

DESAIN DAN IMPLEMENTASI PERANGKAT PERBAIKAN FAKTOR DAYA LISTRIK UNTUK KONSUMEN RUMAHAN

ROBBY SETIAWAN *, EMILLIANO

*Program Studi Teknik Elektro, FMIPA, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor 45363,
Sumedang, Jawa Barat, Telp. 022-7796014*

**email : capitol12390@gmail.com*

Abstrak. Faktor daya merupakan suatu nilai yang menunjukkan efisiensi dari daya listrik yang dikonsumsi. Faktor daya sangat penting dikarenakan daya listrik yang disalurkan hampir selalu lebih besar dibandingkan dengan daya listrik yang diperlukan. Hal ini disebabkan karena terdapat daya reaktif yang dikonsumsi oleh peralatan listrik. Proses perbaikan faktor daya biasanya dilakukan untuk mengatasi hal tersebut, namun sangat jarang dilakukan secara langsung kepada lingkungan konsumen rumahan. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain dan mengimplementasikan sebuah alat yang dapat mengukur dan memperbaiki faktor daya listrik di lingkungan konsumen rumahan. Untuk melaksanakan penelitian digunakan beberapa metode penelitian seperti studi literatur, perancangan hardware dan software, pengujian perangkat dan implementasi dari perangkat. Perangkat yang telah dirancang memiliki kemampuan untuk mengukur parameter listrik seperti tegangan dan arus listrik dengan besarnya kesalahan pengukuran sebesar 5% dan 6%. Daya reaktif yang dapat dikoreksi oleh perangkat sebesar 225 VAR dengan resolusi sebesar 15 VAR. Seluruh kinerja perangkat dikendalikan oleh mikrokontroler. Setelah perangkat diterapkan kepada konsumen rumahan, perangkat mampu mengurangi konsumsi daya reaktif yang dikonsumsi oleh konsumen rumahan sebesar 40% hingga 50% dan juga meningkatkan nilai faktor daya listrik dari konsumen rumahan menjadi nilai 0.9 atau lebih.

Kata kunci: Faktor Daya Listrik, Daya Reaktif, Mikrokontroler, Konsumen Rumahan

Abstract. Power factor is a value that shows the efficiency of the electricity consumed. The value of the power factor will be lower, according to the amount of reactive power consumed by the electricity load. This study aimed to design and implement tools that could measure and improve electrical power factors in the home consumer environment. Improving power factors in the home consumer environment can benefit electricity companies and home consumers themselves. By using a microcontroller-based device, the device can be operated automatically so that it is easy to operate by the public. To carry out research, several research methods were used such as literature study, hardware and software design, device testing and implementation of the device. Devices that have been designed have the ability to measure electrical parameters such as voltage and electric current with the magnitude of measurement errors of 5% and 6%. After the device was applied to home consumers, the device was able to reduce the reactive power consumption consumed by home consumers by 40% to 50%.

Keywords: Power Factor, Reactive Power, Microcontroller, Home Consumer

1. Pendahuluan

Daya listrik yang dikonsumsi oleh berbagai peralatan listrik sebenarnya terbagi menjadi dua jenis yaitu daya aktif dan daya reaktif. Daya aktif ini merupakan daya yang sering dikenal masyarakat sebagai KWh dan merupakan daya sebenarnya

yang dikonsumsi oleh peralatan listrik. Daya reaktif merupakan daya semu yang dikonsumsi oleh beban reaktif yang terdapat pada peralatan listrik seperti kapasitor dan induktor dan memiliki satuan Volt-Ampere Reactive (VAR). Idealnya daya ini seharusnya tidak diserap oleh peralatan listrik.

