

**RANCANG BANGUN KOMPENSATOR FAKTOR DAYA
OTOMATIS SEBAGAI UPAYA EFISIENSI
TENAGA LISTRIK**

SKRIPSI

Oleh:

M. ULIN NUHA

NIM. 11640010



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2016**

**RANCANG BANGUN KOMPENSATOR FAKTOR DAYA OTOMATIS
SEBAGAI UPAYA EFISIENSI TENAGA LISTRIK**

SKRIPSI

Diajukan kepada:

**Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

Oleh:

**M. ULIN NUHA
NIM. 11640010**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2016**

HALAMAN PERSETUJUAN

**RANCANG BANGUN KOMPENSATOR FAKTOR DAYA OTOMATIS
SEBAGAI UPAYA EFISIENSI TENAGA LISTRIK**

SKRIPSI

Oleh:

M. ULIN NUHA
NIM. 11640010

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal : 30 Desember 2015

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Farid Samsu Hananto, M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

Umaiatus Syarifah, M.A
NIP. 19820925 200901 2 005

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

HALAMAN PENGESAHAN

**RANCANG BANGUN KOMPENSATOR FAKTOR DAYA OTOMATIS
SEBAGAI UPAYA EFISIENSI TENAGA LISTRIK**

SKRIPSI

Oleh:

M. ULIN NUHA

NIM.11640010

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Tanggal:

Penguji Utama	:	<u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	
Ketua Penguji	:	<u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Sekretaris Penguji	:	<u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Anggota Penguji	:	<u>Umairyatus Syarifah, M.A</u> NIP. 19820925 200901 2 005	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika

Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. ULIN NUHA
NIM : 11640010
Jurusan : FISIKA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Judul Penelitian : Rancang Bangun Kompensator Faktor Daya Otomatis
Sebagai Upaya Efisiensi Tenaga Listrik

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang perbah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk mempertanggung jawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 30 Desember 2015

Yang Membuat Pernyataan,

M. ULIN NUHA
NIM. 11640010

MOTTO

خير الناس أنفعهم للناس

*“Sebaik-baik Manusia Adalah Yang Bermanfaat
Bagi Orang Lain”*

وَتَعَاوَنُوا عَلَى الْبِرِّ وَالتَّقْوَىٰ وَلَا تَعَاوَنُوا عَلَى الْإِثْمِ وَالْعُدْوَانِ

*“Tolong Menolonglah Kamu dalam(mengerjakan)
kebajikan dan taqwa, dan jangan tolong menolong
dalam berbuat dosa dan pelanggaran”*

(Al-Maidah:2)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Penguasa Alam jagat raya yang mengatur kehidupan di Langit dan di Bumi yang terindah, semoga lembaran-lembaran karya ini menjadikan Amal Sholeh

Pelita dihati seluruh ummat, yang membawakan Kesejahteraan dalam bentuk cahaya- ilmu pengetahuan dan memberikan Suri Tauladan serta Syafaatnya di Hari Kiamat

Bapak Suhartomo dan Ibu Siti Khotimah dan segenap keluarga besar-Ku untuk kasih sayang dan dukungan serta doa yang telah diberikan,

Para guru dan pembimbing yang telah menunjukkan kebesaran Tuhan melalui keindahan dan keluasan ilmu yang tak terhingga nilainya semoga barokah dan bermanfaat di Dunia dan di Akhirat

Semua teman-teman ELINS (Elektronika Instrumentasi UIN Malang), Teman-teman Fisika 2011, seluruh mahasiswa fisika UIN Maliki Malang atas kebersamaan baik duka maupun suka dan pengalaman Pahit Manis yang telah diberikan selama ini.

Dan Ku Persembahkan Kepada Semua Penuntut Ilmu.

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Wr. Wb

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah Swt yang telah memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya. Sholawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita Baginda Rasulullah, Nabi besar Muhammad Saw serta para keluarga, sahabat, dan pengikut-pengikutny. Atas Ridho dan Kehendak Allah Swt, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Rancang Bangun Kompensator Faktor Daya Otomatis Sebagai Upaya Efisiensi Tenaga Listrik** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Penulis haturkan ucapan terima kasih seiring do'a dan harapan *jazakumullah ahsanal jaza'* kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. Mudjia Rahardjo, M.Si selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah banyak memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
2. Dr. drh. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Erna Hastuti, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika yang telah banyak meluangkan waktu, nasehat dan Inspirasinya sehingga dapat melancarkan dalam proses penulisan skripsi.
4. Farid Samsu Hananto, M.T selaku Dosen Pembimbing skripsi yang telah banyak meluangkan waktu dan pikirannya dan memberikan bimbingan, bantuan serta pengarahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Umayyatus Syarifah, M.A selaku Dosen Pembimbing Agama, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan bidang integrasi Sains dan al-Quran serta Hadits.

6. Segenap Dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah bersedia mengamalkan ilmunya, membimbing dan memberikan pengarahan serta membantu selama proses perkuliahan.
7. Kedua orang tua Bapak Suhartomo dan Ibu Siti Khotimah dan semua keluarga yang telah memberikan dukungan, restu, serta selalu mendoakan disetiap langkah penulis.
8. Teman-teman Fisika ELINS (Elektonika Instrumentasi) dan semua teman-teman fisika angkatan 2011 terimakasih atas kebersamaan dan persahabatan serta pengalaman selama ini.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat, tambahan ilmu dan dapat menjadikan inspirasi kepada para pembaca *Amin Ya Rabbal Alamin.*

Wassalamu'alaikumWr. Wb.

Malang, 30 Desember 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat	5
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Arus Bolak-Balik (<i>Alternating Current</i>)	6
2.2 Daya Listrik	9
2.2.1 Daya Aktif	10
2.2.2 Daya Semu	10
2.2.3 Daya Reaktif	11
2.2.4 Segitiga Daya	11
2.2.5 Kualitas Daya Listrik	12
2.2.6 Faktor Daya	12
A. Faktor Daya <i>Unity</i>	13
B. Faktor Daya Tertinggal (<i>Lagging</i>)	13
C. Faktor Daya Mendahului (<i>Leading</i>)	14
2.2.7 Perbaikan Faktor Daya	14
A. Metode Pemasangan Kapasitor	17
2.3 Kapasitor	18
2.4 Sensor	21
2.4.1 Sensor Tegangan	21
2.4.2 Sensor Arus	22
2.5 <i>Zerro Crossing Detector</i> dan Detektor Beda Fase	22
2.6 Mikrokontroler	23
2.6.1 Mikrokontroler ATMEL AVR RISC Atmega32	24
2.6.2 Fitur Atmega32	24
2.6.3 Konfigurasi Pin AVR Atmega32	26
2.6.4 Pemrograman Mikrokontroler AVR	28
2.7 LCD	28
2.8 Relay	29

2.9	Driver Relay	30
2.10	Kontrol Otomatis	31
2.10.1	Sistem Kontrol Tertutup (<i>closed-loop control system</i>).....	32
2.10.2	Sistem Kontrol Terbuka (<i>open-loop control system</i>).....	33
2.11	Kontrol Otomatis dan Efisiensi dalam Kajian Al-Quran	33
BAB III METODE PENELITIAN		36
3.1	Jenis Penelitian.....	36
3.2	Waktu Dan Tempat Penelitian	36
3.3	Alat Dan Bahan	36
3.4	Rancangan Penelitian.....	38
3.4.1	Perancangan Perangkat Keras Secara Keseluruhan	38
3.4.2	Perancangan Rangkaian Sensor Tegangan.....	38
3.4.3	Perancangan Rangkaian Sensor Arus.....	39
3.4.4	Perancangan Rangkaian <i>Zero Crossing</i> dan Detektor Beda Fase ..	40
3.4.5	Perancangan Rangkaian Sistem Mikrokontroler Atmega32	41
3.4.6	Perancangan Rangkaian <i>Driver Relay</i>	42
3.4.7	Perancangan Rangkaian LCD Grafik 16x2.....	42
3.4.8	Perancangan Rangkaian Kapasitor <i>Bank</i>	43
3.4.9	Perancangan Rangkaian <i>Power Supply</i>	43
3.4.10	Perancangan Rangkaian Detektor Beban	44
3.4.11	Perancangan Perangkat Lunak/ <i>Software</i>	44
3.5	Teknik Pengambilan Data	46
3.5.1	Data Pengujian Alat	46
3.6	Teknik Analisis Data.....	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		48
4.1	Pengujian Alat.....	48
4.1.1	Pengujian Sensor Tegangan	48
4.1.2	Pengujian Sensor Arus	49
4.1.3	Pengujian Rangkaian <i>Zero Crossing Detector</i>	49
4.1.4	Pengujian Rangkaian Detektor Beda Fase	50
4.1.5	Pengujian Rangkaian <i>Driver Relay</i>	52
4.1.6	Pengujian Rangkaian LED Indikator	53
4.1.7	Pengujian Rangkaian Detektor Beban	54
4.1.8	Pengujian Rangkaian Sistem Mikrokontroler Atmega32	55
4.1.9	Pengujian Alat Kompensator Faktor Daya Otomatis.....	56
4.2	Pembahasan	59
4.2.1	Pembahasan Alat.....	59
BAB V PENUTUP		74
5.1	Kesimpulan	74
5.2	Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN-LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Arus Bolak-Balik (AC)	6
Gambar 2.2	Segitiga Daya	11
Gambar 2.3	Arus Sefase Dengan Tegangan	13
Gambar 2.4	Bentuk Gelombang pada Beban Resitif	13
Gambar 2.5	Arus Tertinggal dari Tegangan Sebesar sudut ϕ	13
Gambar 2.6	Bentuk Gelombang pada Beban Induktif	14
Gambar 2.7	Arus Mendahului Tegangan Sebesar Sudut ϕ	14
Gambar 2.8	Bentuk Gelombang Kapasitif	14
Gambar 2.9	Pemasangan Kapasitor	15
Gambar 2.10	Analisis Daya dengan Adanya Kapasitor Paralel	16
Gambar 2.11	Kapasitor Pelat Sejajar	17
Gambar 2.12	Rangkaian Kapasitor Paralel	19
Gambar 2.13	Rangkaian Kapasitor Seri	20
Gambar 2.14	Rangkaian Resistor Pembagi Tegangan	21
Gambar 2.15	Sensor Arus	22
Gambar 2.16	Rangkaian Detektor Fase / <i>Zero Crossing Detector</i>	22
Gambar 2.17	Input dan Output pada Rangkaian Detektor Fase	23
Gambar 2.18	Konfigurasi Kaki (pin) IC Atmega32	26
Gambar 2.19	LCD Grafik 16x2	28
Gambar 2.20	<i>Electromechanical Relay</i>	29
Gambar 2.21	<i>Driver Relay</i> Menggunakan Transistor	30
Gambar 2.22	Rangkaian <i>Driver Relay</i> dengan IC ULN2003A	31
Gambar 2.23	Sistem Kontrol <i>Loop</i> Tertutup	32
Gambar 2.24	Sistem Kontrol <i>Loop</i> Terbuka	33
Gambar 3.1	Blok Diagram Perancangan Alat	38
Gambar 3.2	Rangkaian Sensor Tegangan	39
Gambar 3.3	Konstruksi sensor arus ZCT	40
Gambar 3.4	Bentuk fisik sensor arus ZCT	40
Gambar 3.5	Rangkaian <i>Zero Crossing Detector</i> / Detektor Beda Fase	41
Gambar 3.6	Rangkaian Minimum Sistem Atmega32	41
Gambar 3.7	Rangkaian Driver Relay	42
Gambar 3.8	LCD Grafik 16x2	42
Gambar 3.9	Rangkaian kapasitor bank	43
Gambar 3.10	Skema Rangkaian <i>Power Supply</i>	43
Gambar 3.11	Rangkaian Uji Detektor Beban	44
Gambar 3.12	Diagram Alir Program	45
Gambar 4.1	Rangkaian Uji Sensor Tegangan	48
Gambar 4.2	Sinyal Keluaran Sensor Tegangan	49
Gambar 4.3	Rangkaian Uji Sensor Arus	49
Gambar 4.4	Sinyal Keluaran Sensor Arus	49
Gambar 4.5	Rangkaian Uji <i>Zero Crossing Detector</i>	50
Gambar 4.6	Sinyal Masukan dan Keluaran <i>Zero Crossing Detector</i>	50
Gambar 4.7	Rangkaian Uji Detektor Beda Fase	51
Gambar 4.8	Keluaran Sinyal Detektor Beda Fase dengan Beban Induktif	51
Gambar 4.9	Keluaran Sinyal Detektor Beda Fase dengan Beban Resitif	51

