

DESAIN DAN IMPLEMENTASI HARMONISA METER BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO

Design and Implementation of Harmonics Meters Based On Arduino Microcontroller

Erdinda C.H.M.¹

Ekki Kurniawan, ST., MSc²

Kharisma Bani Adam, ST., MT³

Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹candzwardhana91@gmail.com

²ekkekikurniawan2012@gmail.com

³kharismaadam@telkomuniversitv.ac.id

ABSTRAK

Dengan berkembangnya perangkat elektronik, kegunaan dan fungsi dari perangkat tersebut akan bertambah juga. Untuk bisa bekerja secara optimal, perangkat tersebut membutuhkan daya yang stabil. Akan tetapi pada kenyataannya, masih jarang ditemui perangkat elektronik bekerja secara optimal meskipun daya yang diterima stabil dan besar. Hal ini disebabkan oleh adanya faktor beban non linear. Faktor ini membuat suatu distorsi untuk gelombang tegangan dan arus pada rangkaian yang disebut dengan harmonik. Harmonik yang ada biasa diukur dengan skala Total Harmonic Distortion (THD). Untuk bisa mengukur THD tersebut diperlukan alat yang bernama Harmonisa Meter. Namun alat yang dimaksud masih relatif mahal.

Pada Tugas akhir ini telah dirancang suatu alat harmonisa meter. Alat ini dapat mengukur nilai tegangan dan arus yang ada pada suatu rangkaian. Dengan demikian dapat digunakan untuk mengukur seberapa besar nilai daya distorsi dan THD yang ada pada suatu rangkaian. Prinsip kerja alat ini adalah dengan menggunakan keluaran dari sensor arus dan tegangan sebagai referensi untuk dianalisa menggunakan transformasi diskrit fourier. Alat ini juga dirancang menggunakan Mikrokontroler Arduino. Sinyal yang dihasilkan oleh sensor - sensor tersebut akan diolah menggunakan Arduino sehingga keluaran dari Arduino dapat berupa nilai daya distorsi dan THD yang diukur. Nilai daya distorsi dan THD yang keluar akan ditampilkan di LCD yang juga diproses oleh Arduino.

Setelah dilakukan perancangan dan pengujian dari tugas akhir ini, didapatkan bahwa pada pengukuran tegangan AC, alat ukur memiliki tingkat akurasi sebesar 99,68% sedangkan pada pengukuran arus, alat ukur memiliki tingkat akurasi sebesar 99,97%. Pada pengukuran nilai Total Harmonic Distortion (THD) dengan beban berbeda, alat ukur perancangan memiliki tingkat akurasi sebesar 95,75%. Sedangkan pada pengukuran nilai Total Harmonic Distortion(THD) dengan waktu berbeda, alat ukur meliki tingkat akurasi sebesar 99,88%.

Kata Kunci : Harmonisa Meter, Total Harmonic Distortion, Daya Distorsi, Mikrokontroler Arduino.

ABSTRACT

With the development of electronic devices, usability and functionality of these devices will increase as well. To be able to work optimally, such devices require stable power. But in fact, they rarely encountered electronic devices work optimally despite the received power and large stable. This is caused by the presence of non-linear load factors. These factors create a distortion for voltage and current waves in the circuit called harmonics. Harmonics there is usually measured by scale Total Harmonic Distortion (THD). To be able to measure the THD necessary tool called Harmonics Meter. But the tool is still relatively expensive.

At this final project has designed a tool harmonics meter. This tool can measure the voltage and current values that exist on a continuum. Thus it can be used to measure how much value and THD distortion power that exist in a circuit. The working principle of this tool is to use the output of the sensor current and voltage as a reference for analysis using discrete Fourier transformation. The tool is also designed to use the Arduino Microcontroller. The signals generated by the sensor - the sensor will be processed using Arduino Arduino so that the output of power can be a value measured distortion and THD. THD distortion power value and the exit will be displayed on the LCD which is also processed by Arduino.