Menurut data statistik penjualan tenaga listrik oleh PLN tahun 2017, menunjukkan bahwa sektor konsumen rumahan mengonsumsi tenaga listrik sebesar 42,63 % dari total penjualan tenaga listrik oleh PLN atau sebesar 93.583,60 GWh dari 254.657,39 GWh tenaga listrik yang terjual [1]. Apabila faktor daya untuk konsumen memiliki nilai rata-rata sebesar 0,85, melalui persamaan faktor daya dapat diketahui bahwa konsumen rumahan mengonsumsi daya reaktif sebesar 58.000 GVARh. Angka yang cukup besar untuk daya yang sebenarnya dapat dihilangkan atau diminimalisir.

Daya reaktif yang diserap oleh peralatan listrik menurunkan potensi penggunaan daya aktif dan kualitas penggunaan daya dari konsumen. Hal ini sebenarnya menimbulkan kerugian bagi konsumen rumahan itu sendiri, dimana daya reaktif membatasi daya aktif yang diserap oleh konsumen rumahan sehingga mengurangi jumlah peralatan listrik yang dapat digunakan secara bersamaan. Sedangkan bagi perusahaan penyedia tenaga listrik daya reaktif ini menjadi “beban” bagi perusahaan penyediaan listrik karena daya ini harus tetap disalurkan kepada konsumen rumahan, walaupun daya reaktif ini tidak termasuk ke dalam tarif listrik yang perlu dibayarkan oleh konsumen rumahan.

Diperlukan sebuah alat yang praktis yang dapat melakukan perbaikan faktor daya, mudah dioperasikan, dan memberikan informasi yang cukup jelas mengenai besaran-besaran daya yang diserap oleh peralatan listrik, sehingga memudahkan konsumen perumahan dalam menerapkan metode perbaikan faktor daya. Salah satu cara menerapkan perbaikan faktor daya listrik adalah dengan menggunakan pemasangan kapasitor untuk mengurangi konsumsi daya reaktif (induktif) dari beban. Untuk meningkatkan efektivitas metode tersebut, diterapkanlah metode nilai kapasitor dinamis yang dapat menyesuaikan dengan perubahan beban listrik sehingga nilai faktor daya listrik dapat terjaga dengan baik.

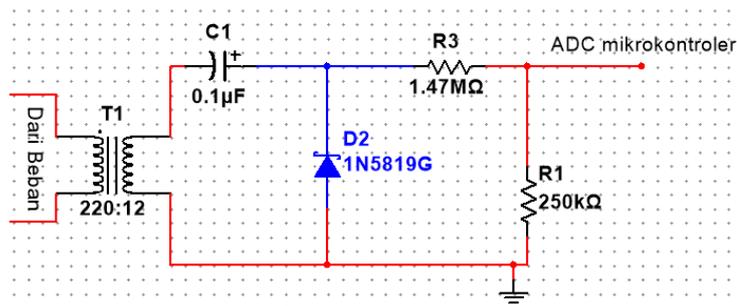
Dengan penerapan metode perbaikan faktor daya ini kepada konsumen rumahan, daya reaktif yang dikonsumsi oleh konsumen rumahan dapat diminimalisir sehingga dapat meningkatkan kualitas konsumsi daya listrik. Untuk konsumen rumahan, hal ini memberi dampak positif dengan meningkatnya kapasitas daya aktif yang dapat diserap oleh konsumen rumahan, sehingga meningkatkan jumlah peralatan listrik yang dapat dioperasikan secara bersamaan [2]. Dampak positif bagi perusahaan penyediaan listrik yaitu peningkatan daya aktif yang dapat disalurkan sehingga terjadi peningkatan efektivitas dari penyaluran daya listrik dan waktu operasi dari berbagai peralatan transmisi listrik [2].

2. Metode Penelitian

Perangkat memiliki tiga bagian penting dalam melaksanakan fungsinya. Bagian yang pertama merupakan rangkaian untuk mengukur besarnya tegangan listrik pada beban, bagian kedua merupakan rangkaian untuk mengukur besarnya arus listrik pada beban, dan bagian yang terakhir merupakan rangkaian kapasitor yang terdiri dari kapasitor dan relay. Ketiga bagian tersebut terkoneksi langsung dengan mikrokontroler yang mengendalikan seluruh fungsi dari perangkat [3].

