

Perancangan dan Simulasi Energi Meter Digital Satu Phasa Menggunakan Sensor Arus ACS712

Husnawati¹, Rossi Passarella², Sutarno³, Rendyansyah⁴

Abstract— The energy meter is a measuring instrument for measuring and knowing the power of used electrical energy on the load/electrical equipment connected over given time. Digital energy meter is currently in Indonesia is growing very rapidly, the researchers conducted a study to develop a system that can calculate the power and cost. This paper describes a design and simulation of digital energy meter using current sensor ACS712. The motivation of this study is based on the service charging Hand - Phone (HP) in places such as restaurants. HP charging a fee is charged by the absence of clear standards. With this equipment, the cost of charging can be set based on power consumption, as well as the physical form of portable, in addition to the cost per - KWH can be inserted. In the implementation of this research, several steps must be passed, one of which is the initial stage, which emphasizes the conceptual design of the algorithms and hardware. The results of this initial phase are test simulation algorithm that shows the average value of error is less than 1 % , this means that the algorithm can work well and can be used for the next step (development).

Intisari— Energi meter adalah alat ukur untuk mengukur dan mengetahui kekuatan energi listrik yang digunakan pada beban / peralatan listrik yang terhubung melalui waktu yang diberikan. Energi meter digital saat ini di Indonesia berkembang sangat pesat, peneliti melakukan penelitian untuk mengembangkan sistem yang dapat menghitung daya dan biaya. Makalah ini menjelaskan desain dan simulasi energi meter digital menggunakan sensor arus ACS712 . Adapun motivasi penelitian ini didasarkan pada layanan pengisian Hand-Phone (HP) di tempat-tempat transit perjalanan seperti restoran. Biaya pengisian HP dikenakan dengan tidak adanya standar yang jelas. Dengan peralatan ini, biaya pengisian dapat diatur berdasarkan konsumsi tenaga listrik, serta bentuk fisiknya yang portable, selain itu biaya per – KWH dapat dimasukkan. Pada pelaksanaan penelitian ini ada beberapa tahapan yang harus dilalui, salah satunya adalah Tahap awal, yang menekankan pada desain konseptual dari algoritma dan perangkat keras. Hasil dari tahap awal ini berupa tes simulasi algoritma yang menunjukkan nilai rata-rata error kurang dari 1 %, hal ini berarti algoritma dapat bekerja dengan baik serta dapat digunakan untuk langkah berikutnya (pengembangan).

Kata Kunci— Energy meter digital, Sensor arus ACS712, Daya, Biaya, Simulasi.

I. PENDAHULUAN

Di Indonesia yang berwenang untuk menyediakan energi listrik adalah Perusahaan Listrik Negara (PLN). PLN merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang

¹Mahasiswa tingkat akhir pada jurusan sistem komputer, Fakultas ilmu komputer, Universitas Sriwijaya e-mail: thy_sha05@yahoo.com)

^{2,3,4}Dosen jurusan sistem komputer Fakultas ilmu komputer, Universitas Sriwijaya Jln. Raya Palembang prabumulih Km 32 Palembang INDONESIA (telp: 0711-7072729; fax: 0711-581710; e-mail: passarella.rossi@gmail.com)

berfungsi memberikan pelayanan kepada masyarakat dan juga mencari keuntungan sehingga tidak membebani keuangan Negara [1]. Untuk mendapatkan nilai konversi besaran energi listrik yang digunakan oleh masyarakat menjadi besaran nilai dapat diperhitungkan dibutuhkan sebuah alat yang disebut dengan KWH (*Kilo-Watt-Hour*) meter[2]-[3].

KWH meter / energi meter merupakan alat ukur untuk menghitung dan mengetahui daya energi listrik yang terpakai pada beban/peralatan listrik yang terhubung selama waktu tertentu [4] . Pada perkembangannya, perancangan energi meter ini telah mengalami kemajuan yang pesat, terutama pada teknologi energi meter digital [5]-[10]. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Fondra Dwi [11] berupa sistem pemantauan konsumsi energi listrik berdasarkan metode pengukuran arus dengan mikrokontroler sebagai pengolah nilai arus untuk mendapatkan pemakaian daya menggunakan software Borland Delphi 7.

Sistem ini akan mengirimkan data hasil olahan tersebut secara serial ke database *Microsoft Access* 2003 untuk menyimpan dan hanya menampilkan nilai daya yang terpakai.

Sedangkan dalam penelitian ini akan dirancang suatu sistem energi meter digital yang telah diembedkan algoritma untuk mendeteksi arus, tegangan dan menghitung daya, selanjutnya akan dikonversikan kedalam besaran Rupiah. Dengan kata lain alat ini dirancang untuk mengetahui biaya pemakaian suatu alat elektronik sehingga akan diketahui beban pemakaian dan nilai rupiahnya.

Adapun motivasi perancangan alat ini didasarkan adanya jasa *charging Hand-Phone* (HP) ditempat-tempat transit perjalanan seperti di rumah makan. Adapun Biaya *charging* yang dikenakan bervariasi tanpa adanya standar yang jelas. Dengan adanya alat ini, biaya *charging* dapat ditetapkan berdasarkan pemakaian daya listrik. Alat ini akan bersifat *portable* (mudah dibawa kemana-mana) serta dapat diatur besaran biaya per-KWHnya.

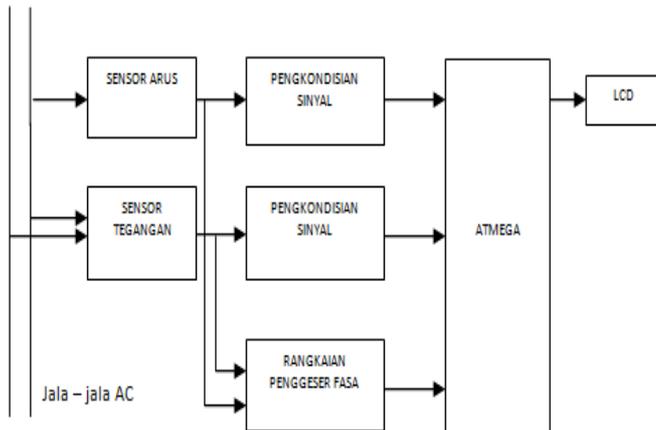
Tahapan awal penelitian ini menekankan pada konsep desain algoritma dan perangkat keras, yang selanjutnya akan disimulasi untuk validasi sistem menggunakan software *Proteus*.

