

# Rancang Bangun Alat Ukur Arus Menggunakan Transformator Arus Berbasis Mikrokontroler Atmega32

Dimas Adityawarman<sup>1</sup>, Yulliaro Rahajo<sup>2</sup>, Lukmanul Hakim<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung  
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

<sup>1</sup>dimas\_adityawarman@yahoo.co.id

<sup>2</sup>sipyar66@gmail.com

<sup>3</sup>plgsekip@unila.ac.id

**Intisari**---Transformator arus merupakan peralatan yang digunakan dalam pengukuran besaran arus pada instalasi tenaga listrik di sisi primer dengan mentransformasikan besaran arus tinggi tersebut ke amplitudo yang sesuai bagi peralatan proteksi ataupun pengukuran yang terhubung dengan transformator arus tersebut. Dalam penelitian ini dibuat suatu sistem alat ukur arus yang terdiri dari transformator arus, pengkondisi sinyal, mikrokontroler ATmega32, LCD 2x16 dan komponen pendukung lainnya. Sistem yang telah dibuat kemudian diuji untuk mengukur arus pada beragam beban yaitu resistif, kapasitif, induktif, dan campuran. Hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan amperemeter analog dan tang ampere. Alat yang dibuat menunjukkan kemampuan pengukuran yang cukup baik, dimana selisih pengukuran dengan amperemeter analog sangat kecil. Rata-rata deviasi pengukuran alat ini dibandingkan dengan amperemeter analog adalah 1.18 %. Arus terkecil yang dapat dideteksi oleh alat ukur ini adalah 0,5 Ampere dan arus maksimal yang dapat diukur adalah 82 Ampere.

**Kata kunci**---transformator arus, ADC (*Analog to Digital Converter*)

**Abstract**---Current transformer is used for current measurement in electrical power installation by transforming high current to a suitable level for protection or measurement system. In this research, a digital current measurement system consists of current transformer, signal conditioner, ATmega32 microcontroller, LCD 2x16 and other supporting components, is built.

This system is then tested in current measurement of various load types i.e. resistive, capacitive, inductive and mixed loads. Results of measurement are then compared to those of analog amperemeter and clamp meter. The developed system shows good performance, where measurement differences from analog amperemeter and clamp meter is insignificance. Average deviation of this system as compared to analog amperemeter is 1.18 %. This system is capable of measuring current from 0.5 A to 82 A.

**Keywords**---Current transformer, ADC (*Analog to Digital Converter*)

## I. PENDAHULUAN

Di dunia energi listrik, suatu alat ukur sangat berperan penting dalam penggunaannya. Karena suatu alat ukur akan menjadi refrensi kerja. Salah satu alat ukur dalam dunia energi listrik yaitu CT (*Current Transformer*). CT (*Current Transformer*) merupakan trafo yang menghasilkan arus di sekunder dimana besarnya sesuai dengan ratio dan arus primernya. CT umumnya terdiri dari sebuah inti besi yang dililiti oleh konduktor kawat tembaga.

CT (*Current Transformer*) itu sendiri dalam penggunaannya dapat digunakan sebagai pengukuran arus, pengukuran daya dan energi, dan sebagai sistem proteksi rele. Tetapi dalam penelitian ini, CT (*Current Transformer*) lebih digunakan sebagai pengukuran arus.

Dalam penggunaannya di lapangan, CT (*Current Transformer*) lebih digunakan secara analog. Pada pembacaan analog, tidak semua orang awam dapat mengerti dalam pembacaannya. Terlebih lagi terdapat skala untuk menentukan berapa besaran yang

terbaca. Dengan seiring kemajuan teknologi masa kini, dalam penelitian ini CT (*Current Transformer*) yang bekerja secara analog dalam pembacaannya dikonversikan menjadi tampilan digital. Tampilan secara digital memiliki kelebihan antara lain mudah dalam pembacaan dan lebih mudah dalam pengembangan penggunaannya karena datanya sudah dalam bentuk digital.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Transformator Arus

Trafo Arus (*Current Transformator*) yaitu peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada instalasi tenaga listrik disisi primer (TET, TT dan TM) yang berskala besar dengan melakukan transformasi dari besaran arus yang besar menjadi besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran dan proteksi [1].

Pada dasarnya prinsip kerja transformator arus sama dengan transformator daya. Jika pada kumparan primer mengalir arus  $I_1$ , maka pada kumparan primer timbul gaya gerak magnet sebesar  $N_1 \cdot I_1$ . Gaya gerak magnet ini memproduksi fluks pada inti, kemudian membangkitkan gaya gerak listrik (GGL) pada kumparan sekunder. Jika terminal kumparan sekunder tertutup, maka pada kumparan sekunder mengalir arus  $I_2$ , arus ini menimbulkan gaya gerak magnet  $N_1 \cdot I_1$  pada kumparan sekunder [1].

### B. Mikrokontroler ATmega32

Mikrokontroler adalah suatu alat elektronika digital yang mempunyai masukan dan keluaran serta kendali dengan program yang bisa ditulis dan dihapus dengan cara khusus. Sederhananya, cara kerja mikrokontroler sebenarnya hanya membaca dan menulis data. Mikrokontroler merupakan komputer didalam *chip* yang digunakan untuk mengontrol peralatan elektronik, yang menekankan efisiensi dan efektifitas biaya.

Mikrokontroler AVR ATmega32 adalah salah satu dari keluarga ATmega. Memiliki memori *flash* 32k dan 32 jalur input output, serta dilengkapi dengan ADC 8 kanal dengan resolusi 10-bit dan 4 kanal PWM [2].

