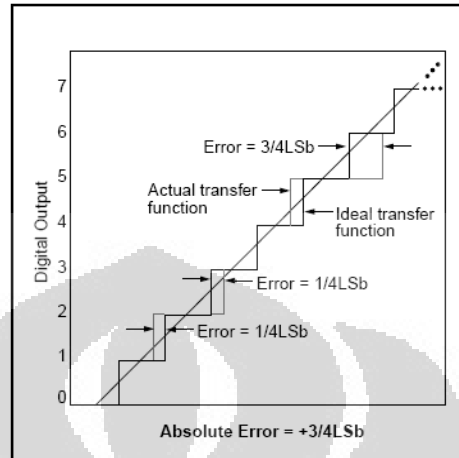
Gambar 2.8 *Differential Non-Linearity*^[7]

2.3.2.3 Absolute Error

Seperti terlihat pada gambar 2.9 dibawah, *absolute error* merupakan perbedaan antara titik transisi ideal dengan titik transisi yang dihasilkan^[7]. Error ini mengakibatkan hasil penerjemahan sinyal digital menjadi kode digital tidak tepat.

Universitas Indonesia

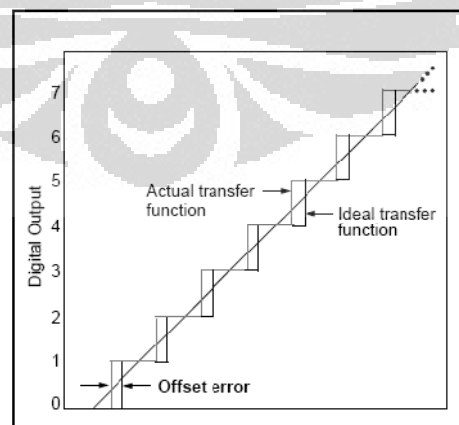
Erer tersebut besarnya bervariasi, seperti terlihat pada Gambar 2.9 eror dinyatakan dalam LSB.



Gambar 2.9 *Absolute Error*^[7]

2.3.2.4 *Offset Error (Zero Error)*

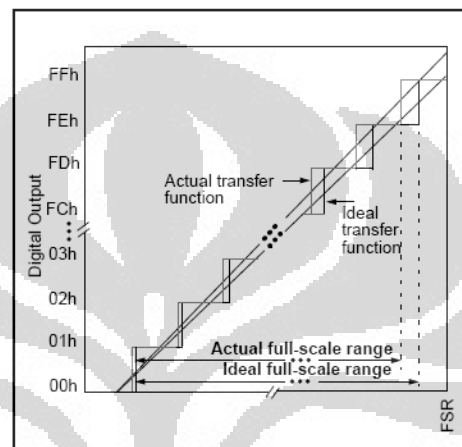
Mirip seperti *absolute error* namun eror ini sebenarnya merupakan eror yang disebabkan oleh perbedaan titik transisi awal terhadap titik transisi ideal awal, lihat Gambar 2.10. Eror ini pada setiap titik transisi nilainya tetap berbeda dengan absolute eror yang mungkin berbeda-beda nilainya atau hanya muncul pada satu titik transisi saja. Untuk menghilangkan eror ini dapat dilakukan dengan mengurangi *offset error* untuk setiap hasil konversi:^[7]



Gambar 2.10 *Offset Error*^[7]

2.3.2.5 Full Scale Error (Gain Error)

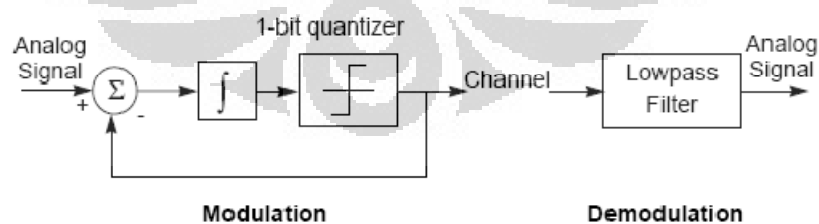
Full Scale Error merupakan perbedaan antara range ideal *full scale* dan *actual full scale*^[7]. Error ini mengakibatkan berubahnya slop pada transfer fungsi terhadap fungsi transfer ideal sehingga disebut juga *Gain Error*. Error ini dapat dikoreksi dengan mengalikan tiap hasil konversi dengan inversi dari gain. Gambar 2.11 memperlihatkan *Full scale error*.



Gambar 2.11 *Full Scale Error*^[7]

2.3.3 Delta-sigma ADC

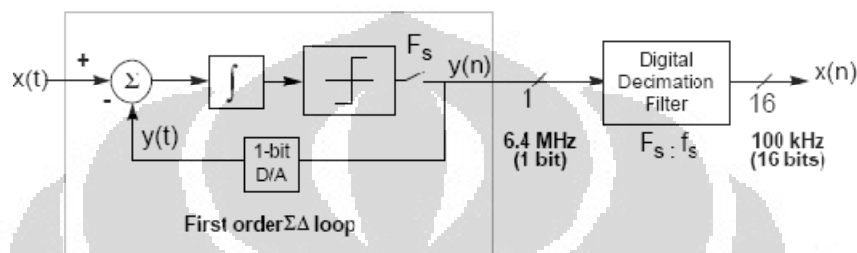
Gambar 2.12 merupakan gambar delta-sigma modulator yang merupakan dasar dari delta-sigma ADC. Delta-sigma modulator terdiri dari *integrator*, *comparator* dan *feedback*.



Gambar 2.12 Delta-sigma Modulator^[8]

Sinyal input yang ingin diubah menjadi sinyal digital masuk ke dalam modulator kemudian diintegrasikan dan dilakukan proses komparasi dengan *comparator*. Output hasil keluaran komparator tersebut telah menjadi sinyal digital yang kemudian diumpan balikkan ke input *modulator*. Akibatnya sinyal

yang masuk ke integrator selanjutnya merupakan perbedaan antara sinyal yang masuk $x(t)$ dengan sinyal hasil sampling *comparator* $y(t)$. *integrator* melakukan proses integrasi terhadap eror/perbedaan antara sinyal hasil sampling terhadap sinyal input, Hasilnya adalah sinyal di-*low pass filter* dan *noise* mengalami *high pass filter*^[8]. Akibat dari proses tersebut sinyal yang dihasilkan tidak berubah tetapi *noise* menjadi memiliki lebar pita frekuensi yang semakin lebar^[8].



Gambar 2.13 Rangkaian Dasar Delta-sigma ADC Orde-1^[8]

Gambar diatas merupakan blok diagram delta-sigma ADC orde pertama. Output dari delta-sigma *modulator* yang hanya terdiri dari satu bit data yaitu $y(t)$ diubah menjadi sinyal analog, $x'(t)$, dengan 1-bit DAC yang diumpungkan kembali ke input *modulator*. Input *integrator* pada *modulator* merupakan perebedaan antara sinyal input $x(t)$ dan sinyal analog hasil prediksi, $x'(t)$, yang setara dengan *quantization error* pada proses konversi. Error tersebut dijumlahkan pada integrator dan dikuantisasi kembali dengan 1-bit DAC. Yang dilakukan oleh loop delta-sigma *modulator* adalah menghasilkan output ± 1 yang dapat dirata-ratakan untuk beberapa input yang masuk pada selang perioda tertentu untuk menghasilkan hasil yang tepat. Output tersebut dirata-ratakan dengan *digital decimation filter* seperti terlihat pada Gambar 2.13. Untuk delta-sigma ADC orde kedua jumlah *integrator* pada *modulator* adalah 2.

2.4 IC Energi Meter MCP3909

2.4.1 Fitur dan Karakteristik MCP3909

MCP3909 memiliki feature sebagai berikut^[9]:

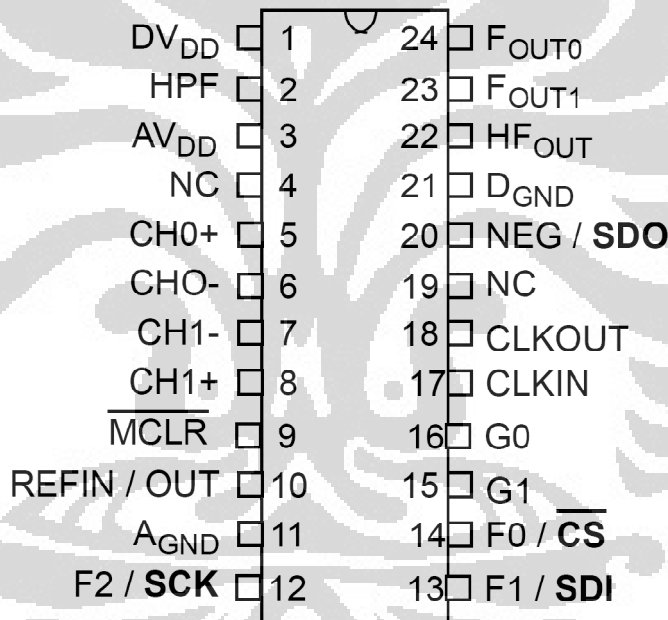
- Output berupa sinyal *digital data word 16-bit* tegangan dan arus serta perkalian 20-bit yang dapat diakses secara serial melalui antarmuka SPI

Universitas Indonesia

- Mendukung spesifikasi energi meter internasional IEC 62053 dan IEC 1036/61036/687
- 2 delta sigma ADC 16-bit
- PGA yang dapat memperkuat sinyal masukan yang kecil
- Tegangan referensi yang memiliki perubahan terhadap temperatur yang sangat kecil yaitu $15 \text{ ppm}^{\circ\text{C}}$.
- Temperatur range : $-40^{\circ\text{C}}$ sampai $+85^{\circ\text{C}}$

2.4.2 Konfigurasi Pin MCP3909

MCP3909 terdiri dari 24 pin seperti terlihat pada Gambar 2.14



Gambar 2.14 Konfigurasi Pin MCP3909^[9]

Tabel 2.1 Penjelasan Konfigurasi Pin MCP3909^[9]

no	Simbol	Fungsi
1	DV _{DD}	Pin suplay daya digital
2	HPF	Pin <i>high-pass filter</i> control logic
3	AV _{DD}	Pin suplay daya analog
4	NC	<i>no connect</i> /tidak dihubungkan
5	CH0+	Pin <i>non-inverting input</i> analog untuk kanal 0 (kanal arus)
6	CH0-	Pin <i>inverting input</i> analog untuk kanal 0 (kanal arus)

Universitas Indonesia

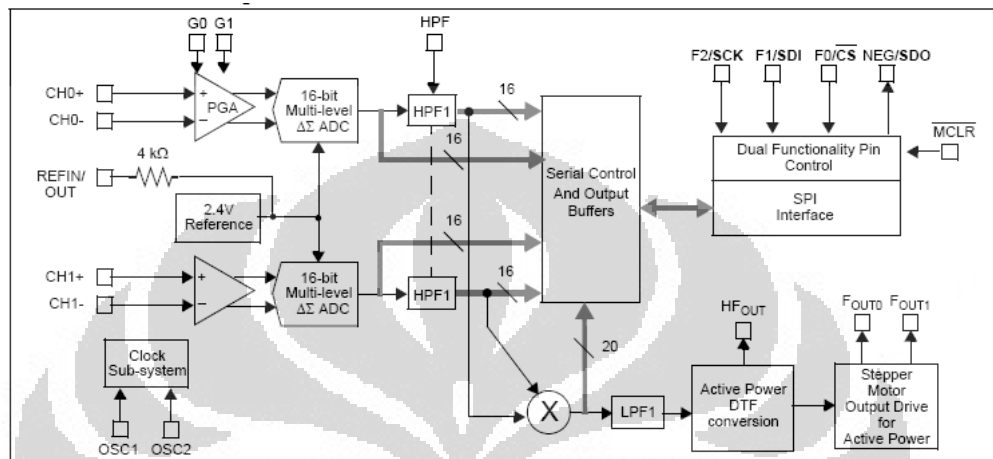
2.1 (Sambungan)

7	CH1-	Pin <i>inverting input</i> analog untuk kanal 1 (kanal tegangan)
8	CH1+	Pin <i>non-inverting input</i> analog untuk kanal 1 (kanal tegangan)
9	MCLR	Pin <i>Master clear</i>
10	REFIN/OUT	Pin input/output tegangan referensi
11	A _{GND}	Pin ground analog
12	SCK/F2	Pin input logika untuk kendali frekuensi H _{FOUT} atau <i>serial clock</i>
13	SDI/F1	Pin input logika untuk kendali frekuensi F _{OUT0/1} atau Serial; data input
14	CS/F0	Pin input logika untuk kendali frekuensi F _{OUT0/1} atau <i>chip select</i>
15	G1	Pin input logika pengatur <i>Gain</i> (penguatan kanal arus)
16	G0	Pin input logika pengatur <i>Gain</i> (penguatan kanal arus)
17	OSC1	Pin input <i>clock</i> atau osilator kristal
18	OSC2	Pin input <i>clock</i> atau osilator kristal
19	NC	<i>no connect</i> /tidak dihubungkan
20	SDO/NEG	Pin output logika daya negatif atau serial data output
21	D _{GND}	Pin ground digital
22	H _{FOUT}	Pin output logika Frekuensi tinggi
23	F _{OUT1}	Pin output logika <i>Differential mechanical counter</i>
24	F _{OUT0}	Pin output logika <i>Differential mechanical counter</i>