2.1 Rangkaian pengukur tegangan listrik

Rangkaian ini digunakan untuk menyesuaikan tegangan pada beban ke tingkatan tegangan yang dapat diukur oleh mikrokontroler yang digunakan. ADC atau Analog-to-Digital Converter pada mikrokontroler yang digunakan dapat menerima tegangan listrik sebesar 0 V sampai 5 V DC dengan resolusi sebesar 10 bit [4]. Sedangkan besarnya tegangan listrik yang digunakan untuk konsumen perumahan adalah sebesar 220 Vrms atau 311,127 Vp (volt-peak) AC untuk tegangan puncaknya. Rangkaian pengukur tegangan yang ditunjukkan oleh Gambar 1, memiliki dua bagian penting yaitu transformator step-down dan rangkaian Clamper positif [3]. Rangkaian dipasang secara paralel dengan beban untuk dapat mengukur tegangan listrik.



Gambar 1. Rangkaian pengukur tegangan listrik

Nilai R2 dipilih sebesar 1,47MΩ dan R3 dipilih sebesar 250KΩ, sebagai resistor pembagi tegangan untuk mendapatkan nilai tegangan sebesar 0 V sampai dengan 5 V. Kemudian dioda jenis 1N5819 digunakan pada rangkaian karena dioda schottky memiliki tegangan kerja yang cukup rendah yaitu sebesar 80 mV. Untuk nilai kapasitansi dari kapasitor, dipilih nilai sebesar 0,1μF agar memenuhi nilai time-constant (RC) yang 10 kali lebih besar dari waktu periode tegangan listrik (sebesar 0,02 s). Dari nilai kapasitansi dari kapasitor(C) dan resistansi dari resistor pada rangkaian, time-constant memiliki nilai sebesar 1,72 s atau 86 kali lebih besar dibandingkan waktu periode tegangan listrik.

$$V_p = \frac{220}{12} * \frac{250 \text{ K}\Omega + 1.47 \text{ M}\Omega}{250 \text{ K}\Omega} * \left(\frac{\text{Nilai ADC}}{1024} * 5 \text{ V} \right) * \frac{1}{2} \quad (3)$$

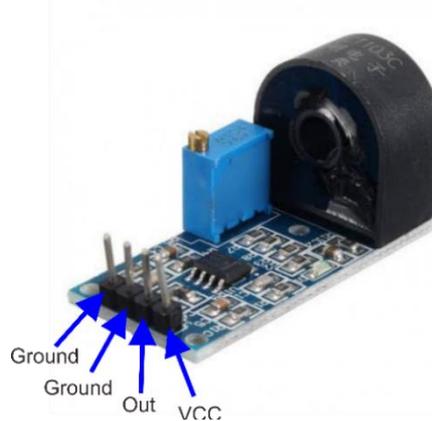
Besarnya tegangan yang terukur oleh rangkaian dapat ditentukan dengan rumus (3). Nilai tegangan yang didapatkan pada persamaan (3) merupakan tegangan listrik sesaat yang terbaca oleh mikrokontroler tersebut. Mikrokontroler perlu mengambil berbagai sampel tegangan listrik tersebut dan menyimpannya dalam memori. Sampel – sampel tegangan listrik yang telah diambil dan disimpan pada mikrokontroler, untuk menentukan besarnya daya aktif yang dikonsumsi oleh beban listrik. Kemudian dengan sampel-sampel tegangan listrik tersebut, tegangan rms dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4) berikut:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N V_i^2}{N}} \quad (4)$$

Dengan V_i merupakan besarnya tegangan listrik sesaat yang terukur dan N merupakan jumlah sampel tegangan listrik sesaat yang terukur.

2.2 Rangkaian pengukur arus listrik

Rangkaian pengukur arus listrik terdiri dari modul transformer arus listrik (CT) yang ditunjukkan oleh Gambar 2. Modul transformer arus digunakan karena dapat mengukur besarnya arus listrik sesaat atau secara real-time. Pengukuran besarnya arus listrik sesaat sangat diperlukan dalam perhitungan untuk menentukan nilai faktor daya dari beban listrik.



