

Purwarupa Monitoring Pengukuran Faktor Daya pada Jaringan Tegangan Rendah

¹Josaphat Pramudijanto, ²Abdul Rahman Wachid

^{1,2} Departemen Teknik Elektro Otomasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

¹ jos@ee.its.ac.id, ² wachid.its@gmail.com

Abstrak—Banyaknya beban induktif yang ada pada saluran tegangan rendah, dapat menyebabkan penurunan faktor daya pada saluran tersebut. Faktor daya dapat mempengaruhi keandalan trafo distribusi dan jaringan tegangan rendah. Pada penelitian ini dibuat purwarupa berbasis mikrokontroler untuk memonitor jaringan tegangan rendah agar dapat mengetahui faktor daya jaringan tegangan rendah tersebut. Pengukuran faktor daya ini dibuat dengan cara menggunakan 3 Voltmeter. Arus dan tegangan 3 Voltmeter diukur kemudian ditampilkan ke LCD dan dikirim melalui media wifi untuk dilakukan monitoring secara jarak jauh. Perangkat ini juga dilengkapi media penyimpanan untuk cadangan hasil pengukuran. Hasil dari purwarupa ini mampu mengukur tegangan pada 3 Voltmeter dengan nilai kesalahan kurang dari 0,5% dan pengukuran arus mempunyai kesalahan kurang dari 0,5%. Hasil monitoring faktor daya juga diuji dengan menggunakan beberapa beban induktif dengan faktor daya antara 0,3 sampai 1.

Kata Kunci—Faktor Daya, Monitoring, dan 3 Voltmeter.

Abstract—Inductive loads that exist in low voltage conduits, can cause a decrease in power factor on the channel. The power factor may affect the reliability of distribution transformers and low voltage networks. In this research, a microcontroller based prototype is designed to monitor low voltage networks in order to know the low voltage network power factor. This power factor measurement is made by using 3 Voltmeter. The measured 3 Voltmeter current and voltage are then displayed to the LCD and transmitted over the wifi medium for remote monitoring. The device also features storage media for measurement backup. The result of this prototype is capable of measuring voltage at 3 Voltmeter with error value less than 0.5% and current measurement has error less than 0.5%. Power factor monitoring results were also tested using some inductive loads with a power factor of between 0.3 and 1.

Keywords-Power Factor, Monitoring, and 3 Voltmeter

I. Pendahuluan

Kebutuhan terhadap beban yang bersifat induktif belakangan ini semakin meningkat terutama pada penggunaan tenaga listrik tegangan rendah. PT PLN (Persero) sebagai salah satu pengelola jaringan tegangan rendah mengalami masalah dalam menjaga kualitas

energi listrik terutama pelanggan Tegangan Rendah. Faktor daya yang dinotasikan sebagai $\cos \phi$ didefinisikan sebagai perbandingan antara arus yang dapat menghasilkan kerja didalam suatu rangkaian terhadap arus total yang masuk kedalam rangkaian atau dapat dikatakan sebagai perbandingan daya aktif (kW) dan daya semu (kVA). Dalam sistem tenaga listrik dikenal 3 jenis faktor daya yaitu faktor daya unity, faktor daya terbelakang (*lagging*) dan faktor daya terdahulu (*leading*) yang ditentukan oleh jenis beban yang ada pada sistem. Penurunan nilai faktor daya yang terjadi pada pelanggan tegangan rendah dipengaruhi oleh penggunaan beban yang bersifat induktif seperti, Motor induksi, Trafo pada Lampu TL, Kompresor Kulkas dan Las Listrik. Saat ini belum dilakukan monitoring untuk mengamati faktor daya terhadap jaringan tegangan rendah. Yang dilakukan monitoring selama ini pada pelanggan jaringan 20kV yang pemakaian energi listriknya cukup besar. Bagi pelanggan yang faktor dayanya kurang dari satu akan dikenai denda. Jika kualitas faktor daya di masing-masing jaringan tegangan rendah akan berakumulasi dan bisa mempengaruhi kinerja trafo distribusi [1][2].