*Fitur* yang terdapat pada *mikro chip* ATmega32 ini berfungsi sebagai pengkonversi nilai analog ke digital, karena nilai masukan atau keluaran pada ATmega32 menggunakan logika *input-output digital* yakni 0/1 (*high / low*). Penggunaan ADC ini dikarenakan sensor yang digunakan pada pembacaan konversi tegangan dari nilai 0 – 5 volt, sedangkan tidak mungkin ATmega32 membaca nilai tegangan sensor yang bernilai 1,5 atau 4,5 volt. Dengan menggunakan *fitur* ADC ini nilai pembacaan sensor tersebut bisa dibaca oleh ATmega32, karena *fitur* ADC mempunyai resolusi pembacaan dari 0-1024 pada 10 bit. Untuk pembacaan nilai sensor yang berada ditengah-tengah antara 0-5 volt dapat menggunakan persamaan konversi ADC. Sinyal *input* ADC tidak boleh melebihi tegangan referensi. [2]

### C. LCD 2x16

ATmega32 juga didukung dengan penampil LCD, LCD ini berfungsi untuk menampilkan nilai atau perintah-perintah yang ditulis pada kode program. Dengan LCD ini perintah-perintah yang diberikan akan mudah dibaca baik benar atau salah.

Pada ATmega32 sendiri memiliki Port yang bisa digunakan untuk koneksi ke LCD, untuk penelitian ini digunakan adalah port C pada ATmega32. LCD juga dapat membaca perubahan nilai input yang terbaca pada pin chanel ADC, dengan menggunakan LCD ini pembacaan nilai pada pin ADC dapat akurat.

### D. Klasifikasi Kelas Meter

Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang mendekati dengan harga sebenarnya. Perlu memperhatikan batas kesalahan yang tertera pada alat ukur tersebut. Klasifikasi alat ukur listrik dibagi menjadi delapan kelas,

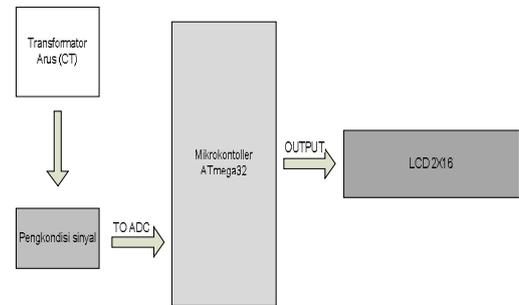
yaitu : 0.05; 0.1 ; 0.2 ; 0.5 ; 1.0 ; 1.5 ; 2.5 ; dan 5. Kelas-kelas tersebut artinya bahwa besarnya kesalahan dari alat ukur pada batas-batas ukur masing-masing kali  $\pm 0.05 \%$ ,  $\pm 0.1 \%$ ,  $\pm 0.2 \%$ ,  $\pm 0.5 \%$ ,  $\pm 1.0 \%$ ,  $\pm 1.5 \%$ ,  $\pm 2.5 \%$ ,  $\pm 5\%$  dari relatif harga maksimum. Dari delapan kelas alat ukur tersebut digolongkan menjadi empat golongan sesuai dengan daerah pemakaiannya [3], yaitu :

- 1) Golongan dari kelas 0.05, 0.1, 0.2  
Termasuk alat ukur presisi yang tertinggi. Biasa digunakan di laboratorium yang standar.
- 2) Golongan alat ukur dari kelas 0.5  
Mempunyai ketelitian dan presisi tingkat berikutnya dari kelas 0.2, alat ukur ini biasa digunakan untuk pengukuran-pengukuran presisi. Alat ukur ini biasanya portabel.
- 3) Golongan dari kelas 1.0  
Mempunyai ketelitian dan presisi pada tingkat lebih rendah dari alat ukur kelas 0.5. Alat ini biasa digunakan pada alat ukur portabel yang kecil atau alat-alat ukur pada panel.
- 4) Golongan dari kelas 1.5, 2.5, dan 5  
Alat ukur ini dipergunakan pada panel-panel yang tidak begitu memperhatikan presisi dan ketelitian.

### III. DESAIN ALAT UKUR ARUS BERBASIS MIKROKONTROLER

Alat ukur arus ini dirancang untuk mempermudah dalam pembacaan arus listrik AC yang ditampilkan dalam bentuk digital atau *interface* dengan LCD. Selain itu juga alat ukur ini dapat dipakai sebagai pengukuran arus pada tegangan rendah 220 VAC dan menggantikan pembacaan alat ukur arus *indoor* yang masih menggunakan tampilan analog.

Untuk mempermudah dalam perancangan, maka rangkaian dipisahkan berdasarkan fungsinya. Berikut ini adalah blok diagram rangkaiannya :



Gbr. 1 Diagram blok sistem trafo arus dan mikrokontroler

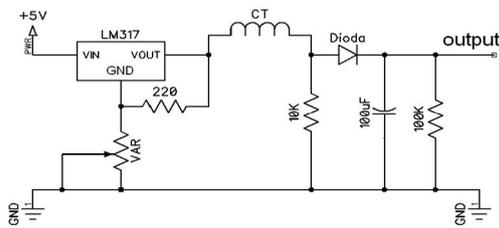
Blok diagram diatas merupakan alur dari sistem pembacaan dan *interface* data melalui LCD 2x16. Pada sistem, terdapat trafo arus sebagai alat ukur arus yang akan diukur. Kemudian keluaran tegangan dari sisi sekunder di serikan dengan pengkodisian sinyal. Pengkodisian sinyal ini merupakan tegangan DC yang diatur besar tegangannya menggunakan *IC regulator* yang disuplai dengan tegangan sebesar 5VDC. Setelah melewati pengkondisian sinyal, kemudian tegangan dimasukkan ke ADC (*Analog Digital Converter*) pada mikrokontroler dan mikrokontroler ini akan mengolah data analog menjadi data digital dan kemudian di tampilkan melalui LCD 2x16.

Alat ukur arus ini dirancang untuk mempermudah dalam pembacaan arus listrik AC yang ditampilkan dalam bentuk digital atau *interface* dengan LCD. Selain itu juga alat ukur ini dapat dipakai sebagai pengukuran arus pada tegangan rendah 220 VAC dan menggantikan pembacaan alat ukur arus *indoor* yang masih menggunakan tampilan analog.

