

Perancangan Alat Perbaikan Faktor Daya Beban Rumah Tangga dengan Menggunakan *Switching* Kapasitor dan Induktor Otomatis

Temmy Nanda Hartono, Pembimbing 1: Mahfudz Shidiq, Pembimbing 2: Hari Santoso.

Abstrak— Perbaikan faktor daya sangat dibutuhkan dalam sistem kelistrikan rumah tangga. Faktor daya yang rendah $\text{Cos}\phi < 0,85$ *lagging* atau *leading* menyebabkan penggunaan daya (W) menjadi kurang optimal dan pada saat peralatan listrik dihidupkan atau dimatikan dalam waktu tidak bersamaan, maka akan menyebabkan faktor daya yang berubah-ubah. Sebagai solusi digunakan kompensator daya reaktif berupa komponen kapasitor dengan 14 variasi nilai kapasitansi dan komponen induktor dengan 4 variasi nilai induktansi yang terhubung paralel dengan sistem. Mikrokontroler AT Mega16 digunakan sebagai prosesor dalam mengontrol relay yang terletak pada rangkaian kapasitor dan induktor. Didapatkan sebuah alat perbaikan faktor daya rumah tangga secara otomatis dengan koreksi faktor daya tertinggi 1 dari faktor daya awal 0,47, dan koreksi faktor daya terkecil 0,93 dari faktor daya awal 0,81.

Kata Kunci— *Beban Rumah Tangga, Perbaikan Faktor Daya, Kapasitor, Induktor.*

I. PENDAHULUAN

Nilai faktor daya yang rendah $\text{Cos}\phi < 0,85$ *lagging* atau *leading* dari peralatan elektrik rumah tangga menyebabkan penggunaan daya kurang optimal dan pada saat alat-alat elektrik tersebut dihidupkan atau dimatikan dengan waktu tidak bersamaan, maka akan menyebabkan nilai faktor daya yang berubah-ubah. Faktor daya yang rendah dapat diperbaiki dengan pemasangan kompensator daya reaktif. Kompensator daya reaktif konvensional pada umumnya hanya terdiri dari kapasitor bank yang dihubungkan paralel dengan beban, Namun pada perancangan ini akan menggunakan komponen kapasitor dan induktor sebagai kompensator daya reaktif. Penggunaan komponen induktor bertujuan untuk mengkompensasi daya reaktif ketika beban rumah tangga bersifat kapasitif. Supaya didapat kompensasi yang lebih presisi dari variasi beban yang ada, maka digunakan susunan rangkaian kapasitor dan induktor yang bervariasi nilainya. Nilai faktor daya yang berubah-ubah pada sistem kelistrikan rumah tangga dapat diatasi dengan pengoperasian kompensator daya reaktif yang bekerja secara otomatis terhadap perubahan nilai faktor daya sistem. Alat perbaikan faktor daya otomatis (APFD) ini akan bekerja secara terus menerus memperbaiki nilai faktor daya pada sistem kelistrikan rumah tangga.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Daya Listrik

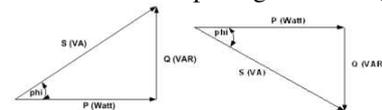
Daya ialah banyaknya perubahan energi terhadap waktu dalam besaran tegangan dan arus[6]. Daya listrik dapat dibagi menjadi 3 yaitu daya nyata (P), daya reaktif (Q), dan daya semu (S).

- Daya nyata P merupakan daya sebenarnya yang dibutuhkan oleh beban-beban/peralatan rumah tangga. Satuan daya nyata adalah watt (W) [6].

- Daya reaktif Q adalah daya yang timbul karena adanya pembentukan medan magnet pada beban-beban induktif. Satuan dari daya reaktif adalah volt ampere reaktif (VAR) [6].
- Daya semu merupakan resultan antara daya nyata dan daya reaktif. Satuan dari daya semu adalah volt ampere (VA) [6].
- Faktor daya ($\text{Cos } \phi$) merupakan suatu konstanta yang dengan nilai 0 sampai 1, yang menunjukkan seberapa besar daya nyata yang diserap oleh beban resistif dari daya semu yang ada pada suatu beban total[6].

B. Segitiga Daya

Daya semu (S) merupakan resultan dari dua komponen, yaitu daya nyata (P) dan komponen daya reaktif (Q). Hubungan ini disebut dengan segitiga daya dan dalam bentuk vektor dapat digambarkan [2]:



Gambar 1 Segitiga daya. (a) karakteristik beban kapasitif. (b) karakteristik beban induktif.

$$P = V \cdot I \cos \phi \quad (1)$$

$$Q = V \cdot I \sin \phi \quad (2)$$

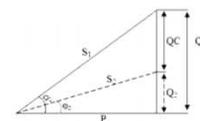
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ atau } S = V \cdot I \quad (3)$$

$$\text{Faktor Daya} = \frac{\text{Daya Nyata}}{\text{Daya Semu}} = \cos \phi \quad (4)$$

C. Perbaikan Faktor Daya

Sebuah kapasitor daya atau yang dikenal dengan kapasitor bank harus mempunyai daya Q_c yang sama dengan daya reaktif dari sistem yang akan diperbaiki faktor dayanya. Jika keadaan ini dipenuhi, kapasitor bank akan memperbaiki faktor daya menjadi bernilai maksimum ($\cos \phi = 1$). Besarnya daya reaktif yang diperlukan untuk mengubah faktor daya dari $\cos \phi_1$ menjadi $\cos \phi_2$ dapat ditentukan dengan [3] :