Purwarupa ini diharapkan jadi salah satu perangkat pembantu PT. PLN Persero untuk memonitor faktor daya meter yang relatif murah dan melakukan langkah-langkah sejak dini untuk mendapatkan nilai faktor daya pada jaringan tegangan rendah.

II. Metode Penelitian

A. Faktor Daya

Faktor daya yang dinotasikan sebagai $\cos \phi$ didefinisikan sebagai perbandingan antara arus yang dapat menghasilkan kerja didalam suatu rangkaian

terhadap arus total yang masuk kedalam rangkaian atau dapat dikatakan sebagai perbandingan daya aktif (kW) dan daya semu (kVA). Daya reaktif yang tinggi akan meningkatkan sudut ini dan sebagai hasilnya faktor daya akan menjadi lebih rendah. Faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu [1].

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \tag{1}$$

Dalam sistem tenaga listrik dikenal 3 jenis faktor daya yaitu faktor daya unity, faktor daya terbelakang (*lagging*) dan faktor daya terdahulu (*leading*) yang ditentukan oleh jenis beban yang ada pada sistem.

1. Faktor Daya *Unity*

Faktor daya unity adalah keadaan saat nilai $\cos \varphi$ adalah satu dan tegangan sephasa dengan arus. Faktor daya *Unity* akan terjadi bila jenis beban adalah resistif murni



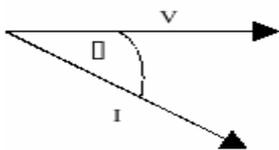
Gambar 1. Arus Sephase dengan Tegangan

Pada Gambar 1 terlihat nilai $\cos \varphi$ sama dengan 1, yang menyebabkan jumlah daya nyata yang dikonsumsi beban sama dengan daya semu.

2. Faktor Daya Terbelakang (*Lagging*)

Faktor daya terbelakang (*lagging*) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut :

- Beban/peralatan listrik memerlukan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat induktif.
- Arus (I) terbelakang dari tegangan (V), V mendahului I dengan sudut φ



Gambar 2. Arus Tertinggal dari Tegangan Sebesar Sudut φ

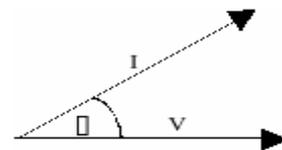
Dari Gambar 2 terlihat bahwa arus tertinggal dari tegangan maka daya reaktif mendahului daya semu, berarti beban membutuhkan atau menerima daya reaktif dari sistem.

3. Faktor Daya Mendahului (*Leading*)

Faktor daya mendahului (*leading*) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut :

- Beban/peralatan listrik memberikan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat kapasitif.
- Arus (I) mendahului tegangan (V), V terbelakang dari I dengan sudut φ

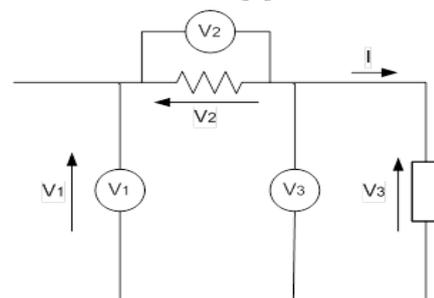
Dari Gambar 3 terlihat bahwa arus mendahului tegangan maka daya reaktif tertinggal dari daya semu, berarti beban memberikan daya reaktif kepada sistem.