Berdasarkan blok diagram pada gambar 1, ada beberapa rancangan yang dibuat yaitu :

#### 1) Pengkondisi sinyal

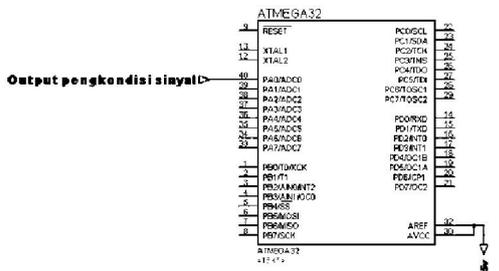
Pada pengkondisi sinyal disini dilakukan beberapa metode seperti penstabil tegangan, penyearah, dan filter. Gambar rangkaian sebagai berikut:



Gbr. 2 Rangkaian pengkondisian sinyal

Pada rangkaian ini akan ada inputan 5VDC yang kemudian melalui rangkaian penstabil tegangan. Kemudian dirangkai secara seri dengan inputan tegangan transformator arus, dengan tujuan untuk membawa keluaran tegangan trafo yang kecil untuk menembus penyearahan diode.

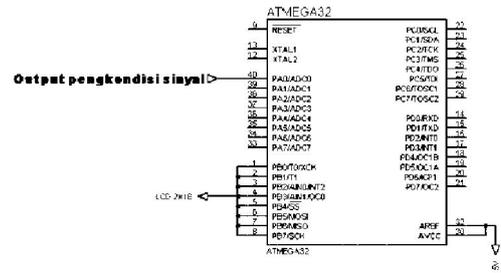
2) Konversi ADC (*Analog Digital Converter*)  
 Pada tahap ini, tegangan keluaran dari pengkondisi sinyal akan diubah ke digital melalui ADC (*Analog Digital Converter*) mikrokontroler Atmega32. Berikut gambar rangkaiannya.



Gbr. 3 Rangkaian mikrokontroler dengan pengkondisi sinyal

Pada mikrokontroler dilakukan pemrograman menggunakan bahasa C untuk melakukan pembacaan masukan tegangan dari pengkondisi sinyal dan kemudian diubah ke data digital. Berikut cuplikan program konversi ADC (*Analog Digital Converter*):

3) *Interface* LCD 2x16  
 Untuk menampilkan hasil pembacaan pengukuran pada trafo arus, digunakan LCD 2x16. Untuk pengolahannya menggunakan mikrokontroler Armega32, berikut rangkaiannya :



Gbr. 4 Rangkaian mikrokontroler ke LCD 2x16

Pada tahap ini, data pengukuran dari trafo arus akan ditampilkan melalui LCD 2x16. Untuk menampilkan ke LCD, dilakukan pengolahan program pada mikrokontroler Atmega32.

4) Perangkat lunak

Selain perancangan pada *hardware*, untuk menjalankan perintah-perintah pada mikrokontroler tentunya membutuhkan sebuah perangkat lunak. Perangkat lunak yang digunakan adalah AVR *Studio* 4, perangkat lunak yang direncanakan untuk mikrokontroler Atmega32 mempunyai fungsi sebagai berikut:

- Menerima *input* dari *output* tegangan pengkondisi sinyal.
- Memproses sinyal *inputan* dari pengkondisi sinyal yang kemudian diproses di tampilan ke dalam LCD 16x2 sebagai *monitoring* arus.

Dalam metode pengujian dan kalibrasi yang digunakan yaitu mengacu pada amperemeter analog dan membandingkan hasil pembacaan alat ini dengan tang ampere. Pada pengujian dilakukan pada setiap jenis beban seperti beban resistif, beban induktif, beban kapasitif, campuran beban resistif dan induktif, campuran beban resistif dan kapasitif, campuran beban induktif dan kapasitif, dan campuran.

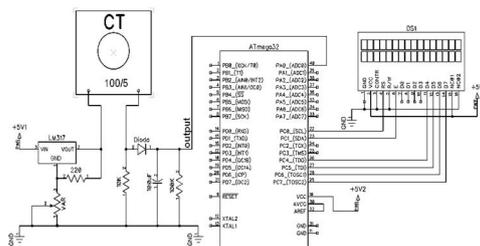
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Alat ukur arus ini merupakan alat yang dapat digunakan untuk pengukuran arus listrik AC (*Alternating Current*) . Pada alat ini menggunakan sensor arus yaitu transformator

arus yang kemudian tegangan keluaran dari belitan sekunder dikonversikan menjadi data digital oleh mikrokontroler yang sebelumnya disearahkan melalui rangkaian pengkondisi sinyal. Dari pengolahan di dalam mikrokontroler kemudian ditampilkan melalui LCD 2x16 untuk hasil pengukurannya. Di sini hanya akan dibahas tentang komponen-komponen yang digunakan pada alat ukur arus ini dan proses pengolahan keluaran dari transformator arus hingga dapat ditampilkan ke LCD 2x16. Selain itu pula membandingkan data hasil pembacaan alat ukur arus ini dengan alat ukur arus tang ampere dengan acuan pembacaan menggunakan amperemeter analog.

#### A. Rangkaian Skematik Perangkat Alat Ukur Arus Digital

Skematik rangkaian perangkat alat ukur arus ini dapat dilihat pada gambar 5. Perangkat tersebut terbagi menjadi beberapa bagian utama yaitu transformator arus, rangkaian pengkondisi sinyal, ATmega32, dan LCD 2x16. Transformator itu sendiri berfungsi sebagai sensor arus listrik AC (*Alternating Current*).



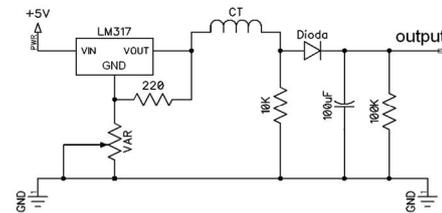
Gbr. 5 Skematik perangkat alat ukur arus

Kemudian rangkaian pengkondisi sinyal difungsikan sebagai penyearah arus AC ke DC. ATmega32 difungsikan sebagai pengolahan data analog ke digital dan kemudian mengolahnya untuk ditampilkan ke LCD 2x16.