II. ENERGI METER DIGITAL

Pinsip kerja dari energi meter digital adalah diawali dengan mendeteksi arus melalui sensor dan tegangan yang berasal dari jala - jala listrik, selanjutnya sinyal keluaran dari sensor arus dan tegangan tersebut akan dikondisikan sehingga membentuk beda fasa melalui rangkaian *XOR*, kemudian sinyal inputan tersebut akan berubah menjadi tegangan DC, dilanjutkan masuk ke ADC mikrokontroler untuk dikonversi menjadi sinyal digital. Sinyal digital tersebut lalu diproses oleh mikrokontroler dan ditampilkan ke LCD berupa total daya energi listrik beserta nilai konversinya dalam rupiah.

KWH meter digital ini dirancang dengan metode perkalian yang dihasilkan dari pembacaan arus beban oleh sensor arus

dan pembacaan tegangan melalui sensor tegangan atau transformator. Disamping itu alat ini juga memperhitungkan faktor daya beban yang diperoleh dengan mencari selisih atau pergeseran fasa antara sinyal arus dan tegangan yang dihasilkan oleh sensor tersebut. Sehingga untuk proses pengolahan sinyal terdapat tiga parameter sinyal, yakni sinyal arus, sinyal tegangan, dan beda fasa kedua sinyal tersebut. Rangkaian ketiga parameter sinyal tersebut dapat dilihat pada diagram blok yang ditunjukkan pada Gbr 1.



Gbr 1. Digram Blok KWH meter digital

Pada rangkaian KWH meter terdapat sensor arus dan sensor tegangan. Sensor arus memiliki sirkuit sambungan di dalam meter dan bagian dari elemen ukur yang dialiri arus yang berasal dari saluran yang tersambung ke meter. Sedangkan sensor tegangan adalah sebuah transformator yang mampu menurunkan tegangan sesuai dengan kebutuhan ADC, sensor tegangan juga merupakan bagian dari elemen ukur dan catu daya untuk meter.

A. KWH Meter

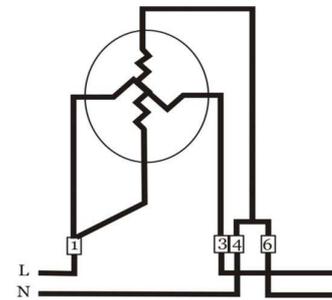
Pada meteran digital digunakan banyaknya impuls yang terindikasi pada lampu led untuk menghitung besarnya daya yang terpakai pada beban. Jumlah impuls yang biasa digunakan pada meter satu fasa adalah 900 putaran/KWH atau 900 kedipan pada lampu LED yang terhubung sebagai indikator. Kecepatan putaran dasar atau banyaknya kedipan lampu LED dinyatakan dalam putaran per menit pada waktu meter berada dalam kondisi acuan dan dialiri arus dasar.

Arus dasar merupakan nilai arus yang dijadikan dasar untuk menetapkan unjuk kerja meter (I_d). Sedangkan batas maksimum arus merupakan nilai arus tertinggi yang diizinkan mengalir secara kontinu dan persyaratan ketelitian masih terpenuhi (I_m). Pada metode ini digunakan konstanta meter yang menyatakan hubungan antara energi yang dihitung oleh meter dengan jumlah putaran piringannya (nyala lampu LED). Konstanta meter tersebut dinyatakan dalam jumlah putaran/KWH atau jumlah kedip/KWH.

B. Meter Satu Fasa

Meter statik energi aktif dapat dioperasikan dan dikendalikan untuk mengalirkan energi listrik sesuai dengan sistem pembayaran yang disepakati antara PLN dan pelanggan, umumnya digunakan pada meter Prabayar. Meter statik energi aktif merupakan meter yang arus dan tegangannya menimbulkan suatu proses pada elemen – elemen elektronik, untuk menghasilkan frekuensi pulsa keluaran yang proporsional dengan besaran energi aktif yang diukur.

Meter energi untuk kebutuhan rumah tangga merupakan meter statik fase tunggal terkoneksi langsung (*direct connected meter*) dengan cara pengawatan dua kawat. Meter harus mempunyai kemampuan mendeteksi dan mengukur energi dan daya listrik secara total dari dua arah (*forward* dan *reverse*). Acuan untuk perhitungan pemakaian KWH menggunakan nilai arus terbesar dari hasil pengukuran sensor arus pada fase (L) dan netral (N) yang dapat dilihat pada Gbr 2.



Gbr 2. Pengkawatan pada Meter Satu Fasa

C. Daya

Berdasarkan hukum Ohm, untuk mencari daya maka diperlukan :

$$P = V \times I \quad (1)$$

Sehingga untuk mencari nilai energi aktif:

$$W_a = V \times I \times \cos \theta \times t \quad (2)$$

$$W_a = P \times t \quad (3)$$

Dimana :
 P = Daya (Watt)
 V = Tegangan (Volt)
 I = Arus (Ampere)
 W_a = Energi Aktif (Watt-Hour)
 t = Waktu (Jam)

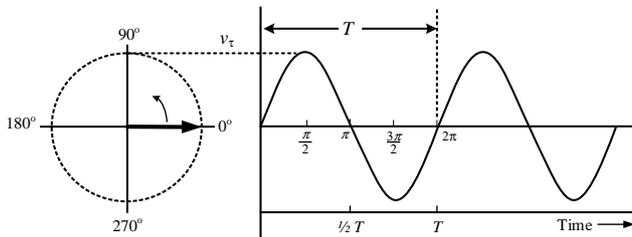
D. Faktor Daya

Perancangan alat penentu faktor daya dilakukan dengan mengubah arus dan tegangan yang awalnya berupa gelombang sinusoida menjadi pulsa. Pulsa merupakan gelombang yang berfungsi sebagai pembentuk sinyal – sinyal digital yang berupa 1 dan 0. Sedangkan gelombang sinusoida adalah

gelombang bolak – balik, dimana pada gelombang tersebut berlaku rumus dalam persamaan (4):

$$v(t) = V_m \sin \omega t \tag{4}$$

Grafik dari gelombang sinus akan ditunjukkan pada Gbr 3. [12]:



Gbr 3. Gelombang Sinusoida

Amplitudo pada gelombang – gelombang sinusoida merupakan V_m . Frekuensi radian atau frekuensi sudut adalah ω . Dalam Gbr 3. $v(t) = V_m \sin \omega t$ diatas digambarkan sebagai fungsi ωt . Fungsi tersebut berulang setiap 2π radian. Sedangkan jika $V_m \sin \omega t$ merupakan fungsi dari t dan periodenya adalah T , periode tersebut dapat dinyatakan di dalam derajat. Sebuah gelombang sinus yang mempunyai periode T harus melakukan $1/T$ hertz. Satu hertz identik dengan 1 cycle per detik. Maka berlaku rumus seperti yang ditunjukkan pada persamaan (5).

$$f = \frac{1}{T} \tag{5}$$

Ada 2π radian (360°) pada 1 cycle, sehingga berlaku hubungan antara frekuensi dan frekuensi radian yang dapat dilihat pada persamaan (6).

