

RANCANG BANGUN ALAT PERBAIKAN FAKTOR DAYA LISTRIK SATU FASA BERBASIS MIKROKONTROLER

DESIGN OF SINGLE PHASE ELECTRIC POWER FACTOR IMPROVEMENT BASED ON MICROCONTROLLER

Dzikri Padilla Alfauzi¹, Ir. Agus Ganda Permana, MT², Atik Novianti, S.ST., MT³
^{1,2,3}Prodi D3 Teknologi Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom
¹dzikripadillaalfauzi@gmail.com, ²agusgandapermana@telkomuniversity.ac.id,
³atiknovianti@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Faktor daya listrik sangat perlu diperhatikan dalam suatu industri maupun rumah tangga. Faktor daya listrik dapat menurun karena beban yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari bersifat induktif sehingga mengakibatkan besar faktor daya menurun dan menghasilkan daya reaktif. Untuk mengetahui besaran nilai faktor daya maka diperlukan suatu alat yang dapat mengukur besaran faktor daya dan untuk mengurangi daya reaktif yang muncul bisa diatasi dengan kapasitor bank.

Oleh karena itu pada proyek akhir ini akan dibahas mengenai perancangan dan pembuatan alat perbaikan faktor daya listrik satu fasa berbasis mikrokontroler. Pengukuran besaran listrik akan dilakukan menggunakan sensor arus dan tegangan serta *zero crossing detector* dan *phase detector* untuk mengetahui beda fasa dari sinyal listrik tersebut. Hasil pengukuran tersebut berupa sinyal analog dan dirubah menjadi sinyal digital oleh mikrokontroler. Output dari mikrokontroler adalah sinyal untuk menyalakan relay yang digunakan untuk *switching* dan mengaktifkan kapasitor bank. Hasil yang didapat dari proyek akhir ini adalah alat perbaikan faktor daya secara otomatis. Data yang terpantau akan ditampilkan pada LCD.

Berdasarkan hasil pengujian pembacaan $\cos \phi$ pada lcd telah hampir mendekati kesesuaian dengan alat ukur power meter buatan pabrik dengan rata rata error sebesar 3,7%. Pengujian sistem secara umum telah berhasil dalam melakukan perbaikan faktor daya dimana kapasitor dapat melakukan perbaikan $\cos \phi$ dengan $\cos \phi$ terkecil 0,55 menjadi 0,96 dengan rata-rata error $\cos \phi$ akhir 2,35% dengan power meter.

Kata kunci: mikrokontroler, *zero crossing detector*, faktor daya

Abstract

Electric power factor is very important in an industry or household. Electric power factor can decrease because the load used in daily life is inductive so that the power factor decreases and produces reactive power. To find out the magnitude of the value of the power factor, we need a device that can measure the amount of power factor and to reduce the reactive power that appears can be overcome by a bank capacitor.

Therefore, this final project will discuss the design and manufacture of microcontroller-based one-phase power factor improvement tools. The measurement of electrical quantities will be carried out using a current and voltage sensor and a zerocrossing detector and a phase detector to determine the phase difference of the electrical amount. The measurement results are analog signals and converted into digital signals by the microcontroller. The output of the microcontroller is a signal to turn on the relay used for switching and activate the bank capacitor. The results obtained from this final project are automatic power factor repair tools. The monitored data will be displayed on the LCD.

Based on the results of testing the reading of $\cos \phi$ on the LCD has been almost close to conformance with the power meter measuring instrument made in factories with an average error of 3.7%. System testing in general has been successful in making improvements to the power factor where capacitors can make improvements $\cos \phi$ with the smallest $\cos \phi$ 0.55 to 0.96 with an average $\cos \phi$ error of 2.35% with a power meter.