After the design and testing of this thesis, it was found that the AC voltage measurement, the measuring instrument has an accuracy rate of 99.68% while the current measurement, the measuring instrument has an accuracy rate of 99.97%. On the measurement of the value of Total Harmonic Distortion (THD) with different loads, the design of the measuring instrument has an accuracy rate of 95.75%. While the measurement of the value of Total Harmonic Distortion (THD) at different times, measuring tools meliki accuracy rate of 99.88%.

Keywords : Rectifier, Harmonic, Harmonic Passive Filter, and THD

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Perkembangan perangkat elektronik pada masa kini sangatlah pesat. Dengan bertambahnya ragam fungsi dan kegunaan, tentu tak sedikit orang yang memanfaatkan perangkat ini. Beberapa perangkat elektronik mungkin membutuhkan perhatian khusus yang disebabkan tingkat kebutuhan listrik yang besar. Hal ini juga membuat perangkat tersebut mempunyai nilai kegunaan lebih karena keadaan tersebut. Tingkat kebutuhan listrik yang besar membuat suatu perangkat membutuhkan daya yang sepadan juga untuk bisa beroperasi secara optimal. Beberapa di antaranya juga membutuhkan kebutuhan daya yang stabil agar perangkat tersebut tidak mengalami kerusakan seperti komputer dan kulkas. Akan tetapi dalam kenyataan perangkat tersebut masih sulit untuk bekerja secara optimal yang dikarenakan adanya faktor beban yang ada di dalamnya. Faktor beban ada 2 jenis yaitu beban linear dan beban non linear. Beban linear seperti resistor (R) pada umumnya tidak memberikan dampak yang buruk untuk kinerja perangkat elektronik. Sedangkan beban non linear mampu memberikan suatu gangguan pada perangkat elektronik. Hal ini disebabkan karena beban linear akan membuat bentuk gelombang tegangan dan arus keluaran dari beban tersebut tidak sebanding dengan gelombang tegangan dan arus yang masuk. Gangguan yang diakibatkan distorsi kedua gelombang tersebut adalah harmonik.

Untuk bisa mengetahui nilai suatu THD dari suatu perangkat elektronik atau rangkaian diperlukan suatu alat yaitu harmonisa meter. Alat ini akan menghitung total jumlah harmonisa dari gelombang sinusoidal dengan beberapa distorsi. Akan tetapi keberadaan alat ini masih jarang ditemui karena mahalnya harga yang ditentukan. Sehingga diperlukan suatu rangkaian alternatif untuk bisa membuat harmonisa meter yang murah dan praktis.

Pada tugas akhir ini akan dirancang suatu alat harmonisa meter dengan menggunakan Mikrokontroler Arduino yang diharapkan bisa mengukur tingkat noise output yang dihasilkan oleh rangkaian dengan beban non linear. Dan dari hasil yang didapat juga akan dibuat perbandingan dengan harmonisa meter yang sudah ada sebelumnya menggunakan Mikrokontroler 128. Diharapkan juga nantinya alat ini setara dengan harmonisa meter yang ada di pasaran.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan Tugas Akhir ini adalah:

1. Merancang dan mengimplementasi sistem harmonisa meter terhadap power meter.
2. Memahami prinsip kerja dari power meter dan harmonisa meter.
3. Menganalisa output yang dihasilkan dari harmonisa meter yang dirancang.
4. Membandingkan hasil perhitungan yang didapat dari output mikrokontroler ATMEGA 128 dengan Arduino.

1.3 Rumusan Masalah

Perumusan masalah Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana merancang rangkaian sistem power meter dan harmonisa meter ?
2. Bagaimana prinsip kerja diagram blok dari power meter dan harmonisa meter ?
3. Bagaimana cara menganalisa hasil keluaran dari power meter dan harmonisa meter yang dirancang ?
4. Apa hasil yang didapat dari perbandingan harmonisa meter yang telah dirancang dengan mikrokontroler ATMEGA 128 dengan harmonisa meter yang akan dirancang dengan Arduino ?

