

**PERANCANGAN ALAT PERBAIKAN FAKTOR DAYA BEBAN
RUMAH TANGGA DENGAN MENGGUNAKAN SWITCHING
KAPASITOR DAN INDUKTOR OTOMATIS**

SKRIPSI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

TEMMY NANDA HARTONO

NIM. 0910630099 - 63

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

MALANG

2014

LEMBAR PERSETUJUAN

PERANCANGAN ALAT PERBAIKAN FAKTOR DAYA BEBAN RUMAH TANGGA DENGAN MENGGUNAKAN SWITCHING KAPASITOR DAN INDUKTOR OTOMATIS

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

TEMMY NANDA HARTONO

NIM. 0910630099- 63

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Mahfudz Shidiq, MT.

NIP. 19580609 198703 1 003

Ir. Hari Santoso, MS.

NIP. 19531205 198503 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN ALAT PERBAIKAN FAKTOR DAYA BEBAN RUMAH
TANGGA DENGAN MENGGUNAKAN SWITCHING KAPASITOR DAN
INDUKTOR OTOMATIS**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Disusun oleh:
TEMMY NANDA HARTONO
NIM. 0910630099 - 63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 3 Januari 2014

DOSEN PENGUJI

Ir. Hery Purnomo, MT
NIP. 19550708 198212 1 001

Ir. Soemarwanto, MT
NIP. 19500715 198003 1 002

Ir. Soeprapto, MT
NIP. 19561020 198903 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D
NIP. 19741203 200012 1 001

PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena hanya dengan berkat rahmat, barokah dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik yang berjudul “Perancangan Alat Perbaikan Faktor Daya Beban Rumah Tangga Dengan Menggunakan *Switching* Kapasitor dan Induktor Otomatis”. Skripsi tersebut disusun dalam rangka untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik, di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Banyak kendala yang dihadapi penulis dalam penyelesaian skripsi ini, baik kendala yang berasal dari diri pribadi penulis maupun dari lingkungan sekitar. Kendala utama yang sering dihadapi adalah proses menjaga kemandirian dan ketekunan dalam pengerjaan dan penyusunan penelitian ini. Permasalahan tersebut dapat diatasi berkat bantuan dari pihak-pihak yang telah meluangkan waktu untuk membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada orang-orang yang telah banyak membantu dalam proses pengerjaan skripsi ini.

1. Ibu Sumiarti dan Bapak Adi Suhartono serta adik Amy Adi Winata, Dima Aditya yang tercinta atas segala kasih sayang, doa dan dukungannya kepada penulis dalam pengerjaan penelitian ini.
2. Bapak M. Aziz Muslim, ST., M.Sc, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
4. Bapak Mochammad Rif'an ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
5. Bapak Ir. Mahfudz Shidiq, MT. dan Ir. Hari Santoso, MS. selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu membimbing dengan penuh kesabaran dan memberi pengarahan penulis dalam penelitian ini.
6. Seluruh teman-teman Angkatan 2009 (*AMPERE 09*) yang telah menjadi bagian keluarga penulis.
7. Rekan-rekan pengurus inti Himpunan Mahasiswa Elektro 2012-2013, yaitu M. Aditya Yanuar, Aindyta Ayu Pradani, Ahmad Akhyar, Arga Rifky Nugraha, Asfari Hariz Santoso, Febriananda Mulya P., Eka Bayu Prinandika, Ayu

Ananda Astriana, Iksan Santoso, Rafi Pradata, Lalu Sutrisna, Sean Yudha, atas pengabdian dan komitmen kuatnya selama menjabat himpunan dan telah memotivasi penulis untuk segera menyelesaikan skripsi ini.

8. Seluruh teman-teman Paket A yang telah menjadi teman diskusi dalam perkuliahan di konsentrasi teknik energi elektrik.
9. Indra Setyawan selaku Laboran Laboratorium Sistem Daya Elektrik, serta rekan-rekan asisten Laboratorium Sistem Daya Elektrik, yaitu Budi Agung R., Satrio Wicaksono, M. Arie Hendro, Yoga, Muammar, Rhize, Kevin dan Punjung atas bantuannya selama proses pengujian alat dan pengambilan data pada skripsi ini.
10. Priya Surya Harijanto, M. Saddam Rizky, Raditya Artha, Muhammad Rizal, Aldo Redicka, Adeck Aprilyan, Ardent Religion dan Taufiq Yudi Sulistiyono yang telah menjadi teman diskusi dan telah banyak membantu selama pengerjaan penelitian ini.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penelitian ini dirasa masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik mengenai penelitian ini diharapkan oleh penulis. Saran dan kritik ditujukan agar penelitian ini dapat menjadi karya tulis yang lebih baik dan lebih berguna. Akhir kata, semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, 26 November 2013

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
ABSTRAK	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Sistematika Pembahasan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Daya Listrik	4
2.2.1 Daya Nyata	4
2.2.2 Daya Reaktif	4
2.2.3 Daya Semu.....	4
2.2.3 Faktor Daya ($\cos \phi$)	5
2.2.4 Segitiga Daya	5
2.3 Kapasitor dan Induktor	5
2.4 Hubungan Fasa	6
2.5 Kapasitor Daya	7
2.5.1 Efek dari Kapasitor Seri dan Kapasitor Paralel (<i>Shunt Capacitor</i>)	8
2.5.2 Perbaikan Faktor Daya dengan Kapasitor Daya	13
2.5.3 Faktor-Faktor Pemilihan Kapasitor Seri dan Kapasitor <i>Shunt</i>	15

2.6 Sensor Arus ACS 712	16
2.7 Op-Amp Sebagai Komparator	17
2.8 Gerbang XOR	18
2.9 Flip-Flop D	18
2.10 Mikrokontroler AT Mega16	19
2.10.1 Port pada Mikrokontroler	20
2.10.2 Timer pada Mikrokontroler.....	21
2.11 Transistor	24
2.12 Relay	28
2.12.1 Prinsip Kerja Relay	28
2.12.2 Simbol Relay.....	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1 Studi Literatur	30
3.2 Perancangan Alat	30
3.3 Pengujian dan Analisis.....	30
BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	32
4.1 Blok Diagram Sistem Alat Perbaikan Faktor Daya	32
4.2 Perancangan Perangkat Keras Alat Perbaikan Faktor Daya	33
4.2.1 Perancangan Rangkaian Sensor Tegangan	33
4.2.2 Perancangan Rangkaian Sensor Arus	35
4.2.3 Perancangan Rangkaian <i>Zero Crossing</i>	36
4.2.4 Perancangan Rangkaian <i>Phase Detector</i>	37
4.2.5 Perancangan Rangkaian <i>Leading/Lagging Detector</i>	38
4.2.6 Perancangan Rangkaian Penggerak Relay	39
4.2.7 Perancangan Rangkaian Kapasitor	41
4.2.8 Perancangan Rangkaian Induktor	43
4.2.9 Perancangan Beban Rumah Tangga	46

4.2.10 Perancangan Kontrol Sistem.....	47
4.3 Perancangan Perangkat Lunak Alat Perbaikan Faktor Daya	48
4.3.1 Perancangan Diagram Alir Fungsi Perbaikan Faktor Daya.....	49
4.3.2 Perancangan Diagram Alir Pendeteksi Faktor Daya	50
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS	53
5.1 Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan.....	53
5.1.1 Tujuan	53
5.1.2 Peralatan.....	53
5.1.3 Prosedur Pengujian	53
5.1.4 Data Hasil Pengujian	54
5.1.5 Analisis Hasil Pengujian.....	55
5.2 Pengujian Rangkaian Sensor Arus.....	55
5.2.1 Tujuan	55
5.2.2 Peralatan.....	55
5.2.3 Prosedur Pengujian	56
5.2.4 Data Hasil Pengujian	56
5.2.5 Analisis Hasil Pengujian.....	57
5.3 Pengujian Rangkaian <i>Zero Crossing</i>	58
5.3.1 Tujuan	58
5.3.2 Peralatan.....	58
5.3.3 Prosedur Pengujian	58
5.3.4 Data Hasil Pengujian	59
5.3.5 Analisis Hasil Pengujian.....	60
5.4 Pengujian Rangkaian <i>Phase Detector</i>	61
5.4.1 Tujuan	61
5.4.2 Peralatan.....	61
5.4.3 Prosedur Pengujian	61

5.4.4 Data Hasil Pengujian	62
5.4.5 Analisis Hasil Pengujian	63
5.5 Pengujian Rangkaian <i>Leading/Lagging Detector</i>	63
5.5.1 Tujuan	63
5.5.2 Peralatan	64
5.5.3 Prosedur Pengujian	64
5.5.4 Data Hasil Pengujian	65
5.5.5 Analisis Hasil Pengujian	66
5.6 Pengujian Rangkaian Penggerak Relay	66
5.6.1 Tujuan	66
5.6.2 Peralatan	66
5.6.3 Prosedur Pengujian	66
5.6.4 Data Hasil Pengujian	67
5.6.5 Analisis Hasil Pengujian	69
5.7 Pengujian Pendeteksian Faktor Daya dan <i>Leading/Lagging</i>	69
5.7.1 Tujuan	69
5.7.2 Peralatan	70
5.7.3 Prosedur Pengujian	70
5.7.4 Data Hasil Pengujian	71
5.7.5 Analisis Hasil Pengujian	72
5.8 Pengujian Pembebanan Sistem Kelistrikan Rumah Tangga	72
5.8.1 Tujuan	72
5.8.2 Peralatan	73
5.8.3 Prosedur Pengujian	73
5.8.4 Data Hasil Pengujian	75
5.8.5 Analisis Hasil Pengujian	77

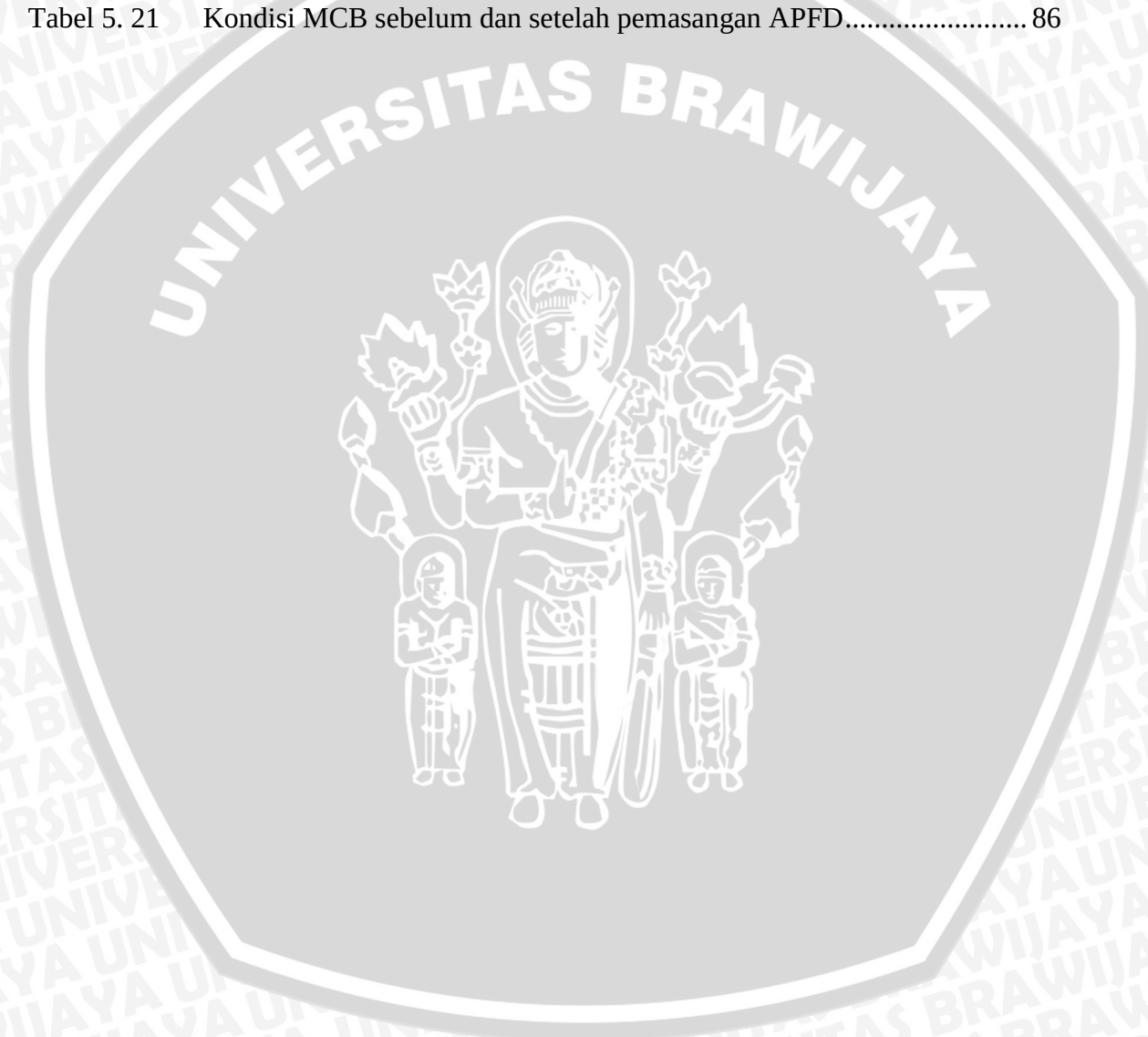
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	87
6.1 Kesimpulan	87
6.2 Saran	87
DAFTAR PUSTAKA.....	88
LAMPIRAN	89



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Pemilihan kapasitor seri dan kapasitor shunt berdasarkan kebutuhan....	16
Tabel 2. 2	Deskripsi Pin-Out Sensor Arus ACS712	17
Tabel 2. 3	Tabel Kebenaran Flip-Flop D	19
Tabel 2. 4	Mode <i>Timer/Counter</i> 0.	21
Tabel 2. 5	Mode <i>Timer/Counter</i> 1	24
Tabel 4. 1	Macam kombinasi rangkaian kapasitor	42
Tabel 4. 2	Macam kombinasi rangkaian induktor	46
Tabel 4. 3	Beban rumah tangga yang bersifat induktif	47
Tabel 4. 4	Beban rumah tangga yang bersifat kapasitif	47
Tabel 5. 1	Data tegangan keluaran sensor tegangan	54
Tabel 5. 2	Data tegangan keluaran sensor arus ACS 712	56
Tabel 5. 3	Pengujian rangkaian penggerak relay pada rangkaian kapasitor	67
Tabel 5. 4	Pengujian rangkaian penggerak relay pada rangkaian induktor	68
Tabel 5. 5	Perbandingan pembacaan faktor daya pada LCD dengan <i>power analyzer</i>	71
Tabel 5. 6	Tabel perhitungan nilai error	72
Tabel 5. 7	Hasil pengujian kelistrikan rumah tangga bersifat induktif tanpa alat perbaikan faktor daya.....	75
Tabel 5. 8	Hasil pengujian kelistrikan rumah tangga bersifat kapasitif tanpa alat perbaikan faktor daya.....	75
Tabel 5. 9	Hasil pengujian kelistrikan rumah tangga bersifat induktif dengan alat perbaikan faktor daya.....	76
Tabel 5. 10	Hasil pengujian kelistrikan rumah tangga bersifat kapasitif dengan alat perbaikan faktor daya.....	76
Tabel 5. 11	Perbaikan faktor daya setelah pemasangan APFD pada beban rumah tangga induktif	77
Tabel 5. 12	Perbaikan faktor daya setelah pemasangan APFD pada beban rumah tangga kapasitif	78
Tabel 5. 13	Perubahan daya-daya sistem setelah pemasangan APFD pada rumah tangga berbeban induktif	78
Tabel 5. 14	Perubahan daya-daya sistem setelah pemasangan APFD pada rumah tangga berbeban kapasitif	80

Tabel 5. 15	Daya reaktif yang terkompensasi pada beban rumah tangga induktif	81
Tabel 5. 16	Daya reaktif yang terkompensasi pada beban rumah tangga kapasitif ...	81
Tabel 5. 17	Daya semu yang terkompensasi pada beban rumah tangga induktif	82
Tabel 5. 18	Daya semu yang terkompensasi pada beban rumah tangga kapasitif	82
Tabel 5. 19	Daya nyata yang bisa dioptimalkan dengan daya semu yang tetap pada rumah tangga berbeban induktif	84
Tabel 5. 20	Daya nyata yang bisa dioptimalkan dengan daya semu yang tetap pada rumah tangga berbeban kapasitif	85
Tabel 5. 21	Kondisi MCB sebelum dan setelah pemasangan APFD.....	86



DAFTAR GAMBAR

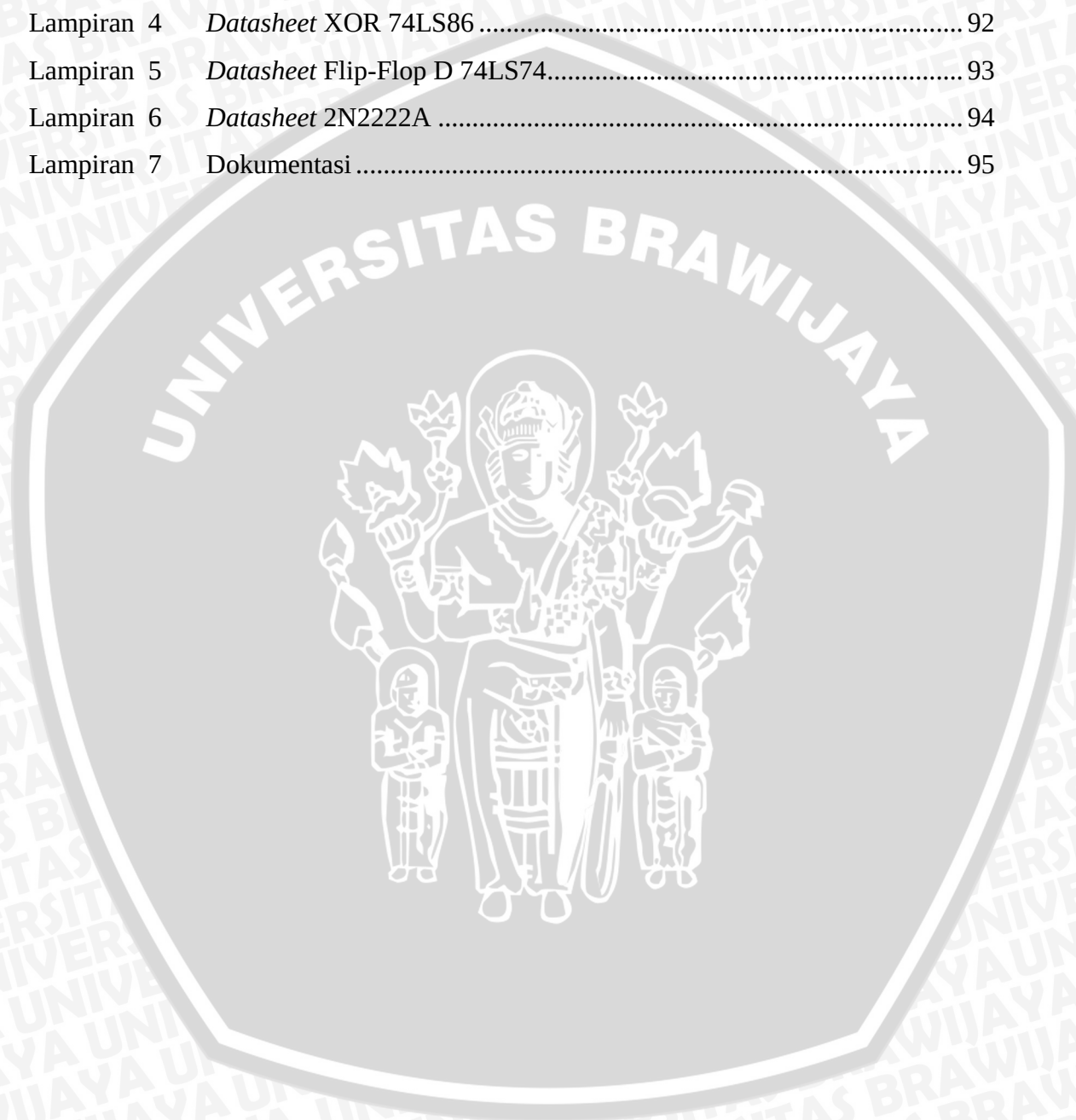
Gambar 1. 1	Jumlah penggunaan energi listrik pada tiap pelanggan listrik PLN	1
Gambar 2. 1	Segitiga daya.	5
	(a) beban kapasitif.	5
	(b) beban induktif.....	5
Gambar 2. 2	Arus dan tegangan sefasa.....	6
Gambar 2. 3	Arus tertinggal (<i>lagging</i>) dari tegangan.....	7
Gambar 2. 4	Arus mendahului (<i>leading</i>) tegangan.....	7
Gambar 2. 5	Diagram fasor tegangan untuk rangkaian feeder pada faktor daya tertinggal	9
Gambar 2. 6	Kompensasi berlebih dari penerima akhir tegangan.....	11
Gambar 2. 7	Diagram fasor tegangan dengan faktor daya mendahului	11
Gambar 2. 8	Diagram fasor tegangan dengan faktor daya tertinggal	12
Gambar 2. 9	(a) Diagram fasor	13
	(b) Segitiga daya	13
Gambar 2. 10	Peningkatan daya semu dan daya reaktif sebagai fungsi faktor daya sistem, dengan daya nyata yang tetap.	14
Gambar 2. 11	Peningkatan daya nyata dan daya reaktif sebagai fungsi faktor daya sistem, dengan daya semu yang tetap.	14
Gambar 2. 12	Gambaran perbaikan faktor daya	15
Gambar 2. 13	Rangkaian Sensor Arus ACS712.....	17
Gambar 2. 14	Rangkaian Komparator Sederhana	18
Gambar 2. 15	Simbol dan tabel kebenaran gerbang XOR.....	18
Gambar 2. 16	Simbol Flip-Flop D.....	19
Gambar 2. 17	Konfigurasi pin ATmega16.....	20
Gambar 2. 18	Mode phase correct PWM.	22
Gambar 2. 19	Mode clear time on compare match (CTC)	22
Gambar 2. 20	Mode <i>fast</i> PWM.....	23
Gambar 2. 21	Bentuk Fisik Transistor	25
Gambar 2. 22	Simbol Transistor PNP dan NPN.....	25
Gambar 2. 23	Kurva Karakteristik Transistor	26
Gambar 2. 24	Kurva Garis Beban Transistor	26
Gambar 2. 25	Rangkaian Transistor sebagai Saklar	27

Gambar 2. 26	Relay yang beredar di pasaran	28
Gambar 2. 27	Skema relay elektromekanik.....	28
Gambar 2. 28	Rangkaian dan simbol logika relay	29
Gambar 4. 1	Diagram blok sistem alat perbaikan faktor daya (APFD).....	32
Gambar 4. 2	Rangkaian sensor tegangan.....	34
Gambar 4. 3	Rangkaian sensor arus	35
Gambar 4. 4	Konfigurasi pin IC Op-Amp LM339	36
Gambar 4. 5	Rangkaian <i>zero crossing</i>	36
Gambar 4. 6	Konfigurasi pin IC XOR 74LS86	37
Gambar 4. 7	Rangkaian <i>phase detector</i>	38
Gambar 4. 8	Konfigurasi pin IC flip-flop D 74LS74	38
Gambar 4. 9	Rangkaian <i>leading/lagging detector</i>	39
Gambar 4. 10	Rangkaian penggerak relay.....	40
Gambar 4. 11	Kapasitor AC merek ICAR Ecofill 20 μ F	41
Gambar 4. 12	Rangkaian kapasitor.....	42
Gambar 4. 13	Induktor di Laboratorium Sistem Daya Elektrik	44
Gambar 4. 14	Rangkaian induktor.....	45
Gambar 4. 15	Rangkaian kontrol sistem.....	48
Gambar 4. 16	Flowchart program utama mikrokontroler sebagai pengontrol perbaikan faktor daya	49
Gambar 4. 17	Diagram alir pendeteksian faktor daya sistem.....	51
Gambar 4. 18	Bentuk gelombang sinyal <i>leading</i> atau <i>lagging</i> dari perbandingan sinyal step arus dan tegangan	52
Gambar 4. 19	Diagram alir pendeteksian sifat <i>leading/lagging</i> sistem.....	52
Gambar 5. 1	Rangkaian pengujian sensor tegangan.....	53
Gambar 5. 2	Sinyal keluaran rangkaian sensor tegangan	54
Gambar 5. 3	Tegangan keluaran sensor tegangan terhadap perubahan tegangan masukan	55
Gambar 5. 4	Rangkaian pengujian sensor arus.....	56
Gambar 5. 5	Sinyal keluaran rangkaian sensor arus.....	57
Gambar 5. 6	Tegangan keluaran sensor arus terhadap perubahan arus masukan.....	57
Gambar 5. 7	Rangkaian pengujian <i>zero crossing</i>	59
Gambar 5. 8	Sinyal sinusoida tegangan dan sinyal step tegangan	59
Gambar 5. 9	Sinyal sinusoida arus dan sinyal step arus	60

Gambar 5. 10 Rangkaian pengujian <i>phase detector</i>	62
Gambar 5. 11 Pengujian dengan menggunakan beban resistif	62
Gambar 5. 12 Pengujian dengan menggunakan beban induktif	62
Gambar 5. 13 Pengujian dengan menggunakan beban kapasitif	63
Gambar 5. 14 Rangkaian pengujian <i>leading/lagging detector</i>	65
Gambar 5. 15 Sinyal step arus leading terhadap sinyal step tegangan	65
Gambar 5. 16 Sinyal step arus lagging terhadap sinyal step tegangan	65
Gambar 5. 17 Pengujian rangkaian penggerak relay	67
Gambar 5. 18 Relay yang aktif dan nilai kapasitor yang aktif pada kombinasi ke-12 ..	68
Gambar 5. 19 Relay yang aktif dan nilai kapasitor yang aktif pada kombinasi ke-7	68
Gambar 5. 20 Relay yang aktif dan nilai kapasitor yang aktif pada kombinasi ke-1	68
Gambar 5. 21 Susunan rangkaian kapasitor yang aktif pada kombinasi ke-12	69
Gambar 5. 22 Susunan rangkaian kapasitor yang aktif pada kombinasi ke-7	69
Gambar 5. 23 Susunan rangkaian kapasitor yang aktif pada kombinasi ke-1	69
Gambar 5. 24 Rangkaian pendeteksian faktor daya dan <i>leading/lagging</i>	71
Gambar 5. 25 Pembacaan $\cos \phi$ pada <i>power analyzer</i> dan LCD pada pengujian ke-4 .	71
Gambar 5. 26 Pengujian pembebanan sistem kelistrikan rumah tangga tanpa alat perbaikan faktor daya.....	74
Gambar 5. 27 Pengujian pembebanan sistem kelistrikan rumah tangga dengan alat perbaikan faktor daya.....	74
Gambar 5. 28 Tampilan LCD tanpa dan dengan alat perbaikan faktor daya	76
Gambar 5. 29 Segitiga daya sebelum dan sesudah pemasangan APFD pada pengujian ke-10 saat pembebanan dengan beban rumah tangga induktif	79
Gambar 5. 30 Segitiga daya sebelum dan sesudah pemasangan APFD pada pengujian ke-10 saat pembebanan dengan beban rumah tangga kapasitif	80
Gambar 5. 31 Perbaikan faktor daya dengan daya semu terpasang yang tetap	83
Gambar 5. 32 Rangkaian pengujian pembebanan sistem kelistrikan rumah tangga di Laboratorium Sistem Daya Elektrik TEUB.....	85

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Listing Program	89
Lampiran 2	<i>Datasheet</i> Sensor Arus ACS 712.....	90
Lampiran 3	<i>Datasheet</i> Op-Amp LM339	91
Lampiran 4	<i>Datasheet</i> XOR 74LS86	92
Lampiran 5	<i>Datasheet</i> Flip-Flop D 74LS74.....	93
Lampiran 6	<i>Datasheet</i> 2N2222A	94
Lampiran 7	Dokumentasi	95



ABSTRAK

Temmy Nanda Hartono, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari 2014, *Perancangan Alat Perbaikan Faktor Daya Beban Rumah Tangga dengan Menggunakan Switching Kapasitor dan Induktor Otomatis*, Dosen Pembimbing : Ir. Mahfudz Shidiq, MT. dan Ir. Hari Santoso, MS

Perbaikan faktor daya sangat dibutuhkan dalam sistem kelistrikan rumah tangga. Faktor daya yang rendah $\cos\phi < 0,85$ *lagging* atau *leading* pada beban rumah tangga menyebabkan penggunaan daya (watt) menjadi kurang optimal dan pada saat peralatan listrik dihidupkan atau dimatikan dalam waktu tidak bersamaan, maka akan menyebabkan faktor daya yang berubah-ubah.

Penelitian ini berisi perancangan dan pembuatan alat perbaikan faktor daya (APFD) beban listrik rumah tangga dengan menggunakan *switching* kapasitor dan induktor otomatis. Beban listrik yang digunakan pada pengujian adalah beban listrik dengan skala rumah tangga yaitu daya semu maksimal 2200 VA. Kombinasi beban resistif, induktif dan kapasitif digunakan sebagai representasi beban listrik rumah tangga untuk mendapatkan variasi nilai daya (watt) dan faktor daya. APFD dirancang dengan menggunakan rangkaian sensor arus dan tegangan sebagai pendeteksi sinyal sinusoida arus dan tegangan, kemudian rangkaian *zero crossing*, *phase detector* dan *leading/lagging detector* sebagai pendeteksi nilai dan sifat faktor daya sistem. Kompensator daya reaktif yang digunakan 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 pengaktifan relay yang terletak pada rangkaian kapasitor dan induktor.

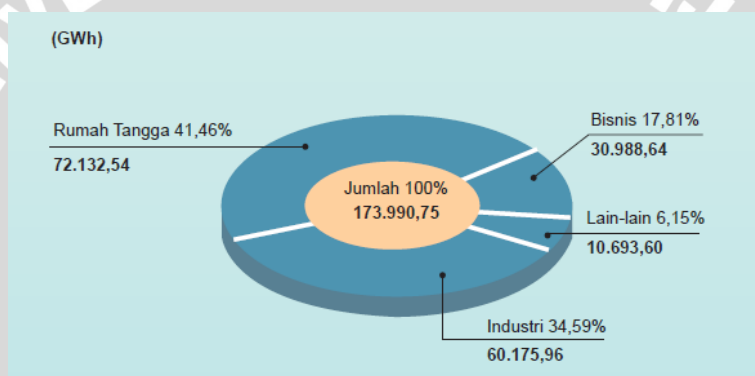
Pada hasil pengujian didapatkan alat perbaikan faktor daya yang mampu membaca nilai faktor daya sistem dengan *error* $\pm 1,17\%$ dan mampu memperbaiki faktor daya sistem secara otomatis dengan koreksi faktor daya tertinggi 1 dari faktor daya awal 0,47, dan koreksi faktor daya terkecil 0,93 dari faktor daya awal 0,81. APFD mampu mengkompensasi daya reaktif (VAR) dengan nilai kompensasi terbesar yaitu 100% dan nilai kompensasi terkecil yaitu 41,80% dari daya reaktif sebelumnya. APFD mampu mengkompensasi daya semu (VA) dengan nilai kompensasi terbesar yaitu 53,15% dan nilai kompensasi terkecil yaitu 6,18% dari daya semu sebelumnya.

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

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini kebutuhan energi dunia semakin meningkat dengan semakin berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi. Hal ini menyebabkan ketergantungan dalam pemakaian daya (watt) listrik pada rumah tangga yang cukup tinggi, tidak hanya untuk kebutuhan penerangan, tetapi juga untuk mendukung kegiatan aktifitas rumah tangga lainnya. Menurut data statistik PLN pada tahun 2012 yaitu pada Gambar 1.1 memperlihatkan bahwa pelanggan rumah tangga adalah konsumen listrik tertinggi di Indonesia dengan total pemakaian energi listrik sebesar 72.132,54 GWh.



Gambar 1. 1 Jumlah penggunaan energi listrik pada tiap pelanggan listrik PLN
Sumber: Statistik PLN, 2012

Kecenderungan pada saat ini, peningkatan kebutuhan energi listrik (watt-jam = Wh) tidak seiring dengan peningkatan penyediaan energi listrik, dimana kapasitas daya terpasang masih tetap, sementara kebutuhan masyarakat terus meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan kegiatan pendukung lainnya. Semakin meningkatnya penggunaan beban induktif atau kapasitif pada sistem kelistrikan rumah tangga menyebabkan semakin rendahnya nilai faktor daya.

Nilai faktor daya yang rendah $\cos\phi < 0,85$ *lagging* atau *leading* dari peralatan elektrik rumah tangga akan menyebabkan penggunaan daya pada kelistrikan rumah tangga yang menjadi 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/ditingkatkan dengan pemasangan kompensator daya reaktif. Kompensator daya reaktif konvensional pada umumnya hanya terdiri dari kapasitor bank yang

dihubungkan paralel dengan beban, Namun pada perancangan alat 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 dan perubahan nilai daya yang dipakai, alat perbaikan faktor daya otomatis ini akan bekerja secara *real time* memperbaiki nilai faktor daya pada sistem kelistrikan rumah tangga.

1.2 Rumusan Masalah

Paparan mengenai latar belakang dapat dijadikan acuan untuk membuat beberapa rumusan masalah berikut :

1. Bagaimana merancang dan membuat alat perbaikan faktor daya (APFD) beban rumah tangga dengan menggunakan *switching* kapasitor dan induktor otomatis.
2. Bagaimana pengaruh pemasangan alat perbaikan faktor daya (APFD) terhadap nilai faktor daya dan daya-daya sistem kelistrikan rumah tangga.
3. Pengaruh Pemasangan alat perbaikan faktor daya (APFD) terhadap daya nyata yang bisa dioptimalkan, dengan nilai daya semu yang tetap.
4. Bagaimana pengaruh pemasangan alat perbaikan faktor daya (APFD) terhadap kerentanan terjadinya *trip* pada MCB instalasi listrik rumah tangga.