Gambar 4.10 Keluaran Sinyal Detektor Beda Fase dengan Beban Kapasitif	52
Gambar 4.11 Rangkaian Uji <i>Driver Relay</i>	52
Gambar 4.12 Rangkaian Uji LED Indikator	53
Gambar 4.13 Rangkaian Uji Detektor Beban	54
Gambar 4.14 Rangkaian Uji Minimum Sistem Mikrokontroler Atmega32	55
Gambar 4.15 Rangkaian Uji Alat Kompensator Faktor Daya Otomatis.....	57
Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Nilai Faktor Daya pada Pengujian pertama ..	59
Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Nilai Faktor Daya pada Pengujian kedua	60
Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Nilai Faktor Daya pada Pengujian ketiga	60
Gambar 4.19 Bentuk gelombang sinyal beda fase hasil perbandingan dari sinyal step arus dan tegangan.....	61



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Fungsi Khusus Port B	26
Tabel 2.2 Fungsi Khusus Port C	27
Tabel 2.3 Fungsi Khusus Port D	27
Tabel 2.4 Pin LCD dan Fungsinya	28
Tabel 3.1 Data Pengujian Alat	46
Tabel 3.2 Data Perbandingan <i>cosphi</i> meter A dengan <i>cosphi</i> meter B	47
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Driver Relay	53
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Rangkaian LED Indikator	54
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Rangkaian Detektor Beban	54
Tabel 4.4 Hasil pengujian rangkaian sistem mikrokontroler Atmega32	56
Tabel 4.5 Data pengukuran dengan <i>cosphi</i> meter A dengan <i>cosphi</i> meter B ..	58
Tabel 4.6 Data hasil pengujian alat kompensator faktor daya otomatis	58



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Pengujian

Lampiran 2 Perhitungan Faktor Daya

Lampiran 3 Gambar Layout PCB Skema Rangkaian Alat

Lampiran 4 Gambar Alat Kompensator Faktor Daya Hasil Rancang Bangun

Lampiran 5 Listing Program Alat Kompensator Faktor Daya Secara Keseluruhan

Lampiran 6 Bukti Konsultasi Skripsi



ABSTRAK

Nuha, Muhammad Ulin. 2015. **Rancang Bangun Kompensator Faktor Daya Otomatis Sebagai Upaya Efisiensi Tenaga Listrik**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing (I) Farid Samsu Hananto, M.T (II) Umayyatus Syarifah, M.A

Kata kunci: Faktor daya, beban, induktif, kompensator, kapasitor, otomatis, mikrokontroler.

Alat-alat elektronika yang dipakai dalam rumah tangga maupun industri umumnya bersifat induktif. Beban induktif akan menyebabkan gelombang arus tertinggal dari gelombang tegangan, sehingga menyebabkan turunnya faktor daya ($\cos\phi$). Faktor daya yang rendah menyebabkan daya yang terpasang tidak dapat dimanfaatkan secara maksimal dan efisiensi daya listrik menjadi rendah. Kualitas daya yang baik memiliki nilai faktor daya di atas 0,85. Perbaikan faktor daya dapat dilakukan dengan memasang kompensator faktor daya berupa kapasitor yang dirangkai secara paralel dengan beban. Nilai kapasitor yang dipasang harus sesuai dengan nilai faktor daya yang akan diperbaiki. Nilai kapasitor yang terlalu besar dan melebihi batas nilai maksimum yang diperlukan oleh beban maka akan menyebabkan gelombang arus mendahului gelombang tegangan sehingga nilai faktor daya akan kembali menjadi rendah. Sistem pemasangan dan pengaturan nilai kapasitor dikontrol secara otomatis menggunakan mikrokontroler Atmega32 agar sesuai dengan kebutuhan beban. Penelitian ini bertujuan untuk membuat alat kompensator faktor daya otomatis sehingga dapat meningkatkan kualitas faktor daya pada beban induktif dan sebagai upaya efisiensi tenaga listrik. Metode penelitian yang digunakan adalah perancangan dan pembuatan alat serta studi eksperimental. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu telah dirancang bangun sebuah alat kompensator faktor daya otomatis. Hasil pengujian alat didapatkan nilai rata-rata kesalahan relatif pembacaan faktor daya sebesar 13.31%. Hasil pengujian pada lampu TL 18 watt dengan nilai faktor daya awal 0,47 dapat ditingkatkan menjadi 0,95. Lampu TL 40 watt dengan nilai awal 0,64 dapat ditingkatkan menjadi 0,95. Motor listrik 30 watt dengan nilai awal 0,88 dapat ditingkatkan menjadi 1. Motor listrik 50 watt dengan nilai awal 0,82 dapat ditingkatkan menjadi 0,99. Motor listrik 60 watt dengan nilai awal 0,85 dapat ditingkatkan menjadi 0,99.

ABSTRACT

Nuha, Mohammed Ulin . 2015. **Design of Automatic Power Factor Compensator As Efficiency of Electric Power . Thesis.** Physics Department, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor (I) Farid Samsu Hananto, M.T, (II) Umaiyyatus Syarifah, M.A

Keywords: power factor, inductive load, ballast, compensators, capacitors, automatic, microcontroller.

Electronic devices used in households and industry generally are inductive. Inductive load will cause the current wave lags from the voltage waveform, so that causing poor in power factor ($\cos\phi$). A low power factor causes the installed power can not be optimized and efficiency of electrical power becomes low. Good power quality has value power factor more than 0.85. Power factor improvement can be done by installing power factor compensator such as capacitors connected in parallel with the load. Installed capacitor value should be match with the value of the improvement of power factor. Capacitor value which has large and exceeds the limits of the maximum value required load, will cause the current waveform leading to the voltage waveform. So that the value of the power factor will move down. System installation and setting capacitor value were automatically controlled using a microcontroller ATmega32 in order to match load requirements. This study aims to create a tool automatic power factor compensator as to improve the quality of the power factor in inductive load and a efficiency of the electrical power. The automatic power factor compensator was already constructed. It has the average value of the relative error 13.31%. The test result in 18 watt fluorescent lamp with initial value of 0.47 can be increased to 0.95. In 40 watt fluorescent lamp with initial value of 0.64 can be increased to 0.95 . In 30 watt electric motor with an initial value of 0.88 can be increased to 1. In 50 watt electric motor with an initial value of 0.82 can be increased to 0.99. In 60 watt electric motor with an initial value of 0.85 can be increased to 0.99.

مستخلص البحث

النهى، مُجدّ أولي. ٢٠١٥. تصميم هندسة معامل القدرة التلقائية المعوض كجهود كفاءة استخدام الطاقة الكهربائية. البحث الجامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانق.