Gambar 2. Modul pengukur tegangan listrik

Untuk mendapatkan nilai arus listrik yang terukur oleh modul, nilai output ADC yang terbaca oleh mikrokontroler dari modul perlu dikalibrasi dengan cara melakukan pengukuran tanpa beban untuk menentukan nilai output ADC yang akan menjadi acuan nilai nol pada pengukuran. Nilai acuan ini digunakan untuk menentukan besarnya arus listrik yang terukur. Semakin jauh nilai ADC yang terukur dari nilai acuan, semakin besar juga arus listrik yang terukur. Selain itu juga, nilai acuan dapat digunakan untuk menentukan polaritas arus listrik yang terukur. Apabila nilai lebih kecil dibandingkan dengan nilai acuan maka arus memiliki tanda negatif dan juga sebaliknya. Besarnya arus listrik yang terukur oleh modul dirumuskan sebagai berikut.

$$I = \begin{cases} \frac{ADC_{Ukur} - ADC_{Acuan}}{1024} * 5 * Fk & , ADC_{Ukur} > ADC_{Acuan} \\ -\frac{ADC_{Ukur} - ADC_{Acuan}}{1024} * 5 * Fk & , ADC_{Ukur} < ADC_{Acuan} \end{cases} \quad (5)$$

F_k merupakan faktor konversi, dimana besarnya tegangan yang terukur oleh ADC dikonversi menjadi besarnya arus yang terukur oleh modul transformer arus. Untuk mendapatkan nilai konversi perlu dilakukan kalibrasi dengan menggunakan alat ukur lainnya seperti multimeter. Proses dilakukan dengan mengukur besarnya arus listrik tertentu menggunakan alat ukur listrik dan modul transformer arus dan membandingkan hasil pengukurannya. Nilai konversi didapatkan dengan membagi besarnya arus puncak yang terukur dengan besarnya tegangan listrik yang dihasilkan oleh modul transformer arus. Tabel I menunjukkan contoh proses pengambilan data nilai faktor konversi untuk modul transformer arus. Dengan mengambil beberapa sampel data didapat nilai rata-rata nilai konversi sebesar 0.106677.

Tabel 1. Penentuan Nilai Konversi tegangan ke arus listrik oleh modul CT

No	Tegangan terukur oleh Modul Transformer Arus (V)	Pengukuran Arus Puncak oleh alat ukur lain (mA)	Kf (A/V)
1	0.009766	0.90509668	0.092678
2	0.019531	1.852619767	0.094855
3	0.029297	2.701147904	0.092199
4	0.03418	3.84666089	0.112541
5	0.043945	4.780041841	0.108773
6	0.048828	5.685138521	0.116432
7	0.058594	6.660945879	0.11368
8	0.068359	7.650895372	0.111922
9	0.078125	8.584276324	0.109879
10	0.083008	9.446946597	0.113808
	Rata-rata		0.106677

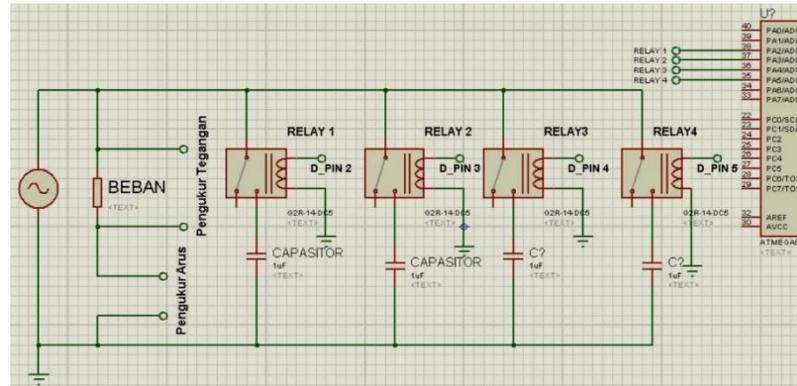
Kemudian besarnya arus listrik yang didapatkan melalui persamaan (5) merupakan besarnya arus listrik sesaat. Persamaan (6) dapat digunakan untuk mengkonversi besarnya arus listrik sesaat tersebut ke dalam bentuk rms.