1.3 Batasan Masalah

Penyusunan penelitian ini menggunakan batasan masalah sebagai berikut:

1. Sumber listrik yang digunakan adalah sumber listrik 1 fasa dari jala-jala PLN.
2. Perubahan besar kecilnya beban dengan cara menambah atau mengurangi jumlah beban induktif-kapasitif-resistif.
3. Arus maksimal yang mengalir pada sistem kelistrikan rumah tangga maksimal sebesar 10 A dan daya semu maksimal 2200 VA.
4. Mikrokontroler yang digunakan adalah AT Mega 16.
5. Kompensator yang digunakan adalah 4 buah kapasitor 20 μF , dan 6 buah induktor yang terdiri dari 3 induktor 0,4 H dan 3 induktor 0,8 H
6. Parameter yang diamati saat pengujian adalah tegangan, arus, dan faktor daya.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan membuat alat perbaikan faktor daya beban rumah tangga dengan menggunakan *switching* kapasitor dan induktor otomatis yang berfungsi untuk memperbaiki nilai faktor daya akibat dari beban induktif dan kapasitif secara otomatis sesuai dengan perubahan beban induktif dan kapasitifnya sehingga dapat mengoptimalkan pemakaian daya yang terpasang pada listrik rumah tangga.

1.5 Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan skripsi ini disusun dengan urutan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika penulisan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang tinjauan pustaka yang digunakan untuk dasar penelitian yang akan dilakukan dan untuk mendukung perancangan dan pembuatan alat perbaikan faktor daya beban rumah tangga dengan menggunakan *switching* kapasitor dan induktor otomatis, teori yang digunakan untuk membuat alat meliputi teori daya, hubungan fasa, sensor arus, AT Mega16, kapasitor, induktor.

BAB III METODOLOGI

Berisi metodologi dan perancangan penelitian. Tahapan penyelesaian penelitian meliputi: studi literatur, perancangan dan pengujian, pengambilan data, perhitungan dan analisis data.

BAB IV PERANCANGAN ALAT

Berisi tentang pembahasan, analisis, dan perancangan alat yang diajukan dalam penelitian.

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

Berisi pengujian dan analisis performansi dari hasil perancangan alat dan pengambilan data primer kemudian dianalisis sesuai dengan keadaan sebenarnya.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dari perancangan dan pembuatan alat dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dipaparkan tinjauan pustaka tentang alat perbaikan faktor daya (APFD) beban rumah tangga dengan menggunakan *switching* kapasitor dan induktor otomatis. Referensi pustaka yang akan dijelaskan antara lain mengenai teori daya, kapasitor, induktor, hubungan fasa, kapasitor daya, perbaikan faktor daya, sensor arus, aplikasi op-amp sebagai komparator, gerbang XOR, flip flop D, mikrokontroler AT Mega16, transistor sebagai sakelar, dan prinsip kerja relay.

2.1 Daya Listrik

Daya ialah banyaknya perubahan energi terhadap waktu dalam besaran tegangan dan arus (Stevenson, 1993). Daya listrik dapat dibagi menjadi 3 yaitu daya nyata (P), daya reaktif (Q), dan daya semu (S).

2.2.1 Daya Nyata

Daya nyata P merupakan daya sebenarnya yang dibutuhkan oleh beban-beban/peralatan rumah tangga. Daya nyata dinyatakan dalam persamaan:

$$P = V \cdot I \cos \phi \quad (2-1)$$

Satuan daya nyata adalah watt (W). akan tetapi pada suatu sistem, nilai P diukur dalam kilowatt (kW) (Stevenson, 1993). Pada persamaan daya nyata terdapat $\cos \phi$. Nilai ϕ ditentukan oleh sifat kapasitif dan induktif. Nilai ϕ maksimal adalah 90° dan nilai ϕ minimum adalah -90° selalu positif, maka nilai daya nyata selalu bernilai positif.

2.2.2 Daya Reaktif

Daya reaktif Q adalah daya yang timbul karena adanya pembentukan medan magnet pada beban-beban induktif. Daya reaktif dinyatakan dalam persamaan:

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

Satuan dari daya reaktif adalah volt ampere reaktif (VAR), dalam sistem nilai Q diukur dalam kVAR (Stevenson, 1993). Pada persamaan daya reaktif terdapat $\sin \phi$. Nilai maksimal ϕ adalah 90° dan nilai ϕ minimum adalah -90° , karena nilai $\sin \phi$ saat $\phi = 90^\circ$ bernilai positif dan saat $\phi = -90^\circ$ bernilai negatif, maka nilai daya reaktif selalu berubah-ubah dari positif ke negatif dan sebaliknya.

2.2.3 Daya Semu

Daya semu merupakan resultan antara daya nyata dan daya reaktif. Daya semu dinyatakan dalam persamaan:

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

Satuan dari daya semu adalah volt ampere (VA), dalam sistem nilai S diukur dalam kVA (Stevenson, 1993). Daya semu adalah daya sebenarnya yang dipasok oleh PLN.

2.2.3 Faktor Daya (Cos ϕ)

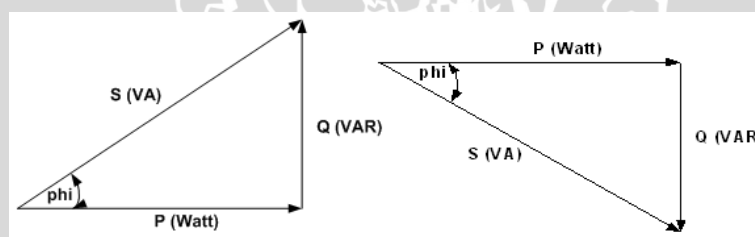
Faktor daya (Cos ϕ) merupakan suatu konstanta pengali dengan nilai 0 sampai 1, yang menunjukkan seberapa besar daya nyata yang diserap oleh beban resistif dari daya semu yang ada pada suatu beban total. Faktor daya dapat dirumuskan dalam persamaan:

$$\text{Faktor Daya} = \frac{\text{Daya Nyata}}{\text{Daya Semu}} = \cos \phi \quad (2-4)$$

Suatu rangkaian induktif dikatakan mempunyai “faktor daya yang tertinggal (*lagging power factor*)” dan rangkaian kapasitif dikatakan mempunyai “faktor daya yang mendahului” (*leading power factor*). Dengan perkataan lain istilah-istilah faktor daya yang tertinggal dan mendahului berturut-turut menunjukkan apakah arus tersebut tertinggal atau mendahului dari tegangan yang terpasang. (Stevenson, 1993).

2.2.4 Segitiga Daya

Menurut Stevensen (1993), daya semu merupakan resultan dari dua komponen, yaitu daya nyata (P) dan komponen daya reaktif (Q). Hubungan ini disebut dengan segitiga daya dan dalam bentuk vektor seperti Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Segitiga daya. (a) beban kapasitif. (b) beban induktif.

Sumber: Stevenson, 1993

2.3 Kapasitor dan Induktor

Rangkaian listrik umumnya memiliki tiga jenis komponen beban yaitu resistor (R), kapasitor (C), dan Induktor (L). Masing-masing komponen beban memiliki karakteristik yang berlainan. Apabila rangkaian listrik dialiri arus bolak-balik (AC), maka besar hambatan induktor dan kapasitor adalah

$$X_L = j\omega L \quad (2-5)$$

$$X_C = -\frac{j}{\omega C} \quad (2-6)$$

Dimana:

X_L = reaktansi induktif (Ω)

X_C = reaktansi kapasitif (Ω)

ω = kecepatan sudut (radian per detik)

L = induktansi (henry)

C = kapasitansi (farad)

Pada kapasitor, arus (i) akan mendahului (*leading*) terhadap tegangan (V) dan pada diagram fasor akan membentuk sudut sebesar 90° . Hal ini sesuai dengan persamaan:

$$i_C = \frac{V_C}{X_C} = j\omega CV = \omega C V_C \angle 90^\circ \quad (2-7)$$

Dimana:

i_C = arus kapasitor (ampere)

V_C = tegangan kapasitor (volt)

Sedangkan pada induktor, arus (i) akan tertinggal (*lagging*) terhadap tegangan (V) dan pada diagram fasor akan membentuk sudut sebesar -90° . Hal ini sesuai dengan persamaan:

$$i_L = \frac{V_L}{j\omega L} = \frac{V_L}{\omega L} \angle -90^\circ \quad (2-8)$$

Dimana:

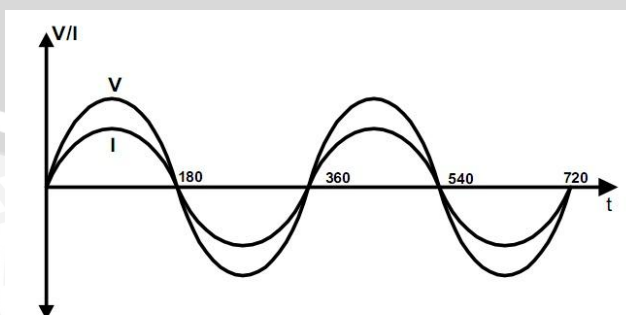
i_L = arus induktor (ampere)

V_L = tegangan induktor (volt)

2.4 Hubungan Fasa

Ada tiga kemungkinan hubungan fasa antara arus dan tegangan dalam satuan rangkaian.

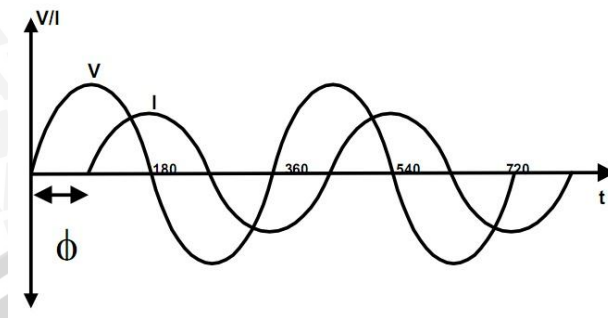
1. Arus dan tegangan sefasa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Arus dan tegangan sefasa

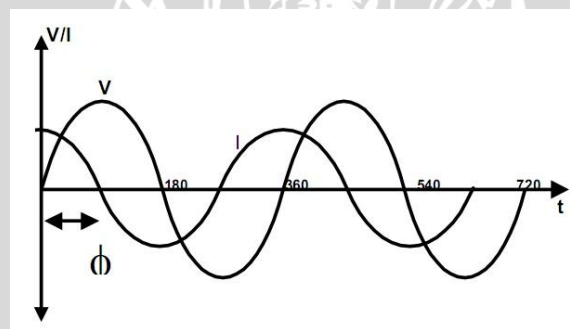
Sumber: Pabla, 1986

2. Tegangan dapat melalui harga nol dan naik ke harga tertinggi pada waktu yang lebih dahulu dari arus seperti dalam Gambar 2.3. Dalam hal ini arus dikatakan tertinggal (*lagging*) dari tegangan.



Gambar 2. 3 Arus tertinggal (*lagging*) dari tegangan
Sumber: Pabla, 1986

3. Tegangan dapat melalui harga nol dan harga tertingginya pada beberapa saat kemudian dari pada arus seperti dalam Gambar 2.4. Dalam hal ini arus dikatakan mendahului (*leading*) tegangan.



Gambar 2. 4 Arus mendahului (*leading*) tegangan
Sumber: Pabla, 1986

Lamanya waktu dimana arus mendahului atau tertinggal dari tegangan bervariasi dalam rangkaian yang berbeda dari kondisi sefasa sampai mendahului atau tertinggal $\frac{1}{4}$ siklus atau 90° . Oleh karena itu waktu dapat diukur dalam derajat listrik, beda waktu atau beda fasa dari arus dan tegangan biasanya dinyatakan dalam derajat listrik dan disebut sudut fasa. (Pabla, 1986)

2.5 Kapasitor Daya

Secara sederhana kapasitor terdiri dari dua buah plat logam yang dipisahkan oleh suatu bahan elektrik dan kapasitor ini mempunyai sifat menyimpan muatan listrik. Pada beberapa tahun lalu kebanyakan kapasitor terbuat dari dua buah plat aluminium murni yang dipisahkan oleh tiga atau lebih lapisan kertas yang dilapisi oleh bahan

kimia. Kapasitor daya telah mengalami perkembangan yang begitu cepat selama 30 tahun terakhir, hal ini dikarenakan bahan elektrik yang digunakan lebih efisien serta teknologi pembuatan kapasitor lebih baik. Kapasitor daya terdiri dari 2 jenis yaitu kapasitor seri dan kapasitor paralel (Kapasitor *shunt*). Dimana dalam membangkitkan daya reaktif pada sistem tenaga, kapasitor daya digunakan untuk memperbaiki faktor daya dan tegangan sehingga meningkatkan kapasitas sistem dan mengurangi rugi-rugi jaringan. (Turan Gonen, 1986)

2.5.1 Efek dari Kapasitor Seri dan Kapasitor Paralel (*Shunt Capacitor*)

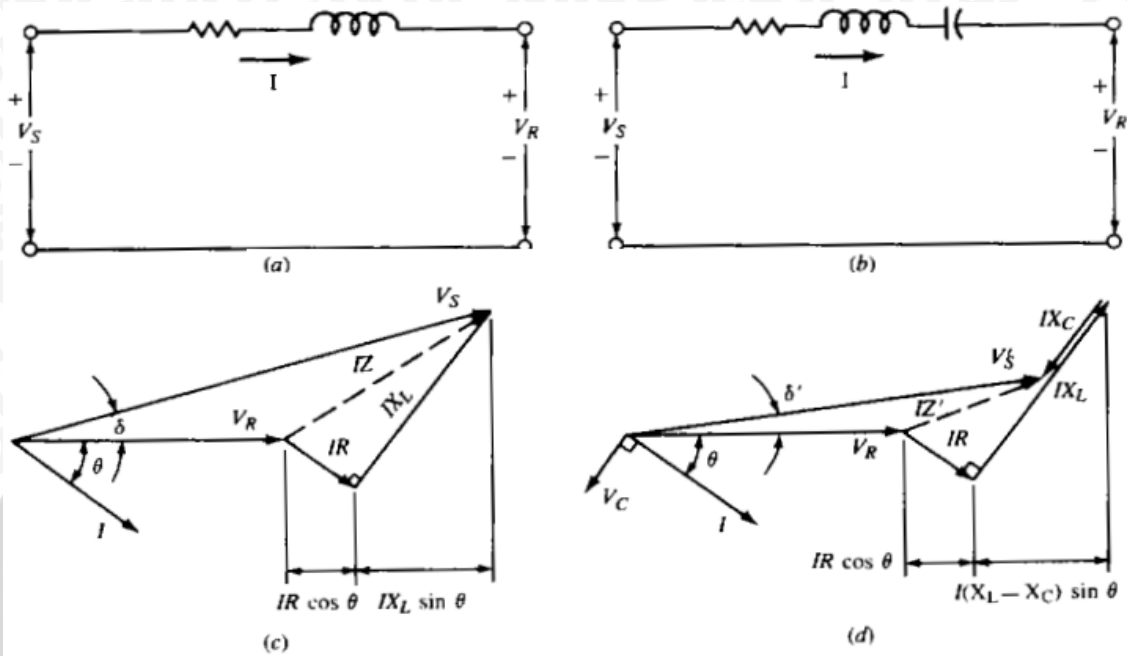
Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, fungsi dasar dari kapasitor adalah untuk meregulasi tegangan dan aliran daya reaktif pada titik dimana kapasitor-kapasitor tersebut terpasang. Hal ini berlaku untuk kapasitor seri maupun kapasitor paralel, dan juga pada saat kapasitor terpasang sebagai satu unit ataupun dipasang secara bersamaan dalam satu bank kapasitor. Sebuah kapasitor paralel dapat melakukan hal ini dengan cara mengubah faktor daya dari beban, sementara kapasitor seri melakukannya secara langsung dengan mengubah reaktansi induktif dari sirkuit dimana kapasitor seri tersebut terpasang. (Turan Gonen, 1986)

2.5.1.1 Kapasitor Seri

Kapasitor seri yaitu kapasitor-kapasitor yang dihubungkan secara seri dengan rangkaian. Kapasitor seri tidak banyak digunakan dalam *distribution circuits* (sirkuit-sirkuit distribusi) dan kegunaannya lebih terbatas. Selain itu karena tiap-tiap aplikasi memiliki kebutuhan sendiri-sendiri maka pemasangan kapasitor seri perlu ada banyak perhitungan yang harus dilakukan. Oleh karena itu pada umumnya, penyaluran energi listrik jarang menggunakan kapasitor seri, terutama yang berukuran kecil.

Seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.5 kapasitor seri mengendalikan reaktansi induktif. Dengan kata lain, sebuah kapasitor seri bisa memiliki reaktansi negatif (kapasitif) pada rangkaian seri dalam sirkuit yang reaktansinya positif (induktif) dengan pengaruh kompensasi kapasitor seri ini dapat mengimbangi pada sebagian atau keseluruhan sirkuit tersebut. Karenanya tugas utama dari sebuah kapasitor seri adalah meminimalkan atau menghambat penurunan tegangan yang disebabkan oleh reaktansi induktif dalam sirkuit. Bahkan kadang-kadang kapasitor seri bisa dipandang sebagai regulator/pengatur tegangan yang bisa menaikkan tegangan dalam besaran yang sepadan dengan besaran dan faktor daya dari aliran yang melewati sirkuit. Oleh karena itu kapasitor seri bisa menaikkan tegangan secara otomatis seiring dengan makin besarnya beban yang masuk. Selain itu kapasitor seri bisa menghasilkan kenaikan

tegangan yang lebih besar daripada kapasitor paralel dengan faktor daya yang lebih rendah. Namun kapasitor seri kurang mampu memperbaiki faktor daya dari sistem jika dibandingkan dengan kapasitor paralel dan tidak mampu berpengaruh banyak terhadap arus sumber.



Gambar 2. 5 Diagram fasor tegangan untuk rangkaian feeder pada faktor daya tertinggal: (a) dan (c) tanpa kapasitor seri; serta (b) dan (d) dengan kapasitor seri

Sumber: Gonen, 1986

Dengan memperhatikan *feeder circuit* (sirkuit pemasok) dan diagram fasor tegangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.a dan 2.5.c. penurunan tegangan melalui *feeder* dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$V_D = IR \cos \theta + IX_L \sin \theta \quad (2-9)$$

Dimana:

V_D = Penurunan tegangan (V)

R = Resistansi (Ω)

X_L = Reaktansi Induktif (Ω)

$\cos \theta$ = Faktor Daya

$\sin \theta$ = Sinus dari sudut faktor daya

Seperti yang bisa dilihat pada diagram fasor, besaran dari suku kedua dalam Persamaan 2.9 adalah jauh lebih besar daripada suku pertama. Selisih ini akan menjadi lebih besar jika faktor dayanya lebih kecil dan jika rasio R/X_L bernilai kecil. Namun jika kapasitor yang dipasang adalah kapasitor seri seperti pada Gambar 2.5.b dan Gambar

2.5.d maka akan terjadi penurunan tegangan yang lebih rendah yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_D = IR \cos \theta + I(X_L - X_C) \sin \theta \quad (2- 10)$$

Dimana:

X_C = Reaktansi kapasitif dari kapasitor seri

Biasanya ukuran dari kapasitor seri untuk sebuah aplikasi pemasok dua (*feeder*) dipilih sedemikian rupa agar reaktansi kapasitif yang dihasilkannya lebih rendah daripada kapasitas induktif dari sirkuit pemasok daya (*feeder circuit*). Namun dalam beberapa aplikasi tertentu (dimana resistansi dari sirkuit pemasok lebih besar daripada reaktansi induktifnya), justru hal yang sebaliknya yang diinginkan sehingga penurunan tegangan yang didapatkan adalah:

$$V_D = IR \cos \theta - I(X_C - X_L) \sin \theta \quad (2- 11)$$

Kondisi yang ditimbulkan dari cara seperti ini dikenal sebagai *overcompensation*. Gambar 2.6.a menunjukkan diagram fasor tegangan untuk sebuah *overcompensation* yang terjadi pada beban normal. Kadang-kadang, ketika level *overcompensation* yang dipasang ditentukan berdasarkan beban normal, pada diagram fasor resultan *overcompensation* dari tegangan pada ujung penerima pasokan tidak seperti yang diharapkan karena arus tertinggal dapat menimbulkan kenaikan tegangan yang sangat besar seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.6.b, yang dapat merusak lampu (mengurangi usia pemakaian) dan membuat lampu berkedip-kedip.

Faktor daya mendahului bertujuan untuk mengurangi penurunan tegangan antara ujung pengirim dengan ujung penerima dari sebuah aplikasi yang menggunakan kapasitor seri, maka arus beban harus memiliki faktor daya untuk mengatasi keterlambatan arus (*lagging*) ini. Sebagai contoh, Gambar 2.7.a menggambarkan sebuah diagram fasor tegangan yang tidak menggunakan kapasitor seri. Gambar 2.7.b menunjukkan diagram fasor resultan tegangan dengan faktor daya yang sama tapi menggunakan kapasitor seri. Seperti yang bisa dilihat, tegangan pada ujung penerima bisa berkurang karena adanya kapasitor seri.

Ketika $\cos \theta = 1$, dan $\sin \theta = 0$ sehingga:

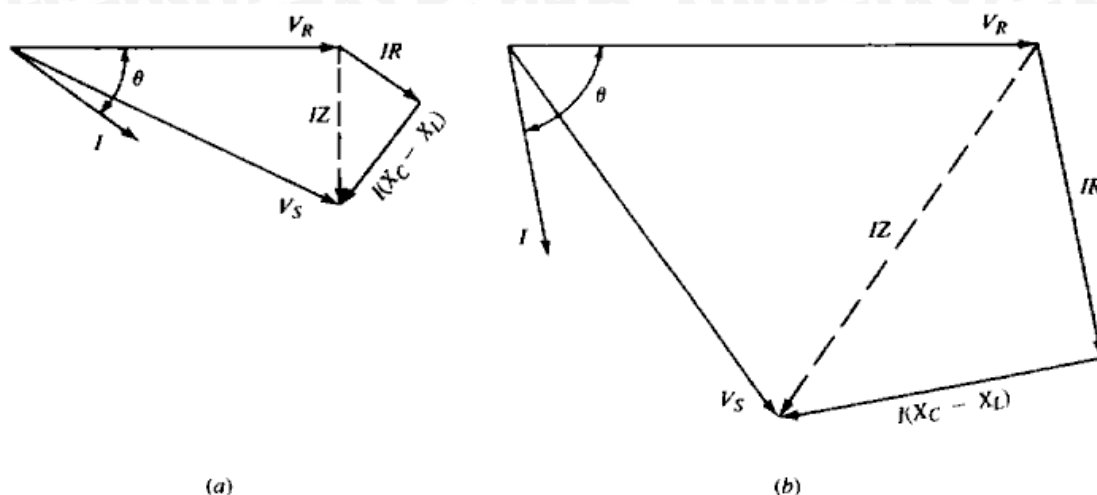
$$I(X_L - X_C) \sin \theta = 0$$

Maka persamaan 2.10 akan menjadi

$$V_D = IR \quad (2- 12)$$

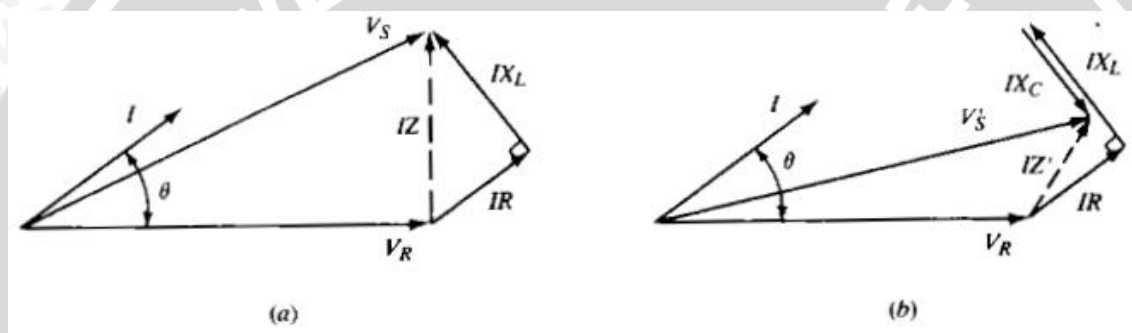
Maka dalam aplikasi seperti ini, kapasitor seri menjadi tidak ada gunanya sama sekali.

(Turan Gonen, 1986)



Gambar 2. 6 Kompensasi berlebih dari penerima akhir tegangan: (a) saat beban normal dan (b) saat start motor besar

Sumber: Gonen, 1986



Gambar 2. 7 Diagram fasor tegangan dengan faktor daya mendahului: (a) tanpa kapasitor seri dan (b) dengan kapasitor seri

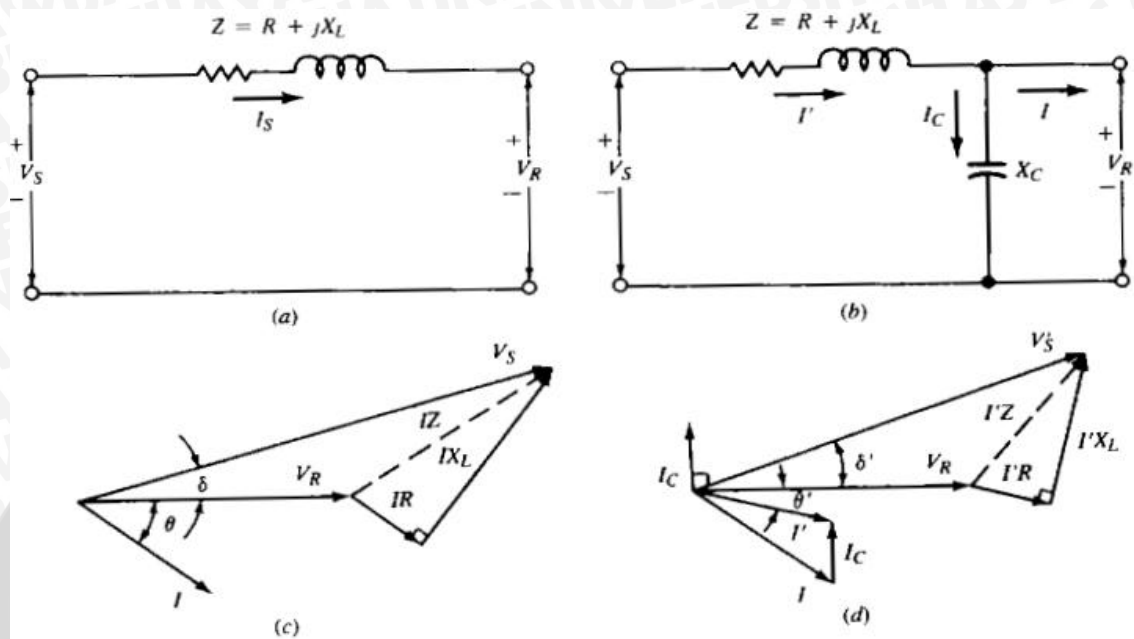
Sumber: Gonen, 1986

2.5.1.2 Kapasitor Paralel (*Shunt Capacitor*)

Kapasitor paralel merupakan kapasitor yang dihubungkan secara paralel dengan rangkaian, dan juga jenis kapasitor yang banyak digunakan dalam sistem distribusi. Kapasitor paralel bisa memberikan daya reaktif atau arus untuk mengatasi komponen yang keluar-fase (*out of phase component*) dari arus yang diperlukan oleh sebuah beban induktif. Dalam artian ini dapat dikatakan bahwa kapasitor paralel mengubah karakteristik dari sebuah beban induktif dengan memberikan sebuah arus pemercepat (*leading current*) yang mengimbangi sebagian atau keseluruhan dari arus komponen dalam arus beban induktif yang mengalami keterlambatan (*lagging*) pada titik dimana kapasitor itu dipasang.

Seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.8, pemasangan kapasitor paralel pada sebuah pemasok (*feeder*) bisa mengurangi besaran dari arus sumber, dan bisa meningkatkan faktor daya sehingga penurunan tegangan antara titik pengirim dengan beban dapat berkurang. Namun kapasitor paralel tidak mempengaruhi faktor daya atau

arus di bagian selanjutnya setelah titik pemasangan. Gambar 2.8.a dan 2.8.c menunjukkan sebuah rangkaian dan diagram fasor tegangan sebelum ditambah satu kapasitor paralel. Gambar 2.8.b dan 2.8.d menunjukkan bagaimana perubahan yang terjadi setelah ditambah kapasitor paralel.



Gambar 2. 8 Diagram fasor tegangan dengan faktor daya tertinggal: (a) dan (c) tanpa kapasitor *shunt* serta (b) dan (d) dengan kapasitor *shunt*

Sumber: Gonen, 1986

Penurunan tegangan pada pemasok (*feeder*) atau dalam jalur transmisi pendek, yang mengalami keterlambatan (*lagging*) pada faktor daya, bisa dirumuskan sebagai berikut:

$$V_D = I_R R + I_X X_L \quad (2-13)$$

Dimana:

R = Total resistansi dari sirkuit pemasok (Ω)

X_L = Total reaktansi induktif dari sirkuit pemasok, dalam satuan (Ω)

I_R = Komponen daya riil (komponen dalam-fase/*in-phase*) (A)

I_X = Komponen reaktif (komponen yang keluar-fase/*out of phase*) dari arus yang menimbulkan keterlambatan (*lagging*) pada tegangan sebesar 90 derajat (A)

Ketika sebuah kapasitor dipasang pada ujung penerima, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.8.b, maka penurunan tegangan yang terjadi bisa dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_D = I_R R + I_X X_L - I_C X_L \quad (2-14)$$

Dimana:

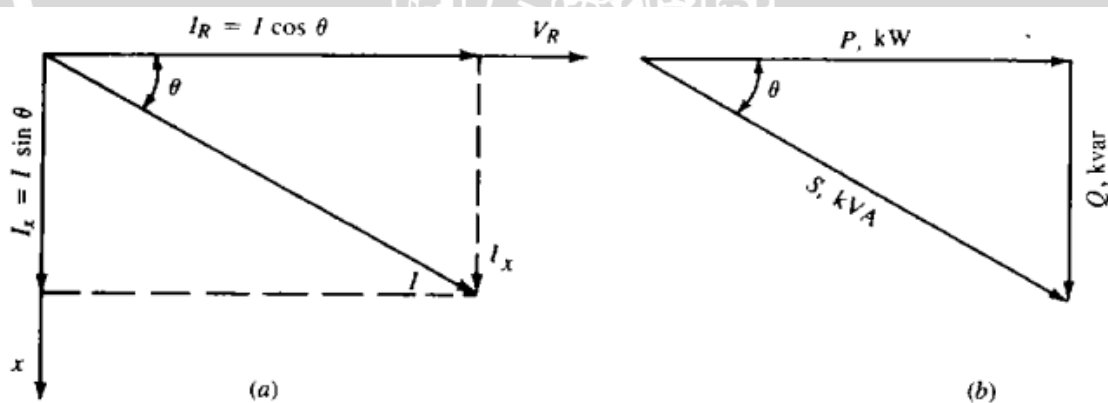
I_C = komponen reaktif (komponen yang keluar-fase) dari arus yang menimbulkan percepatan (leading) pada voltase sebesar 90 derajat (A)

Perbedaan antara penurunan tegangan yang dihitung pada Persamaan 2.14 dengan penurunan tegangan yang dihitung pada Persamaan 2.15 adalah kenaikan tegangan yang terjadi karena pemasangan kapasitor, dan dapat dihitung dengan rumus berikut (Turan Gonen, 1986):

$$V_R = I_C X_L \quad (2-15)$$

2.5.2 Perbaikan Faktor Daya dengan Kapasitor Daya

Sebuah sistem yang memiliki beban reaktif pada 80 persen faktor daya dalam beban distribusi biasanya terjadi perlambatan arus (*lagging current*) terhadap tegangan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.a. cosinus dari sudut antara arus dan tegangan pengiriman disebut sebagai faktor daya (*power factor*) dari sirkuit. Jika komponen kedalam-fase (*in-phase*) dan keluar-fase (*out-phase*) dari arus I dikalikan dengan tegangan ujung penerima V_R maka hubungan yang dihasilkan dapat digambarkan lewat sebuah segitiga daya, yang biasanya diistilahkan sebagai segitiga daya (*power triangle*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.b. Gambar 2.9.b menunjukkan hubungan segitiga antara kilowatt, kilovoltampere dan kilovar. Perlu diperhatikan disini bahwa penambahan kapasitor, komponen daya reaktif Q pada daya S dari beban bisa dikurangi atau dihilangkan sepenuhnya.