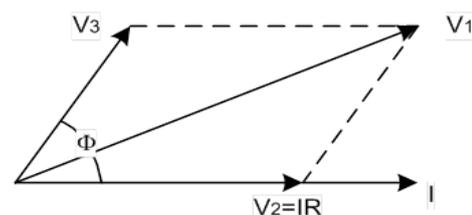
Gambar 3. Arus Mendahului vektor Tegangan Sebesar Sudut φ

B. Metode 3 Voltmeter

Pengukuran faktor daya dapat diukur dengan menggunakan 3 Voltmeter atau tiga Ampermeter. Pada tugas akhir ini dalam mendapatkan nilai faktor daya pada suatu beban digunakan metode 3 Voltmeter. Gambar 4 memperlihatkan pengukuran daya dengan menggunakan metode 3 Voltmeter tersebut [3].



Gambar 4. Diagram Metode 3 Voltmeter



Gambar 5. Vektor pada Metode 3 Voltmeter

Gambar 4 memperlihatkan mekanisme pengambilan data 3 Voltmeter yang digunakan pada penelitian ini.

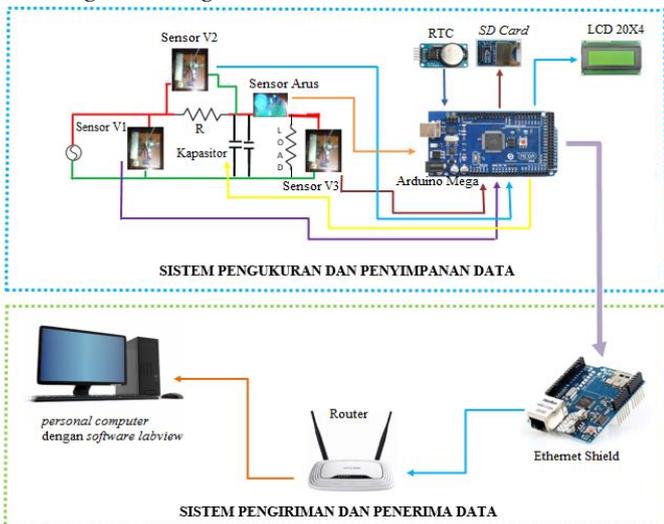
Hasil dari pengukuran 3 tegangan tersebut dapat diperoleh vektor untuk menentukan sebuah nilai faktor daya. Seperti yang terlihat pada Gambar 5, $\cos \phi$ dapat diukur dengan Persamaan 2, rumus 3 Voltmeter. Dari vektor pada Gambar 5, maka dapat diperoleh rumus untuk menentukan nilai faktor daya dengan metode 3 Voltmeter, sesuai dengan Persamaan 2.

$$\cos \phi = \frac{V_1^2 - V_2^2 - V_3^2}{2V_2V_3} \quad (2)$$

III. Pembuatan dan Pengukuran

Penelitian ini diawali dengan merancang Sistem Monitoring dengan menggunakan Arduino Mega untuk mengolah pengukuran 3 tegangan dan arus yang melalui jaringan tegangan rendah. Hasilnya selain dikirimkan melalui media wifi juga direkam kedalam SD Card. Secara lengkap diagram fungsional purwarupa perangkat dapat dilihat pada Gambar 6.

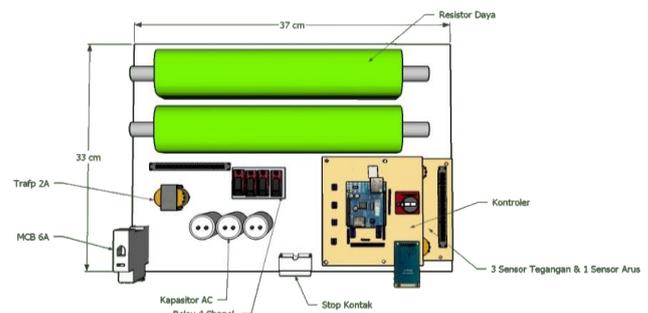
A. Diagram Fungsional Alat



Gambar 6. Diagram Fungsional Purwarupa Perangkat

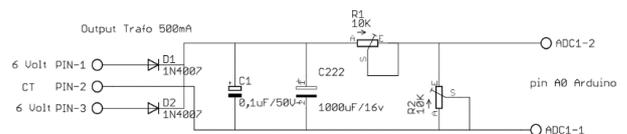
Purwarupa ini mempunyai dua fungsi yaitu sebagai monitoring pengukuran faktor daya pada beberapa beban yang berada pada jaringan tegangan rendah serta dapat digunakan untuk menyimpan pengukuran faktor daya, tegangan dan arus secara real time.