2.4.3 Blok Diagram MCP3909

Gambar 2.15 merupakan blok diagram MCP3909 yang digunakan sebagai ADC pada penelitian ini. Pada gambar tersebut terlihat ada dua chanel ADC, chanel atas merupakan input masukan untuk arus dalam tegangan. Chanel arus tersebut terdiri dari CH0+ dan CH0-. Tegangan *differential* maksimum yang dapat masuk ke chanel arus ini adalah $\pm 470 \text{ mV/G}^{[9]}$, dengan G adalah penguatan yang dapat diset pada PGA. Arus dalam bentuk tegangan tersebut kemudian dilewatkan pada PGA yang berfungsi sebagai penguat. Penguatan PGA dapat diatur menjadi 1, 2, 8 dan 16. dengan adanya PGA maka sinyal arus yang kecil dapat dibaca tanpa perlu menggunakan pengkondisi sinyal. Chanel CH1+ dan CH1- merupakan chanel untuk tegangan, besar tegangan *differential* maksimum yang dapat masuk ke chanel ini adalah $\pm 660 \text{ mV}^{[9]}$. Blok selanjutnya adalah ADC yang merupakan $\Delta\Sigma$ ADC 16-bit orde kedua yang ada pada chanel arus dan tegangan. ADC tersebut memiliki tegangan referensi internal dengan besar 2,4 V. $\Delta\Sigma$ ADC memiliki kelebihan yaitu memiliki linearitas yang tinggi dan distorsi yang rendah. Selain itu, dengan menggunakan $\Delta\Sigma$ ADC 16-bit kita tidak memerlukan *anti-*

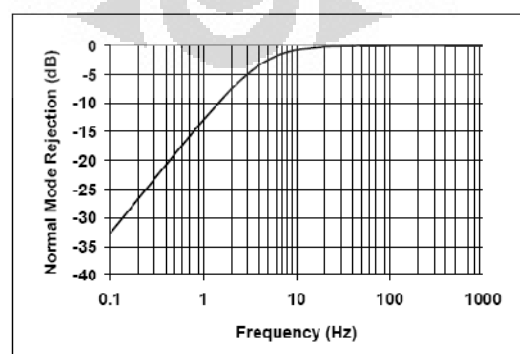
aliasing filter dan meminimalisir *noise* pada bagian output konverter tanpa mengganggu kelinearannya^[9]. Besar tegangan saturasi ADC ini adalah 700 mV untuk channel 0 dan 1 V untuk channel 1^[9]. Output dari ADC dapat berupa output 16-bit arus dan tegangan serta 20-bit perkalian arus dan tegangan.



Gambar 2.15 Diagram Blok MCP3909^[9]

Dalam IC ini juga terdapat *High Pass Filter* (HPF) yang berfungsi sebagai *filter* dari sinyal DC di kedua channel. Fungsi dari HPF ini adalah untuk menghilangkan komponen DC *offset* pada kedua kanal^[9], sehingga mengurangi kesalahan pada pengukuran daya sesaat pada mode *active power pulse output*.

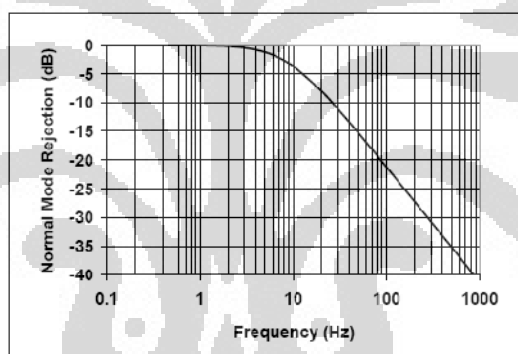
Nilai frekuensi cut-off HPF pada frekuensi 50 Hz adalah 4,45 Hz lihat Gambar 2.16. Fungsi HPF dapat juga dihilangkan dengan memberikan logika '0' pada pin HPF di MCP3909^[9].



Gambar 2.16 Respon Frekuensi pada HPF^[9]

Blok 'dual functional pin' merupakan blok untuk mengontrol fungsi yang ingin digunakan pada MCP3909 sedangkan blok SPI *interface* merupakan blok antar muka output MCP3909 dengan peralatan lain melalui SPI (*Serial Peripheral Interface*).

Blok selanjutnya adalah *Low Pass Filter* (LPF) yang berfungsi untuk mengekstrak informasi daya nyata aktif (komponen DC) dari sinyal daya sesaat. Respon frekuensi pada LPF dapat dilihat pada Gambar 2.17. Pada gambar tersebut nilai frekuensi cut-off adalah 8,9 Hz. Untuk frekuensi 50 Hz maka filternya akan memfilter sampai 20 dB. Output dari LPF diumpungkan ke *digital-to-frequency converter* (DTF) sehingga daya nyata yang dihasilkan dapat diakses melalui mode *active power pulse output* melalui pin Fout0/1 dan HFout berupa pulsa dengan frekuensi yang sesuai dengan nilai daya nyata.



Gambar 2.17 Respon Frekuensi LPF^[9]

2.4.4 Dual Function MCP3909

MCP3909 merupakan IC energi meter yang memiliki dua fungsi yang dapat bekerja secara simultan yaitu *active power pulse output* dan *waveform output* via SPI interface^[9]. Pada penelitian ini digunakan fungsi *active power pulse output*:

2.4.4.1 Active Power Pulse Output

Untuk active power output IC MCP3909 menghasilkan output pulsa dengan frekuensi yang proporsional dengan daya aktif^[9]. Pulsa output tersebut keluar dari pin F_{out0}, F_{out1} dan HF_{out}. Pada F_{out0}/F_{out1} sinyal output tersebut adalah daya aktif

rata-rata sedangkan pada HF_{out} adalah daya aktif seketika yang bermanfaat untuk proses kalibrasi^[9]. Frekuensi pulsa yang dihasilkan dipengaruhi juga oleh parameter logika pada pin F0, F1 dan F2. Untuk frekuensi keluaran pada F_{out0}/F_{out1} memenuhi persamaan berikut^[9]:

$$F_{OUT}(Hz) = \frac{8,06 \times V_0 \times V_1 \times G \times F_C}{(V_{REF})^2} \quad (2.15)$$

Dimana:

V_0 = tegangan differential RMS pada kanal 0

V_1 = tegangan differential RMS pada kanal 1

G = Gain pada PGA di kanal 0

F_C = Konstanta frekuensi yang dipilih

V_{REF} = tegangan referensi

F_C ditentukan oleh logika F0 dan F1 dan clock kristal yang digunakan melalui tabel berikut:

Tabel 2.2 Logika F0 dan F1^[9]

F1	F0	F_C (Hz)
0	0	$MCLK/2^{21}$
0	1	$MCLK/2^{20}$
1	0	$MCLK/2^{19}$
1	1	$MCLK/2^{18}$

Pada HF_{out} frekuensi output yang dihasilkan memenuhi persamaan berikut^[9]:

$$HF_{OUT}(HZ) = \frac{8,06 \times V_0 \times V_1 \times G \times HF_C}{(V_{REF})^2} \quad (2.16)$$

Dimana:

V_0 = tegangan differential RMS pada kanal 0

V_1 = tegangan differential RMS pada kanal 1

G = Gain pada PGA di kanal 0

HF_C = Konstanta frekuensi yang dipilih

V_{REF} = tegangan referensi

Dengan HF_C ditentukan oleh logika F0, F1 dan F2 serta clock yang digunakan MCP3909 (MCLK) melalui tabel berikut:

Tabel 2.3 Logika F0 dan F1 dan F2 Untuk Menentukan Konstanta HF_C ^[9]

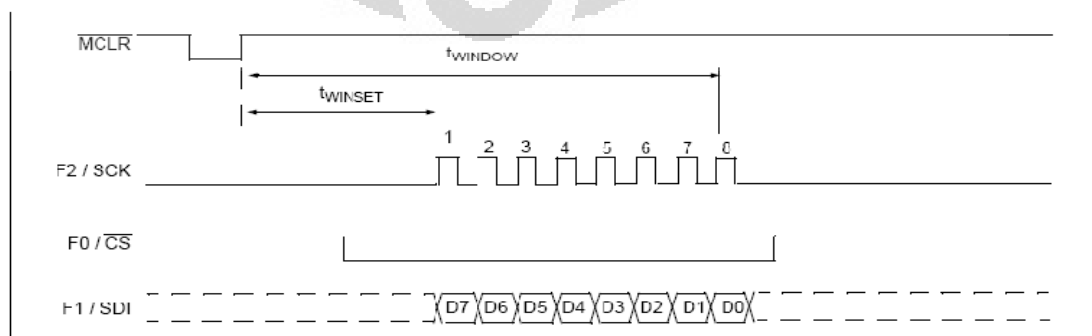
F2	F1	F0	HF_C (Hz)
0	0	0	$MCLK/2^{15}$

2.3 (Sambungan)

0	0	1	$MCLK/2^{15}$
0	1	0	$MCLK/2^{15}$
0	1	1	$MCLK/2^7$
1	0	0	$MCLK/2^{16}$
1	0	1	$MCLK/2^{16}$
1	1	0	$MCLK/2^{16}$
1	1	1	$MCLK/2^{16}$

2.4.4.2 Waveform Output Via SPI interface

Keluaran serial dari MCP3909 dapat diambil dari pin SPI yaitu pin NEG, F2, F1 dan F0 dengan mengaturnya berturut-turut menjadi SDO, SCK, SDI dan CS^[9]. Untuk memasuki mode serial tersebut dilakukan dengan memberikan serial command (perintah) pada pin-pin MCP3909 tersebut (NEG, F2, F1 dan F0) pada saat time window setelah IC direset atau POR (Power-on-Reset). Pada waktu tersebut (time window) F2 menjadi SCK, F1 menjadi SDI dan F0 menjadi CS. Setelah memasuki mode serial MCP3909 harus direset atau diubah ke mode serial lainnya dengan menggunakan pin MCLR untuk menghindari *mode functionality*^[9], lihat gambar 2.18 dibawah. Data SPI dapat diakses hingga 20 MHz^[9]. Setelah masuk *serial mode*, fungsi-fungsi pada MCP3909 seperti PGA, ADC, HPF, multiplier, LPF dan fungsi digital lainnya masih tetap berfungsi sehingga IC ini memiliki dual fungsi dalam sistem energi meter^[9].

Gambar 2.18 Proses Memasuki Mode Serial dan Transfer Data^[9]

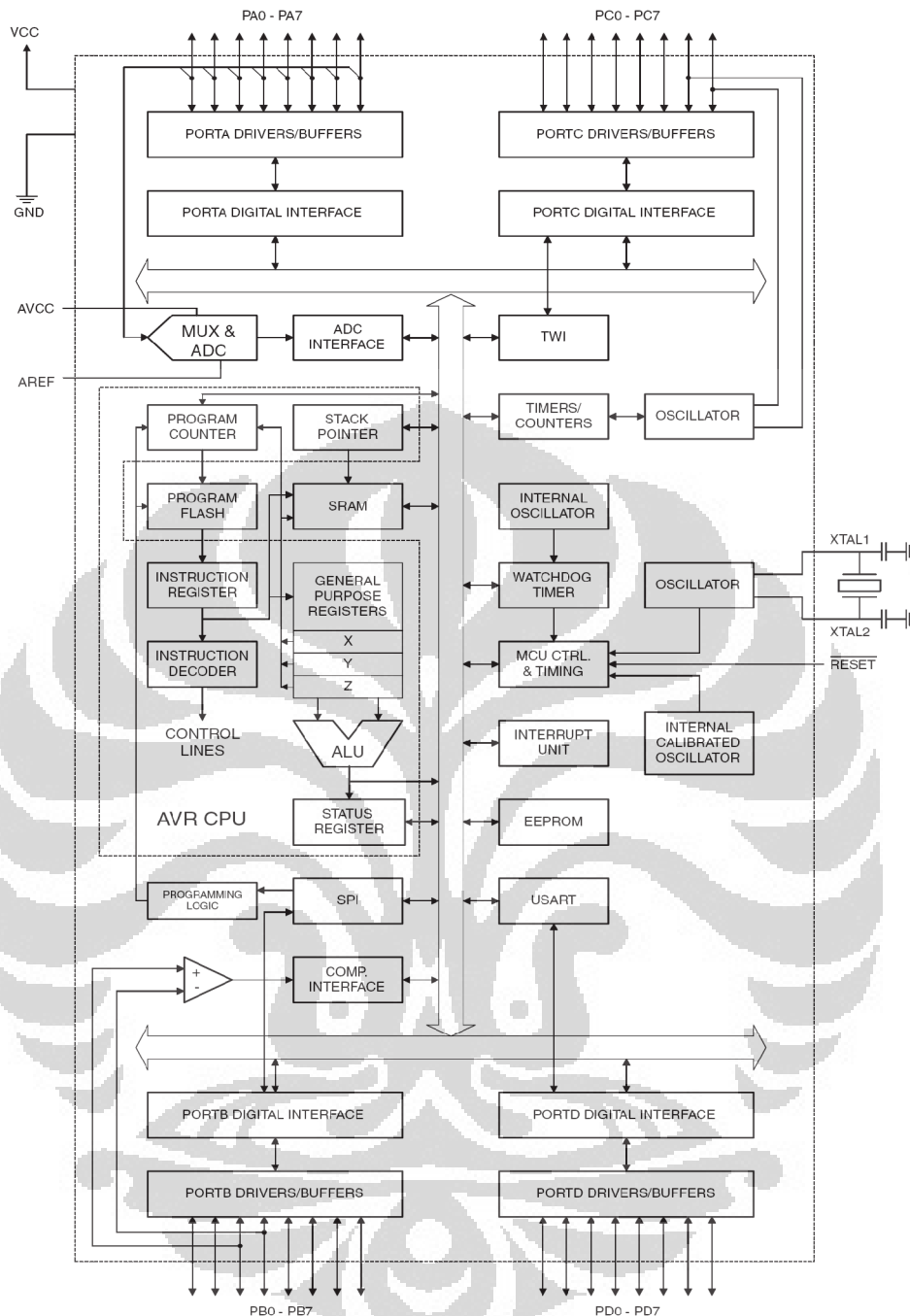
2.5 AVR ATmega32

ATmega32 adalah salah satu jenis mikrokontroler 8 bit keluaran atmel. Mikrokontroler ini memiliki arsitektur RISC (*Reduce Instruction Structure Chip*)^[10]. Dengan mengeksekusi instruksi dalam *single clock cycle*, AVR bisa mencapai 1 MIPS per MHz sehingga design sistemnya dapat mengoptimalkan konsumsi daya dan kecepatan prosesing^[10]. Mikrokontroler ATmega32 memiliki arsitektur Harvard, yaitu memisahkan memori untuk kode program dan memori untuk data sehingga dapat memaksimalkan unjuk kerja dan paralelisme^[10]. Intruksi – intruksi dalam memori program dieksekusi dalam satu alur tunggal, dimana pada saat satu intruksi dikerjakan, instruksi berikutnya sudah diambil dari memori program. Konsep inilah yang memungkinkan instruksi – instruksi dapat di eksekusi dalam setiap satu siklus clock.