#### B. Rangkaian Penyearah Keluaran Tegangan CT

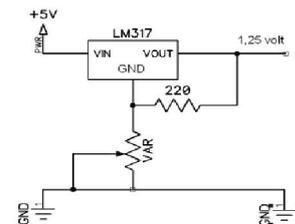
Keluaran tegangan dari transformator arus ini masih dalam arus bolak-balik, sedangkan

dalam pengolahan *analog to digital* membutuhkan arus searah sehingga mendapatkan pembacaan yang benar. Untuk itu perlunya disearahkan terlebih dahulu. Melalui skematik penyearah atau pengkondisi sinyal ini untuk mendapatkan arus searah. Skematik penyearahan ini dapat dilihat pada gambar berikut,



Gbr. 6 Skematik rangkaian pengkondisian sinyal

Terlihat pada gambar 6, rangkaian penyearah ini diberi masukan dengan tegangan DC (*Direct Current*) sebesar 5 volt. Kemudian tegangan 5 volt ini diturunkan melalui rangkaian penstabil tegangan menggunakan LM317 sehingga didapat tegangan keluarannya sebesar 1,25 volt.



Gbr. 7 Skematik rangkaian penstabil tegangan

Rangkaian penstabil tegangan ini bertujuan untuk menurunkan masukan tegangan 5 volt dan mengatur nilai keluarannya secara konstan. Sehingga ketika masukan tegangan berubah-ubah atau tidak tepat 5 volt maka tegangan keluaran yang dihasilkan dari rangkaian penstabil tegangan ini tetap 1,25 volt.

Tujuan dari penggunaan rangkaian penstabil tegangan adalah agar mendapatkan keluaran tegangan yang konstan, hal ini dikarenakan tegangan keluaran penstabil ini akan membawa tegangan sekunder CT (*Current Transformer*). Tegangan sekunder CT (*Current Transformer*) akan berubah-

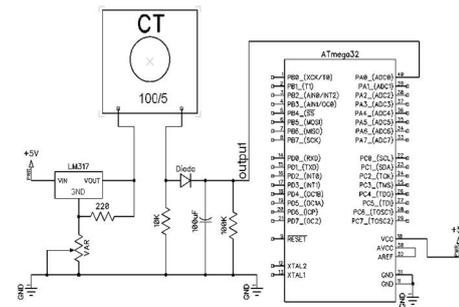
ubah seiring perubahan pada arus yang melaluinya. Sehingga penambahan tegangan yang dihasilkan pada rangkaian pengkondisi sinyal ini dapat diperhitungkan dengan mengurangnya dengan nilai penstabil tegangan yang tetap yang akan dilakukan dalam program.

Keluaran tegangan dari rangkaian penstabil tegangan ini dirangkai seri dengan keluaran tegangan sekunder transformator arus. Keluaran trafo ini masih dalam bentuk arus AC. Tujuan diseri adalah untuk menambahkan nilai tegangan dari belitan sekunder trafo dengan tegangan 1,25 volt. Hal ini dikarenakan keluaran tegangan sekunder hanya sebesar 0,05 VAC/Ampere. Sehingga jika disearahkan langsung melalui dioda, nilai tersebut akan habis oleh *cut off* dioda yaitu 0,7 volt. Setelah ditambahkan dengan tegangan 1,25 volt barulah dapat dilewatkan melalui dioda untuk disearahkan. Tujuan dari rangkaian ini selain untuk penyearahan adalah membawa tegangan keluaran CT (*Current Transformer*) yang tidak mampu menembus tegangan *cut off* dioda. Sehingga nilai keluaran tegangan dari rangkaian pengkondisi sinyal akan berubah seiring beratambahnya arus yang melewati CT (*Current Transformer*). Jadi keluaran tegangan dari rangkaian ini tanpa beban pada CT (*Current Transformer*) adalah 0,9 VDC. Berikut ini adalah beberapa tahap penyearahan yang dilakukan pada rangkaian pengkondisi sinyal.

### C. Konversi Analog to Digital

Pengolahan data analog ke digital ini dilakukan oleh mikrokontroler ATmega32 yang mana memiliki delapan pin ADC (*Analog to digital converter*) yaitu PA0 sampai PA7. Dalam alat ini hanya menggunakan salah satu yaitu PA0. Pada alat ini juga menggunakan resolusi ADC (*Analog to digital converter*) 10 bit. Mikrokontroler ini diprogram untuk mengartikan bahasa mesin sehingga PA0 diaktifkan untuk pembacaan

keluaran tegangan dari rangkaian penyearah seperti pada gambar 4.7 berikut.

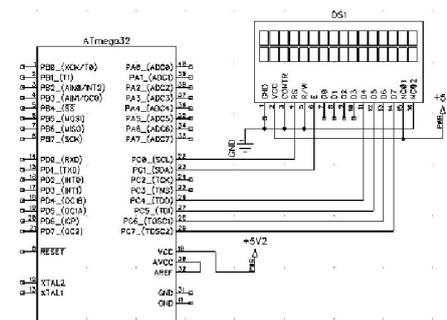


Gbr. 8 Analog to Digital Converter

Dalam konversi ADC (*Analog to digital converter*) ini menggunakan resolusi 10 bit sehingga 10 bit ini dalam biner adalah  $2^{10} = 1024$ . Jadi jangkauan kerja ADC (*Analog to digital converter*) yang digunakan adalah 0 sampai 1024.