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah Tugas Akhir ini adalah :

1. Tegangan dan arus yang akan diukur menggunakan tegangan standar PLN yaitu 220 Volt dan berada di range frekuensi 50 Hz.
2. Mikrokontroler yang akan digunakan adalah Mikrokontroler Arduino
3. Alat yang dirancang hanya untuk mengukur beban non linear.

2. Dasar Teori

2.1 Daya Listrik

Daya listrik adalah laju jumlah energi yang diserap atau dihasilkan dalam suatu rangkaian listrik. Sumber Energi seperti tegangan listrik akan menghasilkan daya listrik sedangkan beban yang terhubung dengannya akan menyerap daya listrik tersebut. Satuan SI daya adalah watt, satu joule per detik. Daya listrik biasanya dihasilkan oleh generator listrik, tetapi juga dapat disediakan oleh sumber seperti baterai listrik.

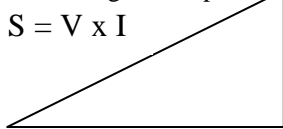
Secara umum daya listrik dapat dirumuskan : $P = \frac{dW}{dt}$

2.2 Segitiga Daya

Besarnya energi atau beban listrik yang terpakai ditentukan oleh reaktansi (R), induksi (L), dan kapasitansi (C), sedangkan besarnya pemakaian energi listrik disebabkan oleh banyak dan beraneka ragamnya peralatan (beban) listrik yang digunakan dalam industri. Terdapat tiga macam beban listrik yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Pada umumnya beban listrik yang digunakan dalam industri bersifat induktif dan kapasitif; beban induktif yang bersifat positif membutuhkan daya reaktif seperti trafo dan penyearah, motor induksi (AC) dan lampu TL, sedangkan beban kapasitif yang bersifat negatif menghasilkan daya reaktif. Daya reaktif ini merupakan daya yang tidak dapat digunakan sebagai sumber tenaga, namun diperlukan untuk proses transmisi energi listrik pada beban.

$$S = V \times I$$

$$Q = V \times I \times \sin \alpha$$

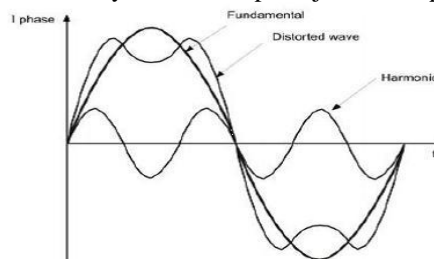
$$P = V \times I \times \cos \alpha$$


Gambar 2.1 Hubungan Daya aktif, Reaktif dan Semu Dalam Segitiga Daya

2.3 Harmonisa

Pada sistem tenaga listrik, daya yang didistribusikan adalah pada level tegangan dengan frekuensi tunggal (50 Hz atau 60 Hz), tetapi karena perkembangan beban listrik yang semakin pesat dan kompleks, terutama penggunaan beban-beban non linier, akan menimbulkan perubahan pada bentuk gelombang sinusoidalnya.

Cacat gelombang yang disebabkan oleh interaksi antara bentuk gelombang sinusoidal sistem dengan komponen gelombang lain yang disebabkan oleh pemakaian beban non linier lebih dikenal dengan harmonisa, dengan kata lain harmonisa adalah komponen gelombang arus atau tegangan sinusoidal yang frekuensinya merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi fundamentalnya. Misalnya bila frekuensi fundamentalnya 50 Hz maka harmonisa ke-2 adalah gelombang sinusoidal dengan frekuensi 100 Hz, harmonisa ke-3 gelombang sinusoidal dengan frekuensi 150 Hz dan seterusnya. Hal ini dapat dijelaskan seperti pada Gambar 2.1



Gambar 2.2 Bentuk Gelombang Fundamental, Gelombang Harmonisa, dan Gelombang Fundamental Terdistorsi.