المشرف الأول : فريد شمس هانانطو الماجستير

المشرفة الثانية : أمية الشريفة الماجستير

الكلمات الرئيسية: معامل القدرة، تحميل، الاستقراء، المعوض، المكثفات، التلقائي، ميكروكونترولير

الأدوات الإلكترونية التي تستخدم في الأسرة المعيشية أو الصناعية عموماً تصنف حثية. تحميل الاستقرائي سوف يسبب ارتفاع موجه الجهد هو ترك التيارات، مما تسبب في انخفاض معامل القدرة (كوسفي). عامل الطاقة المنخفضة تسبب قوة تثبيت إلى أقصى حد. كيفية جيدة من الطاقة لها قيمة أعلى معامل القدرة ٠,٨٥. يمكن أن يتم تحسين معامل القدرة عن طريق تركيب مكثف في شكل السلطة بتجميعها المعوض عامل بالتوازي مع التحميل. يجب أن يتم تحميل قيمة المكثف وفقاً بتصحيح القيمة لمعامل القدرة. قيمة المكثف أكبر يتجاوز حدود الحد الأقصى للقيمة المطلوبة قبل التحميل سوف يسبب طفرة الحالية موجه الجهد يسبق القيمة حتى يكون معامل القدرة منخفض. ويهدف هذا البحث إلى جعل المعوض معامل الطاقة التلقائي أداة بحيث تحسين نوعية تحميل الاستقرائي معامل الطاقة وكفاءة الطاقة كمحاولة. وأسلوب البحث المستخدم هو تصميم وتصنيع الأدوات ودراسة تجريبية. من نتائج اختبار الأداة الحصول على متوسط قيمة الخطأ النسبي قراءة معامل القدرة بنسبة ١٣,٣١%. معامل الطاقة المعوض التلقائي أداة قادرة على تحسين قيم معامل الطاقة في الأحمال الاستقرائي. مصباح ١٨ وات مع القيمة الأولية ٠,٤٧ يمكن أن يزداد إلى ٠,٩٥. أن تتم ترقية المصباح ٤٠ وات مع القيمة الأولية ٠,٦٤ في ٠,٩٥. أن تتم ترقية المحركات الكهربائية ٣٠ وات مع القيم الأولية من ٠,٨٨ إلى ١. أن تتم ترقية محرك كهربائي ٥٠ وات مع قيمة أولية من ٠,٨٢ إلى ٠,٩٩. أن تتم ترقية محرك كهربائي ٦٠ وات مع قيمة أولية من ٠,٨٥ إلى ٠,٩٩.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurunnya kualitas faktor daya ($\cos \phi$) dalam suatu sistem tenaga listrik adalah sebuah masalah yang harus diminimalisir. Menurunnya kualitas faktor daya akan menyebabkan kerugian bagi konsumen dan pemasok energi listrik. Bagi konsumen, kerugiannya antara lain tegangan sistem menjadi drop, kapasitas daya tidak bisa dimaksimalkan, sehingga menyebabkan rendahnya efisiensi tenaga listrik dan kapasitas daya yang terpasang menjadi berkurang. Dilain pihak bagi pemasok, kerugian tersebut menyebabkan pemasok energi listrik harus mensuplai kapasitas daya yang lebih besar ke sistem.

Dalam pandangan al-Quran pada surat al Qamar(54):49

إِنَّا كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنَاهُ بِقَدَرٍ ﴿٤٩﴾

"*Sesungguhnya Kami menciptakan segala sesuatu menurut ukuran*". (Al Qamar: 49)

Menurut tafsir Jalalain, kata **قدر** diartikan sebagai ukuran. Ayat di atas mengisyaratkan bahwa Allah Swt menciptakan segala sesuatu menurut ukuran (As-Syuyuti, 2010). Berdasarkan tafsir tersebut, ayat di atas bermakna bahwa ukuran dalam hal ini dapat diartikan sebagai nilai, bilangan, dan ketetapan. Faktor daya merupakan rasio perbandingan antara daya aktif (kW) dan daya semu (kVA). Kualitas daya yang baik adalah jika ukuran nilai faktor daya di atas 0,85 atau mendekati 1. Sedangkan kualitas daya yang buruk jika ukuran nilai faktor daya dibawah 0.35. Besarnya nilai faktor daya dipengaruhi oleh seberapa besar nilai

sudut pergeseran fase gelombang arus dan gelombang tegangan. Menurut hukum fisika bahwa beban yang bersifat induktif bila dihubungkan dengan sumber arus listrik bolak-balik (AC) akan terjadi pergeseran fase gelombang, yaitu fase gelombang tegangan akan mendahului fase gelombang arus sebesar sudut 90° . Semakin kecil nilai sudut fase maka nilai faktor daya akan mendekati 1, dan kualitas daya akan menjadi semakin baik. Kualitas dan efisiensi daya listrik ditentukan oleh ukuran nilai faktor daya.

Pemakaian alat-alat elektronika dalam rumah tangga maupun industri umumnya banyak yang bersifat induktif seperti motor listrik, pompa air, kipas angin, trafo, AC, *ballast* lampu TL, dan sebagainya. Beban listrik yang bersifat reaktif induktif menyebabkan gelombang arus tertinggal dari gelombang tegangan, sehingga akan menyebabkan turunnya faktor daya (*cosphi*). Penggunaan beban yang bersifat induktif akan menimbulkan daya reaktif, dimana daya reaktif yang besar akan menurunkan nilai faktor daya. Semakin besar daya reaktif semakin besar pula daya semu (VA) yang harus di suplai ke sistem. Faktor daya yang buruk dapat menyebabkan rendahnya efisiensi tenaga listrik dan kapasitas daya yang terpasang menjadi berkurang.

Upaya efisiensi energi listrik dapat dilakukan dengan cara memperbaiki kualitas daya listrik. Kualitas daya yang baik akan memperbaiki *drop* tegangan, faktor daya, rugi-rugi daya, kapasitas daya dan efisiensi energi listrik. Salah satu upaya untuk meningkatkan efisiensi energi listrik adalah dengan memperbaiki faktor daya. Kualitas daya yang baik adalah jika nilai faktor daya di atas 0,85 atau mendekati nilai 1.

Industri pabrik banyak menggunakan mesin-mesin industri berupa motor listrik induksi. Pemakaian motor induksi akan menimbulkan daya reaktif. Daya reaktif yang besar akan mengakibatkan turunnya faktor daya. Sehingga kapasitas daya yang harus disuplai ke sistem menjadi semakin besar. Untuk konsumen industri yang menggunakan listrik PLN berkapasitas daya di atas 14 kVA, PLN memberlakukan denda bagi konsumen listrik industri yang beroperasi pada faktor daya rendah yaitu di bawah 0,85 yaitu berupa tambahan tagihan biaya daya listrik reaktif (kVARh). Pencatatan tagihan listrik tiap bulan tidak saja didasarkan pada besarnya pemakaian daya nyata (kWh), tetapi juga didasarkan oleh besarnya daya reaktif (kVARh) yang terjadi pada beban pemakaian daya listrik tersebut. Semakin besar daya reaktif yang terjadi maka semakin besar biaya denda kVARh yang harus dibayar oleh konsumen industri ke PLN. Jadi pencatatan pemakaian daya listrik untuk konsumen industri yang menggunakan kapasitas daya di atas 14 kVA berupa dua unit daya pemakaian listrik yaitu pemakaian daya listrik real/nyata (kWh) ditambah dengan besarnya daya listrik reaktif (kVARh). Hal tersebut yang menyebabkan besarnya biaya operasional industri.

Perbaikan faktor daya pada beban induktif dapat dilakukan dengan merangkai kapasitor *bank* secara paralel dengan beban induktif (Syafrianto, 2012). Beban listrik yang bersifat induktif menyebabkan gelombang arus tertinggal dari gelombang tegangan, sehingga mengakibatkan rendahnya faktor daya. Akibat dari faktor daya rendah adalah menyebabkan kerugian daya. Kerugian daya pada beban induktif dapat dikurangi dengan memasang kapasitor secara paralel pada jaringan instalasi listrik (Wihardiyono, 2011).

Kompensator daya reaktif konvensional umumnya yaitu hanya dengan memasang kapasitor bank secara paralel pada instalasi listrik. Model sistem pemasangan secara manual, biasanya nilai kapasitor yang dipasang nilainya tetap. Kelemahan dari pemasangan kapasitor secara manual, bila terjadi adanya perubahan beban, nilai kapasitas kapasitor bisa menjadi tidak sesuai dengan faktor daya yang akan diperbaiki, ini dikarenakan kapasitor yang dipasang nilainya tetap dan pemasangannya dibuat permanen pada instalasi jaringan listrik, sehingga akan menjadi tidak efisien dalam perbaikan faktor daya. Dalam perbaikan faktor daya, nilai kapasitor yang di pasang harus sesuai dengan faktor daya yang diperbaiki, sehingga efisiensi tenaga listrik menjadi meningkat dan energi listrik yang terpakai dapat di gunakan dengan lebih maksimal dan efisien.

Berdasarkan uraian di atas maka perlu dilakukan penelitian bagaimana memperbaiki dan meningkatkan nilai faktor daya sebagai upaya efisiensi tenaga listrik. Dalam penelitian ini akan dilakukan membuat rancang bangun kompensator faktor daya otomatis sebagai upaya efisiensi tenaga listrik. Alat yang akan di buat nantinya diharapkan mampu memperbaiki dan meningkatkan nilai faktor daya pada beban induktif secara otomatis. Kontroler sebagai pengendali kontrol otomatis yang digunakan adalah mikrokontroler Atmega32. Fungsi dari mikrokontroler Atmega32 adalah sebagai pemroses data masukan dan pengendali switch kontaktor kapasitor yang digunakan sebagai kompensator. Mikrokontroler akan mengatur *switch* kontaktor kapasitor mana yang aktif sesuai dengan input dari nilai faktor daya yang diukur oleh sensor. Alat ini diharapkan mampu memperbaiki nilai faktor daya agar mendekati nilai maksimum.

1.2 Rumusan masalah

1. Bagaimana merancang dan membuat alat yang mampu memperbaiki faktor daya pada beban induktif secara otomatis?
2. Bagaimana pengaruh pemakaian kompensator terhadap perbaikan faktor daya pada beban induktif?

1.3 Tujuan

1. Merancang dan membuat alat kompensator faktor daya otomatis.
2. Meningkatkan kualitas faktor daya pada beban induktif menggunakan kompensator faktor daya otomatis.

1.4 Manfaat

1. Menambah khazanah keilmuan tentang pemanfaatan kapasitor sebagai kompensator faktor daya untuk beban induktif.
2. Meningkatkan efisiensi tenaga listrik.
3. Meminimalisir daya reaktif yang ditimbulkan oleh beban induktif.