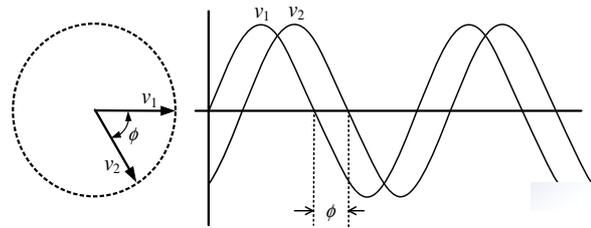
$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \tag{6}$$

Bentuk yang lebih umum dari persamaan (6) dapat dilihat pada persamaan (7).

$$V_m \sin (\omega t + \theta) \tag{7}$$

Dimana sebuah sudut fasa θ merupakan $(\omega t + \theta)$.

Jika tegangan dan arus kedua – duanya merupakan fungsi sinusoida waktu, plot dari keduanya terhadap skala waktu akan menunjukkan pergeseran diantara keduanya kecuali dalam hal resistansi murni. Pergeseran ini merupakan sudut fasa dan besarnya tidak lebih dari 90° atau $\pi/2$ radian. Sudut fasa antara arus dan tegangan ini selalu digambarkan sebagai bagaimana arus i terhadap v seperti yang dapat dilihat pada Gbr 4. [12].

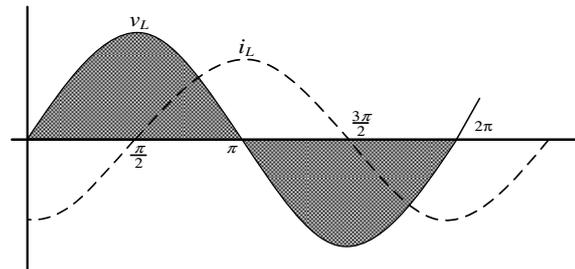


Gbr 4. Sudut Fasa dari Gelombang Sinus

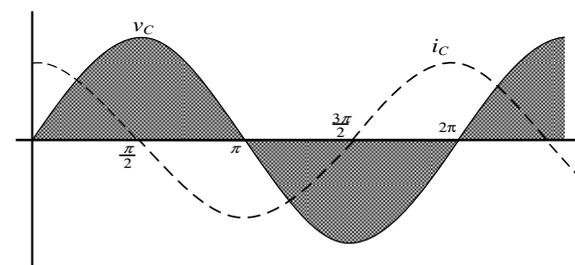
Perbedaan gelombang yang ditunjukkan pada Gbr 4 akan menghasilkan sudut fasa, dimana sudut fasa dari gelombang sinus tersebut merupakan perputaran vektor dengan θ radian *counter clockwise* dari 0 (horizontal) pada waktu $t = 0$. Ketika amplitudo puncak, V_p , frekuensi, f , dan sudut fasa dari gelombang sinus diberikan, nilai pada waktu t dapat dihitung pada persamaan (8).

$$v(t) = V_p \sin (\omega t - \theta) \tag{8}$$

Kondisi sinyal antara arus dan tegangan biasa disebut dengan istilah *lagging* (tertinggal) seperti yang terlihat pada Gbr 5, dan *leading* (mendahului) seperti pada Gbr 6. Gelombang sinusoida berbeda fasa apabila arus mendahului atau tertinggal. Jika antara arus dan tegangan tidak terdapat perbedaan dalam sudut phasanya berarti rangkaian tersebut adalah sephasa.



Gbr 5. Lagging



Gbr 6. Leading

Faktor daya dari suatu rangkaian adalah $\cos \theta$, atau perbandingan dari daya rata –rata terhadap daya nyata yang dapat dilihat pada persamaan (9). θ juga dinamakan sudut faktor daya, dimana sudut ini hanya untuk mengetahui kondisi mendahului atau tertinggalnya tegangan terhadap arus.

$$PF = \frac{P}{S} \tag{9}$$

Keterangan :

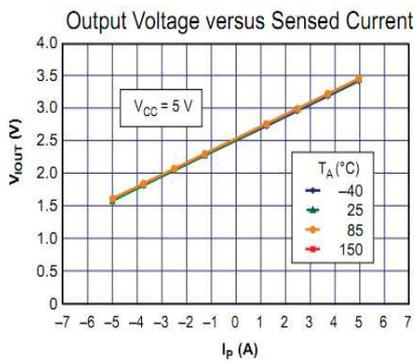
PF = Power Factor (Faktor Daya)

P = Daya rata - rata = VI cos θ

S = Daya nyata = VI

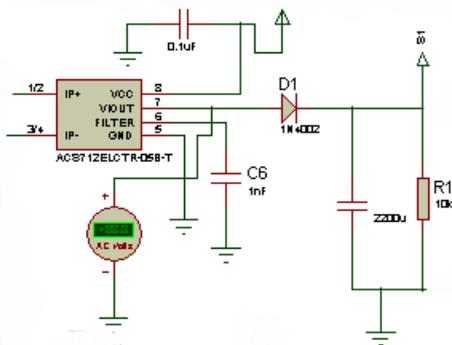
E. Faktor Daya

Sensor ACS712 *Low Current Sensor Breakout* ini yang merupakan produk dari *Allegro* mempunyai tingkat pengukuran arus dari rentang mili hingga 5 ampere, dan telah dilengkapi dengan penguat sehingga memudahkan pengguna untuk mengukur arus. Keluaran ACS712 *Low Current Sensor Breakout* terhadap arus yang disensor dapat dilihat pada Gbr 7. [13].



Gbr 7. Keluaran ACS712 *Low Current Sensor Breakout* terhadap Arus yang Diukur oleh Sensor.

Dalam penelitian energi meter digital yang akan dibuat ini, akan dirangkai menggunakan sebuah sensor arus ACS712 dengan rangkaian tambahan berupa dioda, kapasitor, dan resistor sebagai penyearah yang dapat berfungsi agar pembacaan arus dapat menjangkau mili ampere. Adapun rangkaian rangkaian tersebut dapat dilihat pada Gbr 8.



