

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN *PROTOTIPE* KWH-METER DIGITAL 1 FASE BERBASIS *MICROCONTROLLER AVR ATMEGA 32*

Jumrianto¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Semarang
Jl. Kasipah No. 10-12 Semarang – Indonesia
e_mail : jumrianto_almalaya@yahoo.co.id

ABSTRAK

Kwh-Meter adalah Alat Penghitung Pemakaian Energi Listrik dalam satuan Kilowatt jam. Secara umum yang digunakan untuk Rumah Tangga adalah Kwh-Meter Listrik Analog dengan ketelitian kelas 2. Secara bertahap, pemerintah dalam hal ini Perusahaan Milik Negara (PLN) akan bermigrasi ke Kwh-Meter Digital secara keseluruhan, karena Kwh-Meter Listrik Digital lebih teliti dan lebih akurat dalam pembacaannya.

Prototipe Kwh-Meter Digital sebagai Penghitung Energi Listrik yang dihubungkan dengan *Analog to Digital Converter (ADC)* dari *Microcontroller ATmega 32*. Program yang dibuat dapat mendeteksi besarnya energi yang digunakan oleh beban. Ditampilkan pada LCD (*Liquid Crystal Display*) berupa jumlah energi sesuai dengan perubahan waktu. Pencuplikan data-data dilakukan dengan prinsip *Sample and Hold*, adalah suatu proses pencuplikan gelombang dengan selang waktu tertentu (t_n). Data-data yang telah dicuplik diolah dengan Program *Bascom AVR*.

Hasil Perancangan *Software* untuk menghitung energi listrik dapat dilihat pada *Hardware LCD* 20 Karakter 4 Baris. Penghitungan Energi listrik dilakukan secara otomatis oleh *Software*. Program aplikasi ini mengolah sinyal-sinyal yang telah dideteksi oleh *Microcontroller* menjadi angka-angka yang akan ditampilkan, dapat dilihat langsung berupa parameter yang diukur. Energi Listrik ditampilkan dalam satuan Watt Menit.

Alat ini dapat menjadi perantara (*interface*) tegangan PLN 220 Volt dan *microcontroller* melalui sensor-sensor. Apabila terjadi perubahan pada sensor-sensor maka *microcontroller* akan mendeteksi perubahan tersebut. Ini membuktikan besaran-besaran listrik dapat dihitung dengan menggunakan metode Pencuplikan Data (*Sample and Hold*).

Kata Kunci : Kwh-Meter Digital, Energi Listrik, *Microcontroller ATmega 32*, *Sample and Hold*

PENDAHULUAN

Latar Belakang Masalah

Energi listrik merupakan kebutuhan yang bisa disejajarkan dengan kebutuhan pokok. Energi listrik telah merambah hampir seluruh roda kehidupan manusia. Dunia usaha, dunia industri, institusi pendidikan dan rumah tangga merupakan pemakai utama energi listrik. Tanpa energi listrik, proses produksi di pabrik tidak dapat berjalan. Dunia usaha dan dunia industri serta perkantoran akan kewalahan.

Ketepatan pembacaan Kwh-Meter analog merupakan permasalahan yang belum dapat terpecahkan sampai saat ini. Konsumen selalu merasa dirugikan dengan ketidakcocokan antara data yang tertera pada Kwh-Meter dengan data pada rekening listrik yang harus dibayar. Hal ini tentu saja akan merugikan kedua belah pihak. Pihak Perusahaan Listrik Negara dirugikan dengan jatuhnya kepercayaan pelanggan karena dianggap tidak mampu membenahi *system* manajemennya. Sedangkan pihak pelanggan dirugikan dengan jumlah pembayaran yang tidak sesuai dengan sebenarnya. (Jumrianto : 2003)

Masalah utama pada sistem Watt Meter ini adalah bagaimana menentukan nilai arus dan tegangan yang dihubungkan ke beban dengan daya yang bervariasi dan dalam jumlah yang sulit terkontrol/termonitor dengan baik. Dengan beban yang bersifat *variable* maka akan menimbulkan nilai arus yang bervariasi pula. Selanjutnya bagaimana menampilkan nilai keluaran dengan *hardware* yang efisien dan tidak terlalu banyak sehingga mengurangi kompleksitas rangkaian pada *system*. Masalah terakhir adalah bagaimana melakukan kalibrasi alat dengan tepat. (Setiono, Suharto : 2009)

Kemajuan teknologi *systemMicrocontroller* memungkinkan terciptanya suatu alat (*interface*) yang dapat menerjemahkan besaran-besaran listrik yang diterimanya, menjadi data yang dapat diolah dan ditampilkan sesuai dengan keinginan *Programmer* menggunakan perangkat lunaknya, baik tampil langsung di komputer PC, laptop maupun melalui *LCD (Liquid Crystal Display)*, dot matrik, dan lain-lain. (Jumrianto : 2003)

Menyadari fakta dan fenomena diatas, ketepatan pembacaan Kwh-meter sebenarnya dapat ditingkatkan dengan menggunakan teknik-teknik digital dan komunikasi data menggunakan *systemcomputer*. Oleh karena itu pada tahap awal akan dirancang dan dibuat

Kwh-meter dengan menggunakan teknik-teknik digital berbasis *MicrocontrollerATMega 32*.

Tujuan Tugas Akhir

Tujuan Pembuatan Tugas Akhir ini adalah :

1. Untuk membuktikan bahwa *Microcontroller* dan *Software* dapat digunakan sebagai perantara *system* Arus kuat dan Arus lemah melalui sensor-sensor yang digunakan.
2. Untuk mengaplikasikan cara menghitung besaran-besaran listrik melalui pencuplikan data, mengambil dari sensor tegangan dan sensor arus dengan prinsip *Sample and Hold* mengalikan dengan faktor dayadan diolah dengan *MicrocontrollerATMega 32* kemudian ditampilkan pada *LCD (Liquid Crystal Display)* dalam jumlah energi sesuai waktu yang digunakan oleh beban.

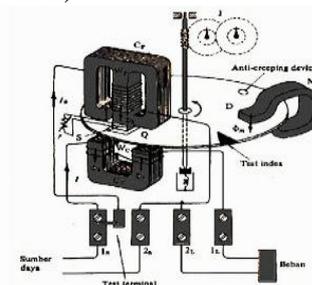
LANDASAN TEORI

Kwh-Meter Listrik Analog

Kwh-Meter listrik adalah suatu alat pencatat pemakaian daya listrik. Jumlah pemakaian daya listrik dapat dilihat dari angka yang tertera pada Kwh-Meter dengan perantara kepingan aluminium yang berputar.

Prinsip Kerja Kwh-Meter

Dalam alat ukur energi, kumparan-kumparan arus dan tegangan merupakan suatu belitan pada dua buah magnet. Kumparan arus akan membangkitkan *flux* magnet dengan nilai berbanding lurus dengan besar arus. Terjadinya perputaran dari piringan aluminium karena interaksi dari kedua medan magnet ini. Kemudian putaran piringan di transfer pada roda-roda pencatat. Pada transfer mati nilai putaran keping Aluminium ke roda-roda pencatat dilakukan kalibrasi untuk memperoleh nilai energi terukur dalam besaran Kwh (*Kilowatt hours*)



Gambar 2.1. Prinsip Kerja Kwh-Meter listrik analog dan Pencatatan (Sholeh, Bambang :1997)

Kelemahan Kwh-Meter Analog

Dari sisi ketelitian, ada beberapa kelemahan Kwh-Meter analog, antara lain sebagai berikut :

1. Pada saat arus beban mengalir pada kumparan, arus akan menimbulkan *flux* magnet ϕ_1 , sedangkan pada kumparan tegangan terjadi perbedaan fase antara arus dan tegangan sebesar 90^0 , hal ini karena kumparan tegangan bersifat induktor. Arus yang melalui kumparan tegangan akan menimbulkan *flux* magnet ϕ_2 yang berbeda fase 90^0 dengan ϕ_1 . Namun *flux* magnetik akan membangkitkan arus *Eddy* pada piringan yang akan menghasilkan gaya yang melawan arah putaran piringan.
2. Pada saat beban berat ϕ_1 akan bertambah besar, pertambahan ini mengakibatkan arus pusar (*eddy current*) pada kepingan. Aluminium juga bertambah besar, sedang arus *eddy* ini menimbulkan momen lawan pada keping Aluminium, dan akan menghambat putaran keping Aluminium. Untuk mengatasinya pada kumparan arus dipasang shunt magnetis dimana pada saat beban penuh / berat *flux* tidak sepenuhnya dapat menimbulkan momen lawan. Pada kenyataannya beda fase antara ϕ_1 dan ϕ_2 tidak bisa betul-betul 90^0 , karena adanya kerugian inti dan tekanan pada kumparan tegangan. Untuk mengatasi ini caranya adalah dengan memasang kumparan penyesuai fase pada inti kumparan tegangan.

Prinsip Dasar Transformator

Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan, maka akan mengalir arus bolak-balik pada kumparan tersebut. Oleh karena kumparan mempunyai inti, maka timbul *flux* magnet yang juga berubah-ubah pada intinya. Akibat adanya *flux* magnet yang berubah-ubah pada kumparan primer menyebabkan adanya GGL induksi e_p . Besarnya GGL induksi pada kumparan primer dapat dihitung dengan persamaan 2.1 berikut :

$$e_p = -N_p \frac{d\phi}{dt} \text{ Volt} \dots \dots \dots (2.1)$$

(Umanand, Bhat : 1992)

dimana :

- e_p = GGL Induksi pada kumparan primer.
- N_p = Jumlah lilitan kumparan primer
- $d\phi$ = Perubahan garis gaya magnet (*weber*)
1 *weber* = 10^8 *maxwell*
- dt = Perubahan waktu dalam satu detik

Flux magnet yang menginduksikan GGL e_p juga dialami oleh kumparan sekunder, karena merupakan *flux* bersama (*mutual flux*). Dengan demikian *flux* tersebut menginduksikan GGL induksi e_s pada kumparan sekunder.

Besarnya GGL induksi pada kumparan sekunder adalah :

$$e_s = -N_s \frac{d\phi}{dt} \text{ Volt} \dots \dots \dots (2.2)$$

(Umanand, Bhat : 1992)

dimana : N_s = Jumlah lilitan sekunder

Dari persamaan diatas diperoleh perbandingan lilitan berdasarkan perbandingan GGL induksi yaitu :

$$a = \frac{e_p}{e_s} = \frac{N_p}{N_s} \dots \dots \dots (2.3)$$

(Theraja, Theraja : 1999)

Dengan a adalah nilai perbandingan lilitan *Transformator* (*turn ratio*).

Transformator banyak digunakan untuk berbagai keperluan yang disesuaikan dengan kebutuhan. *Transformator* bisa berfungsi apabila ada tegangan, tanpa adanya tegangan jelas tidak akan berhasil melakukan perubahan tegangan yang lebih tinggi atau yang lebih rendah. Dalam *system* kerja, *Transformator* dibagi dua, yaitu :

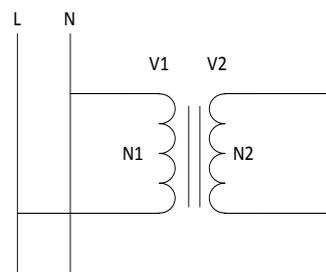
1. *Transformator* penaik tegangan (*step up*).
2. *Transformator* penurun tegangan (*Step Down*)

Transformator Tegangan (VT) sebagai Sensor Tegangan

Transformator yang digunakan sebagai sensor tegangan adalah *Transformator* penurun tegangan (*Step Down*). Dengan mengetahui N_1 dan N_2 , membaca tegangan V_2 serta menganggap transformator ideal, maka tegangan V_1 adalah :

$$V_1 = \frac{N_1}{N_2} \cdot V_2 \dots \dots \dots (2.4)$$

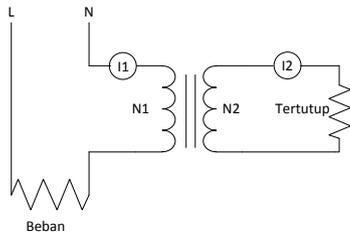
(Umanand, Bhat : 1992)



Gambar 2.2. *Transformator* Tegangan

Transformator Arus (CT) sebagai Sensor Arus

Transformator arus digunakan untuk mengukur arus beban suatu rangkaian. Dengan menggunakan *Transformator* arus maka arus beban yang besar dapat diukur hanya dengan menggunakan alat ukur amper meter yang tidak terlalu besar.



Gambar 2.3. Rangkaian Lengkap Sensor Arus

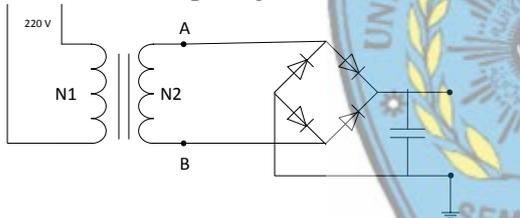
Dengan mengetahui perbandingan *Transformer* N1/N2 dan pembacaan ampermeter (I2), arus beban I1 dapat dihitung. Bila *Transformer* dianggap ideal, maka arus beban :

$$I1 = \frac{N1}{N2} \cdot I2 \dots \dots \dots (2.5)$$

Untuk menjaga agar *flux* tidak berubah, maka perlu diperhatikan agar rangkaian sekunder selalu tertutup. Dalam keadaan rangkaian sekunder terbuka GGM N2 I2 akan sama dengan nol (karena I2 = 0) sedangkan GGM N1 I1 akan tetap ada, sehingga *flux* normal akan terganggu.

Rangkaian Penyesuaian Sensor Tegangan

Untuk rangkaian lengkap Penyesuaian Sensor Tegangan dan sensor arus yang digunakan, terlihat seperti gambar 2.4.