Keywords: *Microcontroller, zero crossing detector, power factor*

1. Pendahuluan

Pemerintah dalam rangka optimalisasi penggunaan energi telah mengeluarkan kebijakan umum bidang energi yang meliputi kebijakan diversifikasi, intensifikasi, konversi, harga energi dan lingkungan. Kegiatan konversi energi merupakan semua langkah yang diambil kearah menurunkan berbagai kehilangan energi pada taraf pengolaan, eksploitasi, pengangkutan proses, sampai pemanfaatan energi listrik.

Pemanfaatan energi listrik sangat bergantung dengan faktor daya. Jika faktor daya tidak diperbaiki maka dapat menimbulkan kerugian-kerugian seperti pemakaian beban induktif oleh pelanggan listrik untuk kebutuhan industri. Akibat dari pemakaian beban induktif itu akan membuat turunnya nilai faktor daya, sehingga membuat faktor daya listrik yang terpasang pada pelanggan tidak dapat digunakan secara optimal. Menurut yang diisyaratkan PUIL (Peraturan Umum Instalasi Listrik) faktor daya tidak boleh kurang dari 0,85[10]. Banyak pelanggan listrik melakukan penambahan daya jika kapasitas daya yang terpasang dirasa kurang mencakupi kebutuhan. Padahal jika faktor daya yang terpasang dapat di manfaatkan secara optimal maka opsi penambahan daya dapat ditunda.

Banyak cara untuk memperbaiki faktor daya, salah satu nya adalah dengan menggunakan kapasitor. Untuk kalangan industri penggunaan kapasitor sudah banyak digunakan, namun di kalangan rumah tangga sangat jarang. Untuk mengatasi masalah tersebut, pada proyek akhir ini dibuatlah sebuah alat yang dapat memperbaiki faktor daya secara otomatis sesuai dengan beban induktif yang berubah-ubah menggunakan relay sebagai pengaktifan kapasitor bank untuk melakukan kompensasi.

2. Dasar Teori

2.1 Daya Listrik

Daya didefinisikan sebagai energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha, seperti panas, cahaya, mekanik, suara. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan Watt atau *Horsepower* (HP), *Horsepower* merupakan satuan daya listrik dimana 1 HP setara 746 Watt atau lbf/second. Sedangkan Watt merupakan unit daya listrik dimana 1 Watt memiliki daya setara dengan daya yang dihasilkan oleh perkalian arus 1 Ampere dan tegangan 1 Volt [1].

1. Daya Aktif

Daya aktif (Active Power) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah watt. Misalnya energi panas, cahaya, mekanik dan lain – lain. Daya aktif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini [1]:

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

Dengan

P = Daya (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (I)

cos ϕ = faktor daya

2. Daya Semu

Daya semu (apparent power) merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi. Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan rms dan arus rms dalam suatu jaringan listrik atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri antara daya aktif dan daya reaktif. Satuan daya semu adalah VA (volt ampere). Daya Semu dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini [1]:

$$S = V \cdot I \quad (2)$$

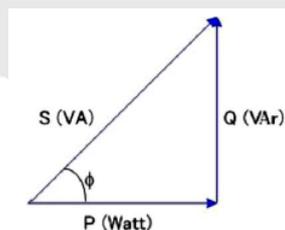
3. Daya reaktif

Daya reaktif (reactive power) adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu TL dan lain – lain. Satuan daya reaktif adalah VAR. Daya Reaktif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini [1]:

$$Q = V \cdot I \sin \phi \quad (3)$$

4. Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematis antara tipe-tipe daya yang berbeda (daya aktif, reaktif dan semu) berdasarkan prinsip trigonometri. Berikut gambar segitiga daya dapat dilihat pada gambar 1 [1]:



Gambar 1. Segitiga Daya

5. Faktor Daya

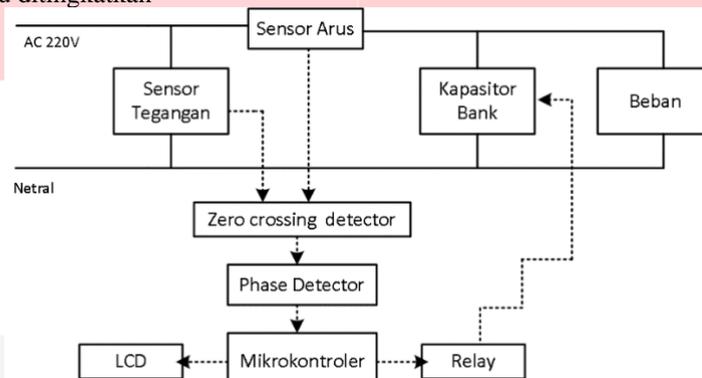
Faktor daya (power factor) atau sering disebut $\cos\phi$ dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (P) dan daya semu (S) yang digunakan dalam sirkuit AC atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam $\cos\phi$. Faktor daya yang baik menurut standar adalah faktor daya yang bernilai tidak boleh kurang dari 0,85[10]. Faktor daya di hitung dengan persamaan 4 :

$$\text{Faktor daya } (\cos\phi) = \frac{\text{daya aktif } (P)}{\text{daya semu } (S)} \quad (4)$$

3. Model dan Perancangan Sistem

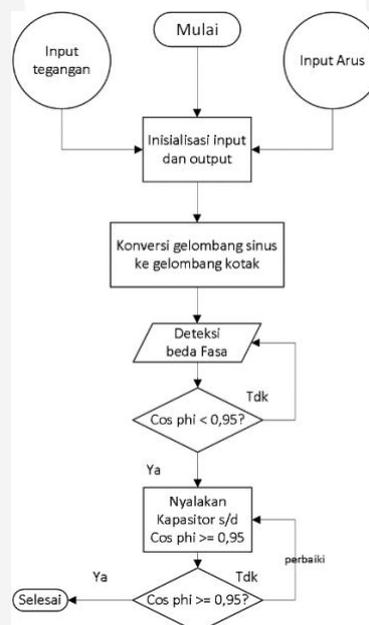
3.1 Blok Diagram

Perancangan pembuatan alat perbaikan faktor daya listrik mengacu pada blok diagram yang ditunjukkan pada gambar 2. Alat yang dibuat bertujuan untuk meningkatkan nilai faktor daya beban listrik menggunakan kompensator berupa kapasitor. Kapasitor dipasang paralel pada jaringan instalasi listrik secara otomatis menggunakan relay. Pengaktifan relay dikontrol menggunakan mikrokontroler sesuai dengan setting nilai faktor daya yang perlu ditingkatkan



Gambar 2. Blok Diagram Sistem

3.2 Flowchart Sistem



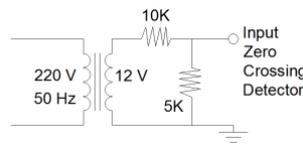
Gambar 3. Flowchart Sistem

Pada flowchart sistem dimulai dari inisiasi input dan output dari sensor tegangan dan sensor arus, kemudian output dari kedua sensor tersebut dikonversikan yang tadinya gelombang sinusoidal diubah ke gelombang kotak agar bisa terbaca oleh mikrokontroler, lalu kedua gelombang tersebut dideteksi apakah terjadi pergeseran fasa yang menjadi acuan untuk menentukan nilai $\cos\phi$ atau faktor daya, jika nilai faktor dayanya kurang dari 0,95 maka kapasitor akan otomatis aktif sampai nilai faktor dayanya lebih dari sama dengan 0,95

3.3 Perancangan Perangkat Keras

3.3.1 Perancangan Sensor Tegangan

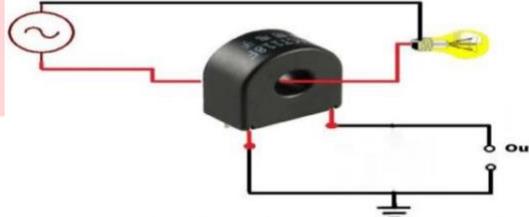
Sensor tegangan menggunakan resistor pembagi tegangan dipasang secara paralel antara fasa dan netral. Fungsi resistor ini adalah untuk menurunkan tegangan dari tegangan sumber menjadi tegangan yang dikehendaki. Selain itu juga penggunaan tranformator sebagai isolasi dan penurun tegangan.