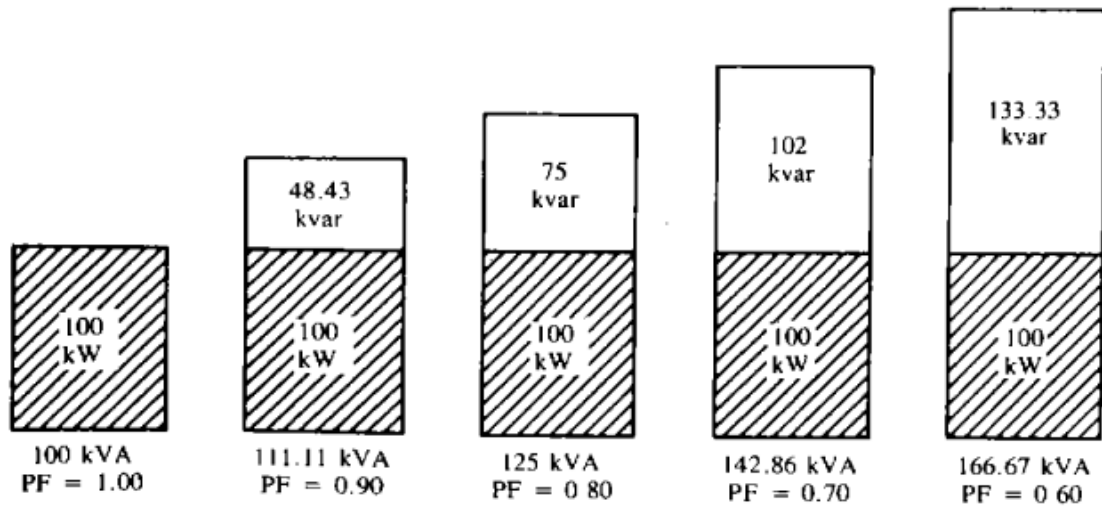


Gambar 2. 9 (a) Diagram fasor dan (b) Segitiga daya

Sumber: Gonen, 1986

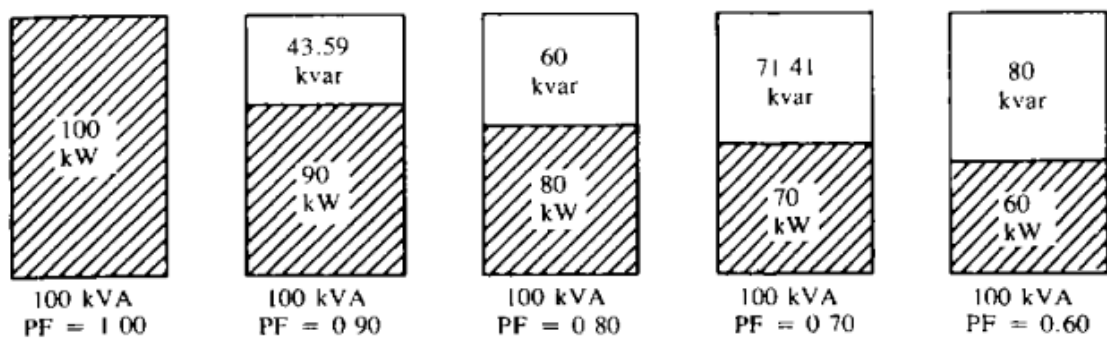
Gambar 2.10 dan 2.11 menunjukkan bagaimana komponen daya Q mengalami peningkatan setiap kali ada perubahan 10 persen pada faktor daya. Perlu diperhatikan bahwa, seperti yang digambarkan pada Gambar 2.11 ukuran sebesar 80 persen faktor daya dari daya reaktif (kilovar) adalah cukup besar, sebab mampu menghasilkan peningkatan 25 persen pada total daya semu (kilovoltampere). Pada faktor daya sebesar

ini, kapasitor sebesar 75 kvar diperlukan untuk dapat menghambat keluarnya 75 kvar yang dihasilkan oleh komponen-komponen yang mengalami kelambatan (*lagging*)



Gambar 2. 10 Peningkatan daya semu dan daya reaktif sebagai fungsi faktor daya sistem, dengan daya nyata yang tetap.

Sumber: Gonen, 1986



Gambar 2. 11 Peningkatan daya nyata dan daya reaktif sebagai fungsi faktor daya sistem, dengan daya semu yang tetap.

Sumber: Gonen, 1986

Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, pembangkitan daya reaktif pada suatu pembangkit tenaga listrik (*power plant*) yang akan disalurkan kepada sebuah beban yang terletak pada jarak jauh adalah sebuah tindakan yang tidak menguntungkan dari segi ekonomi, tapi masalah ini bisa dipecahkan dengan cara memasang kapasitor-kapasitor pada pusat beban. Gambar 2.12 menggambarkan sebuah perbaikan faktor daya yang terjadi pada sebuah sistem tertentu. Seperti yang digambarkan pada gambar, kapasitor menggambarkan daya reaktif yang mendahului (*leading*) dapat memasok daya reaktif tertinggal (*lagging*) ke beban. Misalkan bahwa sebuah beban dipasok dengan daya nyata sebesar P , daya reaktif tertinggal (*lagging*) Q_1 , dan daya semu (*apparent power*) yang dilambangkan dengan S_1 dalam suatu faktor daya tertinggal sebesar

$$\cos \phi_1 = P/S$$

Atau

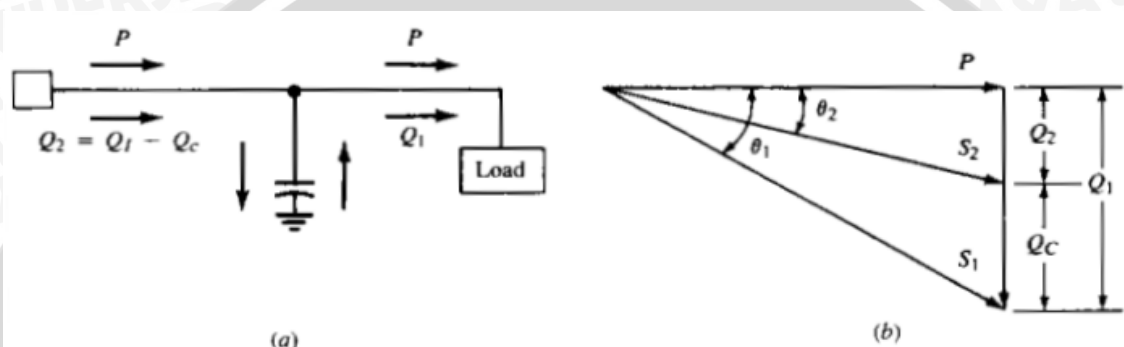
$$\cos \phi_1 = P/(P^2 + Q_1^2)^{1/2} \quad (2-16)$$

Ketika sebuah kapasitor paralel sebesar Q_c kVA dipasang pada lokasi beban, maka faktor daya sistem bisa dinaikkan dari $\cos \phi_1$ menjadi $\cos \phi_2$ dimana:

$$\cos \phi_1 = P/S$$

$$\cos \phi_1 = P/(P^2 + Q_1^2)^{1/2}$$

$$\cos \phi_1 = P/(P^2 + (Q_1 - Q_c)^2)^{1/2} \quad (2-17)$$



Gambar 2. 12 Gambaran perbaikan faktor daya

Sumber: Gonen, 1986

Karenanya seperti yang bisa dilihat pada gambar 2.12.b, daya semu (*apparent power*) dan daya reaktif mengalami penurunan dari S_1 kVA dan dari Q_1 kvar menjadi Q_2 kvar (dengan cara menyediakan daya reaktif Q_c). Penurunan pada arus reaktif akan menimbulkan penurunan pada arus total, dan selanjutnya akan menimbulkan kerugian daya yang kecil.

2.5.3 Faktor-Faktor Pemilihan Kapasitor Seri dan Kapasitor Shunt

Kapasitor seri dan paralel pada sistem daya menimbulkan daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya dan tegangan, karenanya menambah kapasitas sistem dan mengurangi kerugian. Dalam kapasitor seri daya reaktif sebanding dengan kuadrat arus beban, sedangkan pada kapasitor paralel sebanding dengan kuadrat tegangan. Ada beberapa aspek tertentu yang tidak menyenangkan pada kapasitor seri. Secara umum dapat dikatakan, biaya memasang kapasitor seri lebih tinggi dari biaya pemasangan kapasitor paralel. Hal ini disebabkan karena peralatan perlindungan untuk kapasitor seri lebih kompleks. Juga biasanya, kapasitor seri didesain untuk daya yang lebih besar dari kapasitor paralel untuk mengatasi pengembangan beban nantinya. (Pabla, 1986)

Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan kapasitor *shunt* dan seri ditunjukkan pada tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Pemilihan kapasitor seri dan kapasitor shunt berdasarkan kebutuhan

No	Kebutuhan	Pilihan Kapasitor	
		Seri	Paralel (<i>shunt</i>)
1	Memperbaiki faktor daya	Kedua	Pertama
2	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran udara dengan faktor daya normal dan rendah.	Pertama	Kedua
3	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran udara dengan faktor daya yang tinggi.	Tidak dipakai	Pertama
4	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran udara bawah tanah dengan faktor daya tinggi.	Tidak dipakai	Tidak dipakai
5	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran udara bawah tanah dengan faktor daya normal dan rendah.	Pertama	Tidak dipakai
6	Mengurangi rugi-rugi saluran	Kedua	Pertama
7	Mengurangi fluktuasi tegangan	Pertama	Tidak dipakai

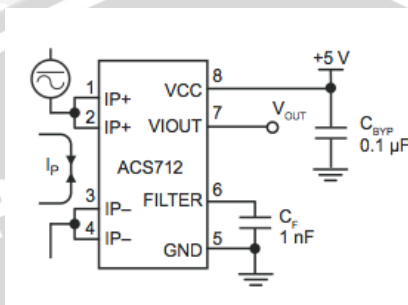
Sumber : Pabla, 1986

2.6 Sensor Arus ACS 712

Pada penelitian ini dibutuhkan komponen yang bisa membaca nilai arus yang mengalir pada sistem dan dikonversikan menjadi nilai tegangan. Alat tersebut berfungsi membaca bentuk gelombang sinyal sinusoida arus pada sistem kelistrikan rumah tangga, kemudian dari pembacaan itu diteruskan ke rangkaian berikutnya. Alat yang sesuai dengan fungsi di atas adalah sensor arus.

Pada penelitian kali ini digunakan sensor arus produksi Allegro dengan tipe ACS712 yang terlihat pada Gambar 2.13 dan keterangannya pada Tabel 2.2. ACS712 ini mampu mendeteksi arus DC dan AC. Tersedia untuk 3 nilai arus maksimal, yaitu 5A, 20A, dan 30A.

Prinsip pembacaan arus di ACS712 ini menggunakan prinsip Hall Effect. Di dalam sensor ini terdapat rangkaian sensor Hall dengan alur tembaga yang terletak di dekat permukaan. Arus yang melewati jalur ini akan menghasilkan medan magnetic yang akan dideteksi oleh Hall IC dan kemudian akan diubah menjadi tegangan proporsional. Tegangan keluaran ACS712 bernilai 5 V untuk sensing arus maksimal. Sedangkan untuk nilai arus 0 A akan menghasilkan tegangan setengah dari VCC yaitu 2.5 V.



Gambar 2. 13 Rangkaian Sensor Arus ACS712

Sumber: Datasheet ACS712

Pada Tabel 2.2 adalah *pin-out description* dari sensor arus ACS712

Tabel 2. 2 Deskripsi Pin-Out Sensor Arus ACS712

No	Nama	Deskripsi
1 dan 2	IP+	Terminal untuk arus yang akan dideteksi
3 dan 4	IP-	Terminal untuk arus yang akan dideteksi
5	GND	Terminal ground
6	FILTER	Terminal untuk kapasitor eksternal
7	VOUT	Keluaran sinyal analog
8	VCC	Catu untuk sensor arus

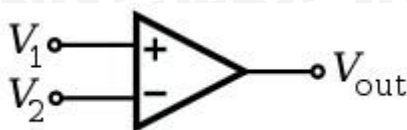
Sumber: Datasheet ACS712

2.7 Op-Amp Sebagai Komparator

Komparator adalah komponen elektronik yang berfungsi membandingkan dua nilai kemudian memberikan hasilnya, mana yang lebih besar dan mana yang lebih kecil. Komparator bisa dibuat dari konfigurasi open-loop Op Amp. Jika kedua input pada Op Amp pada kondisi open-loop, maka Op Amp akan membandingkan kedua saluran input tersebut. Hasil komparasi dua tegangan pada saluran masukan akan menghasilkan tegangan saturasi positif (+V_{sat}) atau saturasi negatif (-V_{sat}). (Mike Tooley, 2002)

Sebuah rangkaian komparator pada Op Amp yaitu pada Gambar 2.14 akan membandingkan tegangan yang masuk pada satu saluran input dengan tegangan pada

saluran input lain, yang disebut tegangan referensi. Tegangan output berupa tegangan high atau low sesuai dengan perbandingan V_{in} dan V_{ref} . Dan berikut adalah rangkaian komparator sederhana.



Gambar 2. 14 Rangkaian Komparator Sederhana

Sumber: <http://en.wikipedia.org/wiki/Comparator>

$$V_{out} = +V_s \quad \text{jika } V_1 > V_2$$

$$V_{out} = -V_s \quad \text{jika } V_1 < V_2$$

Dimana V_s adalah tegangan catu daya dan penguat operasional beroperasi di antara $+V_s$ dan $-V_s$. (Mike Tooley, 2002)

2.8 Gerbang XOR

Apabila input A dan B ada dalam keadaan logika yang sama, maka output Q akan menghasilkan logika 0, sedangkan bila input A dan B ada dalam keadaan logika yang berbeda, maka output akan menjadi logika 1. (Ibrahim, 1986) Untuk lebih jelas, terdapat simbol dan tabel kebenaran gerbang XOR pada Gambar 2.15

Simbol Gerbang XOR		Masukan		Keluaran
		A	B	Q
		0	0	0
		0	1	1
		1	0	1
		1	1	0

Tabel kebenaran logika XOR

Gambar 2. 15 Simbol dan tabel kebenaran gerbang XOR

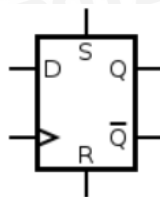
Sumber: Ibrahim, 1986

Aplikasi dari proses logika XOR ini dapat dimanfaatkan untuk membandingkan dua buah data, yaitu apabila data-data tersebut mengandung informasi yang persis sama, maka XOR akan memberikan output logika 0. (Ibrahim, 1986)

2.9 Flip-Flop D

Flip-flop D adalah rangkaian flip-flop yang memiliki dua keadaan yang stabil, yaitu tinggi dan rendah. Keluaran ini akan tetap rendah atau tinggi sampai terdapat tegangan pemicu pada masukan *clock*-nya. Pada kondisi dua keadaan yang stabil ini disebut juga sebagai multivibrator bistabil. Pemanfaatan multivibrator bistabil ini

dapat digunakan sebagai saklar digital yang keluarannya memiliki dua keadaan stabil, yaitu kondisi 1 dan kondisi 0. (Ibrahim, 1986)



Gambar 2. 16 Simbol Flip-Flop D

Sumber: Ibrahim, 1986

Pada Gambar 2.16 Flip-flop D mempunyai satu masukan data dan satu masukan sebagai clock. D flip-flop mempunyai dua keluaran yaitu Q dan Q', dimana kondisi dua keluaran ini selalu berbeda dan tidak mungkin sama. Adapun tabel kebenaran dari Flip-flop D adalah seperti pada Tabel 2.3

Tabel 2. 3 Tabel Kebenaran Flip-Flop D

Input				Output	
Set	Reset	CLK	D	Q	$\bar{Q}$
0	1	X	X	1	0
1	0	X	X	0	1
0	0	X	X	Tidak stabil	
1	1	↑	1	1	0
1	1	↑	0	0	1

Sumber: Ibrahim, 1986

2.10 Mikrokontroler AT Mega16

Mikrokontroler dianalogikan sebagai sebuah sistem komputer yang dikemas dalam sebuah chip. Artinya bahwa di dalam sebuah IC mikrokontroler sebetulnya sudah terdapat kebutuhan minimal agar mikroprosesor dapat bekerja, yaitu meliputi mikroprosesor, ROM, RAM, I/O dan *clock* seperti halnya yang dimiliki oleh sebuah komputer PC. Mengingat kemasannya yang hanya berupa sebuah chip dengan ukuran yang relatif kecil tentu saja spesifikasi dan kemampuan yang dimiliki oleh mikrokontroler menjadi lebih rendah bila dibandingkan dengan sistem komputer seperti PC baik dilihat dari segi kecepatannya, kapasitas memori maupun fitur-fitur yang dimilikinya. Mikrokontroler memiliki kelebihan yang tidak bisa diperoleh pada sistem komputer yaitu dengan kemasannya yang kecil membuat mikrokontroler menjadi lebih fleksibel dan praktis digunakan terutama pada sistem-sistem yang relatif tidak terlalu kompleks atau tidak membutuhkan beban komputasi yang tinggi meskipun dari sisi kemampuan lebih rendah.

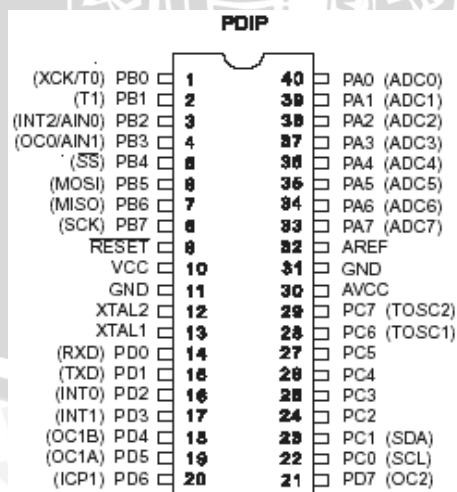
2.10.1 Port pada Mikrokontroler

Berbagai jenis mikrokontroler yang digunakan selama ini dan masing-masing memiliki keluarga atau seri sendiri-sendiri, salah satunya adalah mikrokontroler AVR. Mikrokontroler AVR ini mempunyai arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computing*) 8 bit, dimana semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit (*16-bit words*) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam satu siklus *clock*.

Mikrokontroler ATmega16 mempunyai fitur utama sebagai berikut:

- Sistem mikroprosesor 8 bit berbasis RISC dengan kecepatan maksimal 16 MHz
- Saluran I/O sebanyak 32 buah, yaitu *Port A*, *Port B*, *Port C*, dan *Port D*.
- ADC 10 bit sebanyak 8 saluran
- Tiga buah *Timer/Counter* dengan kemampuan pembandingan
- CPU yang terdiri atas 32 buah register
- *Watchdog Timer* dengan osilator internal
- SRAM sebesar 512 byte
- Memori *Flash* sebesar 8 kb dengan kemampuan *Read While Write*
- Unit interupsi internal dan eksternal
- Port antarmuka SPI
- EEPROM sebesar 512 byte yang dapat diprogram saat operasi
- Antarmuka komparator analog
- Port USART untuk komunikasi serial

Konfigurasi pin mikrokontroler ATmega16 ditunjukkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2. 17 Konfigurasi pin ATmega16.

Sumber : Atmel, 2006

Dari Gambar 2.17 dijelaskan secara fungsional konfigurasi pin ATmega16 sebagai berikut:

- VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai pin masukan catu daya.
- GND merupakan pin *ground*.
- Port A (PA0..PA7) merupakan pin I/O dua arah dan pin masukan ADC.
- Port B (PB0..PB7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus yaitu *Timer/Counter*, komparator analog dan SPI.
- Port C (PC0..PC7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus yaitu *Timer/Counter*, komparator analog dan *Timer Oscillator*.
- Port D (PD0..PD7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus yaitu komparator analog, interupsi eksternal, dan komunikasi serial.
- RESET merupakan pin yang digunakan untuk mereset mikrokontroler.
- XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan *clock* eksternal.
- AVCC merupakan pin masukan tegangan untuk ADC.
- AREF merupakan pin masukan tegangan referensi ADC.

2.10.2 Timer pada Mikrokontroler

Mikrokontroler ATmega16 memiliki 3 modul *timer* (*timer 0*, *timer 1*, dan *timer 2*) yang terdiri dari 2 buah *timer/counter* 8-bit dan 1 buah *timer/couter* 16-bit. Ketiga modul *timer/counter* ini dapat diatur dalam pengaturan yang berbeda secara individu dan tidak saling mempengaruhi satu sama lain. Selain itu semua *timer/counter* juga dapat difungsikan sebagai sumber interupsi.

2.10.2.1 Timer 0

Timer 0 merupakan modul timer/counter 8-bit yang dapat berfungsi sebagai pencacah tunggal, pembangkit PWM 8-bit, pembangkit frekuensi, pembangkit interupsi *overflow* dan pembangkit interupsi *compare match*. Mode kerja *timer 0* dapat ditentukan dengan mengatur register TCCR0, TCNT0, OCR0 serta TIMSK dan TIFR. Mode operasi *timer/counter 0* dijelaskan dalam Tabel 2.4 berikut:

Tabel 2. 4 Mode *Timer/Counter 0*.

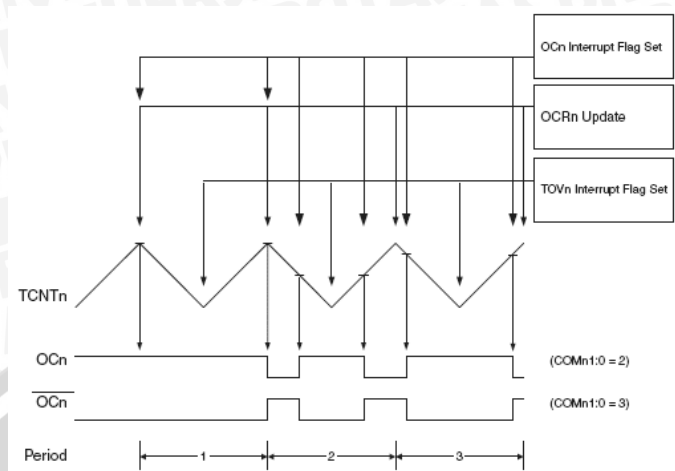
Mode	WGM01 (CTC0)	WGM00 (PWM0)	Mode of Operation	TOP	Update of OCR0	TOV0 Flag Set on
0	0	0	Normal	0xFF	Immediate	MAX
1	0	1	PWM, Phase Correct	0xFF	TOP	BOTTOM
2	1	0	CTC	OCR0	Immediate	MAX
3	1	1	Fast PWM	0xFF	BOTTOM	MAX

Sumber: Atmel, 2006

a. Mode 0

Timer/counter 0 berfungsi sebagai pencacah tunggal yang mampu mencacah dari 0x00 samapai dengan 0xFF. Setelah mencapai nilai maksimum yaitu 0xFF maka

register counter (TCNT0) akan reset atau kembali ke 0x00. Mode ini disebut *mode normal*.



Gambar 2. 18 Mode phase correct PWM.

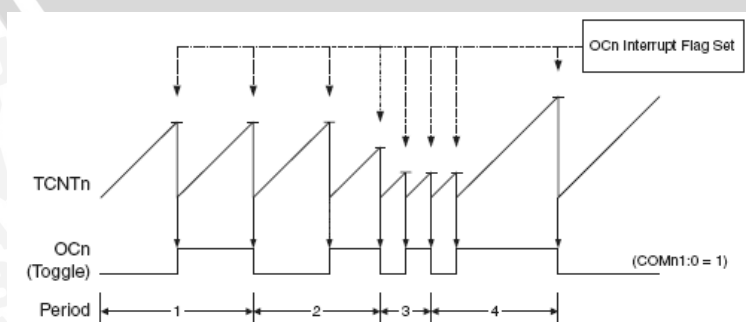
Sumber: Atmel, 2006

b. *Mode 1*

Timer/counter 0 berfungsi sebagai *phase correct PWM* (PCP). Mode ini digunakan untuk menghasilkan sinyal PWM dimana nilai *register counter* (TCNT0) yang mencacah naik dan turun secara terus menerus akan selalu dibandingkan dengan *register pembanding* OCR0. Hasil perbandingan *register* TCNT0 dan OCR0 digunakan untuk membangkitkan sinyal PWM yang dikeluarkan pada pin OC0 seperti dalam Gambar 2.18.

c. *Mode 2*

Timer/counter 0 berfungsi sebagai *clear time on compare match* (CTC) maksudnya adalah *register conter* (TCNT0) akan mencacah naik kemudian akan direset atau kembali menjadi 0x00 pada saat nilai TCNT0 sama dengan OCR0. Dengan mengatur pola keluaran OC0 bergulir secara *toggle* sehingga dapat dibangkitkan gelombang kotak sesuai dengan Gambar 2.19.



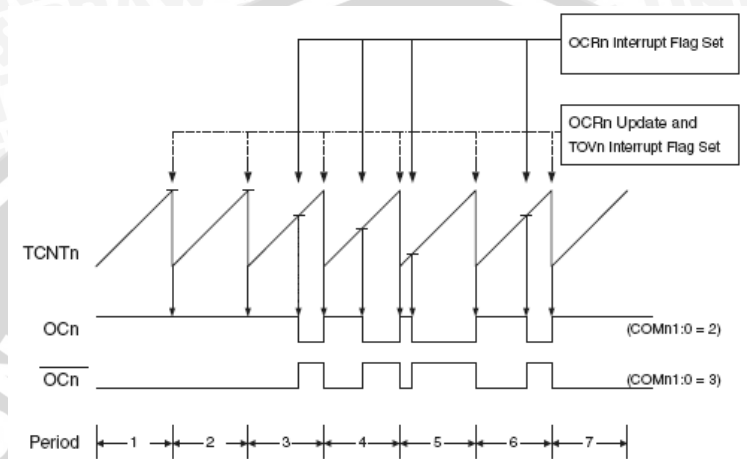
Gambar 2. 19 Mode clear time on compare match (CTC)

Sumber: Atmel, 2006

Gelombang yang dihasilkan memiliki frekuensi :

$$f_{OC0} = \frac{f_{OSC}}{2 \times N \times (1 + OCR0)} \quad (2-18)$$

dimana f_{OC0} merupakan Frekuensi luaran OC0 mode CTC, f_{OSC} merupakan frekuensi osilator, N merupakan skala clock, dan $OCR0$ merupakan isi register $OCR0$.



Gambar 2. 20 Mode *fast PWM*

Sumber: Atmel, 2006

d. Mode 3

Timer/counter 0 berfungsi sebagai *fast PWM*. Mode ini hampir sama dengan mode *phase correct PWM*, hanya perbedaannya adalah *register counter* (TCNT0) mencacah naik saja dan tidak pernah mencacah turun seperti terlihat dalam Gambar 2.20

2.10.2.2 Timer 1

Timer 1 merupakan modul *timer/counter* 16-bit yang dapat berfungsi sebagai pencacah tunggal, pembangkit PWM 16-bit, pembangkit frekuensi, pembangkit interupsi *overflow* dan pembangkit interupsi *output compare match*. Mode kerja *timer/counter1* dapat ditentukan dengan mengatur *register* TCCR1A, TCCR1B, TCNT1H, TCNT1L, OCR1AH, OCR1AL, OCR1BH, OCR1BL serta TIMSK dan TIFR. Mode operasi *timer/counter 1* dijelaskan dalam Tabel 2.5 berikut:

Tabel 2. 5 Mode *Timer/Counter 1*

Mode	WGM13	WGM12 (CTC1)	WGM11 (PWM11)	WGM10 (PWM10)	Timer/Counter Mode of Operation	TOP	Update of OCR1X at	TOV1 Flag Set on
0	0	0	0	0	Normal	0xFFFF	Immediate	MAX
1	0	0	0	1	PWM, Phase Correct, 8-bit	0x00FF	TOP	BOTTOM
2	0	0	1	0	PWM, Phase Correct, 9-bit	0x01FF	TOP	BOTTOM
3	0	0	1	1	PWM, Phase Correct, 10-bit	0x03FF	TOP	BOTTOM
4	0	1	0	0	CTC	OCR1A	Immediate	MAX
5	0	1	0	1	Fast PWM, 8-bit	0x00FF	BOTTOM	TOP
6	0	1	1	0	Fast PWM, 9-bit	0x01FF	BOTTOM	TOP
7	0	1	1	1	Fast PWM, 10-bit	0x03FF	BOTTOM	TOP
8	1	0	0	0	PWM, Phase and Frequency Correct	ICR1	BOTTOM	BOTTOM
9	1	0	0	1	PWM, Phase and Frequency Correct	OCR1A	BOTTOM	BOTTOM
10	1	0	1	0	PWM, Phase Correct	ICR1	TOP	BOTTOM
11	1	0	1	1	PWM, Phase Correct	OCR1A	TOP	BOTTOM
12	1	1	0	0	CTC	ICR1	Immediate	MAX
13	1	1	0	1	Reserved	–	–	–
14	1	1	1	0	Fast PWM	ICR1	BOTTOM	TOP
15	1	1	1	1	Fast PWM	OCR1A	BOTTOM	TOP

Sumber: Atmel, 2006

Prinsip dan cara kerja *mode operasi* pada *timer/counter1* sama dengan seperti yang dijelaskan pada *timer/counter 0*. Perbedaannya adalah *timer/counter1* memiliki ukuran *register* yang lebih besar yaitu 2 byte sehingga dalam satu kode dapat memiliki beberapa pilihan ukuran data misalnya 8-bit, 9-bit, 10-bit.

2.10.2.3 *Timer 2*

Timer 2 merupakan modul *timer/counter* 8-bit yang dapat berfungsi sebagai pencacah tunggal, pembangkit PWM 8-bit, pembangkit frekuensi, pembangkit interupsi *overflow* dan pembangkit interupsi *output compare match*. Mode kerja *timer/counter2* sama persis dengan mode kerja *timer/counter0*, hanya saja pada *timer/counter 2* memiliki satu fitur tambahan yaitu *asynchronous mode*. Untuk mode *synchronous*, pengaturan mode kerja *timer/counter2* dilakukan dengan menggunakan *register* TCCR2, TCNT2 dan OCR2 serta TIMSK dan TIFR. Sedangkan untuk mode *asynchronous* dilakukan dengan menggunakan *register* ASSR.

2.11 Transistor

Transistor merupakan salah satu jenis komponen aktif yang tersusun dari monokristal semikonduktor dengan menggunakan prinsip pertemuan antara P-N. Transistor pada prinsipnya dibangun dari sebuah dioda sambungan (*junction*) yang sambungannya itu membentuk sebuah transistor PNP atau NPN.

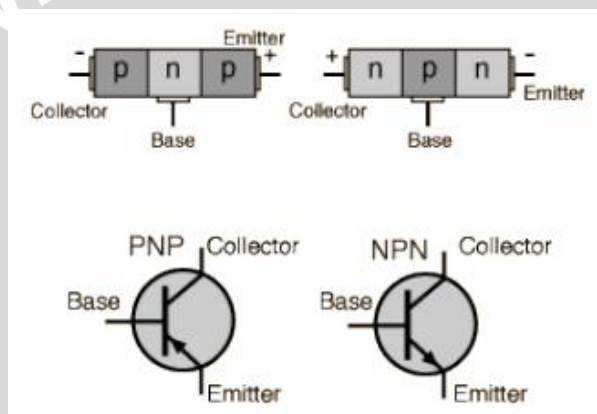
Transistor mempunyai tiga buah kaki yang dikenal dengan emitor, kolektor dan basis. Basis selalu berada di tengah, di antara kolektor dan emitor. Bahan utama yang di pergunakan untuk transistor adalah silikon dan germanium. Transistor

pertama kali ditemukan oleh tiga fisikawan amerika, yaitu William Schockley, John Bardeen dan Walter Brattain pada tahun 1948. Adapun bentuk fisik dan simbol transistor adalah seperti pada Gambar 2.21 dan 2.22.



Gambar 2. 21 Bentuk Fisik Transistor

Sumber: www.digikey.com



Gambar 2. 22 Simbol Transistor PNP dan NPN

Sumber: Mike Tooley, 2002

Pada aplikasinya transistor mempunyai tiga titik kerja yang akan menentukan fungsi kerja dari transistor tersebut seperti pada Gambar 2.23 dan 2.24. Yaitu daerah jenuh (saturasi), daerah aktif, dan daerah mati (cut off). (Mike Tooley, 2002)

1. Daerah jenuh (saturasi)

Daerah kerja transistor pada saat jenuh adalah keadaan dimana arus secara maksimum dari kolektor ke emitor sehingga transistor tersebut seolah-olah (short) pada hubungan kolektor-emitor. Sehingga pada daerah ini arus emitor dapat mengalir ke kolektor secara maksimum (CE terhubung maksimum).

2. Daerah aktif

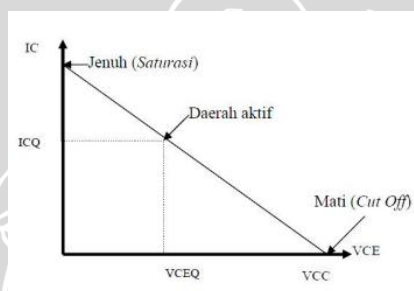
Pada daerah kerja ini transistor biasanya digunakan sebagai penguat sinyal. Transistor dikatakan bekerja pada daerah aktif karena transistor selalu

mengalirkan arus dari kolektor ke emitor walaupun tidak dalam proses penguatan sinyal, hal ini ditujukan untuk menghasilkan sinyal keluaran yang tidak cacat (distorsi). Daerah aktif ini terletak antara daerah jenuh (saturasi) dan daerah mati (cut off).

3. Daerah mati (cut off)

Daerah cut off merupakan daerah kerja transistor dimana keadaan transistor menyumbat pada hubungan kolektor-emitor. Daerah cut off sering dinamakan sebagai daerah mati karena pada daerah kerja ini transistor tidak dapat mengalirkan arus dari kolektor ke emitor. Pada daerah cut off transistor dapat dianalogikan sebagai saklar terbuka pada hubungan antara kolektor-emitor.

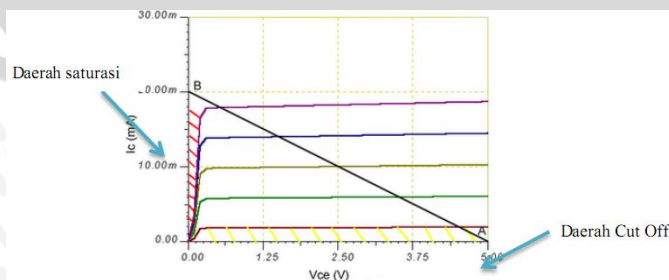
Berikut adalah kurva karakteristik transistor yang menunjukkan daerah kerja transistor.



Gambar 2. 23 Kurva Karakteristik Transistor

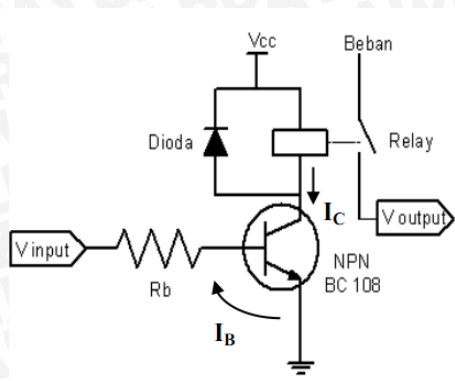
Sumber: Mike Tooley, 2002

Sebuah transistor yang akan difungsikan sebagai saklar elektronik, maka caranya adalah dengan mengatur titik kerja transistor tersebut. Ketika transistor berada dalam kondisi saturasi, maka transistor tersebut akan berfungsi sebagai saklar tertutup dari kolektor ke emitor. Sedangkan jika transistor berada dalam kondisi tersumbat (Cut Off) maka transistor tersebut akan berfungsi sebagai saklar terbuka, dimana arus dari kolektor tidak akan mengalir ke emitor.