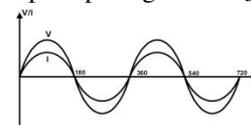
$$Q_c = P(\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \quad (5)$$



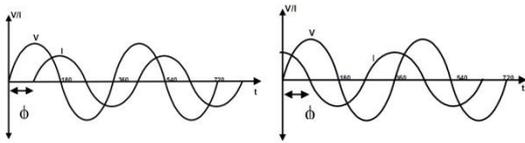
Gambar 2 Prinsip perbaikan faktor daya

D. Hubungan Fasa

Ada tiga kemungkinan hubungan fasa antara arus dan tegangan dalam satuan rangkaian, yaitu arus dan tegangan sefasa seperti pada gambar 3[5].



Gambar 3 Arus dan tegangan sefasa



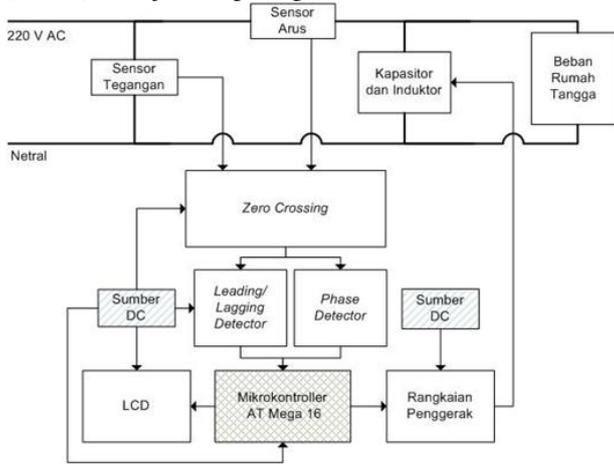
Gambar 4 Arus lagging Gambar 5 Arus leading

Arus tertinggal (*lagging*) dari tegangan seperti pada gambar 4. Arus mendahului (*leading*) tegangan seperti pada gambar 5. Lamanya waktu dimana arus mendahului atau tertinggal dari tegangan dinyatakan dalam derajat listrik dan disebut sudut fasa [5].

III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

A. Blok Diagram Sistem

Blok diagram dari sistem alat perbaikan faktor daya (APFD) ditunjukkan pada gambar 6.

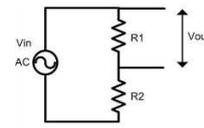


Gambar 6 Blok diagram sistem alat perbaikan faktor daya (APFD)

Sistem dimulai dengan pendeteksian sinyal oleh sensor. Sensor tegangan berfungsi untuk mengambil sinyal sinusoida tegangan sebesar 5 volt dari sinyal sinusoida tegangan 220 volt. Sensor arus berfungsi mengkonversi sinyal sinusoida arus menjadi sinyal sinusoida tegangan yang linier dengan perubahan nilai arusnya. Sinyal keluaran sensor tegangan dan arus masuk ke rangkaian *zero crossing*. Rangkaian *zero crossing* berfungsi untuk mengkonversi sinyal sinusoida tegangan dan arus menjadi sinyal step tegangan dan arus. Kemudian sinyal step tegangan dan arus juga masuk ke rangkaian *phase detector* untuk dideteksi beda fasa. Di saat yang sama sinyal step tegangan dan arus juga masuk ke rangkaian *leading/lagging detector* untuk diketahui sifat *leading/lagging*-nya. Keluaran dari rangkaian *phase detector* dan *leading/lagging detector* tersambung ke mikrokontroler AT Mega16 untuk diolah nilai faktor dayanya. Kemudian mikrokontroler memberi perintah ke rangkaian penggerak untuk menentukan kapasitor atau induktor mana yang harus aktif untuk menjaga faktor daya sistem supaya selalu mendekati/sesuai *set point* yang diinginkan yaitu $\cos \phi=1$.

B. Perancangan Rangkaian Sensor Tegangan

Sensor tegangan berfungsi untuk mengambil sinyal sinusoida tegangan sebesar 5 volt dari sistem 220 volt. Sensor tegangan menggunakan prinsip pembagi tegangan seperti gambar 7, tidak menggunakan trafo supaya tidak timbul pergeseran fasa.



Gambar 7 Rangkaian sensor tegangan

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in} \quad (6)$$

$$220 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times 5$$

Ditentukan $R_2 = 100k\Omega$, maka:

$$R_1 = 2.325 k\Omega$$

Dipilih nilai $R_1 = 2.2k\Omega$. Resistor yang digunakan harus kuat terhadap panas/arus yang mengalir, maka:

$$i = \frac{v}{R_1 + R_2} \quad (7)$$

$$i = 0.00215 A$$

Perhitungan panas pada resistor R_1 :

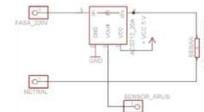
$$P = i^2 \times R_1 \quad (8)$$

$$P = 0.46225 \text{ watt}$$

Daya pada resistor R_1 dan R_2 harus lebih besar dari 0.46225 watt supaya resistor tidak terbakar. Maka dipilih R_1 dan R_2 dengan daya masing-masing 2 watt.