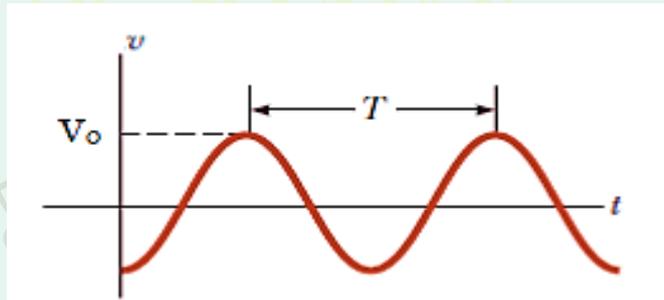
1.5 Batasan Masalah

1. Alat yang dirancang hanya untuk daya listrik satu fasa.
2. Sebagai pengontrol kompensator digunakan mikrokontroler Atmega32.
3. Alat kompensator yang di rancang hanya untuk mengkompensasi faktor daya jenis beban induktif.
4. Kapasitor yang digunakan sebagai kompensator yang akan dirancang terdiri dari 8 buah kapasitor, dengan tiap kapasitor berkapasitas 1 μF . Kapasitor dipasang paralel ke instalasi listrik menggunakan *relay*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Arus Bolak-Balik (*Alternating Current*)

Generator listrik pada pusat pembangkit tenaga listrik menghasilkan arus bolak-balik, atau AC (*alternating current*). Arus bolak-balik berubah arah terus beberapa kali setiap detiknya, sebagaimana ditunjukkan gambar 2.1. Elektron-elektron pada kawat pertama bergerak ke satu arah kemudian kearah sebaliknya. Arus yang dipasok ke rumah-rumah dan kantor-kantor oleh perusahaan listrik sebenarnya adalah arus AC untuk seluruh dunia (Giancoli, 2001: 78).



Gambar 2.1 Arus Bolak-Balik (Giancoli, 2001)

Tegangan yang dihasilkan oleh suatu generator listrik berbentuk sinusoidal. Dengan demikian arus yang dihasilkan juga sinusoidal. Maka dapat dituliskan tegangan sebagai fungsi waktu (Giancoli, 2001: 78):

$$V = V_0 \sin \omega t$$

$$V = V_0 \sin 2\pi ft \dots\dots\dots (2.1)$$

Potensial V berosilasi antara $+V_0$ dan $-V_0$. V_0 disebut sebagai tegangan puncak. Frekuensi f adalah jumlah osilasi lengkap yang terjadi per detik. Pada

sebagian besar daerah Amerika Serikat dan Kanada menggunakan frekuensi f sebesar 60 Hz. Di berbagai Negara, digunakan f sebesar 50 Hz (Giancoli, 2001).

Alat ukur besaran AC menunjukkan nilai *efektif* atau nilai *rms* arus maupun tegangan. Nilai-nilai ini selalu positif dan hubungannya dengan amplitudo nilai sesaatnya ialah (Bueche, 1989):

$$V = V_{rms} = \frac{V_0}{\sqrt{2}} = 0,707 V_0 \dots\dots\dots(2.2)$$

$$I = I_{rms} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = 0,707 I_0 \dots\dots\dots(2.3)$$

Dari hukum *Ohm*, jika sepanjang tegangan V ada resistor R , maka arus I adalah (Giancoli, 2001:78):

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V_0}{R} \sin 2\pi ft = I_0 \sin 2\pi ft \dots\dots\dots(2.4)$$

Arus yang berbentuk sinus dengan frekuensi f dan nilai efektif I mengalir resistor murni R , atau induktor murni L , atau kapasitor murni C . Maka suatu voltmeter AC yang dihubungkan pada unsur tersebut, akan menunjuk nilai rms V sebagai berikut (Bueche, 1989: 274):

$$\text{resistor murni: } V=IR \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{induktor murni: } V=IX_L \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana $X_L = 2\pi fL$ disebut reaktansi induktif dengan satuan ohm, L dinyatakan dalam *henry* dan f dalam *hertz*.

$$\text{kapasitor murni: } V=IX_C \dots\dots\dots(2.7)$$

$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ disebut reaktansi kapasitif, satuannya *ohm* dan C dalam satuan *farad*.

Bila tegangan AC dihubungkan pada resistor murni, maka tegangan dan arus yang mengalir resistor itu akan mencapai nilai maksimum pada saat yang bersamaan, demikian juga nilai nolnya dicapai pada saat yang bersamaan, dapat dikatakan tegangan dan arus tersebut adalah sefase (Bueche, 1989).

Bila tegangan AC dihubungkan pada induktansi murni, maka tegangan mencapai nilai maksimumnya pada saat $\frac{1}{4}$ siklus sebelum arus mencapai nilai maksimumnya, yakni tegangan mencapai nilai maksimumnya pada saat arus mencapai nilai nol. Ggl-balik pada induktansi menyebabkan arus dalam induktansi tertinggal $\frac{1}{4}$ siklus (atau 90^0) dari tegangannya, maka arus dan tegangan tidak sefase atau berbeda fase. Atau dapat dikatakan gelombang tegangan mendahului gelombang arus sebesar 90^0 (Bueche, 1989).

Bila tegangan AC dihubungkan pada kapasitor murni, tegangan akan tertinggal 90^0 dari arus yang mengalir kapasitor. Arus haruslah mengalir dahulu pada kapasitor sampai muatan di dalam kapasitor penuh, kemudian barulah terjadi beda potensial pada kapasitor (Bueche, 1989).

Impedansi (Z) rangkaian dengan resistansi, induktansi, dan kapasitansi yang berhubungan secara seri ialah (Bueche, 1989):

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan Z dalam ohm. jika tegangan V dihubungkan pada rangkaian seri, maka berlaku hukum mirip hukum Ohm (Bueche, 1989):

$$V=I.Z \dots\dots\dots (2.9)$$

Sudut fase antara V dan I adalah (Bueche, 1989):

$$\tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R} \dots \dots \dots (2.10)$$

atau

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} \dots \dots \dots (2.11)$$

Resonansi terjadi dalam rangkaian RLC seri bila $X_L = X_C$ pada keadaan demikian Z adalah minimum hingga I maksimum untuk nilai V tertentu. Dengan menyamakan X_L dengan X_C dapat diperoleh frekuensi resonansi rangkaian yakni (Bueche, 1989):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots \dots \dots (2.12)$$

Rugi daya (daya yang hilang) pada suatu tegangan AC sebesar V diberikan pada suatu impedansi. Tegangan ini akan menimbulkan arus I dalam impedansi dan sudut fase antara V dan I adalah φ . Maka daya yang hilang dalam impedansi adalah sebesar (Bueche, 1989):

$$\text{Rugi daya} = VI \cos \varphi \dots \dots \dots (2.13)$$

Besaran $\cos \varphi$ dinamai faktor daya. untuk resistor murni nilai faktor daya adalah satu, pada induktor ataupun kapasitor murni faktor ini nol, artinya tidak ada daya yang hilang dalam induktor ataupun kapasitor murni (Bueche, 1989).

2.2 Daya Listrik

Daya didefinisikan sebagai energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang

digunakan untuk melakukan kerja atau usaha, seperti panas, cahaya, mekanik, suara. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan *Watt* atau *Horsepower* (HP), *Horsepower* merupakan satuan daya listrik dimana 1 HP setara 746 Watt atau lbft/second. Sedangkan Watt merupakan unit daya listrik dimana 1 Watt memiliki daya setara dengan daya yang dihasilkan oleh perkalian arus 1 Ampere dan tegangan 1 Volt (Yasin, 2013).

2.2.1 Daya Aktif

Daya aktif (*Active Power*) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah *watt*. Misalnya energi panas, cahaya, mekanik dan lain – lain. Daya aktif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini (Yasin, 2013):

$$P = V \cdot I \cos \varphi \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

P = Daya (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

$\cos \varphi$ = Faktor daya

2.2.2 Daya Semu

Daya semu (*apparent power*) merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi. Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan *rms* dan arus *rms* dalam suatu jaringan listrik atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri antara daya aktif dan daya reaktif. Satuan daya

nyata adalah VA(volt ampere). Daya Semu dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini (Yasin, 2013):

$$S = V.I \dots\dots\dots (2.15)$$

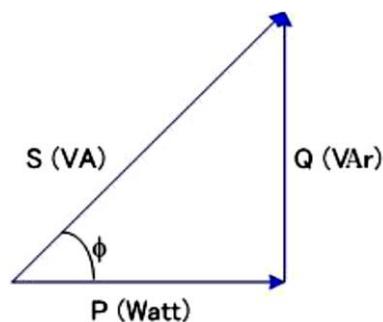
2.2.3 Daya Reaktif

Daya reaktif (*reactive power*) adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk *fluks* medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu TL dan lain – lain. Satuan daya reaktif adalah VAR. Daya Reaktif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini (Yasin, 2013):

$$Q = V.I \sin \phi \dots\dots\dots (2.16)$$

2.2.4 Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematis antara tipe-tipe daya yang berbeda (daya aktif, reaktif dan semu) berdasarkan prinsip trigonometri. Berikut gambar segitiga daya dapat dilihat pada gambar 2.2 (Yasin, 2013):



Gambar 2.2 Segitiga Daya (Yasin, 2013)

2.2.5 Kualitas Daya Listrik (*power quality*)

Kualitas daya listrik (*power quality*) adalah syarat umum yang menggambarkan karakteristik parameter catuan seperti arus, tegangan dan frekuensi (Yafet, 2007).

Permasalahan mengenai daya listrik (*power quality*) merupakan permasalahan mengenai daya listrik yang mengalami penyimpangan baik tegangan, arus dan frekuensi sehingga menimbulkan kegagalan atau kesalahan operasi pada peralatan. Suplai daya listrik dari generator pembangkit sampai ke beban dioperasikan dalam batas toleransi parameter kelistrikan seperti tegangan, arus frekuensi dan bentuk gelombang. Perubahan dan deviasi di luar batas toleransi parameter tersebut sangat berpengaruh terhadap kualitas daya yang menyebabkan operasi tidak efisien dan dapat merusak perangkat (Dugan, 1996).

Kualitas daya listrik banyak dipengaruhi antara lain oleh beban-beban induktif, beban *non-linier*, ketidak seimbangan pembebanan, *transient*, *flicker* dan lain-lain. Penurunan kualitas daya dapat menyebabkan peningkatan rugi-rugi pada sisi beban, bahkan menyebabkan penurunan kapasitas daya pada sumber pembangkit (Dugan, 1996).