Monitoring pengukuran faktor daya pada jaringan tegangan rendah diawali dengan melakukan pembacaan 3 sensor tegangan, kemudian tegangan output dari 3 sensor akan dibaca oleh analog input Arduino dan akan diolah menjadi 3 nilai tegangan, lalu hasil nilai 3 tegangan tersebut akan dikelola kembali oleh Arduino untuk mendapatkan nilai faktor daya dengan metode 3 Voltmeter. Saat pembacaan nilai tegangan dan arus juga dicatat waktu saat pengambilan data melalui RTC. Nilai pembacaan ini disimpan dalam SD Card dengan format file excel. Pengukuran juga dikirim ke komputer secara wireless dengan media wifi. Komputer akan dilakukan pengolahan data faktor daya dengan menggunakan software Labview.



Gambar 7. Rancangan Purwarupa Perangkat

B. Sensor Tegangan



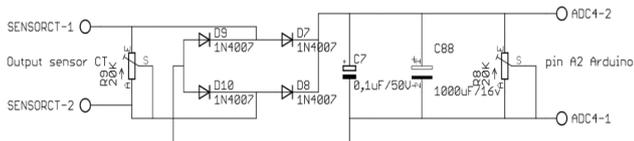
Gambar 8. Rangkaian Sensor Tegangan

Transformator stepdown sebagai sensor tegangan ini bertujuan untuk menurunkan nilai tegangan kerja (220 Volt). Output transformator stepdown sebesar 6,68 Volt nilai tersebut masih terlalu besar untuk digunakan sebagai sensor yang akan dibaca oleh analog input Arduino maka setelah tegangan diturunkan diberi rangkaian pembagi tegangan yakni terdiri dari dua buah resistor variabel dengan besar resistansi 10 kΩ, sehingga nilai tegangan 6,45 Volt dapat diatur menjadi 4,5 Volt untuk tegangan 250 Volt.

Tegangan keluaran dari transformator stepdown perlu disearahkan menggunakan rangkaian fullwave rectifier

dengan dioda 1N4007. Sebelum data dikirim ke Arduino, output dari rangkaian penyearah diberi kapasitor untuk mengurangi ripple yang terjadi, nilai kapasitor yang digunakan yakni 1000 μF . Skema rangkaian sensor tegangan ini dibuat 3 buah karena digunakan mengukur 3 tegangan ditunjukkan oleh Gambar 8.