Pada penelitian ini ATmega32 digunakan sebagai pengendali IC MCP3909 dan juga berfungsi untuk menghitung frekuensi pulsa keluaran yang dihasilkan oleh IC MCP3909 pada pin HFout yang sebanding dengan nilai daya yang digunakan oleh beban yang kemudian dikonversi menjadi nilai daya tampak dan energy yang dikonsumsi oleh beban dan menampilkannya ke LCD. Pada mode waveform output , ATmega akan berkomunikasi dengan lebih banyak pin lagi diantaranya pin SPI. Untuk memasuki mode waveform output tersebut ATmega32 bertindak sebagai master dan IC MCP3909 bertindak sebagai slave yang dilakukan dengan memberikan logika low pada pin CS di MC3909.

2.5.1 Arsitektur ATmega32

Arsitektur ATmega32 dapat dilihat pada Gambar 2.19. ATmega32 memiliki 32 register kerja tujuan umum (*general purpose working register*)^[10]. Register tersebut semuanya terhubung secara langsung dengan *Arithmetic Logic Unit (ALU)*^[10] . Dengan arsitektur tersebut kode yang digunakan akan lebih efisien sampai 10 kali lebih cepat dibandingkan dengan mikrokontroler dengan arsitektur CISC^[10].



Gambar 2.19 Arsitektur ATmega32^[10]

Dari gambar tersebut, ATmega32 memiliki bagian-bagian sebagai berikut^[10]:

- Saluran I/O sebanyak 32 buah (Port A, Port B, Port C, dan Port D)
- ADC 10 bit sebanyak 8 saluran/chanel.
- Tiga buah Timer/Counter dengan kemampuan pembandingan.

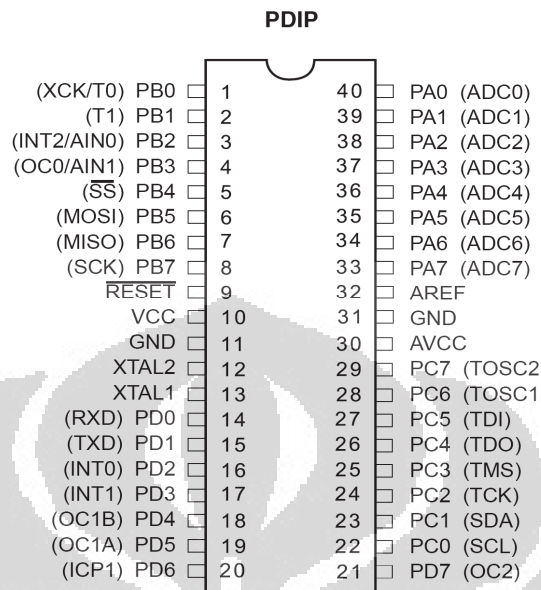
- CPU yang terdiri dari 32 Register dan *Watchdog timer* dengan *Internal Oscillator*.
- SRAM sebesar 2 Kbyte.
- Memori *Flash* sebesar 32 Kbyte dengan kemampuan *Read-While-Write*.
- Unit interupsi internal dan eksternal.
- Port antarmuka SPI.
- EEPROM sebesar 1024 byte yang dapat diprogram saat operasi.
- Port USART untuk komunikasi serial.

2.5.2 Fitur ATmega32

ATmega32 memiliki feature sebagai berikut^[10]:

- 32K bytes *In-System Programmable Flash* dengan kemampuan *Read-While-Write*,
- 1024 bytes EEPROM,
- 2K byte SRAM,
- 32 fungsi umum I/O,
- 32 *general purpose working registers*,
- tiga buah *Timer/Counters*,
- internal dan eksternal *interrupt*,
- *Serial programmable* USART dengan kecepatan maksimal 2,5 Mbps,
- satu byte *oriented Two-wire Serial Interface*,
- 10-bit ADC,
- *Watchdog Timer* yang dapat diprogram dengan *Internal Oscillator*,
- SPI serial port,
- serta memiliki enam pilihan *power saving mode* yaitu; *Idle*, *ADC Noise Reduction*, *Power Save*, *Power Down*, *Standby* dan *Extended Standby* untuk penghematan penggunaan daya listrik.

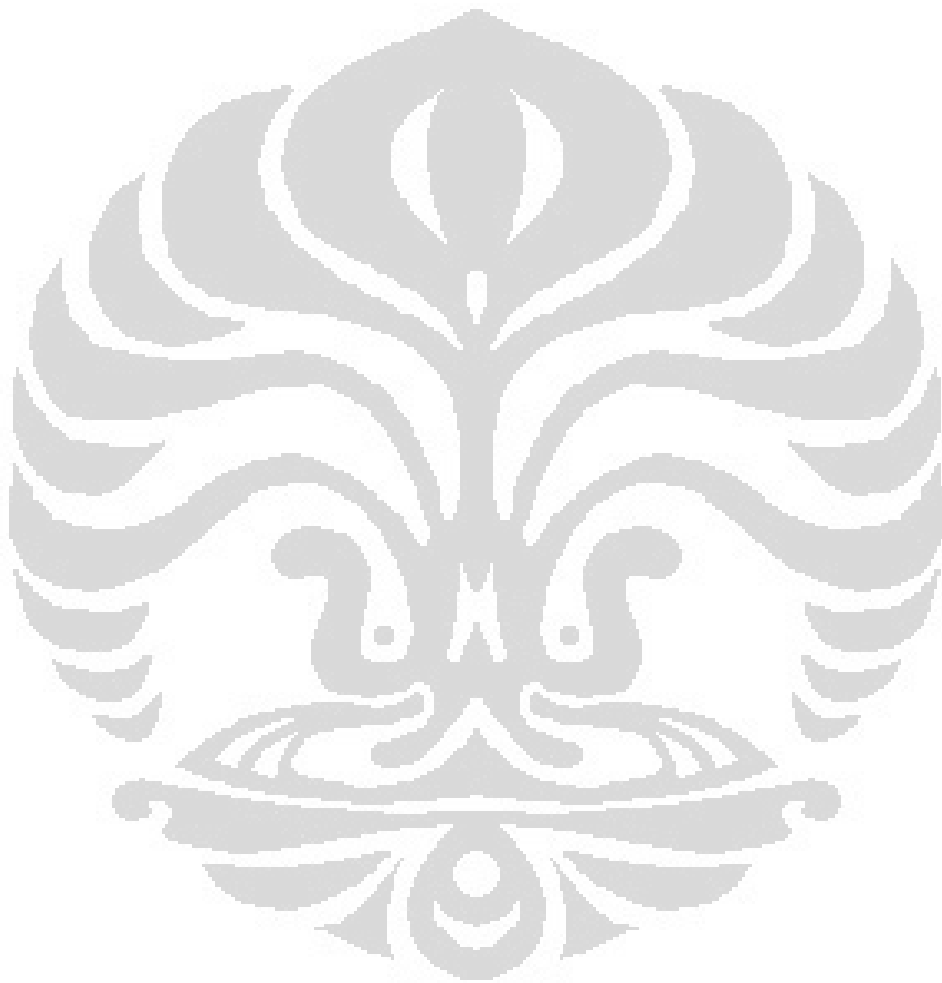
2.5.3 Konfigurasi Pin AVR



Gambar 2.20 Konfigurasi Pin AVR ATmega32^[10]

Penjelasan fungsi pin AVR ATmega32^[10] :

- PA0-PA7 : Port A merupakan port I/O 8-bit *bi-directional*.
- PB0-PB7 : Port B merupakan port I/O 8-bit *bi-directional*.
- PC0-PC7 : Port C merupakan port I/O 8-bit *bi-directional*.
- PD0-PD7 : Port D merupakan port I/O 8-bit *bi-directional*.
- VCC : *Power supply*.
- GND : *Ground*.
- RESET : Reset input. Kondisi logika low “0” lebih dari 50ns pada pin ini akan membuat mikrokontroler masuk ke dalam kondisi reset.
- XTAL1 : input bagi *inverting oscillator amplifier* dan input bagi *clock internal*.
- XTAL2 : output *inverting oscillator amplifier*.
- AVCC : Pin *power supply* untuk port A dan A/D converter.
- AGND : Ground analog (ADC).
- AREF : Referensi analog untuk ADC.

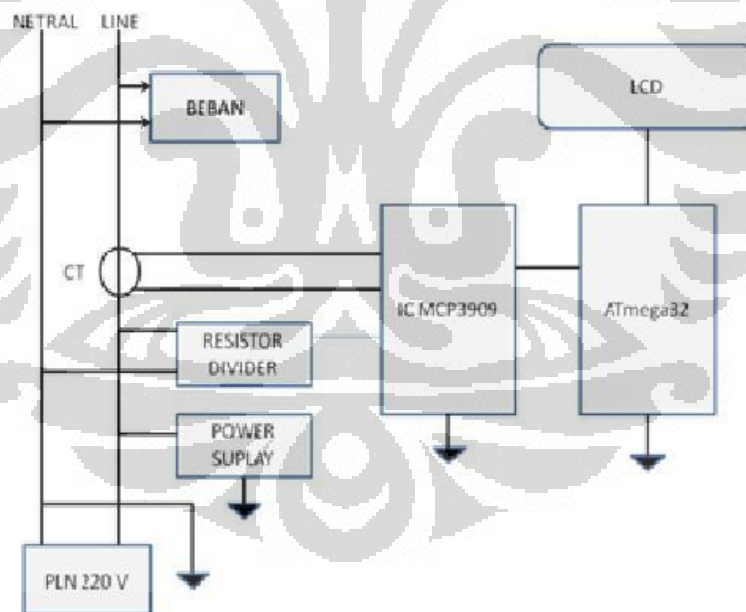


BAB 3

PERANCANGAN ALAT DAN PROGRAM

3.1 Rancangan Sistem Umum Perangkat Keras

Rancangan sistem secara umum digambarkan pada Gambar 3.1 dibawah ini. Dalam gambar tersebut tegangan dan arus beban dikondisikan dengan pengkondisi sinyal tegangan dan arus agar nilainya sesuai dengan kemampuan IC MCP3909. Pengkondisi sinyal tegangan digambarkan dengan blok bertuliskan resistor divider dan pengkondisi sinyal arus digambarkan dengan bulatan lingkaran yang merupakan lambang current trafo. Dari pengkondisi sinyal, input arus dan tegangan diloah di IC MCP3909.



Gambar 3.1 Rancangan Sistem Umum

Dari MCP3909 output yang dihasilkan berupa pulsa frekuensi dihitung dan diproses oleh mikrokontroler ATmega32 untuk ditampilkan pada LCD. Data yang ditampilkan daya (tampak) dan energi.

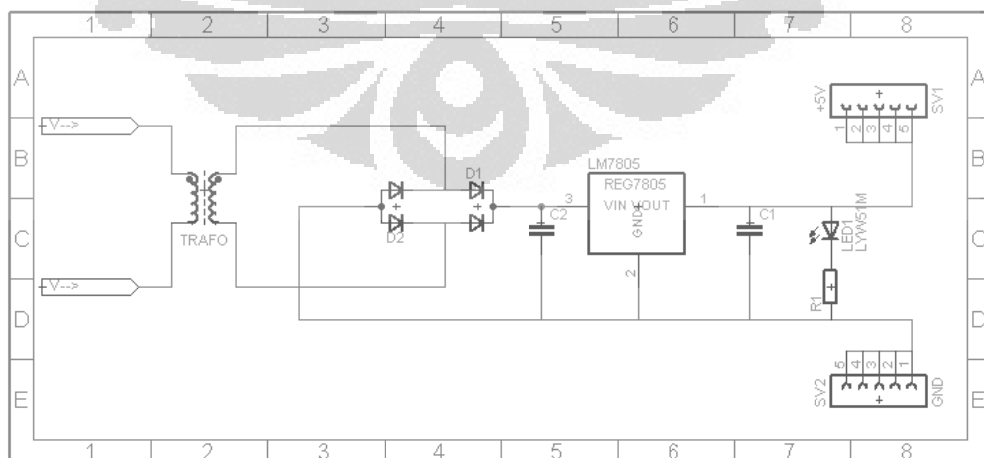
3.2 Perancangan Subsistem Perangkat Keras

Subsistem perangkat keras terdiri dari:

- ⊕ Power suplay
- ⊕ Pengkondisi sinyal arus dan tegangan.
- ⊕ Rangkaian MCP3909 sebagai IC energy meter yang menghasilkan pulsa berupa gelombang kotak periodik.
- ⊕ Minsis mikrokontroler Atmega32 sebagai pengolah data dan penyimpanan data.
- ⊕ LCD untuk menampilkan data yang telah diolah di mikrokontroler.