2.2.6 Faktor Daya

Faktor daya (*power factor*) atau sering disebut $\cos\phi$ dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (P) dan daya semu (S) yang digunakan dalam sirkuit AC atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam $\cos\phi$. Faktor daya di hitung dengan persamaan 2.17 (Yasin, 2013):

$$\text{faktor daya} = \frac{\text{daya aktif (P)}}{\text{daya semu (S)}} \dots\dots\dots (2.17)$$

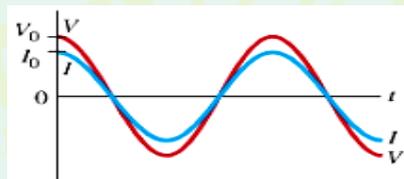
Dalam sistem tenaga listrik dikenal 3 jenis faktor daya (Hamzah, 2012):

A. Faktor Daya *Unity*

Faktor daya *unity* adalah keadaan saat nilai $\cos \phi$ adalah satu, tegangan sefasa dengan arus. Faktor daya *Unity* akan terjadi bila jenis beban adalah resistif murni (Hamzah, 2013):



Gambar 2.3 Arus Sefase dengan Tegangan (Hamzah, 2013)

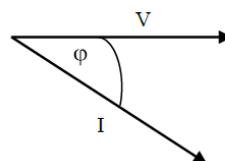


Gambar 2.4 Bentuk Gelombang pada Beban Resitif (Hamzah, 2013)

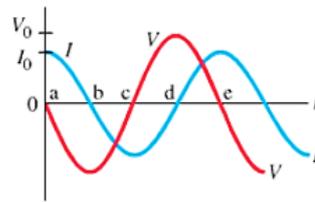
B. Faktor Daya Tertinggal (*Lagging*)

Faktor daya terbelakang (*lagging*) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut (Hamzah, 2013):

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



Gambar 2.5 Arus Tertinggal dari Tegangan Sebesar Sudut ϕ (Hamzah, 2013)

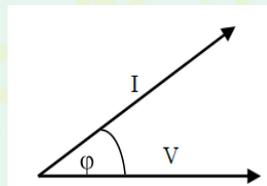


Gambar 2.6 Bentuk Gelombang Beban Induktif (Hamzah, 2013)

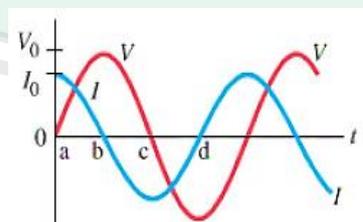
C. Faktor Daya Mendahului (Leading)

Faktor daya mendahului (*leading*) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut (Hamzah, 2013):

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



Gambar 2.7 Arus Mendahului Tegangan Sebesar Sudut ϕ (Hamzah, 2013)



Gambar 2.8 Bentuk Gelombang Beban Kapasitif (Hamzah, 2013)

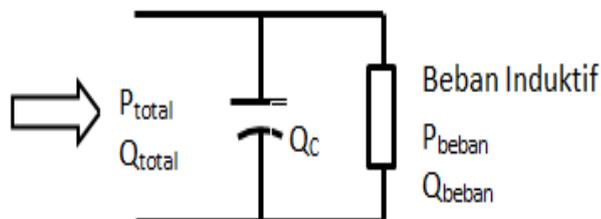
2.2.7 Perbaikan Faktor Daya

Faktor daya yang rendah dihasilkan oleh peralatan elektronika yang bersifat induktif, seperti motor induksi, *ballast* transformator yang memerlukan arus magnetisasi reaktif untuk gerakannya. Medan magnet dari peralatan tersebut

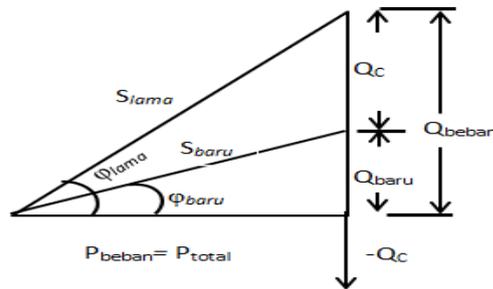
memerlukan arus yang tidak melakukan kerja yang bermanfaat dan tidak mengakibatkan panas atau daya mekanis, tetapi yang diperlukan hanyalah untuk membangkitkan medan (Neidle, 1999).

Faktor daya berhubungan dengan daya reaktif Q , daya reaktif Q adalah daya yang hilang maka diharapkan daya rata-rata P bernilai besar dan harga Q sekecil mungkin. Idealnya nilai faktor daya mendekati 1 atau $\cos\phi$ atau jenis beban resistif. Hal ini sulit dilakukan karena pada kenyataannya di industri terdapat banyak motor-motor listrik sebagai penggerak peralatan produksi. Motor listrik adalah gambaran adanya nilai-nilai X_L dengan demikian harga Q menjadi besar ($X_L > X_C$). Faktor daya semakin kecil atau $\cos\phi$ makin besar akan semakin banyak daya yang hilang dibanding daya yang dimanfaatkan, atau semakin besar nilai daya reaktif (VAR) di banding daya aktif (Watt). Hal ini merugikan baik bagi pengguna instalasi maupun bagi pihak pembangkit pemberi daya (Astuti, 2011).

Instalasi listrik dengan nilai daya reaktif (VAR) tinggi dapat dikoreksi dengan cara memasang kapasitor atau generator sinkron secara paralel pada instalasi listrik. Mengingat kapasitor atau generator sinkron mempunyai nilai X negatif. Pemasangan kapasitor dapat di gambarkan pada gambar 2.9 dan analisis daya dengan adanya kapasitor pada gambar 2.10 (Astuti, 2011):



Gambar 2.9 Pemasangan Kapasitor



Gambar 2.10 Analisis Daya dengan Adanya Kapasitor Paralel

$$P_{total} = P_{beban} + P_C$$

$$= P_{beban} + 0$$

$$Q_{total} = Q_{beban} + Q_C$$

$$\cos\phi_{lama} = \frac{P_{beban}}{S_{lama}} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$\cos\phi_{baru} = \frac{P_{beban}}{S_{baru}} \dots\dots\dots(2.19)$$

Nilai daya pada kapasitor paralel (Astuti, 2011):

$$-Q_C = \frac{V^2}{X_C}$$

$$X_C = \frac{V^2}{Q_C} \dots\dots\dots(2.20)$$

Mencari nilai kapasitansi dapat digunakan persamaan 2.21 (Astuti, 2011):

$$X_C = \frac{1}{\omega_C}$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} \dots\dots\dots(2.21)$$

Kapasitor yang digunakan untuk memperbesar pf dipasang paralel dengan rangkaian beban. Bila rangkaian diberi tegangan maka elektron akan mengalir

masuk ke kapasitor. Pada saat kapasitor penuh dengan muatan electron maka tegangan akan berubah. Kemudian electron akan ke luar dari kapasitor dan mengalir ke dalam rangkaian yang memerlukannya dengan demikian pada saat itu kapasitor membangkitkan daya reaktif. Bila tegangan yang berubah itu kembali normal (tetap) maka kapasitor akan menyimpan kembali elektron. Pada saat kapasitor mengeluarkan elektron (I_c) berarti sama juga kapasitor menyuplai daya reaktif ke beban. Keran beban bersifat induktif (+) sedangkan daya reaktif bersifat kapasitif(-) akibatnya daya reaktif yang berlaku menjadi kecil (Sutrisna.K.F, 2010).

Cara pemasangan instalasi kapasitor dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu (Sutrisna.K.F, 2010):

1. *Global Compensation*

Kapasitor dipasang di induk panel (MDP). Arus yang turun dari pemasangan model ini hanya dipenghantar antara panel MDP dan transformator. Sedangkan arus yang lewat setelah MDP tidak turun. Dengan demikian rugi akibat disipasi panas pada penghantar setelah MDP tidak terpengaruh.

2. *Sectoral compensation*

Kapasitor yang terdiri dari beberapa panel kapasitor dipasang dipanel SDP. Cara ini cocok diterapkan pada industri dengan kapasitas beban terpasang besar sampai ribuan kVA dan terlebih jarak antara panel MDP dan SDP cukup jauh.

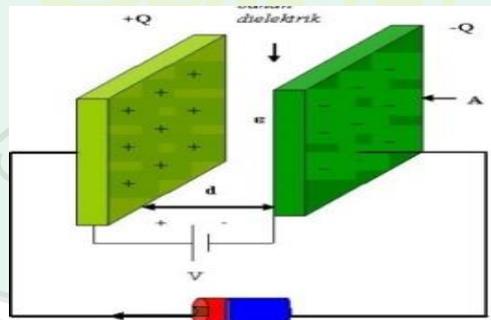
3. *Individual compensation*

Kapasitor langsung dipasang pada masing-masing beban khususnya yang mempunyai daya yang besar. Cara ini sebenarnya lebih efektif dan lebih baik

dari segi teknisnya. Namun ada kekurangannya, yaitu harus menyediakan ruang atau tempat khusus untuk meletakkan kapasitor tersebut sehingga mengurangi nilai estetika. Disamping itu jika mesin yang dipasang sampai ratusan buah berarti total cost yang diperlukan lebih besar dari metode di atas.

2.3 Kapasitor

Kapasitor terkadang disebut kondensator, adalah sebuah alat yang dapat menyimpan muatan listrik, dan terdiri dari dua benda yang merupakan penghantar (biasanya plat atau lembaran) yang diletakkan berdekatan atau sejajar tetapi tidak saling menyentuh. Sebuah kapasitor biasanya terdiri dari sepasang plat sejajar dengan luas A yang dipisahkan oleh jarak d yang kecil (Giancoli, 2001).



Gambar 2.11 Kapasitor Plat Sejajar (Giancoli, 2001)

Jika kapasitor diberi tegangan dengan menghubungkannya ke sebuah baterai, maka kapasitor akan cepat menjadi bermuatan. Salah satu plat akan bermuatan positif, dan plat yang lain bermuatan negatif dengan jumlah yang sama. Untuk suatu kapasitor tertentu, jumlah muatan Q yang didapat oleh setiap plat sebanding dengan beda potensial V (Giancoli, 2001):

$$Q = CV \dots\dots\dots (2.22)$$

Konstanta pembanding C , pada hubungan ini disebut kapasitansi dari kapasitor tersebut. Satuan kapasitansi adalah *coulomb* per volt, dan satuannya disebut *farad* (F). Sebagian besar kapasitor memiliki kapasitansi dalam kisaran 1 pF (*pikofarad* = 10^{-12} F) sampai 1 μ F (*microfarad* = 10^{-6} F) (Giancoli, 2001).