Gbr 8. Rangkaian Sensor Arus dan Penyearah Gelombang

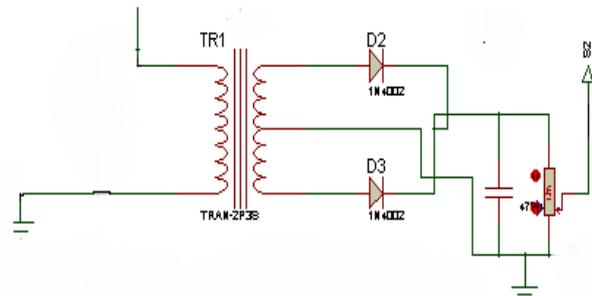
F. Rangkaian Sensor Tegangan

Selain menggunakan sensor arus, pengukuran juga menggunakan transformator tegangan. Transformator tegangan digunakan untuk mengukur tegangan. Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan

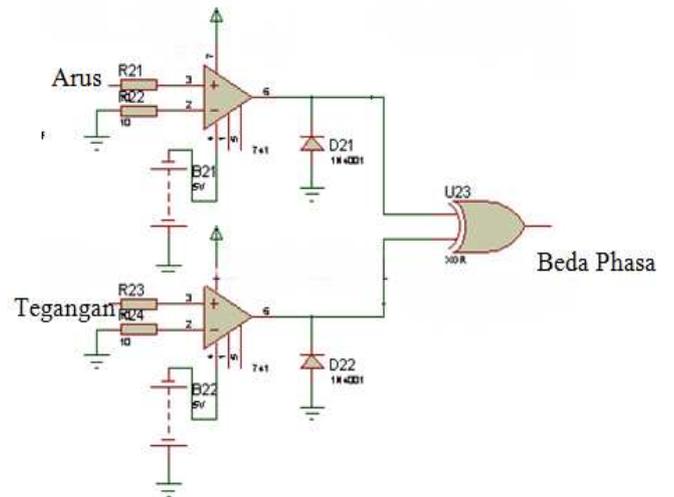
mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet [12].

Dalam penelitian yang dilakukan oleh [3], rangkaian yang digunakan menggunakan sensor arus ACS712T ELC 05B dengan *transformator step down* sebagai komponen utama dalam pembuatan KWH meter. Dalam pengujiannya, ia mengambil beberapa sampel beban dengan pertambahan besar daya 100 W yang dilakukan sebanyak 5 kali percobaan.

Transformator yang digunakan pada rangkaian ini adalah transformer step-down 2 Ampere, dari transformator tegangan, nilai tegangan 220 volt akan disearahkan dengan penyearah gelombang penuh untuk menghasilkan tegangan DC murni yang kompatibel terhadap tegangan yang dibutuhkan oleh ADC. Sehingga rangkaian tersebut dapat dilihat pada Gbr 9.



Gbr 9. Sensor Tegangan dan Penyearah Gelombang



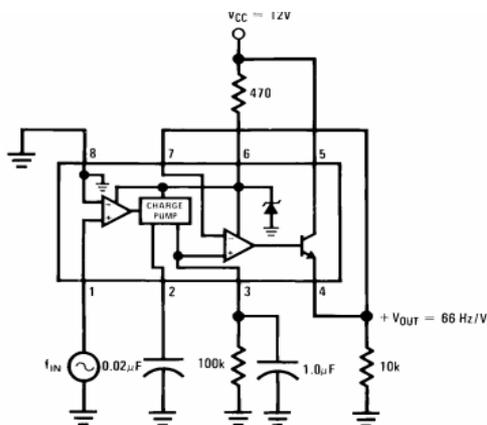
Gbr 10. Rangkaian Pembentuk Beda Fasa

G. Rangkaian Pengkondisi Sinyal Pembentuk Beda Fasa

Untuk membuat sinyal sinusoidal keluaran dari sensor arus dan tegangan menjadi sinyal persegi, maka dibuatlah rangkaian pengkondisi sinyal dengan rangkaian blok yang terhubung dengan gerbang XOR, terbentuknya sinyal persegi akan mempermudah untuk menentukan beda fasa. Pembentukan sinyal persegi dilakukan dengan metode *Zero Crossing Detector*, rangkaian tersebut dapat dilihat pada Gbr

10, yang merupakan rangkaian pengkondisi sinyal keluaran dari sensor arus dan tegangan (transformator), rangkaian tersebut akan menghasilkan salah satu faktor yang berperan penting dalam perhitungan daya, yakni faktor daya. Sinyal yang dihasilkan oleh sensor akan langsung dilewatkan pada rangkaian *Zero Crossing Detector*, sebelum masuk ke rangkaian pengkondisi sinyal masing - masing.

Dioda pada rangkaian berfungsi untuk memotong tegangan dibawah sumbu nol agar dapat diproses melalui gerbang *XOR* yang akan menghasilkan selisih kedua pulsa masukan, dan membentuk perbedaan fasa antara arus dan tegangan. Besarnya daya yang diserap oleh beban akan ditentukan dengan menggunakan tiga parameter utama yaitu, arus, tegangan, dan faktor daya. Sinyal yang dibutuhkan oleh ADC dari ketiga faktor pembentuk daya tersebut adalah tegangan DC, untuk itu pulsa dari beda fasa akan diubah menjadi tegangan konvensional. Tegangan dari frekuensi gelombang kotak tersebut akan diubah dengan menggunakan konverter frekuensi ke tegangan, rangkaian frekuensi ke tegangan akan diimplementasikan dengan IC 2917 seperti ditunjukkan pada Gbr 11. [14].



Gbr 11. Rangkaian Konverter Frekuensi ke Tegangan

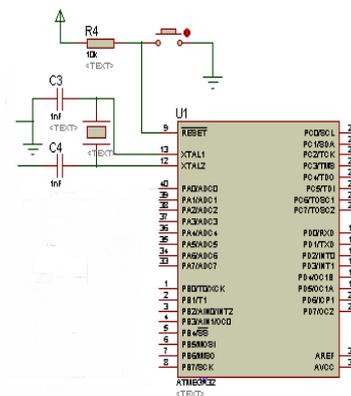
LM2917 adalah IC single chip konverter fasa ke tegangan atau sering disebut rangkaian tachogenerator statis yang didesain dengan pemakaian komponen eksternal seminimal mungkin namun dapat menghasilkan tegangan keluaran yang optimal [15].