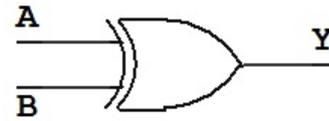
Gambar 2.4. Rangkaian Lengkap Penyesuaian Sensor Tegangan

Rangkaian Pendeteksi Beda Fase (Zero Crossing Detector)

Untuk mendapatkan nilai faktor daya yang diinginkan dari beban, maka perlu adanya perancangan modul pendeteksi beda fase. Beda fase diperoleh dengan cara membandingkan antara fase tegangan yang masuk dengan fase arus yang ditarik oleh beban. Tegangan dan arus hasil deteksi sensor masih berupa sinyal sinus dimana fase dari keduanya berbeda. (Hermawan : 2013)

Gerbang logika Ex-Or (Exclusive Or)

Gerbang logika Or-eksklusif disebut juga sebagai gerbang “setiap tetapi tidak semua”. Istilah Or-eksklusif sering kali disingkat sebagai Ex-Or. Simbol standard gerbang logika Ex-Or adalah seperti tampak pada gambar 2.8.



Gambar 2.5 Simbol Gerbang Logika

Tabel kebenaran untuk fungsi Ex-Or diberikan pada tabel 2.1, dari tabel tersebut terlihat bahwa tabel tersebut sama seperti tabel kebenaran gerbang Or, kecuali bila semua masukan adalah tinggi (1), gerbang Ex-Or akan membangkitkan keluaran rendah (0).

Tabel 2.1 Tabel Kebenaran Gerbang Ex-Or

Masukan		Keluaran
B	A	Ex-Or
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

0 = tegangan rendah; 1 = tegangan tinggi

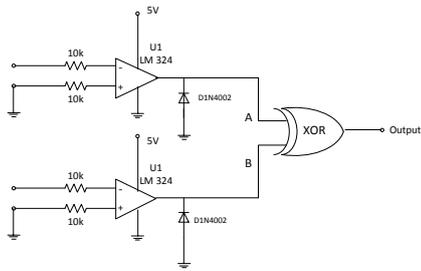
Gerbang Ex-Or hanya akan terbuka bila muncul satuan bilangan ganjil pada masukan. Baris 2 dan 3 dari tabel kebenaran mempunyai satuan bilangan ganjil, oleh karena itu keluaran akan terbuka dengan level logika tinggi (1). Baris 1 dan 4 dari tabel kebenaran tersebut berisi satuan bilangan genap (0 dan 2), oleh karena itu gerbang Ex-Or tidak terbuka dan akan muncul logika rendah (0) pada keluaran.

(<http://www.robotics-university.com/2013/01/gerbang-logika-Ex-Or-exclusive-or.html>)

Rangkaian Komparator

Rangkaian komparator berfungsi untuk mendeteksi perbedaan sudut fase yang mengalir ke beban. Detektor Fase dibuat menggunakan komparator dan gerbang logika Ex-Or. komparator digunakan untuk mendapatkan informasi saat nilai tegangan dan nilai arus tepat melewati titik nol. Gerbang logika Ex-Or digunakan untuk mengetahui nilai beda sudut fase. Nilai perbedaan sudut fase didapat dengan menghitung selang waktu antara tegangan naik dan tegangan turun pada keluaran gerbang logika Ex-Or. (Ardikusuma : 2011)

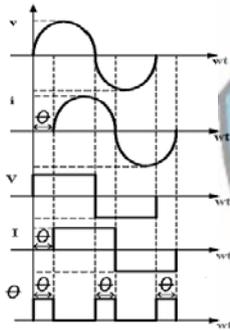
Blok komparator digunakan untuk mengubah sinyal sinus dari tegangan dan arus yang didapat menjadi sinyal kotak agar lebih mudah untuk diolah. Perancangan blok komparator menggunakan salah satu fasilitas yang disediakan oleh *Operational Amplifier (Op Amp)* type LM-324. (Hermawan : 2013)



Gambar 2.6. Gambar Rangkaian komparator dan Ex-Or

Untuk mendapatkan perbedaan waktu dari pergeseran fase antara sensor tegangan dan sensor arus yang sudah melalui komparator, maka *Output* dari IC LM 324 ini akan diumpungkan pada sebuah gerbang logika Ex-Or yang bisa mendeteksi waktu kedua sensor mengeluarkan *Output* yang berbeda. Jika kedua kaki Ex-Or mendapatkan logika yang sama, maka *Output* akan 0, tapi jika salah satu kaki mendapatkan logika rendah atau tinggi, maka *Output* akan 1.

Grafik gelombang input dan *Output* pada rangkaian diatas dapat dilihat pada gambar 2.7. (Ardikusuma : 2011)



Gambar 2.7. Gelombang Sinus, gelombang kotak dan sudut fase dalam (t)

Sudut fase dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\theta = \frac{\Delta t}{t_{1/2T}} \cdot 180^\circ \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

θ = Beda fase dalam sudut ($^\circ$)

Δt = beda fase dalam waktu (ms)

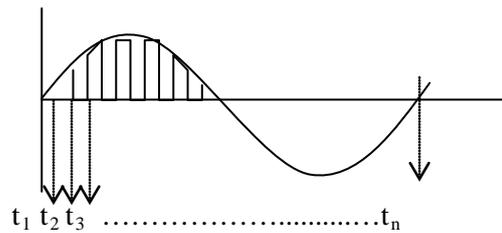
$t_{1/2T}$ = waktu setengah periode sinyal (ms)

Nilai *cosinus* dari beda fase dalam sudut merupakan nilai faktor daya yang dicari. (Hermawan : 2013)

Sample and Hold

Sample and Hold adalah proses pengambilan data gelombang arus bolak-balik. Pengambilan data dilakukan dengan mencuplik keadaan tertentu dari kondisi gelombang, kemudian proses pengambilan dengan mencuplik tersebut diterjemahkan kedalam besaran yang dapat dibaca dan dimengerti oleh

manusia sehingga dapat diolah. Sebagai ilustrasi dari proses *Sample and Hold* dapat dilihat pada gambar dibawah 2.8.



Gambar 2.8. Proses Sampling Data (Jumrianto : 2003)

Bahasa Pemrograman

Bahasa pemrograman adalah suatu bahasa yang digunakan untuk dapat berkomunikasi dengan peralatan komputer.

Bahasa pemrograman banyak digunakan untuk kebutuhan pemrograman, baik program yang berkaitan dengan bagaimana memanipulasi layar, agar menghasilkan suatu tampilan yang kita kehendaki, pengolahan data-data, sampai pada penggunaan yang lebih spesifik misalnya : mengakses sebuah *port*, menjalankan robot, mendeteksi suhu, pengontrolan terhadap kerja suatu peralatan dan lain sebagainya.

Bascom AVR

Type Data

Setiap variable dalam *Bascom AVR* memiliki type data yang menunjukkan muatan atau besarnya memori yang terpakai olehnya. Berikut tipe data pada *Bascom AVR*.

Tabel 2.2. Tipe Data dan Ukurannya

Type	Data Ukuran (Byte)	Jangkauan Data
Bit	1/8	0 atau 1
Byte	1	0 s/d 255
Integer	2	-32768 s/d 3.767
Word	2	0 s/d 65535
Long	4	-2147483648 s/d 2147483647
Single	4	$1,5 \times 10^{-45}$ s/d $3,4 \times 10^{38}$
Double	8	5×10^{-328} s/d $1,7 \times 10^{308}$
String	s/d 254	

Variabel

Variabel atau peubah digunakan untuk menyimpan data sementara. Variabel diberi nama dan dideklarasikan terlebih dahulu sebelum digunakan. Aturan pemberian nama Variabel sebagai berikut:

- a) Harus dimulai dengan huruf (bukan angka).

- b) Tidak ada nama Variabel yang sama dalam sebuah program.
- c) Maksimum 32 karakter
- d) Tanpa menggunakan spasi, pemisahan bisa dilakukan dengan garis bawah.
- e) Tidak menggunakan karakter-karakter khusus yang digunakan sebagai Operator *Bascom AVR*

Konstanta

Berbeda dengan Variabel, sebuah konstanta akan bernilai tetap. Sebelum digunakan, konstanta dideklarasikan terlebih dulu dengan cara (ada dua cara) :

Dim nama_konstanta As const nilai_konstanta

Const nama_konstanta = nilai_konstanta

Contoh :

Dim pembagi as const 23

Const pembagi = 23

Penulisan Bilangan

Pada *Bascom AVR*, bilangan dapat ditulis dalam 3 bentuk :

1. Desimal ditulis biasa, contoh : 16
2. Biner diawali dengan &B, contoh : &B10001111
3. Heksadesimal diawali dengan &H, contoh : &H8F

Alias

Untuk mempermudah pemrograman, biasanya nama *register* dalam *Microcontroller* dibuatkan nama yang identik dengan *Hardware* yang dibuat, contoh :

LED_1 alias PORTC.0 ‘ nama lain dari PORTC.0 adalah LED_1

SW_1 alias PINC.1 ‘ nama lain dari PINC.1 adalah SW_1

Array atau Larik

Array atau larik merupakan sekumpulan Variabel dengan nama dan tipe yang sama, yang berbeda indeks keanggotaannya.

Cara mendefinisikan *array* sebagai berikut :

Dim nama_array (jumlah anggota) as tipe_data

Contoh:

Dim daku(8) as byte ‘ Variabel daku dengan tipe data byte ‘ dengan 8 anggota

Untuk mengakses *array* dengan cara :

daku(1) = 25 ‘ anggota pertama Variabel daku isinya 25

PORTC=daku(1) ‘ PORTC = nilai anggota pertama Variabel daku

Operator

Operator digunakan dalam pengolahan data pemrograman dan biasanya membutuhkan dua Variabel atau dua parameter, sedangkan Operator dituliskan di antara kedua parameter tersebut. Operator-Operator *Bascom AVR* ditunjukkan pada Tabel 2.3, Tabel 2.4 dan Tabel 2.5.

Tabel 2.3. Operator Aritmatik

Operator	Keterangan	Contoh
+	Operasi penjumlahan	A + B
-	Operasi pengurangan	A – B
*	Operasi perkalian	A * B
/	Operasi pembagian	A / B
%	Operasi sisa pembagian	A % B

Tabel 2.4. Operator Relasional

Operator	Keterangan	Contoh
=	Sama dengan	A = B
<>	Tidak sama dengan	A <> B
>	Lebih besar dari	A > B
<	Lebih kecil dari	A < B
>=	Lebih besar atau sama dengan	A >= B
<=	Lebih kecil atau sama dengan	A <= B

Tabel 2.5. Operator Logika

Operator	Keterangan	Contoh
AND	Operasi AND	&B110 And &B101 = &B100
OR	Operasi OR	&B11001 Or &B10111 = &B11111
NOT	Operasi NOT	NOT &HFF = &HO
EX-OR	Operasi EX-OR	&B1001 Ex-Or &B0111 = &B1110

(Agfianto : 2010)

Microcontroller AVR ATmega

Adalah *Microcontroller* 16 dan 32 bit *Microcontroller* daya rendah, integrasi tinggi dan mudah digunakan. Buatan *Atmel Corporation*. *Microcontroller* keluarga AVR ATmega ini menjadi *Microcontroller* yang paling populer dikalangan pengembang *systemMicrocontroller* dan penghobi *Microcontroller*. Hal ini dikarenakan kelebihan-kelebihan yang dimiliki *Microcontroller* ini misalnya fitur yang lengkap, konsumsi daya yang rendah, penggunaannya mudah, banyak

tersedia di pasaran dan yang paling penting adalah harga yang sangat terjangkau.

Dari segi pemrograman, *Microcontroller* AVR ATmega Instruksi-intruksi pemrograman sudah mendukung *system RISC (Reduction Instruction Set Computing)* sehingga kebanyakan instruksi-intruksi pemrograman *Microcontroller* AVR ATmega dapat dieksekusi atau dijalankan oleh satu siklus *pulsaclock*. Dengan kemampuan mengeksekusi instruksi setiap siklus *clock* maka untuk *Microcontroller* AVR ATmega yang menggunakan *clock* 16 MHz kecepatan eksekusi dapat mencapai 16 MIPS (*Milion Instruction Per Second*) atau dapat menjalankan 16 Juta Instruksi dalam setiap detik.

Catu daya tegangan yang dibutuhkan oleh *Microcontroller* AVR ATmega adalah berkisar antara 4,5 Volt sampai dengan 5,5 volt dengan arus yang diserap hanya berkisar antara 100mA sampai dengan 500mA maka konsumsi daya *Microcontroller* ini terbilang sangat rendah karena hanya dibawah 1 Watt.