Kapasitor plat (keping) paralel terdiri dari dua keping logam terpasang sejajar pada jarak pisah d meter yang jauh lebih kecil dari luas keping A m². Kapasitansi C kapasitor adalah (Bueche, 1989):

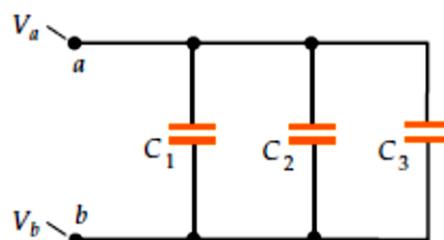
$$C = K\epsilon_0 \frac{A}{d} \dots\dots\dots (2.23)$$

dimana K adalah konstanta dielektrik zat yang mengisi ruang antara kedua plat dan ϵ_0 adalah permivitas bahan.

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

Untuk vakum $K=1$, sehingga kapasitor yang berisi zat dielektrik kapasitansinya adalah K kali lebih besar dari pada kapasitor yang berisi vakum. hal ini berlaku juga untuk kapasitor lain apapun bentuknya (Bueche, 1989).

Kapasitor dengan jumlah dua atau lebih dapat dirangkai secara kombinasi paralel dan seri. Untuk rangkaian kapasitor paralel ditunjukkan pada gambar 2.12 (Tipler, 2008):

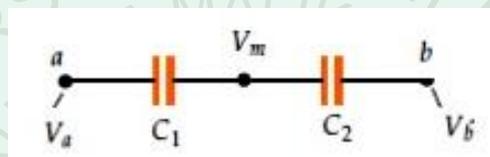


Gambar 2.12 Rangkaian kapasitor paralel (Tipler, 2008)

Kapasitansi *equivalent* C_{eq} pada tiga buah kapasitor atau lebih yang terhubung paralel dapat dicari dengan persamaan (Tipler, 2008):

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots \dots \dots (2.24)$$

Hubungan kombinasi kapasitor secara seri ditunjukkan gambar 2.13 (Tipler, 2008):



Gambar 2.13 Rangkaian kapasitor seri (Tipler, 2008)

Kapasitansi ekuivalen C_{eq} pada kapasitor yang terhubung seri dapat dicari dengan persamaan 2.25 (Tipler, 2008):

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \dots \dots \dots (2.25)$$

Sedangkan untuk tiga kapasitor atau lebih yang terhubung seri

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \dots \dots (2.26)$$

Sebuah kapasitor yang bermuatan menyimpan energi listrik. Energi yang tersimpan pada kapasitor akan sama dengan kerja yang dilakukan untuk memuat kapasitor. Efek total pemuatan kapasitor adalah memindahkan muatan dari satu plat dan menambahkannya ke plat yang lain. Inilah yang dikerjakan oleh baterai ketika dihubungkan ke kapasitor (Giancoli, 2001).

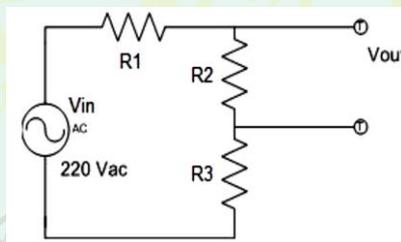
Energi listrik W yang tersimpan dalam kapasitor yang bermuatan q dan mempunyai beda potensial V adalah (Bueche, 1989):

$$W = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \dots\dots\dots (2.27)$$

2.4 Sensor

2.4.1 Sensor Tegangan

Untuk mengambil sinyal tegangan agar bisa dibaca oleh rangkaian fase detektor digunakan resistor pembagi tegangan dipasang secara paralel antara fase dengan netral seperti pada gambar 2.14. Fungsi resistor ini adalah untuk menurunkan tegangan dari tegangan sumber menjadi tegangan yang dikehendaki. Selain itu juga penggunaan resistor tidak merubah harga beda fase yang terjadi pada beban induktif yang terpasang (Ardikusuma, 2006).



Gambar 2.14 Rangkaian resistor pembagi tegangan (Ardikusuma, 2006)

Besarnya nilai V_{out} dapat dihitung dengan persamaan 2.21 (Ardikusuma, 2006):

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \times V_{in} \dots\dots\dots (2.28)$$

2.4.2 Sensor Arus

Sensor arus jenis ZCT (*Zero Current Transformer*) cara pengoperasiannya dengan cara melilitkan kabel satu fasa yang menuju beban pada lingkaran fisik dari ZCT. ZCT akan membaca arus yang mengalir kebeban dengan cara mengeluarkan tegangan AC dari dua buah kabel keluaran ZCT (Syafrianto, 2012).

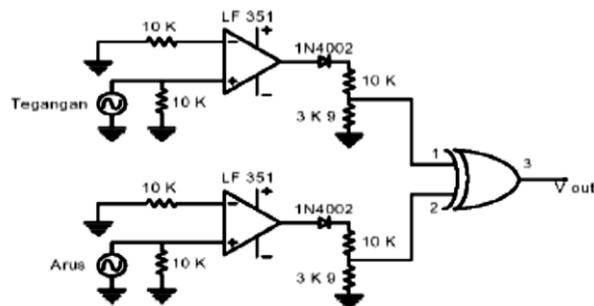


Gambar 2.15 Sensor arus (www.artofcircuit.com)

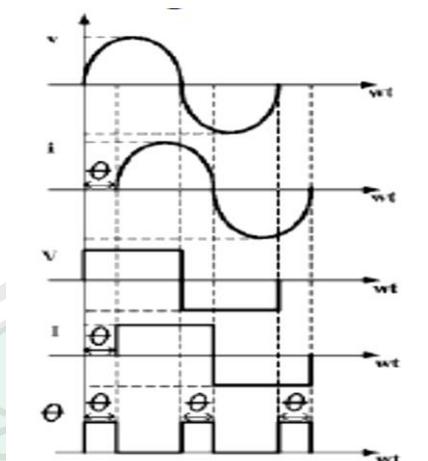
2.5 Zero Crossing Detector dan Detektor Beda Fase

Rangkaian *zero crossing detector* berfungsi mendeteksi titik persilangan nol fase sinyal arus dan tegangan. Rangkaian *zero crossing detector* juga berfungsi mengubah bentuk fase sinyal sinusoida menjadi bentuk sinyal *step* (kotak). Rangkaian *zero crossing detector* dibuat menggunakan IC komparator.

Rangkaian detektor beda fase berfungsi untuk mendeteksi perbedaan sudut fase antara tegangan dan arus yang mengalir ke beban. Detektor fase dibuat menggunakan komparator dan gerbang logika XOR. Gerbang logika XOR digunakan untuk mengetahui nilai beda sudut fase. Nilai perbedaan sudut fase didapat dengan menghitung selang waktu antara tegangan naik dan tegangan turun pada keluaran gerbang logika XOR. Rangkaian detektor fase ini ditunjukkan pada Gambar 2.16, serta sinyal input dan output pada rangkaian *zero crossing detector* dapat dilihat pada Gambar 2.17. (Ardikusuma, 2006).



Gambar 2.16 Rangkaian Detektor Fase/ Zero Crossing Detektor (Ardikusuma, 2006)



Gambar 2.17 Input dan Output pada Rangkaian Detektor Fase (Ardikusuma, 2006)

2.6 Mikrokontroller

Mikrokontroller adalah sebuah computer kecil (*“special purpose computers”*) di dalam satu IC yang berisi CPU, memori, *timer*, saluran komunikasi *serial* dan *paralel*, *port input/output*, ADC. Mikrokontroller digunakan untuk suatu tugas dan menjalankan suatu program. Mikrokontroller banyak diterapkan pada ponsel, *microwave*, *oven*, televisi, mesin cuci, sistem keamanan rumah, PDA, dan lain-lain. Keuntungan menggunakan mikrokontroller yaitu harganya murah, dapat diprogram berulang kali, dan dapat diprogram sesuai dengan keinginan. Saat ini jenis mikrokontroller yang ada dipasaran yaitu Intel 8048 dan 8051(MCS51), Motorola 68HC11, Microchip PIC, Hitachi H8, dan Atmel AVR (Andrianto, 2013).

2.6.1 Mikrokontroller ATMEL AVR RISC Atmega32

Salah satu mikrokontroller yang banyak digunakan saat ini yaitu mikrokontroller AVR. IC mikrokontroller keluarga AVR diantaranya yaitu Atmega8, Atmega328, Atmega16, Atmega32, Atmega8535 dan sebagainya. AVR

adalah mikrokontroler RISC (*Reduce Instruction Set Compute*) 8 bit berdasarkan arsitektur Harvard, yang dibuat oleh Atmel pada tahun 1996. AVR mempunyai kepanjangan *Advanced Versatile RISC* atau *Alf and Vegard's Risc processor* yang berasal dari nama dua mahasiswa Norwegian Institute of Technology (NTH), yaitu Alf-Egil Bogen dan Vegard Wollan (Andrianto, 2013).

AVR memiliki keunggulan dibandingkan dengan mikrokontroler lain. Keunggulan mikrokontroler AVR yaitu AVR memiliki kecepatan eksekusi program yang lebih cepat karena sebagian besar instruksi dieksekusi dalam satu siklus *clock*, lebih cepat dibandingkan dengan mikrokontroler MCS51 yang memiliki arsitektur CIS (*Complex Instruction Set Computer*) dimana mikrokontroler MCS51 membutuhkan 12 siklus *clock* untuk mengeksekusi 1 instruksi. Selain itu, mikrokontroler AVR memiliki fitur yang lengkap (ADC internal, EEPROM internal, timer/counter, watchdog timer, PWM, port I/O, komunikasi serial, komparator, I2C, dll.), sehingga dengan fasilitas yang lengkap ini, programmer dan designer dapat menggunakannya untuk berbagai aplikasi sistem elektronika seperti robot, otomasi industri, peralatan telekomunikasi, dan berbagai keperluan lain (Andrianto, 2013).