Gambar 2. 24 Kurva Garis Beban Transistor

Sumber: Mike Tooley, 2002



Gambar 2. 25 Rangkaian Transistor sebagai Saklar

Sumber: Mike Tooley, 2002

Pada rangkaian transistor yang difungsikan sebagai saklar pada Gambar 2.25 dengan konfigurasi Common Emitter, maka diperlukan trigger masukan pada terminal basisnya. Prinsip kerja secara umum dari rangkaian transistor sebagai saklar adalah apabila tegangan input V_{in} berkondisi tinggi maka arus akan mengalir dari basis melewati kolektor dan emitor yang menyebabkan transistor dalam keadaan saturasi, sehingga arus pada kolektor akan menjadi maksimum dan mengakibatkan transistor menjadi sebuah saklar yang tertutup dan mengaktifkan relay. Sebaliknya jika tegangan V_{in} berkondisi rendah maka arus dari emitor ke basis akan tersumbat sehingga arus emitor tidak akan bisa bergerak melewati bagian kolektor dari transistor. Hal ini mengakibatkan transistor berada pada kondisi cut off sehingga arus kolektor menjadi nol atau kondisi transistor akan seperti saklar terbuka dan mengakibatkan relay tidak aktif.

Ketika transistor dalam keadaan saturasi, maka.

- Arus pada kolektor dan basis adalah maksimum, $I_c = I_b$.
- Tegangan pada terminal kolektor dan emitor, $V_{ce} = 0$ Volt.
- Tegangan pada beban yang dihubungkan seri dengan terminal kolektor mendekati V_{cc} .

Sedangkan transistor dalam keadaan cut off, maka.

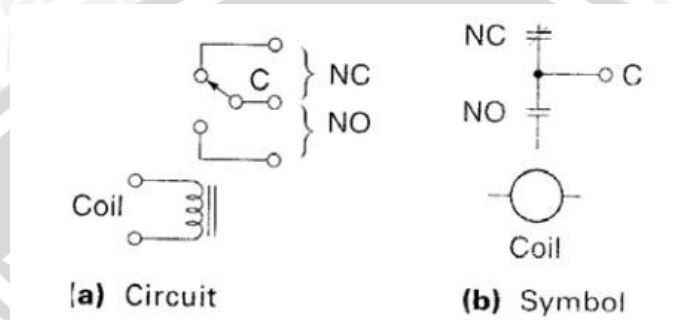
- Tidak ada arus yang mengalir di kolektor sehingga $I_c = 0$.
- Tegangan pada terminal kolektor dan emitor dengan V_{cc} adalah $V_{ce} = V_{cc}$.
- Tegangan pada beban dihubungkan seri pada kaki kolektor adalah nol.

2.12.2 Simbol Relay

Selain berfungsi sebagai komponen elektronik, relay juga mempunyai fungsi sebagai pengendali sistem. Sehingga relay mempunyai 2 macam simbol yang digunakan pada :

- Rangkaian listrik (hardware)
- Program (software)

Rangkaian dan simbol relay yang digunakan terlihat pada Gambar 2.28 :



Gambar 2. 28 Rangkaian dan simbol logika relay

Sumber : Kilian, 1996

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan berupa kajian pustaka dengan menggunakan sumber bacaan yang relevan dengan judul skripsi ini. Studi literatur yang dilakukan mencakup tentang bahan acuan dalam proses perancangan seperti mempelajari teori teori daya, kapasitor, induktor, hubungan fasa, kapasitor daya, perbaikan faktor daya, sensor arus, aplikasi op-amp sebagai komparator, gerbang XOR, flip flop D, mikrokontroler AT Mega16, transistor sebagai saklar, dan prinsip kerja relay.

3.2 Perancangan Alat

Perancangan sistem alat perbaikan faktor daya terbagi dalam dua bagian yaitu perancangan perangkat keras dan perangkat lunak.

Perancangan perangkat keras terdiri dari:

- 1) Perancangan rangkaian sensor tegangan
- 2) Perancangan rangkaian sensor arus
- 3) Perancangan rangkaian *zero crossing*
- 4) Perancangan rangkaian *phase detector*
- 5) Perancangan rangkaian *leading/lagging detector*
- 6) Perancangan rangkaian penggerak relay
- 7) Perancangan rangkaian kapasitor
- 8) Perancangan rangkaian induktor
- 9) Perancangan beban rumah tangga
- 10) Perancangan kontrol sistem

Perancangan perangkat lunak terdiri dari:

- 1) Perancangan diagram alir fungsi perbaikan faktor daya
- 2) Perancangan diagram alir pendeteksi faktor daya sistem

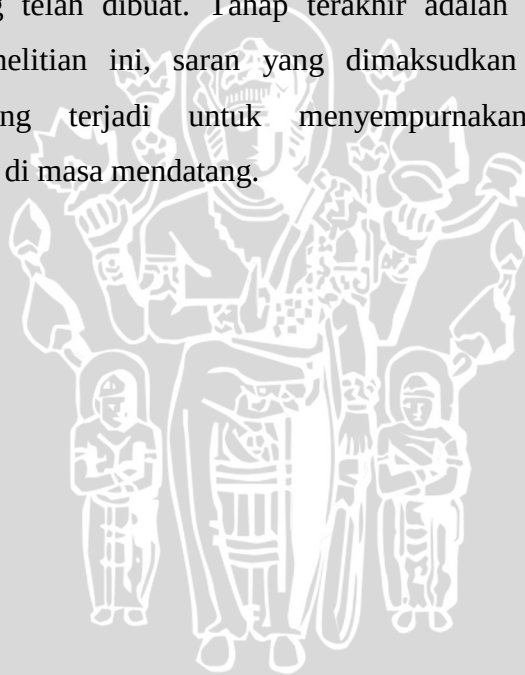
3.3 Pengujian dan Analisis

Pengujian dilakukan pada setiap blok rangkaian untuk mengamati hasil pengujian pada masing-masing blok yang telah dirangkai. Setelah pengujian pada masing-masing blok selesai, pengujian dilakukan pada keseluruhan blok yang menjadi satu sistem alat perbaikan faktor daya beban rumah tangga dengan menggunakan *switching* kapasitor dan induktor otomatis.

Data dari keseluruhan pengujian akan dijadikan bahan acuan dalam mengambil kesimpulan. Pengujian yang dilakukan dibagi menjadi beberapa tahap yaitu:

- 1) Pengujian rangkaian sensor tegangan
- 2) Pengujian rangkaian sensor arus
- 3) Pengujian rangkaian *zero crossing*
- 4) Pengujian rangkaian *phase detector*
- 5) Pengujian rangkaian *leading/lagging detector*
- 6) Pengujian rangkaian penggerak relay
- 7) Pengujian pendeteksian faktor daya dan *leading/lagging*
- 8) Pengujian pembebanan sistem kelistrikan rumah tangga

Setelah melakukan pengujian terhadap sistem perbaikan faktor daya beban rumah tangga yang telah dibuat tahap selanjutnya adalah pengambilan kesimpulan dari keseluruhan sistem yang telah dibuat. Tahap terakhir adalah penulisan saran dari penyusunan laporan penelitian ini, saran yang dimaksudkan untuk memperbaiki kesalahan-kesalahan yang terjadi untuk menyempurnakan penelitian untuk pengembangan penelitian di masa mendatang.



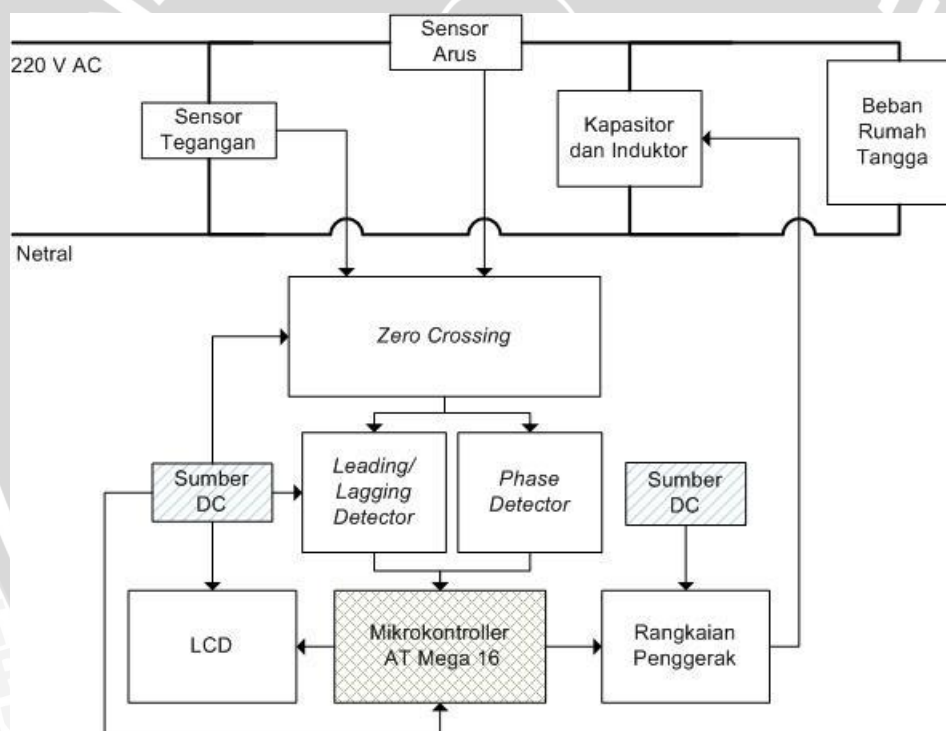
BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai perancangan dan pembuatan alat perbaikan faktor daya beban rumah tangga dengan menggunakan *switching* kapasitor dan induktor otomatis. Sistem kendali alat perbaikan faktor daya menggunakan mikrokontroler AT Mega16. Perancangan alat perbaikan faktor daya diwujudkan dalam tahapan perancangan blok diagram alat perbaikan faktor daya, perancangan dan pembuatan perangkat keras, perancangan perangkat lunak.

4.1 Blok Diagram Sistem Alat Perbaikan Faktor Daya

Berikut ini adalah rancangan blok diagram dari sistem alat perbaikan faktor daya beban rumah tangga menggunakan *switching* kapasitor dan induktor otomatis.



Gambar 4. 1 Diagram blok sistem alat perbaikan faktor daya (APFD)

Prinsip kerja dari blok diagram pada Gambar 4.1 adalah sistem dimulai dengan pendeteksian sinyal oleh rangkaian sensor tegangan dan rangkaian sensor arus. Sensor tegangan berfungsi untuk mengambil sinyal sinusoida tegangan sebesar 5 volt dari sinyal sinusoida tegangan 220 volt sistem agar bisa dibaca oleh rangkaian berikutnya. Sensor arus berfungsi mengkonversi sinyal sinusoida arus menjadi sinyal sinusoida tegangan yang linier dengan perubahan nilai arus.

Sinyal keluaran sensor tegangan dan keluaran sensor arus masuk ke rangkaian *zero crossing*. Rangkaian *zero crossing* berfungsi untuk mengkonversi sinyal sinusoidal tegangan dan arus menjadi sinyal persegi tegangan dan arus. Kemudian sinyal persegi tegangan dan arus masuk ke rangkaian *phase detector* untuk dideteksi adanya perbedaan fasa antara sinyal persegi tegangan dan sinyal arus. Di saat yang sama sinyal persegi tegangan dan arus juga masuk ke rangkaian *leading/lagging detector* untuk mengetahui sifat *leading* atau *lagging* dari beda fasa sinyal tegangan dan arus.

Keluaran dari rangkaian *phase detector* dan *leading/lagging detector* kemudian masuk ke dalam Mikrokontroler AT Mega16 untuk diolah dan dibaca nilai faktor daya dari sistem listrik rumah tangga. Selain itu Mikrokontroler juga berfungsi untuk memberi perintah kepada rangkaian penggerak untuk menentukan kapasitor atau induktor mana yang harus aktif untuk menjaga faktor daya sistem supaya selalu mendekati *set point* yang diinginkan.

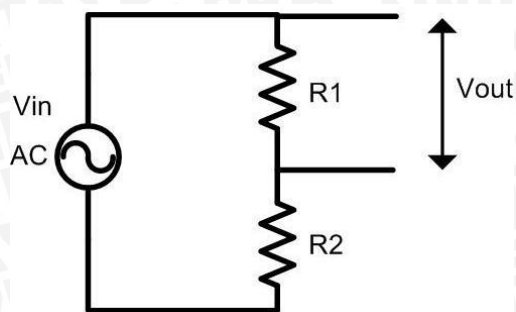
4.2 Perancangan Perangkat Keras Alat Perbaikan Faktor Daya

Perancangan perangkat keras alat perbaikan faktor daya terbagi menjadi beberapa bagian, antara lain:

1. Perancangan rangkaian sensor tegangan
2. Perancangan rangkaian sensor arus
3. Perancangan rangkaian *zero crossing*
4. Perancangan rangkaian *phase detector*
5. Perancangan rangkaian *leading/lagging detector*
6. Perancangan rangkaian penggerak relay
7. Perancangan rangkaian kapasitor
8. Perancangan rangkaian induktor
9. Perancangan beban rumah tangga
10. Perancangan kontrol sistem

4.2.1 Perancangan Rangkaian Sensor Tegangan

Untuk mengambil sinyal tegangan agar bisa dibaca oleh rangkaian *zero crossing* digunakan resistor pembagi tegangan yang dipasang secara paralel antara fasa dengan netral seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Rangkaian sensor tegangan

Rangkaian sensor tegangan ini tidak menggunakan trafo penurun tegangan karena untuk menghindari timbulnya pergeseran beda fasa yang dapat mengakibatkan pembacaan beda fasa tegangan tidak sesuai dengan beda fasa tegangan yang sebenarnya pada rangkaian berikutnya. Fungsi resistor ini adalah untuk menurunkan tegangan dari tegangan sumber menjadi tegangan yang dikehendaki.

Pada rangkaian sensor tegangan ini diinginkan tegangan keluaran 5 volt dari tegangan sistem 220 volt. Maka dengan menggunakan persamaan pembagi tegangan didapatkan

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in}$$

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

Ditentukan $R_2 = 100k\Omega$

$$\frac{5}{220} = \frac{R_2}{R_1 + 100k}$$

$$\frac{R_1 + 100k}{R_2} = \frac{220}{5}$$

$$\frac{R_1 + 100k}{100k} = 44$$

$$R_1 + 100k = 44R_2$$

$$43R_2 = 100k$$

$$43R_2 = 100k$$

$$R_2 = \frac{100k}{43}$$

$$R_2 = 2.325 k\Omega$$

Penentuan nilai R_1 disesuaikan dengan nilai resistor yang tersedia di pasaran, maka dipilih nilai $R_1 = 2.2k\Omega$

Resistor yang digunakan harus kuat terhadap panas efek dari arus yang mengalir, maka dari itu perlu dihitung arus yang mengalir pada resistor:

$$i = \frac{V}{R_1 + R_2}$$

$$i = \frac{220}{102200}$$

$$i = 0.00215 \text{ A}$$

Perhitungan panas pada resistor R1:

$$P = i^2 \times R_1$$

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

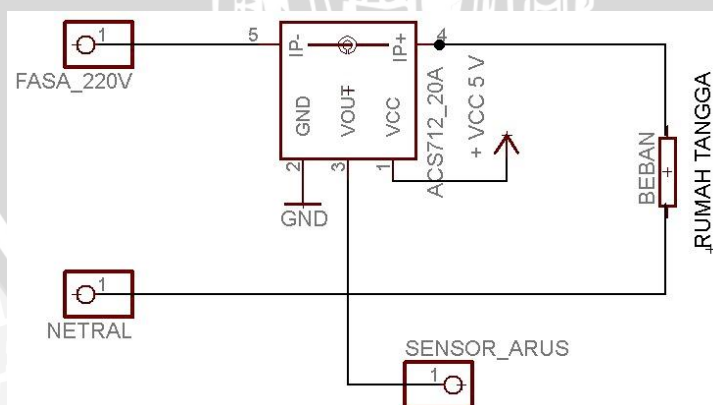
Nilai daya pada resistor R1 dan R2 harus lebih besar dari 0.46225 watt supaya resistor tidak terbakar. Maka dari itu pada penentuan resistor ini dipilih resistor R1 dan R2 dengan daya masing-masing 2 watt.

4.2.2 Perancangan Rangkaian Sensor Arus

Dalam perancangan sensor arus ini dibutuhkan rangkaian yang mampu menghasilkan keluaran sinyal sinusoida tegangan serta linier dengan sinyal sinusoida arusnya. komponen yang digunakan adalah sensor arus ACS712 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3, sedangkan komponen sensor arus ACS712 yang dipilih harus memiliki kemampuan di atas arus dan tegangan yang dibutuhkan.

Beban rumah tangga yang digunakan sebagai berikut:

- arus maksimal beban rumah tangga : 10 A
- tegangan sistem kelistrikan rumah tangga: 220 V



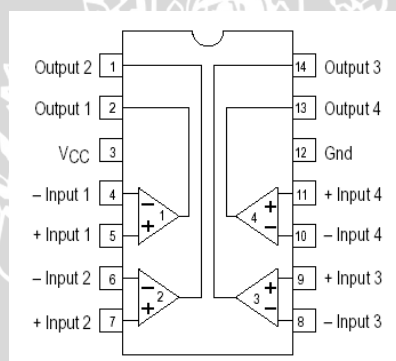
Gambar 4. 3 Rangkaian sensor arus

Maka dari itu dipilih sensor arus ACS712 30A sebagai rangkaian sensor arus. Sensor arus ACS 712 30A memiliki kemampuan beroperasi pada tegangan 2.1 kV dan

beroperasi pada arus maksimal 30 A, serta memiliki sensitivitas 66 mV/A. Sensor arus ini dihubungkan secara seri pada sistem kelistrikan rumah tangga, Sensor arus ini dicatu dengan sumber tegangan DC sebesar 5 volt.

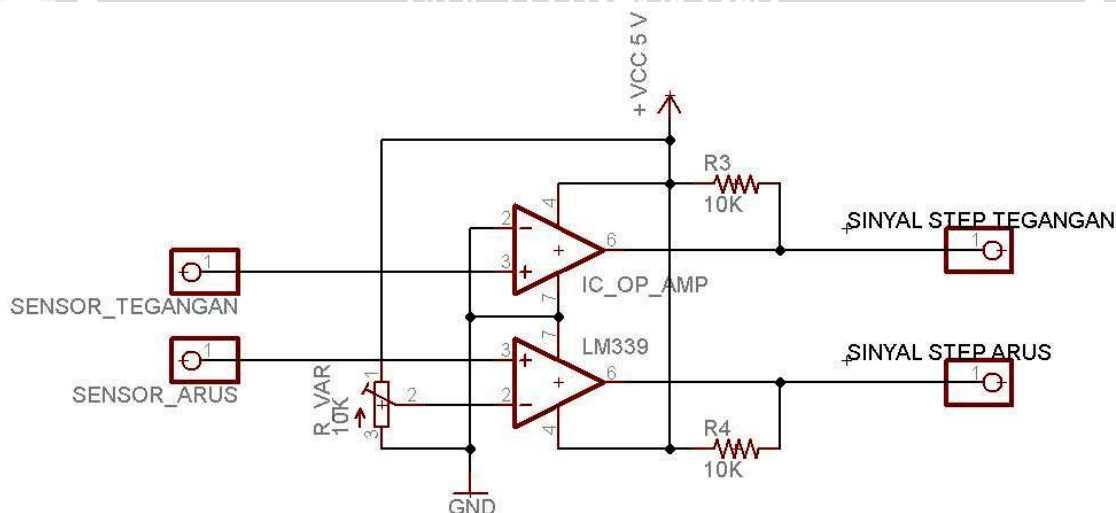
4.2.3 Perancangan Rangkaian Zero Crossing

Dalam perancangan Rangkaian *zero crossing* dibutuhkan rangkaian yang mampu mengkonversi sinyal sinusoida menjadi sinyal step agar bisa dibaca oleh rangkaian *phase detector* dan *leading/lagging detector*. Komponen yang sesuai dengan spesifikasi ini adalah IC Op-Amp LM339. Sinyal keluaran berbentuk gelombang sinusoida yang dihasilkan oleh sensor tegangan dan sensor arus kemudian diolah oleh IC Op-Amp LM339. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 serta Gambar 4.5, IC ini memiliki 4 buah Op-Amp di dalamnya, namun pada perancangan ini hanya digunakan dua buah Op-Amp saja karena hanya ada dua buah sinyal sinusoida yaitu arus dan tegangan yang akan diolah untuk dikonversi menjadi sinyal step.



Gambar 4. 4 Konfigurasi pin IC Op-Amp LM339

Sumber: Datasheet



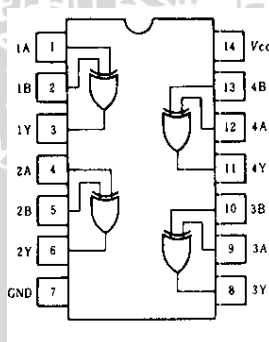
Gambar 4. 5 Rangkaian *zero crossing*

Sinyal keluaran dari rangkaian sensor tegangan dihubungkan pada pin 9 yang dibandingkan dengan sinyal *ground* pada pin 8 untuk didapatkan sinyal step tegangan yang bernilai logika *high* saat nilai sinyal tegangan bernilai positif, dan logika *low* saat nilai sinyal tegangan bernilai negatif.

Sinyal keluaran dari rangkaian sensor arus dihubungkan pada pin 7 yang dibandingkan dengan sinyal 2.5 volt DC pada pin 6. Hal ini dilakukan karena sensor arus ACS 712 memiliki keluaran 2.5 volt DC pada saat arus yang dideteksi bernilai 0 volt. Dengan dibandingkan dengan sinyal 2.5 volt DC, maka keluaran Op-Amp ini juga akan bernilai logika *high* saat nilai sinyal arus bernilai positif, dan logika *low* saat nilai sinyal arus bernilai negatif. IC Op-Amp LM339 ini dicatu dengan sumber tegangan DC 5 volt.

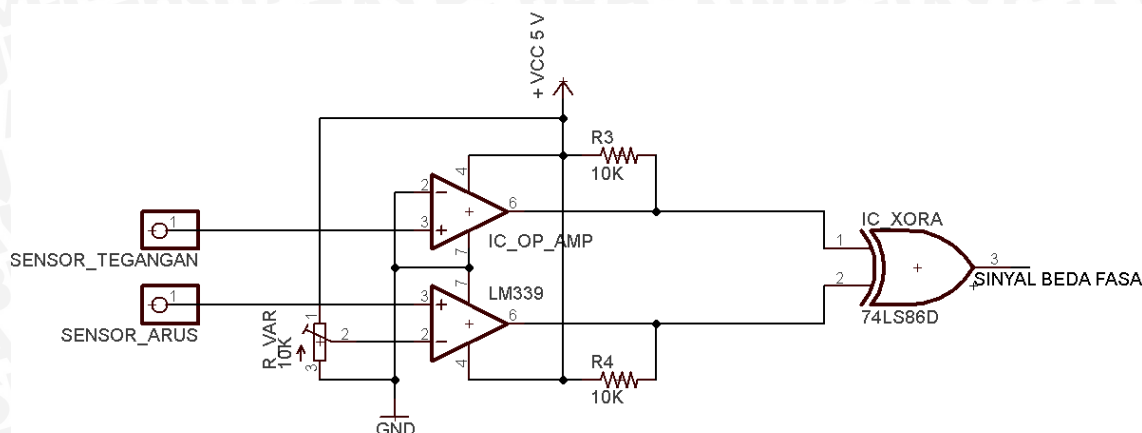
4.2.4 Perancangan Rangkaian *Phase Detector*

Dalam perancangan Rangkaian *Phase Detector* dibutuhkan rangkaian yang mampu membaca perbedaan fasa dari dua buah sinyal step tegangan dan arus, serta mampu menghasilkan keluaran sinyal step agar bisa dibaca dan dimasukkan ke dalam mikrokontroller AT MEGA16 untuk diolah. Komponen yang sesuai dengan spesifikasi ini adalah IC XOR 74LS86. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6, IC ini memiliki 4 buah gerbang XOR di dalamnya, namun yang digunakan hanya satu gerbang saja karena yang dibutuhkan hanya untuk melihat perbedaan beda fasa sinyal step tegangan dan arus.



Gambar 4. 6 Konfigurasi pin IC XOR 74LS86

Sumber: *Datasheet*

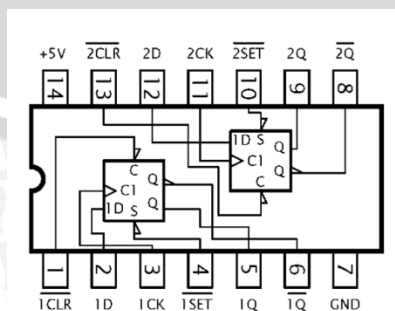


Gambar 4. 7 Rangkaian *phase detector*

Pada rangkaian *phase detector* Gambar 4.7, sinyal step tegangan keluaran dari IC Op-Amp LM339 dihubungkan pada pin 1, sedangkan sinyal step arus keluaran dari IC Op-Amp LM339 dihubungkan pada pin 2. Keluaran IC ini terletak pada pin 3. Pin 3 akan menghasilkan keluaran logika *high* jika ada perbedaan fasa antara sinyal step tegangan dan sinyal step arus. Sedangkan jika tidak ada perbedaan fasa antara sinyal step tegangan dan sinyal step arus, maka akan menghasilkan keluaran logika *low*. IC XOR 74LS86 ini dicatu dengan sumber tegangan DC 5 volt.

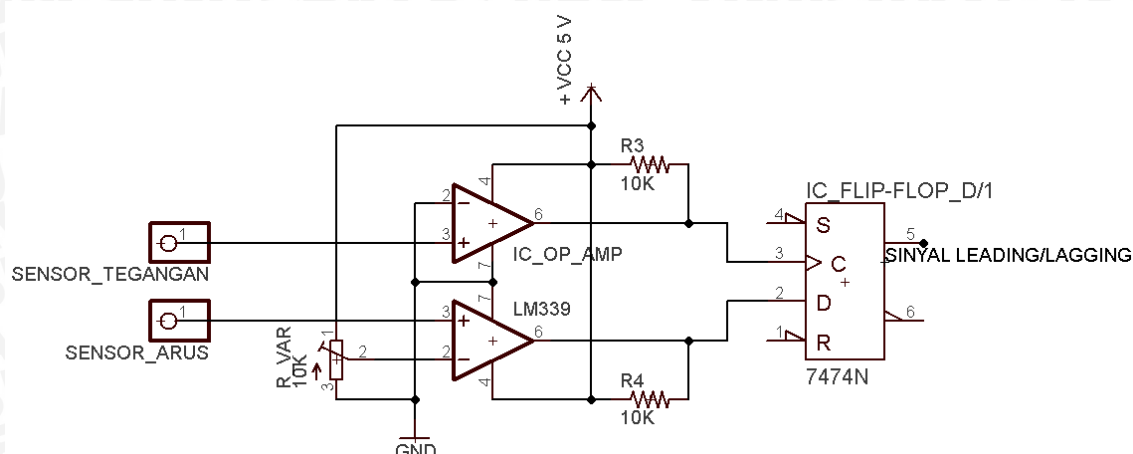
4.2.5 Perancangan Rangkaian *Leading/Lagging Detector*

Dalam perancangan Rangkaian *Phase Detector* dibutuhkan rangkaian yang mampu membaca posisi (*leading/lagging*) dari sinyal step tegangan dan arus, hal tersebut dapat mengindikasikan sifat dari beda fasa suatu sistem kelistrikan rumah tangga. Komponen yang sesuai dengan spesifikasi ini adalah IC Flip-Flop D 74LS74 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 dan 4.9. IC ini memiliki 2 buah flip-flop D di dalamnya, namun hanya 1 flip-flop D yang digunakan karena hanya sinyal step tegangan dan sinyal step arus yang ingin diidentifikasi sifat beda fasanya.



Gambar 4. 8 Konfigurasi pin IC flip-flop D 74LS74

Sumber: *Datasheet*



Gambar 4. 9 Rangkaian *leading/lagging detector*

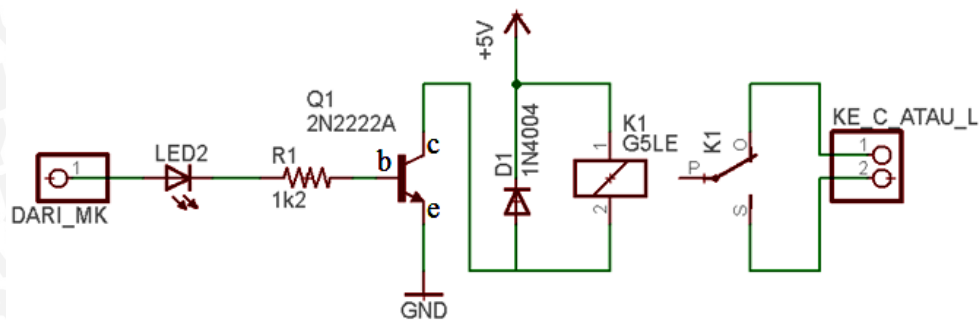
Sinyal step tegangan dihubungkan dengan pin 11 sedangkan sinyal step arus dihubungkan dengan pin 12. Keluaran flip-flop D ini terletak pada pin 9. Pada perancangan ini sinyal step tegangan dijadikan *clock* terhadap sinyal step arus. Prinsip dari IC ini yaitu aktif membaca data pada saat sinyal *clock* dipicu naik artinya saat perubahan sinyal step tegangan dari logika rendah ke logika tinggi, pada saat yang itulah flip-flop D akan membaca sinyal step arus. Maka dari itu ketika terjadi perubahan sinyal step tegangan dari logika rendah ke tinggi dan pada saat yang bersamaan sinyal step arus berlogika tinggi, maka keluaran flip-flop D berlogika tinggi maka berarti beda fasa rangkaian bersifat *leading* yaitu sinyal arus mendahului sinyal tegangan.

Ketika terjadi perubahan sinyal step tegangan dari logika rendah ke tinggi dan pada saat yang bersamaan sinyal step arus berlogika rendah, maka keluaran flip-flop D berlogika rendah berarti beda fasa rangkaian bersifat *lagging* yaitu sinyal arus tertinggal dari sinyal tegangan. IC Flip-Flop D 74LS74 ini dicatu oleh sumber tegangan DC sebesar 5 volt.

4.2.6 Perancangan Rangkaian Penggerak Relay

Dalam perancangan rangkaian penggerak dibutuhkan rangkaian yang dapat memutus dan menyambungkan (ON-OFF) saluran pada rangkaian kapasitor dan juga rangkaian induktor. Maka dari itu digunakan relay yang berfungsi untuk pensaklaran, kemudian relay ini digerakkan oleh tegangan yang diatur oleh transistor, sedangkan transistor terhubung dengan pin keluaran mikrokontroler AT Mega16

Rangkaian penggerak disusun sedemikian rupa seperti pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Rangkaian penggerak relay

Penentuan relay pada rangkaian penggerak ini dibutuhkan relay yang mampu bekerja memutus dan menyambung sebuah saluran tegangan 220 volt AC. Relay yang sesuai dengan spesifikasi ini adalah relay merk SONGLE tipe SRD-05VDC-SL-C yang mampu memutus/menyambung saluran dengan tegangan maksimal 250 volt AC dan arus maksimal 10A, serta tegangan kerja kumparan relay sebesar 5 volt DC.

Transistor yang dibutuhkan untuk menggerakkan relay adalah transistor yang harus mampu menghasilkan tegangan 5 volt DC untuk menggerakkan kumparan pada relay. Maka dari itu digunakan transistor 2N2222 dengan tipe NPN.

Penentuan nilai resistor pada rangkaian penggerak atau Gambar 4.10 adalah sebagai berikut:

$$R = \frac{V_b - V_{led} - V_{be}}{I_b}$$

Dimana:

V_b = Nilai tegangan keluaran minimal saat logika tinggi pada mikrokontroller AT Mega16 (V)

V_{led} = Nilai jatuh tegangan pada led (V)

V_{be} = Tegangan antara kaki basis dan emitor. (V)

I_b = Arus pada kaki basis atau arus yang harus dialirkan untuk mengaktifkan pensaklaran. (A)

Nilai I_b harus dihitung terlebih dahulu sebelum menghitung nilai resistor. Maka nilai I_b didapat dengan rumus:

$$I_b = \frac{I_c}{h_{fe}}$$

Dimana:

I_c = Arus pada kaki kolektor atau arus yang mengalir pada *coil* relay (A)

h_{fe} = Penguatan Arus DC

$$I_b = \frac{100\text{mA}}{100}$$

$$I_b = 1\text{ mA} = 0.001\text{ A}$$

Maka,

$$R = \frac{V_b - V_{led} - V_{be}}{I_b}$$

$$R = \frac{4.2 - 1.7 - 1.2}{0.001}$$

$$R = \frac{4.2 - 0.7 - 1.2}{0.001}$$

$$R = 1300\ \Omega$$

Maka dari itu digunakan resistor dengan nilai 1300 Ω

Pada rangkaian penggerak ini juga digunakan dioda 1N4004 yang dipasang secara paralel dengan relay. Pemasangan dioda ini berfungsi untuk mencegah arus transien yang ditimbulkan oleh kumparan relay.