2.4 Perhitungan Harmonisa

Harmonisa dihasilkan oleh beberapa beban tidak linier atau alat yang mengakibatkan arus tidak sinusoidal. Untuk menentukan besar *Total Harmonic Distortion (THD)* dari perumusan analisa deret *Fourier* untuk tegangan dan arus dalam fungsi waktu, yaitu :

$$v(t) = V_0 + \sum_{n=1}^{\infty} V_n \cos(n\omega t + \theta_n) \dots \dots (2.1)$$

Dimana : V_0 = Komponen *dc* dari gelombang tegangan (V)

$$i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cos(n\omega t + \varphi_n) \dots \dots (2.2)$$

Dimana : I_0 = Arus *dc* (A)

Tegangan dan arus *rms* dari gelombang sinusoidal yaitu nilai puncak gelombang dibagi $\sqrt{2}$ dan secara deret *Fourier* untuk tegangan dan arus yaitu:

$$V_{rms} = V_0^2 + \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{V_n}{\sqrt{2}}\right)^2} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$I_{rms} = I_0^2 + \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{I_n}{\sqrt{2}}\right)^2} \dots \dots (2.4)$$

THD tegangan dan arus didefinisikan sebagai nilai rms harmonisa di atas frekuensi fundamental dibagi dengan nilai rms fundamentalnya, dengan tegangan dc-nya diabaikan. THD tegangan sebagai persamaan 2.5.

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (V_{rms})^2}}{V_1} \dots \dots (2.5)$$

Dengan mengabaikan tegangan dc (V_0) dan nilai V_{rms} digantikan dengan $V_n/\sqrt{2}$ pada Persamaan (2.5), sehingga THD_v dapat dituliskan dalam persamaan 2.6.

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{V_n}{\sqrt{2}}\right)^2}}{\frac{V_1}{\sqrt{2}}} \dots \dots (2.6)$$

Dan THD arus sebagai persamaan 2.7.

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (I_{rms})^2}}{I_1} \dots \dots (2.7)$$

Dengan mengabaikan arus dc (I_0) dan nilai I_{rms} digantikan dengan $I_n/\sqrt{2}$ pada Persamaan (2.7), sehingga THD_i dapat dituliskan dalam persamaan 2.8.

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{I_n}{\sqrt{2}}\right)^2}}{\frac{I_1}{\sqrt{2}}} \dots \dots (2.8)$$

2.5 Standar Harmonisa

Standar harmonisa yang digunakan pada penelitian ini adalah standar dari IEEE 519-1992. Ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa yaitu batas harmonisa untuk arus (THDi) dan batas harmonisa untuk tegangan (THDv). Batas untuk harmonisa arus ditentukan oleh perbandingan arus hubung singkat yang ada pada PCC (Point of Common Coupling). Untuk batas harmonisa tegangan ditentukan dari besarnya tegangan sistem yang terpasang atau dipakai. Standar harmonisa yang diizinkan untuk arus dan tegangan berdasarkan IEEE Std 519-1992 dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

**Current Distortion Limits for General Distribution Systems
(120V Through 69,000V)**

I_{sc}/I_L	Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L					TDD
	Individual Harmonic Order (Odd)					
	<11	11<=h<17	17<=h<23	23<=h<35	35<=h	
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above
where
 I_{sc} = maximum short circuit current at PCC
 I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Harmonic Voltage Distortion THD (%)
69 kV and below	3.0	5.0
69.00001 kV through 161 kV	1.5	2.5
161.001 kV and above	1.0	1.5

(Sumber: IEEE Recommended Practices And Requirements, 2004 : 78)

Tabel 2.1 Batas Distorsi Arus Harmonisa untuk Sistem Distribusi Umum (120V sampai 69kV)

Tabel 2.2 Batas Distorsi Tegangan

%THDV adalah persentase jumlah total tegangan yang terdistorsi oleh harmonisa dan %THDI adalah persentase jumlah total arus yang terdistorsi oleh harmonisa. De La Rosa mendefinisikan THD dengan persamaan:

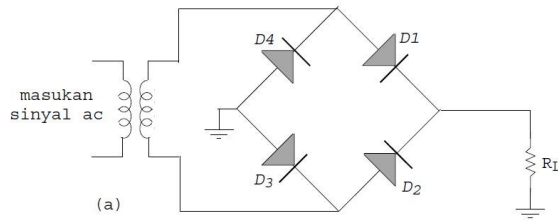
$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (V_h)^2}}{V_1} \times 100\% \dots \dots (2.9)$$

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (I_h)^2}}{I_1} \times 100\% \dots \dots (2.10)$$

2.6 Penyearah Terkendali Satu Fasa Full Wave

Penyearah terkendali penuh satu fasa yang berfungsi mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah terdiri dari 2 SCR. Penyearah ini akan mendapat inpt berupa tegangan 64 VAC dan memberikan output tegangan searah.