3.2.1 Perancangan Power Supply

IC MCP3909, mikrokontroler dan LCD semuanya membutuhkan suplay tegangan 5 V dan 9 V. Untuk itu power suplay yang dirancang pada penelitian ini adalah power suplay dengan output keluaran 5 V dan 9 V. Power suplay ini mengambil daya dari sumber PLN yang kemudian tegangan PLN diturunkan dengan tranfo *step down* sehingga keluarannya menjadi 9 V AC. Kemudian dilewtkan ke dioda bridge dan di filter dengan kapasitor dan kemudian dihubungkan ke IC LM7805 dan LM7809 untuk menghasilkan tegangan 5 V dan 9 V. Skema rangkain power suplay dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Power Suplay 5 V

Keluaran tegangan 5 V dan 9 V dapat diambil dari kelima port yang telah disediakan berupa *header male* dengan menggunakan kabel jumper untuk digunakan pada subsistem lainnya yang membutuhkan seperti rangkaian minsis ATmega32 dan MCP3909. Rangkaian minsis ATmega32 membutuhkan tegangan 9 V, rangkaian IC MCP3909 dan LCD membutuhkan tegangan 5 V.

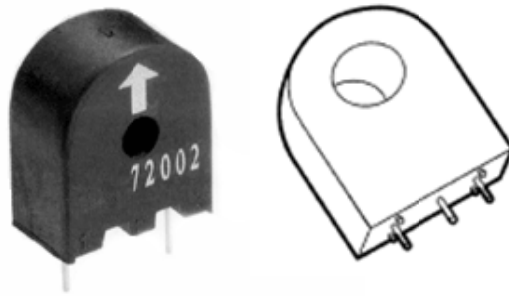
3.2.2 Perancangan Rangkaian Pengkondisi Sinyal Arus dan Tegangan

Input tegangan dan arus yang dimasukkan ke IC MCP3909 harus dalam bentuk tegangan AC. Nilai tegangan masukkan yang diperbolehkan pada MCP3909 untuk chanel arus (CH0) adalah ± 470 mV/G, dengan G adalah besar penguatan pada PGA yang dapat diseting oleh kita pada MCP3909 pada pin G0 dan G1, nilai G tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut:

Table 3.1 *Gain (G)* pada Chanel Arus (CHO)^[9]

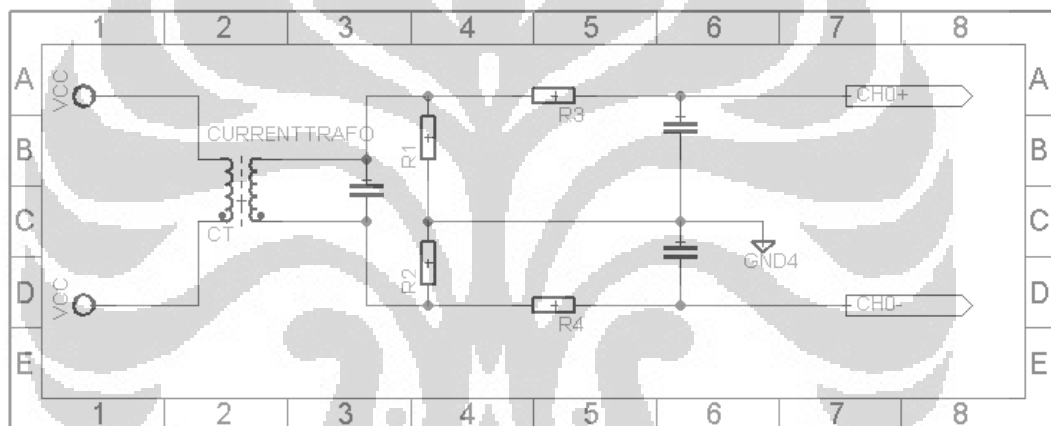
G1	G0	CHO Gain (G)	tegangan maksimum CHO
0	0	1	± 470 mV
0	1	2	± 235 mV
1	0	8	± 60 mV
1	1	16	± 30 mV

Karena arus yang ingin diukur adalah arus yang tidak terlalu kecil dan kemungkinan arus yang masuk besar maka pada perancangan alat dibagian rangkaian MCP3909 dipilih G=1 dengan cara memberikan nilai digital 0 pada pin G1 dan G0, sehingga input maksimum yang diperbolehkan masuk adalah ± 470 mV. Oleh karena itu agar masukkan tidak melebihi tegangan maksimumnya maka pada chanel arus digunakan current trafo (CT) dengan turn ratio 1000:1 agar MCP3909 mampu mengukur arus yang sangat besar. Turn ratio 1000:1 artinya arus yang mengalir pada kawat penghantar akan menghasilkan arus 1/1000 kalinya pada output CT. CT dengan turn ratio 1000:1 dipilih agar arus yang dapat diukur dapat mencapai arus yang sangat besar yaitu 20 A. CT yang digunakan adalah CT merk Triad dengan tipe CST-1020.



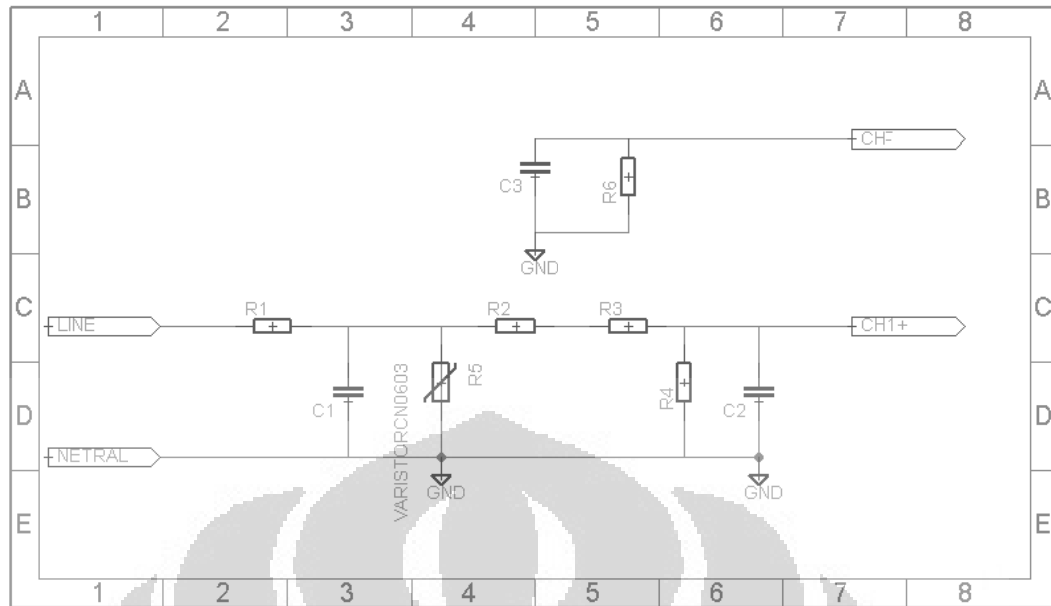
Gambar 3.3 Contoh Current Trafo (CT)

Gambar 3.4 merupakan gambar skema pengkondisi sinyal arus dengan besar hambatan R1 dan R2 dibuat sama yaitu 20 ohm. Sedangkan R3 dan R4 adalah 1 kohm.



Gambar 3.4 Skema Rangkaian Pengkondisi Sinyal Arus^[11]

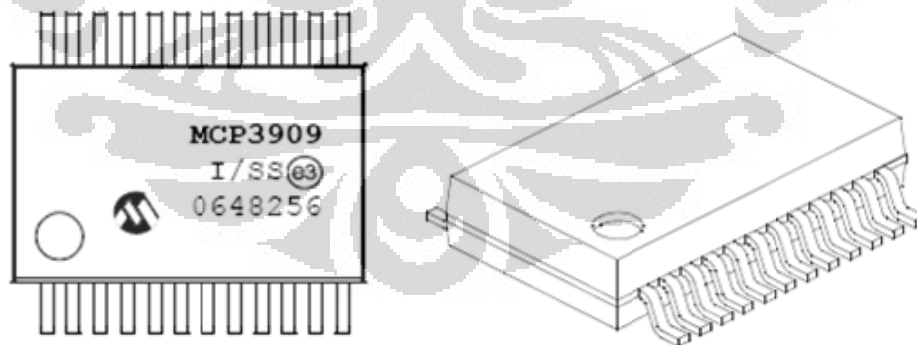
Untuk *channel* tegangan (CH1) besar tegangan maksimum yang boleh masuk adalah ± 660 mv jika ingin IC MCP3909 bekerja dengan baik. Pada *channel* tegangan, tegangan diperkecil dengan voltage divider menjadi 1/452 kalinya dengan menghubungkan 2 buah resistor 226 kohm secara seri dan kemudian dihubungkan secara paralel dengan resistor 1 kohm. Sebelumnya digunakan varistor 275VRMS untuk menjaga rangkaian bila tiba-tiba terjadi kenaikan tegangan tiba-tiba dari sumber PLN. Skema rangkaian pengkondisi sinyal tegangan dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Skema Rangkain Pengkondisi Sinyal Tegangan^[11]

3.2.3 Perancangan Rangkaian MCP3909

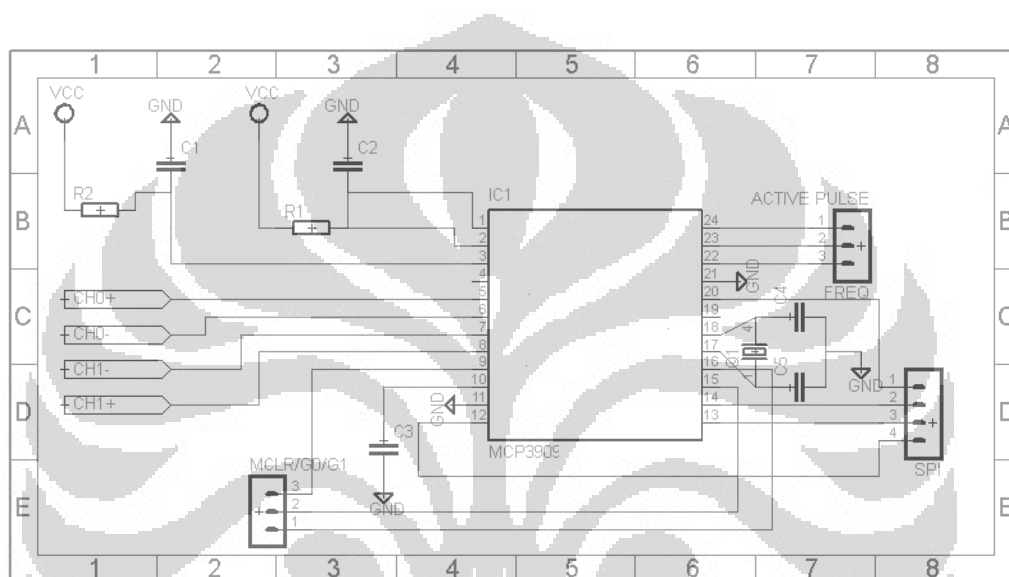
MCP3909 merupakan IC energi meter yang dapat memiliki dua mode output hasil pengukuran energi yaitu secara serial dan secara *active power pulse output*. IC MCP3909 merupakan IC energi meter keluaran Microchip yang berupa IC dengan 24 pin jenis SSOP. Gambar 3.6 merupakan gambar fisik IC MCP3909



Gambar 3.6 IC Energi Meter MCP3909^[9]

IC MCP3909 membutuhkan tambahan komponen lain agar dapat berfungsi dan dapat dikomunikasikan dengan mikrokontroler atau peralatan lainnya. Salah satu komponen yang penting adalah kristal yang digunakan sebagai clock yang besarnya tidak boleh lebih dari 4 MHz. Pada rangkaian ini dipilih kristal dengan

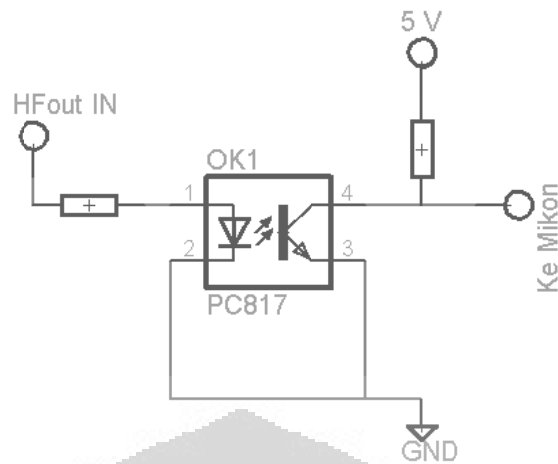
besar 3,579 MHz. Selain crystal diperlukan juga pin *header male* untuk pin suplay tegangan dari power suplay dan untuk antar muka dengan sistem minimum ATmega32. Tegangan referensi ADC yang ada di dalam MCP3909 dipilih tegangan referensi internal dengan besar 2,4 V sehingga pada pin Vref hanya dihubungkan dengan kapasitor. Rancangan rangkaian MCP3909 dapat dilihat pada Gambar 3.7 dan pada gambar 2.20 telah diperlihatkan gambar IC MCP3909 dilengkapi dengan keterangan konfigurasi pin-nya.



Gambar 3.7 Rancangan Rangkaian IC MCP3909^[11]

Pada rangkaian tersebut terlihat header digunakan untuk antarmuka dengan ATmega32 dan pengkondisi sinyal. Hasil pengukuran energi dapat diakses melalui pin Hfout (22) yang berupa pulsa dengan frekuensi yang sebanding dengan daya beban yang diukur melalui pin CH0 dan CH1. Besar penguatan pada PGA dapat diatur melalui pin G0 dan G1. Pin suplay DVDD dan AVDD merupakan pin untuk input power suplay IC MCP3909. Penjelasan tentang pin-pin lainnya dapat dilihat pada bab 2.