### D. Rangkaian Antar Muka Data Pengukuran

Hasil pengukuran dari CT (*Current Transformer*) ini ditampilkan dalam bentuk digital menggunakan LCD 2x16. Rangkaian ini terdiri dari mikrokontroler yang dirangkai pada LCD 2x16 melalui pin-pin yang telah ditentukan dalam program. Gambar rangkaian dapat dilihat pada gambar 9 dibawah ini:



Gbr. 9 Rangkaian interfacing data pengukuran

### E. Pengujian Pembacaan Arus

Dalam melakukan pengujian pembacaan alat ukur arus ini dibandingkan dengan tang ampere dan alat ukur arus analog. Data pengujian dibagi menjadi beberapa pengujian jenis beban diantaranya yaitu beban resistif, beban induktif, beban kapasitif, beban resistif dan induktif, beban resistif dan kapasitif,

beban kapasitif dan induktif, dan campuran beban kapasitif, induktif dan resistif.

### 1) Pengujian dengan beban resistif

Tabel 1. Pengujian pengukuran arus dengan beban resistif

No	Vs (V)	P (Watt)	Pembacaan arus			Cos phi
			Analog (A)	Tang (A)	Alat (A)	
1	220	20	0.1	0	0	1
2	220	42	0.19	0	0	1
3	220	56	0.25	0	0	1
4	220	82	0.37	0	0	1
5	220	96	0.43	0	0	1
6	220	110	0.5	0	0.5	1
7	220	150	0.67	0	0.64	1
8	220	218	1.08	0.8	0.84	1
9	220	290	1.34	1	1.39	1
10	220	330	1.5	1.1	1.49	1
11	220	400	1.84	1.5	1.88	1
12	220	440	1.98	1.6	1.98	1
13	220	510	2.35	1.9	2.37	1
14	220	640	2.95	2.5	3.05	1
15	220	730	3.4	2.9	3.79	1
16	220	810	3.7	3.1	3.89	1
17	220	970	4.4	4.0	4.46	1
18	220	1040	4.7	4.2	4.75	1
19	220	1150	5.2	4.8	5.23	1

Pengujian di atas menggunakan beban-beban jenis beban resistif, alat yang digunakan antara lain seperti lampu pijar, setrika, *heater*, dan solder. Dalam pengujian untuk memperoleh besaran daya yang bervariasi seperti terlihat diatas, maka dari beberapa jenis alat-alat tersebut dikombinasikan dalam penggunaannya. Data di atas membandingkan pembacaan arus antara tang ampere, amperemeter analog, dan alat ini sendiri. Pengujian dilakukan dengan berbagai besaran daya yang diukur menggunakan wattmeter analog.

Sebagai berikut nilai *error* pembacaan dari tang ampere dan alat ini terhadap amperemeter analog :

Tabel 2. *Error* pengukuran arus dengan beban resistif

No	Pembacaan Arus			<i>Error</i> Alat	<i>Error</i> Tang Ampere
	Analog (A)	Tang (A)	Alat (A)		
1	0.1	0	0	0,1	0,1
2	0.19	0	0	0,19	0,19
3	0.25	0	0	0,25	0,25
4	0.37	0	0	0,17	0,37
5	0.43	0	0	0,11	0,43
6	0.5	0	0.5	0	0,5
7	0.67	0	0.64	0,03	0,67
8	1.08	0.8	0.84	0,24	0,28
9	1.34	1	1.39	0,05	0,34
10	1.5	1.1	1.49	0,01	0,4
11	1.84	1.5	1.88	0,04	0,34
12	1.98	1.6	1.98	0	0,38
13	2.35	1.9	2.37	0,02	0,45
14	2.95	2.5	3.05	0,1	0,45
15	3.4	2.9	3.79	0,39	0,5
16	3.7	3.1	3.89	0,19	0,6
17	4.4	4.0	4.46	0,06	0,4
18	4.7	4.2	4.75	0,05	0,5
19	5.2	4.8	5.23	0,03	0,4
Rata-rata <i>Error</i>				0,107	0,4

### 2) Pengujian dengan beban induktif

Hasil dari pengujian dengan beban induktif disajikan pada tabel 3 berikut ini :

Tabel 3. Pengujian pengukuran arus dengan beban induktif

No	Vs (V)	Pembacaan Arus			Cos phi	L (H)
		Analog (A)	Tang (A)	Alat (A)		
1	220	0.7	0	0	0.5 lag	0.8
2	220	0.9	0.6	0.66	0.35 lag	0.6
3	220	1.35	1.2	1.22	0.25 lag	0.4
4	220	2.95	2.4	2.93	0.2 lag	0.2

Tabel 4. *Error* pengukuran arus dengan beban induktif

No	Pembacaan Arus			<i>Error</i> Alat	<i>Error</i> Tang Ampere
	Analog (A)	Tang (A)	Alat (A)		
1.	0.7	0	0	0.7	0.7
2.	0.9	0.6	0.66	0.24	0.3
3.	1.35	1.2	1.22	0.13	0.15
4.	2.95	2.4	2.93	0.02	0.55
Rata-rata <i>Error</i>				0.272	0.425

## 3) Pengujian dengan beban kapasitif

Data hasil pengujian menggunakan beban kapasitif, sebagai berikut:

Tabel 5. Pengujian pengukuran arus dengan beban kapasitif

No	Vs (V)	Kapasitor ( $\mu\text{f}$ )	Pembacaan Arus			Cos phi
			Analog (A)	Tang (A)	Alat (A)	
1	220	2	0.15	0	0	0.99 lead
2	220	4	0.29	0	0	0.93 lead
3	220	6	0.43	0	0	0.81 lead
4	220	8	0.57	0	0.56	0.7 lead
5	220	10	0.71	0	0.56	0.54 lead
6	220	16	1.15	0	1.32	0.3 lead
7	220	20	1.45	1.3	1.41	0.2 lead
8	220	32	2.25	1.9	2.3	0.2 lead

Tabel 6. *Error* pengukuran arus dengan beban kapasitif

No	Pembacaan Arus			<i>Error</i> Alat	<i>Error</i> Tang Ampere
	Analog (A)	Tang (A)	Alat (A)		
1.	0.15	0	0	0.15	0.15
2.	0.29	0	0	0.29	0.29
3.	0.43	0	0	0.43	0.43
4.	0.57	0	0.56	0.01	0.57
5.	0.71	0	0.56	0.15	0.71
6.	1.15	0	1.32	0.17	1.15
7.	1.45	1.3	1.41	0.04	0.15
8.	2.25	1.9	2.3	0.05	0.35
Rata-rata <i>Error</i>				0.1612	0.475