Gambar 4 Sensor Tegangan

3.3.2 Perancangan Sensor Arus

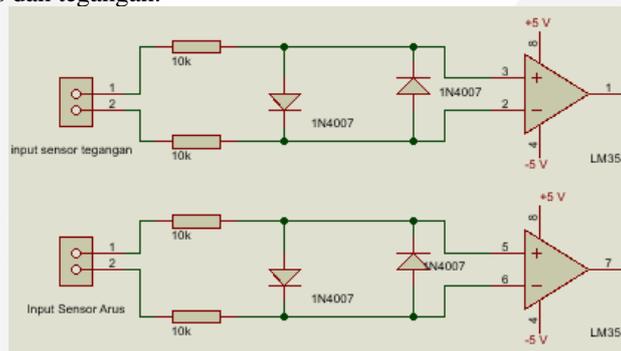
Sensor arus yang digunakan pada system ini adalah sensor arus ZCT (Zero Current Transformer). Cara pengoperasiannya yaitu dengan melilitkan kabel fasa yang menuju ke beban pada lingkaran dari ZCT dan dirangkai secara seri dengan beban. Output dari sensor arus ini dihubungkan ke rangkaian zero crossing detector dan phase detector untuk mengetahui beda fasa antara gelombang tegangan dan gelombang arus



Gambar 5. Rangkaian Sensor Arus

3.3.3 Perancangan Zero Crossing Detector

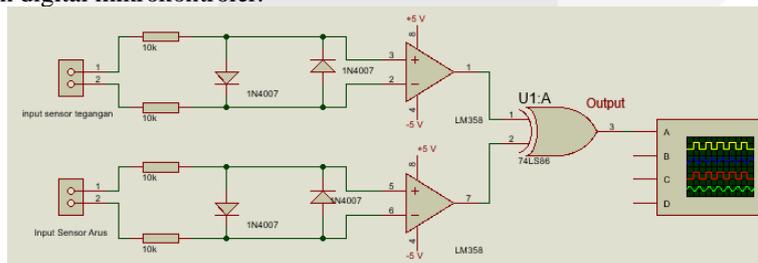
Rangkaian ini berfungsi untuk mengubah sinyal sinusoida dari sensor tegangan dan sensor arus menjadi bentuk sinyal kotak agar bisa diproses oleh mikrokontroler. Sinyal output dari IC LM358 kemudian di masukkan ke input IC gerbang logika XOR 74LS86 untuk menghasilkan sinyal kotak yang menunjukkan nilai beda fase antara fase arus dan tegangan.



Gambar 6. Rangkaian Zero Crossing Detector

3.3.4 Perancangan Phase Detector

Rangkaian ini berfungsi untuk mendeteksi adanya beda fase antara gelombang arus dan tegangan dengan menggunakan IC XOR 74LS86. Prinsip kerja IC XOR 74LS86 yaitu jika kedua input berlogika sama maka output akan berlogika "0". Jika kedua input berlogika tidak sama, maka output akan berlogika "1". IC XOR 74LS86 digunakan untuk membandingkan dua sinyal input, yaitu sinyal arus dan sinyal tegangan yang berasal dari keluaran rangkaian komparator, sehingga dapat diketahui perbedaan sudut fase antara sinyal tegangan dan sinyal arus yang mengalir pada beban. Perbedaan fase yang terjadi merepresentasikan nilai faktor daya. Nilai beda fase akan mempengaruhi berapa nilai kapasitor yang harus di pasang pada beban untuk mengkompensasi daya reaktif (VAr) agar faktor daya dapat ditingkatkan sampai di atas 0,95, output dari *phase detector* dihubungkan ke pin digital mikrokontroler.