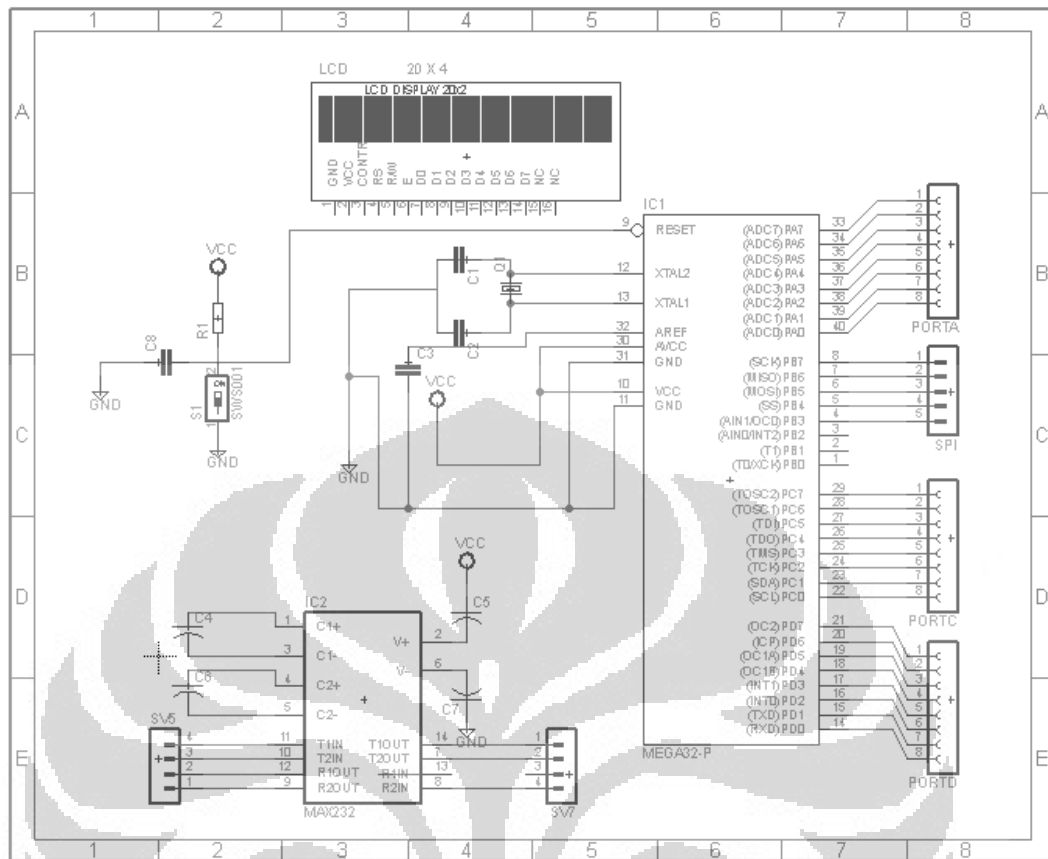
Antara pin HFout dan sistem minimum ATmega32 disisipi rangkaian optocoupler agar keluaran sesuai dengan nilai digital ATmega32. Skema rangkaian optocoupler tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.8. Pulsa HFout masuk ke pin input rangkaian optocoupler PC817 buatan Sharp. Output dari rangkaian tersebut selanjutnya diumpankan ke Mikrokontroler ATmega32.



Gambar 3.8 Skema Rangkaian Optocoupler

3.2.4 Perancangan Sistem Minimum ATmega32

Sistem minimum mikrokontroler ATmega32 berfungsi sebagai media *interface* dengan unit IO (input/output) dan IC MCP3909 dan peralatan pelengkap lainnya seperti LCD. Rangkaian ini dilengkapi dengan rangkain regulator untuk mengubah tegangan 9 V DC menjadi tegangan 5 V untuk suplay daya rangkain ATmega32, sistem minimum ini juga dilengkapi dengan *ISP Flash Programming* yang berfungsi untuk menuliskan program yang diinginkan ke dalam mikrokontroler sehingga mikrokontroler dapat mengolah data yang diperoleh dari MCP3909 dan menampilkannya ke LCD. Skema rangkaian sistem minimum mikrokontroler ATmega32 beserta LCD dapat dilihat pada Gambar 3.9. Port ATmega32 yang terdiri dari empat port yaitu PortA, PortB, PortC dan PortD dapat diakses melalui pin berupa *header male* untuk memudahkan akses ke rangkaian lain. Sama seperti IC MCP3909, mikrokontroler ATmega32 memerlukan komponen pelengkap yaitu, kristal dengan nilai 4 MHz dan komponen-komponen lain seperti kapasitor dan resistor. Dari keempat port yang dimiliki ATmega32 hanya beberapa port yang digunakan.



Gambar 3.9 Skema Sistem Minimum ATmega32 + LCD

Port yang berfungsi sebagai jalur SPI adalah PB.5 (MOSI), PB.6 (MISO) dan PB.7 (SCK). SDO akan terhubung ke MOSI, SDI akan terhubung dengan MISO, SCK akan dihubungkan ke pin SCK pada MCP390. CS akan dihububungkan dengan port PB.3. Pulsa daya aktif rata-rata dari MCP3909 dihubungkan dengan PB.1 yang merupakan port yang berfungsi sebagai counter untuk memnghitung frekuensi pulsa yang masuk pada ATmega32.

3.2.5 Perancangan antarmuka LCD dengan mikrokontroler

LCD merupakan komponen yang digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran pada alat ini. LCD yang digunakan adalah LCD karakter 20x4 H2004A yang mampu menampilkan karakter dengan panjang maksimum 20 digit dengan jumlah 4 baris. Tujuan digunakannya LCD 20x4 adalah agar tampilan hasil pengukuran berupa daya dan energi dapat ditampilkan secara bersamaan beserta tulisan pendukung untuk memperjelas dan mempercantik tampilan.

Gambar 3.10 LCD 20x4^[12]

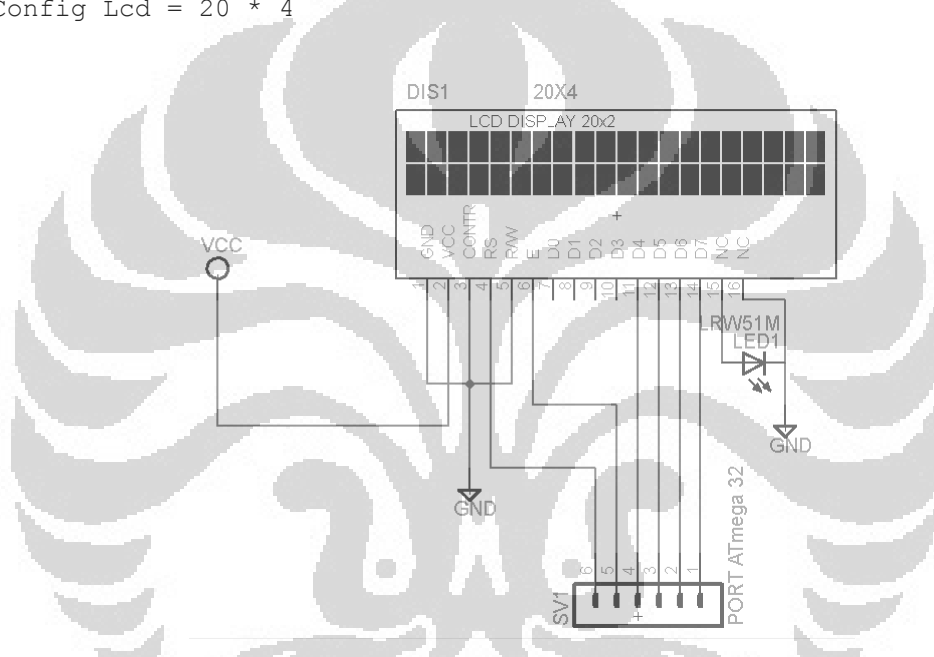
Konfigurasi antarmuka antara LCD dengan mikrokontroler dapat dilihat pada Gambar 3.12. LCD memiliki 16 pin namun tidak seluruh pin tersebut digunakan. Pin yang digunakan hanya 12 pin. Pin yang tidak digunakan pada LCD adalah pin nomor 11 sampai 14. Konfigurasi pin LCD 20x4 H2004A dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Konfigurasi Pin LCD Modul 20x4 H2004A^[12]

Pin	Symbol	Level	Penjelasan
1	Vss	0V	Ground
2	VDD	5,0V	Suplay tegangan digital
3	VO	(variable)	Tegangan operasi untuk LCD
4	RS	H/L	H:Data, L: kode instruksi
5	R/W	H/L	H: Baca, L: Tulis
6	E	H,H-L	Chip enable signal
7	DB0	H/L	Data bit 0
8	DB1	H/L	Data bit 1
9	DB2	H/L	Data bit 2
10	DB3	H/L	Data bit 3
11	DB4	H/L	Data bit 4
12	DB5	H/L	Data bit 5
13	DB6	H/L	Data bit 6
14	DB7	H/L	Data bit 7
15	A	4,2V-4,6V	LED+
16	K	0V	LED-

Skema rangkain antar muka LCD tertera pada Gambar 3.11. Pin 1,3,5 dan 16 dihubungkan ke ground. Pin 2 dan 15 dihubungkan ke tegangan 5 V dan 4,2 V. Pin 4 yaitu RS dihubungkan ke portD.1, pin 6 atau E dihubungkan ke portD.0. Pin DB0, DB1, DB2 dan DB3 dibiarkan tidak dihubungkan. Sedangkan pin DB4-DB7 dihubungkan ke portC.0, portC.1, portC.2 dan portC.3 secara berturut-turut. List program untuk pengaturan konfigurasi pin dapat dilihat pada list berikut:

```
Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portc.0 , Db5 = Portc.1 , Db6 =
Portc.2 , Db7 = Portc.3 , E = Portd.0 , Rs = Portd.1
Config Lcd = 20 * 4
```



Gambar 3.11 Rancangan Rangkaian Antarmuka LCD

3.3 Perancangan Program

3.3.1 Perancangan Program Umum

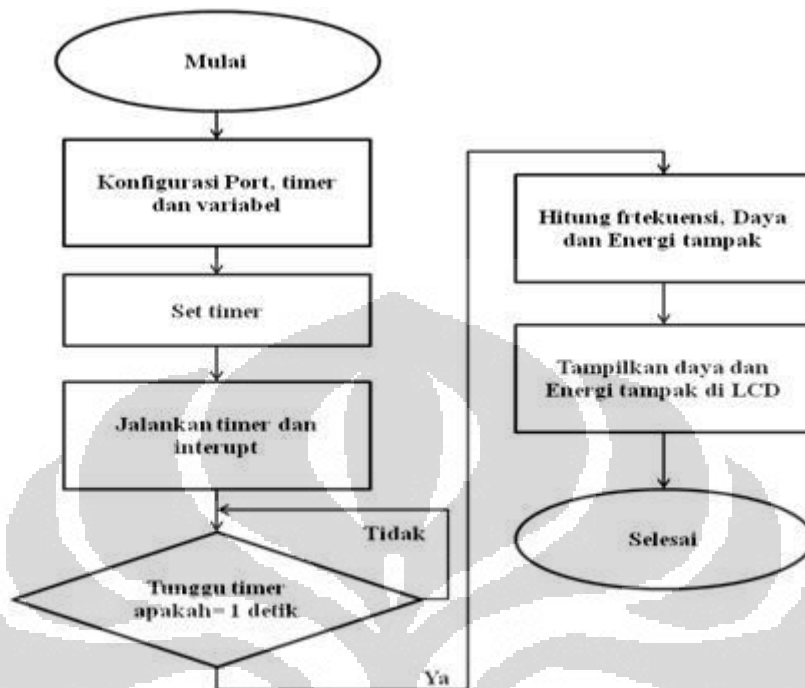
Program yang dirancang pada alat ini bertujuan untuk menghitung nilai daya dan energi. Penghitungan tersebut menggunakan program frekuensi counter karena informasi daya yang dihasilkan oleh IC MCP3909 berupa pulsa yang memiliki frekuensi sesuai dengan daya yang digunakan oleh beban. Dari daya yang dihasilkan tersebut kita dapat menghitung daya (tampak) yang digunakan

oleh beban beserta energi yang digunakan pada selang waktu tertentu dengan bantuan timer.