4.2.7 Perancangan Rangkaian Kapasitor

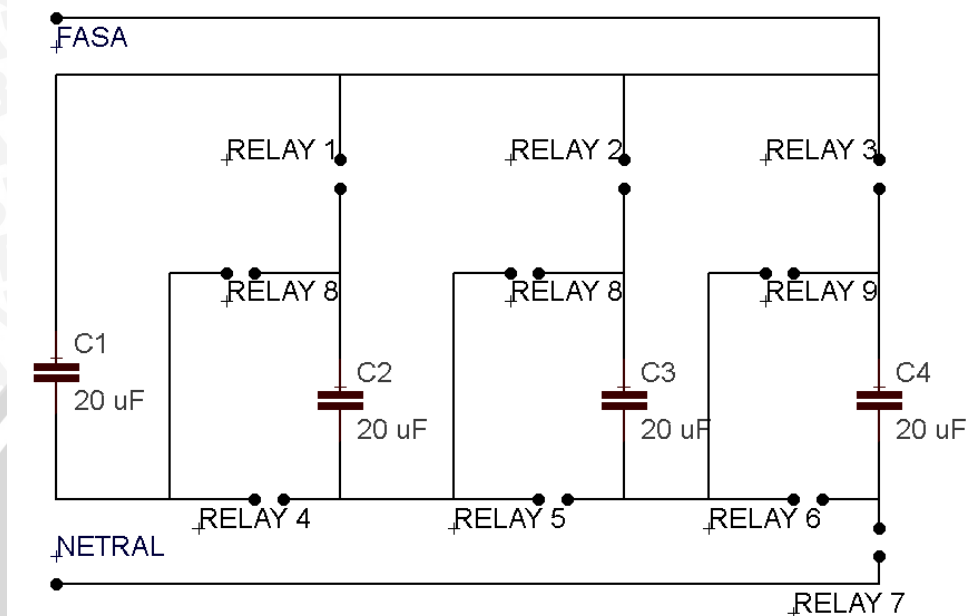
Dalam perancangan rangkaian kapasitor dibutuhkan rangkaian yang dapat memiliki banyak variasi nilai dari yang terkecil hingga yang terbesar. Hal ini dilakukan karena beban induktif di rumah tangga cukup variatif dari beban induktif skala kecil hingga skala besar seperti pompa air, kulkas, kipas angin, dll.

Kapasitor yang digunakan untuk melakukan perbaikan faktor daya adalah kapasitor AC yang tegangan kerjanya lebih besar dari 220 volt. Maka dari itu pada rangkaian kapasitor ini digunakan kapasitor AC merek ICAR Ecofill 400 volt dengan nilai 20 μF , serta memiliki toleransi $\pm 5\%$.



Gambar 4. 11 Kapasitor AC merek ICAR Ecofill 20 μF

Pada rangkaian kapasitor ini dibutuhkan rangkaian yang dapat memiliki banyak variasi nilai kapasitansi dari nilai terkecil hingga terbesarnya. Maka dari itu digunakan empat buah kapasitor yang dapat disusun secara seri, paralel, bahkan seri-paralel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.12.

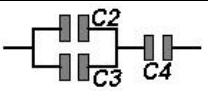
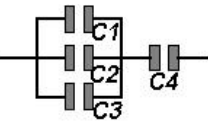
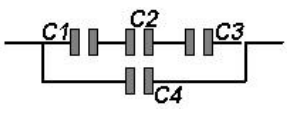
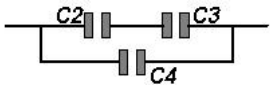
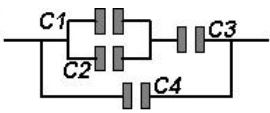
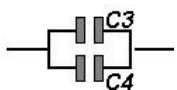
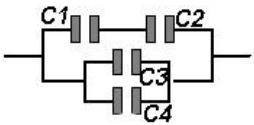
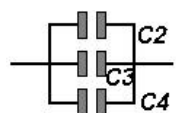
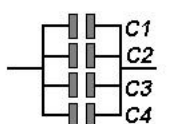


Gambar 4. 12 Rangkaian kapasitor

Pada rangkaian kapasitor yaitu Gambar 4.12 terdapat 10 buah relay yang berfungsi sebagai pemutus atau penyambung saluran untuk mendapatkan variasi nilai kapasitansi. Terdapat empat belas buah variasi nilai kapasitansi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Macam kombinasi rangkaian 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 μ F	1,2,5,7,10
6		15 μ F	1,2,4,5,7,10
7		20 μ F	3,7
8		26,67 μ F	3,6,7,8,9
9		30 μ F	1,3,6,7,9
10		33,3 μ F	1,3,4,6,7,9
11		40 μ F	2,3,6,7
12		50 μ F	2,3,5,6,7,8
13		60 μ F	1,2,3,5,6,7
14		80 μ F	1,2,3,4,5,6,7

4.2.8 Perancangan Rangkaian Induktor

Rangkaian induktor dibutuhkan untuk mengkompensasi beban kapasitif yang terdapat pada rumah tangga, seperti penggunaan lampu hemat energi, mesin pendingin ruangan, dll. Pada perancangan rangkaian induktor ini digunakan induktor yang tersedia di laboratorium sistem daya elektrik. Pada Gambar 4.13 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 induktor ini dipasang paralel dengan sistem kelistrikan rumah tangga.



Gambar 4. 13 Induktor di Laboratorium Sistem Daya Elektrik

Induktor yang terpasang paralel ke sistem 220 volt harus mampu bekerja dengan baik dan tidak terbakar, maka dari itu perlu diperhitungkan nilai arus yang akan melewati induktor.

$$i_L = \frac{V}{jX_L}$$

$$i_L = \frac{220 \angle 0}{j2\pi fL}$$

$$i_L = \frac{220 \angle 0}{314L \angle 90}$$

$$i_L = \frac{0,7}{L} \angle -90 \text{ A}$$

Induktor 400 mH memiliki batas arus maksimal yang boleh mengalir sebesar 1,2 A. Jika hanya menggunakan 1 induktor 400 mH saja maka induktor akan terbakar karena arus yang mengalir nantinya melebihi nilai arus maksimalnya.

$$i_L \text{ pada 1 buah induktor 400 mH} = \frac{0,7}{0,4} \angle -90 \text{ A}$$

$$i_L \text{ pada 1 buah induktor 400 mH} = 1,75 \angle -90 \text{ A}$$

supaya induktor tidak terbakar, maka digunakan minimal 2 buah induktor 400 mH yang dipasang seri.

$$i_L \text{ pada 2 buah induktor 400 mH} = \frac{0,7}{0,8} \angle -90 \text{ A}$$

$$i_L \text{ pada 2 buah induktor 400 mH} = 0,875 \angle -90 \text{ A}$$

Terbukti bahwa arus yang mengalir pada 2 buah induktor 400 mH sebesar $0,875 \angle -90$ A yang berarti masih lebih kecil dari nilai arus maksimal yang boleh mengalir pada induktor 400 mH yaitu sebesar 1,2 A.

Induktor 800 mH memiliki batas arus maksimal yang boleh mengalir sebesar 0,6 A. Jika hanya menggunakan 1 induktor 800 mH saja maka induktor akan terbakar karena arus yang mengalir nantinya melebihi nilai arus maksimalnya.

$$i_L \text{ pada 1 buah induktor 800 mH} = \frac{0,7}{0,8} \angle -90 \text{ A}$$

$$i_L \text{ pada 1 buah induktor 800 mH} = 0,875 \angle -90 \text{ A}$$

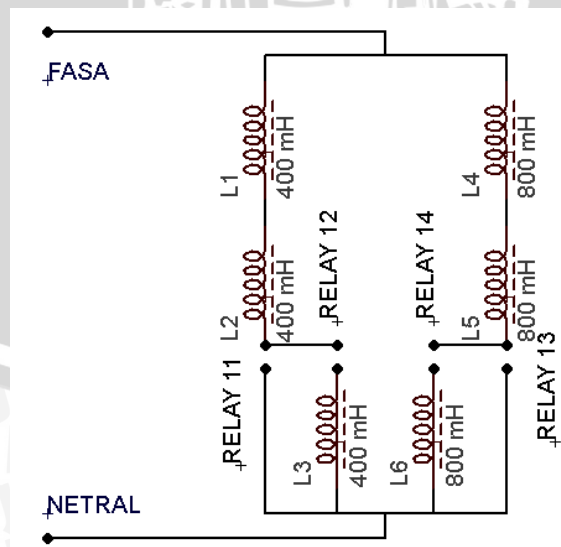
supaya induktor tidak terbakar, maka digunakan minimal 2 buah induktor 800 mH yang dipasang seri.

$$i_L \text{ pada 2 buah induktor 400 mH} = \frac{0,7}{1,6} \angle -90 \text{ A}$$

$$i_L \text{ pada 2 buah induktor 400 mH} = 0,4375 \angle -90 \text{ A}$$

Terbukti bahwa arus yang mengalir pada 2 buah induktor 400 mH sebesar $0,4375 \angle -90$ A yang berarti masih lebih kecil dari nilai arus maksimal yang boleh mengalir pada induktor 800 mH yaitu sebesar 0,6 A.

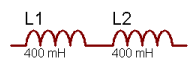
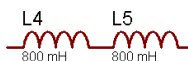
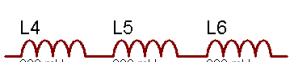
Induktor yang berjumlah 6 buah tadi disusun sedemikian rupa seperti Gambar 4.14. Pada rangkaian tersebut terdapat 4 buah relay yang berfungsi sebagai pemutus atau penyambung saluran untuk mendapatkan variasi nilai induktansi.



Gambar 4. 14 Rangkaian induktor

Terdapat empat buah variasi nilai induktansi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Macam kombinasi rangkaian 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

4.2.9 Perancangan Beban Rumah Tangga

Perancangan beban rumah tangga disini adalah penentuan beban-beban yang akan diujikan pada alat perbaikan faktor daya, beban yang digunakan lebih dititikberatkan pada variasi nilai daya dan variasi nilai faktor daya.

Arus beban maksimal yang diijinkan adalah arus dengan nilai di bawah 10 A. dan beban yang digunakan adalah beban yang memiliki tegangan kerja 220 volt. Variasi daya yang digunakan pada perancangan beban ini adalah beban dengan daya semu maksimal 2200 VA dan selama arus beban tidak melebihi 10 A. Variasi nilai faktor daya yang digunakan pada perancangan beban ini adalah beban-beban listrik yang memiliki sifat faktor daya induktif, kapasitif, dan resistif.

Berikut adalah beban-beban listrik yang akan digunakan pada perancangan beban rumah tangga:

Beban Resistif:

- Lampu Pijar 100 watt
- Lampu Pijar 60 watt
- Lampu Pijar 40 watt
- Lampu Pijar 25 watt

Beban Induktif:

- Motor Induksi 1 Fasa ¼ HP
- Motor Induksi 1 Fasa ½ HP

Beban Kapasitif:

-Kapasitor 8 μ F, 16 μ F, 24 μ F sebagai representasi perangkat listrik rumah tangga yang bersifat kapasitif.

Daftar beban rumah tangga disusun menjadi dua kelompok, yaitu beban rumah tangga yang bersifat induktif dan beban rumah tangga yang bersifat kapasitif. Tabel 4.3 dan 4.4 menunjukkan daftar beban yang akan digunakan sebagai pengujian pembebanan sistem kelistrikan rumah tangga tanpa alat perbaikan faktor daya dan dengan alat perbaikan faktor daya.

Tabel 4. 3 Beban rumah tangga yang bersifat induktif

No.	Beban yang digunakan
1	1xPijar 60W, 1xPijar 40W, 1xMI ¼ HP
2	1xPijar 60W, 3xPijar 40W, 1xMI ¼ HP
3	2xPijar 100W, 1xPijar 60W, 1xPijar 40W, 1xMI ¼ HP
4	4xPijar 100W, 1xPijar 60W, 1xPijar 40W, 1xMI ¼ HP
5	1xPijar 60W, 3xPijar 40W, 1xMI ¼ HP, 1xMI ½ HP
6	1xPijar 100W, 1xPijar 60W, 6xPijar 40W, 1xMI ¼ HP, 1xMI ½ HP
7	4xPijar 100W, 1xPijar 60W, 6xPijar 40W, 1xMI ¼ HP, 1xMI ½ HP
8	4xPijar 100W, 3xPijar 60W, 9xPijar 40W, 5xPijar 25W, 1xMI ¼ HP, 1xMI ½ HP
9	2xPijar 100W, 3xPijar 60W, 9xPijar 40W, 5xPijar 25W, 2xMI ¼ HP, 1xMI ½ HP
10	4xPijar 100W, 3xPijar 60W, 9xPijar 40W, 6xPijar 25W, 2xMI ¼ HP, 1xMI ½ HP

Tabel 4. 4 Beban rumah tangga yang bersifat kapasitif

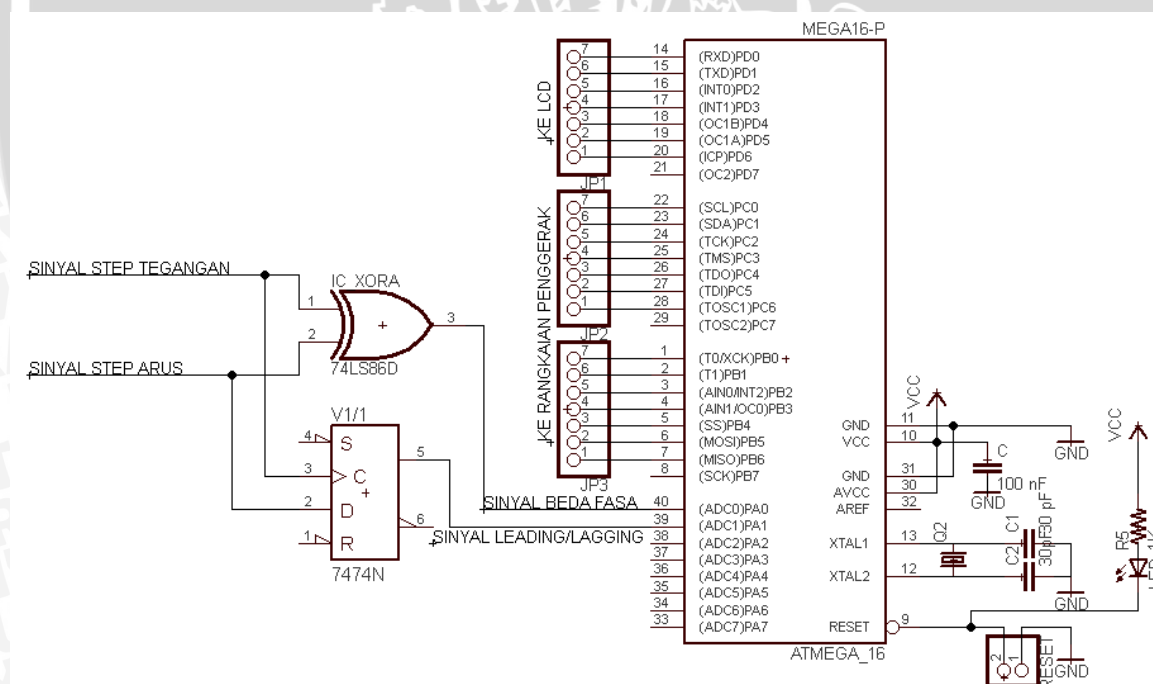
No.	Beban yang digunakan
1	1xPijar 60W, 4xPijar 40W, Kapasitor 8 μ F
2	2xPijar 100W, 2xPijar 60W, 2xPijar 40W, Kapasitor 16 μ F
3	3xPijar 100W, 2xPijar 60W, 2xPijar 40W, Kapasitor 16 μ F
4	3xPijar 100W, 2xPijar 60W, 3xPijar 40W, Kapasitor 16 μ F
5	4xPijar 100W, 2xPijar 60W, 1xPijar 25W, kapasitor 24 μ F
6	4xPijar 100W, 2xPijar 60W, 2xPijar 40W, kapasitor 24 μ F
7	4xPijar 100W, 3xPijar 60W, 2xPijar 40W, kapasitor 24 μ F
8	4xPijar 100W, 3xPijar 60W, 4xPijar 40W, kapasitor 24 μ F
9	4xPijar 100W, 3xPijar 60W, 6xPijar 40W, 1xPijar 25W, kapasitor 24 μ F
10	4xPijar 100W, 3xPijar 60W, 6xPijar 40W, 4xPijar 25W, kapasitor 24 μ F

4.2.10 Perancangan Kontrol Sistem

Pada perancangan kontrol sistem ini digunakan mikrokontroller tipe AT Mega16 yang memiliki 32 kaki masukan/keluaran (PORT I/O) yang terbagi menjadi 4 PORT

(PORTA, PORTB, PORTC, dan PORTD). Dari total 32 kaki tersebut, yang digunakan hanya 23 kaki seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.15, berikut adalah alokasi kaki-kaki mikrokontroler AT Mega16 beserta fungsinya :

- PORTA.0 difungsikan sebagai masukan dari sinyal keluaran rangkaian *phase detector*.
- PORTA.1 difungsikan sebagai masukan dari sinyal keluaran rangkaian *leading/lagging detector*.
- Tujuh kaki pada (PORTC.0 - PORTC.6) dan 2 kaki pada (PORTB.0 - PORTB.1) difungsikan sebagai antarmuka pemicuan dengan rangkaian penggerak relay kapasitor.
- Tiga kaki pada (PORTB.3 - PORTB.6) difungsikan sebagai antarmuka pemicuan dengan rangkaian penggerak relay induktor.
- Delapan kaki pada (PORTD.0 - PORTD.7) difungsikan sebagai antarmuka dengan rangkaian LCD.



Gambar 4. 15 Rangkaian kontrol sistem

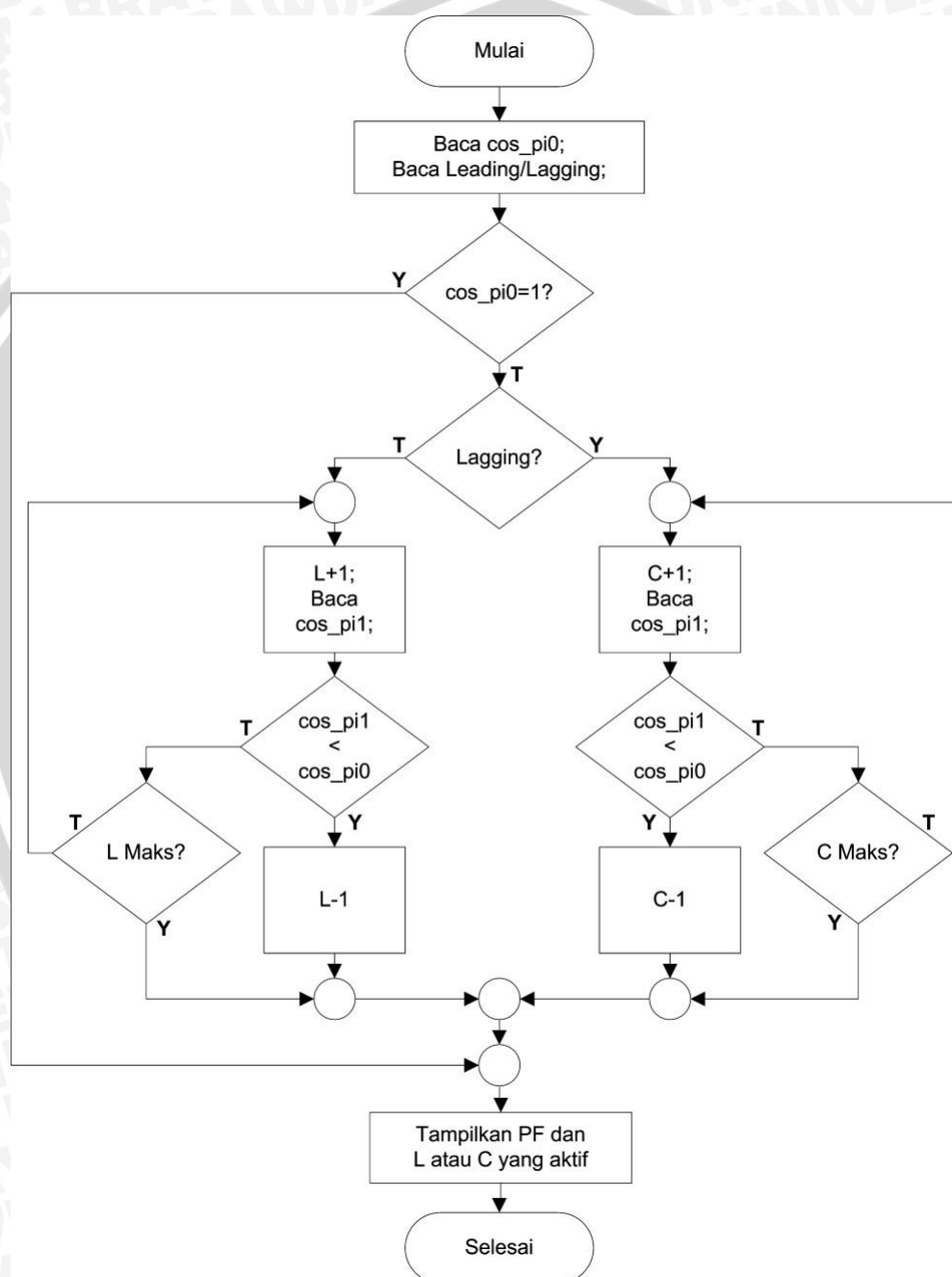
4.3 Perancangan Perangkat Lunak Alat Perbaikan Faktor Daya

Perancangan perangkat lunak untuk mengontrol sistem alat perbaikan faktor daya menggunakan bahasa pemrograman C dan *Software Code Vision AVR* yang digunakan sebagai *compiler* program. Perancangan ini terbagi menjadi beberapa langkah antara lain:

1. Perancangan diagram alir fungsi perbaikan faktor daya
2. Perancangan diagram alir pendeteksi faktor daya

4.3.1 Perancangan Diagram Alir Fungsi Perbaikan Faktor Daya

Diagram alir mengenai cara kerja mikrontroller dalam mengendalikan rangkaian penggerak relay guna mengaktifkan kapasitor atau induktor, dijelaskan pada *flowchart* pada Gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Flowchart program utama mikrokontroller sebagai pengontrol perbaikan faktor daya

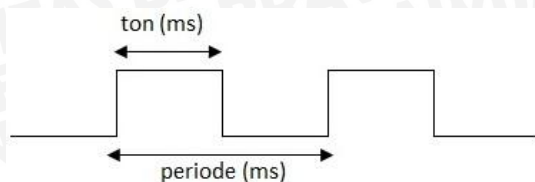
Pada Gambar 4.16, program diawali dengan membaca faktor daya sistem dan sifat *leading/lagging*. Kemudian faktor daya dideklarasikan sebagai $\cos_{pi0}$. Jika $\cos_{pi0}$ sesuai dengan $set\ point=1$ maka program selesai dengan menampilkan informasi faktor daya sistem dan informasi tidak adanya pemasangan kapasitor dan induktor, namun jika tidak sesuai dengan $set\ point$, mikrokontroler akan melakukan pengecekan kembali.

Jika *lagging* maka akan dilakukan penambahan kapasitor (*switching* kapasitor) dan setiap penambahan kapasitor akan dicek faktor daya baru atau $\cos_{pi1}$, kemudian dibandingkan dengan faktor daya sebelumnya yaitu $\cos_{pi0}$. Jika $\cos_{pi1} < \cos_{pi0}$ maka dapat diartikan kondisi sebelumnya (sebelum penambahan terakhir kapasitor) adalah kondisi terbaik, maka kapasitor sebelumnya dilepas, kemudian selesai. Namun, jika $\cos_{pi1} \geq \cos_{pi0}$, maka dilakukan pengulangan penambahan kapasitor selama belum mencapai kapasitor maksimal pada perancangan. Karena jika sudah mencapai kapasitor maksimal maka program langsung selesai dengan pemasangan kapasitor maksimal. Kemudian ditampilkan nilai faktor daya sistem setelah mengalami perbaikan faktor daya dan kapasitor mana yang aktif.

Demikian pula untuk kondisi *switching* induktor. Jika *leading* maka akan dilakukan penambahan induktor dan setiap penambahan induktor akan dicek faktor daya baru atau $\cos_{pi1}$, kemudian dibandingkan dengan faktor daya sebelumnya yaitu $\cos_{pi0}$. Jika $\cos_{pi1} < \cos_{pi0}$ maka dapat diartikan kondisi sebelumnya (sebelum penambahan terakhir induktor) adalah kondisi terbaik, maka induktor sebelumnya dilepas, kemudian selesai. Namun, jika $\cos_{pi1} \geq \cos_{pi0}$, maka dilakukan pengulangan penambahan induktor selama belum mencapai induktor maksimal pada perancangan. Karena jika sudah mencapai induktor maksimal maka program langsung selesai dengan pemasangan induktor maksimal. Kemudian ditampilkan nilai faktor daya sistem setelah mengalami perbaikan faktor daya dan induktor mana yang aktif.

4.3.2 Perancangan Diagram Alir Pendeteksi Faktor Daya

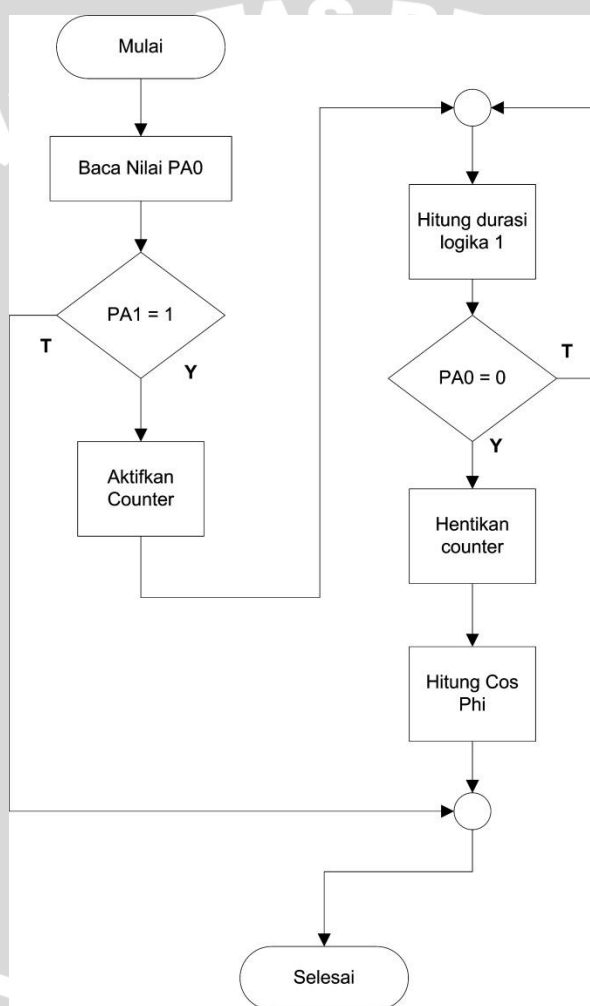
Pendeteksian nilai beda fasa yang dilakukan oleh rangkaian *phase detector* memberikan keluaran sinyal step 1 atau 0. Gambar 4.17 yaitu sinyal step 1 atau 0 dari keluaran rangkaian *phase detector* mengikuti perubahan nilai faktor daya sistem. Sinyal beda fasa masuk ke port A0 pada mikrokontroler AT Mega16 yang kemudian dibaca nilai lebar pulsa yang berlogika 1 atau high dari sinyal beda fasa tersebut kemudian nilai itu dikonversi ke nilai derajat setelah itu dikonversi ke nilai faktor daya.



Gambar 4. 17 Bentuk gelombang sinyal beda fase hasil dari perbandingan sinyal step arus dan tegangan

$$\text{Faktor Daya Sistem} = \cos \left(\frac{t_{\text{on}} (\text{ms})}{\text{periode} (\text{ms})} \times 360^\circ \right)$$

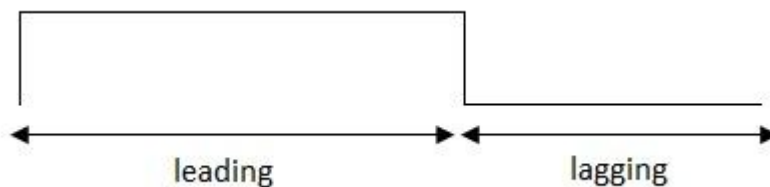
Gambar 4.18 adalah diagram alir pendeteksian faktor daya sistem:



Gambar 4. 18 Diagram alir pendeteksian faktor daya sistem

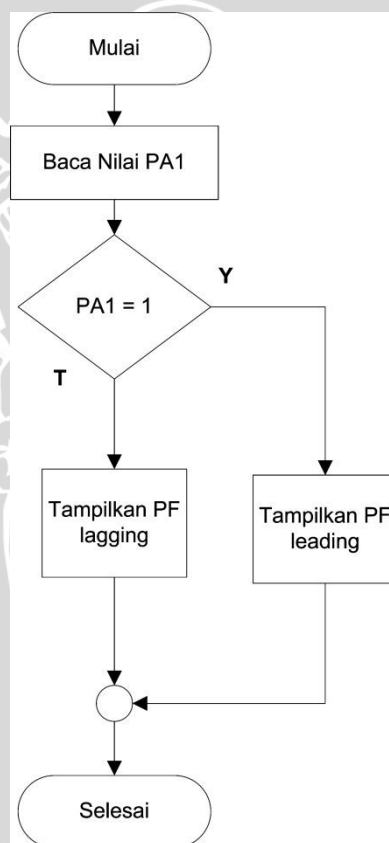
Pendeteksian kondisi *leading/lagging* yang dilakukan oleh rangkaian *leading/lagging detector* memberikan keluaran sinyal step 1 atau 0. Pada Gambar 4.19 Sinyal step 1 atau 0 dari keluaran rangkaian *leading/lagging detector* mengikuti perubahan sifat faktor daya sistem. Sinyal step 1 atau 0 masuk ke port A1 pada mikrokontroler AT Mega16 yang kemudian dibaca nilai *leading* atau *lagging*-nya.

Faktor daya sistem dideteksi *lagging* saat keluaran rangkaian *leading/lagging detector* bernilai logika 0 atau *low*, sedangkan bernilai *leading* pada saat keluaran bernilai 1 atau *high*.



Gambar 4. 19 Bentuk gelombang sinyal *leading* atau *lagging* dari perbandingan sinyal step arus dan tegangan

Proses pembacaan sifat arus terhadap tegangan sistem ditunjukkan pada Gambar 4.20 yang merupakan diagram alir pendeteksian sifat *leading/lagging* sistem.



Gambar 4. 20 diagram alir pendeteksian sifat *leading/lagging* sistem

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

5.1 Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan

5.1.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian sensor tegangan sudah berfungsi dengan baik sebagai pengambil tegangan yang dibutuhkan dari tegangan sistem agar bisa digunakan pada rangkaian berikutnya.

5.1.2 Peralatan

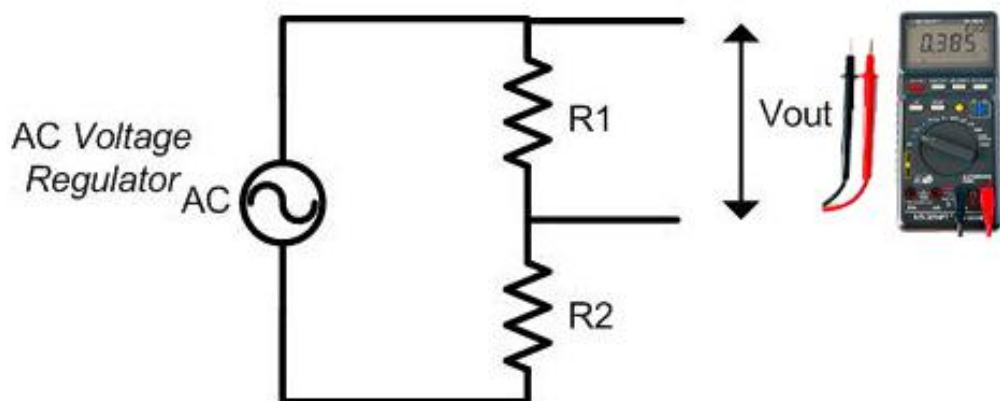
Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah:

- 1) *AC Voltage Regulator*
- 2) Rangkaian Sensor Tegangan
- 3) Voltmeter Digital

5.1.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian rangkaian sensor tegangan adalah sebagai berikut:

- 1) Merangkai gambar rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.1
- 2) Menghubungkan *AC Voltage Regulator* ke terminal masukan rangkaian sensor tegangan
- 3) Menghubungkan voltmeter digital pada terminal keluaran sensor tegangan
- 4) Atur *AC Voltage Regulator* dari nilai tegangan 0 V hingga 220 V
- 5) Mengamati pembacaan voltmeter digital



Gambar 5. 1 Rangkaian pengujian sensor tegangan

5.1.4 Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian rangkaian sensor tegangan sebagai berikut:

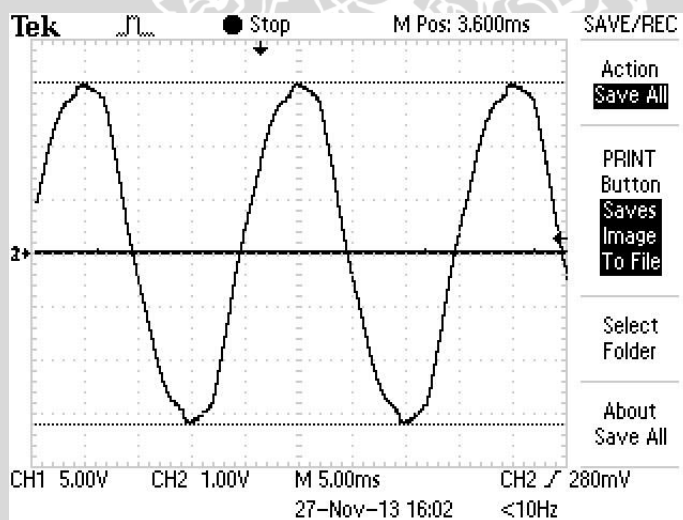
1. Tegangan pada keluaran sensor tegangan dan ditunjukkan pada Tabel 5.1

Tabel 5. 1 Data tegangan keluaran sensor tegangan

Pengujian ke-	Tegangan Masukan (volt)	Pembacaan Voltmeter (volt)
1	0	0
2	20	0,423
3	40	0,838
4	60	1,255
5	80	1,662
6	100	2,092
7	120	2,511
8	140	2,922
9	160	3,362
10	180	3,800
11	200	4,260
12	220	4,680

Sumber : Hasil Pengujian

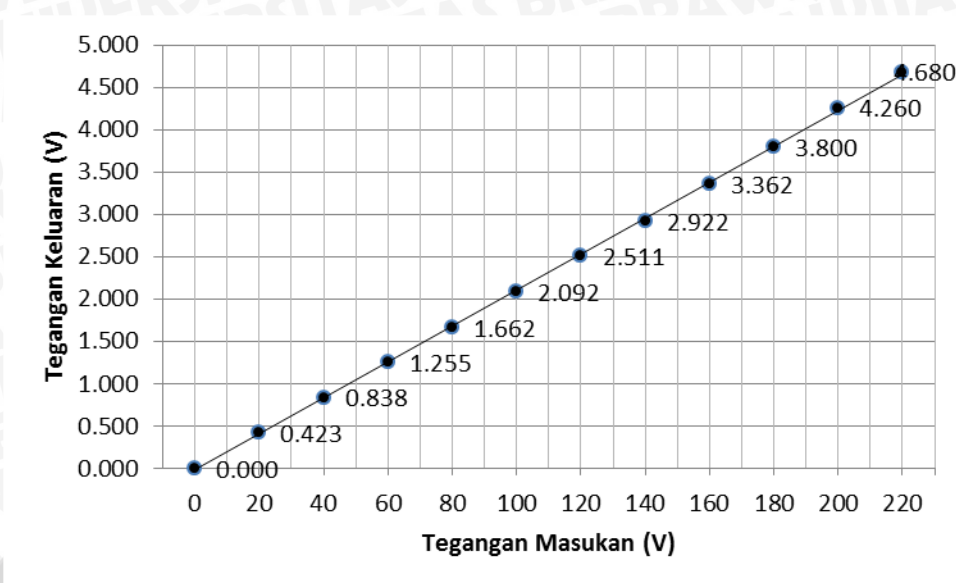
2. Bentuk sinyal sinusoida tegangan keluaran dari rangkaian sensor tegangan



Gambar 5. 2 Sinyal keluaran rangkaian sensor tegangan

Sumber : Hasil Pengujian

5.1.5 Analisis Hasil Pengujian



Gambar 5. 3 Tegangan keluaran sensor tegangan terhadap perubahan tegangan masukan
Sumber : Hasil Pengujian

Dari grafik dapat dilihat bahwa perubahan tegangan keluaran sensor (ΔV) naik secara linear dengan sensitivitas 2,1% dari tegangan sistem. Hasil dari sensor tegangan menggunakan rangkaian pembagi tegangan sesuai dengan harapan. Hasil rangkaian sensor tegangan tidak menimbulkan pergeseran fasa yang biasa terjadi pada sensor tegangan dengan rangkaian perbandingan trafo. Hasil keluaran sensor tegangan siap digunakan pada rangkaian *zero crossing*.