C. Sensor Arus



Gambar 9. Rangkaian Pengkondisi CT

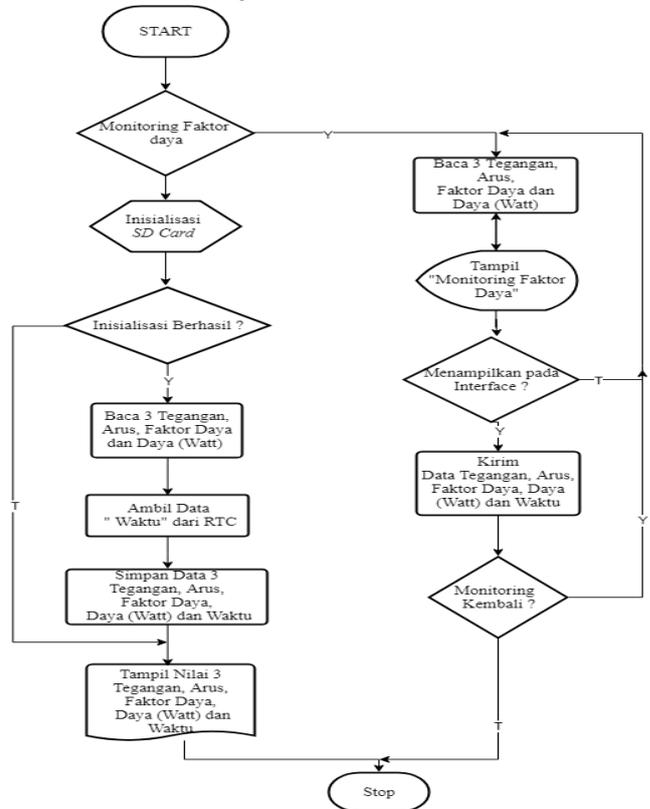
Sensor arus pada penelitian ini menggunakan sebuah current transformers yang nantinya data arus yang diukur menjadi output berupa arus tetapi dalam satuan mA. Current transformers ini mampu mengukur hingga 6 A. Karena output dari current transformers ini masih dalam besaran arus maka perlu ditambahkan rangkaian pengkondisi. Rangkaian pengkondisi sensor arus current transformers ditunjukkan pada Gambar 9.

Untuk resistor variabel pada penelitian ini digunakan sebesar 20 k Ω untuk output dari sensor, dan pada resistor variabel yang mengatur linearitas sensor sebesar 240 Ω . Jadi dalam 1 A arus yang melewati sensor maka output dari sensor sebesar 240 mV. Sedangkan untuk mengurangi ripple yang timbul maka diberi kapasitor sebesar 1000 μF , dan sebesar 100 nF. Arus yang keluar dari sensor tersebut masih dalam besaran arus AC yang dimana gelombangnya masih berupa sinus, oleh karena itu diberi rangkaian fullwave rectifier agar kondisi dari output sensor menjadi DC, dan mempermudah pembacaan sensor oleh analog input Arduino.

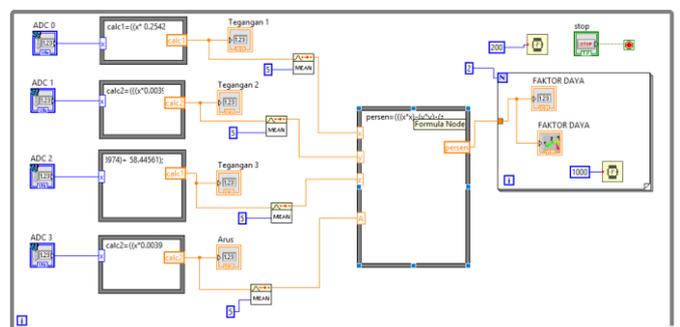
D. Flowchat Program Arduino

Flowchart pemrograman pada Arduino terlihat pada Gambar 10, di mana Arduino akan membaca output dari setiap sensor, yaitu sensor arus, dan 3 sensor tegangan yang akan diubah kedalam tegangan sesuai spesifikasi analog input Arduino. Kemudian dari data 3 sensor tegangan dan arus yang didapat, dapat dilakukan

perhitungan faktor daya. Ketika melakukan monitoring faktor daya dari papan Arduino akan dikirim ke komputer dengan komunikasi wireless dan akan dilakukan pengamatan secara real dengan Labview. Sedangkan untuk monitoring factor daya secara langsung ditampilkan pada LCD 20x4, serta disimpan dalam SD Card dengan format excell (.CSV).