Fitur-Fitur(Kelengkapan) *Microcontroller* AVR ATmega :

1. *Microcontroller* 8 Bit dengan konsumsi daya rendah tapi memiliki unjuk kerja yang tinggi.
2. Arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computing*/Komputasi dengan instruksi yang dikurangi/direduksi) yang diperluas.
3. Memiliki 131 Instruksi berdaya guna tinggi dan sebanyak dapat dieksekusi dalam setiap 1 *pulsaclock*
4. Memiliki 32 x 8 *Register* penggunaan umum
5. Beroperasi sepenuhnya dalam kondisi *static*
6. Kecepatan operasi 16 MIPS pada *Clock* 16 MHz
7. Pengali 2 terpadu dalam setiap kemasan IC
8. Memori program dan data yang tidak mudah hilang
9. Memiliki 16 KB *In System Self Programmable Flash* memori dengan daya tahan 1000 kali Baca atau tulis
10. Pilihan Seksi *Boot Code* dengan *Lock Bit* Mandiri
11. Memiliki 512 Byte EEPROM (*Electrical Erasable And Programmable Read Only Memori*) dengan daya tahan 100.000 kali Baca/Tulis
12. 1KB SRAM Internal
13. Pengunci pemrograman untuk melindungi program aplikasi
14. JTAG *interface* (penghubung)
15. Memiliki 2 buah 8 bit *timer/counter* dengan pengali, pembagi dan mode pembanding yang terpisah

16. Memiliki 1 buah 16 Bit *timer/counter* dengan pengali, pembagi dan mode pembanding yang terpisah.

17. RTC (*Real Time Counter*) dengan *Osilator* terpisah

18. Empat buah saluran PWM (*Pulse Width Modulation*)

19. 8 Saluran ADC (*Analog to Digital Converter*)

20. *Byte Oriented Two Wire Serial Interface*

21. Saluran komunikasi *Serial USART* yang dapat diprogram

22. *Master/Slave SPI Serial interface*

23. *Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator*

24. *On-chip Analog Comparator*

25. 32 (4 x 8 Port) Saluran Input Output

26. Bentuk kemasan 40 pin PDIP, 44 pin TQFP atau 44 pad MLF

27. Tegangan kerja 4,5 Volt – 5.5 Volt

28. Kecepatan *clock* maksimum 16 MHz

(Sumber: <http://www.teknikMicrocontroller.com/Microcontroller-avr-ATmega/>)

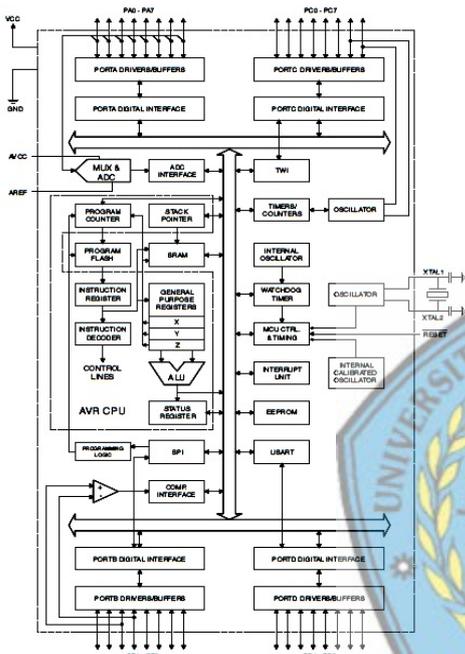
AVR ATmega 32

AVR (*Alf and Vegard's Risc Processor*) merupakan salah satu jenis *Microcontroller* yang di dalamnya terdapat berbagai macam fungsi. AVR memiliki keunggulan dibandingkan dengan *Microcontroller* jenis lain, keunggulannya yaitu AVR memiliki kecepatan eksekusi program yang lebih cepat karena sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 siklus *clock*, lebih cepat bila dibandingkan dengan *Microcontroller* jenis MCS51 yang memiliki arsitektur CISC (*Complex Instruction Set Compute*) dimana mikrokontoller MCS51 membutuhkan 12 siklus *clock* untuk mengeksekusi 1 instruksi. Selain itu kelebihan *Microcontroller* AVR memiliki POS (*Power On Reset*), yaitu tidak perlu adanya tombol reset dari luar karena cukup hanya dengan mematikan supply, maka secara otomatis AVR akan melakukan reset. Untuk beberapa jenis AVR terdapat beberapa fungsi khusus seperti ADC, EEPROM sekitar 128 bytes sampai dengan 512 bytes.

ATmega 32 merupakan *Microcontroller* AVR 8 bit berkemampuan tinggi dengan daya yang rendah, dan memiliki 32 x 8 *general purpose working register*. Kecepatan eksekusi program yang dimiliki ATmega 32 lebih cepat karena sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 *clock* dengan arsitektur RISC hampir mencapai 16 MIPS pada frekuensi 16 MHz. Memori data dan program yang tidak mudah hilang (*Nonvolatile Program and Data Memories*) dengan Pemrograman *Flash* memiliki

kapasitas 8K Bytes, dan memiliki daya tahan 1000 siklus tulis/hapus program. Fasilitas *timer/counter* yang ada pada *Microcontroller* ini terdiri dari dua buah *Timer/counter* 8 bit dan satu buah *Timer/counter* 16 bit. Fitur-fitur tersebut adalah fitur-fitur yang digunakan dalam proyek akhir ini. Fitur-fitur lainnya yang disediakan *ATMega 32* adalah adanya 4 kanal PWM, 6 kanal ADC 10 bit, pemrograman serial USART, *On-chip* Analog Comparator, dan *interrupt*. (Fauzi, Madhawirawan : 2013)

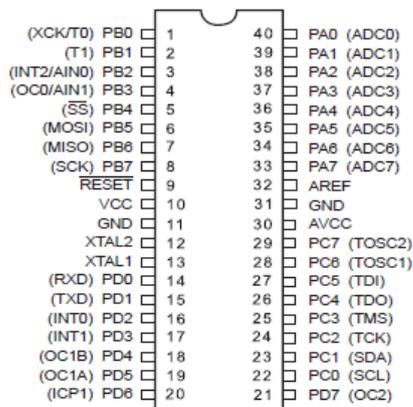
Blok Diagram Microcontroller AVR ATMega 32.



Gambar 2.9. Blok diagram AVR ATMega 32 (Datasheet AVR ATMega32)

Konfigurasi Pin Microcontroller AVR ATMega 32

Konfigurasi dari kaki-kaki IC AVR ATMega 32 dapat dilihat pada gambar 2.10 dibawah :



Gambar 2.10 Konfigurasi Pin ATMega 32 (Datasheet AVR ATMega32)

Secara fungsional konfigurasi pin *ATMega 32* adalah sebagai berikut:

- a. VCC
 - Tegangan sumber
- b. GND (*Ground*)
 - *Ground*
- c. Port A (PA7 – PA0)

Port A adalah 8-bit port I/O yang bersifat *bi-directional* dan setiap pin memiliki internal *pull-up* resistor.

Tabel 2.6 Fungsi khususport A

Port	Alternate Function
PA7	ADC7 (ADCinput channel 7)
PA6	ADC6 (ADCinput channel 6)
PA5	ADC5 (ADCinput channel 5)
PA4	ADC4 (ADCinput channel 4)
PA3	ADC3 (ADCinput channel 3)
PA2	ADC2 (ADCinput channel 2)
PA1	ADC1 (ADCinput channel 1)
PA0	ADC0 (ADCinput channel 0)

- d. Port B (PB7 – PB0)

Port B adalah 8-bit port I/O yang bersifat *bi-directional* dan setiap pin mengandung internal *pull-up* resistor.

Tabel 2.7 Fungsi khususport B

Port	Alternate Function
PB7	SCK (SPI Bus Serial Clock)
PB6	MISO (SPI Bus Master Input/Slave Output)
PB6	MOSI (SPI Bus Master Output/Slave Input)
PB5	SS (SPI Slave Select Input)
PB3	AIN1 (Analog Comparator Negative Input) OCO (Timer/counter0 Output Compare Match Output)
PB2	AIN0 (Analog Comparator Positive Input) INT2 (External Interrupt 2 Input)
PB1	T1 (Timer/counter1 External Counter Input)
PB0	T0 (Timer/counter External Counter Input) XCK (USART External Clock Input/Output)

- e. Port C (PC7 – PC0)

Port C adalah 8-bit port I/O yang berfungsi *bi-directional* dan setiap pin memiliki internal *pull-up* resistor. Output bufferport C dapat mengalirkan arus sebesar 20 mA. Ketika port C digunakan sebagai input dan di *pull-down* secara langsung, maka port C akan mengeluarkan arus jika internal *pull-up* resistor diaktifkan. Fungsi-fungsi khusus pin-pin port C

dapat ditabelkan seperti yang tertera pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.8. Fungsi khususport C

Port	Alternate Function
PC7	TOSC2 (Timer Oscillator Pin 2)
PC6	TOSC1 (Timer Oscillator Pin 1)
PC6	TD1 (JTAG Test Data In)
PC5	TD0 (JTAG Test Data Out)
PC3	TMS (JTAG Test Mode Select)
PC2	TCK (JTAG Test Clock)
PC1	SDA (Two-wire Serial Bus Data Input/Output Line)
PC0	SCL (Two-wire Serial Bus Clock Line)

f. Port D (PD7 – PD0)

Port D adalah 8-bit port I/O yang berfungsi *bi-directional* dan setiap pin memiliki internal *pull-up* resistor. Output buffer port D dapat mengalirkan arus sebesar 20 mA. Ketika port D digunakan sebagai input dan di *pull-down* secara langsung, maka port D akan mengeluarkan arus jika internal *pull-up* resistor diaktifkan. Fungsi-fungsi khusus pin-pin port D dapat ditabelkan seperti yang tertera pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.9 Fungsi khususport D

Port	Alternate Function
PD7	OC2 (Timer / Counter2 Output Compare Match Output)
PD6	ICP1 (Timer/counter1 Input Capture Pin)
PD6	OCIB (Timer/counter1 Output Compare B Match Output)
PD5	TD0 (JTAG Test Data Out)
PD3	INT1 (External Interrupt 1 Input)
PD2	INT0 (External Interrupt 0 Input)
PD1	TXD (USART Output Pin)
PD0	RXD (USART Input Pin)

Sumber :

<http://fmpunya.blogspot.com/2012/06/dasar-teori-Microcontroller-ATMega-32.html>

Prinsip Kerja ATMega 32

Prinsip kerja sebuah *Microcontroller* dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Berdasarkan data yang ada pada *register* program *counter*. *Microcontroller* mengambil data dari ROM dengan alamat sebagaimana ditunjukkan dalam program *counter*. Selanjutnya program *counter* ditambah nilainya dengan 1 secara otomatis. Data yang diambil tersebut merupakan urutan instruksi program pengendali *Microcontroller* yang sebelumnya telah dituliskan oleh pembuatnya.

2. Instruksi tersebut diolah dan dijalankan. Proses pengerjaan bergantung pada jenis instruksi, bisa membaca, mengubah nilai-nilai dalam *register*, RAM, isi *port* atau melakukan pembacaan dan dilanjutkan dengan perubahan data.

3. Program *counter* telah berubah nilainya (baik karena penambahan secara otomatis sebagaimana dijelaskan pada langkah 1 di atas atau karena perubahan data pada langkah 2). Selanjutnya yang dilakukan *Microcontroller* adalah mengulang kembali siklus ini pada langkah 1. Demikian seterusnya hingga catu daya dimatikan.

Berikut ini adalah fitur khusus dari *ATMega 32* :

- 32 K byte *ISP flash program memory*
 - 2 K byte SRAM
 - 1 K byte EEPROM
 - Frekuensi osilator max. 16 MHz
 - 32 pin Input/ Output
 - 8 channel 10 bit *ADC, analog comparator*
 - Satu 16 bit *timer/counter* dan dua 8 bit *timer/counter*
 - Watchdog timer, RTC, 4 channel PWM, master/ slave SPI, TWI*
 - Programmable USART*
 - Package 40 PDIP*
- (<http://samirnganjuk.wordpress.com/2011/05/11/ATMega-32/>)

LCD (Liquid Crystal Display)

LCD (Liquid Crystal Display) adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. *LCD (Liquid Crystal Display)* sudah digunakan di berbagai bidang, misalnya dalam alat-alat elektronik, seperti kalkulator ataupun layar komputer. Pada *LCD (Liquid Crystal Display)* berwarna semacam monitor, terdapat banyak sekali titik cahaya (*pixel*) yang terdiri dari satu buah kristal cair sebagai suatu titik cahaya. Walaupun disebut sebagai titik cahaya, namun kristal cair ini tidak memancarkan cahaya sendiri. (Fauzi, Madhawirawan : 2013)



Gambar 2.11.LCD (Liquid Crystal Display)20 Karakter 4 Baris ERM2004SYG-2 (Datasheet LCD (Liquid Crystal Display) ERM2004-2)

Tabel 2.10 Spesifikasi Teknis : ERM2004-2

Gross Weight (kg)	0.1000
Manufacturer	EastRising
Series Number	ERM2004-2
Part Number(Order Number)	ERM2004SYG-2
Connection	Pin Header
Display Format	20x4 Character
Sunlight Readable	Yes
Touch Panel Optional	No
Outline Dimension	98.00(W)x60.0(H)x14.0(T)mm
Visual Area	76.00x25.20mm
Active Area	70.40(W)x20.80(H)mm
Character Size	2.95x4.75mm
Diagonal Size	No
Dot (Pixel) Size	0.55x0.55mm
Dot (Pixel) Pitch	0.60x0.60mm
IC Package	COB
IC or Equivalent	AIP31066 , HD44780, KS0066 , SPLC780 , ST7066
Interface	6800 4-bit Parallel , 6800 8-bit Parallel
Display Type	STN-LCD (Liquid Crystal Display)Yellow Green
Response Time(Typ)	No
Contrast Ratio(Typ)	No
Colors	No
Viewing Direction	6:00
Viewing Angle Range	No
Appearance	Black on Yellow Green
Brightness(Typ)	No
Backlight Color	White Color
Backlight Current (Typ)	75mA
Power Supply(Typ)	3.3V, 5V
Supply Current for LCM(Max)	2000uA
Operating Temp	-20 °C~70 °C
Storage Temperature	-30 °C~80 °C

http://www.buydisplay.com/download/manual/ERM2004-2_Series_Datasheet.pdf

Daya Listrik

Daya dalam rangkaian DC sama dengan perkalian antara arus dan tegangan. Daya dalam rangkaian AC pada setiap saat sama dengan perkalian dari harga daya rata-rata dalam satu periode sama dengan perkalian antara arus dan tegangan efektif. Tetapi jika ada reaktansi dalam

rangkaian, arus dan tegangan tidak sefase selama siklusnya, seperti halnya arus bernilai negatif sementara tegangan bernilai positif. Hal ini menghasilkan besarnya daya kurang dari perkalian I dan V.