5.2 Pengujian Rangkaian Sensor Arus

5.2.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sensitivitas sensor arus ACS 712 ini apakah sesuai dengan datasheet untuk mendapatkan kepresisian nilai arus yang mengalir pada beban rumah tangga, dan untuk membuktikan bahwa penggunaan sensor arus ini tidak memunculkan pergeseran fasa.

5.2.2 Peralatan

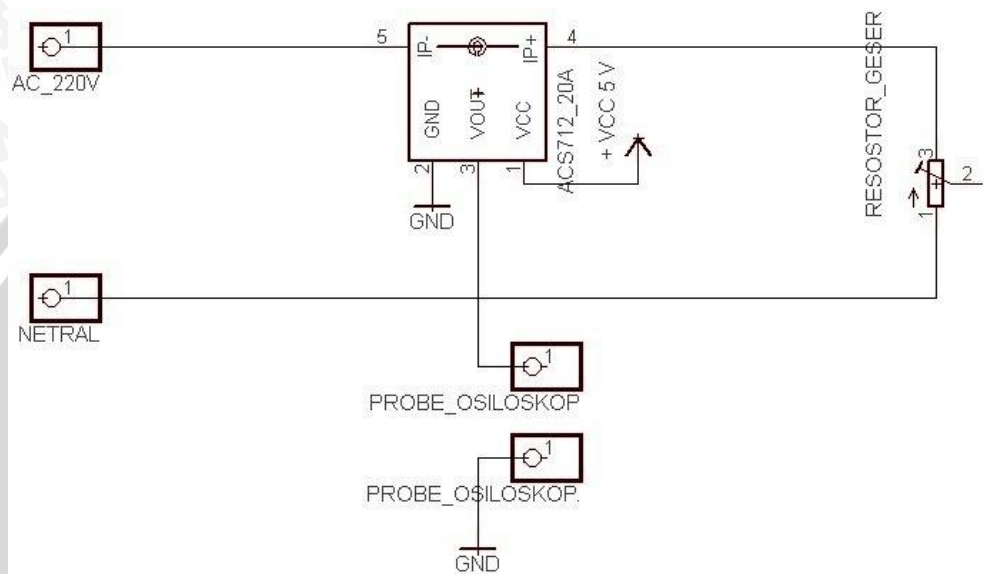
Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah:

- 1) Sumber tegangan AC 1 fasa
- 2) Sensor Arus ACS 712 30A
- 3) Sumber DC 5 volt
- 4) Resistor geser
- 5) *Oscilloscope* Tektronik TDS-1012B

5.2.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian rangkaian sensor arus adalah sebagai berikut:

- 1) Menghubungkan sumber AC 1 fasa ke rangkaian pada Gambar 5.4 dan sumber DC 5 volt ke sensor arus.
- 2) Menghubungkan *probe 1 oscilloscope* ke terminal luaran sensor arus dan ground.
- 3) Atur beban yang digunakan hingga variasi nilai arus mulai 0-10 A



Gambar 5. 4 Rangkaian pengujian sensor arus

5.2.4 Data Hasil Pengujian

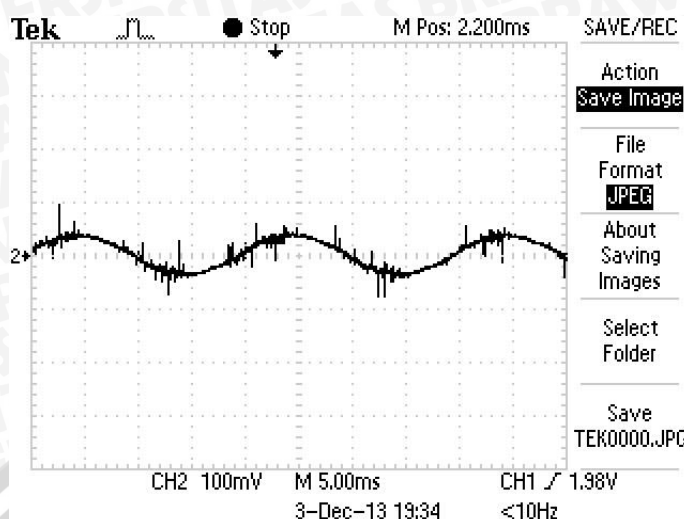
1. Data hasil pengujian rangkaian sensor tegangan sebagai berikut:

Tabel 5. 2 Data tegangan keluaran sensor arus ACS 712

Pengujian ke-	Arus Beban (A)	Pembacaan Osiloskop (mV)
1	1,68	110
2	2,42	160
3	2,75	182
4	3,33	220
5	4,97	328
6	5,34	352
7	6,07	400
8	7,28	480
9	8,22	544
10	8,82	582

Sumber : Hasil Pengujian

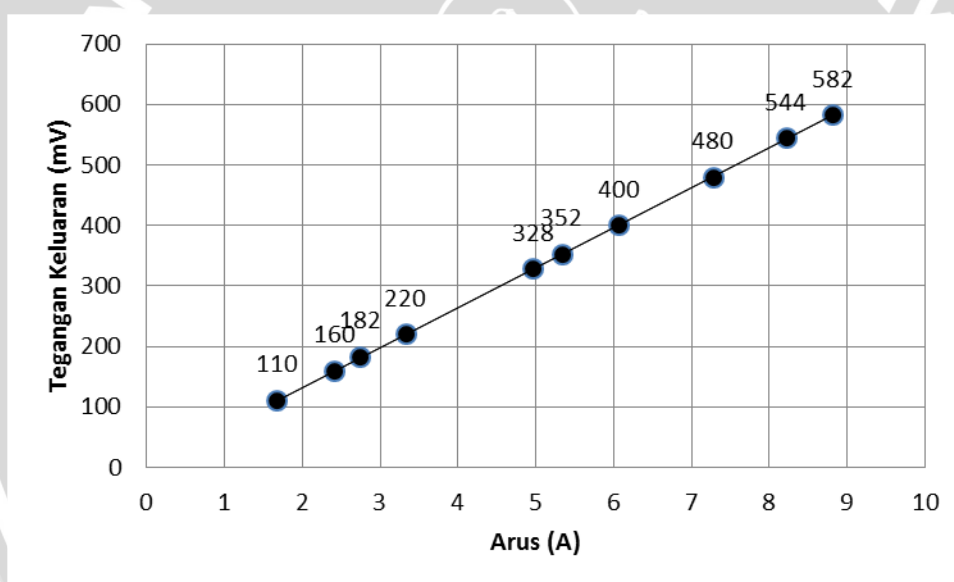
2. Bentuk sinyal sinusoida tegangan keluaran dari rangkaian sensor arus



Gambar 5. 5 Sinyal keluaran rangkaian sensor arus

Sumber : Hasil Pengujian

5.2.5 Analisis Hasil Pengujian



Gambar 5. 6 Tegangan keluaran sensor arus terhadap perubahan arus masukan

Sumber : Hasil Pengujian

Berdasarkan data hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan keluaran sensor arus mengikuti bentuk gelombang AC dari beban utama, dan berbentuk tegangan untuk arus dari 1,68 ampere sampai 8,82 ampere dengan nilai 110 mV sampai 582 mV dapat dijadikan masukan rangkaian *zero crossing* sebagai nilai arus yang mengalir pada sistem. Dari grafik dapat dilihat bahwa perubahan tegangan keluaran sensor (ΔV) naik secara linear sebesar 66 mV/ampere. Dari pengujian tersebut rangkaian pendeteksi arus beban sistem mampu bekerja sesuai tujuan.

5.3 Pengujian Rangkaian *Zero Crossing*

5.3.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian mampu berfungsi mengkonversi sinyal sinusoida tegangan dan arus menjadi sinyal step tegangan dan arus agar bisa digunakan sebagai sinyal masukan rangkaian *phase detector* dan *leading/lagging detector*.

5.3.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah:

- 1) Sumber tegangan AC 1 fasa
- 2) Sensor Arus ACS 712 30A
- 3) Sensor Tegangan
- 4) IC Op-Amp LM339
- 5) Sumber DC 5 volt
- 6) Beban Lampu Pijar 100 watt
- 7) *Oscilloscope* Tektronik TDS-1012B
- 8) *Flashdisk* 128 MB

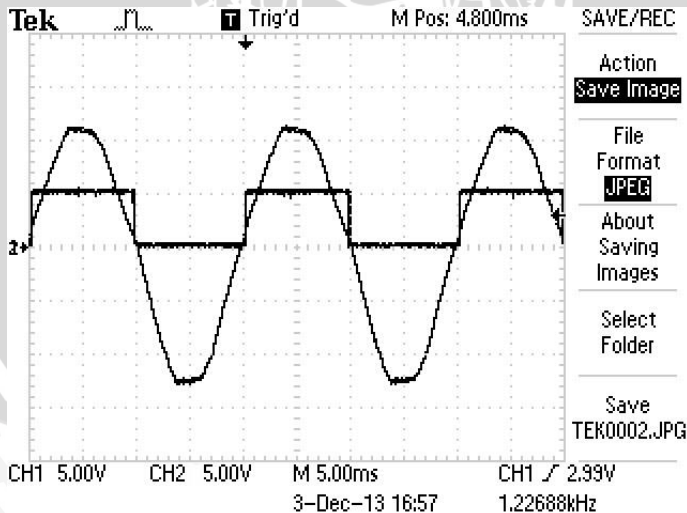
5.3.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian rangkaian *zero crossing* adalah sebagai berikut:

- 1) Menghubungkan sumber AC 1 fasa ke rangkaian pada Gambar 5.7 dan sumber DC 5 volt ke sensor arus serta IC Op-Amp LM339.
- 2) Menghubungkan beban lampu pijar 100 watt ke sistem kelistrikan rumah tangga
- 3) Menghubungkan *probe 1 oscilloscope* ke terminal keluaran IC Op-Amp LM339 dan ground untuk melihat sinyal step tegangan, dan *probe 2 oscilloscope* ke terminal keluaran sensor tegangan untuk melihat sinyal sinusoida tegangan
- 4) Menyimpan tampilan sinyal sinusoida tegangan dan sinyal step tegangan *oscilloscope* pada *flashdisk*
- 5) Lepas *probe 1* dan *probe 2 oscilloscope*
- 6) Menghubungkan *probe 1 oscilloscope* ke terminal keluaran IC Op-Amp LM339 dan ground untuk melihat sinyal step arus, dan *probe 2 oscilloscope* ke terminal keluaran sensor arus untuk melihat sinyal sinusoida arus

5.3.4 Data Hasil Pengujian

1. Bentuk sinyal masukan dan keluaran pada rangkaian zero crossing pada pengolahan sinyal tegangan.



Gambar 5. 8 Sinyal sinusoida tegangan dan sinyal step tegangan

Sumber : Hasil Pengujian

2. Bentuk sinyal masukan dan keluaran pada rangkaian zero crossing pada pengolahan sinyal arus.

5.3.4 Data Hasil Pengujian

1. Bentuk sinyal masukan dan keluaran pada rangkaian zero crossing pada pengolahan sinyal tegangan.

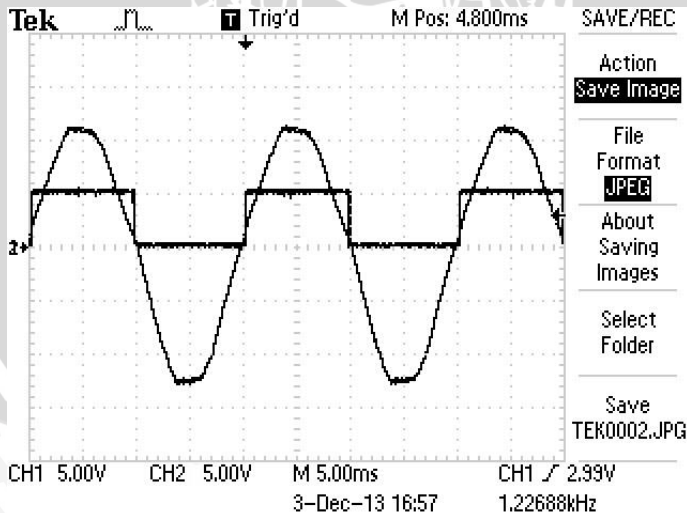
Gambar 5. 8 Sinyal sinusoida tegangan dan sinyal step tegangan

Sumber : Hasil Pengujian

2. Bentuk sinyal masukan dan keluaran pada rangkaian zero crossing pada pengolahan sinyal arus.

5.3.4 Data Hasil Pengujian

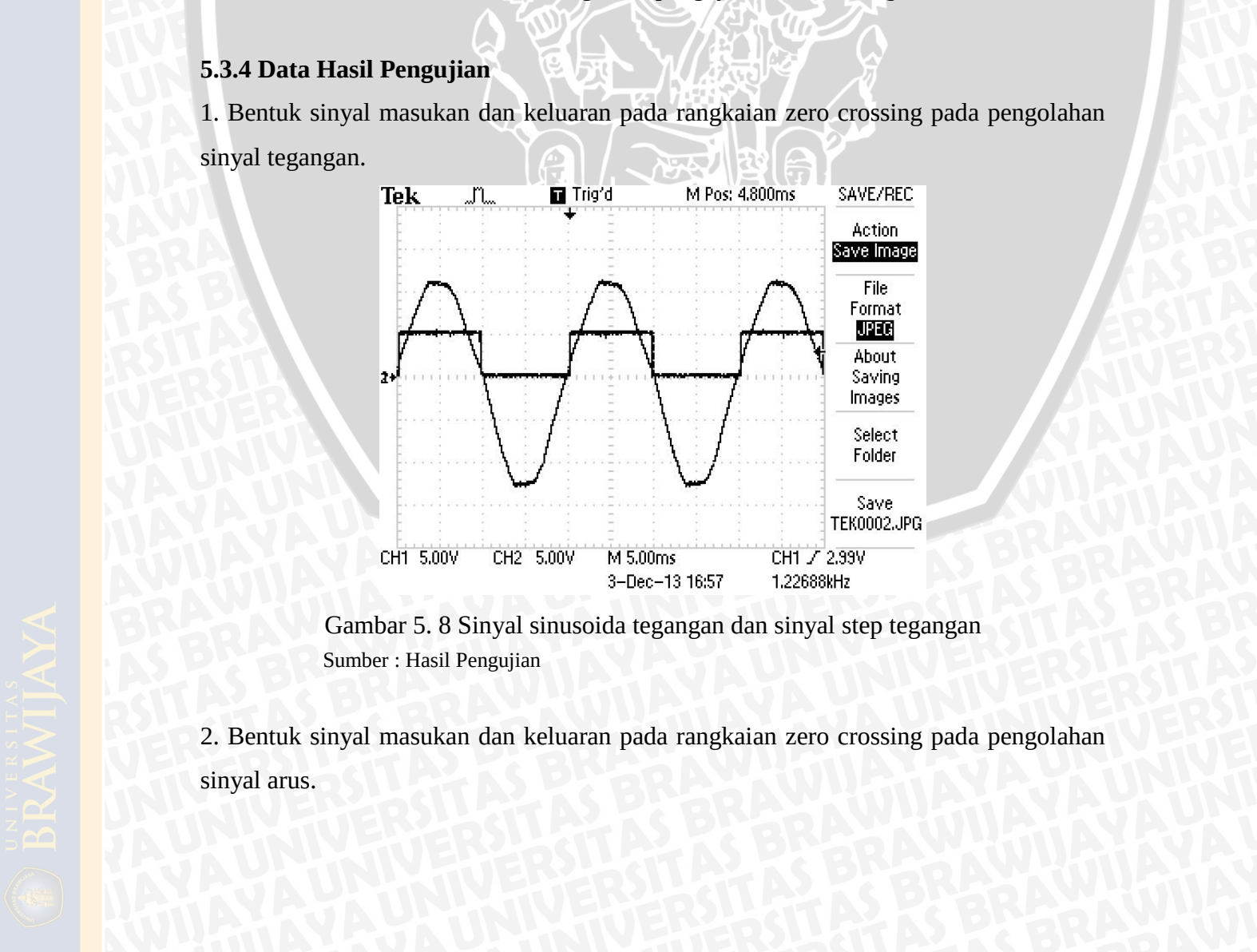
1. Bentuk sinyal masukan dan keluaran pada rangkaian zero crossing pada pengolahan sinyal tegangan.



Gambar 5. 8 Sinyal sinusoida tegangan dan sinyal step tegangan

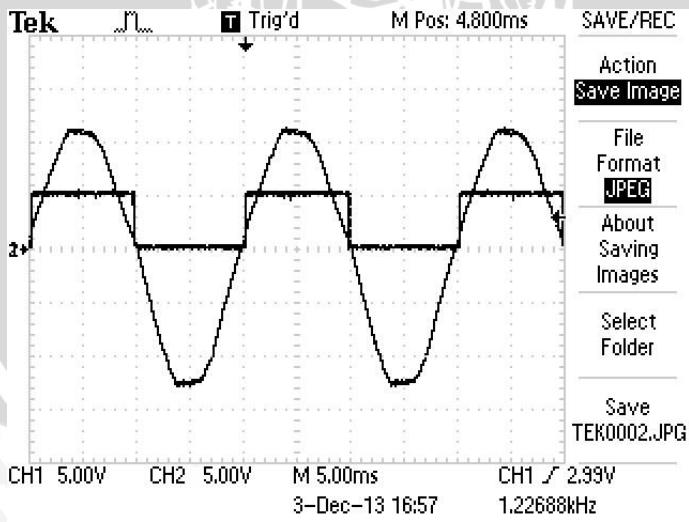
Sumber : Hasil Pengujian

2. Bentuk sinyal masukan dan keluaran pada rangkaian zero crossing pada pengolahan sinyal arus.



5.3.4 Data Hasil Pengujian

1. Bentuk sinyal masukan dan keluaran pada rangkaian zero crossing pada pengolahan sinyal tegangan.



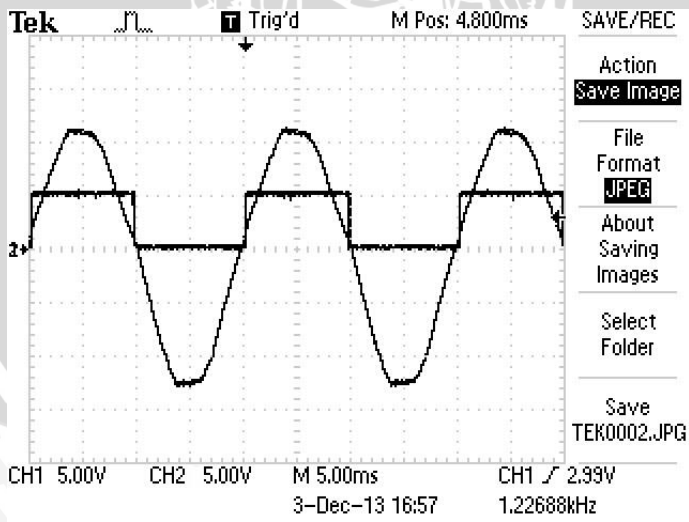
Gambar 5. 8 Sinyal sinusoida tegangan dan sinyal step tegangan

Sumber : Hasil Pengujian

2. Bentuk sinyal masukan dan keluaran pada rangkaian zero crossing pada pengolahan sinyal arus.

5.3.4 Data Hasil Pengujian

1. Bentuk sinyal masukan dan keluaran pada rangkaian zero crossing pada pengolahan sinyal tegangan.



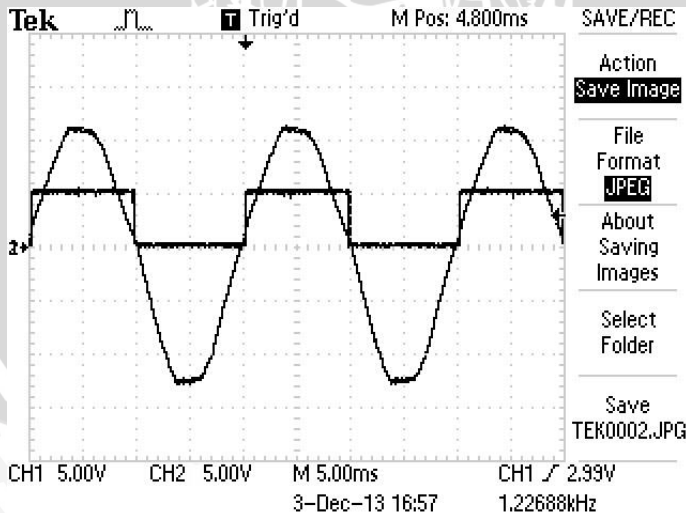
Gambar 5. 8 Sinyal sinusoida tegangan dan sinyal step tegangan

Sumber : Hasil Pengujian

2. Bentuk sinyal masukan dan keluaran pada rangkaian zero crossing pada pengolahan sinyal arus.

5.3.4 Data Hasil Pengujian

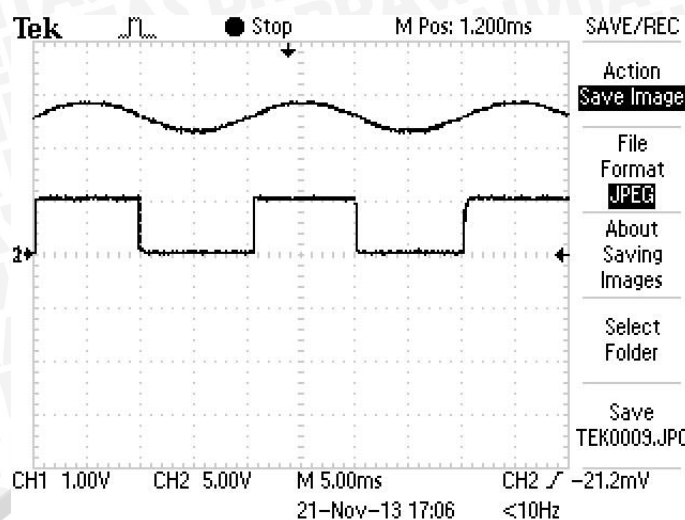
1. Bentuk sinyal masukan dan keluaran pada rangkaian zero crossing pada pengolahan sinyal tegangan.



Gambar 5. 8 Sinyal sinusoida tegangan dan sinyal step tegangan

Sumber : Hasil Pengujian

2. Bentuk sinyal masukan dan keluaran pada rangkaian zero crossing pada pengolahan sinyal arus.



Gambar 5. 9 Sinyal sinusoida arus dan sinyal step arus

Sumber : Hasil Pengujian

5.3.5 Analisis Hasil Pengujian

Pada Gambar 5.8,. Pada saat sinyal sinusoida tegangan bernilai positif, keluaran rangkaian *zero crossing* berupa sinyal step tegangan dengan nilai 5 volt (logika *high*), sedangkan pada saat sinyal masukan bernilai negatif, keluaran rangkaian *zero crossing* berupa sinyal step tegangan dengan nilai 0 volt (logika *low*). Ini mengindikasikan bahwa rangkaian *zero crossing* berhasil mengkonversi sinyal sinusoida tegangan menjadi sinyal step tegangan sehingga sinyal step tegangan keluaran dari rangkaian *zero crossing* siap untuk dijadikan masukan pada rangkaian *phase detector* dan *leading/lagging detector*.

Pada Gambar 5.9,. Pada saat sinyal sinusoida arus bernilai >2.5 volt, keluaran rangkaian *zero crossing* berupa sinyal step arus dengan nilai 5 volt (logika *high*), sedangkan pada saat sinyal sinusoida arus bernilai ≤ 2.5 volt, keluaran rangkaian *zero crossing* berupa sinyal step arus dengan nilai 0 volt (logika *low*). Ini mengindikasikan bahwa rangkaian *zero crossing* berhasil mengkonversi sinyal sinusoida arus menjadi sinyal step arus sehingga sinyal step arus keluaran dari rangkaian *zero crossing* siap untuk dijadikan masukan pada rangkaian *phase detector* dan *leading/lagging detector*.

5.4 Pengujian Rangkaian *Phase Detector*

5.4.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian mampu berfungsi membandingkan dan mengkonversi sinyal step tegangan dan arus menjadi sinyal step beda fasa agar bisa digunakan sebagai sinyal masukan dan bisa diolah oleh Mikrokontroller AT Mega16.

5.4.2 Peralatan

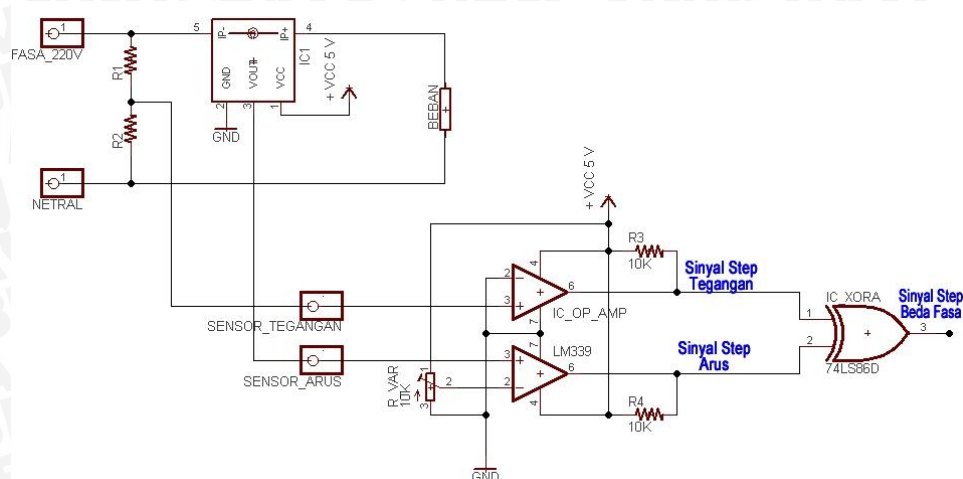
Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah:

- 1) Sumber tegangan AC 1 fasa
- 2) Sensor Arus ACS 712 30A
- 3) Sensor Tegangan
- 4) IC Op-Amp LM339
- 5) IC XOR 74LS86
- 6) Sumber DC 5 volt
- 7) Beban Resistif, Induktif, dan Kapasitif
- 8) *Oscilloscope* Tektronik TDS-1012B
- 9) *Flashdisk* 128 MB

5.4.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian rangkaian *phase detector* adalah sebagai berikut:

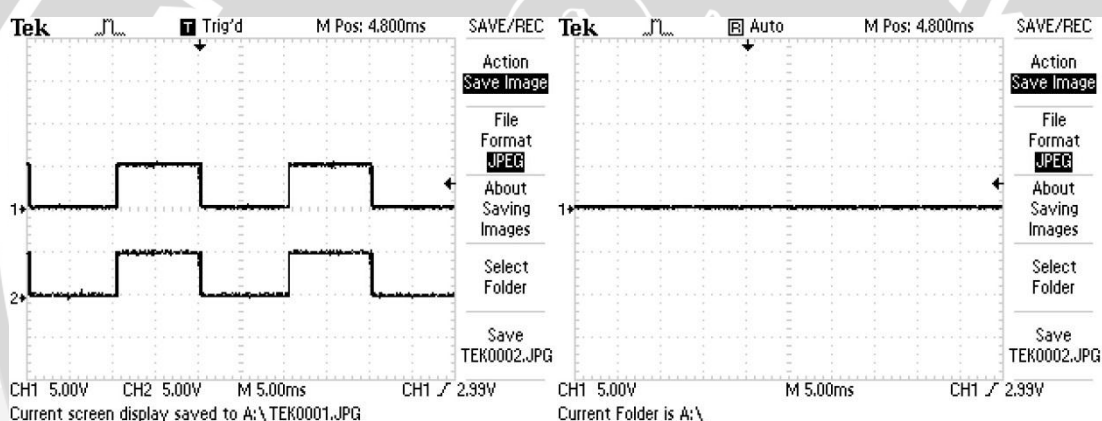
- 1) Menghubungkan sumber AC 1 fasa ke rangkaian pada Gambar 5.10 dan sumber DC 5 volt ke sensor arus serta IC Op-Amp LM339, IC XOR 74LS86.
- 2) Menghubungkan *probe 1 oscilloscope* ke terminal keluaran IC Op-Amp LM339 dan ground untuk melihat sinyal step tegangan, dan Menghubungkan *probe 2 oscilloscope* ke terminal keluaran IC Op-Amp LM339 dan ground untuk melihat sinyal step arus
- 3) Menyimpan tampilan sinyal step tegangan dan sinyal step arus *oscilloscope* pada *flashdisk*
- 4) Lepas *probe 1* dan *probe 2 oscilloscope*
- 5) Menghubungkan *probe 1 oscilloscope* ke terminal keluaran IC XOR 74LS86 dan ground untuk melihat sinyal step beda fasa,
- 6) Menyimpan tampilan sinyal beda fasa pada *flashdisk*
- 7) Menghubungkan beban resistif/induktif/kapasitif secara bergantian pada sistem kelistrikan rumah tangga.



Gambar 5. 10 Rangkaian pengujian *phase detector*

5.4.4 Data Hasil Pengujian

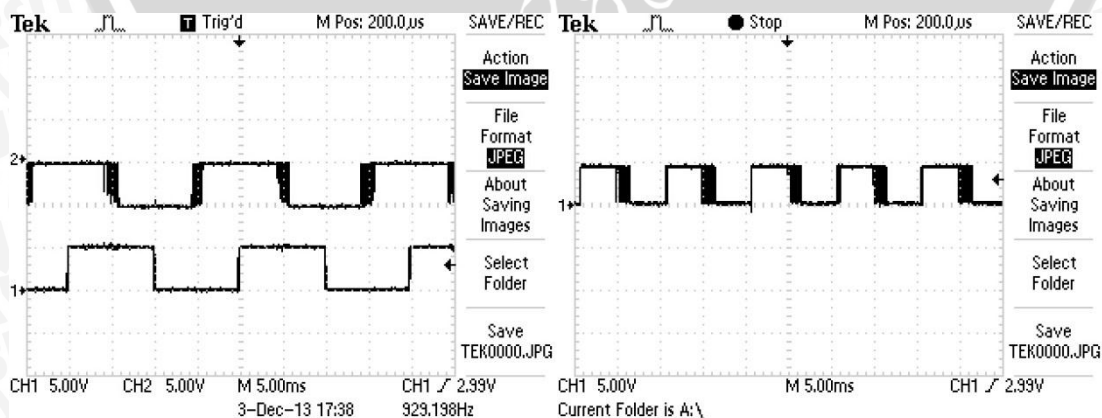
1. Bentuk sinyal masukan dan keluaran pada rangkaian *phase detector* pada saat pemakaian beban resistif.