## 4) Pengujian dengan beban resistif dan induktif

Pada pengujian ini dilakukan penggabungan antara beban resistif dan induktif. Data hasil pengujian sebagai berikut:

Tabel 7. Pengujian pengukuran arus dengan beban resistif dan induktif

No	Vs (V)	P (Watt)	Pembacaan Arus			Cos phi
			Analog (A)	Tang (A)	Alat (A)	
1.	220	50	1.45	1.1	1.4	0.3 lag
2.	220	320	2.15	1.7	2.0	0.74 lag
3.	220	460	2.5	2.2	2.4	0.84 lag
4.	220	610	3.2	2.9	3.2	0.92 lag
5.	220	860	4.15	3.8	4.2	0.95 lag
6.	220	1050	5.0	4.7	4.9	0.97 lag

Tabel 7 merupakan tabel data hasil pengujian menggunakan beban resistif dan induktif. Pada pengujian ini, nilai beban induktif bernilai tetap pada setiap pengujian yaitu sebesar 0.2 Henry. Sedangkan beban resistif yang digunakan dengan besaran yang berbeda-beda pada setiap pengujianya sebagai variasi besaran beban pengujian.

Tabel 8. *Error* pengukuran arus dengan beban resistif dan induktif

No	Pembacaan Arus			<i>Error</i> Alat	<i>Error</i> Tang Ampere
	Analog (A)	Tang (A)	Alat (A)		
1.	1.45	1.1	1.46	0.01	0.35
2.	2.15	1.7	2.05	0.1	0.45
3.	2.5	2.2	2.44	0.06	0.3
4.	3.2	2.9	3.22	0.02	0.3
5.	4.15	3.8	4.2	0.05	0.35
6.	5	4.7	4.98	0.02	0.3
Rata-rata <i>Error</i>				0.043	0.341667

## 5) Pengujian dengan beban resistif dan kapasitif.

Pada pengujian ini dilakukan penggabungan beban antara beban resistif dan beban kapasitif. Berikut ini hasil data pengujian dengan beban resistif dan kapasitif:

Tabel 9. Pengujian pengukuran arus dengan beban resistif dan kapasitif

No	Vs (Volt)	P (Watt)	Pembacaan Arus			Cos phi
			Analog (A)	Tang (A)	Alat (A)	
1.	220	80	0.5	0	0.56	0.81 lead
2.	220	100	0.7	0.6	0.56	0.82 lead
3.	220	275	1.4	1.2	1.32	0.95 lead
4.	220	300	1.5	1.3	1.47	0.96 lead
5.	220	595	2.8	2.6	2.83	0.99 lead
6.	220	870	4.0	3.7	4.01	0.99 lead
7.	220	990	4.55	4.2	4.59	0.99 lead

Tabel 9 merupakan data hasil pengujian menggunakan beban resistif dan kapasitif. Dalam pengujian, nilai kapasitor yang digunakan bernilai 6 uF pada setiap pengujian. Sedangkan nilai beban resistif divariasikan sebagai variasi pembebanan. Terlihat pada tabel di atas semakin besar nilai daya pembebanan, ini mengartikan nilai beban resistif semakin besar dan hasil nilai pembacaan arus semakin besar. Begitu pula pada pembacaan cos phi yang semakin mendekati 1.

Tabel 10. *Error* pengukuran arus dengan beban resistif dan kapasitif

No.	Pembacaan Arus			<i>Error</i> Alat	<i>Error</i> Tang Ampere
	Analog (A)	Tang (A)	Alat (A)		
1.	0.51	0	0.56	0.05	0.51
2.	0.7	0.6	0.56	0.14	0.1
3.	1.4	1.2	1.32	0.08	0.2
4.	1.5	1.3	1.47	0.03	0.2
5.	2.8	2.6	2.83	0.03	0.2
6.	4	3.7	4.01	0.01	0.3
7.	4.55	4.2	4.59	0.04	0.35
Rata-rata <i>Error</i>				0.0542	0.2657

## 6) Pengujian dengan beban induktif dan kapasitif

Pada pengujian ini dilakukan pencampuran beban antara beban induktif dan kapasitif. Berikut ini data hasil pengujian dari pengujian dengan beban kapasitif dan induktif :

Tabel 11. Pengujian pengukuran arus dengan beban induktif dan kapasitif

No	Pembacaan Arus			Cos phi	L (H)	C (uf)
	Analog (A)	Tang (A)	Alat (A)			
1	0.4	0	0	0.86 lag	0.6	8
2	0.84	0	0.56	0.44 lag	0.4	8
3	1.1	0.7	1.26	0.32 lag	0.4	4
4	0.44	0	0	0.94 lag	0.4	16
5	2.35	1.9	2.34	0.25 lag	0.2	8
6	2.6	2.2	2.56	0.22 lag	0.2	4
7	1.85	1.4	1.95	0.34 lag	0.2	16

Tabel 12. *Error* pengukuran arus dengan beban induktif dan kapasitif

No	Pembacaan Arus			<i>Error</i> Alat	<i>Error</i> Tang Ampere
	Analog (A)	Tang (A)	Alat (A)		
1	0.4	0	0	0.4	0.4
2	0.84	0	0.56	0.28	0.84
3	1.1	0.7	1.26	0.16	0.4
4	0.44	0	0	0.44	0.44
5	2.35	1.9	2.34	0.01	0.45
6	2.6	2.2	2.56	0.04	0.4
7	1.85	1.4	1.95	0.1	0.45
Rata-rata <i>Error</i>				0.2042	0.4828