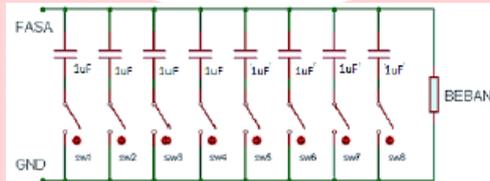
Gambar 7. Rangkaian Phase Detector

3.3.5 Perancangan Relay

Rangkaian relay pada sistem ini menggunakan modul relay single 5V aktif low jadi relay akan aktif jika berlogika 0. fungsi relay yaitu untuk mengaktifkan kapasitor bank secara otomatis yang dikendalikan oleh mikrokontroler pin input pada relay dipasang ke pin digital Arduino.

3.3.6 Perancangan Kapasitor Bank

Kapasitor yang digunakan sebagai kompensator yaitu terdiri dari 8 buah kapasitor, dengan nilai pada tiap kapasitor sebesar 1µ. Kapasitor dipasang secara parallel ke instalasi listrik dan dipasang *Normally Open* (NO) ke Relay.

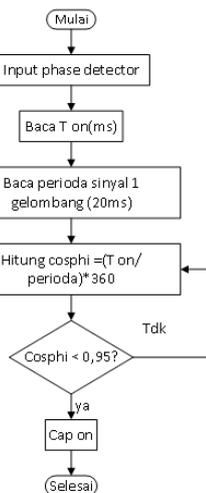


Gambar 8. Rangkaian Kapasitor Bank

3.4 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak yang dibuat berfungsi mengkonversi lebar pulsa dari *phase detector* menjadi nilai faktor daya kemudian ditampilkan pada LCD, dan mengeksekusi kontrol pengaktifan relay sesuai dengan nilai setting point faktor daya yang ingin ditingkatkan. Perancangan perangkat lunak kompensator faktor daya otomatis dibuat menggunakan program Arduino IDE.

Secara konsep pemograman ini melalui beberapa step dalam mengaktifkan beberapa kapasitor sesuai dengan pembacaan input input dan akan diinisialisasi oleh mikrokontroler dan diolah dengan menghitung perbedaan selang waktu antara arus dan tegangan, apabila $\cos \phi$ kurang dari target yang ditetapkan 0,95 maka mikrokontroler akan memberikan signal perintah untuk mengaktifkan kapasitor sampai nilai $\cos \phi \geq 0,95$.



Gambar 9. Flowchart Pembacaan cosphi

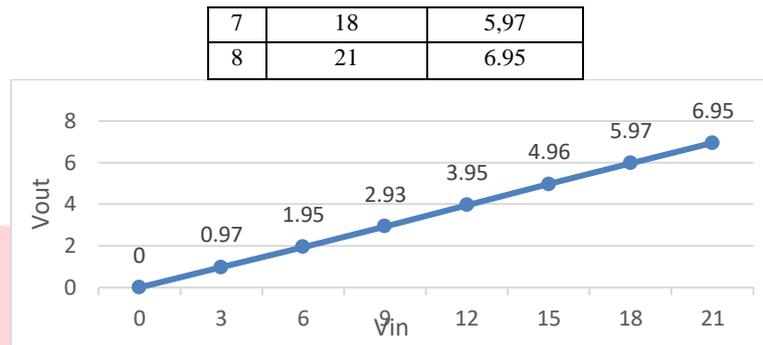
4. Pengujian dan Analisa

4.1 Pengujian Sinyal Output Sensor Tegangan

Pengujian rangkaian sensor tegangan dilakukan untuk mengetahui apakah *output* sensor tegangan linear terhadap tegangan *input*, rangkaian ini berfungsi untuk menurunkan tegangan dan mengisolasi atau pengamanan rangkain.