Tachogenerator statis mengambil pulsa dari pembangkit frekuensi masukan melalui komparator pertama. Input inverting pada komparator pertama dihubungkan dengan ground melalui sebuah kapasitor seri dan masukan non inverting mendapat masukan sinyal gelombang kotak. Dengan rangkaian yang demikian maka komparator pertama ini berfungsi sebagai detektor penyalang nol (*zero crossing detector*) yang membandingkan gelombang persegi pada input non inverting dengan acuan tegangan nol volt pada masukan inverting. Keluaran dari komparator pertama ini diumpangkan pada charge pump yang berfungsi mengubah frekuensi menjadi tegangan pada saat sinyal input berubah keadaan.

H. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah salah satu dari bagian dasar dari suatu sistem komputer. Meskipun mempunyai bentuk yang jauh lebih kecil dari suatu komputer pribadi dan komputer *mainframe*, mikrokontroler dibangun dari elemen-elemen dasar yang sama [16]. Seperti umumnya komputer, mikrokontroler adalah alat yang mengerjakan instruksi-instruksi (program) yang diberikan kepadanya. Program ini menginstruksikan komputer untuk melakukan jalinan yang panjang dari aksi-aksi sederhana untuk melakukan tugas yang lebih kompleks [17].

Salah satu tipe mikrokontroler yang memiliki fitur memuaskan adalah ATmega 32. Mikrokontroler ini telah banyak digunakan pada penelitian robot bergerak otonom dengan alasan *downloader* yang mudah dibuat dan digunakan, serta ukuran *flash memory* yang lumayan besar, yakni 32 KB. Karena kelebihan yang dimilikinya, maka mikrokontroler ATmega 32 dipilih sebagai unit pemrosesan utama yang akan digunakan pada penelitian ini dan untuk mengetahui susunan standar pin dari ATmega 32 beserta sistem minimumnya dapat dilihat pada Gbr 12.

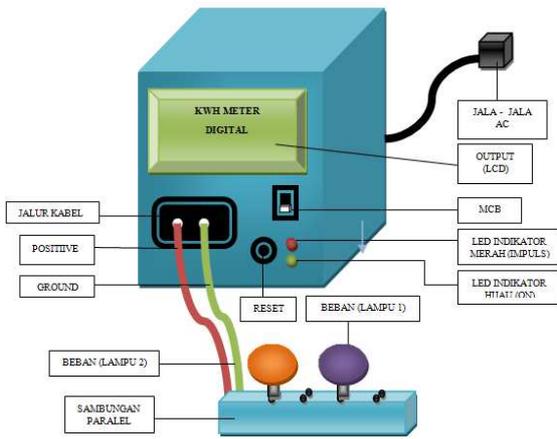


Gbr 12. Susunan Standar ATmega 32 dan Sistem minimumnya

Untuk merancang sistem minimum sebuah mikrokontroler dibutuhkan beberapa komponen tambahan untuk membuat mikrokontroler tersebut menjadi terintegrasi. Komponen yang dibutuhkan dalam aplikasi rangkaian sistem minimum tersebut yaitu rangkaian pembangkit frekuensi kerja mikrokontroler yang diaplikasikan dengan kristal 8 MHz. Sebuah system reset yang aktif tinggi untuk memulai siklus kerja baru pada setiap perubahan interuksi kerja mikrokontroler.

III. DESIGN KWH METER

Sebuah perancangan perangkat keras merupakan hal yang fundamental yang harus dilakukan sebelum mengimplementasikan program yang akan dibuat pada sistem. Perangkat keras yang akan dirancang pada KWH meter digital ini meliputi perancangan sistem dan perancangan *design*. Bentuk dari KWH meter digital yang akan dibuat pada penelitian ini dapat dilihat pada Gbr 13.



Gbr 13. Rancangan KWH Meter Digital

Rancangan KWH meter digital seperti yang ditunjukkan pada Gbr 14 tersebut merupakan rancangan luar dari sistem yang digunakan pada KWH meter. Pada perancangan tersebut akan dibuat sebuah kotak yang digunakan sebagai penutup rangkaian pada sistem. Kotak akan dibuat dengan menggunakan kaca plastik (mika), kemudian terdapat LCD yang akan menampilkan output, LED yang berfungsi sebagai indikator, LED merah akan menghitung nilai impuls, sedangkan LED hijau akan berfungsi untuk mengindikasikan apakah alat siap digunakan. Kemudian terdapat tombol reset, serta MCB (*Mini Circuit Breaker*) yang berfungsi sebagai pemutus arus apabila terjadi *overload*. Sebagai input digunakan beban 2 buah lampu dengan sambungan parallel yang terhubung pada jala – jala AC.

A. Perancangan Energi Meter

Pengukuran daya yang terpakai oleh beban harus terlebih dahulu dilakukan untuk dapat menampilkan berapa jumlah tagihan biaya yang harus dibayar oleh konsumen terhadap pemakaian jumlah energi listrik. Tegangan yang diukur dari jala – jala listrik yang terpasang pada beban akan masuk ke sensor tegangan atau transformator, kemudian dilakukan pengukuran arus dengan menggunakan sensor ACS712, maka akan didapatkan daya yang terukur. Kemudian tegangan dan arus yang dihasilkan pada rangkaian akan dikalikan $\cos \theta$ terukur. Daya yang terukur dari hasil pengukuran tegangan, arus, dan $\cos \theta$ yang didapatkan dimasukkan ke rangkaian pengali, maka akan dihasilkan daya aktif yang terukur pada beban dalam satuan Watt.

Untuk dapat menghitung jumlah pemakaian energi listrik yang digunakan, maka data hasil pengukuran nilai daya tersebut diubah dalam bentuk data frekuensi dengan menggunakan *Voltage to Frekuensi Converter*. Sehingga menghasilkan keluaran yang berupa jumlah pulsa yang nilainya sebanding dengan jumlah energi yang terpakai tiap detik. Karena yang diinginkan adalah jumlah energi yang terpakai tiap jam (*Watt – Hour*), maka data frekuensi yang dihasilkan diubah ke dalam (*Watt – Hour*) dengan rangkaian impuls, dimana perhitungan nilai impuls 900 kedip sama dengan 1KWH, sehingga nantinya akan dihasilkan jumlah

pulsa keluaran yang nilainya sebanding dengan nilai jumlah pemakaian energi dalam 1 jam pada keluaran rangkaian pembagi tersebut.