C. Perancangan Rangkaian Sensor Arus

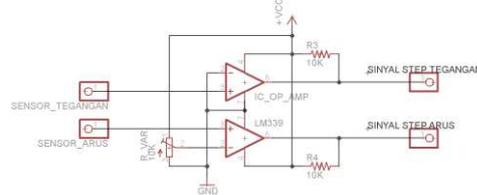
Sensor arus berfungsi untuk mengkonversi sinyal sinusoida arus sistem menjadi sinyal sinusoida tegangan. Sensor arus yang digunakan adalah ACS 712 30A yang mampu beroperasi pada tegangan 2.1 kV dan pada arus maksimal 30 A, serta memiliki sensitivitas 66 mV/A [1].



Gambar 8 Rangkaian Sensor Arus

D. Perancangan Rangkaian Zero Crossing

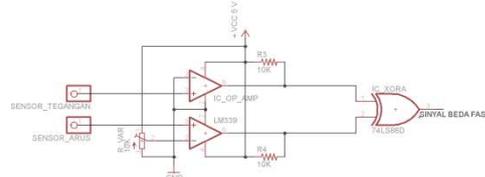
Rangkaian *Zero crossing* berfungsi untuk mengkonversi sinyal sinusoida arus dan tegangan menjadi sinyal step. IC Op-Amp LM339 sebagai komparator [4] seperti pada gambar 9.



Gambar 9 Rangkaian zero crossing

E. Perancangan Rangkaian Phase Detector

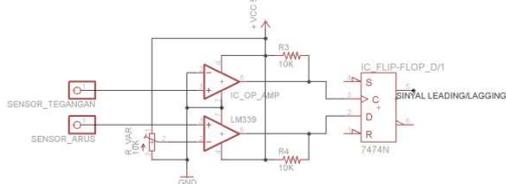
Rangkaian *phase detector* berfungsi untuk membandingkan sinyal step arus dan tegangan dan dibaca beda fasanya menggunakan IC Gerbang XOR 74LS86 seperti pada gambar 10.



Gambar 10 Rangkaian Phase detector

F. Perancangan Leading/Lagging Detector

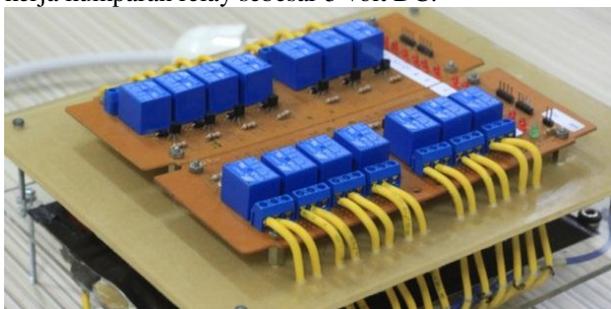
Rangkaian *leading/lagging detector* berfungsi untuk membaca sinyal step arus pada saat sinyal step tegangan picu naik. Pada perancangan digunakan IC flip-flop D 74LS74 seperti pada gambar 11.



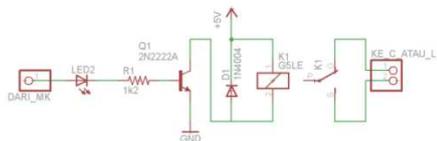
Gambar 11 Rangkaian *leading/lagging detector*

G. Perancangan Rangkaian Penggerak Relay

Rangkaian penggerak berfungsi untuk melakukan *switching* (ON-OFF) saluran pada rangkaian kapasitor dan induktor. Relay yang digunakan adalah merk SONGLE tipe SRD-05VDC-SL-C dengan tegangan kerja kumparan relay sebesar 5 volt DC.



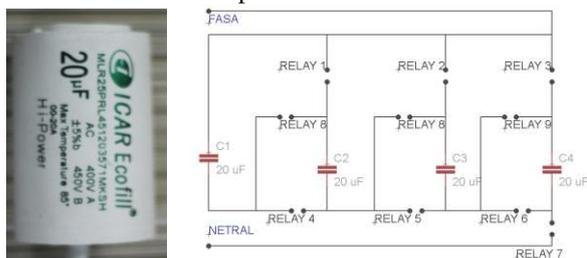
Gambar 12 Rangkaian penggerak relay hasil perancangan



Gambar 13 Rangkaian skematik penggerak relay Transistor 2N2222 tipe NPN digunakan untuk untuk menggerakkan kumparan pada relay. Dioda 1N4004 yang dipasang secara paralel dengan relay berfungsi untuk mencegah arus transien yang ditimbulkan oleh kumparan relay.

H. Perancangan Rangkaian Kapasitor dan Induktor

Kapasitor yang didigunakan adalah kapasitor AC merek ICAR Ecofill 400 volt dengan nilai 20 μF , serta memiliki toleransi $\pm 5\%$. Rangkaian kombinasi kapasitor ditunjukkan pada gambar 14 dan memiliki 14 macam variasi nilai kapasitansi.