Tabel 1. Pengujian Sensor Tegangan

No	Vin (Volt)	Vout (Volt)
1	0	0
2	3	0,97
3	6	1,95
4	9	2,93
5	12	3,95
6	15	4,96



Gambar 10. Pengujian Sensor Tegangan

Dapat dilihat pada gambar 10, grafik menunjukkan bahwa keluaran tegangan AC pada sensor tegangan cukup linier,.

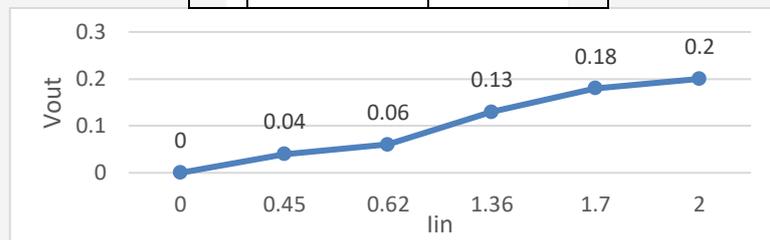
4.2 Pengujian Sinyal Output Sensor Arus

Pengujian rangkaian sensor arus dilakukan untuk mengetahui apakah sensor arus dapat bekerja dengan baik terhadap perubahan nilai arus *input*, setiap perubahan 1 ampere arus input maka hasil output berupa tegangan AC akan berubah tiap 100 mV.

Berdasarkan hasil pengujian rangkaian sensor arus diperoleh data seperti pada tabel 2.

Tabel 2 Pengujian Sensor Arus

No	Iin (Ampere)	Vout (Volt)
1	0	0
2	0,45	0,04
3	0,63	0,06
4	1,36	0,13
5	1,7	0,18
6	2,0	0,20



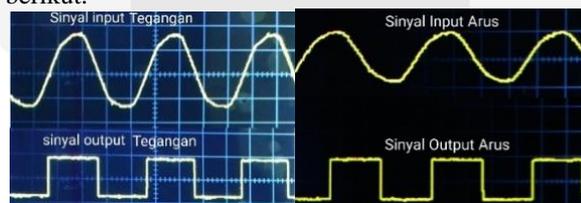
Gambar 11. Grafik Pengujian Sensor Arus

Berdasarkan gambar 11 menunjukkan bahwa sensor arus bekerja cukup linier terhadap arus yang terdeteksi pada sistem.

4.3 Pengujian Rangkaian Zero Crossing Detector

Pengujian rangkaian *zero crossing detector* dilakukan untuk mengetahui bentuk keluaran sinyal dari rangkaian *zero crossing detector*. Output sinyal dari sensor tegangan dan sensor arus yang berbentuk sinusoida dihubungkan pada input rangkaian *zero crossing detector*. Fungsi dari rangkaian komparator adalah mengubah bentuk sinyal sinusoida dari rangkaian sensor tegangan dan arus menjadi bentuk sinyal step (kotak).

Berdasarkan hasil pengujian rangkaian zero crossing detector diperoleh bentuk sinyal seperti diperlihatkan pada gambar berikut.

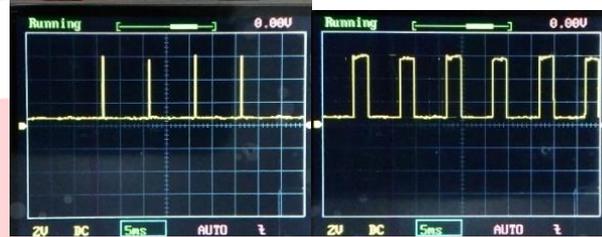


Gambar 12. Sinyal Output Zero Crossing Detector

Berdasarkan hasil pengujian di atas rangkaian ini sudah dapat mengkonversi dari gelombang sinus ke gelombang kotak agar bisa di proses oleh Arduino.