Untuk menampilkan atau memberikan informasi nilai rupiah biaya tagihan yang harus dibayarkan terhadap pemakaian jumlah energi listrik secara digital, maka harus diinputkan data – data biaya per KWH. Data – data tersebut kemudian akan dikalikan dengan pulsa – pulsa keluaran sebagai data Watt-Hour yang dihasilkan pada gambar blok diagram diatas, sehingga akan dihasilkan jumlah pulsa keluaran yang dijadikan sebagai data tagihan biaya pemakaian jumlah energi listrik.

Di dalam tarif dasar listrik dalam dalam pemakaian rumah tangga berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral nomor 07 tahun 2010 tentang tarif tenaga listrik yang disediakan oleh perusahaan perseroan PT PLN maka didapatkan tarif dasar seperti pada Tabel I.

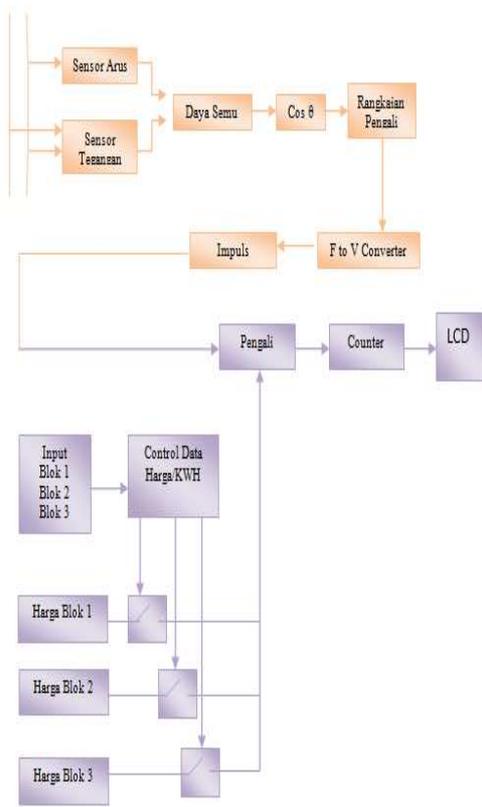
TABEL I
TARIF DASAR LISTRIK UNTUK KEPERLUAN RUMAH TANGGA

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh)	
1.	R-1/TR	450 VA	11.000	Blok I : 0 s.d. 30 kWh : 169 Blok II : di atas 30 kWh s.d. 60 kWh : 360 Blok III : di atas 60 kWh : 495	415
2.	R-1/TR	900 VA	20.000	Blok I : 0 s.d. 20 kWh : 275 Blok II : di atas 20 kWh s.d. 60 kWh : 445 Blok III : di atas 60 kWh : 495	605
3.	R-1/TR	1.300 VA	*)	790	790
4.	R-1/TR	2.200 VA	*)	795	795
5.	R-2/TR	3.500 s.d. 5.500 VA	*)	890	890
6.	R-3/TR	6.600 VA ke atas	**)	Blok I : H1 x 890 Blok II : H2 x 1.380	1.330

Catatan :
 *) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
 RM1 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian.
 **) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
 RM2 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian Blok I.
 Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.
 H1 : Persentase batas hemat terhadap jam nyala rata-rata nasional x daya tersambung (kVA).
 H2 : Pemakaian listrik (kWh) - H1.
 Besar persentase batas hemat dan jam nyala rata-rata nasional ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara dengan persetujuan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral.

Dari tabel I maka akan digunakan batas daya untuk keperluan rumah tangga sebesar 450 VA dengan biaya pemakaian masing – masing blok memiliki tarif yang berbeda. Untuk blok 1 dengan daya yang digunakan 0-30 KWH adalah Rp.169,00, untuk blok 2 dengan daya 30-60 KWH adalah Rp.360,00, sedangkan untuk blok 3 dengan daya pemakaian diatas 60 KWH biayanya adalah Rp.495,00. Data – data harga ini dapat berubah sesuai dengan yang dikehendaki. Hal ini memungkinkan terjadi apabila di kemudian hari terjadi perubahan biaya tagihan jumlah pemakaian energi listrik ataupun data harga akan diubah dengan batas daya diatas 450 VA.

Dari perbedaan tarif pada blok – blok tersebut, maka diperlukan suatu kontrol data harga per KWH. Dari pembacaan KWH maka dapat ditentukan harga per KWH blok mana yang akan dikirimkan ke rangkaian pengali untuk dikalikan dengan jumlah pulsa dari data – data Watt-Hour. Untuk blok diagram keseluruhan, maka dapat dilihat pada Gbr 14.



Gbr 14. Diagram Blok Keseluruhan pada KWH Meter

B. Perancangan Perangkat Lunak

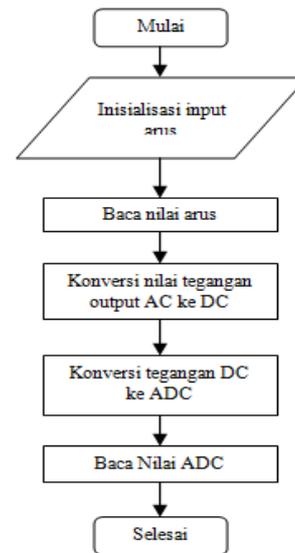
Perancangan perangkat lunak memegang peranan yang sangat penting dalam hal perhitungan dan pengolahan matematis dari keseluruhan program. Perancangan perangkat lunak ini terdiri dari algoritma pembacaan nilai sensor arus, algoritma pembacaan nilai sensor tegangan, algoritma perhitungan nilai impuls. Masing – masing perancangan perangkat lunak selanjutnya akan diuraikan sebagai berikut.

1. Algoritma Pembacaan Nilai Sensor Arus

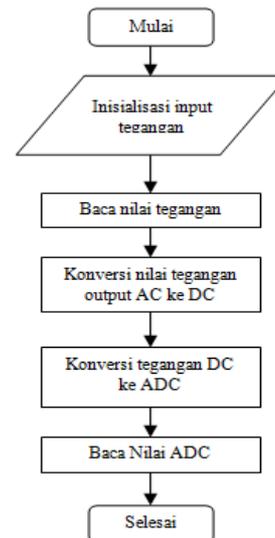
Rangkaian sensor arus dengan penyearah gelombang akan menghasilkan nilai ADC sebagai nilai kalibrasi sensor, yang nantinya akan membentuk sebuah persamaan dalam pembacaan sensor arus. Pembacaan nilai ADC pada sensor arus akan diuraikan pada flowchart seperti yang ditunjukkan pada Gbr 15.