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N I_i^2}{N}} \quad (6)$$

2.3 Rangkaian kapasitor

Rangkaian kapasitor memiliki fungsi sebagai komponen yang dapat memperbaiki faktor daya dari beban listrik induktif. Dengan memasang kapasitor secara paralel dengan beban, daya reaktif dari kapasitor dapat disalurkan kepada beban sehingga daya reaktif yang dikonsumsi oleh beban induktif dapat diminimalisir.

Dalam rangkaian kapasitor yang ditunjukkan oleh Gambar 3, digunakan 4 buah kapasitor dengan nilai kapasitansi yang 2 kali lebih besar dari nilai kapasitansi kapasitor sebelumnya. Kemudian kapasitor-kapasitor ini dihubungkan dengan beban menggunakan relay-relay yang dikendalikan oleh mikrokontroler. Sehingga nilai kapasitor yang terpasang kepada beban dapat diatur sepenuhnya oleh mikrokontroler. Kapasitor dihubungkan dengan bagian NO (*Normally Open*) relay sehingga ketika relay diaktifkan, kapasitor terhubung dengan beban.



Gambar 3. Rangkaian Kapasitor

Untuk memperbaiki faktor daya dari beban listrik induktif, tentunya besar daya reaktif yang diserap perlu dihitung dengan mengukur besar daya aktif dan daya reaktif yang diserap. Untuk mengukur daya aktif menggunakan mikrokontroler, persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$P = \frac{\sum_{k=1}^N v_k \cdot i_k}{N} \quad (7)$$

Untuk menentukan besarnya daya semu menggunakan mikrokontroler, persamaan (4) dan (6) digunakan untuk mengukur V_{rms} dan I_{rms} dari beban. Sehingga daya semu dapat dihitung dengan persamaan (8) [5].

$$S = V_{rms} \cdot I_{rms} \quad (8)$$

Untuk menentukan daya reaktif yang diserap oleh beban, berdasarkan konsep dari segitiga daya dan persamaan (8), persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut [5]:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (9)$$

Kemudian dengan nilai kapasitor yang ada, daya reaktif dari kapasitor perlu disesuaikan hingga mendekati besarnya daya reaktif yang diserap oleh beban induktif untuk mendapatkan nilai faktor daya yang mendekati 1. Besarnya daya reaktif pada kapasitor dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (10) sebagai berikut:

$$Q_C = V_{rms}^2 \cdot 2\pi f \cdot C \quad (10)$$

Karena rangkaian menggunakan 4 buah kapasitor yang terpasang secara paralel, nilai kapasitansi dari rangkaian dapat dirubah dengan mengatur kapasitor-kapasitor yang terhubung dengan beban. Sehingga besarnya daya reaktif yang dikoreksi dapat diatur dengan mengubah besarnya nilai kapasitansi dari rangkaian.