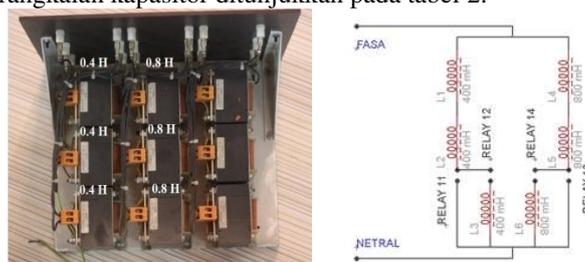
Gambar 14 Kapasitor AC merek ICAR Ecofill 20 μF dan rangkaian kombinasi kapasitor

Macam kombinasi rangkaian kapasitor ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1 Variasi nilai kapasitansi kapasitor

No.	Kombinasi Rangkaian	Nilai Kapasitansi (μF)	Relay yang aktif
1		5 μF	7,8,9,10
2		6,67 μF	1,7,9,10
3		8 μF	1,4,7,9,10
4		10 μF	2,7,10
5		13,3 μF	1,2,5,7,10
6		15 μF	1,2,4,5,7,10
7		20 μF	3,7
8		26,67 μF	3,6,7,8,9
9		30 μF	1,3,6,7,9
10		33,3 μF	1,3,4,6,7,9
11		40 μF	2,3,6,7
12		50 μF	2,3,5,6,7,8
13		60 μF	1,2,3,5,6,7
14		80 μF	1,2,3,4,5,6,7

Sedangkan induktor yang digunakan adalah induktor yang tersedia di Laboratorium Sistem Daya Elektrik (SDE). Pada gambar 15, Induktor yang digunakan berjumlah 6 buah, dengan rincian 3 buah induktor dengan nilai induktansi 400 mH dan 3 buah induktor dengan nilai induktansi 800 mH. Rangkaian kombinasi induktor ditunjukkan pada gambar 15 dan memiliki 4 macam kombinasi. Macam kombinasi rangkaian kapasitor ditunjukkan pada tabel 2.



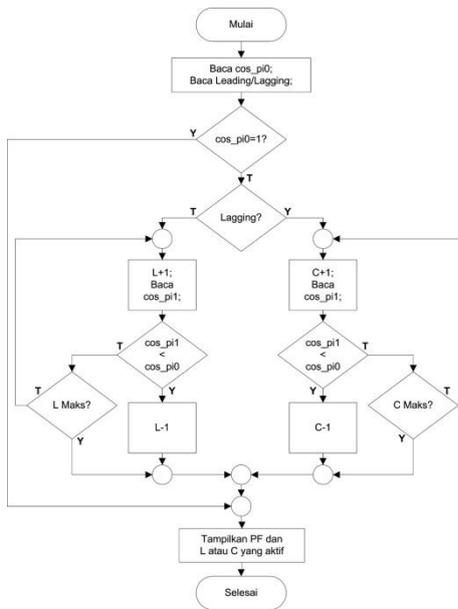
Gambar 15 Induktor di Laboratorium Sistem Daya Elektrik dan rangkaian kombinasi induktor

Tabel 2 Variasi nilai induktansi induktor

No.	Kombinasi Rangkaian	Nilai Induktansi (mH)	Relay yang aktif
1		800 mH	11
2		1200 mH	12
3		1600 mH	13
4		2400 mH	14

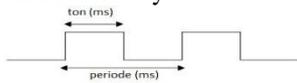
I. Perancangan Perangkat Lunak APFD

Diagram alir cara kerja mikrontroller sebagai pengendali rangkaian penggerak relay dalam pengaktifan kapasitor/induktor supaya $\text{cos}\phi$ sistem sesuai/mendekati *setpoint* $\text{cos}\phi=1$, dijelaskan pada *flowchart* pada gambar 16.



Gambar 16 Flowchart program utama mikrokontroler sebagai pengontrol perbaikan faktor daya sistem

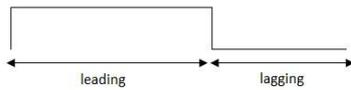
Pendeteksian nilai beda fasa yang dilakukan oleh *phase detector* memberi keluaran sinyal step 1 atau 0. Sinyal tersebut dibaca lebar pulsa logika 1 nya kemudian dikonversi ke nilai derajat setelah itu dikonversi ke nilai faktor daya.



Gambar 17 Bentuk gelombang sinyal beda fasa hasil dari perbandingan sinyal step arus dan tegangan

$$\text{Cos } \phi = \text{Cos} \left(\frac{t_{\text{on}}(\text{ms})}{\text{periode}(\text{ms})} \times 360^\circ \right) \quad (9)$$

Rangkaian *leading/lagging detector* memberikan keluaran sinyal step 1 atau 0. Faktor daya sistem dideteksi *lagging* saat keluaran rangkaian bernilai logika 0, dan *leading* saat logika 1.



Gambar 18 Bentuk gelombang sinyal *leading* atau *lagging* dari perbandingan sinyal step arus dan tegangan

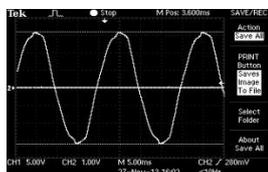
III. PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

A. Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan

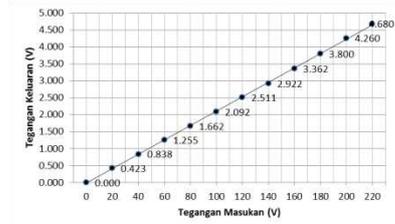
Pengujian ini untuk mengetahui apakah rangkaian bisa mengambil tegangan yang dibutuhkan dari tegangan sistem, serta untuk melihat gelombang sinusoida tegangan. Hasil pengujian dapat dilihat dalam tabel 3 dan gambar 19.