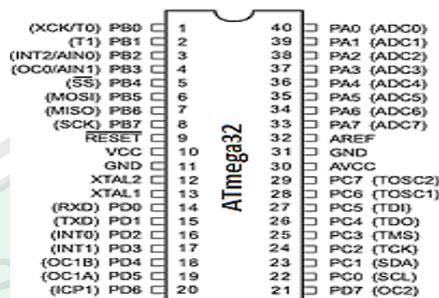
2.6.2 Fitur Atmega32

Fitur-fitur yang dimiliki Atmega32 sebagai berikut (Atmel, 2009):

1. Mikrokontroler AVR 8 bit yang memiliki kemampuan tinggi dengan daya rendah.
2. Arsitektur RISC dengan *throughput* mencapai 16 MIPS pada frekuensi 16 MHz.

3. Kapasitas *Flash* memori 32 Kbyte, EEPROM 1 Kbyte dan SRAM 2 Kbyte.
4. Saluran I/O (*input/output*) sebanyak 32 buah, yaitu *port A*, *port B*, *port C*, dan *port D*.
5. CPU yang terdiri atas 32 buah *register*.
6. Unit interupsi internal dan eksternal.
7. *Port* USART untuk komunikasi serial.
8. Fitur *peripheral*
 - Tiga buah *timer/counter* dengan kemampuan perbandingan.
 - ◇ 2 (dua) buah *timer/counter* 8 bit dengan *prescaler* terpisah dan mode *compare*.
 - ◇ 1 (satu) buah *timer/counter* 16 bit dengan *prescaler* terpisah, *mode compare*, dan *mode capture*.
 - *Real Time Counter* dengan *Oscillator* tersendiri
 - 4 channel PWM.
 - 8 channel, 10 bit ADC
 - ◇ 8 *Single-ended channel*
 - ◇ 7 *Differential channel* hanya pada kemasan TQFP
 - ◇ 2 *Differential channel* dengan *Programmable Gain* 1x, 10x, atau 200x
 - *Byte-oriented Two-wire Serial Interface*
 - *Programmable Serial* USART
 - Antarmuka SPI
 - *Watchdog Timer* dengan *oscillator internal*
 - *On-chip Analog Comparator*

2.6.3 Konfigurasi Pin AVR Atmega32



Gambar 2.18 Konfigurasi kaki (pin) IC Atmega32 (Atmel, 2009)

Konfigurasi pin Atmega32 dengan kemasan 40 pin DIP (*Dual In-line Package*) dapat dilihat pada gambar 2.18, dari gambar dapat dijelaskan fungsi dari masing-masing pin Atmega32 sebagai berikut (Atmel, 2009):

1. VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai masukan catu daya.
2. GND merupakan pin *Ground*
3. *Port A* (PA0..PA7) merupakan pin *input/output* dua arah dan pin masukan ADC.
4. *Port B* (PB0..PB7) merupakan pin *input/output* dua arah dan pin fungsi khusus, seperti dapat dilihat pada table di bawah ini:

Tabel 2.1 Fungsi khusus *Port B*

Pin	Fungsi Khusus
PB7	SCK (SPI Bus Serial Clock)
PB6	MISO (SPI Bus Master Input/Slave Output)
PB5	MOSI (SPI Bus Master Output/Slave Input)
PB4	SS (SPI Slave Select Input)
PB3	AIN1 (Analog Comparator Negative Input) OC0 (Timer/Counter0 Output Compare Match output)
PB2	AIN0 (Analog Comparator Positive Input) INT2 (External Interrupt 2 input)
PB1	T1 (Timer/Counter1 External Counter Input)
PB0	T0/T1 (Timer/Counter0 External Counter Input) XCK (USART External Clock Input/Output)

5. *Port C* (PC0 - PC7) merupakan *pin input/output* dua arah dan *pin fungsi khusus*, seperti dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.2 Fungsi khusus *Port C*

Pin	Fungsi Khusus
PC7	TOSC2 (<i>Timer Oscillator Pin2</i>)
PC6	TOSC1 (<i>Timer Oscillator Pin1</i>)
PC5	TDI (<i>JTAG Test Data In</i>)
PC4	TDO (<i>JTAG Test Data Out</i>)
PC3	TMS (<i>JTAG Test Mode Select</i>)
PC2	TCK (<i>JTAG Test Clock</i>)
PC1	SDA (<i>Two-wire Serial Bus Data Input/Output Line</i>)
PC0	SCL (<i>Two-wire Serial Bus Clock Line</i>)

6. *Port D* (PD0 - PD7) merupakan *pin input/output* dua arah dan *pin fungsi khusus*, seperti dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.3 Fungsi khusus *Port D*

Pin	Fungsi Khusus
PD7	OC2 (<i>Timer/Counter2 Output Compare Match Output</i>)
PD6	ICP (<i>Timer/Counter1 Input Capture Pin</i>)
PD5	OC1A (<i>Timer/Counter1 Output Compare A Match Output</i>)
PD4	OC1B (<i>Timer/Counter1 Output Compare B Match Output</i>)
PD3	INT1 (<i>External Interrupt 1 Input</i>)
PD2	INT0 (<i>External Interrupt 0 Input</i>)
PD1	TXD (<i>USART Output Pin</i>)
PD0	RXD (<i>USART Input Pin</i>)

7. *RESET* merupakan *pin* yang digunakan untuk me-reset Mikrokontroler.
8. XTAL₁ dan XTAL₂ merupakan *pin* masukan *clock* eksternal.
9. AVCC merupakan *pin* masukan tegangan untuk ADC.
10. AREF merupakan *pin* masukan tegangan referensi ADC

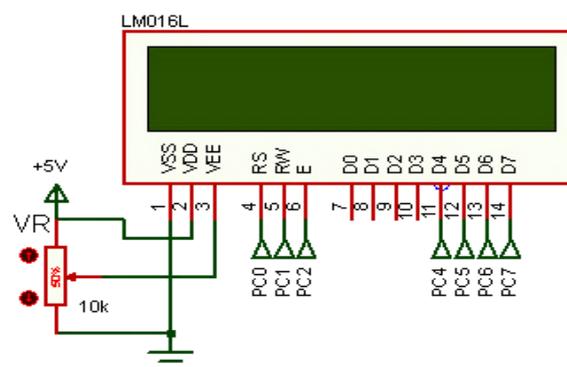
2.6.4 Pemrograman Mikrokontroler AVR

Mikrokontroler AVR buatan Atmel dapat diprogram menggunakan *software CodeVision AVR*. *CodeVision AVR* merupakan *software C-cross*

compiler, dimana program dapat ditulis dalam bahasa C, *CodeVision* memiliki IDE (*Integrated Development Environment*) yang lengkap, di mana penulisan program, *compile link*, pembuatan *code* mesin (*assembler*) dan *download* program ke *chip* AVR dapat dilakukan pada *CodeVision*, selain itu ada fasilitas terminal, yaitu untuk melakukan komunikasi *serial* dengan Mikrokontroler yang sudah di program. Proses *download* program ke IC Mikrokontroler AVR dapat menggunakan sistem *download* secara ISP (*In-Sistem Programming*). *In-Sistem Programmable Flash on-chip* mengizinkan memori program untuk diprogram ulang dalam sistem menggunakan hubungan *serial* SPI. Mikrokontroler dapat juga diprogram dengan bahasa pemrograman *bascom* (Andrianto, 2013).

2.7 LCD

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah suatu *display* dari bahan cairan kristal yang pengopreasiannya menggunakan sistem *dot matriks*. LCD banyak digunakan sebagai *display* dari alat-alat elektronika seperti kalkulator, multimeter, jam digital dan sebagainya. Karakter angka atau huruf yang ditampilkan oleh LCD harus dibuat dulu dalam program mikrokontroler (Andrianto, 2013).



Gambar 2.19 LCD Grafik 16x2 (Andrianto, 2013)

Tabel 2.4 Pin LCD dan Fungsinya

PIN	Nama Pin	Fungsi
1	VSS	Ground voltage
2	VCC	+5v
3	VEE	Contrast voltage
4	RS	Register Select 0 = Instruction register, 1 = Data Register
5	R/W	Read/write, to choose write or read mode 0 = write mode, 1 = disable
6	E	Enable 0 = start to lacht data to LCD character 1 = disable
7	DB0	Data bit ke-0 (LSB)
8	DB1	Data bit ke-1
9	DB2	Data bit ke-2
10	DB3	Data bit ke-3
11	DB4	Data bit ke-4
12	DB5	Data bit ke-5
13	DB6	Data bit ke-6
14	DB7	Data bit ke-7 (MSB)
15	BPL	Back Plane Light
16	GND	Ground voltage

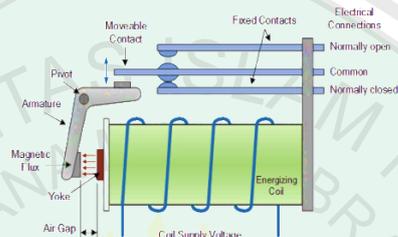
2.8 Relay

Electromechanical Relay adalah jenis *relay* yang menggunakan gaya elektromagnetik untuk membuka atau menutup *switch*. Bila suatu kumparan diberi tegangan listrik maka akan timbul gaya elektromagnetik yang akan menarik *armature* sehingga terjadi kontak dengan suatu inti *switch* (Anonim).

Tegangan listrik yang diberikan pada kumparan (*coil*) sangat kecil jika dibandingkan dengan tegangan kontak. Pada tegangan kontak perlu diperhitungkan besar tegangan dan arus AC dan DC yang akan terhubung sedangkan pada kumparan cukup memperhitungkan tegangan dan tahanan kumparan (Anonim).

Relay terdiri dari beberapa variasi ukuran, konfigurasi kontak dan kemampuannya mengatasi daya. Mulai dari yang berukuran kecil yang dapat

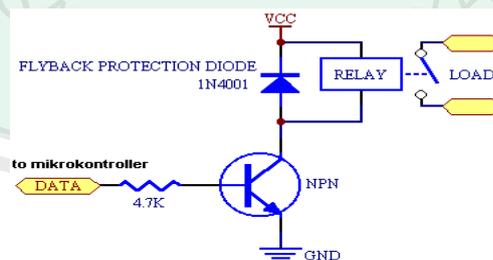
dipasang pada *circuit board* dan diberi daya kecil langsung dari gerbang logika. Bisa juga berupa *relay* daya yang mampu mengontakkan daya dengan arus besar hingga 50 A. Jenis ini sering juga disebut *contactor*.