Perkalian arus dan tegangan efektif dalam rangkaian AC dinyatakan dalam *voltampere* (VA) atau *kilovoltampere* (KVA). Satu KVA sama dengan 1.000 VA. Daya yang berguna atau daya nyata diukur dalam Watt dan diperoleh jika *voltampere* dari rangkaian dikalikan dengan faktor yang disebut dengan faktor daya. Maka dalam rangkaian AC satu Fase adalah :

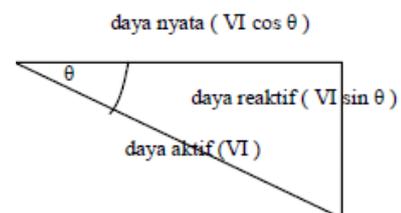
$$P \text{ (dalam watt)} = V \cdot I \cdot \text{Faktor Daya} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\text{Faktor Daya (Cos phi)} = \frac{P}{V \cdot I} \dots\dots\dots(2.8)$$

Oleh karena daya adalah V.I dikalikan dengan faktor daya, maka faktor daya suatu rangkaian AC sama dengan *cosinus* dari sudut Fase. Hubungan antara daya dalam watt (P), *voltampere* (VA) dan *voltampere reaktif* (VAR) dapat dinyatakan dengan segitiga seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.12. sudut θ adalah sudut Fase rangkaian. Alas segitiga menyatakan daya nyata (VA), tingginya menyatakan daya reaktif (VAR), dan *hipotunosa* menyatakan daya aktif (W).

Harga faktor daya tergantung dari beda Fase antara arus dan tegangan. *Capasitor* daya AC sebagai kompensator yang dihubungkan jaringan maka akan mengakibatkan arus beban mendahului 90° , $I_c = I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$. Sehingga akan mengakibatkan arus beban menjadi sefase dengan tegangan.

Dimana arus beban yang tertinggal 90° akan terkompensasi arus *capasitor* mendahului sebesar 90° , $I_b = I_b \sin(\omega t - 90^\circ + 90^\circ) = I_b \sin t$. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Hubungan Antara Daya, Voltampere dan Voltampere Reaktif

Oleh karena *Voltampere* sama dengan V.I daya nyatanya adalah V.I *Cos phi*, dan *voltampere* reaktifnya V.I *Sin phi*. Juga terjadi hubungan sebagai berikut :

$$\text{Daya aktif} = \sqrt{(\text{daya nyata})^2 + \text{daya reaktif}^2} \dots\dots\dots(2.9)$$

(Ardikusuma : 2011)

Watt adalah satuan dari daya (*power*). Wattmeter adalah alat ukur untuk mengukur

daya yang terdapat dalam suatu komponen elektronik. Salah satu fungsi mengetahui daya pada suatu rangkaian elektrik adalah hubungannya dengan efisiensi dan hemat energi. Misalnya dalam membuat sebuah alat elektronik harus benar-benar memperhitungkan efisiensi daya dari *input* ke *Output*. Hal ini bila tidak diperhatikan maka akan terjadi kerugian daya yang besar. Maka itulah pentingnya perlu mengetahui daya yang terjadi pada rangkaian elektrik. Daya listrik dalam pengertiannya dapat dikelompokkan dalam dua kelompok sesuai dengan catu tenaga listriknya, yaitu daya listrik DC dan daya listrik AC.

Daya listrik DC dirumuskan sebagai berikut :

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

P = Daya / Power (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Daya listrik AC ada dua macam yaitu daya untuk satu Fase dan daya untuk tiga Fase. Pada *system* satu Fase dirumuskan sebagai berikut :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

V = Tegangan kerja (Volt)

I = Arus yang mengalir ke beban (Ampere)

$\cos \phi$ = faktor daya

Pada *system* tiga Fase dirumuskan sebagai berikut :

$$P = 3 V \cdot I \cdot \cos \phi \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana:

V = Tegangan antar Fase (Volt)

I = Arus yang mengalir ke beban (Ampere)

$\cos \phi$ = faktor daya

(Kuswanto : 2010)

Wattmeter

Wattmeter adalah alat ukur untuk mengukur daya yang terdapat dalam suatu komponen elektronik. Wattmeter ini mengukur daya listrik pada beban yang sedang beroperasi dalam suatu *system* kelistrikan dengan beberapa kondisi beban seperti beban DC, beban AC satu Faseserta beban AC tiga Fase. Wattmeter merupakan *instrument* pengukur daya listrik yang pembacaannya dalam satuan watt dimana merupakan kombinasi dari voltmeter dan amperemeter.

Dalam pengoperasiannya harus memperhatikan petunjuk yang ada pada *manual book* atau tabel yang tertera. Demikian juga dalam hal pembacaan data harus mengacu pada *manual book* yang ada. Pengukuran daya listrik

secara langsung adalah dengan menggunakan wattmeter, ada beberapa jenis wattmeter antara lain wattmeter *elektrodinamik*, wattmeter induksi, wattmeter *elektrostatik* dan sebagainya.

Pada wattmeter *elektrodinamik* cukup *familiar* dalam desain dan konstruksi *elektrodinamometer* tipe ammeter dan voltmeter analog. Kedua koilnya dihubungkan dengan sirkuit yang berbeda dalam pengukuran *power*. Untuk prinsip kerja wattmeter induksi sama dengan prinsip kerja amperemeter dan voltmeter induksi. Perbedaan dengan wattmeter jenis *dinamometer* adalah wattmeter induksi hanya dapat dipakai dengan suplai listrik bolak-balik sedangkan wattmeter jenis *dinamometer* dapat dipakai baik dengan suplai listrik bolak-balik atau searah.

Pengukuran daya arus searah dapat dilakukan dengan alat ukur wattmeter. Didalam *instrument* ini terdapat dua macam sensor yaitu sensor arus dan sensor

Tegangan. **(Kuswanto : 2010)**

Daya Kompleks

Daya rata-rata sebenarnya adalah daya yang dipakai oleh komponen pasif resistor yang merupakan daya yang terpakai atau terserap. Jika dalam penerapan nyata, daya nyata inilah yang ditagihkan kepada pelanggan dari PLN. Daya rata-rata memiliki simbol P dan satuan Watt. Secara matematis daya rata-rata atau daya aktif adalah hasil perkalian antara tegangan efektif dan arus efektif dan koefisien faktor dayanya.

$$P = V_{eff} \cdot I_{eff} \cdot \cos \phi \dots\dots\dots(2.13)$$

Daya reaktif adalah daya yang muncul karena adanya komponen pasif selain resistor yang terpasang, bisa kapasitor maupun induktor. Daya ini seminimal mungkin dihindari atau setidaknya diperkecil karena daya reaktif merupakan daya rugi-rugi. Daya reaktif disimbolkan Q dan memiliki satuan Volt Amper Reaktif (VAR) secara matematis daya reaktif adalah hasil perkalian antara tegangan efektif, arus efektif dan sin phi.

$$Q = V_{eff} \cdot I_{eff} \cdot \sin \phi \dots\dots\dots(2.14)$$

Daya tampak atau nyata merupakan daya yang sebenarnya disuplai oleh PLN kepada pelanggan. Daya ini merupakan *resultan* daya antara daya rata-rata dan daya reaktif. Simbol dari daya tampak adalah S dan memiliki satuan Volt Amper (VA). Secara matematis, daya tampak atau daya nyata adalah hasil perkalian antara tegangan efektif dan arus efektifnya.

$$S = V_{eff} \cdot I_{eff} \dots\dots\dots(2.15)$$

Daya tampak atau daya nyata biasa juga disebut dengan daya kompleks, yaitu gabungan antara daya rata-rata dan daya reaktif. Daya kompleks memiliki dua buah bagian, yaitu bagian nyata dan nilai imajineranya sebagai berikut :

$$S = P + jQ = V_{eff} \cdot I_{eff} \cdot \cos \phi + j V_{eff} \cdot I_{eff} \cdot \sin \phi = V_{eff} \cdot I_{eff} \dots\dots\dots(2.16)$$

(Hermawan : 2013)

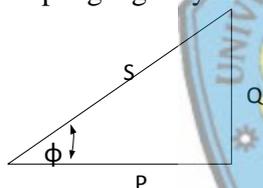
Faktor Daya

Faktor daya atau *power faktor(pf)* adalah perbandingan antara daya rata-rata atau daya aktif terhadap daya tampak. Secara matematis faktor daya dapat ditulis dalam persamaan sebagai berikut :

$$Pf = \frac{P}{S} = \frac{V_{eff} \cdot I_{eff} \cdot \cos \phi}{V_{eff} \cdot I_{eff}} \dots\dots(2.17)$$

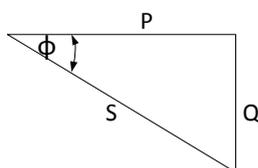
$$Pf = \cos \phi \dots\dots\dots(2.18)$$

Dengan menggunakan segitiga daya, maka dapat dilihat hubungan antara faktor daya dengan daya pada rangkaian RLC. Untuk beban yang bersifat induktif faktor daya akan bernilai positif, karena arus yang mengalir mengalami pergeseran fase (*Phase Shift*) dan tertinggal atau *lagging* terhadap tegangannya.



Gambar 2.13.Segitiga Daya pada Beban Induktif

Sedangkan pada beban yang bersifat kapasitif, faktor daya akan bernilai negatif karena arus yang mengalir mengalami pergeseran fase (*Phase Shift*) dan mendahului atau *leading* terhadap tegangannya.



Gambar 2.14.Segitiga Daya pada Beban Kapasitif

(Hermawan : 2013)

Energi Listrik

Kilowatt jam, juga ditulis Kilowatt-jam. (simbol kW·h, kW h atau Kwh) adalah sebuah satuan energi. Energi yang dikirim oleh peralatan listrik biasanya diukur dan diberi biaya menggunakan satuan Kwh. Perlu diketahui

bahwa Kwh adalah produk tenaga dalam Kilowatt dikali waktu dalam jam, bukan kW per h.

Contoh : Bila sebuah pemanas menggunakan tenaga 1000 watt (1 Kilowatt) dan pemanas tersebut dinyalakan selama satu jam maka energi yang digunakan adalah satu Kilowatt jam atau satu Kilowatt hour (sama dengan 3600 Kilojoule).

Menggunakan bola lampu 60 watt selama satu jam memakan 0.06 Kilowatt jam listrik. Bila digunakan selama seribu jam memakan 60 Kilowatt jam listrik. Bila bola lampu 100 watt dinyalakan selama satu jam per hari selama 30 hari, energi yang digunakan adalah :

$$100 \text{ W} \cdot (1\text{Kw}/1000) \cdot 30 \text{ h} = 3 \text{ Kwh} \dots\dots(2.19)$$

(http://id.wikipedia.org/wiki/Kilowatt_jam)

DESAIN DAN PERANCANGAN

Bahan-Bahan Untuk Perangkat Keras

Bahan dan komponen elektronika yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Sensor Tegangan Trafo *Step Down* 220V/3V
2. Sensor Arus Trafo Arus 4A/5V
3. Trafo Catu Daya 220V/5V
4. IC LM324 sebagai Komparator
5. IC TTL 7486 sebagai Ex-Or
6. IC *Microcontroller* AT Mega 32
7. LCD (*Liquid Crystal Display*) 20 Karakter 4 Baris
8. PCB (*Printed Circuit Board*) Polos dan PCB yang sudah dibor
9. IC *Regulator* 7805
10. *Dioda Bridge* penyearah
11. *Dioda*
12. *Resistor*
13. *Kapasitor*
14. *LED*
15. Amplas halus
16. Kabel-Kabel *jumper*
17. Timah solder dan *Tenol*
18. *Ferry Chlorida* (Fe Cl₃)
19. *Connector-Connector* untuk *Jumper*
20. Saklar-Saklar untuk ON-OFF

Bahan-Bahan Untuk Perangkat Lunak

Softcopy atau perangkat lunak yang diperlukan dalam pemrograman ini adalah sebagai berikut :

1. *Bascom AVR*
2. *Windows 7* atau *Windows XP*

Alat yang digunakan untuk Pembuatan Perangkat Keras

Peralatan yang diperlukan dalam merancang Perangkat Keras dalam Tugas Akhir ini antara lain adalah :

1. Multimeter Lengkap (minimal untuk mengukur Ohm, Amper & Volt)
2. Osiloskop
3. Watt Meter
4. Solder Lengkap
5. Sumber tegangan DC 5 V
6. Sumber tegangan Variabel
7. Sumber Beban variabel
8. Obeng lengkap
9. Testpen
10. Tang Lengkap
11. Bor PCB dan Mata Bor lengkap
12. Alat Potong berupa Gergaji
13. Pisau Cutter
14. Project Board atau Papan Percobaan serta kabel-kabel jumper

Alat yang digunakan untuk Pembuatan Perangkat Lunak

1. Komputer PC atau Laptop yang mendukung diinstalnya Software Bahasa Pemrograman *Bascom AVR*
2. Rangkaian Downloader atau kabel data
3. *Ms. Visio*, Program untuk menggambar bebas karena lebih mudah jika ingin *copy paste* ke *Ms. Word*
4. *SoftwareMultisim* untuk melihat simulasi per blok rangkaian apakah rangkaian yang dibuat bekerja atau tidak. Jika sudah bekerja maka dilanjutkan menggambar di *SoftwareEagle*.
5. *SoftwareEagle*, Program untuk Menggambar Rangkaian elektronik lengkap dan Pembuatan PCB *Layout*.