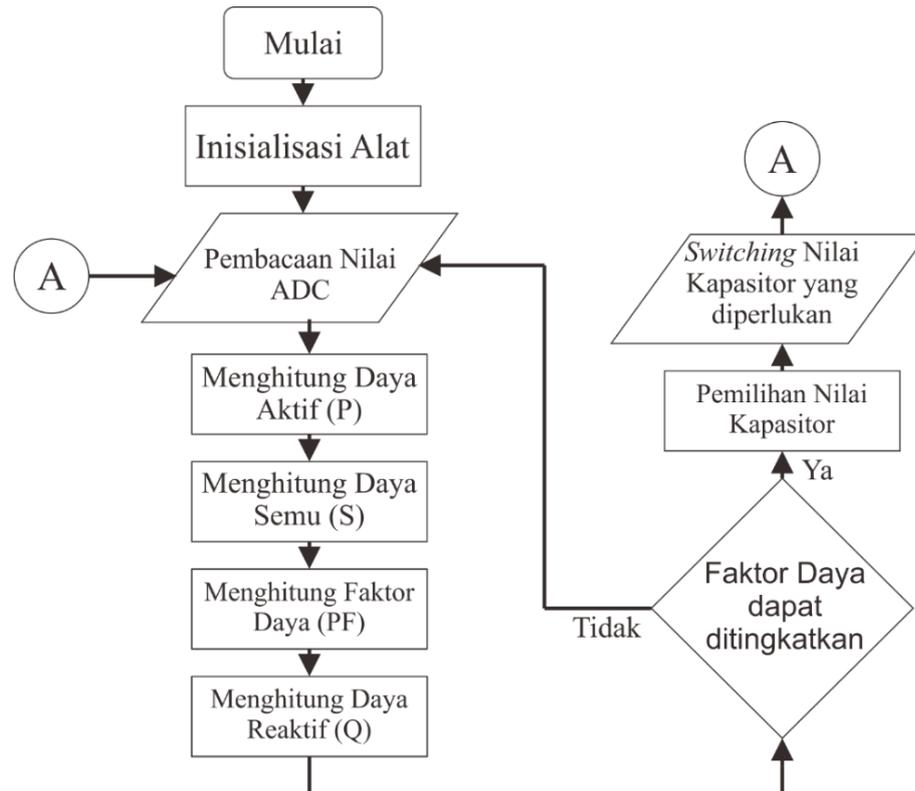
$$Q_C = V_{rms}^2 \cdot 2\pi f \cdot C_0 \cdot N \quad (11)$$

Persamaan (11) menunjukkan bagaimana mengatur besarnya daya reaktif yang diberikan oleh rangkaian kapasitor. Dimana N menyatakan jumlah kapasitor yang terhubung secara paralel dengan beban dan C_0 merupakan nilai kapasitansi terkecil

dari seluruh kapasitor. Dengan menggunakan 4 kapasitor dengan nilai kapasitansi 2 kali lebih besar dari sebelumnya, didapatkan 15 variasi nilai dari kapasitor sesuai dengan prinsip bilangan biner 4-bit. Bit pertama bilangan biner merupakan kapasitor pertama dengan nilai kapasitansi sebesar C_0 , bit kedua bilangan biner merupakan kapasitor kedua dengan nilai kapasitansi sebesar $2C_0$, dan seterusnya untuk bit ketiga dan bit keempat. Dalam menentukan kapasitor yang perlu dihubungkan dengan beban, mikrokontroler perlu menentukan besarnya nilai N yang diperlukan. Kemudian nilai N tersebut dirubah ke dalam bentuk biner 4-bit oleh mikrokontroler untuk menentukan kapasitor yang perlu dihubungkan dengan beban. Seluruh proses penentuan kapasitor dapat dilakukan secara otomatis oleh mikrokontroler.

Untuk melaksanakan fungsi dari perangkat, rancangan kerja dari perangkat disajikan dalam Gambar 4. Alur kerja dari perangkat, menurut diagram alir dijelaskan sebagai berikut :