4.4 Pengujian Rangkaian Phase Detector

Pegujian rangkaian *phase detector* dilakukan untuk mengetahui perbedaan fase sinyal tegangan dan fase sinyal arus. Hasil pengujian rangkaian *phase detector* menggunakan beban resistif dan induktif didapatkan bentuk fase gelombang seperti ditunjukkan pada gambar 13.



Gambar 13. Sinyal Output Phase Detector pada Beban Resistif dan Induktif

Berdasarkan hasil pengujian sinyal output *phase detector* terlihat bahwa gelombang yang berlogika satu itu menunjukkan besarnya perbedaan fasa antara tegangan dan arus yang nantinya akan digunakan untuk pembacaan *cosphi*.

4.5 Pengujian Rangkaian Relay

Pengujian rangkaian relay bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian ini bisa menyambung dan memutus kapasitor, pengujian rangkaian ini dilakukan dengan menghubungkan pin input rangkaian modul relay ke pin digital mikrokontroler.

Tabel 3. Pengujian Relay

No	Input	Pin Arduino	Output	Keterangan
1	HHHHHHHL	6,7,8,9,10,11,12,13	00000001	Sesuai
2	HHHHHLL		00000011	Sesuai
3	HHHHLLL		00000111	Sesuai
4	HHHLLLL		00001111	Sesuai
5	HHLLLLL		00011111	Sesuai
6	HLLLLLLL		00111111	Sesuai
7	HLLLLLLL		01111111	Sesuai
8	LLLLLLL		11111111	Sesuai

Keterangan:

- L = Logika Low
- H = Logika High
- Output 0 = relay mati
- Output 1 = relay nyala

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel diatas sudah sesuai yang diharapkan, karena modul relay ini bersifat aktif low maka relay ini akan aktif jika diberi logika low dan akan mati jika diberi logika high.

4.6 Pengujian Pembacaan Cosphi (Faktor Daya)

Pada pengujian ini bertujuan untuk membandingkan nilai antara *cosphi* alat yang telah dibuat dengan $\cos \phi$ power meter buatan pabrik sebagai referensi. Pengujian ini dilakukan dengan pengambilan data pengukuran $\cos \phi$ pada beberapa sampel beban.

Tabel 4. Hasil Pengujian Pembacaan Cosphi

No	Beban	Cosphi (Power Meter)	Cosphi Alat	Error(%)
1	Lampu CFL 32 Watt	0,69	0,65	5,7%
2	Lampu TL 36 Watt	0,70	0,66	5,7%
3	Motor listrik 32 Watt	0,55	0,55	0 %
4	Motor Listrik 32 Watt + Lampu CFL 8Watt	0,67	0,65	2,9%
5	Lampu CFL 32Watt+Lampu CFL 8Watt	0,69	0,66	4,3%
Rata-rata error				3,7%

Berdasarkan hasil tabel pada pengujian diatas rata-rata error pada pengujian beban induktif cukup kecil dengan rata-rata error 3,7%.

Tabel 5. Pengujian Pembacaan Cos ϕ pada Beban Resistif

No	Beban	Cosphi (Power Meter)	Cosphi Alat	Error(%)
1	Rice cooker 300Watt	1,00	1,00	0%
2	Dispenser 350Watt	1,00	1,00	0%

3	Solder 40 Watt	0,99	1,00	1%
4	Setrika 350 Watt	1,00	1,00	0%
Rata-rata error				0,25%

Berdasarkan hasil tabel pada pengujian diatas rata-rata error pada pengujian beban resistif sangat kecil dengan rata-rata error 0,25%.

4.7 Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah alat yang telah dirancang dapat melakukan peningkatan faktor daya listrik secara otomatis, maka akan dilakukan pengujian sederhana dikarenakan waktu dan komponen yang terbatas, maka pengujian dilakukan pada beberapa sampel beban induktif yang ada.