Besarnya tegangan output yang keluar dari penyearah ini berupa V_{dc} yang juga sering dinotasikan dengan V_o dan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:



Gambar 2.3 Penyearah gelombang penuh

$$V_{dc} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin \omega t \, d(\omega t) \dots\dots\dots(2.11)$$

$$= \frac{V_m}{\pi} [-\cos \omega t]_0^{\pi} = \frac{2V_m}{\pi} \dots\dots\dots(2.12)$$

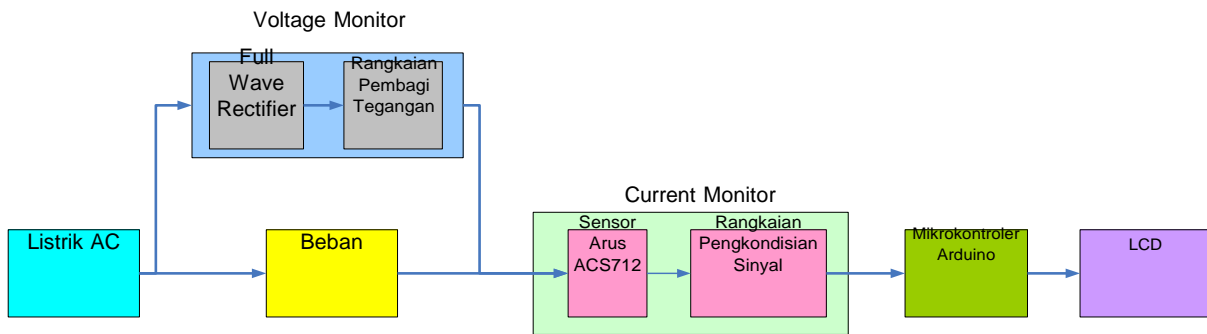
2.7 Sensor Arus

Sensor arus adalah sensor yang berfungsi untuk mendeteksi nilai arus yang mengalir pada suatu rangkaian. Pengukuran arus umumnya membutuhkan *resistor shunt* yaitu resistor yang dihubungkan secara seri pada beban dan mengubah arus menjadi tegangan. Tegangan tersebut lalu diumpankan ke *current transformer* terlebih dahulu sebelum masuk ke rangkaian pengkondisi sinyal. Teknologi efek Hall yang diterapkan oleh perusahaan *Allegro* menggantikan *resistor shunt* dan *current transformer* menjadi sebuah sensor yang ukuran yang relatif jauh lebih kecil.