1. Proses inisialisasi dari perangkat
2. Membaca nilai tegangan listrik dan arus listrik pada beban tiap waktu. Data mengenai besarnya tegangan listrik dan arus listrik tiap waktu masing-masing diambil sebanyak 200 sampel data
3. Perhitungan daya aktif dilakukan dengan menggunakan persamaan (7) mengenai daya aktif dan menggunakan data tegangan listrik dan arus listrik tiap waktu yang telah disimpan dalam memori perangkat
4. Perhitungan daya semu dilakukan dengan menggunakan persamaan (8) mengenai daya semu. Karena perhitungan tersebut memerlukan data berupa nilai tegangan listrik dan arus listrik dalam bentuk rms, persamaan (4) dan persamaan (6) digunakan untuk mencari nilai tersebut dengan menggunakan data tegangan listrik dan arus listrik tiap waktu yang telah disimpan dalam memori perangkat
5. Perhitungan faktor daya dilakukan dengan membandingkan besarnya daya aktif (P) dengan daya semu (S)
6. Daya reaktif didapatkan dengan menggunakan persamaan (9) berdasarkan teori segitiga daya
7. Dengan didaptkannya data berupa nilai faktor daya dan daya reaktif dari beban, perangkat akan menentukan apabila faktor daya dari beban dapat diperbaiki atau tidak. Apabila tidak perangkat akan kembali mengerjakan langkah kedua
8. Apabila faktor daya dapat ditingkatkan, perangkat akan menentukan besarnya nilai kapasitor yang diperlukan dengan menggunakan persamaan (11)
9. Koneksi antara beban dan kapasitor dihubungkan menggunakan relay yang diatur oleh perangkat. Kemudian perangkat akan kembali mengerjakan langkah kedua

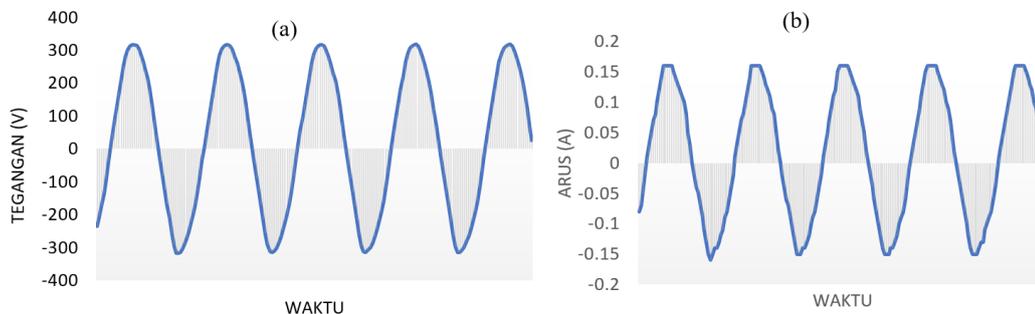


Gambar 4. Diagram alir kerja perangkat

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Pengukuran Perangkat

Gambar 5 (a) dan (b) menunjukkan hasil pengukuran tegangan dan arus listrik sesaat yang diserap oleh beban berupa beban resistif sebesar 40 Watt. Apabila diperhatikan grafik tegangan dan arus listrik menunjukkan tidak adanya beda fasa. Hal ini sesuai dengan teori, bahwa beban resistif pada dasarnya hampir tidak menimbulkan perbedaan fasa antara tegangan dan arus listrik yang diserap oleh beban dan membuktikan bahwa perangkat dapat mengukur tegangan dan arus sesaat yang sesuai.

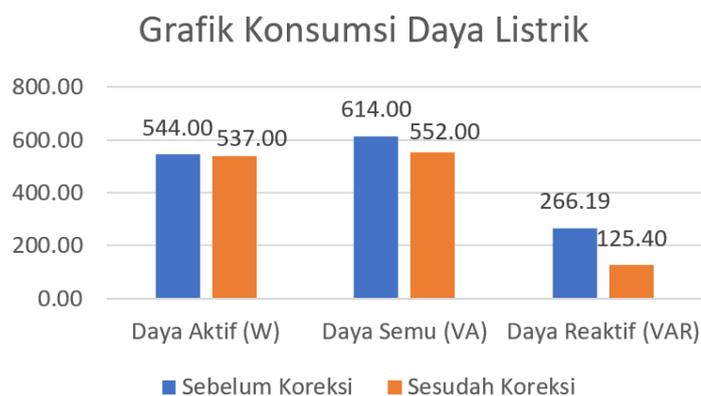


Gambar 5. (a) Grafik Tegangan listrik yang terukur, (b). Grafik Arus listrik yang terukur