Tabel 3 Data tegangan keluaran sensor tegangan

Pengujian ke-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
V in (V)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220
V out (V)	0	0,42	0,84	1,26	1,66	2,09	2,51	2,92	3,36	3,8	4,26	4,68



Gambar 19 Sinyal sinusoida tegangan keluaran



Gambar 20 Tegangan keluaran sensor tegangan terhadap perubahan tegangan masukan

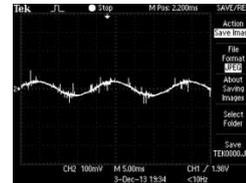
Pada gambar 20 Rangkaian sensor tegangan mampu mengambil tegangan sistem dengan nilai 2,1% dari tegangan sistem. Tidak terjadi pergeseran fasa pada sinyal sinusoida tegangan.

B. Pengujian Rangkaian Sensor Arus

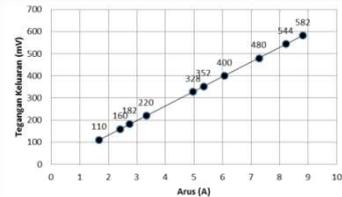
Pengujian untuk mengetahui sensitivitas sensor arus ACS 712 apakah sesuai dengan *datasheet*. Hasil pengujian dapat dilihat dalam tabel 4 dan gambar 21.

Tabel 4 Data tegangan keluaran sensor arus

Pengujian ke-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I in (A)	1,68	2,42	2,75	3,33	4,97	5,34	6,07	7,28	8,22	8,8
V out (mV)	110	160	182	220	220	328	352	400	480	582



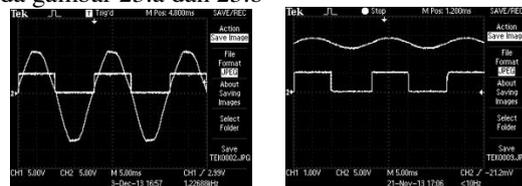
Gambar 21 Sinyal keluaran sensor arus dengan beban resistif



Gambar 22 Tegangan keluaran sensor arus terhadap perubahan arus. Pada gambar 22, sensor arus mampu menghasilkan keluaran dengan sensitivitas 66mV/A dan terjadi pergeseran fasa pada sinyal sinusoida arus.

C. Pengujian Rangkaian Zero Crossing

Pengujian ini untuk mengetahui apakah rangkaian mampu mengkonversi sinyal sinusoida tegangan dan arus menjadi sinyal step. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 23.a dan 23.b

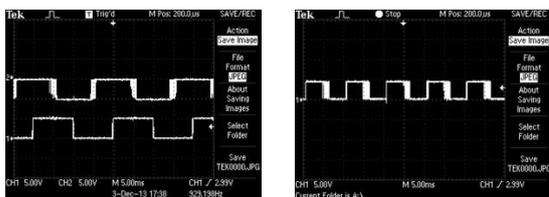


Gambar 23 Sinyal keluaran zero crossing (a) sinusoida tegangan dan (b) Sinyal sinusoida arus dan sinyal step arus

Sinyal step tegangan berlogika 1 saat tegangan masukannya positif, dan berlogika 0 saat masukannya negatif. Sedangkan sinyal step arus berlogika 1 saat tegangan masukannya bernilai >2,5V, dan berlogika 0 saat masukannya ≤2,5V.

D. Pengujian Rangkaian Phase Detector

Pengujian ini untuk mengetahui apakah rangkaian mampu membandingkan sinyal step tegangan dan arus. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar dan 24.

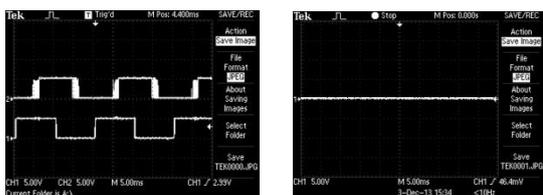


Gambar 24 Sinyal keluaran *phase detector* beban induktif

Sinyal keluaran berupa logika 1 saat ada perbedaan logika antara sinyal step tegangan dan arus, serta berlogika 0 saat sinyal step tegangan dan arus berlogika sama.

E. Pengujian Leading/lagging Detector

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian mampu membaca sifat *leading/lagging*. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 25.



Gambar 25 Sinyal keluaran *leading/lagging detector* beban induktif

Sinyal keluaran berupa logika 0 karena saat sinyal step tegangan picu naik, pada saat yang sama sinyal step arus logika 0. Berarti sistem bersifat *lagging*.

F. Pengujian Rangkaian Penggerak Relay

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian ini bisa memutuskan dan menyambung rangkaian kapasitor dan induktor. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 26.



Gambar 26 Relay yang aktif saat PINB.1, PINB.2, PINB.4, PINB.5, PINB.6,dan PINB.7 berlogika 1, serta nilai kapasitansi 50 µF

G. Pengujian Pendeteksian Nilai Cos φ

Pengujian ini bertujuan mengkalibrasi nilai $\cos\phi$ hasil pengolahan mikrokontroler agar sesuai dengan nilai $\cos\phi$ pada alat ukur *power analyzer*. Hasil pengujian pada tabel 5.