3. Perancangan Sistem

3.1 Diagram Blok Sistem

Perencanaan sistem secara keseluruhan dapat dijelaskan seperti pada gambar 3.1

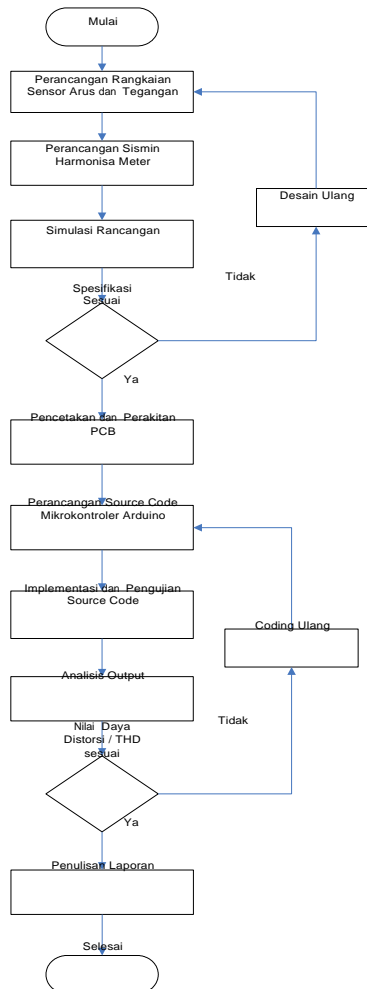


Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem

Dari gambar 3.1 memperlihatkan bahwa proses pengukuran berasal dari sensor tegangan dan sensor arus yang dipasang dalam jalur antara sumber listrik AC dengan beban. Sensor tegangan disini berupa rangkaian penyearah gelombang penuh atau *Full Wave Rectifier* dan pembagi tegangan. Penyearah gelombang penuh digunakan untuk menghasilkan sinyal DC agar dapat diolah oleh mikrokontroler. Pembagi tegangan digunakan untuk merubah level tegangan dari 220V menjadi 5V karena tegangan yang masuk ke ADC mikrokontroler maksimal 5V. Sinyal yang berasal dari sensor tegangan ini juga berfungsi sebagai perhitungan *Total Harmonic Distortion* yang sebelumnya telah dianalisis oleh Transformasi Fourier Diskrit.

3.2 Diagram Alir Pengerjaan

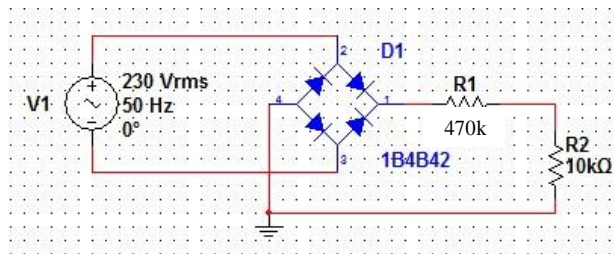
Diagram alir dibawah ini menjelaskan mengenai alur pengerjaan dari sistem yang telah diimplementasikan pada tugas akhir ini.



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengerjaan

3.3 Rangkaian Sensor Tegangan AC

Perancangan sensor tegangan AC ini dibagi menjadi 2 tahap sebelum data diolah oleh mikro. Tahap pertama adalah mengubah tegangan AC menjadi DC dengan menggunakan rangkaian penyearah gelombang penuh. Tahap kedua adalah mengubah level tegangan 220V menjadi 5V dengan menggunakan rangkaian pembagi tegangan.

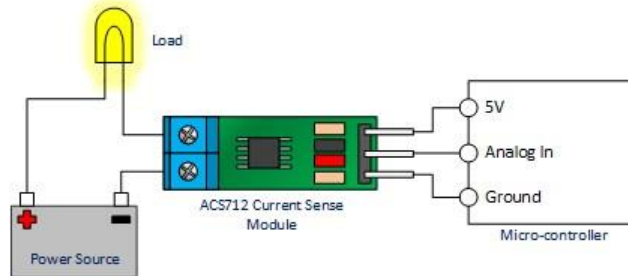


Gambar 3.3 Rangkaian Sensor Tegangan AC dan Pembagi Tegangan

Perancangan pembagi tegangan hanya menggunakan dua buah resistor seperti gambar 3.3. Nilai resistor R1 dan R2 yang digunakan dapat ditentukan dengan persamaan berikut :
$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_1$$

3.4 Rangkaian Sensor Arus

Perancangan sensor arus ini berfungsi untuk mendeteksi arus AC yang masuk ke beban. Sensor arus pada rangkaian ini menggunakan komponen ic *hall effect* yaitu ACS712ELC yang mampu dialiri arus sampai dengan 20A. Sensor arus dari keluarga ACS712ELC adalah solusi pembacaan arus di dalam dunia industry, otomotif, komersil dan sistem-sistem komunikasi. Sensor ini biasanya digunakan untuk mengontrol motor, deteksi beban listrik, *switched-mode power supplies* dan proteksi beban berlebih. Sensor ini memiliki pembacaan dengan ketepatan yang tinggi, karena didalamnya terdapat rangkaian *low-offset linier Hall* dengan satu lintasan yang terbuat dari tembaga