2. Algoritma Pembacaan Nilai Sensor Tegangan

Rangkaian sensor tegangan atau transformator seperti yang telah dijelaskan pada tinjauan pustaka mengenai rangkaian transformator yang digunakan akan menghasilkan nilai ADC sebagai nilai kalibrasi, nilai tegangan yang terbaca dapat membentuk sebuah persamaan dalam pembacaan sensor tegangan. Pembacaan nilai ADC pada sensor tegangan akan diuraikan pada flowchart seperti yang ditunjukkan pada Gbr 16.



Gbr 15. Flowchart Pembacaan Nilai Sensor Arus



Gbr 16. Flowchart Pembacaan Nilai Sensor Tegangan

3. Algoritma Perhitungan Nilai Impuls

Untuk menentukan perancangan algoritma perhitungan nilai impuls, maka dilakukan percobaan dengan menggunakan 4 buah lampu yang masing – masing memiliki nilai 65 watt, dimana setiap penambahan beban satu lampu akan dihitung waktu kedip LED per 9 kali kedip, impuls yang digunakan pada kwh meter ini adalah 900 kedip per kwh, sehingga untuk mempersingkat waktu percobaan 9 kedip akan dianggap naik per 1 kwh, untuk hasil percobaan tersebut dapat dilihat pada TABEL II.

TABEL II
HASIL PERCOBAAN PERHITUNGAN NILAI IMPULS

Daya (watt)	Daya (KW)	Kedip	Waktu	Waktu per-kedip
65	0.065	9	168,4	18,71
130	0.13	9	81,1	9,01
195	0.195	9	52,8	5,867
260	0.260	9	39,3	4,367

Dari hasil percobaan yang ditunjukkan oleh Tabel II, maka didapat nilai impuls per kedip dengan beban yang ditambah setiap kenaikan 0.065 kilo-watt.

C. Metode Perhitungan Nilai Error pada KWH Meter

Arus yang mengalir dengan tegangan tertentu dalam waktu tertentu akan menghasilkan energi. Konsep perhitungan energi sesungguhnya ditunjukkan pada persamaan (10). Sedangkan energi berdasarkan jumlah impuls KWH meter digital ditunjukkan pada persamaan (11).

$$\text{Energi perhitungan } (E_1) = \frac{V \times I \times pf \times t}{3600} \text{ (KWH)} \quad (10)$$

Keterangan :

V = Tegangan Kerja (volt)

I = Arus pada beban (ampere)

Pf = Faktor Daya

t = Durasi waktu pemakaian beban (detik)

$$\text{Energi pengukuran } (E_2) = \frac{\text{Nilai impuls}}{\text{Konstanta KWH meter}} \text{ (KWH)} \quad (11)$$

Apabila terjadi selisih antara energi hasil pengukuran terhadap energi hasil perhitungan, menunjukkan bahwa terjadinya atau terdapat nilai error pada KWH meter tersebut. Hal ini ditunjukkan pada persamaan (12).

$$\text{Error KWH meter} = \frac{|E_1 - E_2| \times 100}{E_1} \% \quad (12)$$

Dari persamaan (12) maka dibuatlah tabel sebagai penghitung hasil ukur dengan pembandingan nilai hitung yang sebenarnya.

IV. DATA HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada percobaan sementara ini digunakan beban induktif dengan menggunakan motor DC, beban kapasitif yang menggunakan kapasitor, dan juga digunakan beban resistif (resistor) murni yang menghasilkan cos phi 1, namun demikian sesuai dengan penjelasan sebelumnya, nilai cos phi yang digunakan sebagai pengali adalah 0,8. Berikut hasil pengukuran pada alat KWH meter digital yang akan ditunjukkan pada TABEL III, IV, dan tabel V.

Pada tabel III, hasil ukur pada KWH meter digital dengan beban resistif menunjukkan nilai error dengan rata – rata yang kurang dari 1%. Hal ini berarti bahwa hasil pengujian pada simulasi sukses dan tidak mengalami kendala. Beban resistor

dipasang secara paralel dengan masing – masing beban bernilai 1kΩ, beban dipasang secara paralel dikarenakan resistor hanya menyimpan tegangan yang masuk, kemudian akan membuang tegangan sehingga menjadi panas.

TABEL III
HASIL UKUR PADA KWH METER DIGITAL DENGAN BEBAN RESISTIF

No	Beban (KΩ)	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (KWH)	Nilai per Kedip (s)	Impuls per KWH	Error (%)
1	1	0,4	222,59	0,0712288	14786,15392	0,017342149	0,75
2	2	0,51	221,26	0,09027408	11666,69325	0,027855938	0,69
3	3	0,66	220,16	0,11624448	9060,21516	0,046188763	0,6
4	4	0,81	219,06	0,14195088	7419,467917	0,068875986	0,51
5	5	0,99	217,95	0,1726164	6101,390134	0,101848763	0,4
6	6	1,15	216,05	0,198766	5298,692935	0,135044172	0,32
7	7	1,3	215,97	0,2246088	4689,041569	0,172442847	0,23
8	8	1,46	214,86	0,25095648	4196,743595	0,215272462	0,14
9	9	1,62	213,76	0,27703296	3801,713702	0,262333972	0,05
10	10	1,79	212,66	0,30452912	3458,454154	0,316992732	0,04

TABEL IV
HASIL UKUR PADA KWH METER DIGITAL DENGAN BEBAN KAPASITIF

No	Beban (pF)	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (KWH)	Nilai per Kedip (s)	Impuls per KWH	Error (%)
1	10	0,34	223,69	0,06084368	17309,9326	0,012653848	0,8
2	20	0,34	223,69	0,06084368	17309,9326	0,012653848	0,8
3	30	0,34	223,69	0,06084368	17309,9326	0,012653848	0,8
4	40	0,34	223,69	0,06084368	17309,9326	0,012653848	0,8
5	50	0,34	223,69	0,06084368	17309,9326	0,012653848	0,8
6	60	0,34	223,69	0,06084368	17309,9326	0,012653848	0,8
7	70	0,34	223,69	0,06084368	17309,9326	0,012653848	0,8
8	80	0,34	223,69	0,06084368	17309,9326	0,012653848	0,8
9	90	0,34	223,69	0,06084368	17309,9326	0,012653848	0,8
10	100	0,34	223,69	0,06084368	17309,9326	0,012653848	0,8

Pada tabel IV hasil ukur yang diperoleh pada KWH meter digital dengan beban kapasitif menunjukkan nilai error 0,8. Hal ini berarti bahwa hasil pengujian pada simulasi sukses dan tidak mengalami kendala. Beban kapasitor dapat dirangkai secara seri maupun paralel dengan masing – masing beban bernilai 10pF, hal ini dikarenakan kapasitor mampu menampung nilai tegangan yang masuk, kemudian setelah penuh kapasitor akan melewatkan tegangan tersebut.