3.2 Penerapan Perangkat Pada Konsumen Rumahan

Tabel II dan III secara berurutan menunjukkan konsumsi daya listrik berbagai beban induktif dari salah satu konsumen rumahan saat tidak dilakukan proses perbaikan faktor daya listrik oleh perangkat dan juga saat dilakukan perbaikan faktor daya listrik oleh perangkat. Untuk mengetahui dampak yang ditimbulkan oleh perangkat, pengambilan data daya listrik dilakukan dengan dua kondisi yaitu saat perangkat melakukan perbaikan faktor daya menggunakan rangkaian kapasitor dan saat perangkat tidak melakukan perbaikan faktor daya listrik.

Terlihat bahwa saat perbaikan faktor daya listrik dilakukan oleh perangkat, total daya reaktif yang diserap oleh beban-beban listrik berkurang sebesar 59%. Kemudian total daya semu yang diserap oleh beban-beban listrik juga berkurang sebesar 13%. Artinya bahwa terjadi peningkatan daya semu maksimal yang dapat dikonsumsi oleh konsumen rumahan tersebut yaitu sebesar 13%. Selain itu juga, nilai faktor daya listrik dari berbagai beban listrik meningkat hingga nilai lebih dari 0.95. Gambar 6 menunjukkan total daya listrik ketika perbaikan faktor daya listrik dilakukan oleh perangkat dan saat tidak dilakukan perbaikan faktor daya listrik oleh perangkat.



Gambar 6. Grafik Konsumsi Daya Listrik Konsumen Rumahan Dengan Penerapan Perangkat

4. Kesimpulan

Perangkat pengukur dan perbaikan faktor daya listrik telah berhasil dibuat. Proses pemilihan kapasitor untuk memperbaiki faktor daya dari beban listrik secara otomatis dilakukan oleh mikrokontroler, sehingga memudahkan pengguna dalam mengoperasikan perangkat. Dengan menggunakan nilai kapasitor yang dinamis, memungkinkan perangkat untuk dapat dipasangkan pada berbagai jenis beban dan tetap mendapatkan nilai faktor daya listrik yang cukup baik. Perangkat mampu mengurangi konsumsi daya reaktif dari beban induktif yang digunakan oleh konsumen rumahan sebesar 50%, yang mengakibatkan meningkatnya nilai faktor daya listrik dari konsumen rumahan menjadi nilai 0.9 atau lebih. Dengan meningkatnya faktor daya listrik, daya listrik berupa daya semu yang disalurkan kepada konsumen rumahan akan semakin mendekati dengan daya listrik berupa daya aktif yang diperlukan oleh konsumen rumahan, sehingga meningkatkan efisiensi daya listrik yang dapat dikonsumsi oleh masyarakat.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada seluruh dosen dari Program Studi Teknik Elektro FMIPA UNPAD, yang telah memberikan saran dalam penulisan karya tulis ini. Dan kami mengucapkan terima kasih juga kepada seluruh staff dari Program Studi Teknik Elektro FMIPA UNPAD, yang telah membantu perihal teknis percobaan dan juga dalam penulisan karya tulis ini

Daftar Pustaka

1. Direktorat Jendral Ketenagalistrikan. Statistik Ketenagalistrikan. 2018.
2. Whitby Hydro Energy Services Corp. *Power Factor Correction at the Residential Level - Pilot Project. 2005*, http://www.nativeworkplace.com/files/Residential_Power_Factor_Correction_Project_2005.pdf.
3. A. Parvez, et al. "Modeling and Simulation of a Microcontroller Based Power Factor Correction Converter." 2013 2nd International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV 2013), 2013, hal. 1–4, doi:10.1109/ICIEV.2013.6572713.
4. Atmel Corporation. AVR 465: Single-Phase Power/Energy Meter with Tamper Detection. 2004, hal. 6–8, <http://www.atmel.com/images/doc2566.pdf>.
5. C.K. Alexander and N.O. Matthew N. O. Sadiku. *Fundamental of Electric Circuits*. Ke-5, McGraw-Hill, 2013.