Tahapan Pembuatan & Pengujian Perangkat Keras

Tahapan Pembuatan Perangkat Keras dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan alat dan bahan, berkaitan dengan *Software* maupun *Hardware* yang diperlukan untuk Pembuatan Tugas Akhir.
2. Pengujian rangkaian catu daya, apakah *Output* sudah sesuai dengan yang dibutuhkan oleh rangkaian atau belum.
3. Pengujian rangkaian sensor tegangan, apakah terdapat perubahan linear antara tegangan input dan *Output*, jika tegangan

input turun, apakah tegangan *Output* juga turun, dan sebaliknya. Jika perubahan sudah linear maka rangkaian sensor tegangan sudah bekerja sesuai harapan.

4. Pengujian rangkaian sensor arus, apakah sudah seimbang antara arus yang melewati sensor dengan tegangan yang dikeluarkan oleh sensor untuk diumpankan kepada *ADC*. Jika belum, maka perlu ditambahkan Penguat lagi, jika sudah memenuhi keinginan maka rangkaian siap untuk digambar di Program *Eagle*.

5. Pengujian rangkaian pendeteksi faktor daya, perlu dipastikan apakah sudah mengeluarkan gelombang sinus yang dikonversi menjadi gelombang kotak untuk ditentukan sudut *cosinusnya* jika sudah OK, maka siap diumpankan ke rangkaian Ex-Or untuk mendeteksi gelombang antara 2 sensor tersebut saat melintai titik Nol.

6. Pengujian rangkaian *Microcontroller*, perlu ditentukan apakah *Microcontroller* kita inginkan bekerja secara terus menerus mengambil data dari sensor (*Free Running Mode*) atau bekerja hanya sesaat sesuai perintah dari *Programmer*.

7. Pembuatan gambar lengkap pada program *Eagle*, Jika pengujian rangkaian perblok sudah selesai dilakukan dengan hasil sesuai harapan.

8. Konversi ke PCB *Layout*, melalui program *Eagle* kita bisa langsung meng-*compile* gambar rangkaian ke PCB *Layout*.

9. Print PCB *layout* pada kertas biasa, setelah rangkaian dikompil ke PCB *Layout* maka di Print pada kertas biasa dengan cara print terbalik.

10. Photocopy PCB *Layout* ke kertas plastik bening, perlu dilakukan photo copy untuk bisa dipanaskan pada PCB.

11. Konversi gambar ke papan PCB, dengan cara menempelkan *layout* yang ada pada kertas plastik bening yang sudah diphotocopy kemudian dipanaskan dengan cara disetrika secara perlahan-lahan sampai gambar yang ada pada kertas plastik bening, menempel semua pada papan PCB.

12. Melarutkan PCB dalam larutan *Ferry Chlorida*, merendam papan PCB dalam larutan dengan perbandingan 1:3 antara FeCl dan air.

13. Pengeboran lubang kaki komponen pada PCB, lakukan pengeboran sesuai dengan titik-titik penempatan komponen pada PCB.

14. Pemberian tinner pada PCB yang sudah dibor untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang tertinggal.

15. Pemberian getah damar (*gondorukem*) pada PCB agar tidak mudah terkelupas saat disolder berulang-ulang dengan suhu tinggi (Jika ada kemungkinan spare part disolder ulang beberapa kali).

16. Tahap pengetesan berfungsi atau tidak semua komponen yang sudah disolder.

17. Menentukan *Port* mana yang akan digunakan sebagai masukan atau input bagi sensor tegangan, sensor arus dan pendeteksi faktor daya.

18. Menentukan kaki-kaki *Microcontroller* yang mana sebagai input dan sebagai *Output*.

19. *Port A* digunakan sebagai input untuk mendeteksi arus dan tegangan dari sensor, dikarenakan *port A* dapat berfungsi sebagai *Input Analog to Digital Converter (ADC)* internal 10 bit, sedangkan sebagian kaki yang lain dari *port A* akan dipakai untuk *LCD (Liquid Crystal Display)* jika diperlukan.

20. *Port B* akan digunakan sebagai input untuk mendeteksi beda Fase, karena fasilitas *timer/counternya* dapat digunakan untuk menentukan sudut Fase dalam waktu, kemudian untuk menentukan sudut dalam derajat, akan dilakukan pengolahan data dalam program *Bascom AVR*. Sebagian kakinya yang tidak terpakai dapat dimanfaatkan juga untuk jalur data.

21. *Port C* akan digunakan sebagai jalur data atau fasilitas untuk mengelola *LCD (Liquid Crystal Display)* yang dibutuhkan nantinya.

22. *Port D* juga disediakan untuk *input/output* yang diperlukan dalam pengolahan data lebih lanjut.

23. Pengetesan *Hardware* secara keseluruhan

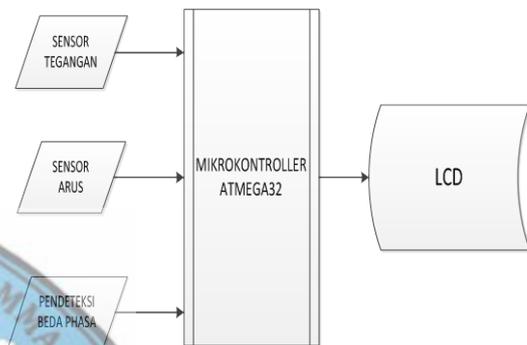
Pengujian perangkat keras untuk mengetahui karakteristik dari setiap rangkaian dan perangkat keras yang digunakan. Hasil dari karakteristik tersebut kemudian akan dimasukkan ke dalam perangkat lunak untuk

menentukan nilai dalam setiap perhitungan matematis dalam program.

Pengujian perangkat keras meliputi karakteristik sensor arus, sensor tegangan dan sensor pendeteksi beda Fase. Keluaran dari semua sensor dihubungkan dengan alat akuisisi data untuk mendapatkan nilai-nilai yang diperlukan untuk perhitungan energi listrik dalam satuan Watt menit, Watt hour atau Kilowatt hour (Kwh).

Blok Diagram Perangkat Keras

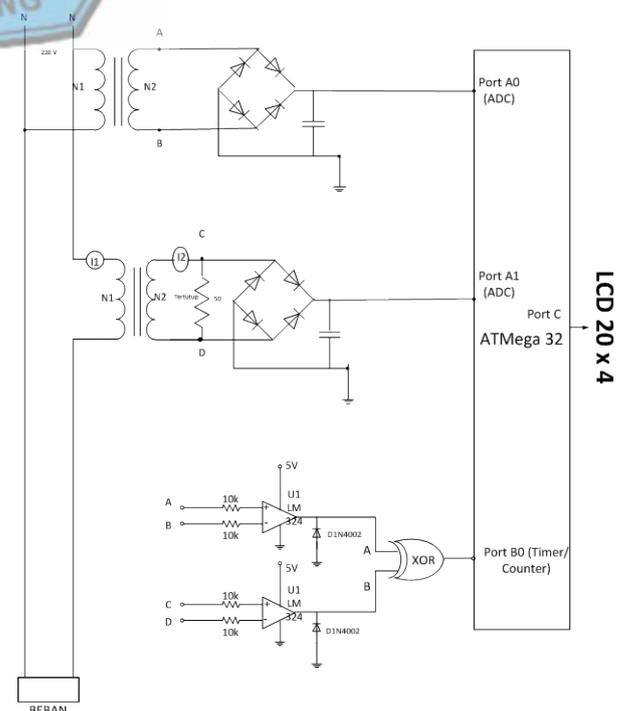
Untuk memudahkan pembuatan, maka dirancang blok diagram sebagai mana gambar 3.1 dibawah ini :



Gambar 3.1. Blok Diagram

Single Line Diagram

Single Line Diagram hubungan sensor, *Microcontroller* dan *LCD (Liquid Crystal Display)* dapat dilihat pada gambar dibawah 3.2 dibawah ini :



Gambar 3.2 Single Line Diagram

Tahapan Pembuatan & Pengujian Perangkat Lunak

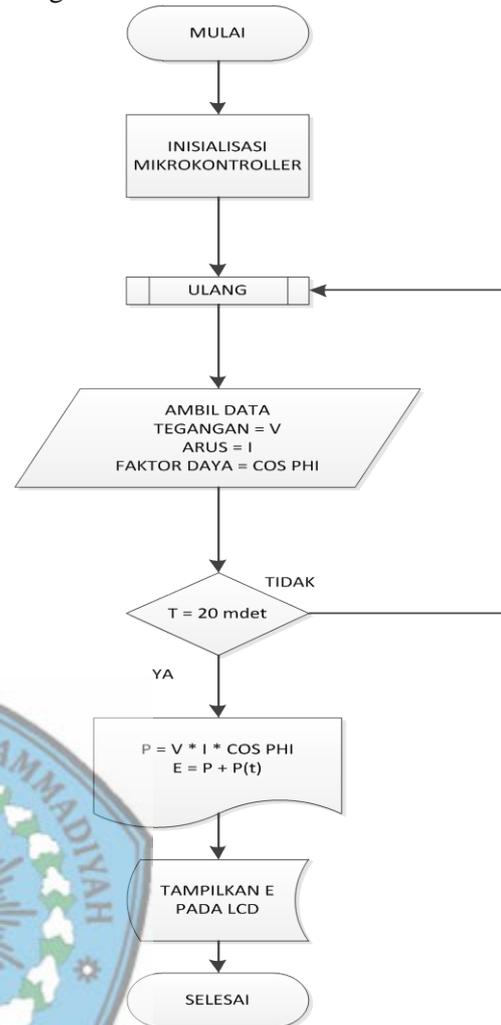
Perancangan perangkat lunak (*Software*) yang digunakan sebagai program Akuisisi data-data dari semua sensor adalah bahasa *Bascom AVR*. Sedangkan tahap-tahap dalam Pembuatan dan Pengujian Program perangkat lunak adalah sebagai berikut :

1. Penentuan titik atau nilai awal dari setiap sensor untuk memudahkan perhitungan nilai-nilai pada *Software*.
2. Penentuan nilai resolusi terkecil dari *ADC* 10 bit
3. Penentuan faktor kali sebagai pembanding untuk setiap data yang diambil dengan melakukan beberapa kali percobaan untuk bisa menentukan nilai sebenarnya dari data yang terbaca oleh sensor setelah dilakukan perhitungan matematis.
4. Pengesetan nilai awal pada posisi yang diperlukan atau *inisialisasi* setiap *port* yang ada pada perangkat *Microcontroller*.
5. Penentuan rumus untuk pembacaan sensor tegangan (V). Setiap 20 milidetik dilakukan penyimpanan data.
6. Penentuan rumus untuk pembacaan sensor arus (I). Setiap 20 milidetik dilakukan penyimpanan data.
7. Penentuan rumus untuk pembacaan sensor beda Fase (*Cos phi*). Setiap 20 milidetik dilakukan penyimpanan data.
8. Dilakukan penghitungan setiap setiap >20 mdetik dengan memasukkan rumus daya (P) = $V \cdot I \cdot \cos \phi$
9. Hasil dari daya (P) akan dilakukan penambahan dari setiap perhitungan dikalikan dengan waktu (t)
10. Data perhitungan daya dikalikan dengan waktu akan ditampilkan pada *LCD (Liquid Crystal Display)* 20 x 4 untuk melihat pemakaian energi oleh beban.
11. Penentuan penyimpangan peralatan dengan melakukan perhitungan dan data yang diperoleh dari peralatan akan dibandingkan, sehingga diperoleh persentase *error* dari peralatan.
12. *System* akan melakukan perhitungan secara periodik sesuai dengan aktifnya *Microcontroller*.

Flow Chart Perangkat Lunak

Untuk lebih jelas, maka penulis akan membuat *Flow Chart Diagram* untuk proses

pembuatan *software* dan pengujian Tugas Akhir, sebagai berikut :



Gambar 3.3. Flow Chart Pembuatan Program

PENGUJIAN DAN HASIL

Analisa Sensor Tegangan

Analisa terhadap sensor tegangan, menggunakan Trafo tegangan *Step Down* :

1. Menentukan VA *Burden* = 0,5 VA.
2. Menentukan besarnya tegangan sekunder = $V_s = 3 V_{AC}$
3. Menentukan besarnya arus sekunder = $I_s = V_A / V_s = 0,5 / 3 = 0,166 A$
4. Menentukan lilitan sekunder = N_s
 $V_p = 220 \text{ Volt}$
 $V_s = 3 \text{ Volt}$
 $N_p = 1000 \text{ lilitan}$
 $V_s / V_p = N_s / N_p = I_p / I_s$
 $N_s = 1000 \times 3 / 220 = 13,63$ atau 14 lilitan
5. Menentukan luas jendela inti dalam satuan $\text{mm}^2 = A_w$
 Untuk menentukan A_w harus juga diketahui parameter perancangan yang terdiri dari :
 $K_w = 0,2$
 $B_m = 0,3 \text{ tesla}$

$$J = 2 \text{ A/mm}^2$$

$$K_f = 1,11$$

$$A_w = \frac{N_p x I_p + N_s x I_s}{K_w + J} \quad 1$$

$$I_p = N_s \times I_s / N_p = 14 \times 0,166 / 1000 = 0,002324 \text{ A}$$

$$A_w = \frac{1000 \times 0,002324 + 14 \times 0,166}{0,2 \times 2} = \frac{2,324 + 2,324}{0,4} = 11,62 \text{ mm}^2$$

6. Menentukan luas penampang inti = A_c

$$V_s = 4,44 \times A_c \times B_m \times F \times N_s$$

$$A_c = \frac{V_s}{4,44 \times B_m \times F \times N_s} = \frac{3}{4,44 \times 0,3 \times 50 \times 14} = \frac{3}{932,4 \times 10^{-3}} = 3,22 \text{ mm}^2$$

7. Menentukan diameter kawat belitan primer = d_p

$$= d_p$$

$$d_p = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times \frac{I_p}{J}} = \sqrt{1,27 \times \frac{0,002324}{2}} = \sqrt{0,001479226} = 0,0384 \text{ mm}$$

8. Menentukan diameter kawat belitan sekunder = d_s

$$= d_s$$

$$d_s = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times \frac{I_s}{J}} = \sqrt{1,27 \times \frac{0,166}{2}} = \sqrt{0,0105659} = 0,102 \text{ mm}$$

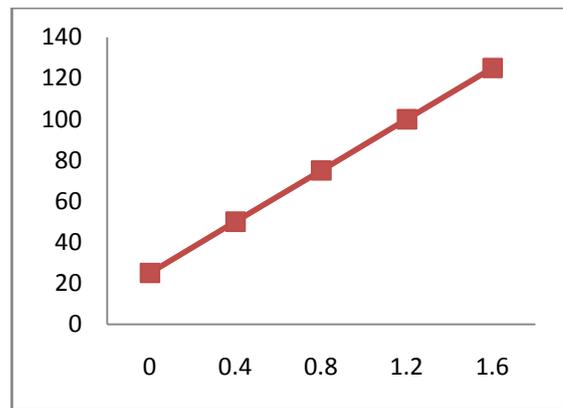
Pengujian VT Sensor Tegangan

Dengan menggunakan input dari beberapa tegangan berbeda, maka *Output* dari Trafo Tegangan *Step Down* yang digunakan sebagai sensor tegangan didapatkan data seperti tabel 4.1.