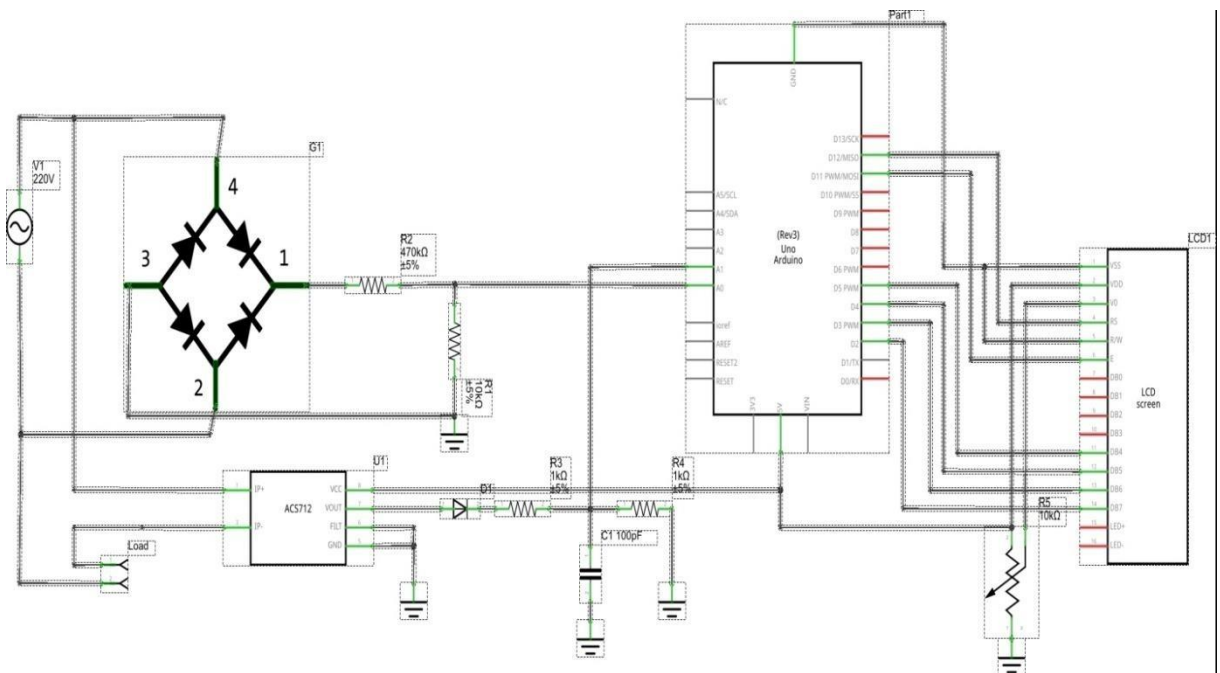
Gambar 3.4 Rangkaian Sensor Arus ACS712ELC



Gambar 3.5 Bentuk Fisik dan Konfigurasi Pin Sensor Arus ACS712ELC

3.5 Rangkaian Skematik Harmonisa Meter

Rangkaian skematik pada perancangan ini terdiri dari rangkaian sensor tegangan, rangkaian sensor arus dan rangkaian sistem Mikrokontroler Arduino. Rangkaian skematik dapat ditunjukkan pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Rangkaian Skematik Harmonisa Meter

4. Pengujian dan Analisis

Pada pengujian ini, beban yang diukur adalah beban non linier. Beban non linier yang telah diukur adalah televisi, *function generator*, *personal computer*, osiloskop, kipas AC, monitor. Pada pengujian ini untuk menentukan nilai *error* pada alat ukur perancangan dapat menggunakan persamaan 4.1 dan 4.2. Di mana X_i adalah *Harmonic analyzer* dan X_i' adalah Alat Ukur Perancangan.

$$X_i = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_i')}{n} \quad (4.1)$$

$$\% RMSE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_i')}{n} \times 100\% \quad (4.2)$$