Mode penghitungan pada MCP3909 dimana MCP3909 dapat menghasilkan pulsa yang memiliki frekuensi yang sesuai dengan *average real power* dari sinyal masukan, oleh karena itu dalam perancangan program penghitung daya dan energi berisi program frekuensi counter. Isi program tersebut diantaranya:

1. Konfigurasi Port yang digunakan sebagai masukan sinyal yang ingin diukur frekuensinya.
2. Konfigurasi pin LCD
3. Konfigurasi Timer sebagai counter dan timer.
4. Konfigurasi variabel yang digunakan.
5. Set interrupt.
6. Perhitungan frekuensi counter.
7. Konversi frekuensi ke nilai daya dan energi
8. Tampilkan hasil perhitungan daya dan energi pada LCD

Flow chart programnya:



Gambar 3.12 Flowchart program frequency counter

Hubungan antara frekuensi pulsa keluaran MCP3909 terhadap daya ($V_0 \times V_1$ rms) memenuhi persamaan berikut:

$$HF_{OUT} = \frac{8,06 \times V_0 \times V_1 \times G \times HF_C}{(V_{REF})^2} \quad (3.1)$$

Sehingga

$$V_0 \times V_1 = \frac{HF_{OUT} \times (V_{REF})^2}{8,06G \times HF_C} \quad (3.2)$$

dengan nilai G memenuhi Tabel 3.1 dan nilai H_{FC} ditentukan dengan Tabel 3.3 berikut:

Tabel 3.3 Penentuan Nilai Konstanta H_{FC} ^[9]

F2	F1	F0	HFC (HZ)	HFC (Hz) (MCLK=3,58 MHz)
0	0	0	MCLK/215	109,25

3.3 (Sambungan)

0	0	1	MCLK/215	109,25
0	1	0	MCLK/215	109,25
0	1	1	MCLK/27	27968,75
1	0	0	MCLK/216	219,51
1	0	1	MCLK/216	219,51
1	1	0	MCLK/216	219,51
1	1	1	MCLK/216	219,51

Pada tabel tersebut H_{FC} ditentukan dengan memberikan input digital pada pin F2, F1 dan F0. Untuk memberikan input tersebut dapat dengan mudah memberikan tegangan 5 V atau 0 V pada pin tersebut dimana 5 V menyatakan logika 1 dan 0 V menyatakan logika 0.

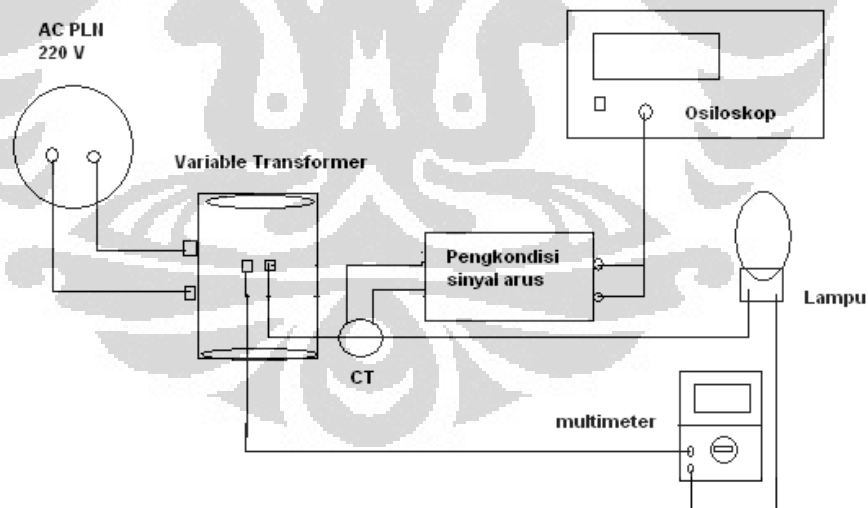
BAB 4

PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1 Pengujian Pengkondisi Sinyal

4.1.1 Pengujian Pengkondisi Sinyal Arus

Pengujian pengkondisi sinyal arus dilakukan dengan menggunakan Sumber tegangan AC PLN yang divariasikan dengan menggunakan trafo variabel merk Zenith dari tegangan 10 V_{RMS} sampai tegangan 240 V_{RMS} . Beban yang digunakan adalah lampu pijar 60 watt merk Philip. Arus yang mengalir diukur dengan menggunakan multimeter merk excel DT9205A dan tegangan keluaran dari pengkondisi sinyal diukur dengan menggunakan osiloskop dengan merk Hameg HM203. Pengesetan alat-alat pada saat pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.1.

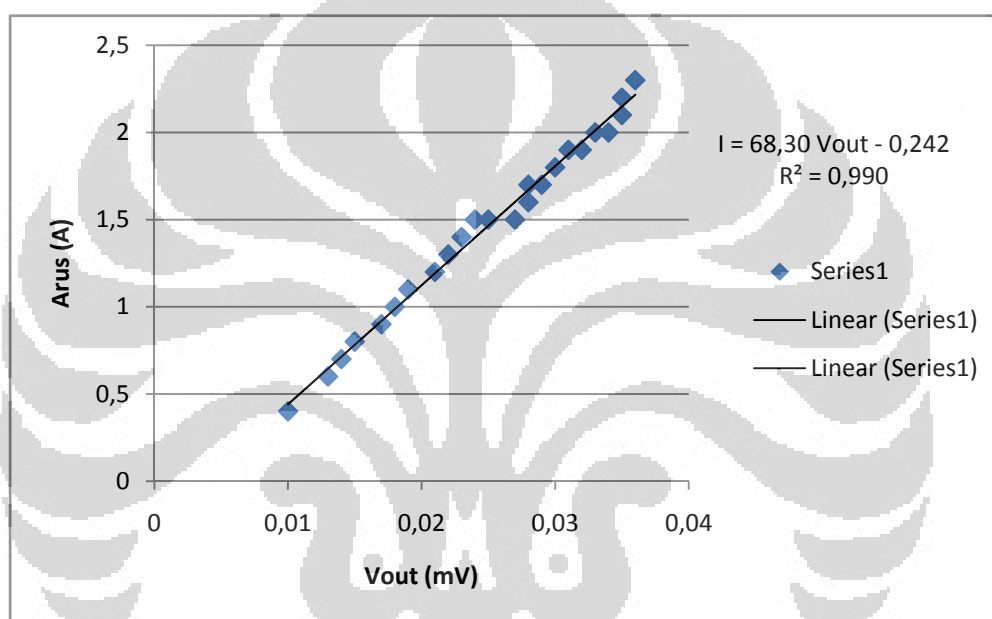


Gambar 4.1 Skema Alat pengujian Pengkondisi Sinyal Arus

Trafo variabel divariasikan dari tegangan 10 V sampai 240 V dengan perubahan 10 V. Arus yang mengalir pada lampu pijar diukur dengan menggunakan Trafo arus (CT). Trafo arus yang digunakan memiliki turn ratio 1000:1 yang menghasilkan keluaran berupa tegangan dalam orde mV yang kemudian di

kondisikan agar nilainya tidak terlalu besar (melebihi kemampuan MCP3909) dan tidak terlalu kecil. Data hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran 1.

Hubungan antara arus beban I dan tegangan output yang merepresentasikan arus V_{out} hasil pengujian dapat dicari dengan menggunakan metode grafik excel. Gambar 4.2 merupakan hasil pengolahan dengan grafik. Pada grafik tersebut diperoleh gradien yang menyatakan besar perbandingan arus dan tegangan pada pengkondisi sinyal.



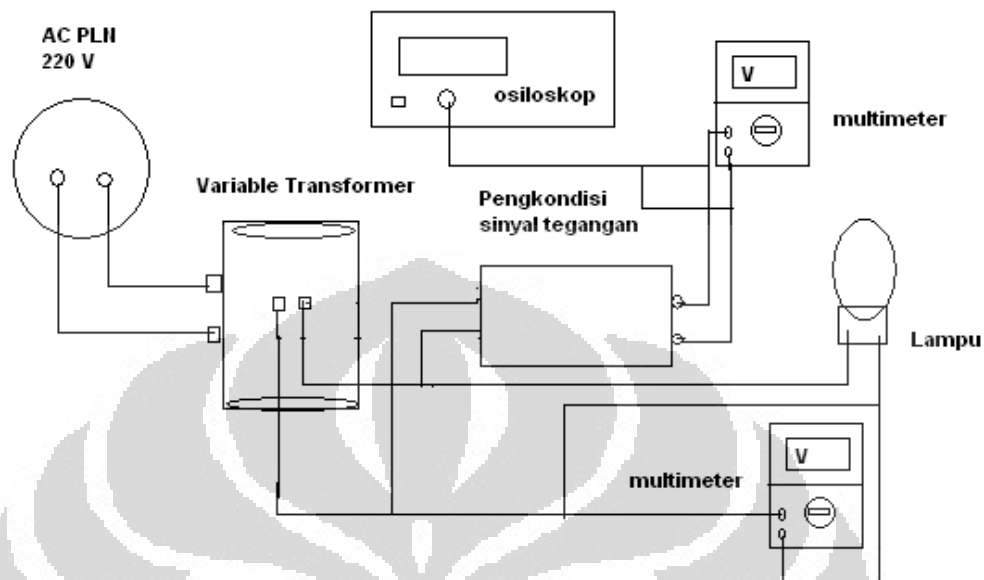
Gambar 4.2 Grafik perbandingan arus dan tegangan keluaran pengkondisi sinyal arus

Dari grafik diperoleh perbandingan antara arus beban dan tegangan adalah 68,30. Hal tersebut mengartikan bahwa arus yang mengalir pada beban akan diubah menjadi tegangan yang besarnya adalah $V_{out} = \frac{I+0,242}{68,30}$.

4.1.2 Pengujian Pengkondisi Sinyal Tegangan

Pengkondisi sinyal tegangan di uji dengan seting alat yang mirip dengan Gambar 4.3. Perbedaanya terletak pada pemasangan input pengkondisi sinyal dan

posisi pengukuran multimeter yang digunakan adalah pilihan pengukuran tegangan. Berikut skema penyetingan alat-alat uji pengkondisi sinyal tegangan.



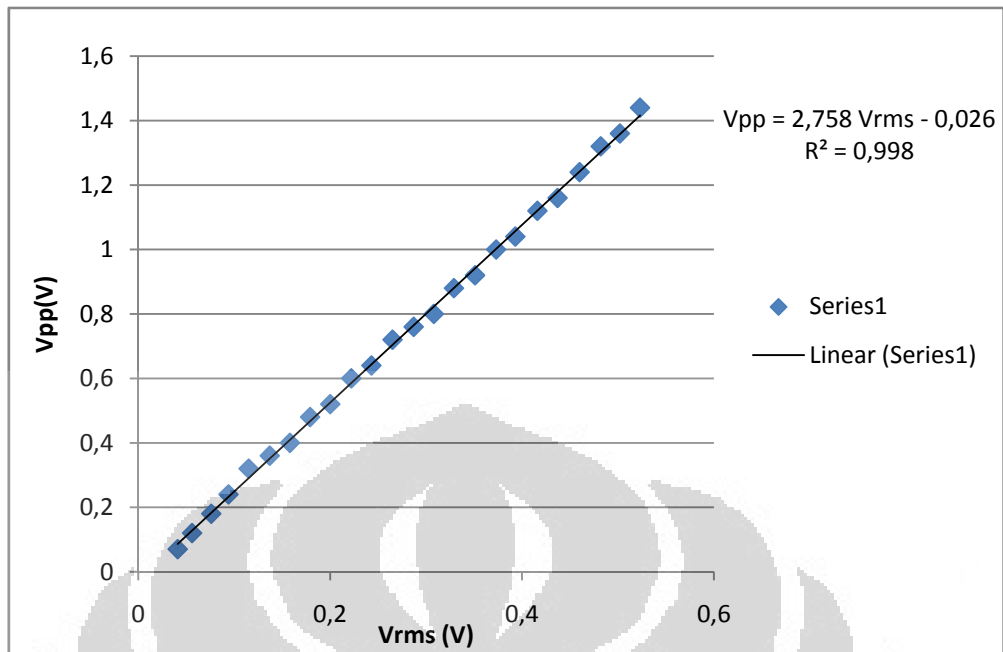
Gambar 4.3 Skema Alat pengujian Pengkondisi sinyal tegangan

Sumber tegangan berasal dari tegangan PLN yang divariasikan dengan menggunakan trafo variabel merk Zenith V5HMTF. Tegangan masukan V_s dan keluaran V_{out} diukur dengan menggunakan multimeter dengan merk Constant 88A. Tegangan keluaran V_{pp} diukur pula dengan menggunakan osiloskop merk Hameg. Tegangan masukan V_s yang diberikan adalah dari 10 V sampai 240 V dengan perubahan kenaikan sebesar 10 V. Data hasil pengukuran pengkondisi sinyal tegangan dapat dilihat pada lampiran 2.

Menurut teori hubungan antara tegangan V_{pp} dengan V_{rms} gelombang sinus adalah:

$$V_{pp} = 2\sqrt{2} V_{rms} \quad (4.1)$$

Dari data pada tabel lampiran 2 kita dapat menentukan apakah perbandingan antara tegangan *pek to peak* V_{pp} terhadap tegangan *root mean square* V_{rms} adalah $2\sqrt{2}$ dengan menggunakan metode grafik. Grafik yang dihasilkan ditampilkan pada Gambar 4.4.