Gambar 10. Flowchart Pemrograman Arduino

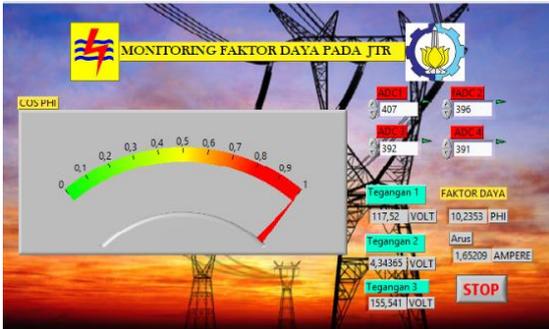


Gambar 11. Block Diagram pada LabView

E. Tampilan pada Komputer

Pembuatan software LabVIEW pada komputer diawali dengan membuat block diagram setelah itu

merancang front panel. Block diagram berisi source code yang berfungsi sebagai instruksi untuk front panel. Sedangkan pada front panel sendiri mengandung control dan indikator untuk membangun sebuah VI (Virtual Instruments), menjalankan program dan mendebug program.



Gambar 12. Tampilan dengan LabView.

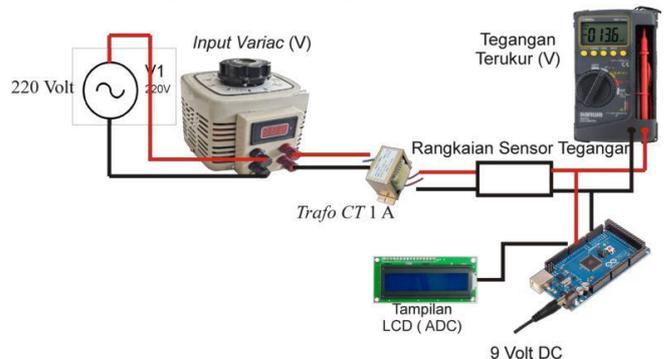
Gambar 11 dan Gambar 12 memperlihatkan tampilan LabView bagian kiri terdapat function palatte numeric dengan tanda nama ADC0, ADC1, ADC2 dan ADC3 yang berguna untuk menampilkan pembacaan 4 sensor per 200 ms, ditunjukkan pada function palatte dengan icon jam, yang dikirim melalui Ethernet. Pada bagian kanan ADC0, ADC1, ADC2 dan ADC3 terdapat kotak berwarna abu-abu yang disebut dengan formula node, fungsi dari function palatte ini adalah untuk menuliskan rumus konversi sinyal analog menjadi besaran tegangan (Volt) dan besaran arus (Ampere). Lalu pada bagian sebelah kanan formula node disambungkan pada function palatte numeric sebagai hasil perhitungan tegangan (Volt) dan arus (Ampere) dengan tanda nama Tegangan1, Tegangan 2, Tegangan 3 dan Arus. Nilai yang didapatkan dari hasil perhitungan lalu diambil 5 sampel data untuk diambil rata-rata.

F. Pengujian Sensor Tegangan

Sensor tegangan diuji dengan menggunakan variac sebagai input yang dihubungkan dengan trafo dan multimeter untuk mengukur tegangan output dari sensor tegangan, seperti yang terlihat pada Gambar 13. Pengujian awal dilakukan dengan membaca output dari

transformator yang dikonversikan menjadi ADC pada Arduino , yang ditampilkan pada LCD.

Gambar 13 terlihat bahwa perubahan ADC sensor memiliki pergerakan yang linier terhadap perubahan tegangan output trafo. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor tegangan dengan pembagi tegangan layak digunakan sebagai pendeteksi perubahan tegangan, karena memiliki perubahan output yang linier terhadap perubahan input.



Gambar 13. Pengujian Sensor Tegangan

Data pengujian dan pengukuran, dapat menghasilkan suatu persamaan karakteristik sensor tegangan yang akan digunakan untuk pembacaan Arduino agar didapatkan tegangan yang sesuai dengan tegangan pengukuran pada Voltmeter. Setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan regresi linier maka didapatkan sebuah Persamaan 3 untuk pembacaan Arduino.