TABEL V
HASIL UKUR PADA KWH METER DIGITAL DENGAN BEBAN INDUKTIF

No	Beban (H)	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (KWH)	Nilai per Kedip (s)	Impuls per KWH	Error (%)
1	1	0,61	223,69	0,10916072	9648,159155	0,04073094	0,62
2	2	0,43	223,69	0,07694936	13686,92345	0,020239588	0,73
3	3	0,38	223,69	0,06800176	15487,83443	0,015806363	0,76
4	4	0,37	223,69	0,06621224	15906,42455	0,014985396	0,77
5	5	0,35	223,69	0,0626332	16815,3631	0,013409138	0,78
6	6	0,35	223,69	0,0626332	16815,3631	0,013409138	0,78
7	7	0,35	223,69	0,0626332	16815,3631	0,013409138	0,78
8	8	0,34	223,69	0,06084368	17309,9326	0,012653848	0,79
9	9	0,34	223,69	0,06084368	17309,9326	0,012653848	0,79
10	10	0,34	223,69	0,06084368	17309,9326	0,012653848	0,79

Pada tabel V, hasil ukur yang didapat pada KWH meter digital dengan beban induktif menyatakan bahwa pengujian

dengan simulasi sukses dan tidak mengalami kendala. Hal ini ditunjukkan dengan nilai error yang didapat kurang dari 1%. Pada rangkaian simulasi, beban induktor dipasang secara seri dengan masing – masing induktansi bernilai 1H, hal ini dikarenakan induktor hanya melewati tegangan yang masuk (*by pass*) induktor tidak dapat menampung tegangan yang masuk, sehingga semakin banyak kumparan yang digunakan maka arus yang mengalir akan semakin sedikit.

V. KESIMPULAN

Algoritma yang dibuat pada sistem KWH meter digital dapat berjalan dengan baik, hal ini ditunjukkan pada hasil pengujian sementara pada sistem yang menghasilkan rata – rata nilai error kurang dari 1%. Pada rangkaian simulasi digunakan beban tunggal resistor, kapasitor, dan induktor dengan penambahan hingga 10 buah pada masing – masing rangkaian, dan menggunakan nilai $\cos \phi$ sementara yang ditetapkan yaitu 0,8 , sehingga data yang diperoleh menghasilkan nilai yang statik. Daya yang diperoleh dari hasil pengujian pada rangkaian akan menentukan nilai impuls, semakin besar daya yang digunakan maka akan semakin cepat kedipan LED (impuls) pada KWH meter digital.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Automasi Industri, Jurusan Sistem Komputer dan fakultas Ilmu komputer Universitas Sriwijaya.

REFERENSI

- [1] Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 07 Tahun 2010. PT. PLN (PERSERO). Indonesia.
- [2] Tandrian, David. *KWH meter digital berbasis microcontroller AT89C51*. Diss. Petra Christian University, 2001.
- [3] Setiono, Andi. "Prototipe Aplikasi KWh Meter Digital Menggunakan Mikrokontroler ATMEGA8535 untuk Ruang Lingkup Kamar." *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi TELAAH* 26 (2009).
- [4] Sulistiyo, Agus, Dedi Ary Prasetyo, and Agus Supardi. "Kwh Meter Digital Terkoneksi Personal Computer (PC) Berbasis Mikrokontroler Atmega16." (2012).
- [5] Longini, Richard L. "Method and apparatus for calibrating a digital electric energy consumption meter." U.S. Patent No. 5,325,048. 28 Jun. 1994.
- [6] Hubbard, Vick A. "System and method for detecting voltage and current imbalance in an electrical energy supply." U.S. Patent No. 6,246,332. 12 Jun. 2001.
- [7] Kung, Chih-Hsien, et al. "Fuzzy-based adaptive digital power metering using a genetic algorithm." *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on* 47.1 (1998): 183-188.
- [8] Loss, P. A. V., et al. "A single phase microcontroller based energy meter." *Instrumentation and Measurement Technology Conference, 1998. IMTC/98. Conference Proceedings. IEEE. Vol. 2. IEEE, 1998.*
- [9] Tan, HG Rodney, C. H. R. Lee, and V. H. Mok. "Automatic power meter reading system using GSM network." *Power Engineering Conference, 2007. IPEC 2007. International. IEEE, 2007*
- [10] Landman, Ronald G., Harold G. Spring, and Joseph C. Burba. "Digital energy meter." U.S. Patent No. 4,795,974. 3 Jan. 1989.
- [11] Darmawan, Fondra Dwi. "Rancang Bangun Sistem Pemantauan Pemakaian Listrik Menggunakan Metode Pengukuran Arus". Tugas akhir. Sistem Komputer STIKOM Surabaya. Surabaya. 2012
- [12] Diefenderfer, A. James, and Brian E. Holton. *Principles of electronic instrumentation*. Saunders, 1979.
- [13] MicroSystems, Allegro, Inc.. *ACS712-Datasheet.pdf. United States*. 2011. Diakses pada tanggal : 16 September 2012. <http://www.allegromicro.com/~Media/Files/Datasheets/ACS712-Datasheet.ashx>
- [14] National Semiconductor Corporation,. *LM2907/LM2917-Frequency-to-Voltage-Converter-Datasheet.pdf*. Texas 2003. Diakses pada tanggal : 16 September 2012.
- [15] W.P, B. Yoyok. "Perancangan Watt Meter Digital 1 Fasa Dengan Mikrokontroler AT89S51". 2012: Tugas Akhir. Teknik Elektro Unika Sogijapranata. Semarang
- [16] Winoto A, 2008. *Mikrokontroler AVR ATmega8/32/16/8535 dan Pemrogramannya dengan Bahasa C pada WinAVR*. Buku Teks. Penerbit Informatika. Bandung.
- [17] Passarella, Rossi, Bambang Tutuko, and Aditya PP Prasetyo. "Design Concept of Train Obstacle Detection System in Indonesia." *IJRRAS* 9.3 (2011): 453-460.