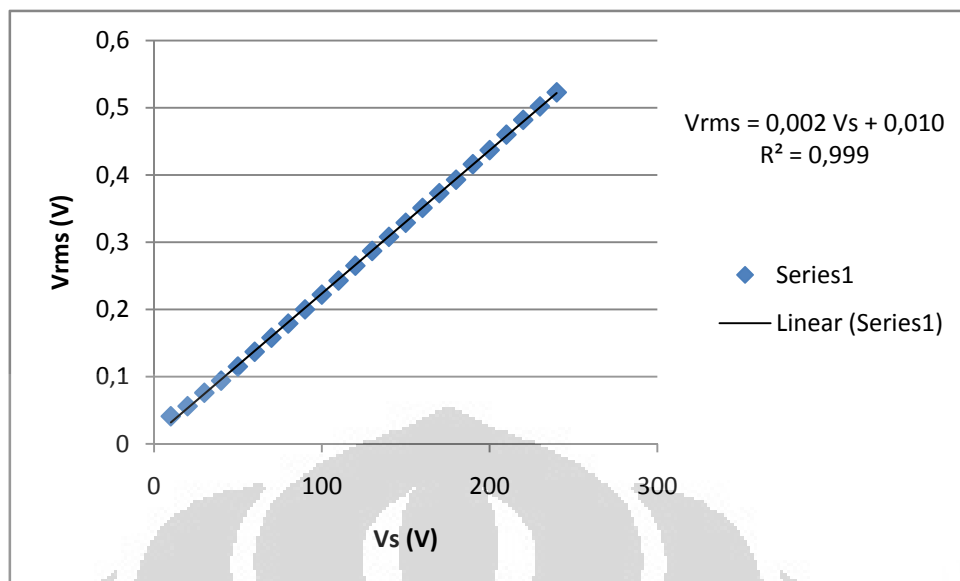


Gambar 4.4 Grafik perbandingan arus dan tegangan keluaran pengkondisi sinyal arus

Dari grafik pada Gambar 4.4 diperoleh nilai gradien yang merupakan yaitu sebesar 2,758. Gradien tersebut menyatakan perbandingan antara V_{pp} dan V_{rms} . Bila dibandingkan dengan teori, yaitu $2\sqrt{2} = 2,828$, memiliki eror literatur yaitu :

$$Error\ Lit = \left| \frac{2,758 - 2,828}{2,828} \right| \times 100\% = 2,475\% \quad (4.2)$$

Sementara itu perbandingan antara tegangan sumber V_s terhadap V_{out} merupakan besar nilai pembagi tegangan pada pengkondisi sinyal. Besar perbandingan tersebut dapat tertera pada grafik Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan antara Vs terhadap Vrms

Nilai perbandingan tersebut memiliki eror literatur yang besarnya 10,6 % dari perhitungan berikut:

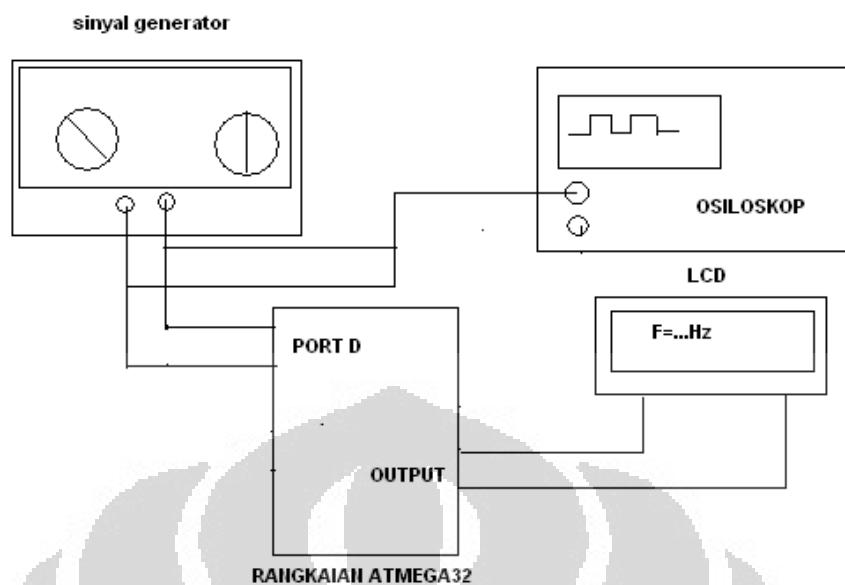
$$Error_{lit} = \left| \frac{500 V - 452 V}{452 V} \right| \times 100 \% = 10,6 \% \quad (4.3)$$

karena digunakan dua buah resistor dengan besar 226 kohm yang dihubungkan paralel dengan resistor 1 kohm.

4.2 Pengujian Program frekuensi counter pada Atmega 32

Program frekuensi counter yang merupakan program inti dari pengukuran daya diuji dengan cara mengukur frekuensi yang dikeluarkan oleh sinyal generator berupa gelombang kotak dengan beberapa frekuensi. List program frekuensi counter dapat dilihat pada lampiran 4.

Setting alat pada saat pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.6 blok diagram berikut:



Gambar 4.6 Blok diagram pengujian program frekuensi counter

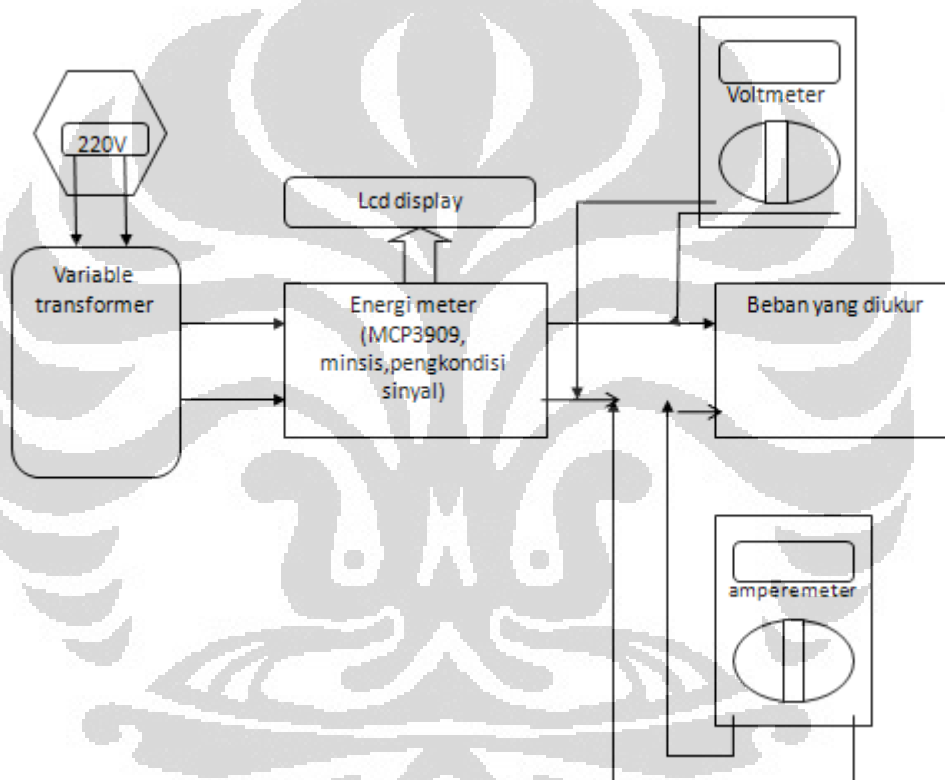
Hasil uji program tersebut dibandingkan dengan osiloskop. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.1 Hasil Uji program frekuensi counter dengan Atmega 32

Frekuensi Input (Osiloskop)	Frekuensi LCD (Atmega32)
50 Hz	51 Hz
250 Hz	252 Hz
450 Hz	455 Hz
650 Hz	652 Hz
850 Hz	850 Hz
1 KHz	1,003 KHz
1,5 KHz	1,504 KHz
2 KHz	2,003 KHz
3 KHz	2,998 KHz

4.3 Pengujian Rangkaian IC MCP3909 metode *Active power Pulse*

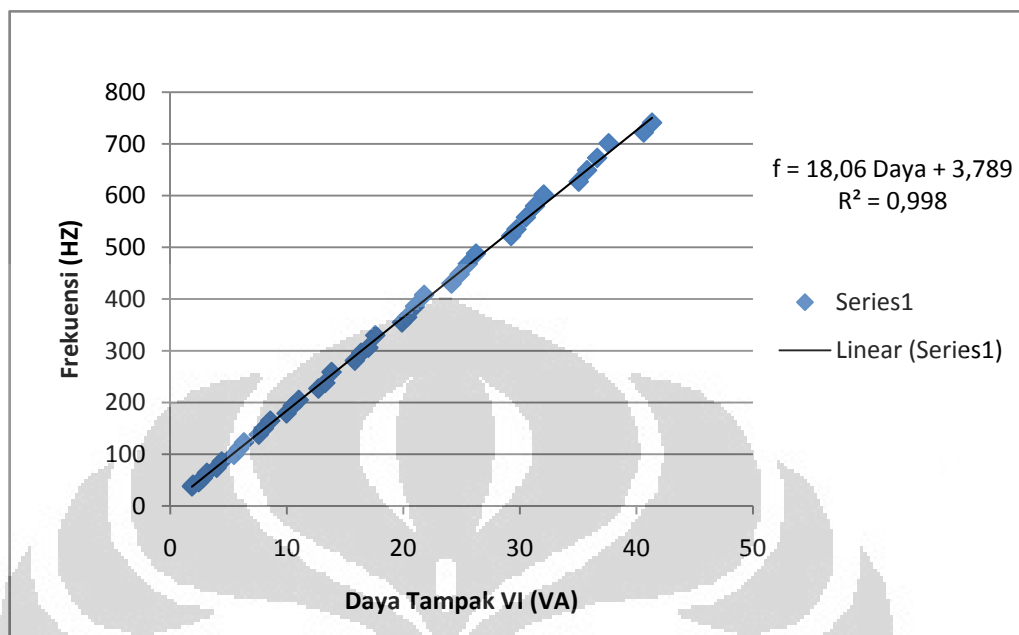
Pengujian IC MCP3909 dengan metode ini dilakukan menggunakan trafo variabel yang diubah-ubah tegangannya dari tegangan 30,9 V sampai dengan tegangan 229,7 V. Tegangan tersebut digunakan sebagai sinyal masukan pada rangkaian MCP3909 yang telah dilengkapi pengkondisi sinyal dan rangkaian Atmega 32 . Sinyal tegangan tersebut dihubungkan ke pin input tegangan pada pengkondisi sinyal tegangan dan arus..Setting alat pada saat pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.7 dalam bentuk blok diagram.



Gambar 4.7 Blok diagram setting alat untuk pengujian IC MCP3909

Sinyal tegangan tersebut diubah-ubah dengan cara mengaturnya pada trafo variable. Tegangan yang masuk ke beban diukur dengan multimeter, begitu juga arus diukur dengan multimeter. Setiap perubahan tegangan arus yang mengalir diukur dan frekuensi yang dihasilkan MCP3909 ditampilkan pada LCD. Tabel hasil pengujian dilampirkan pada lampiran 3.

Dari hasil pengujian di atas diperoleh hubungan antara daya tampak dan frekuensi (Hz) yang dihasilkan oleh MCP3909 yang digambarkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik hubungan antara Frekuensi dan daya tampak

Dari informasi grafik tersebut kita dapat mengetahui perbandingan antara frekuensi keluaran MCP 3909 terhadap daya pada beban yang diukur, yaitu:

$$\text{Frekuensi (Hz)} = 18,2 \text{ Daya Tampak} + 3,789 \quad (4.4)$$

Atau bila kita ingin mengetahui nilai daya tampak, maka persamaannya menjadi:

$$\text{Daya tampak} = \frac{\text{Frekuensi (Hz)} - 3,789}{18,2} \quad (4.5)$$

Nilai tersebut yang harus dimasukkan ke dalam program untuk mengkonversi frekuensi menjadi informasi daya tampak.

4.4 Hasil Pembuatan Alat

Alat yang telah dibuat pada penelitian ini diberi nama "Alat Ukur Energi Listrik Berbasis Mikrokontroler dengan IC MCP3909" yang dapat dilihat pada gambar 4.9 sampai 4.11.



Gambar 4.9 Alat Ukur Energi Listrik dengan Lampu 40 watt Posisi 1



Gambar 4.10 Alat Ukur Energi Listrik dengan Lampu 40 watt Posisi 2



Gambar 4.11 Alat Ukur Energi Listrik

Untuk menguji alat tersebut dilakukan percobaan yaitu dengan menggunakan beban berupa lampu 40 watt, 60 watt dan paralel 60 watt dengan 40 watt. Berikut ini ditampilkan hasil pengukuran energi dengan beban lampu-lampu tersebut:

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Energi Listrik dengan Lampu 40 watt

Daya tampak (VA)	waktu (menit)	waktu (jam)	Energi (VAjam)
36,37	5,0	0,08	2,91
36,37	10	0,17	6,18
36,37	15	0,25	9,09
36,37	20	0,33	12,00
36,37	25	0,42	15,28
36,37	30	0,5	18,19
36,37	35	0,58	21,10
36,37	40	0,67	24,37
36,37	45	0,75	27,28
36,37	50	0,83	30,19
36,37	55	0,92	33,46
36,37	60	1	36,37

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Energi Listrik dengan Lampu 60 watt