$$V_{out} = 0,252649321 * ADC + 17,48529487 \dots\dots\dots(3)$$

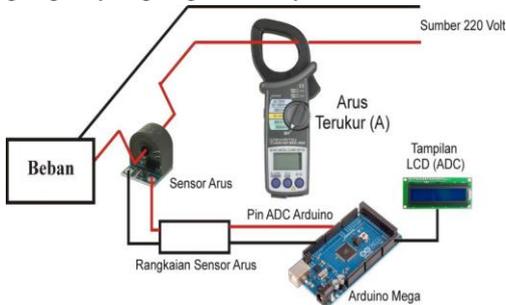
Persamaan (3) digunakan pada program Arduino untuk dilakukan pengujian hasil perhitungan dengan cara membandingkan pembacaan sensor tegangan yang ditampilkan pada LCD dengan tegangan input dari variac. Data perbandingan pembacaan sensor tegangan dengan input variac ditunjukkan pada Tabel 4.10

G. Pengujian Sensor Arus

Pada pembahasan di bab ini, pengambilan data arus yang diinduksikan oleh sensor arus CT-OD dan data linieritas tegangan dari beberapa beban daya yang berbeda – beda dengan kenaikan yang linier pula untuk

menguji baik tidaknya sensor yang digunakan. Setelah melakukan pengambilan data arus seperti nilai pada Tabel 4.5, data akan dibandingkan dengan spesifikasi sensor sendiri yang menyebutkan bahwa perbandingan lilitan adalah 1000:1. Maka sensor dapat dikatakan bisa digunakan karena mampu menginduksikan nilai yang sepadan saat dilalui nilai sebesar 0,45 A akan menginduksikan arus sebesar 0,225 mA. Skema pengujian spesifikasi sensor ditunjukkan pada Gambar 13

Dari Gambar 13 akan didapat data berupa arus terukur (mA) yang didapatkan dari multimeter, dan arus rumus yang didapatkan dari nilai daya pada beban, yang dibagi dengan nilai tegangan. Pada pengukuran ini tegangan yang digunakan yakni sebesar 220 Volt.



Gambar 13. Pengujian Sensor Arus

Dengan menggunakan rumus di Persamaan 4.1 dapat diambil kesimpulan nilai persen *error* dari setiap nilai yang diambil dari sensor arus CT-OD.

$$\%Error = \frac{Nilaisebenarnya - Nilaiterukur}{Nilaiterukur} \times 100\% \quad (4.1)$$

Hasil pengukuran yang telah untuk mengetahui spesifikasi sensor arus ini terdapat pada Tabel 4.5

Dari Tabel 4.5 *output* sensor arus CT-OD memiliki rasio 2000:1 dimana untuk arus terukur sebesar 0,66 A maka *output* dari sensor CT-OD sebesar 0,33 mA.

Dilakukan pengambilan data sensor dan diubah menjadi data ADC menggunakan *Arduino*, skema pengambilan data ditunjukkan pada Gambar 4.11 Hal ini dilakukan untuk mendapatkan persamaan yang nantinya akan digunakan pada *Arduino*, data yang didapat pada Tabel 4.6

Dari Gambar 4.12 tersebut dapat terlihat bahwa perubahan ADC sensor memiliki pergerakan yang linier terhadap perubahan arus.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor arus CT-OD layak digunakan sebagai pendeteksi perubahan arus, karena memiliki perubahan *output* yang linier terhadap perubahan *input*.

Dari data pengujian dan grafik pengukuran, dapat dihasilkan suatu persamaan karakteristik sensor arus yang akan digunakan dalam pembacaan *Arduino* agar didapatkan nilai arus yang sesuai dengan arus pengukuran pada clamp meter. Berikut ini adalah persamaan linier yang digunakan untuk mendapatkan pembacaan *Arduino* :

$$y = 0,009236324 * x + 0,221828391 \dots \dots \dots (4.5)$$

Kemudian dilakukan penggantian variabel *y* menjadi nilai arus yang diinginkan dan *x* menjadi ADC, sehingga didapatkan Persamaan sebagai berikut :

$$I_{out} = 0,009236324 * ADC + 0,221828391 \dots (4.6)$$

Setelah menambahkan Persamaan (4.6) kedalam program *Arduino* selanjutnya dilakukan pengujian hasil perhitungan dengan cara membandingkan pembacaan sensor arus dengan clamp meter “kyoritsu KEW 2117R”. Skema pengambilan data ditunjukkan pada Gambar 4.13