Tabel 5 Pembacaan faktor daya pada LCD dengan power analyzer

Pengujian ke-	Beban yang digunakan	Pembacaan <i>power analyzer</i>	Pembacaan LCD
1	1xPijar 100W	1	0,99
2	1xMI ¼ HP,	0,3	0,32
3	1xMI ¼ HP, 1xPijar 100W	0,47	0,48
4	1xMI ¼ HP, 2xPijar 100W	0,6	0,59
5	1xMI ¼ HP, 3xPijar 100W	0,69	0,68
6	1xMI ¼ HP, 4xPijar 100W	0,76	0,76
7	Kapasitor 8 µF, 1xPijar 100W	0,66	0,66
8	Kapasitor 8 µF, 2xPijar 100W	0,87	0,88
9	Kapasitor 8 µF, 3xPijar 100W	0,93	0,93
10	Kapasitor 8 µF, 4xPijar 100W	0,97	0,98



Nilai error didapatkan rata-rata kesalahan nilai pembacaan sebesar $\pm 1.51\%$.

H. Pengujian Pembebanan Sistem Kelistrikan Rumah Tangga

Tujuan pengujian ini untuk membandingkan sebelum dan setelah pemasangan alat perbaikan faktor daya (APFD). Hasil pengujian pada tabel 6,7,8 dan 9:

Tabel 6 Hasil pengujian tanpa APFD pada beban induktif

Pengujian ke-	Tegangan (V)	Arus (A)	Faktor Daya	Sifat
1	226,8	2,22	0,47	Lagging
2	226,6	2,42	0,57	Lagging
3	226,8	2,75	0,71	Lagging
4	225,3	3,33	0,83	Lagging
5	225,8	4,97	0,46	Lagging
6	224,3	5,34	0,58	Lagging
7	222,6	6,07	0,71	Lagging
8	221,1	7,28	0,83	Lagging
9	220,5	8,22	0,7	Lagging
10	220	8,82	0,75	Lagging

Tabel 7 Hasil pengujian tanpa APFD pada beban kapasitif

Pengujian ke-	Tegangan (V)	Arus (A)	Faktor Daya	Sifat
1	229,5	1,08	0,88	Leading
2	228,5	2,09	0,84	Leading
3	227,6	2,45	0,89	Leading
4	227,8	2,61	0,9	Leading
5	227,6	2,97	0,81	Leading
6	227,5	3,15	0,84	Leading
7	227,4	3,36	0,86	Leading
8	227	3,66	0,88	Leading
9	226,1	4,06	0,91	Leading
10	225,9	4,36	0,92	Leading

Tabel 8 Hasil pengujian dengan APFD pada beban induktif

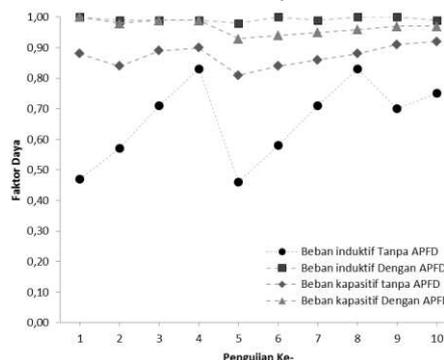
Pengujian ke-	Tegangan (V)	Arus (A)	Faktor Daya	Sifat
1	226,4	1,1	1	-
2	226	1,44	0,99	Lagging
3	224,3	1,96	0,99	Leading
4	223,2	2,78	0,99	Leading
5	224,7	2,34	0,98	Lagging
6	223,1	3,19	1	-
7	221,9	4,47	0,99	Lagging
8	221,3	6	1	-
9	221,9	5,81	1	-
10	220,8	6,77	0,99	Lagging

Tabel 9 Hasil pengujian dengan APFD pada beban kapasitif

Pengujian ke-	Tegangan (V)	Arus (A)	Faktor Daya	Sifat
1	226,2	1	1	-
2	225,5	1,84	0,98	Leading
3	224,3	2,25	0,99	Leading
4	224,5	2,43	0,99	Leading
5	224,9	2,65	0,93	Leading
6	224,3	2,84	0,94	Leading
7	223,9	3,09	0,95	Leading
8	223,5	3,42	0,96	Leading
9	223,2	3,81	0,97	Leading
10	223,2	4,14	0,97	Leading

1.) Pengaruh APFD pada faktor daya sistem

Pada gambar 27., dapat diamati bahwa penggunaan alat perbaikan faktor daya (APFD) mampu memperbaiki nilai faktor daya sistem kelistrikan rumah tangga menjadi lebih baik dari sebelumnya.



Gambar 27 Pengaruh APFD pada faktor daya sistem

2). Pengaruh APFD pada daya-daya sistem

Pemasangan APFD menyebabkan penurunan daya reaktif dan daya semu, namun tidak mempengaruhi pada daya nyata sistem. Seperti yang ditunjukkan tabel 10 dan 11.