## 7) Pengujian dengan beban resistif, induktif, dan kapasitif

Pada pengujian ini dilakukan pencampuran antara beban resistif, beban induktif, dan kapasitif. Pada pengujian ini beban kapasitif yang digunakan adalah kapasit dengan nilai 16 uF. Berikut data hasil pengujiannya :

Tabel 13. Pengujian pengukuran arus dengan beban resistif, induktif, dan kapasitif

No.	Pembacaan Arus			Cos phi	L (H)	C uF
	I Analog (A)	I Tang (A)	I alat (A)			
1.	1.1	0.8	1.26	0.36 lag	0.4	4
2.	1.8	1.5	1.85	0.82 lag	0.4	4
3.	2.35	2.1	2.24	0.9 lag	0.4	4
4.	3.5	3.1	3.52	0.96 lag	0.4	4
5.	4.1	3.7	4.1	0.97 lag	0.4	4
6.	5.2	4.9	5.17	0.98 lag	0.4	4

Tabel 14. Error pengukuran arus dengan beban resistif, induktif, dan kapasitif

No.	Pembacaan Arus			Error Alat	Error Tang Ampere
	Analog (A)	Tang (A)	Alat (A)		
1.	1.1	0.8	1.26	0.16	0.3
2.	1.8	1.5	1.85	0.05	0.3
3.	2.35	2.1	2.24	0.11	0.25
4.	3.5	3.1	3.52	0.02	0.4
5.	4.1	3.7	4.1	0	0.4
6.	5.2	4.9	5.17	0.03	0.3
Rata-rata Error				0.061	0.325

#### F. Pembahasan

Pengujian yang telah dilakukan memberikan hasil yang dapat dijadikan titik acuan apakah alat ini dapat melakukan pembacaan arus dengan tepat atau tidak. Dalam tahap pengujian dilakukan kombinasi besaran daya pada setiap jenis pembebanan. Pada tahap pengujian semua jenis beban, alat ini dapat membaca arus pada semua variasi besaran daya. Untuk sebagai tolak ukur kepresisian pembacaan arus, alat ini dibandingkan dengan pembacaan amperemeter analog dan tang ampere. Amperemeter analog disini digunakan sebagai patokan pembacaan arus dan tang ampere digunakan sebagai pembanding pembacaan arus dengan alat ini. Pada pengujian ini selain menggunakan amperemeter analog, tang ampere dan alat ini sebagai pembacaan arus, digunakan pula cosphi meter dan watt meter.

Pada tahap pengujian, terdapat perbedaan pembacaan dan perbedaan awalan pembacaan antara amperemeter analog, tang ampere, dan

alat ini sendiri. Pada tahap pengujian menggunakan pembebanan beban resistif, tang ampere baru dapat menampilkan hasil pembacaan pada saat penggunaan beban sebesar 218 watt dengan hasil pembacaan arus 0.8 A. Untuk pembacaan pada alat ini dapat menampilkan pembacaan pada beban sebesar 110 watt dengan pembacaan arus 0.5 A. Sedangkan amperemeter analog yang digunakan dengan skala 0.1 A. Kelebihan dari amperemeter analog adalah dapat membaca arus rendah tergantung pada skala pembacaannya. Ini kelebihan dari sistem induksi, dan ini seperti pada prinsip kerja amperemeter analog itu sendiri. Berbeda dengan sistem digital yang digunakan pada tang ampere maupun alat yang dibangun ini. Pada sistem alat ukur digital ini dilakukan pengkonversian analog ke digital. Pada proses pengolahan ini tergantung dari berapa bit ADC (*Analog Digital Converter*) yang digunakan. Karena penggunaan bit konversi ini sangat mempengaruhi ketelitian dari pencuplikan data konversi dari analog ke digital. Dari pencuplikan ini diperoleh nilai resolusi. Pada alat ukur yang dibangun ini, dalam pengkonversian ADC (*Analog Digital Converter*) menggunakan resolusi 10 bit dengan tegangan referensi sebesar 5 volt. Sehingga resolusi tegangan pencuplikannya 4.8 mV, nilai resolusi ini mewakili setiap satu nilai pengkonversian analog ke digital. Jadi setiap terjadi penambahan tegangan keluaran dari sisi sekunder transformator arus sebesar 4.8 mV akan terbaca pada pengkonversian ADC (*Analog Digital Converter*) yang digunakan.

Sebelum dilakukan pengukuran, pada tampilan *interface* di LCD 2x16 ditampilkan pembacaan 0 A. Pada kondisi ini, sebenarnya sudah terjadi pengkonversian analog ke digital. Karena saat kondisi ini, ADC sudah membaca tegangan masukan dari pengkondisi sinyal sebesar 0.9 volt. Nilai ini dikonversi ke ADC akan menjadi nilai 185 (desimal). Sehingga pada program, ketika

ADC membaca nilai dibawah 185 akan melakukan penampilan pada LCD pembacaan 0 A dan akan terjadi pembacaan arus ketika ADC lebih besar dari 185. Dari sinilah maka pembacaan baru dapat dilakukan ketika beban sebesar 80 Watt dengan pembacaan 0.54 A.