Pengujian yang dilakukan terhadap sensor arus CT-OD bertujuan untuk mengetahui kesesuaian arus yang melewati beban. Pada pengujian ini akan dibandingkan nilai arus yang terukur dengan hasil pada tampilan LCD. Beban yang digunakan pada pengujian ini adalah beban beban yang biasanya menjadi kebutuhan sehari hari, seperti lampu dengan berbagai variasi daya lalu juga berbagai peralatan rumah tangga. Hasil pengujian dengan beban lampu terdapat pada Tabel 4.7

H. Pengujian Beban

Pengujian purwarupa faktor daya dilakukan dengan berbagai macam beban. Beban berupa lampu pijar, kipas angin, blender, gerinda, kulkas (Tabel 5).

Tabel 5 dapat terlihat bahwa pengukuran faktor daya pada beban lampu pijar nilai $\cos \phi$ antara 0,9 sampai dengan 0,96. Pengukuran faktor daya untuk beban yang ada kumparannya mempunyai nilai antara 0,83 sampai 0,87.

Tabel 5. Pengukuran Beban

No.	Beban (Watt)	Cos Phi (φ)	Arus (Ampere)
1.	Lampu 100	0,94	0,44
2.	Lampu 125	0,93	0,56
3.	Lampu 150	0,94	0,67
4.	Lampu 185	0,9	0,82
5.	Lampu 200	0,98	0,87

6.	Lampu 225	0,96	0,99
7.	Lampu 240	0,91	1,03
8.	Lampu 260	0,92	1,13
9.	Lampu 285	0,93	1,24
10.	Lampu 300	0,97	1,28
11.	Kipas (55)	0,87	0,28
12.	Gerinda (200)	0,84	1,01
13.	Bor (200)	0,85	0,78
14.	Blander (0,56)	0,84	0,56
15.	Kulkas (350)	0,83	0,31

iv. Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

1. Kapasitas beban yang dapat dimonitor hanya sampai 6 Amper.
2. Jaringan pengukuran pada jaringan tegangan rendah satu fas.
3. Kesalahan sensor arus sebesar 0,5%.
4. Kesalahan sensor tegangan sebesar 0,5%
5. Jarak monitoring bergantung pada perangkat wifi.

Daftar Pustaka

- [1] Dhea Nabilia Prasetyandi dan Ifan Adyatma, "Power Factor Regulator Menggunakan Arduino", **Tugas Akhir**, Program D3 Teknik Elektro FTI-ITS, Surabaya, 2015.
- [2] Adhitya Wisnu Wardhana dan Faisal Akhbar, "Perancangan Sistem Monitoring Voltage Flicker Berbasis Arduino Dengan Metode Fast Fourier Transform (FFT)", **Tugas Akhir**, Program D3 Teknik Elektro FTI-ITS, Surabaya, 2016.
- [3] Maurice and V. d. Brink, **Pengukuran Listrik**, Fakultas Teknik Elektro ITS, Surabaya, 1974.
- [4] Abdul, Kadir, "Panduan Praktis Mempelajari Aplikasi Mikrokontroler Dan Pemrogramannya Menggunakan Arduino", **Andi Offset**, Jogjakarta, 2013.
- [5] Kurniyanto, F.W. dan Madina, N.F., "Purwarupa KWH Meter Digital yang dilengkapi Data Logger sebagai Alat Bantu melakukan Audit Energi", **Tugas Akhir**, Program D3 Teknik Elektro FTI-ITS, Surabaya, 2015.