Tabel 4.1. Pengujian Output VT Sensor Tegangan

No	Teg. Input	ΔV	Teg. Output Sensor	ΔVT
	Volt AC	Volt AC	Volt AC	mV AC
1	25	25	0	
2	50	25	0,4	400
3	75	25	0,8	400
4	100	25	1,2	400
5	125	25	1,6	400
Average	75	25	0,8	400

Dari data-data diatas dapat dibuatkan grafik hubungan antara Tegangan input dan tegangan *Output* seperti gambar 4.1.



Gambar 4.1. Grafik hubungan antara Tegangan input dan tegangan output trafo *Step Down* yang digunakan sebagai sensor tegangan

Dari data pada tabel 4.1. didapatkan besarnya perbandingan atau ratio lilitan pada trafo *Step Down* yang digunakan sebagai sensor tegangan dengan menggunakan formula perbandingan antara lilitan primer dan lilitan sekunder dengan tegangan primer dan tegangan sekunder sebagai berikut :

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

V_p = Tegangan primer

V_s = Tegangan Sekunder

N_p = Lilitan Primer

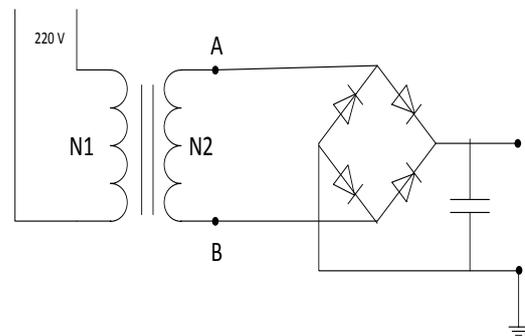
N_s = Lilitan Sekunder

Dengan mengasumsikan bahwa lilitan sekunder (N_s) = 1, maka :

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p \times 100}{N_s \times 1,2} = \frac{N_p}{1} \quad N_p = 83,33$$

4.1. Pengujian Rangkaian Penyesuaian Sensor Tegangan

Dikarenakan *ADC Microcontroller* tidak bisa menerima sinyal negatif, maka harus dilakukan penyearahan terhadap gelombang dari sensor tegangan. Untuk mendapatkan tegangan DC murni yang harus diumpangkan pada *ADC* dari *Microcontroller*, maka dibuatkan rangkaian seperti gambar 4.2 :



Gambar 4.2. Rangkaian Penyesuaian Sensor Tegangan Menggunakan System Jembatan Gelombang Penuh

Tabel 4.2. Pengujian Output, Rangkaian Penyesuaian Sensor Tegangan

No	Tegangan Input	ΔV	Tegangan Output	ΔVT
	Volt AC	Volt AC	Volt DC	mVolt DC
1	25		0	
2	50	25	0,4	400
3	75	25	0,8	400
4	100	25	1,2	400
5	125	25	1,6	400
Average	75	25	0,8	400

Sensor Arus

Analisa terhadap Trafo Arus yang digunakan adalah sebagai berikut sbb :

1. Menentukan VA Burden = 0,5 VA.
2. Menentukan besarnya tegangan sekunder = $V_s = 5 V_{AC}$.
3. Menentukan besarnya arus sekunder = $I_s = VA/V_s = 0,5/5 = 0,1 A$
4. Menentukan besarnya tahanan pada pada rangkaian tertutup pada bagian sekunder = $R = V_s/I_s = 5/0,1 = 50 \Omega$.
5. Menentukan daya yang digunakan oleh tahanan (P)
 $I^2 R = 0,1^2 \times 50 = 0,50 \text{ watt}$.
6. Menentukan lilitan sekunder = N_s
 $N_p = 2$ lilitan
 $I_p = 4$ Amper
 $N_p \times I_p = N_s \times I_s$
 $N_s = N_p \times I_p/I_s$
 $N_s = 2 \times 4 / 0,1 = 80$ lilitan
7. Menentukan luas jendela inti dalam satuan $mm^2 = A_w$
Untuk menentukan A_w harus juga diketahui parameter perancangan yang terdiri dari :
 $K_w = 0,2$
 $B_m = 0,3$ tesla
 $J = 2 A/mm^2$
 $K_f = 1,11$

$$A_w = \frac{N_p I_p + N_s I_s}{K_w \times J}$$

$$A_w = \frac{(2 \times 4) + (80 \times 0,1)}{0,2 \times 2} = 20 mm^2$$

8. Menentukan luas penampang inti = A_c
 $V_s = 4,44 \times A_c \times B_m \times F \times N_s$

$$A_c = \frac{V_s}{4,44 \times B_m \times F \times N_s} = \frac{5}{4,44 \times 0,3 \times 50 \times 80} = \frac{5}{5328 \times 10^{-3}} = 0,938 mm^2$$

9. Menentukan diameter kawat belitan primer = d_p

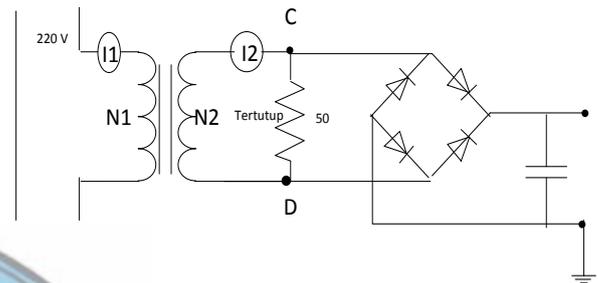
$$d_p = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times \frac{I_p}{J}} = \sqrt{1,273 \times \frac{4}{2}} = \sqrt{2,546} = 1,595 mm^2$$

10. Menentukan diameter kawat belitan sekunder = d_s

$$d_s = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times \frac{I_s}{J}} = \sqrt{1,273 \times \frac{0,1}{2}} = \sqrt{0,06365} = 0,2522 mm^2$$

Pengujian Rangkaian Penyesuaian Sensor Arus

Setelah dilakukan pengujian pada rangkaian penyesuaian sensor arus pada gambar 4.3. maka didapat tabel data-datanya pada tabel 4.3.



Gambar 4.3. Rangkaian Penyesuaian Sensor Arus Menggunakan System Jembatan Gelombang Penuh

Tabel 4.3. Pengujian Output, Rangkaian Penyesuaian Sensor Arus

No	Jenis Beban	Daya Beban	Δdaya beban	Arus Beban (IL)	ΔIL	Output CT	ΔCT
	Lampu Pijar (100W)	Watt	Watt	Amper	Amper	Vdc	Vdc
1	1 lampu	90	90	0,428	0,428	0,500	500
2	2 lampu	179	89	0,844	0,416	0,900	400
3	3 lampu	273	94	1,272	0,428	1,300	400
4	4 lampu	363	90	1,697	0,425	1,700	400
5	5 lampu	448	85	2,108	0,411	2,200	500
Rata-Rata			89,6	1,2698	0,4216	1,320	440

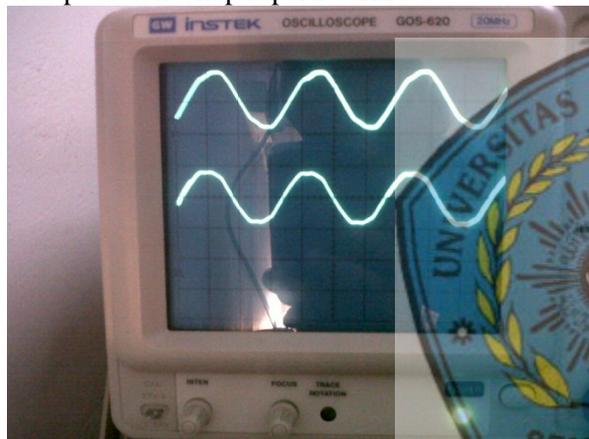
Gambar Gelombang Sensor Tegangan Dan Sensor Arus

Untuk mendapatkan gambar bentuk gelombang sensor tegangan dan sensor arus, maka dilakukan percobaan dengan menghubungkan Output sensor tegangan dan sensor arus pada osiloskop dengan data-data seperti tabel 4.4.

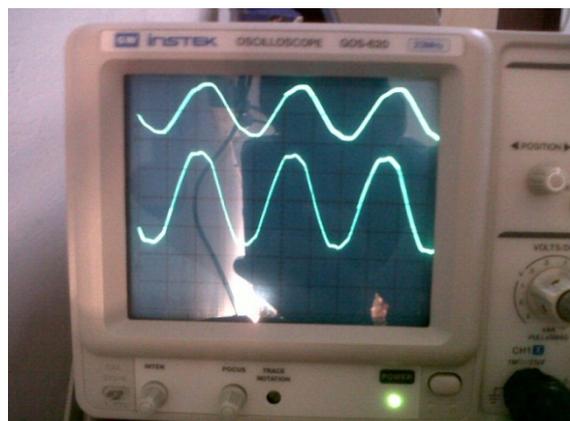
Tabel 4.4. Pengujian *Output* Rangkaian Penyesuaian Sensor Tegangan dan Sensor Arus

No	Jenis Beban	Daya Beban (P)	Arus Beban (I)	Tegangan Beban (V)	Output Sensor Arus	Output Sensor Tegangan
	Lampu Pijar (100W)	Watt	Amper	Volt AC	Volt AC	Volt DC
1	1 lampu	90	0,428	220,5	0,069	1,075
2	2 lampu	179	0,844	220,5	0,33	1,034
3	3 lampu	273	1,272	220,8	0,619	1,022
4	4 lampu	363	1,697	220,7	0,909	1,031
5	5 lampu	448	2,108	220,5	1,27	1,11
Average			90	0,428	220,5	0,069

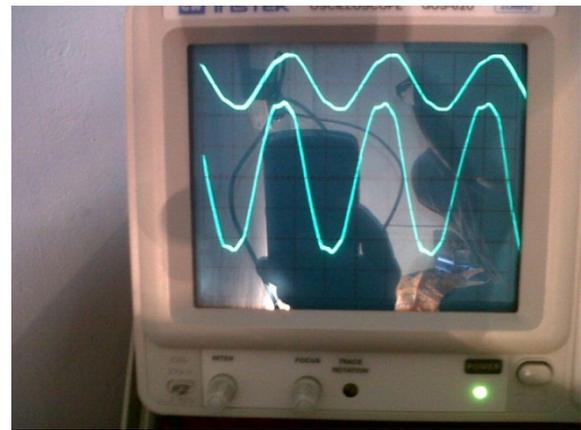
Dari data pada tabel 4.4 didapatkan gambar gelombang sensor tegangan dan sensor arus pada osiloskop seperti berikut :



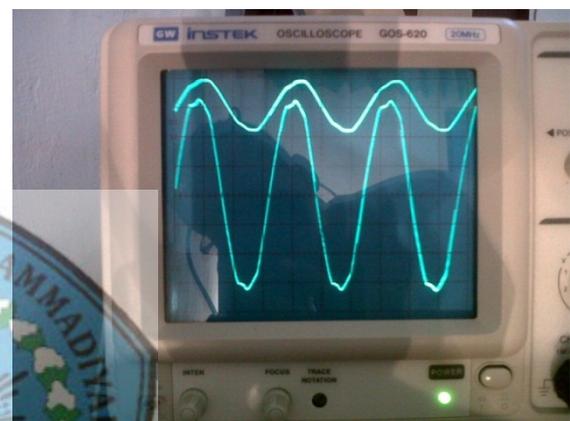
Gambar 4.4. Sinyal Gelombang Sensor Tegangan dan Sensor Arus dengan beban 90 watt



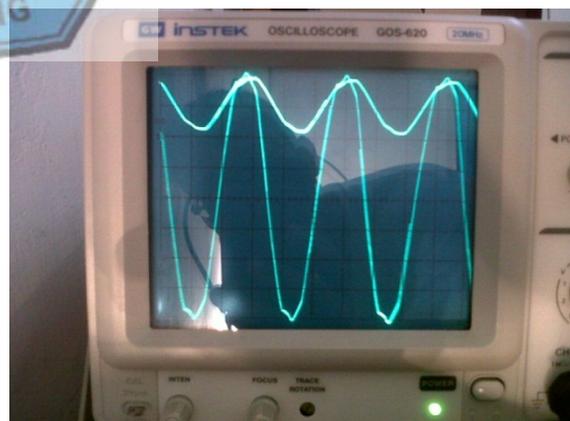
Gambar 4.5. Sinyal Gelombang Sensor Tegangan dan Sensor Arus dengan beban 179 watt



Gambar 4.6. Sinyal Gelombang Sensor Tegangan dan Sensor Arus beban 273 watt



Gambar 4.7. Sinyal Gelombang Sensor Tegangan dan Sensor Arus dengan beban 363 watt

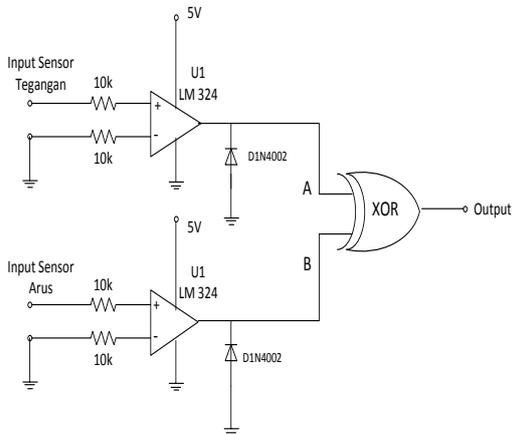


Gambar 4.8. Sinyal Gelombang Sensor Tegangan dan Sensor Arus dengan beban 448 watt

Dari gambar diatas, terlihat bahwa sinyal sensor tegangan hampir tidak terjadi perubahan, hal ini dikarenakan tegangan beban tetap pada kisaran ± 220 volt. Sedangkan sinyal sensor arus berubah berdasarkan besarnya beban yang didapat oleh sensor arus.