Untuk hasil pembacaan dari masing-masing pengujian beban, nilai *error* pada pengujian menggunakan beban resistif tertinggi pada alat ini sebesar 0.3 A dan pada tang ampere sebesar 0.67 A. Pada pengujian ini nilai *error* masih lebih besar tang ampere dibandingkan alat ini. Pengujian selanjutnya menggunakan beban induktif. Pada pengujian ini, beban induktif yang digunakan adalah beban induktif murni. Beban induktif ini ditandai dengan pembacaan cos phi meter yang *lagging*. Dari hasil pengujian menggunakan beban induktif, nilai rata-rata *error* pembacaan alat ini terhadap amperemeter analog 0.2725, sedangkan pada tang ampere 0.425. Pengujian selanjutnya menggunakan beban kapasitif. Pada pengujian ini beban yang digunakan berupa kapasitor dengan nilai 2 uF, 4 uF, 8 uF, 10 uF, 16 uF, 20 uF dan 32 uF. Daya yang dihasilkan berupa daya reaktif, sehingga ketika melakukan pengujian watt meter tidak dapat membaca besaran daya. Karena seharusnya dipasang alat ukur daya reaktif. Dari pengujian ini nilai cos phi meter menunjukkan daya kapasitif dengan arah jarum *leading*. Dari pengujian ini dihasilkan nilai rata-rata pembacaan arus pada alat ini sebesar 0.16125 A dan tang ampere sebesar 0.475 A. Selanjutnya pengujian menggunakan beban campuran. Beban campuran yang pertama yaitu resistif dan induktif. Di pengujian ini alat-alat beban induktif digunakan bersamaan dengan beban resistif. Beban induktif yang digunakan dengan nilai tetap yaitu 0.2 Henry. Sedangkan beban resistif sebagai variasi beban. Nilai rata-rata *error* dari alat ini terhadap amperemeter analog sebesar 0.04333 A dan tang ampere sebesar 0.341667 A. Terlihat nilai *error*

masih lebih kecil alat ini dengan tang ampere. Pengujian campuran selanjutnya menggunakan resistif dan kapasitif. Pada pengujian ini beban kapasitif menggunakan kapasitor 6 uF sebanyak satu buah. Untuk kombinasi besaran beban ditambahkan dengan beban resistif. Semakin besar nilai beban resistif yang dicampurkan, mempengaruhi nilai cos phi meter yang semakin besar atau mendekati 1. Rata-rata *error* pada alat ini sebesar 0.05428 A dan tang ampere sebesar 0.265714 A. Pengujian campuran selanjutnya menggunakan beban induktif dan kapasitif. Pada pengujian ini, beban kapasitif dan induktif di variasikan setiap pengujian. Semakin kecil nilai beban induktif yang dicampurkan, factor daya pada cos phi meter menjauhi nilai 1. Dari pengujian ini, nilai *error* alat ini terhadap amperemeter analog sebesar 0.204286 A dan tang ampere sebesar 0.482857 A. Pengujian yang terakhir adalah menggunakan beban campuran ketiganya, yaitu menggunakan beban kapasitif, resistif dan induktif diuji secara bersamaan. Pada pengujian ini beban kapasitif menggunakan kapasitor 4 uF, beban induktif dicampurkan sebesar 0.4 Henry, dan beban resistif dikombinasikan. Dari pengujian ini diperoleh nilai rata-rata *error* dari alat ini terhadap amperemeter analog sebesar 0.061667A dan tang ampere sebesar 0.325 A. Dari nilai rata-rata *error* pada beban campuran ketiganya ini, alat ini termasuk dalam alat ukur kelas 1.5.

Dari pengujian-pengujian yang dilakukan, pembacaan antara amperemeter analog, tang ampere, dan alat ini tidak semua datanya dalam pembacaan sama persis. Terjadi selisih-selisih pembacaan yang ditandai adanya nilai rata-rata *error*. Untuk alat ini, nilai rata-rata *error* terbesar terjadi pada pengujian induktif dengan nilai rata-rata *error* 0.2725 A. Terjadinya selisih dari ketiga alat ukur ini dipengaruhi dari prinsip kerja, range pembacaan, dan kelas alat ukur yang digunakan. Amperemeter analog bekerja

berdasarkan prinsip induksi dengan memanfaatkan kumparan yang terdapat di dalamnya. Alat ukur dengan kerja induksi ini lebih sensitif kepada adanya pergerakan arus. Karena arus ini yang akan mengakibatkan terjadinya induksi. Sedangkan pada alat ukur digital harus melakukan konversi analog ke digital. Pengkonversian ini tergantung dari besar resolusi tegangan yang digunakan, semakin kecil resolusinya semakin sensitif pembacaannya. Karena ini mempengaruhi nilai pencuplikan sinyal. Dengan demikian dapat disimpulkan, perbedaan atau selisih pembacaan antara tang ampere dan alat ini dapat dipengaruhi dari resolusi tegangan ADC yang digunakan. Hal ini terlihat dari kemampuan pembacaan arus terkecil pada tahap pengujian. Pada pengujian, tang ampere baru dapat membaca arus dengan daya 130 watt dan alat ini 82 watt. Sedangkan pada amperemeter dapat membaca hingga 0.1 A, hal ini karena amperemeter analog yang digunakan menggunakan skala 0.1.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari Rancang Bangun Alat Ukur Arus Menggunakan Transformator Arus Berbasis Mikrokontroler ATmega32 ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Alat ukur yang dibangun dapat mengolah data analog dari transformator arus menjadi data digital.
- 2) Alat ukur yang dibangun dapat menampilkan hasil pembacaan arus yang sudah diolah menjadi digital melalui LCD 2x16.
- 3) Dari kemampuan pengkonversian data analog ke digital yang dilakukan pada mikrokontroler, alat ini mampu membaca arus terbesar 82 Ampere.
- 4) Dari hasil pengujian, alat yang dibangun mampu membaca nilai arus dengan berbagai variasi jenis beban.

- 5) Dari hasil pengujian, alat ini memiliki ketelitian yang baik dengan nilai *error* terbesar 0.2725.
- 6) Dari hasil pengujian, alat ini mampu membaca arus pada besaran daya terkecil sebesar 110 watt.
- 7) Dari hasil pengujian pada pengujian menggunakan beban campuran ketiganya alat ini termasuk dalam kelas 1.5.
- 8) Dari klasifikasi kelas alat ukur, alat ukur yang dibangun layak digunakan sebagai pengukuran.

## REFERENSI

- [1] Modul PT.PLN. *Transformator arus (CT)*. Nomor dokumen P3B/OMPROT/01/TDSR. 2005.
- [2] Winoto, Ardi. 2009. *Mikrokontroler AVR dan Pemrogramannya Dengan Bahasa C Pada Win AVR*. Informatika. Bandung.
- [3] Waluyanti, Sri. 2008. *Alat Ukur dan Teknik Pengukuran*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Jakarta.