No	Beban	X_i	X_i'	$(X_i - X_i')^2$	$(X_i)^2$
	Tidak ada beban (0)	1,8	1,8	0	3,24
	Beban Non Linier				
1	1 Televisi	1,8	1,792	0,0001	3,24
2	1 Osiloskop	1,9	1,918	0,000064	3,61
3	2 Osiloskop	1,9	1,91	0,0001	3,61
4	1 Function Generator	1,8	1,815	0,000225	3,24
5	1 Kipas AC	2	2,02	0,0004	4
6	1 Osiloskop + 1 Function Generator	1,8	1,83	0,0009	3,24
7	1 PC + 1 Monitor	1,8	1,83	0,0009	3,24
	Σ			0,002689	27,42
	RMSE			0,018	
	% RMSE			0,973 %	

Tabel 4.3 Pengujian Alat Ukur Sebagai Pengukur THD Dengan Beban Berbeda

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan dan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa alat ukur perancangan yaitu Harmonisa Meter dapat berjalan dengan baik dengan membandingkan alat ukur standar yaitu *Harmonics Analyzer*. Dapat disimpulkan bahwa :

1. Alat ukur dapat mengukur nilai tegangan, arus, dan daya nyata yang ada pada suatu rangkaian dengan beban yang dipasang.
2. Pada pengukuran nilai *Total Harmonic Distortion (THD)* dengan beban non linear, alat ukur perancangan memiliki tingkat akurasi sebesar 99,027%.

5.2 Saran

Berdasarkan perancangan dan hasil pengujian terdapat beberapa saran yang agar dapat dihasilkan alat ukur yang lebih baik, antara lain :

1. Pemilihan komponen dan penentuan rangkaian untuk meningkatkan tingkat akurasi alat.
2. Penggunaan sensor arus yang lebih presisi dengan menggunakan *R-shunt* agar pembacaan di ADC mikrokontroler lebih stabil.

3. Perlu dibuatnya isolator untuk keseluruhan rangkaian pada alat agar membuat aman alat ketika alat rusak (*malfunction*) saat mengukur rangkaian.

4. Memilih mikrokontroler yang sesuai dengan kebutuhan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Allegro MicroSystem, 2006, *Fully Integrated, Hall effect-Based Linier Current Sensor With Voltage Isolation And A Low-Resistance Current Conductor*, USA: Massachusetts. www.allegromicro.com
- [2] Belly, A., Dadan, A., Agusman, C. & Lukman, B., 2010, *Daya Aktif, Reaktif, & Nyata*, Universitas Indonesia, Depok.
- [3] Dwi, Herman Surjono, 2007, *Elektronika Teori dan Penerapan*, Cerdas Ulet Kreatif, Jember, 34-39.
- [4] Surajit Chattopadhyay, dkk, 2009, *Harmonic Power Distortion Measurement in Park Plane*, Elsevier Journal no. 197–205
- [5] Heri Irawan, Hermawan dan Tejo Sukmadi. 2011. *Analisis Pengaruh Pemasangan Filter Pasif Terhadap Penurunan Harmonik Pada Sistem Multi Mesin 9 BUS IEEE*. Jurnal, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [6] Raharjo, Jangkung Ir. MT., 2006, *Sinyal dan Sistem*, Diktat Kuliah, Institut Teknologi Telkom, Bandung
- [7] Artanto, Dian. 2012, *Interaksi Arduino dan LabVIEW*, Penerbit PT Elex Media Komputindo.
- [8] Nur, Ivan Bhakti, 2013, *Implementasi Filter Pasif dan Analisis Harmonisa Pada Penyearah Terkendali Datu Fasa Full Converter*, Universitas Telkom, Bandung
- [9] Sasa Vlahinica, dkk, 2009, *Measurement And Analysis of Harmonic Distortion In Power Distribution System*, Elsevier Journal no. 1121-1126.
- [10] Rhamdani, Mohammad, 2008, *Rangkaian Listrik*, Erlangga, Bandung.