Gambar 5. 11 Pengujian dengan menggunakan beban resistif

Sumber : Hasil Pengujian

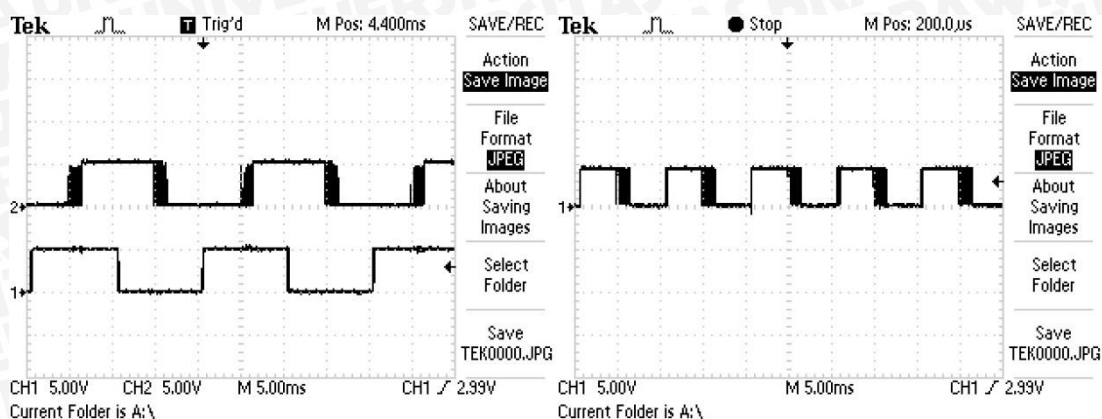
2. Bentuk sinyal masukan dan keluaran pada rangkaian *phase detector* pada saat pemakaian beban induktif.



Gambar 5. 12 Pengujian dengan menggunakan beban induktif

Sumber : Hasil Pengujian

3. Bentuk sinyal masukan dan keluaran pada rangkaian *phase detector* pada saat pemakaian beban kapasitif.



Gambar 5. 13 Pengujian dengan menggunakan beban kapasitif

Sumber : Hasil Pengujian

5.4.5 Analisis Hasil Pengujian

Pada gambar 5.11 yaitu pada saat pengujian dengan menggunakan beban resistif, karena tidak ada perbedaan fasa dari sinyal step tegangan dan sinyal step arus, sinyal keluaran dari rangkaian *phase detector* hanya berupa sinyal step dengan tegangan 0 volt (*logika low*).

Pada saat pengujian dengan beban induktif yaitu Gambar 5.12 dan saat pengujian dengan beban kapasitif yaitu Gambar 5.13, pada saat sinyal step tegangan dan sinyal step arus memiliki nilai logika yang sama (tegangan 5 volt atau tegangan 0 volt), keluaran dari rangkaian *phase detector* adalah sinyal step dengan tegangan 0 volt (*logika low*). Namun, pada saat sinyal step tegangan dan sinyal step arus memiliki nilai logika yang berbeda, keluaran dari rangkaian *phase detector* adalah sinyal step dengan tegangan 5 volt (*logika high*).

Rangkaian *phase detector* mampu berfungsi membandingkan dan mengkonversi sinyal step tegangan dan arus menjadi sinyal step beda fasa dan siap digunakan sebagai sinyal masukan agar bisa diolah oleh Mikrokontroler AT Mega16

5.5 Pengujian Rangkaian *Leading/Lagging Detector*

5.5.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian mampu berfungsi membaca posisi (*leading/lagging*) beda fasa antara sinyal step tegangan dan arus kemudian mengkonversi menjadi sinyal yang membawa informasi *leading/lagging* agar bisa digunakan sebagai sinyal masukan dan bisa diolah oleh Mikrokontroler AT Mega16.

5.5.2 Peralatan

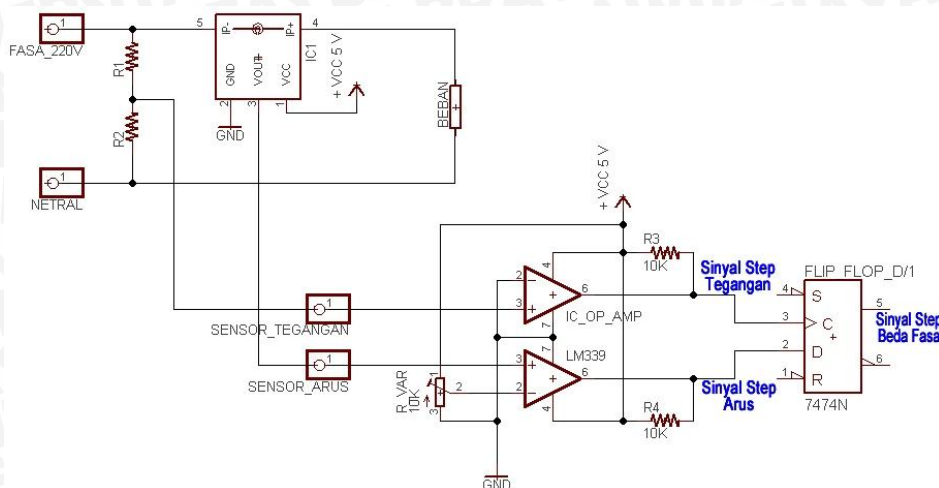
Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah:

- 1) Sumber tegangan AC 1 fasa
- 2) Sensor Arus ACS 712 30A
- 3) Sensor Tegangan
- 4) IC Op-Amp LM339
- 5) IC Flip-Flop D 74LS74
- 6) Sumber DC 5 volt
- 7) Beban Induktif
- 8) Beban Kapasitif
- 9) *Oscilloscope* Tektronik TDS-1012B
- 10) *Flashdisk* 128 MB

5.5.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian rangkaian *leading/lagging detector* adalah sebagai berikut:

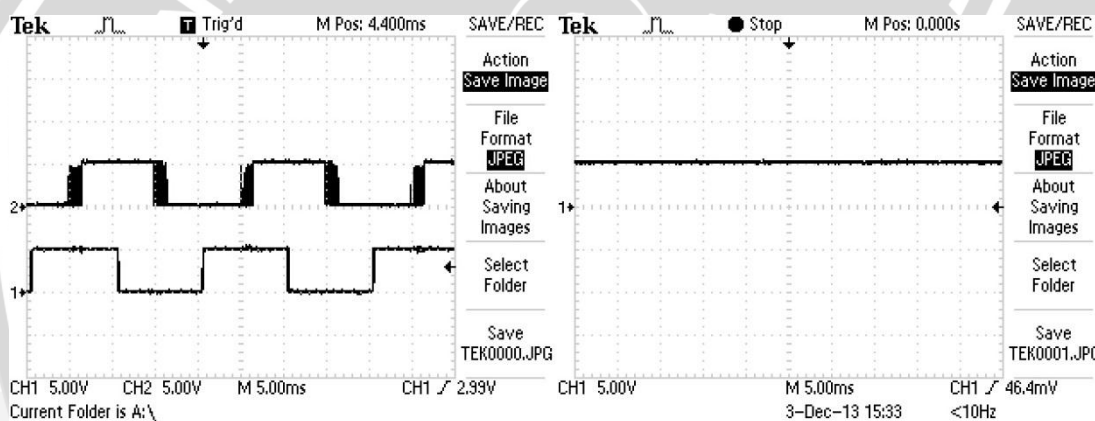
- 1) Menghubungkan sumber AC 1 fasa ke rangkaian pada Gambar 5.14 dan sumber DC 5 volt ke sensor arus serta IC Op-Amp LM339, IC Flip-Flop D 74LS74.
- 2) Menghubungkan *probe 1 oscilloscope* ke terminal keluaran IC Op-Amp LM339 dan ground untuk melihat sinyal step tegangan, dan Menghubungkan *probe 2 oscilloscope* ke terminal keluaran IC Op-Amp LM339 dan ground untuk melihat sinyal step arus
- 3) Menyimpan tampilan sinyal step tegangan dan sinyal step arus *oscilloscope* pada *flashdisk*
- 4) Lepas *probe 1* dan *probe 2 oscilloscope*
- 5) Menghubungkan *probe 1 oscilloscope* ke terminal keluaran IC Flip-Flop D 74LS74 dan ground untuk melihat sinyal step *leading/lagging*
- 6) Menyimpan tampilan sinyal beda fasa pada *flashdisk*
- 7) Menghubungkan beban induktif/kapasitif secara bergantian pada sistem kelistrikan rumah tangga.



Gambar 5. 14 Rangkaian pengujian *leading/lagging detector*

5.5.4 Data Hasil Pengujian

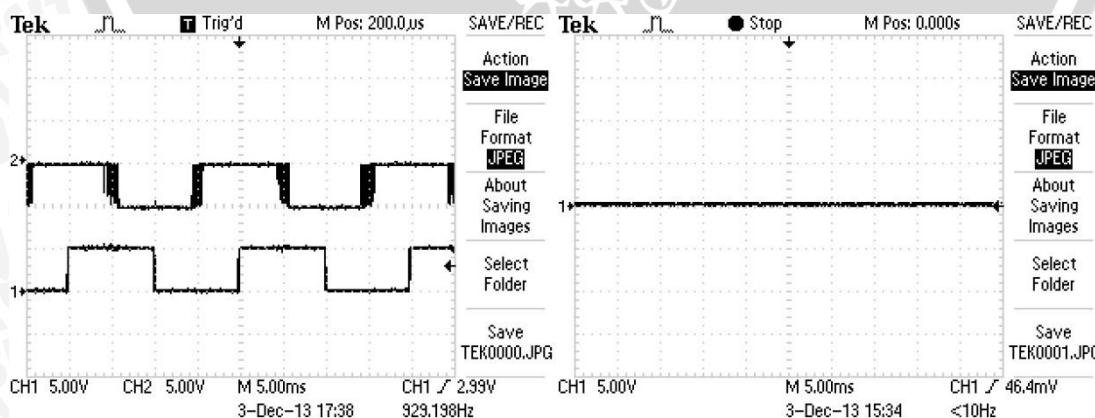
1. Bentuk sinyal masukan dan keluaran pada rangkaian *leading/lagging detector* pada saat pemakaian beban kapasitif.



Gambar 5. 15 Sinyal step arus leading terhadap sinyal step tegangan

Sumber : Hasil Pengujian

2. Bentuk sinyal masukan dan keluaran pada rangkaian *leading/lagging detector* pada saat pemakaian beban induktif.



Gambar 5. 16 Sinyal step arus lagging terhadap sinyal step tegangan

Sumber : Hasil Pengujian

5.5.5 Analisis Hasil Pengujian

Pada Gambar 5.15 yaitu pada saat pengujian dengan menggunakan beban kapasitif, sinyal keluaran pada rangkaian *leading/lagging detector* hanya berupa sinyal 5 volt (logika *high*). pada saat yang sama masukan rangkaian *leading/lagging detector* berupa sinyal step arus berlogika *high* tepat pada saat sinyal step tegangan picu naik (perubahan sinyal dari *low* ke *high*). Kondisi ini adalah sifat *leading* arus terhadap tegangannya.

Pada Gambar 5.16 yaitu pada saat pengujian dengan menggunakan beban induktif, sinyal keluaran pada rangkaian *leading/lagging detector* hanya berupa sinyal 0 volt (logika *low*). pada saat yang sama masukan rangkaian *leading/lagging detector* berupa sinyal step arus berlogika *low* tepat pada saat sinyal step tegangan picu naik (perubahan sinyal dari *low* ke *high*). Kondisi ini adalah sifat *lagging* arus terhadap tegangannya.

Rangkaian *leading/lagging detector* mampu berfungsi sebagai pembaca sifat *leading* atau *lagging* dari sinyal arus terhadap tegangannya sehingga rangkaian *leading/lagging detector* siap digunakan sebagai sinyal masukan agar bisa diolah oleh Mikrokontroler AT Mega16.

5.6 Pengujian Rangkaian Penggerak Relay

5.6.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian ini bisa memutuskan dan menyambung rangkaian kapasitor dan induktor.

5.6.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah:

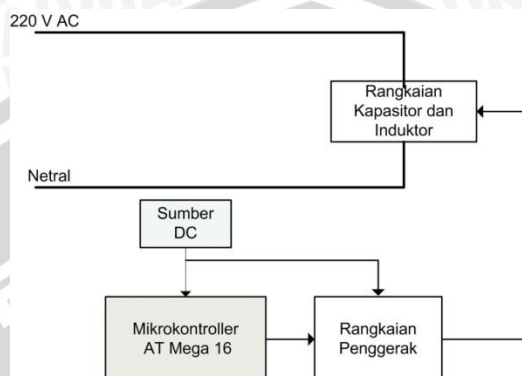
- 1) Sumber tegangan AC 1 fasa
- 2) Lampu 5 watt
- 3) Sumber DC 5 volt
- 4) Rangkaian Mikrokontroler
- 5) Rangkaian Penggerak Relay

5.6.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian rangkaian sensor arus adalah sebagai berikut:

- 1) Menghubungkan sumber AC 1 fasa ke rangkaian seperti pada Gambar 5.17.
- 2) Menghubungkan sumber DC 5 volt ke mikrokontroler AT Mega16 dan Rangkaian Penggerak seperti pada Gambar 5.17.

- 3) Memprogram mikrokontroller AT Mega16 sesuai dengan listing program sistem perbaikan faktor daya
- 4) Mengaktifkan relay secara berturut-turut dari kombinasi kapasitor terkecil hingga terbesar, serta kombinasi induktor terkecil hingga terbesar.
- 5) Mengamati relay yang aktif apakah sesuai dengan tabel macam kombinasi rangkaian kapasitor dan induktor.



Gambar 5. 17 Pengujian rangkaian penggerak relay

5.6.4 Data Hasil Pengujian

1. Pengujian rangkaian penggerak relay sebagai pemutus/penyambung rangkaian kapasitor.

Tabel 5. 3 Pengujian rangkaian penggerak relay pada rangkaian kapasitor

Pengujian ke-	Nomor kombinasi kapasitor	Relay yang harus aktif pada saat perancangan	Hasil pengujian
1	1	7,8,9,10	Relay 7,8,9,10 aktif
2	2	1,7,9,10	Relay 1,7,9,10 aktif
3	3	1,4,7,9,10	Relay 1,4,7,9,10 aktif
4	4	2,7,10	Relay 2,7,10 aktif
5	5	1,2,5,7,10	Relay 1,2,5,7,10 aktif
6	6	1,2,4,5,7,10	Relay 1,2,4,5,7,10 aktif
7	7	3,7	Relay 3,7 aktif
8	8	3,6,7,8,9	Relay 3,6,7,8,9 aktif
9	9	1,3,6,7,9	Relay 1,3,6,7,9 aktif
10	10	1,3,4,6,7,9	Relay 1,3,4,6,7,9 aktif
11	11	2,3,6,7	Relay 2,3,6,7 aktif
12	12	2,3,5,6,7,8	Relay 2,3,5,6,7,8 aktif
13	13	1,2,3,5,6,7	Relay 1,2,3,5,6,7 aktif
14	14	1,2,3,4,5,6,7	Relay 1,2,3,4,5,6,7 aktif

Sumber : Hasil Pengujian

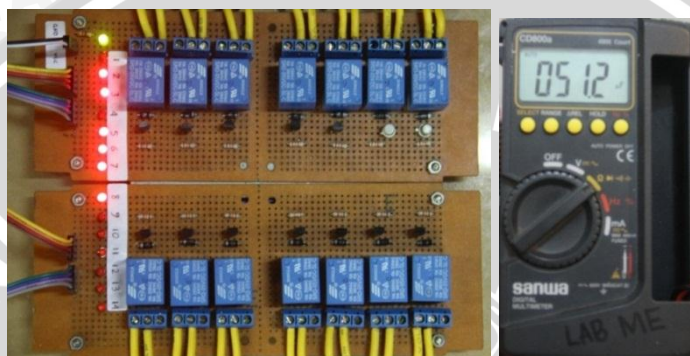
2. Pengujian rangkaian penggerak relay sebagai pemutus/penyambung rangkaian induktor.

Tabel 5. 4 Pengujian rangkaian penggerak relay pada rangkaian induktor

Pengujian ke-	Nomor kombinasi induktor	Relay yang harus aktif pada saat perancangan	Hasil pengujian
1	1	11	Relay 11 aktif
2	2	12	Relay 12 aktif
3	3	13	Relay 13 aktif
4	4	14	Relay 14 aktif

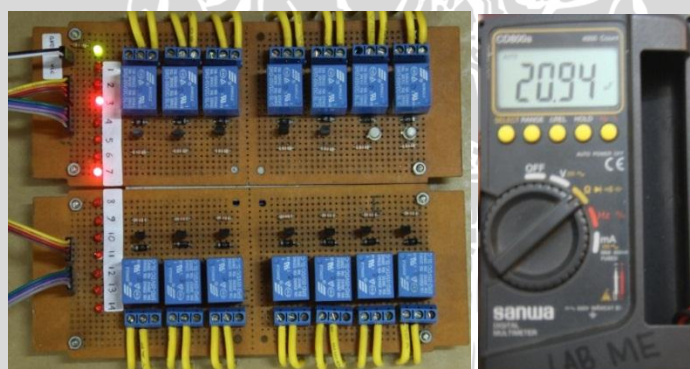
Sumber : Hasil Pengujian

2. Dokumentasi relay yang aktif pada saat pengujian rangkaian penggerak relay



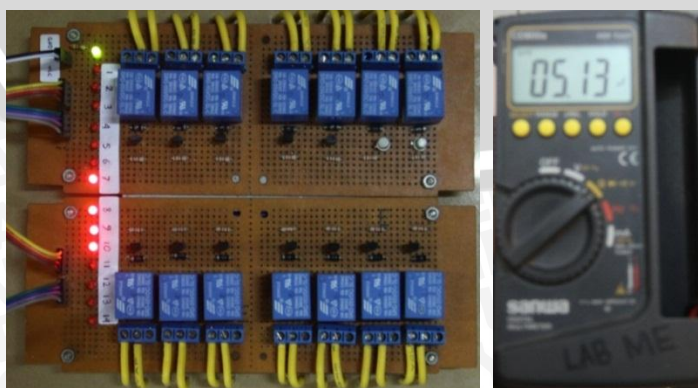
Gambar 5. 18 Relay yang aktif dan nilai kapasitor yang aktif pada kombinasi ke-12

Sumber : Hasil Pengujian



Gambar 5. 19 Relay yang aktif dan nilai kapasitor yang aktif pada kombinasi ke-7

Sumber : Hasil Pengujian

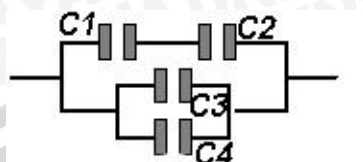


Gambar 5. 20 Relay yang aktif dan nilai kapasitor yang aktif pada kombinasi ke-1

Sumber : Hasil Pengujian

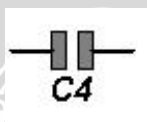
5.6.5 Analisis Hasil Pengujian

Dari Gambar 5.18 dapat dilihat bahwa ketika PINB.1, PINB.2, PINB.4, PINB.5, PINB.6, dan PINB.7 berlogika 1, maka relay 2,3,5,6,7, dan 8 aktif. Sehingga didapat rangkaian kombinasi kapasitor dengan nilai kapasitansi 50 μF dan dengan susunan seperti pada Gambar 5.21.



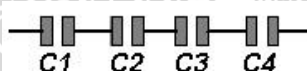
Gambar 5. 21 Susunan rangkaian kapasitor yang aktif pada kombinasi ke-12

Dari Gambar 5.19 dapat dilihat bahwa ketika PINB.2 dan PINB.6, berlogika 1, maka relay 3 dan 7 aktif. Sehingga didapat rangkaian kombinasi kapasitor dengan nilai kapasitansi 20 μF dan dengan susunan seperti pada gambar 5.22.



Gambar 5. 22 Susunan rangkaian kapasitor yang aktif pada kombinasi ke-7

Dari Gambar 5.20 dapat dilihat bahwa ketika PINB.6, PINC.0, PINC.1 dan PINC.2, berlogika 1, maka relay 7, 8, 9 dan 10 aktif. Sehingga didapat rangkaian kombinasi kapasitor dengan nilai kapasitansi 5 μF dan dengan susunan seperti pada gambar 5.23.



Gambar 5. 23 Susunan rangkaian kapasitor yang aktif pada kombinasi ke-1

Rangkaian penggerak relay mampu memutus dan menyambung rangkaian kapasitor dan induktor sehingga siap digunakan sebagai pengontrol kapasitor atau induktor mana yang aktif sesuai dengan perintah dari mikrokontroler AT Mega16.

5.7 Pengujian Pendeteksian Faktor Daya dan *Leading/Lagging*

5.7.1 Tujuan

Tujuan pengujian ini yaitu untuk mengkalibrasi nilai faktor daya hasil pengolahan mikrokontroler agar sesuai dengan nilai faktor daya dan jenis *leading/lagging* sinyal beda fasa pada sistem kelistrikan rumah tangga.

5.7.2 Peralatan

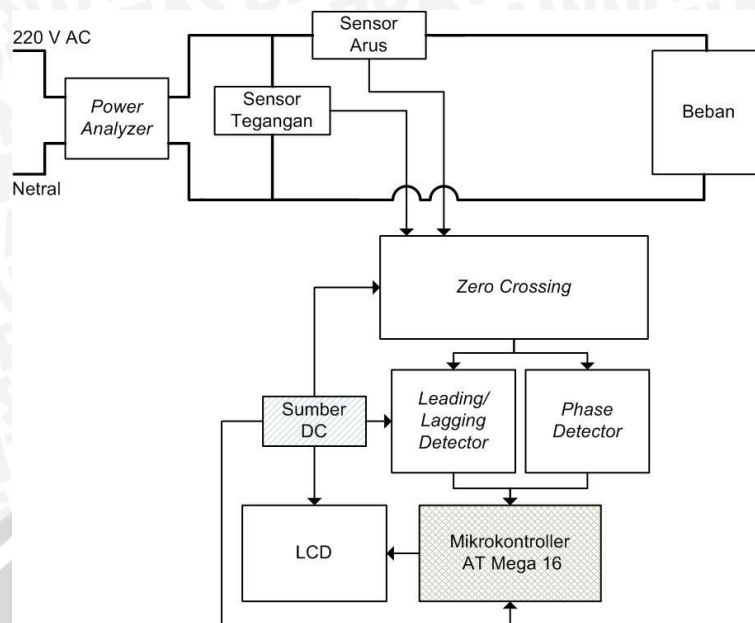
Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah:

- 1) Sumber tegangan AC 1 fasa
- 2) Sensor Arus ACS 712 30A
- 3) Sensor Tegangan
- 4) IC Op-Amp LM339
- 5) IC XOR 74LS86
- 6) IC Flip-Flop D 74LS74
- 7) Sumber DC 5 volt
- 8) Mikrokontroler AT Mega16
- 9) LCD
- 10) Beban Resistif
- 11) Beban Induktif
- 12) Beban Kapasitif
- 13) *Power Analyzer*

5.7.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian rangkaian sensor arus adalah sebagai berikut:

- 1) Menghubungkan sumber AC 1 fasa ke rangkaian pada Gambar 5.24
- 2) Menghubungkan sumber DC 5 volt ke sensor arus, IC Op-Amp LM339, IC XOR 74LS86, IC Flip-Flop D 74LS74, Mikrokontroler AT Mega16, dan LCD.
- 3) Menghubungkan *power analyzer* ke rangkaian seperti yang ditunjukkan Gambar 5.2.
- 4) Menghubungkan beban resistif/induktif/kapasitif
- 5) Mengubah variasi nilai resistif/induktif/kapasitif untuk mendapatkan variasi nilai faktor daya dan jenis posisi beda fasa (leading/lagging).
- 6) Mengamati nilai dan jenis faktor daya yang terekam di LCD kemudian dibandingkan dengan nilai dan jenis faktor daya yang terbaca pada *power analyzer*.



Gambar 5. 24 Rangkaian pendeteksian faktor daya dan *leading/lagging*

5.7.4 Data Hasil Pengujian

1. Perbandingan pembacaan nilai $\cos \phi$ pada *power analyzer* dan LCD

Tabel 5. 5 Perbandingan 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,	0,30	0,31
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 μ F, 1xPijar 100W	0,66	0,66
8	Kapasitor 8 μ F, 2xPijar 100W	0,87	0,88
9	Kapasitor 8 μ F, 3xPijar 100W	0,93	0,93
10	Kapasitor 8 μ F, 4xPijar 100W	0,97	0,98

Sumber : Hasil Pengujian

2. Nilai $\cos \phi$ pada *power analyzer* dan LCD



Gambar 5. 25 Pembacaan $\cos \phi$ pada *power analyzer* dan LCD pada pengujian ke-4

Sumber : Hasil Pengujian

5.7.5 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan dari pengujian didapatkan bahwa pembacaan LCD bila dibandingkan dengan *power analyzer* terdapat nilai error pembacaan.

Tabel 5. 6 Tabel perhitungan nilai error

Pengujian ke-	Pembacaan <i>power analyzer</i>	Pembacaan LCD	Error Cos ϕ ($\pm$)	Error ($\pm$ %)
1	1,00	0,99	0,01	1,00%
2	0,30	0,31	0,01	3,33%
3	0,47	0,48	0,01	2,13%
4	0,60	0,59	0,01	1,67%
5	0,69	0,68	0,01	1,45%
6	0,76	0,76	0	0,00%
7	0,66	0,66	0	0,00%
8	0,87	0,88	0,01	1,15%
9	0,93	0,93	0	0,00%
10	0,97	0,98	0,01	1,03%

Sumber : Hasil Pengujian

Dari hasil perhitungan nilai *error* didapatkan rata-rata kesalahan nilai pembacaan sebesar $\pm 1,17\%$. Nilai error ini muncul dikarenakan pembulatan yang terjadi di dalam mikrokontroler dan kepresisian pada pembacaan nilai beda fasa pada rangkaian *phase detector* sehingga menyebabkan terjadi perbedaan antara pembacaan nilai cos ϕ yang dilakukan *power analyzer* dan LCD. Meskipun pembacaan pada LCD masih terdapat kesalahan pembacaan, nilai yang terekam pada LCD masih dapat digunakan sebagai perekam nilai cos ϕ pada sistem untuk digunakan sebagai referensi perbaikan faktor daya sistem.

5.8 Pengujian Pembebanan Sistem Kelistrikan Rumah Tangga

5.8.1 Tujuan

Pengujian pembebanan sistem kelistrikan rumah tangga ini bertujuan untuk:

- 1) Mengetahui kinerja keseluruhan sistem yang telah dirancang sebelumnya.
- 2) Menguji keandalan alat yang telah dirancang dengan mengubah-ubah kondisi beban sebagai representasi beban rumah tangga.
- 3) Membandingkan metode tanpa alat perbaikan faktor daya dengan metode penerapan alat perbaikan faktor daya untuk tiap data pengujian.
- 4) Mengetahui nilai faktor daya, tegangan, dan arus beban untuk tiap pengujian.

5.8.2 Peralatan

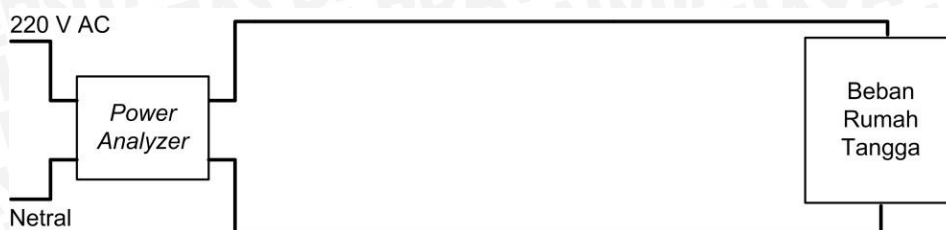
Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah:

- 1) Sumber tegangan AC 1 fasa
- 2) Sensor Arus ACS 712 30A
- 3) Sensor Tegangan
- 4) IC Op-Amp LM339
- 5) IC XOR 74LS86
- 6) IC Flip-Flop D 74LS74
- 7) Sumber DC 5 volt
- 8) Mikrokontroler AT Mega16
- 9) LCD
- 10) Rangkaian Penggerak
- 11) Rangkaian Kapasitor dan Induktor
- 12) *Power Analyzer*
- 13) Beban Rumah Tangga

5.8.3 Prosedur Pengujian

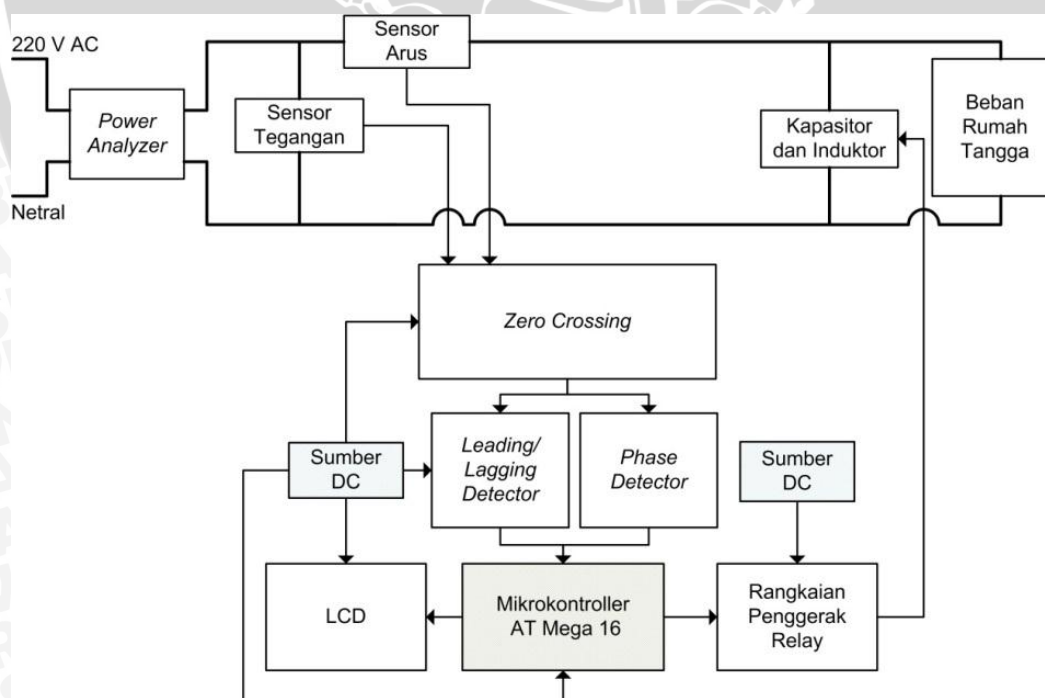
Dalam pengujian pembebanan sistem kelistrikan rumah tangga, prosedur pengujiannya adalah:

1. Menyusun rangkaian pengujian seperti blok diagram yang ditunjukkan pada Gambar 5.26 untuk pengujian pembebanan sistem kelistrikan rumah tangga tanpa alat perbaikan faktor daya dan Gambar 5.27 untuk pengujian dengan penerapan alat perbaikan faktor daya.
2. Pengujian pembebanan sistem kelistrikan rumah tangga tanpa alat perbaikan faktor daya (APFD) dilakukan terlebih dahulu, dengan langkah pengujian:
 - a) Menghubungkan sumber AC 1 fasa ke rangkaian seperti gambar 5.26
 - b) Mengubah-ubah beban untuk menghasilkan variasi nilai daya dan nilai faktor daya seperti yang ditunjukkan pada nilai Tabel 4.3 dan Tabel 4.4
 - c) Catat nilai tegangan (V), Arus (I), dan nilai Faktor Daya pada setiap kombinasi beban rumah tangga.



Gambar 5. 26 Pengujian pembebanan sistem kelistrikan rumah tangga tanpa alat perbaikan faktor daya

3. Pengujian selanjutnya adalah dengan menggunakan alat perbaikan faktor daya (APFD), dengan langkah pengujian:
 - a) Menghubungkan sumber AC 1 fasa ke rangkaian pada Gambar 5.27
 - b) Menghubungkan sumber DC 5 volt ke sensor arus, IC Op-Amp LM339, IC XOR 74LS86, IC Flip-Flop D 74LS74, Mikrokontroller AT Mega16, LCD, dan Rangkaian Penggerak.
 - c) Mengubah-ubah beban untuk menghasilkan variasi nilai daya dan nilai faktor daya seperti yang ditunjukkan pada nilai Tabel 4.3 dan Tabel 4.4
 - d) Catat nilai tegangan (V), Arus (I), nilai Faktor Daya, dan kapasitor/induktor yang aktif pada setiap kombinasi beban rumah tangga.



Gambar 5. 27 Pengujian pembebanan sistem kelistrikan rumah tangga dengan alat perbaikan faktor daya

5.8.4 Data Hasil Pengujian

1. Hasil pengujian pembebanan sistem kelistrikan rumah tangga tanpa alat perbaikan faktor daya

Tabel 5. 7 Hasil pengujian kelistrikan rumah tangga bersifat induktif tanpa alat perbaikan faktor daya

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

Sumber : Hasil Pengujian

Tabel 5. 8 Hasil pengujian kelistrikan rumah tangga bersifat kapasitif tanpa alat perbaikan faktor daya

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

Sumber : Hasil Pengujian

2. Hasil pengujian pembebanan sistem kelistrikan rumah tangga dengan penerapan alat perbaikan faktor daya

Tabel 5. 9 Hasil pengujian kelistrikan rumah tangga bersifat induktif dengan alat perbaikan faktor daya

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

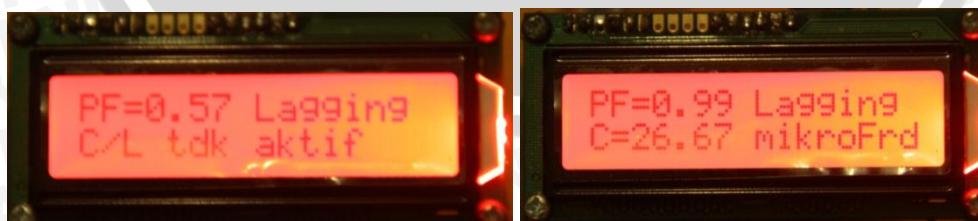
Sumber : Hasil Pengujian

Tabel 5. 10 Hasil pengujian kelistrikan rumah tangga bersifat kapasitif dengan alat perbaikan faktor daya

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

Sumber : Hasil Pengujian

3. Tampilan LCD sebelum dan sesudah digunakannya alat perbaikan faktor daya (APFD) pada pengujian ke-2 beban rumah tangga induktif.