Tabel 10 Nilai daya beban rumah tangga berbeban induktif

No.	Tanpa APFD			Dengan APFD		
	S (VA)	P (W)	Q (VAR)	S (VA)	P (W)	Q (VAR)
1	503,50	236,64	444,42	249,04	249,04	0,00
2	548,37	312,57	450,57	325,44	322,19	45,91
3	623,70	442,83	439,21	439,63	435,23	62,02
4	750,25	622,71	418,46	620,50	614,29	87,53
5	1122,23	516,22	996,45	525,80	515,28	104,63
6	1197,76	694,70	975,72	711,69	711,69	0,00
7	1351,18	959,34	951,50	991,89	981,97	139,92
8	1609,61	1335,97	897,78	1327,80	1327,80	0,00
9	1812,51	1268,76	1294,39	1289,24	1289,24	0,00
10	1940,40	1455,30	1283,45	1494,82	1479,87	210,87

Tabel 11 Nilai daya beban rumah tangga berbeban kapasitif

No.	Tanpa APFD			Dengan APFD		
	S (VA)	P (W)	Q (VAR)	S (VA)	P (W)	Q (VAR)
1	247,86	218,12	117,73	226,20	226,20	0,00
2	477,57	401,15	259,12	414,92	406,62	82,57
3	557,62	496,28	254,25	504,68	499,63	71,19
4	594,56	535,10	259,16	545,54	540,08	76,96
5	675,97	547,54	396,41	595,99	554,27	219,06
6	716,63	601,97	388,83	637,01	598,79	217,33
7	764,06	657,10	389,90	691,85	657,26	216,03
8	830,82	731,12	394,62	764,37	733,80	214,02
9	917,97	835,35	380,60	850,39	824,88	206,73
10	984,92	906,13	386,01	924,05	896,33	224,64

3). Pengaruh APFD pada daya reaktif yang terkompensasi

Tabel 12 Daya reaktif yang terkompensasi

Pengujian ke-	Rumah Tangga Berbeban Induktif		Rumah Tangga Berbeban Kapasitif	
	Q yang terkompensasi (VAR)		Q yang terkompensasi (VAR)	
	VAR	(%)	VAR	(%)
1	444,42	100,00%	117,73	100,00%
2	404,66	89,81%	176,55	68,14%
3	377,19	85,88%	183,06	72,00%
4	330,93	79,08%	182,20	70,31%
5	891,81	89,50%	177,35	44,74%
6	975,72	100,00%	171,50	44,11%
7	811,58	85,29%	173,87	44,59%
8	897,78	100,00%	180,59	45,76%
9	1294,39	100,00%	173,86	45,68%
10	1072,58	83,57%	161,37	41,80%

Pada tabel 12., Kompensasi daya reaktif terbesar yaitu hingga 100% dan nilai kompensasi terkecil yaitu 41.80% dari daya reaktif sebelumnya.

4). Pengaruh APFD pada daya semu yang terkompensasi

Tabel 13 Daya semu yang terkompensasi

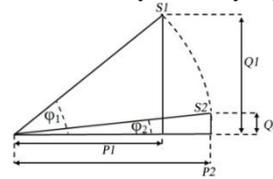
Pengujian ke-	Rumah Tangga Berbeban Induktif		Rumah Tangga Berbeban Kapasitif	
	S yang terkompensasi (VA)		S yang terkompensasi (VA)	
	VA	(%)	VA	(%)
1	254,46	50,54%	21,66	8,74%
2	222,93	40,65%	62,64	13,12%
3	184,07	29,51%	52,95	9,49%
4	129,75	17,29%	49,02	8,25%
5	596,43	53,15%	79,99	11,83%
6	486,07	40,58%	79,61	11,11%
7	359,29	26,59%	72,21	9,45%
8	281,81	17,51%	66,45	8,00%
9	523,27	28,87%	67,57	7,36%
10	445,58	22,96%	60,88	6,18%

Pada tabel 13., Kompensasi daya semu terbesar yaitu hingga 53.15% dan nilai kompensasi terkecil yaitu 6.18% dari daya semu sebelumnya.

5). Pengaruh APFD pada daya nyata yang bisa dioptimalkan dengan daya semu yang tetap

Pada tabel 14 dan 15, Peningkatan daya nyata terbesar yang bisa dioptimalkan setelah pemasangan APFD adalah sebesar 583.56 W dengan daya semu yang tetap, sedangkan peningkatan daya nyata terkecil yang mampu

dioptimalkan setelah pemasangan APFD adalah sebesar 29.74 W dengan kondisi daya semu yang tetap.



Gambar 28 Segitiga daya dengan daya semu (VA) yang tetap

Tabel 14 Daya nyata yang bisa dioptimalkan dengan daya semu yang tetap pada rumah tangga berbeban induktif

No.	Daya semu (VA) tanpa APFD	Daya nyata (W) tanpa APFD	Cos φ dengan APFD	Daya (W) yang dioptimalkan dengan pemasangan APFD	ΔP (W)
1	503,50	236,64	1	503,50	266,85
2	548,37	312,57	0,99	542,89	230,32
3	623,70	442,83	0,99	617,46	174,64
4	750,25	622,71	0,99	742,75	120,04
5	1122,23	516,22	0,98	1099,78	583,56
6	1197,76	694,70	1	1197,76	503,06
7	1351,18	959,34	0,99	1337,67	378,33
8	1609,61	1335,97	1	1609,61	273,63
9	1812,51	1268,76	1	1812,51	543,75
10	1940,40	1455,30	0,99	1921,00	465,70

Tabel 15 Daya nyata yang bisa dioptimalkan dengan daya semu yang tetap pada rumah tangga berbeban kapasitif

No.	Daya semu (VA) tanpa APFD	Daya nyata (W) tanpa APFD	Cos φ dengan APFD	Daya (W) yang dioptimalkan dengan pemasangan APFD	ΔP (W)
1	247,86	218,12	1	247,86	29,74
2	477,57	401,15	0,98	468,01	66,86
3	557,62	496,28	0,99	552,04	55,76
4	594,56	535,10	0,99	588,61	53,51
5	675,97	547,54	0,93	628,65	81,12
6	716,63	601,97	0,94	673,63	71,66
7	764,06	657,10	0,95	725,86	68,77
8	830,82	731,12	0,96	797,59	66,47
9	917,97	835,35	0,97	890,43	55,08
10	984,92	906,13	0,97	955,38	49,25

I. Pengujian Pengaruh Pemasangan APFD terhadap Kerentanan Terjadinya Trip pada Mini Circuit Breaker (MCB) Instalasi Listrik Rumah Tangga.