Sensor Beda Fase

Dari beberapa kali percobaan terhadap rangkaian sensor beda fase didapatkan gambar rangkaian beda fase yang sesuai untuk diumpungkan pada *Microcontroller* seperti gambar 4.9.



Gambar 4.9. Rangkaian Komparator Dan Ex-Or Sebagai Pendeteksi Beda Fase

Untuk mendapatkan beda fase dilakukan pengolahan sinyal gelombang sinus agar menjadi gelombang kotak oleh IC LM324, kemudian sinyal gelombang kotak dari LM324 akan diumpungkan pada gerbang Ex-Or, sinyal *Output* dari Ex-Or akan bernilai 1 apabila terdapat perbedaan antara input A dan B. Hasil *Output* dari Ex-Or inilah yang akan dideteksi oleh *Microcontroller* untuk mendapatkan beda fase antara tegangan dan arus beban.

Pengujian Rangkaian Pendeteksi Beda Fase

Dari hasil pengujian dengan osiloskop, didapatkan gambar sinyal keluaran dari pendeteksi beda Fase, seperti gambar 4.10.



Gambar 4.10. Sinyal Output Dari Pendeteksi Beda Fase

Dari Gambar didapatkan data : $t = 0,6$
Time/div = 5 ms

Tabel 4.5. Data Perhitungan Hasil Deteksi Gelombang Sinyal Beda Fase Dengan Perhitungan *Cos phi*

No	Jenis Beban	Daya Bbn (P)	Arus Bbn (I)	Teg. Beban (V)	<i>Cos phi</i> Hitung	<i>Cos phi</i> Percobaan	t	T / D	Δt	1 periode	1 putaran	φ
	Lampu Pijar (100 W)	Watt	A	Volt AC	P/V.I	<i>Cos φ</i>		ms	(t x time) / 0,5 T	ms	ms	drjt
1	1 Imp	90	0,428	220	0,9558	0,995	0,6	5	0,3	20	360	5,4
2	2 Imp	179	0,844	220	0,9640	0,995	0,5	5	0,29	20	360	5,22
3	3 Imp	273	1,272	220	0,9755	0,996	0,5	5	0,28	20	360	5,04
4	4 Imp	363	1,63	220	0,9723	0,996	0,5	5	0,27	20	360	4,86
5	5 Imp	448	2,108	220	0,9660	0,996	0,5	5	0,26	20	360	4,68

Untuk menentukan *Cos phi* dengan melalui perhitungan seperti berikut :

Diketahui :

t : Hasil osiloskop didapatkan dari gambar adalah 3 garis = 0,6

Time/Div : 5 ms.

1/2 T : 10 ms

$$\Delta t = \frac{t \times \text{time/div}}{1/2T} = \frac{0,6 \times 5}{10} = 0,3$$

$$\text{cosphi dalam derajat} = \frac{\Delta t}{1T} \times 360$$

$$= \frac{0,3}{20} \times 360 = 5,4^{\circ}$$

$$\text{Cos sudut} = 5,4^{\circ}$$

$$\text{Cos phi} = 0,99556196460308$$

Menentukan Ketelitian/Resolusi bit

Untuk menentukan Resolusi terkecil dari ADC dengan kapasitas 8 dan 10 bit dapat dilakukan dengan cara :

$$\text{Resolusi} = \frac{\text{Tegangan Referensi}}{\text{Jumlah Bit}}$$

1. Dengan ADC 10 bit pada range 0 s/d 5 Volt, maka resolusi terkecil adalah :

$$\begin{aligned} \text{Resolusi} &= 5 / 2^{10} \\ &= 5 / 1024 \\ &= 0,0048828125 \text{ Volt} \end{aligned}$$

2. Dengan ADC 8 bit pada range 0 s/d 5 Volt, maka resolusi terkecil adalah :

$$\begin{aligned} \text{Resolusi} &= 5 / 2^8 \\ &= 5 / 256 \\ &= 0,01953125 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Dengan kata lain bahwa bit LSB dari ADC mempunyai nilai sebesar nilai perhitungan resolusi yang dihitung.

Menentukan Faktor Pengali Sensor Tegangan dan Sensor Arus.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada *Transformator* arus dan *Transformator* tegangan yang telah penulis lakukan, didapatkan data-data seperti diperlihatkan pada tabel-tabel berikut :

Tabel 4.6. Data Arus, Tegangan Dan Daya Beban dibandingkan dengan Sensor Tegangan dan Sensor Arus

No	Jenis Beban	Daya Beban (P)	Arus Beban (I)	Tegangan Beban (V)	Output Sensor Arus (CT)	Output Sensor Tegangan (VT)
	Lampu Pijar (100W)	Watt	Amper	Volt AC	Volt DC	Volt DC
1	1 lampu	90	0,428	220,5	0,5	1,075
2	2 lampu	179	0,844	220,5	0,9	1,034
3	3 lampu	273	1,272	220,8	1,3	1,022
4	4 lampu	363	1,697	220,7	1,7	1,031
5	5 lampu	448	2,108	220,5	2,2	1,11
Average			1,2698	220,6	1,32	1,0544

Dari data diatas dapat ditentukan faktor pengali (K) untuk penyesuaian antara tegangan, arus dan daya yang terukur pada beban dengan tegangan, arus dan daya yang terukur pada *software*.

Untuk menentukan faktor pengali (K) tersebut didapatkan rumus antara lain :

1. Untuk menentukan faktor pengali tegangan
 $K = \text{Rata-Rata Tegangan Beban}(V_L) / \text{Tegangan max Sensor Tegangan}(V_{VT})$

$$V_L = 220 \text{ volt}$$

$V_{VT} = 2,2 \text{ volt}$ (nilai maksimal hasil sensor tegangan)

$$K = \frac{220}{2,2} = 100x$$

2. Untuk menentukan faktor pengali arus :

$K = \text{Max kemampuan arus} / \text{sensor terkecil}$

$$I_L = 4 \text{ Amper}$$

$$V_{CT} = 0,5 \text{ volt}$$

$$K = \frac{4}{0,5} = 8x$$

Menentukan Rumus Konversi Tegangan, Arus dan Beda Fase

1. Menentukan rumus konversi Tegangan dari *Hardware* ke *Software* :

Tegangan = (((Data ADC * Resolusi) ± Hasil Kalibrasi) * Faktor Pengali)

2. Menentukan rumus konversi arus dari *Hardware* ke *Software* :

Arus = (((Data ADC * Resolusi) ± Hasil Kalibrasi) * Faktor Pengali)

3. Menentukan rumus konversi Beda fase

Beda Fase = (Data *Timer Counter* * Resolusi) / 0,5 Periode T

Cuplikan Program Penghitung Energi dengan Program *Bascom AVR*

Memberi Delay 1 menit untuk tampilnya Energi :

Do

'Incr Delay_

If Delay_ >= 60 Then

Incr S

End If

Memulai mengambil data adc, mengatur posisi tulisan pada LCD :

Gosub Dataadc

Locate 1 , 1

LCD (Liquid Crystal Display)"V:" ; T11 ; "V"

Locate 1 , 12

LCD (Liquid Crystal Display)"I:" ; T22 ; "mA"

Locate 2 , 1

LCD (Liquid Crystal Display)"cos_p:" ; X ;

Locate 3 , 1

LCD (Liquid Crystal Display)"P : " ; P ; "W"

Untuk mendapatkan daya, mengalikan Tegangan dan Arus dan *Cos phi* dan untuk mendapatkan energi listrik dan mengatur letak energi pada LCD :

P=T11*T22

Wh = P * S

E = Wh / 60

E = E / 100

Locate 4 , 1

LCD (Liquid Crystal Display)"E : " ; E ; "wh"

Gosub Coss

Wait 1

Loop

End

Mengambil data Tegangan :

Dataadc:

Data_adc = Getadc(2)

T1 = Data_adc * Resolusi

T1 = T1 * 80

T1 = T1 / 1000

Mengambil data Arus :

Data_adc = Getadc(1)

T2 = Data_adc * Resolusi

T22 = T2 * 42

Return

Mengambil data $\cos \phi$:

Coss:

Start Timer0

Waitms 20

Stop Timer0

X = Counter0 / 10

Counter0 = 0

Return

**Analisa Alat Secara Keseluruhan
Pengujian Tegangan pada Alat
Tabel 4.7. Pengujian Tegangan**

No	Jenis Beban	Daya Beban	Tegangan Multi	Tegangan pada Alat	Error (Volt)	% Error
	Lampu Pijar (100W)	Watt	Volt	Volt		
1	lampu	90	220,4	221	0,600	0,2722
2	lampu	179	219,7	220,3	0,600	0,2730
3	lampu	273	219,7	220,4	0,700	0,3186
4	lampu	363	219,5	220,2	0,700	0,3189
5	lampu	448	219	220	1,000	0,4566
Error Average					0,720000	0,3278
Deviation Standard					0,164317	0,0755

Menentukan Error Tegangan :

$Error\ Tegangan\ (V)$

$= (Tegangan\ pd\ Alat - Tegangan\ pd\ Multimeter)$

$$Error\ Tegangan\ (V) = (221 - 220,4) = 0,6\ V$$

Selanjutnya kita mengambil modulus perbedaan. Jika perbedaannya negatif, jadikan dahulu positif, dan jika perbedaan positif, tetap nilai positif. Inilah yang dinamakan mengambil alat modulus. Hal ini dilakukan agar selalu mendapatkan perbedaan positif.

Menentukan % Error Tegangan :

$\% Error\ Tegangan$

$$= \frac{Error\ Tegangan}{Tegangan\ Multimeter} \cdot 100$$

$$\% Error\ Tegangan = \frac{0,6}{220,4} \cdot 100 = 0,2722\ \%$$

Dari data pada Tabel 4.7 didapatkan bahwa error pengukuran tegangan rata-rata adalah 0,72 atau dalam persentase 0,32 %.

Menentukan Standard Deviasi :

$$STD = \sqrt{\frac{(Data1 - Data\ Average)^2}{n - 1}}$$

$$= \sqrt{\frac{Penjumlahan\ Average\ Kuadrat}{n - 1}}$$

$$STD = \sqrt{\frac{(0,6 - 0,72)^2}{5 - 1}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,108}{4}} = \sqrt{0,27} = 0,164317$$

Sedangkan standar deviasi untuk pengukuran tegangan adalah 0,164 atau dalam persentase adalah 0,075 %.

**Pengujian Arus pada Alat
Tabel 4.8. Pengujian Arus**

No	Jenis Beban	Daya Beban	Arus pd Multi meter	Arus pada Alat	Error (Amper)	% Error
	Lampu Pijar (100W)	Watt	Amper	Amper		
1	lampu	90	0,367	0,315	0,052	14,16893
2	lampu	179	0,74	0,72	0,02	2,702702
3	lampu	273	1,178	1,111	0,067	5,687606
4	lampu	363	1,609	1,58	0,029	1,802361
5	lampu	448	2,03	1,975	0,055	2,709359
Error Average					0,0446	5,414193
Deviation Standard					0,0194	5,10965

Menentukan Error Arus :

$Error\ Arus\ (A)$

$= (Arus\ pd\ Alat - Arus\ pd\ Multimeter)$

$$Error\ Arus\ (A) = (0,72 - 0,74) = 0,02\ A$$

Menentukan % Error Arus :

$$\% Error\ Arus = \frac{Error\ Arus}{Arus\ Multimeter} \cdot 100$$

$$\% Error\ Arus = \frac{0,02}{0,74} \cdot 100 = 2,7027\ \%$$

Dari data diatas didapatkan bahwa error pengukuran arus rata-rata adalah 0,045 atau dalam persentase 5,41 %.

Menentukan Standard Deviasi :

$$STD = \sqrt{\frac{(Data2 - Data\ Average)^2}{n - 1}}$$

$$= \sqrt{\frac{Penjumlahan\ Average\ Kuadrat}{n - 1}}$$

$$STD = \sqrt{\frac{(0,02 - 0,0446)^2}{5 - 1}} = \sqrt{\frac{0,001513}{4}}$$

$$= \sqrt{0,000378} = 0,01945$$

Sedangkan *standard deviasi* untuk pengukuran arus adalah 0,194 atau dalam persentase adalah 5,10 %.