Gambar 5. 28 Tampilan LCD. (a) tanpa alat perbaikan faktor daya. (b) dengan alat perbaikan faktor daya

Sumber : Hasil Pengujian

5.8.5 Analisis Hasil Pengujian

Analisis hasil pengujian pembebanan sistem kelistrikan rumah tangga sebelum dan setelah pemasangan alat perbaikan faktor daya (APFD) terdiri dari:

1. Pengaruh APFD pada faktor daya sistem rumah tangga
2. Pengaruh APFD pada daya-daya (P , Q , S) sistem rumah tangga
3. Pengaruh APFD pada daya reaktif (Q) yang terkompensasi
4. Pengaruh APFD pada daya semu (S) yang terkompensasi
5. Pengaruh Pemasangan APFD terhadap Daya Nyata yang Bisa Dioptimalkan, dengan Daya Semu yang Tetap
6. Pengaruh Pemasangan APFD terhadap Kerentanan Terjadinya *Trip* pada *Mini Circuit Breaker* (MCB) Instalasi Listrik Rumah Tangga

5.8.5.1 Pengaruh APFD pada Faktor Daya pada Sistem

Berdasarkan data hasil pengujian pembebanan sistem kelistrikan rumah tangga yang ditunjukkan pada Tabel 5.7, 5.8 (beban induktif) dan Tabel 5.9, 5.10 (beban kapasitif) terlihat bahwa terjadi perbedaan nilai parameter tegangan (V), arus (I), dan faktor daya pada metode tanpa APFD dibandingkan dengan metode APFD. Pada metode dengan APFD nilai faktor daya sistem menjadi lebih baik atau nilainya mendekati 1.

Tabel 5. 11 Perbaikan faktor daya setelah pemasangan APFD pada beban rumah tangga induktif

No.	Tanpa alat perbaikan faktor daya (APFD)		Dengan alat perbaikan faktor daya (APFD)	
	Faktor Daya	Sifat	Faktor Daya	Sifat
1	0,47	Lagging	1,00	-
2	0,57	Lagging	0,99	Lagging
3	0,71	Lagging	0,99	Leading
4	0,83	Lagging	0,99	Leading
5	0,46	Lagging	0,98	Lagging
6	0,58	Lagging	1,00	-
7	0,71	Lagging	0,99	Lagging
8	0,83	Lagging	1,00	-
9	0,70	Lagging	1,00	-
10	0,75	Lagging	0,99	Lagging

Sumber : Hasil Pengujian

Pada beban rumah tangga yang awalnya bersifat induktif yaitu pada Tabel 5.11 didapatkan nilai faktor daya dengan alat perbaikan faktor daya (APFD) lebih tinggi atau lebih baik dibandingkan nilai faktor daya sistem tanpa alat perbaikan faktor daya

(APFD). Nilai faktor daya terendah setelah pemasangan alat perbaikan faktor daya adalah 0,98, dan nilai tertinggi setelah pemasangan alat perbaikan faktor daya adalah 1.

Tabel 5. 12 Perbaikan faktor daya setelah pemasangan APFD pada beban rumah tangga kapasitif

No.	Tanpa alat perbaikan faktor daya (APFD)		Dengan alat perbaikan faktor daya (APFD)	
	Faktor Daya	Sifat	Faktor Daya	Sifat
1	0,88	Leading	1,00	-
2	0,84	Leading	0,98	Leading
3	0,89	Leading	0,99	Leading
4	0,90	Leading	0,99	Leading
5	0,81	Leading	0,93	Leading
6	0,84	Leading	0,94	Leading
7	0,86	Leading	0,95	Leading
8	0,88	Leading	0,96	Leading
9	0,91	Leading	0,97	Leading
10	0,92	Leading	0,97	Leading

Sumber : Hasil Pengujian

Pada beban rumah tangga yang awalnya bersifat kapasitif yaitu pada gambar Tabel 5.12 didapatkan bahwa nilai faktor daya dengan alat perbaikan faktor daya (APFD) lebih tinggi atau lebih baik dibandingkan nilai faktor daya sistem tanpa alat perbaikan faktor daya (APFD). Nilai faktor daya terendah setelah pemasangan alat perbaikan faktor daya adalah 0,93, dan nilai tertinggi setelah pemasangan alat perbaikan faktor daya adalah 1.

5.8.5.2 Pengaruh APFD pada Daya-Daya Sistem

Nilai daya nyata (W), daya reaktif (VAR) dan daya semu (VA) sistem kelistrikan rumah tangga saat tanpa alat perbaikan faktor daya (APFD) dibandingkan dengan metode penggunaan alat perbaikan faktor daya (APFD) ditunjukkan oleh Tabel 5.13 dan 5.14

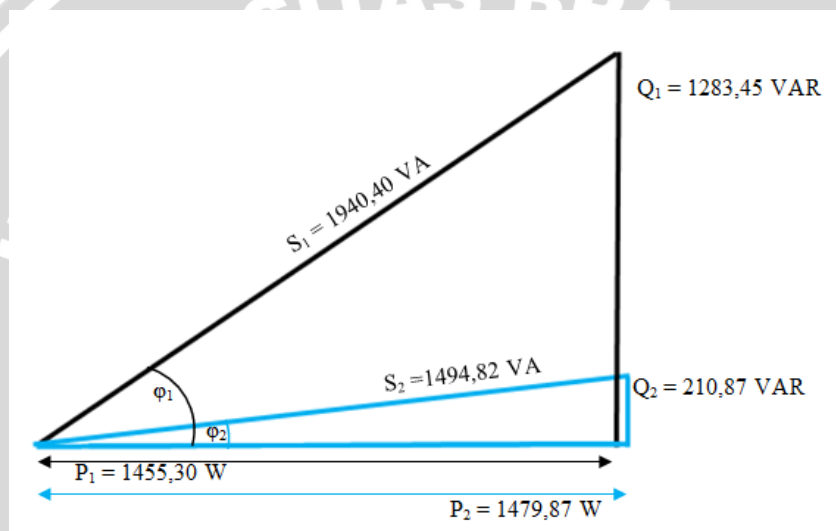
Tabel 5. 13 Perubahan daya-daya sistem setelah pemasangan APFD pada rumah tangga berbeban induktif

No.	Tanpa alat perbaikan faktor daya (APFD)			Dengan alat perbaikan faktor daya (APFD)		
	Daya Semu(VA)	Daya Nyata (W)	Daya Reaktif (VAR)	Daya (VA)	Daya Nyata (W)	Daya Reaktif (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

Sumber: Hasil perhitungan

Pada Tabel 5.13 terlihat bahwa penggunaan alat perbaikan faktor daya (APFD) hampir tidak mempengaruhi nilai daya nyata sistem rumah tangga itu sendiri. Sedangkan daya reaktif setelah penggunaan alat perbaikan faktor daya (APFD) lebih kecil daripada nilai daya reaktif sebelum pemasangan alat perbaikan faktor daya (APFD), hal tersebut memiliki arti bahwa pemasangan alat perbaikan faktor daya mampu mengkompensasi nilai daya reaktif (VAR).

Daya semu (VA) setelah penggunaan alat perbaikan faktor daya (APFD) lebih kecil daripada nilai daya semu sebelum pemasangan alat perbaikan faktor daya (APFD), hal ini memiliki arti bahwa pemasangan alat perbaikan faktor daya mampu mengkompensasi/menghemat nilai daya semu (VA).



Gambar 5. 29 Segitiga daya sebelum dan sesudah pemasangan APFD pada pengujian ke-10 saat pembebanan dengan beban rumah tangga induktif
Sumber: Hasil Perhitungan

Salah satu contoh resultan daya-daya sistem sebelum dan sesudah pemasangan alat perbaikan faktor daya (APFD) ditunjukkan pada Gambar 5.29 yang merupakan hasil pengujian ke-10 pada Tabel 5.13 yaitu saat sistem kelistrikan rumah tangga dibebani oleh 4xPijar 100W, 3xPijar 60W, 9xPijar 40W, 6xPijar 25W, 2xMI $\frac{1}{4}$ HP, 1xMI $\frac{1}{2}$ HP. Dari Gambar 5.29 dapat dilihat bahwa dengan pemasangan APFD dapat mengakibatkan nilai daya semu dan daya reaktif sistem menjadi lebih kecil daripada sebelum pemasangan APFD.

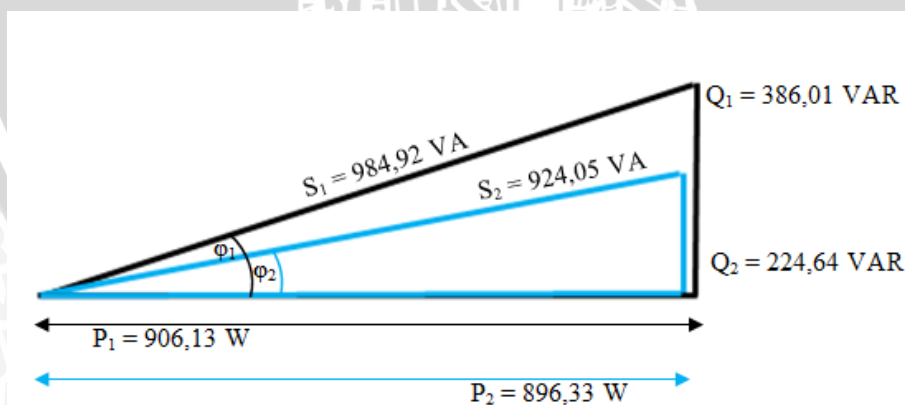
Tabel 5. 14 Perubahan daya-daya sistem setelah pemasangan APFD pada rumah tangga berbeban kapasitif

No.	Tanpa alat perbaikan faktor daya (APFD)			Dengan alat perbaikan faktor daya (APFD)		
	Daya Semu (VA)	Daya Nyata (W)	Daya Reaktif (VAR)	Daya (VA)	Daya Nyata (W)	Daya Reaktif (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

Sumber: Hasil perhitungan

Pada Tabel 5.14 terlihat bahwa penggunaan alat perbaikan faktor daya (APFD) hampir tidak mempengaruhi nilai daya nyata sistem rumah tangga itu sendiri. Sedangkan daya reaktif setelah penggunaan alat perbaikan faktor daya (APFD) lebih kecil daripada daya reaktif sebelum pemasangan alat perbaikan faktor daya (APFD), hal tersebut memiliki arti bahwa pemasangan alat perbaikan faktor daya mampu mengkompensasi nilai daya reaktif (VAR).

Daya semu (VA) setelah penggunaan alat perbaikan faktor daya (APFD) lebih kecil daripada daya semu sebelum pemasangan alat perbaikan faktor daya (APFD), hal tersebut memiliki arti bahwa pemasangan alat perbaikan faktor daya mampu mengkompensasi/menghemat nilai daya semu (VA).



Gambar 5. 30 Segitiga daya sebelum dan sesudah pemasangan APFD pada pengujian ke-10 saat pembebanan dengan beban rumah tangga kapasitif

Sumber: Hasil Perhitungan

Salah satu contoh resultan daya-daya sistem sebelum dan sesudah pemasangan alat perbaikan faktor daya (APFD) ditunjukkan pada Gambar 5.30 yang merupakan hasil pengujian ke-10 pada Tabel 5.14 yaitu saat sistem kelistrikan rumah tangga

dibebani oleh 4xPijar 100W, 3xPijar 60W, 6xPijar 40W, 4xPijar 25W, kapasitor 24 μ F. Dari Gambar 5.30 dapat dilihat bahwa dengan pemasangan APFD dapat mengakibatkan nilai daya semu dan daya reaktif sistem menjadi lebih kecil daripada sebelum pemasangan APFD.

5.8.5.3 Pengaruh APFD pada Daya Reaktif yang Terkompensasi

Tabel 5. 15 Daya reaktif yang terkompensasi pada beban rumah tangga induktif

Pengujian ke-	Daya reaktif yang terkompensasi	
	VAR	(%)
1	444,42	100,00%
2	404,66	89,81%
3	377,19	85,88%
4	330,93	79,08%
5	891,81	89,50%
6	975,72	100,00%
7	811,58	85,29%
8	897,78	100,00%
9	1294,39	100,00%
10	1072,58	83,57%

Sumber : Hasil Perhitungan

Pada Tabel 5.15 Nilai daya reaktif terkompensasi terbesar setelah pemasangan alat perbaikan faktor daya adalah pada pengujian ke-1, 6, 8, dan 9, yaitu terkompensasi sebesar 100% dari daya reaktif sebelumnya atau sebelum pemasangan alat perbaikan faktor daya. Sedangkan nilai daya reaktif terkompensasi terkecil setelah pemasangan alat perbaikan faktor daya adalah pada pengujian ke-4, yaitu terkompensasi sebesar 79,08% dari daya reaktif sebelumnya atau sebelum pemasangan alat perbaikan faktor daya

Tabel 5. 16 Daya reaktif yang terkompensasi pada beban rumah tangga kapasitif

Pengujian ke-	Daya reaktif yang terkompensasi	
	VAR	(%)
1	117,73	100,00%
2	176,55	68,14%
3	183,06	72,00%
4	182,20	70,31%
5	177,35	44,74%
6	171,50	44,11%
7	173,87	44,59%
8	180,59	45,76%
9	173,86	45,68%
10	161,37	41,80%

Sumber : Hasil Perhitungan

Pada Tabel 5.16 Nilai daya reaktif terkompensasi terbesar setelah pemasangan alat perbaikan faktor daya adalah pada pengujian ke-1, yaitu terkompensasi sebesar 100% dari daya reaktif sebelumnya atau sebelum pemasangan alat perbaikan faktor daya. Sedangkan nilai daya reaktif terkompensasi terkecil setelah pemasangan alat perbaikan faktor daya adalah pada pengujian ke-4, yaitu terkompensasi sebesar 41,80% dari daya reaktif sebelumnya atau sebelum pemasangan alat perbaikan faktor daya

5.8.5.4 Pengaruh APFD pada Daya Semu yang Terkompensasi

Tabel 5. 17 Daya semu yang terkompensasi pada beban rumah tangga induktif

Pengujian ke-	Daya semu yang dihemat (VA)	
	VA	(%)
1	254,46	50,54%
2	222,93	40,65%
3	184,07	29,51%
4	129,75	17,29%
5	596,43	53,15%
6	486,07	40,58%
7	359,29	26,59%
8	281,81	17,51%
9	523,27	28,87%
10	445,58	22,96%

Sumber : Hasil Perhitungan

Pada Tabel 5.17 Nilai daya semu terbesar yang mampu dikompensasi/dihemat setelah pemasangan alat perbaikan faktor daya adalah pada pengujian ke-5, yaitu terkompensasi sebesar 53.15% dari daya semu sebelumnya atau sebelum pemasangan alat perbaikan faktor daya, sedangkan nilai daya semu terkecil yang mampu dikompensasi/dihemat setelah pemasangan alat perbaikan faktor daya adalah pada pengujian ke-4, yaitu terkompensasi sebesar 17,29% dari daya semu sebelumnya atau sebelum pemasangan alat perbaikan faktor daya.

Tabel 5. 18 Daya semu yang terkompensasi pada beban rumah tangga kapasitif

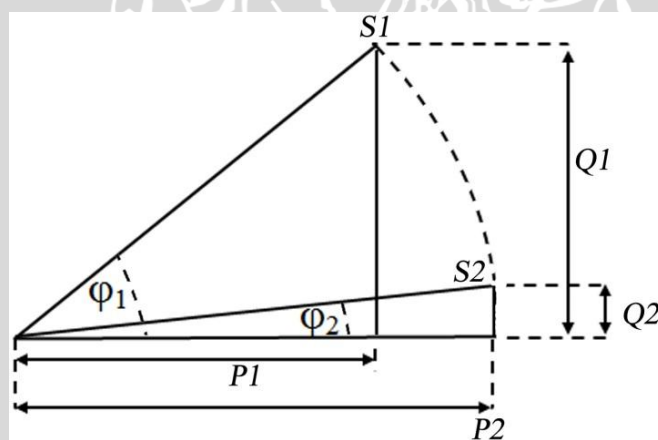
Pengujian ke-	Daya semu yang dihemat	
	VA	(%)
1	21,66	8,74%
2	62,64	13,12%
3	52,95	9,49%
4	49,02	8,25%
5	79,99	11,83%
6	79,61	11,11%
7	72,21	9,45%
8	66,45	8,00%
9	67,57	7,36%
10	60,88	6,18%

Sumber : Hasil Perhitungan

Pada Tabel 5.18 Nilai daya semu terbesar yang mampu dikompensasi/dihemat setelah pemasangan alat perbaikan faktor daya adalah pada pengujian ke-2, yaitu terkompensasi sebesar 13,12% dari daya semu sebelumnya atau sebelum pemasangan alat perbaikan faktor daya, sedangkan nilai daya semu terkecil yang mampu dikompensasi/dihemat setelah pemasangan alat perbaikan faktor daya adalah pada pengujian ke-10, yaitu terkompensasi sebesar 6,18% dari daya semu sebelumnya atau sebelum pemasangan alat perbaikan faktor daya.

5.8.5.5 Pengaruh Pemasangan APFD terhadap Daya Nyata yang Bisa Dioptimalkan, dengan Nilai Daya Semu yang Tetap

Dari hasil pengujian dan perhitungan didapat data seperti pada Tabel 5.19 dan Tabel 5.20, terdapat nilai daya semu setiap pengujian (VA) dan daya nyata (W) sebelum pemasangan alat perbaikan faktor daya. Jika nilai daya semu pada sistem dipertahankan atau dianggap tetap. Maka dengan pemasangan alat perbaikan faktor daya, nilai daya nyata (watt) bisa dioptimalkan dibandingkan dengan nilai daya nyata (watt) sebelum pemasangan alat perbaikan faktor daya, hal ini seperti yang ditunjukkan prinsip segitiga daya dengan nilai daya semu yang tetap.



Gambar 5. 31 Perbaikan faktor daya dengan daya semu terpasang yang tetap

Dimana:

- $S_1=S_2$ = Daya semu pada sistem (VA)
- P_1 = Daya nyata sebelum penggunaan alat perbaikan faktor daya (watt)
- P_2 = Daya nyata yang bisa dioptimalkan setelah penggunaan alat perbaikan faktor daya (watt)
- Q_1 = Daya nyata sebelum penggunaan alat perbaikan faktor daya (watt)
- Q_2 = Daya nyata setelah penggunaan alat perbaikan faktor daya (watt)
- $\cos \phi_1$ = Faktor daya sistem sebelum pemasangan alat perbaikan faktor daya

$\cos \varphi_2$ = Faktor daya sistem setelah pemasangan alat perbaikan faktor daya

Jika sebuah sistem rumah tangga memiliki daya terpasang (VA) yang dipertahankan tetap, maka hal ini merepresentasikan segitiga daya dengan nilai daya semu (VA) yang tetap seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.31.

Nilai daya nyata (watt) yang mampu dioptimalkan didapatkan dengan perhitungan:

$$P_2 = S_2 \cdot \cos \varphi_2 \quad (5-1)$$

jika penggunaan/konsumsi daya semu (VA) yang tetap/konstan, maka nilai $S_2=S_1$

$$P_2 = S_1 \cdot \cos \varphi_2 \quad (5-2)$$

Peningkatan nilai daya nyata (watt) yang bisa digunakan pada sistem:

$$\Delta P = P_2 - P_1 \quad (5-3)$$

Tabel 5. 19 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	Faktor daya sistem dengan APFD	Daya (W) yg dapat 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

Sumber : Hasil Perhitungan

Pada rumah tangga berbeban induktif, sesuai dengan Tabel 5.19, nilai daya nyata terbesar yang mampu dioptimalkan setelah pemasangan alat perbaikan faktor daya adalah pada pengujian ke-5, yaitu meningkatkan daya yang bisa dioptimalkan sebesar 583,56 W dengan daya semu yang tetap, sedangkan nilai daya nyata terkecil yang mampu dioptimalkan setelah pemasangan alat perbaikan faktor daya adalah pada pengujian ke-4, yaitu meningkatkan daya yang bisa dioptimalkan sebesar 120,04 W dengan daya semu yang tetap. Pada Tabel 5.19 terlihat bahwa dengan daya semu yang tetap, pemasangan APFD mampu mengoptimalkan daya nyata sistem pada daya semu terpasang yang tetap.

Tabel 5. 20 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	Faktor daya sistem dengan APFD	Daya (W) yg dapat 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

Sumber : Hasil Pehitungan

Pada rumah tangga berbeban kapasitif, sesuai dengan Tabel 5.20, nilai daya nyata terbesar yang mampu dioptimalkan setelah pemasangan APFD adalah pada pengujian ke-5, yaitu meningkatkan daya yang bisa dioptimalkan sebesar 81,12 W dengan daya semu yang tetap, sedangkan nilai daya nyata terkecil yang mampu dioptimalkan setelah pemasangan APFD adalah pada pengujian ke-1, yaitu meningkatkan daya yang bisa dioptimalkan sebesar 29,74 W dengan daya semu yang tetap. Pada Tabel 5.20 terlihat bahwa dengan daya semu yang tetap, pemasangan APFD mampu mengoptimalkan daya nyata sistem pada daya semu terpasang yang tetap.

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

Rangkaian pengujian pembebanan sistem kelistrikan rumah tangga pada Gambar 5.32 dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.21.



Gambar 5. 32 Rangkaian pengujian pembebanan sistem kelistrikan rumah tangga di Laboratorium Sistem Daya Elektrik TEUB

Tabel 5. 21 Kondisi MCB sebelum dan setelah pemasangan APFD

No.	Beban Terpasang	Volt	Ampere	Cos ϕ	Watt	Kondisi MCB	Keterangan
1	MI 1/2 HP, 3xPijar 100W	222,4	3,29	0,65	475,60	<i>Trip</i>	Tanpa APFD
2	MI 1/2 HP, 3xPijar 100W	223	2,15	1	479,45	<i>Tidak Trip</i>	Dengan APFD
3	MI 1/2 HP, 3xPijar 100W 5xPijar 40W	223,7	3,01	1	673,34	<i>Tidak Trip</i>	Dengan APFD
4	MI 1/2 HP, 3xPijar 100W 5xPijar 40W, 1xPijar 25W	223	3,14	1	700,1	<i>Trip</i>	Dengan APFD

Sumber : Hasil Pengujian

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 ke-1. Bahkan, pada pengujian ke-3 terlihat bahwa sistem justru bisa menambah lagi pemakaian daya nyatanya sebesar 5 buah lampu pijar 40 W. Namun, pada pengujian ke-4 saat ada penambahan beban lampu pijar 25 W sistem mengalami *trip*, hal ini mengindikasikan bahwa daya yang sedang dipakai melebihi kapasitas daya maksimal MCB.

Pada hasil pengujian ini menunjukkan bahwa pada pengujian ke-3 adalah daya nyata (watt) terbesar yang bisa dioptimalkan tanpa menimbulkan MCB *trip*. Maka dari itu dapat dibuktikan bahwa pemasangan alat perbaikan faktor daya (APFD) mampu mengurangi kerentanan terjadinya trip pada MCB selama daya nyata yang digunakan tidak melebihi kapasitas daya maksimalnya.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Alat perbaikan faktor daya yang dirancang dan dibuat pada penelitian ini mampu bekerja secara otomatis pada beban rumah tangga yang bersifat induktif maupun kapasitif.
2. Alat perbaikan faktor daya yang dirancang dan dibuat pada penelitian ini mampu memperbaiki faktor daya sistem kelistrikan rumah tangga dan menjaga nilai faktor daya sistem secara *real time* dengan nilai faktor daya terendah 0,93 dari faktor daya awal 0,81. Dan nilai tertinggi 1 dari faktor daya awal 0,47.
3. Alat perbaikan faktor daya yang dirancang dan dibuat pada penelitian ini mampu mengkompensasi daya reaktif dengan nilai kompensasi terbesar yaitu 100% dari daya reaktif sebelumnya, dan nilai kompensasi terkecil yaitu 41,80% dari daya reaktif sebelumnya.
4. Alat perbaikan faktor daya yang dirancang dan dibuat pada penelitian ini mampu mengkompensasi daya semu dengan nilai kompensasi terbesar yaitu 53,15% dari daya semu sebelumnya, dan nilai kompensasi terkecil yaitu 6,18% dari daya semu sebelumnya.
5. Alat perbaikan faktor daya yang dirancang dan dibuat pada penelitian ini mampu mengoptimalkan daya nyata sistem, dengan kondisi nilai daya semu yang tetap.
6. Alat perbaikan faktor daya yang dirancang dan dibuat pada penelitian ini mampu mengurangi kerentanan terjadinya *trip*.

6.2 Saran

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. Memperhitungkan pengaruh *switching* kapasitor atau induktor terhadap kualitas harmonisa sistem kelistrikan rumah tangga.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Bukhari. 2012. *Perbaikan Power Faktor Pada Konsumen Rumah Tangga Menggunakan Kapasitor Bank*. Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bengkalis. Bengkalis.
- 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.
- Bose, K.B. 2001. *Modern Power Electronic and AC Drives*. Prentice Hall. Upper Saddle River.
- Coughlin Roberet F. 1987. *Operational Amplifiers And Integrated Circuit Third Edition*.
- Epcos. 2005. *Power Faktor Correction*.
- Gonen, Turan. 1987. *Electric Power Distribution Sistem Engineering*. Singapore: McGraw-Hill Book Company.
- Hadi, Abdul. 1994. *Sistim Distribusi Daya Listrik*. Jakarta.: Penerbit Erlangga.
- Kilian, Christopher T. *Modern Control Technology*. West Publishing Co : 1996.
- Mike Tooley. 2002. *Rangkaian Elektronik Prinsip dan Aplikasi*. Erlangga Ciracas: Jakarta
- Pabla, AS. 1986. *Sistem Distribusi Daya Elektrik*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Rashid, Muhammad H. 2001. *Power Electronics Handbook*. London: Academic Press.
- Syahban Rangkuti. 2011. *Mikrokontroler ATMEAL AVR*. Informatika. Bandung.
- Stevenson. 1993. *Power System Analysis*. Singapore: McGraw-Hill Book Company.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Listing Program

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Listing Program



Lampiran 2 *Datasheet* Sensor Arus ACS 712

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Datasheet

ACS 712



Datasheet

LM339

Lampiran 4 Datasheet XOR 74LS86

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Datasheet

74LS86



Lampiran 5 Datasheet Flip-Flop D 74LS74

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Datasheet

74LS74



Lampiran 6 *Datasheet* 2N2222A

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Datasheet

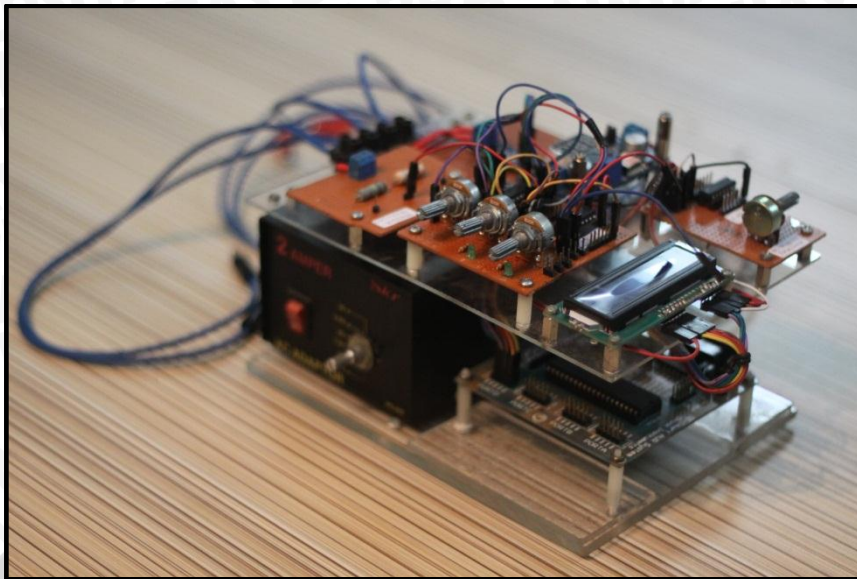
2N2222A



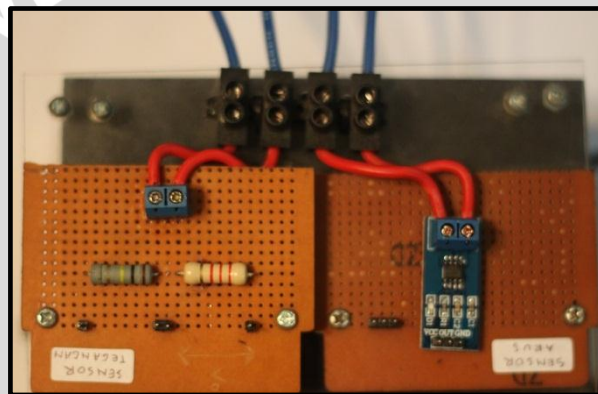
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Dokumentasi Alat dan Pengujian

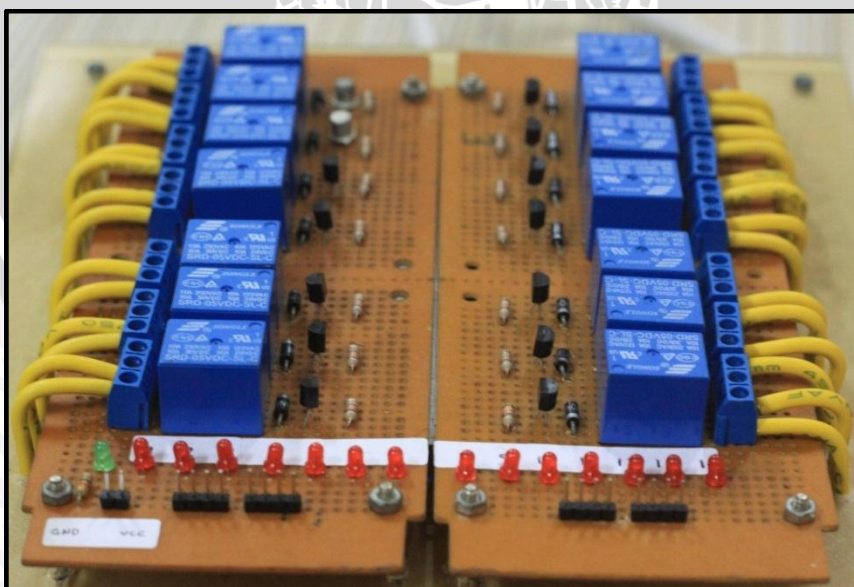




Rangkaian sensor dan pengkondisi sinyal



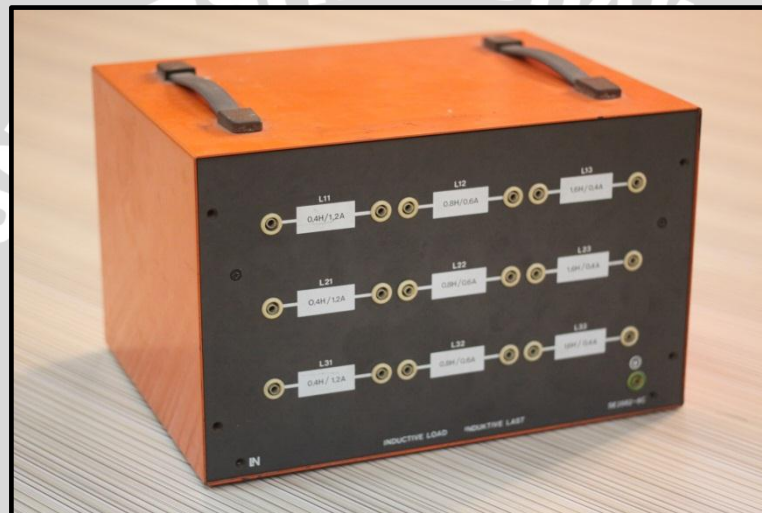
Rangkaian sensor tegangan dan sensor arus



Rangkaian penggerak relay



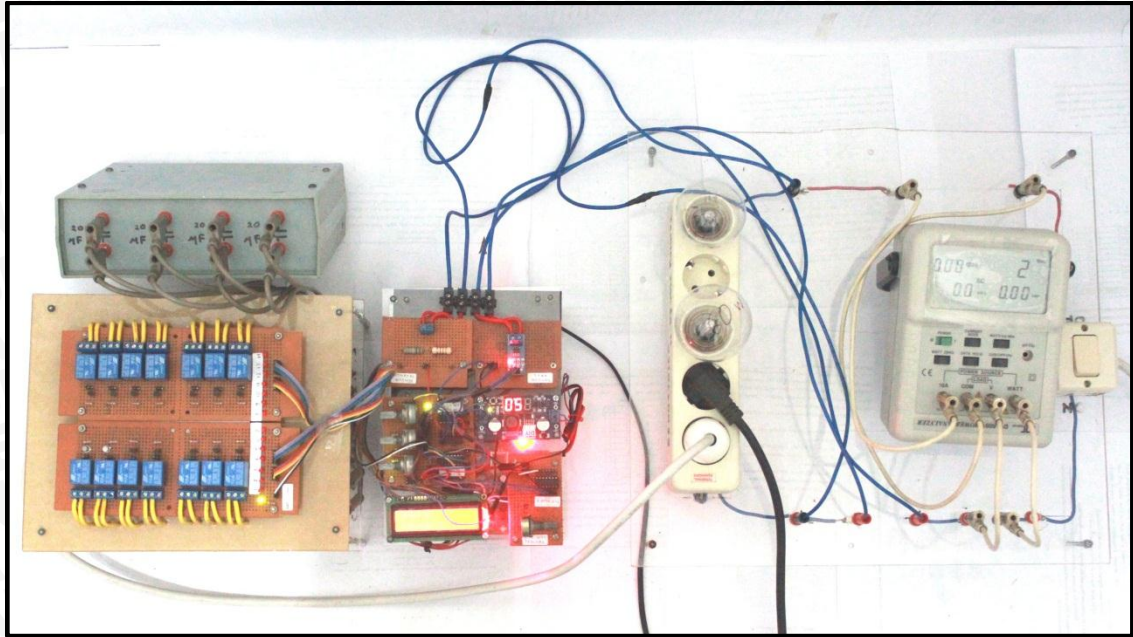
Rangkaian Kapasitor



Rangkaian Induktor



Pengujian di Laboratorium Sistem Daya Elektrik TEUB



Alat perbaikan faktor daya dengan menggunakan switching kapasitor dan induktor otomatis



Pengujian sistem kelistrikan rumah tangga dengan menggunakan alat perbaikan faktor daya