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemasangan alat perbaikan faktor daya (APFD) pada kerentanan terjadinya MCB trip pada sebuah instalasi listrik rumah tangga. Rangkaian pengujian dan hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 29 dan tabel 16.



Gambar 29 Rangkaian Pengujian Pembebanan Sistem Kelistrikan Rumah tangga di Laboratorium Sistem Daya Elektrik TEUB

Tabel 16 Kondisi MCB sebelum dan sesudah pemasangan APFD

No.	Beban Terpasang	Volt	Ampere	Cosφ	Watt	Kondisi MCB	Keterangan
1	MI 1/2 HP, 3xPijar 100W	222,4	3,29	0,65	475,60	Trip	Tanpa APFD
2	MI 1/2 HP, 3xPijar 100W	223	2,15	1	479,45	Tidak Trip	Dengan APFD
3	MI 1/2 HP, 3xPijar 100W 5xPijar 40W	223,7	3,01	1	673,34	Tidak Trip	Dengan APFD

Pada pengujian ke-1 dan ke-2 untuk beban yang sama, pemasangan APFD mampu menurunkan arus beban dari 3,29 A menjadi 2,15 A, dan MCB tidak trip lagi seperti pengujian sebelumnya. Bahkan, pada pengujian ke-3

terlihat bahwa sistem justru bisa menambah lagi pemakaian daya nyata sebesar 5 buah lampu pijar 40 W atau sebesar 200 W. Hal ini mengindikasikan bahwa pemasangan APFD mampu mengurangi resiko terjadinya *trip* pada kondisi pemakaian daya (*watt*) yang mendekati kapasitas daya maksimalnya.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

- 1) Alat perbaikan faktor daya beban rumah tangga dengan menggunakan *switching* kapasitor dan induktor yang dirancang dan dibuat pada penelitian ini, mampu bekerja secara otomatis dan mampu melakukan perbaikan nilai faktor daya rumah tangga dengan koreksi faktor daya tertinggi 1 dari faktor daya awal 0,47. dan koreksi faktor daya terkecil 0,93 dari faktor daya awal 0,81
- 2) Alat perbaikan faktor daya beban rumah tangga dengan menggunakan *switching* kapasitor dan induktor yang dirancang dan dibuat pada penelitian ini, mampu mengkompensasi daya reaktif terbesar hingga 100% dan nilai kompensasi terkecil yaitu 41.80% dari daya reaktif sebelumnya.
- 3) Alat perbaikan faktor daya beban rumah tangga dengan menggunakan *switching* kapasitor dan induktor yang dirancang dan dibuat pada penelitian ini, mampu mengkompensasi daya semu dengan nilai kompensasi terbesar yaitu 53.15% dan nilai kompensasi terkecil yaitu 6.18% dari daya semu sebelumnya.
- 4) Alat perbaikan faktor daya beban rumah tangga dengan *switching* kapasitor dan induktor mampu meningkatkan kapasitas daya nyata yang bisa dioptimalkan pada sistem, dengan kondisi daya semu yang tetap/konstan.
- 5) Alat perbaikan faktor daya beban rumah tangga dengan *switching* kapasitor dan induktor mampu mengurangi resiko terjadinya MCB *trip* pada kondisi penggunaan daya (*watt*) yang mendekati kapasitas daya maksimalnya.

Untuk penyempurnaan penelitian ini, ada beberapa saran yang perlu dilakukan antara lain :

- 1) Penggunaan sensor arus yang tidak perlu memutus saluran listrik terlebih dahulu pada saat awal pemasangan alat perbaikan faktor daya.
- 2) Penambahan *display* monitoring nilai arus, tegangan, dan daya-daya sistem kelistrikan rumah tangga pada alat perbaikan faktor daya.
- 3) Penggunaan aplikasi komponen semikonduktor dalam proses *switching* kapasitor atau induktor.
- 4) Memperhitungkan pengaruh *switching* kapasitor atau induktor terhadap kualitas harmonisa sistem kelistrikan rumah tangga.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Allegromicro. 2006. *ACS712, Fully Integrated, Half Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*. Massachusetts : Allegromicro.
- [2] Hadi, Abdul. 1994. *Sistim Distribusi Daya Listrik*. Jakarta.: Penerbit Erlangga.
- [3] Gonen, Turan. 1987. *Electric Power Distribution Sistem Engineering*. Singapore: McGraw-Hill Book Company.

- [4] Mike Tooley.2002. *Rangkaian Elektronik Prinsip dan Aplikasi*. Erlangga Ciracas: Jakarta
- [5] Pabla, AS. 1986. *Sistem Distribusi Daya Elektrik*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- [6] Stevenson. 1993. *Power System Analysis*. Singapore: McGraw-Hill Book Company