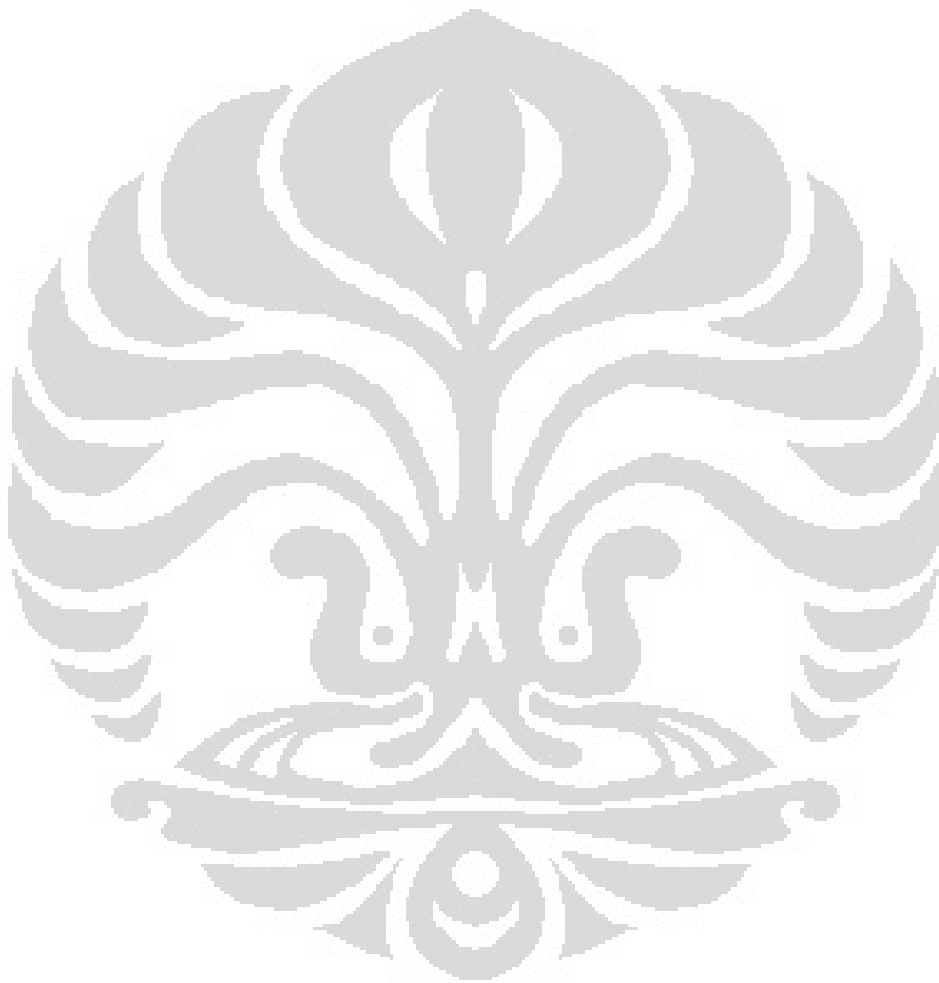
Daya tampak (VA)	waktu (menit)	waktu (jam)	Energi (VAjam)
53.02	5	0.08	4.24
53.02	10	0.17	9.01
53.02	15	0.25	13.26
53.02	20	0.33	17.50
53.02	25	0.42	22.27
53.02	30	0.5	26.51
53.02	35	0.58	30.75
53.02	40	0.67	35.52
53.02	45	0.75	39.77
53.02	50	0.83	44.01
53.02	55	0.92	48.78
53.02	60	1	53.02

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Energi Listrik dengan Lampu 40 watt dan 60 watt yang Dihubungkan Paralel

Daya tampak (VA)	waktu (menit)	waktu (jam)	Energi (VAjam)
89.45	5	0.08	7.16
89.45	10	0.17	15.21
89.45	15	0.25	22.36
89.45	20	0.33	29.52
89.45	25	0.42	37.57
89.45	30	0.5	44.73
89.45	35	0.58	51.88
89.45	40	0.67	59.93
89.45	45	0.75	67.09
89.45	50	0.83	74.24
89.45	55	0.92	82.29
89.45	60	1	89.45

Dari ketiga tabel tersebut di atas terlihat energi tampak yang terukur oleh "Alat Ukur Energi Listrik Berbasis Mikrokontroler dengan IC MCP3909" menghasilkan nilai yang konstan sesuai dengan waktu penggunaan daya pada alat. Pada tabel 4.6 daya tampak yang terukur adalah 36,37 VA untuk lampu 40 watt. Untuk lampu 60 watt daya tampak yang terukur adalah 53,02 VA. Daya tampak yang terukur untuk lampu 40 watt dengan 60 watt yang dihubungkan secara paralel diperoleh nilai daya tampak 89,45 VA. Nilai 89,45 VA tersebut sangat mendekati nilai

penjumlahan daya tampak pada lampu 40 watt, yaitu 36,37, dengan lampu 60 watt, yaitu 53,02, yang bila dijumlahkan adalah 89,39 VA. Hasil tersebut memiliki perbedaan sebesar 0,06 VA atau 0,0006 % dan sesuai dengan teori bahwa daya dua buah beban yang dihubungkan secara paralel adalah jumlah dari daya beban-beban tersebut.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Pulsa keluaran yang dihasilkan pada pengukuran daya oleh IC MCP3909 dapat diukur dengan program frekuensi counter. Besaran Frekuensi yang dihasilkan berbanding lurus dengan daya yang digunakan oleh beban.
2. Program frekuensi counter dengan timer dan counter mampu menghitung daya dan energi.
3. Alat ini dapat mengukur daya dan energi tampak suatu beban dengan mudah.

5.2 Saran

1. Jalur output serial SPI pada IC MCP3909 dipadukan dengan jalur output mode pulse frekuensi agar alat lebih handas dalam pengukuran.
2. Dilengkapi dengan RTC (Real Timer Clock) yang digunakan sebagai pengendali beban apabila beban telah digunakan dalam jangka waktu yang terlalu lama.
3. Dilengkapi dengan MMC sebagai media penyimpanan data hasil pengukuran sehingga alat ini mampu menjadi alat penguji keandalan suatu peralatan elektronika melalui informasi hasil pengukuran.

DAFTAR REFERENSI

- [1]. Casazza, Jack n Frank Delea. (2003). *Understanding Electric Power Systems An Overview of the Technology and the Marketplace*. A John Wiley & Sons, Inc., Publication
- [2]. Bird, John. (2003). *Electrical Circuit Theory and Technology*. Newnes An imprint of Elsevier Science Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP 200 Wheeler Rd, Burlington, MA 01803
- [3]. Barokah, Billy. (2007). *Pengembangan KWH-Meter Digital Berbasiskan Mikroprosesor, Tugas Akhir Institut Teknologi Bandung*. Bandung: hlm. 5-13, 24-32.
- [4]. Brandolini, Arnaldo, et. al. (2000). *Energy Measurement*. CRC Press LLC. <http://www.engnetbase.com>
- [5]. McNutt, Douglas P. (2000). *Current Measurement*. <http://www.engnetbasde.com>
- [6]. Barret, Steven F. dan Daniel J. Pack (2008). *Atmel AVR Microcontroller Primer: Programming and Interfacing*. Morgan & Claypool Publishers.Laramie and Colorado.
- [7]. Mitra, Sumit, Russ Cooper & Stan D'Souza. (2002). *Using The Analog-to-Digital (A/D) Converter (AN546)*. Microchip Technology Inc.
- [8]. Park, Sangil. *Principle of Sigma-Delta Modulation for Analog-to-Digital Converter*. Motorola Inc.
- [9]. Microchip. (2006). *MCP3909 Energy Metering IC with SPI Interface and Active Power Pulse Output* . Microchip Technology Incorporated, USA.
- [10]. Atmel. (2007). *8-bit AVR Microcontroller 32K bytes In-System Programmable Flash ATmega32*. Atmel Corporation.
- [11]. Microchip. (2007). *MCP3909 3-Phase Energy Meter Reference Design Using PIC18F2520 User's Guide*. Microchip Technology Incorporated, USA.
- [12]. *G12864C LCD Module Manual Graphic 128X64 Dots*. <http://www.digi-ware.com/img/d/C20x4A.pdf>

Lampiran 1: Hasil Pengujian Peengkondisi Sinyal
Arus Beban Lampu 60 watt

Vs (V)	I (A)	Vout (mV)	Frekuensi (Hz)
10	0,4	10	50
20	0,6	13	50
30	0,7	14	50
40	0,8	15	50
50	0,9	17	50
60	1,0	18	50
70	1,1	19	50
80	1,2	21	50
90	1,3	22	50
100	1,4	23	50
110	1,5	24	50
120	1,5	25	50
130	1,5	27	50
140	1,6	28	50
150	1,7	28	50
160	1,7	29	50
170	1,8	30	50
180	1,9	31	50
190	1,9	32	50
200	2,0	33	50
210	2,0	34	50
220	2,1	35	50
230	2,2	35	50
240	2,3	36	50

Pada tabel di atas Vs merupakan tegangan masukan ke beban, I adalah arus yang masuk ke beban, Vout tegangan keluaran dari peengkondisi sinyal dan frekuensi adalah frekuensi tegangan keluaran yang keduanya diukur dengan menggunakan osiloskop.

Lampiran 2: Hasil Pengujian Peengkondisi Sinyal
Tegangan Beban Lampu 60 watt

Vs (V)	Vout RMS (mV)	Vpp (V)
10	41	0,07
20	56	0,12
30	76	0,18
40	94	0,24
50	115	0,32
60	137	0,36
70	158	0,40
80	179	0,48
90	200	0,52
100	222	0,60
110	243	0,64
120	265	0,72
130	287	0,76
140	308	0,8
150	329	0,88
160	351	0,92
170	373	1,00
180	393	1,04
190	416	1,12
200	437	1,16
210	460	1,24
220	482	1,32
230	502	1,36
240	523	1,44

Lampiran 3: Hasil Uji IC MCP3909

Arus (A)	Tegangan (V)	Frekuensi (Hz)
0,06	30,9	38
0,06	32,6	41
0,07	34,9	46
0,07	39,9	54
0,07	44,8	64
0,08	49,7	74
0,08	55,1	86
0,09	60,7	99
0,09	65,7	111
0,09	70,2	123
0,1	75,9	138
0,1	80,3	150
0,1	85,8	165
0,11	90,7	179
0,11	95,6	194
0,11	100,2	205
0,12	105,9	227
0,12	110,8	238
0,12	115,3	259
0,13	121,8	281
0,13	126	296
0,13	130,7	306
0,13	135,3	330
0,14	142	355
0,14	145,2	365
0,14	150	386
0,14	155,6	408
0,15	160,9	430
0,15	165,5	448
0,15	170,2	468

Lampiran 3: Hasil Uji IC MCP3909 (sambungan)

0,15	174,9	488
0,16	182,8	522
0,16	185,7	535
0,16	190,7	558
0,16	195,6	580
0,16	200,3	602
0,17	206,2	627
0,17	210,4	649
0,17	215,5	673
0,17	221,3	701
0,18	225,7	722
0,18	229,7	741

Lampiran 4: Program Frekuensi Counter

```

' Frequency Counter '

$regfile = "m32def.dat"
$crystal = 4000000
'Config LCD
Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portb.2 , Db5 = Portb.1 , Db6 =
Portb.0 , Db7 = Portd.6 , E = Portb.3 , Rs = Portb.4
Config Lcd = 20 * 4
Config Lcdmode = Port

'Config Timers
Config Timer0 = Timer , Prescale = 1024
Config Timer1 = Counter , Edge = Rising

'Config Variables
Dim Temp As Long
Dim Ovf0 As Long
Dim Ovf1 As Long
Dim Freq As Long
Dim Freq1 As String * 7
Dim Freq2 As String * 3
Dim Freq3 As String * 4
Dim Position As Byte

'Config Interrupts
Enable Interrupts
Enable Timer0
On Timer0 Incr_ovf0
Enable Timer1
On Timer1 Incr_ovf1

'Main
Cls
Upperline
Lcd " FREKUENSI COUNTER"
Lowerline
Lcd "  Frek Count"

```

Lampiran 4: Program Frekuensi Counter (sambungan)

```

Cursor Off
Wait 2

'Loop
Do
  Timer0 = 0
  Counter1 = 0
  Ovf0 = 0
  Ovf1 = 0

  While Ovf0 <= 75
    nop
  Wend
  Waitus 3900
  Portd.4 = 1
  Disable Timer0
  Disable Timer1

  Temp = Ovf1 * 65536
  Freq = Temp + Counter1
  Cls
  Locate 1 , 1
  Freq1 = Str(freq)

  Select Case Freq
    Case Is >= 1000000 : Goto Mhz
    Case Is >= 100000 : Goto Khzxxx
    Case Is >= 10000 : Goto Khzxx
    Case Is > 1000 : Goto Khzx
  End Select

'1-999 Hz
  Position = 7 - Len(freq1)
  Locate 1 , Position
  Lcd Freq ; " Hz"
  Goto Outputdisplay

```

Lampiran 4: Program Frekuensi Counter (sambungan)

```

Mhz:
    Freq2 = Left(freq1 , 1)
    Freq3 = Mid(freq1 , 2 , 4)
    Lcd Freq2 ; "." ; Freq3 ; " MHz"
    Goto Outputdisplay
Khzxxx:
    Freq2 = Left(freq1 , 3)
    Freq3 = Mid(freq1 , 4 , 2)
    Lcd Freq2 ; "." ; Freq3 ; " KHz"
    Goto Outputdisplay
Khzxx:
    Freq2 = Left(freq1 , 2 )
    Freq3 = Mid(freq1 , 3 , 3)
    Lcd Freq2 ; "." ; Freq3 ; " KHz"
    Goto Outputdisplay
Khzx:
    Freq2 = Left(freq1 , 1 )
    Freq3 = Mid(freq1 , 2 , 4)
    Lcd " " ; Freq2 ; "." ; Freq3 ; " KHz"
    Goto Outputdisplay
Outputdisplay:
Locate 2 , 1
    Cursor Off
    Enable Timer0
    Enable Timer1
Loop
'Interrupt routines
'*****
Incr_ovf1:
    Incr Ovf1
    Return
'*****
Incr_ovf0:
    Incr Ovf0
    Return
End

```

Lampiran 5: Hubungan Antara Daya Tampak (VA) dengan
Frekuensi (Hz)

Daya Tampak (VA)	Frekuensi (Hz)
1,854	38
1,956	41
2,443	46
2,793	54
3,136	64
3,976	74
4,408	86
5,463	99
5,913	111
6,318	123
7,59	138
8,03	150
8,58	165
9,977	179
10,516	194
11,022	205
12,708	227
13,296	238
13,836	259
15,834	281
16,38	296
16,991	306
17,589	330
19,88	355
20,328	365
21	386

Lampiran 4: Hubungan Antara Daya Tampak (VA) dengan
Frekuensi (Hz) (sambungan)

21,784	408
24,135	430
24,825	448
25,53	468
26,235	488
29,248	522
29,712	535
30,512	558
31,296	580
32,048	602
35,054	627
35,768	649
36,635	673
37,621	701
40,626	722
41,346	741