Tabel 5. Pengujian Perubahan Cosphi/Faktor daya Sebelum dan Sesudah Perbaikan

No	Beban	Cosphi Awal (Sebelum Perbaikan)		Kapasitor On	Cosphi Akhir (Setelah Perbaikan)		
		Power Meter	Alat		Power Meter	Alat	Error
1	Motor Listrik 32 Watt	0,55	0,55	2	0,95	0,96	1%
2	Lampu CFL 32 Watt	0,69	0,65	2	0,94	0,97	3,1%
3.	Lampu TL 36 Watt	0,70	0,66	2	0,96	0,97	1%
4.	Beban 1+2+3	0,80	0,75	3	0,92	0,96	4,3%
Rata-rata error cosphi akhir setelah perbaikan							2,35%

Berdasarkan table pengujian diatas dengan adanya perubahan cosphi menjadi lebih baik dari sebelumnya yang mana menjadikan acuan bahwa sistem berhasil. Maka dengan ini pengujian sistem dapat bekerja dengan baik meskipun terdapat error 2,35%.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan alat perbaikan faktor daya listrik satu fasa yang telah diuraikan diatas maka dapat disimpulkan:

1. Pengujian setiap sub rangkain pada sensor dapat berkerja secara fungsinya, dimana saat adanya beban induktif pada jaringan maka sensor dapat mendeteksi perbedaan fasa.
2. Alat atau sistem yang dirancang telah sesuai apa yang diinginkan, dimana pembacaan cos phi pada lcd telah hampir mendekati kesesuaian dengan alat ukur power meter buatan pabrik dengan rata rata error sebesar 3,7%.
3. Pengujian sistem secara umum telah berhasil dalam melakukan perbaikan faktor daya dimana kapasitor dapat melakukan perbaikan cosphi dengan cosphi terkecil 0,55 menjadi 0,96 dengan rata-rata error cosphi akhir 2,35% dengan power meter.
4. Sistem pada alat yang telah dibuat kadang masih terjadi kegagalan kerja disaat kapasitor on yang menyebabkan sistem harus di reset untuk membaca kembali ulang perbaikan cos phi sebenarnya.

5.2 Saran

Untuk pengembangan yang berkaitan dengan proyek akhir ini penulis memberikan saran:

1. Sesuai dengan kesimpulan terakhir, dibutuhkan pengembangan sistem secara software dalam pemograman agar sistem dapat bekerja secara optimal.
2. Sesuai dengan kesimpulan terakhir, diperlukan penambahan mode operasi manual agar dapat bekerja ketika mode otomatis gagal bekerja, maka bisa menggunakan mode operasi manual.

Daftar Pustaka:

- [1] Belly, Alto dkk. 2010. *Daya Aktif, Reaktif dan Nyata*. Jakarta: Universitas Indonesia
- [2] Bueche, Frederick J. 1989. *Fisika Edisi Kedelapan*. Jakarta: Erlangga
- [3] Dwi Surjono, Herman. 2009. *Elektronika Lanjut*. Jember: Cerdas Ulet Kreatif.
- [4] Giancoli, Douglas C. 2001. *Fisika Edisi Kelima*. Jakarta: Erlangga
- [5] Musthaq, Zahid dkk, *Automatic Power Factor Detection and Correction*. 2014. Departement of Electrical & Renewable Energy Engineering Collage of Engineering and Technology.
- [6] Neidle, Michael. 1999. *Teknologi Instalasi Listrik Edisi Ketiga*. Jakarta: Erlangga
- [7] Prayudi, Teguh, dan Wiharja.2006. *Peningkatan Faktor Daya Dengan Pemasangan Bank Kapasitor Untuk Penghematan Listrik Di Industri Semen*. Jakarta PusatTeknologi Lingkungan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- [8] Pujiono. 2012. *Rangkaian Elektronika Analog*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- [9] Ramdhani, M. 2008. *Rangkaian Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- [10] Sayogo, Bartien dkk. 2014. *Penjelasan PUIL 2011*. Jakarta.