Pengujian Beda Fase pada Alat
Tabel 4.9. Pengujian Beda Fase

No	Jenis Beban	Da ya Be ban (P)	Arus Beban (I)	Te ga ng an Be ban (V)	Cos phi hitung	Cos phi Alat	Error Cos phi	% Error
1	1 lampu	90	0,428	220,5	0,953652489	0,953	0,00065	0,06842
2	2 lampu	179	0,844	220,5	0,961838132	0,955	0,00683	0,71094
3	3 lampu	273	1,272	220,8	0,972022833	0,942	0,03002	3,08869
4	4 lampu	363	1,697	220,7	0,969220184	0,923	0,04622	4,76880
5	5 lampu	448	2,108	220,5	0,963826391	0,992	0,02817	2,9231
Error Average							0,022381	2,31199
Deviation Standard							0,018534	1,91113

Menentukan Error Beda Fase :

$$\begin{aligned} \text{Error Beda Fase} &= (\text{Beda Fase pd Alat} - \text{Beda Fase Hitung}) \\ \text{Error Beda Fase} &= (0,942 - 0,972022833) \\ &= 0,03002 \end{aligned}$$

Menentukan % Error Beda Fase :

$$\begin{aligned} \% \text{ Error Beda Fase} &= \frac{\text{Error Beda Fase}}{\text{Beda Fase Hitung}} \cdot 100 \\ &= \frac{0,03002}{0,972022833} \cdot 100 = 3,08869 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Error Beda Fase} &= \frac{0,03002}{0,972022833} \cdot 100 = 3,08869 \% \end{aligned}$$

Dari data diatas didapatkan bahwa error pengukuran beda fase rata-rata adalah 0,022 atau dalam persentase 2,31 %.

Menentukan Standard Deviasi :

$$\begin{aligned} STD &= \sqrt{\frac{(\text{Data3} - \text{Data Average})^2}{n - 1}} \\ &= \sqrt{\frac{\text{Penjumlahan Average Kuadrat}}{n - 1}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} STD &= \sqrt{\frac{(0,03002 - 0,022381)^2}{5 - 1}} \\ &= \sqrt{\frac{0,001374}{4}} = \sqrt{0,000343} = 0,018534 \end{aligned}$$

Sedangkan *standar deviasi* untuk pengukuran beda fase adalah 0,018 atau dalam persentase adalah 1,91 %.

Pengujian Daya pada Alat
Tabel 4.10. Pengujian Daya

No	Jenis Beban	Daya WattM eter	Daya Alat	Error (Watt)	% Error
1	1 lampu	90	93,416	3,416	3,795555556
2	2 lampu	179	178,432	0,568	0,317318436
3	3 lampu	273	287,386	14,386	5,26959707
4	4 lampu	363	382,474	19,474	5,364738292
5	5 lampu	448	482,188	34,188	7,63125
Error Average				14,406400	4,475692
Deviation Standard				13,502619	2,69874

Menentukan Error Daya :

$$\begin{aligned} \text{Error Daya (W)} &= (\text{Daya pd Alat} - \text{Daya pd Watt Meter}) \\ \text{Error Daya (W)} &= (382,474 - 382,474) \\ &= 19,474 \text{ W} \end{aligned}$$

Menentukan % Error Daya :

$$\begin{aligned} \% \text{ Error Daya} &= \frac{\text{Error Daya}}{\text{Daya Watt Meter}} \cdot 100 \\ \% \text{ Error Arus} &= \frac{19,474}{382,474} \cdot 100 \\ &= 5,364738292 \% \end{aligned}$$

Dari data diatas didapatkan bahwa error pengukuran daya rata-rata adalah 14,40 atau dalam persentase 4,47 %.

Menentukan Standard Deviasi :

$$\begin{aligned} STD &= \sqrt{\frac{(\text{Data4} - \text{Data Average})^2}{n - 1}} \\ &= \sqrt{\frac{\text{Penjumlahan Average Kuadrat}}{n - 1}} \\ STD &= \sqrt{\frac{(19,474 - 14,406400)^2}{5 - 1}} \\ &= \sqrt{\frac{729,282891}{4}} = \sqrt{182,320723} = 13,502619 \end{aligned}$$

Sedangkan *standar deviasi* untuk pengukuran daya adalah 13,50 atau dalam persentase adalah 2,69 %.

Pengujian Energi pada Alat

Tabel 4.11. Pengujian Energi

Jam Ambil Data	P Alat (Watt)	I Alat (Amper)	V Alat (Volt)	Energi dalam Menit (Watt Menit)				
				1	2	3	4	5
8:00 - 8:05	93,416	0,332	221, 2	1,5 9	2,118	3,177	4,236	5,295
8:05 - 8:10	178,43 2	0,74	221, 3	2,5 9	4,118	7,177	9,236	12,8
8:10 - 8:15	287,38 6	1,178	221, 4	3,5 9	8,118	11,17 7	16,23 6	18,29 5
8:15 - 8:20	382,47 4	1,609	221, 2	4,5 9	10,11 8	14,17 7	18,23 6	29,35
8:20 - 8:25	482,18 8	2,03	221, 1	5,5 9	11,11 8	17,17 7	23,23 6	29,29 5

Dari data diatas dapat dilihat bahwa sudah terjadi penambahan jumlah pemakaian energi dalam selang waktu 5 menit selama pengujian dan hal ini menunjukkan bahwa alat yang penulis buat sudah dapat bekerja dengan baik untuk menghitung pemakaian energi listrik oleh beban yang terdeteksi.

Cara Pengoperasian Alat

Setelah melakukan beberapa kali percobaan, maka didapatkan cara untuk mengoperasikan alat yang baik adalah sbb :

1. Pastikan bahwa listrik berada dalam tegangan 220 V \pm 5% agar peralatan berfungsi stabil, jika berada tegangan tidak berada pada range yang sesuai, maka hasil pengukuran kurang akurat.
2. Hidupkan Alat, tunggu sampai LCD (*Liquid Crystal Display*) menunjukkan nilai yang stabil.
3. Jika sudah stabil, maka naikkan beban secara bertahap, untuk mendapatkan pengukuran yang akurat, tunggu sampai ± 2 menit pada setiap perubahan beban, jika sudah stabil, maka tambah beban berikutnya.
4. Jika ingin melakukan pengurangan beban, maka lakukan pengurangan beban secara bertahap, jika tidak ada perubahan, maka lakukan *reset manual*, sampai tegangan dan arus menunjukkan nilai 0. Jika sudah maka lakukan pengurangan beban secara bertahap.
5. Untuk keakuratan pengukuran, lakukan pengamatan selama 2 menit untuk setiap perubahan beban.
6. Jika sudah selesai, maka matikan alat dengan menekan saklar *Off* dan mencabut stop kontaknya.

Spesifikasi Alat

Adapun spesifikasi alat yang penulis buat adalah :

1. Tegangan Kerja : 220 volt \pm 5%.
2. Range Arus Pengukuran : 0 sampai dengan 4 Amper AC arus beban.
3. Beban Pengujian : Karena keterbatasan Perangkat Laboratorium baru dilakukan pada beban Resistans.
4. Tegangan, Arus, *Cos phi* dan Daya Listrik, ditampilkan secara *real time* pada LCD.
5. Energi Listrik ditampilkan perubahannya setiap 1 menit pada LCD.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Setelah penulis menyelesaikan perancangan dan pembuatan peralatan ini, maka dapat disimpulkan :

1. *Hardware* dan *Software* yang penulis rancang ini baru pada tahap untuk membuktikan bahwa ternyata sinyal-sinyal gelombang listrik dari sensor dapat diterima dan diolah oleh *Microcontroller* menggunakan bahasa pemrograman yang penulis pilih yaitu *Bascom AVR*. Sensor-sensor yang ada dapat menjadi perantara antara Tegangan Listrik 220 Volt AC dengan *Microcontroller* yang bertegangan 5 Volt DC. Perubahan pada bagian tegangan AC bisa dideteksi oleh *Microcontroller*.
2. Dari alat yang penulis buat ini, penulis dapat mensimulasikan proses perhitungan energi listrik yang dipakai oleh beban dalam waktu tertentu dan ditampilkan pada LCD (*Liquid Crystal Display*) berupa jumlah pemakaian energi listrik dalam satuan Watt Menit. Untuk pengukuran perubahan energi, menurut penulis sudah berfungsi dengan baik, karena berubahnya energi yang digunakan, untuk selang waktu yang ditentukan, sesuai dengan beban yang terpasang.

Saran

Setelah merampungkan alat dan tulisan ini, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang penulis rasakan dalam pembuatan dan perancangan peralatan ini. Namun penulis ingin menuliskan saran-saran yang dapat menjadi motivasi penulis dan pembaca tulisan ini, antara lain :

1. Agar pihak-pihak atau adik-adik tingkat yang ingin mengembangkan teknologi ini sebagai teknologi terapan dilapangan lebih memperhatikan aspek pengembangan dan mengadakan studi kelayakan apakah teknologi

dan alat ini dapat berfungsi dengan baik atau tidak pada kondisi sebenarnya dilapangan.

2. Penulis optimis bahwa apabila alat dan program yang penulis buat ini dapat dikembangkan lebih lanjut, akan dapat menjadi referensi bagi pihak-pihak yang ingin melaksanakan penelitian-penelitian lebih lanjut mengenai akuisisi data.

3. Alat yang penulis buat bisa digunakan pada pengukuran di laboratorium, kantor, industri, dll. Namun untuk aplikasi lebih lanjut perlu dilengkapi dengan sensor untuk mendeteksi beban, apakah beban R, C atau L.

4. *System* pengukuran energi listrik ini belum bekerja secara sempurna, hal ini dapat terlihat bahwa terkadang untuk perubahan pada beban masih menggunakan reset *Hardware* untuk mengembalikan ke posisi semula. Dan masih terlalu tingginya rentang perubahan pada setiap tampilan yang muncul pada *LCD (Liquid Crystal Display)*.

5. Waktu respon *LCD (Liquid Crystal Display)* yang masih terlalu lama untuk menampilkan nilai-nilai, sehingga terkesan respon dari *LCD (Liquid Crystal Display)* agak lambat, hal ini perlu pengembangan lebih lanjut.

6. Bagi mahasiswa Teknik Elektro kami mengajak bahwa ternyata banyak hal yang bisa kita lakukan untuk menyumbang pada proses kemajuan ilmu dan teknologi.

7. Sejalan dengan semakin meningkatkan akreditasi dari Teknik Elektro Unimus menjadi prediket B, maka hal ini dapat menjadi motivasi bagi insan Elektro Unimus untuk lebih banyak melakukan penelitian dan pengembangan dalam meningkatkan kualitas lulusan dari Unimus Semarang.

DAFTAR PUSTAKA

Agfianto Eko Putra, 2010; **Modul-1 : ATMega 16 dan Bascom AVR.**
<http://www.pombacont.com/pdf~54214caa8b1a58d5628b45e2>.

Ahwardz Fauzi , Madhawirawan, 2013; ***Trainer Microcontroller ATMega32 Sebagai Media Pembelajaran Kelas XI Program Keahlian Audio Video Di SMK Negeri 3 Yogyakarta.*** S1 Thesis, UNY, Yogyakarta.
<http://eprints.uny.ac.id/9966/>

Andi Setiono, Suharto, 2009; **Prototipe Aplikasi Kwh-Meter Digital Menggunakan Microcontroller ATMega8535 untuk Ruang Lingkup**

Kamar, Research Center for Physics - LIPI, complex PUSPIPTEK Tangerang, Indonesia.
www.fisika.lipi.go.id/in/?q=download/file/fid/399.

Data Sheet ATMega32

<http://www.atmel.com/images/doc2503.pdf>

Data Sheet HD74LS86

http://documentation.renesas.com/doc/products/logic/rej03d0422_hd74ls86.pdf

Data Sheet LM324

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm324k.pdf>

Freddy Kurniawan, 2011; **Analisis Ketepatan Pengukur Nilai Tegangan dan Arus Jala-Jala Listrik Berbasis Microcontroller ATMega 8535**, Yogyakarta, STT Adi Sutjipto.

<http://stta.name/lp3m/tampil.php?id=150>

Gerbang-Logika-X-Or-Exclusive-Or

(<http://www.robotics-university.com/2013/01/gerbang-logika-x-or-exclusive-or.html>)

Hery Kuswanto, 2010; **Alat Ukur Listrik AC (Arus, Tegangan, Daya) Dengan Port Paralel**, Surakarta, DIII Ilmu Komputer, FMIPA, Universitas Sebelas Maret.

<http://eprints.uns.ac.id/6352/1/159282408201002231.pdf>

L. Umanand & S.R. Bhat, 1992; **Design of Magnetic Component for Switch Mode Power Converter.**

Jumrianto, 2003; **Proyek Akhir : Perancangan dan Pembuatan Kwh-Meter Digital Berbasis Komputer PC**, Pekanbaru, Teknik Elektro, Universitas Riau.

Rea Gusti Hermawan, 2013; **Skripsi : Alat Ukur Daya Listrik dan Faktor Daya dengan Tampilan Digital**, Salatiga, Teknik Elektro, UKSW.
<http://repository.library.uksw.edu/handle/123456789/4616>

Sholeh.M, Sgr.Bambang, 1997; **Pengoperasian Alat Ukur Listrik**

Tantrapraja Ardikusuma, 2011; **Perbaikan Faktor Daya Untuk Beban Rumah Tangga Secara Otomatis, D4 Elektro Industri, PENS ITS.**

<http://www2.eepis-its.edu/id/ta/1680/Perbaikan-Faktor-Daya-Untuk-Beban-Rumah-Tangga-Secara-Otomatis>

Theraja.BL, Theraja.AK, 1999; **A Text Book Of Electrical Technology.** S. Chand and Company Ltd, Ram Nagar, New Delhi

Wikipedia, 2015; **Kilowatt_jam**
(http://id.wikipedia.org/wiki/Kilowatt_jam)