Gambar 2.20 *Electromechanical Relay* (www.electronics-tutorials.ws)

2.9 Driver Relay

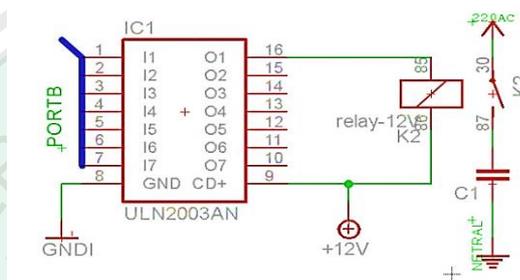
Untuk menggerakkan *relay*, daya (arus/tegangan) dari mikrokontroler kurang mencukupi sehingga perlu penguat (*driver*). *Driver relay* paling sederhana biasanya terdiri dari sebuah transistor (Anonim, 2013):



Gambar 2.21 *Driver Relay Menggunakan Transistor*

Driver relay menggunakan IC *driver* memiliki beberapa kelebihan, contohnya pada IC ULN2003A dapat digunakan untuk menggerakkan tujuh buah relay. IC ULN2003A adalah sebuah IC yang memiliki 7 bit input, dan 7 output. tegangan maksimum 50 Volt dan arus 500mA. IC ini termasuk jenis TTL. Di dalam IC ini terdapat transistor *darlington*. Transistor *darlington* merupakan 2

buah transistor yang dirangkai dengan konfigurasi khusus untuk mendapatkan penguatan ganda sehingga dapat menghasilkan penguatan arus yang besar (Anonim, 2013).



Gambar 2.22 Rangkaian *Driver Relay* dengan IC ULN2003A

2.10 Kontrol Otomatis

Kontroler berfungsi membandingkan nilai yang sebenarnya dengan keluaran *plant* dengan nilai (*set point*) yang diinginkan, menentukan deviasi dan menghasilkan suatu sinyal kontrol yang akan memperkecil deviasi sampai nol atau sampai suatu nilai yang kecil. Cara kontroler menghasilkan sinyal kontrol disebut aksi pengontrolan (Ogata, 1991).

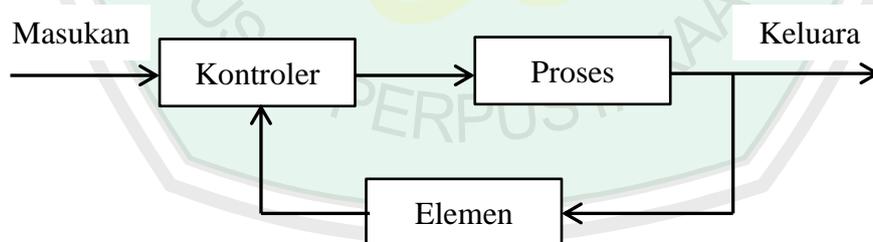
Kontrol didefinisikan sebagai operasi pengaturan beberapa obyek untuk tujuan tertentu. Pada kontrol manual, yang bertindak sebagai kontrol adalah manusia. Sedangkan pada kontrol otomatis, peran manusia sebagai operator digantikan oleh peralatan mekanik maupun elektronik. Kontrol otomatis membandingkan harga yang sebenarnya dari keluaran "*plant*" dengan harga yang diinginkan, menentukan deviasi, dan menghasilkan sinyal kontrol yang akan memperkecil deviasi sampai nol atau sampai suatu harga yang kecil. Cara kontrol otomatis menghasilkan sinyal kontrol disebut aksi pengontrolan (*control action*).

Kontroler otomatis biasa dipergunakan dibidang industri. Prinsip kerja yang digunakan sama yaitu meliputi proses mengamati, mengolah informasi dan memberikan reaksi terhadap alat (Purwati, 2001).

Beberapa jenis kontrol yang umum digunakan antara lain:

2.10.1 Sistem Kontrol Tertutup (*closed-loop control system*)

Sistem kontrol *loop* tertutup adalah sistem kontrol yang sinyal keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan. Sistem kontrol *loop* tertutup adalah sistem kontrol berumpan balik (*feedback control*). Sinyal kesalahan penggerak, yang merupakan selisih antara sinyal masukan dan sinyal umpan balik (yang dapat berupa sinyal keluaran atau suatu fungsi sinyal keluaran dan turunannya), untuk memperkecil kesalahan dan membuat agar keluaran sistem mendekati harga yang diinginkan (Ogata, 1993).



Gambar 2.23 Sistem Kontrol *Loop* Tertutup

2.10.2 Sistem Kontrol Terbuka (*open-loop control system*)

Sistem kontrol *loop* terbuka (*open-loop*) adalah sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh pada aksi pengontrolan. Jadi, pada sistem kontrol *loop* terbuka, keluaran tidak diukur atau diumpam balikkan untuk dibandingkan dengan masukan. Sebuah contoh praktis yang menunjukkan hubungan masukan

keluaran untuk sistem kontrol *loop* terbuka yaitu pada mesin cuci, perendaman, pencucian dan pembilasan pada mesin cuci dioperasikan pada basis waktu. Mesin cuci tidak mengukur sinyal keluaran, misalnya kebersihan pakaian (Ogata, 1993).



Gambar 2.24 Sistem Kontrol *Loop* Terbuka

2.11 Kontrol Otomatis dan Efisiensi Dalam Kajian al-Quran

Allah Swt menciptakan dunia dan seluruh isinya ini dengan sangat lengkap, dimana semua yang diciptakan mempunyai kegunaan dan manfaat masing-masing. Semua yang ada di permukaan bumi merupakan perhiasan bagi bumi dan sengaja diciptakan Allah Swt agar manusia memikirkan bagaimana cara mengambil manfaat dari semua itu. Alam semesta ini diatur dengan tatanan yang sangat rapi, hal ini menunjukkan keseimbangan kontrol yang dibuat oleh Allah Swt untuk kemaslahatan demi kelangsungan hidup makhluk-Nya (Abdullah, 2007).

Allah Swt telah mengatur isi jagat raya, sehingga di dalamnya berlaku hukum alam dan keteraturan. Menjadikan sesuatu memiliki kadar serta sistem tertentu dan teliti baik itu yang berkaitan dengan materi, maupun waktu seperti siang, malam, pagi, sore semua itu telah diatur oleh ketentuan Allah Swt. Maksudnya Dialah yang menerapkan seluruh ketetapan dan hukumnya yang diberlakukan terhadap semua makhluk-Nya sesuai dengan kehendak dan keinginan-Nya (Shihab, 2003).

Di dalam al Quran surat al Fatir(35):43 Allah Swt berfirman:

أَسْتَكْبَارًا فِي الْأَرْضِ وَمَكْرَ السَّيِّئِ وَلَا يَحِيقُ الْمَكْرُ السَّيِّئُ إِلَّا بِأَهْلِهِ فَهَلْ يَنْظُرُونَ إِلَّا
سُنَّتَ الْأَوَّلِينَ فَلَنْ نَجِدَ لِسُنَّتِ اللَّهِ تَبْدِيلًا ۖ وَلَنْ نَجِدَ لِسُنَّتِ اللَّهِ تَحْوِيلًا ﴿٤٣﴾

“Karena kesombongan (mereka) di muka bumi dan karena rencana (mereka) yang jahat. Rencana yang jahat itu tidak akan menimpa selain orang yang merencanakannya sendiri. Tiadalah yang mereka nanti-nantikan melainkan (berlakunya) sunnah (Allah yang telah berlaku) kepada orang-orang yang terdahulu. Maka sekali-kali kamu tidak akan mendapat penggantian bagi sunnah Allah, dan sekali-kali tidak (pula) akan menemui penyimpangan bagi sunnah Allah itu.” (Al-Fatir:43).

Kata (سنة) *sunnah* antara lain berarti kebiasaan. *Sunnatullah* atau *sunnah* Allah Swt adalah kebiasaan-kebiasaan yang diberlakukan Allah Swt terhadap apa, siapa dan kapanpun. Karena ia adalah *sunnah* yang tidak menyimpang dari arah yang telah ditetapkan dari hukum-hukum Allah Swt. Siapapun dari makhluk yang ada di dunia ini, tidak akan mampu mengalihkan hukum Allah Swt dari arah yang telah ditentukan (Shihab, 2003).

Kata kunci dari tafsir ayat di atas adalah *sunnah* yang dapat diartikan sebagai ketetapan hukum. Dalam kajian ilmu fisika beban listrik yang bersifat induktif akan menyerap daya aktif dan daya reaktif. Sedangkan beban listrik yang bersifat kapasitif akan menyerap daya aktif dan memberikan atau mengeluarkan daya reaktif kapasitif. Besarnya daya reaktif pada beban induktif menyebabkan turunnya nilai faktor daya. Kualitas dan efisiensi daya listrik ditentukan oleh nilai faktor daya. Untuk meningkatkan nilai faktor daya pada beban induktif dapat digunakan kapasitor yang dirangkai secara paralel dengan beban induktif. Kapasitor akan memberikan daya reaktif kapasitif ke beban induktif, sehingga

nilai daya reaktif induktif menjadi berkurang. Berkurangnya nilai daya reaktif akan menyebabkan kenaikan nilai faktor daya, sehingga daya aktif yang diberikan dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk di ubah menjadi kerja. Allah Swt telah menetapkan suatu hukum pada sesuatu yang telah diciptakan-Nya agar dapat diambil manfaatnya oleh umat manusia.

Banyak diantara konsumen energi listrik yang belum menyadari atau tidak peduli dengan perilaku selama ini dalam menggunakan energi. Seperti masih banyak dijumpai di perkantoran yang melakukan pemborosan listrik dalam pemakaian lampu, AC, TV, dan sebagainya. Pemborosan dilarang agama, bukan saja merugikan pemboros, tetapi juga pihak lain. Pemborosan dalam memakai BBM dan listrik misalnya, secara tidak langsung adalah mengurangi jatah orang lain terhadap sumber energi tersebut. Masih banyak lagi perilaku pemborosan yang dilakukan untuk disebutkan contohnya baik yang disadari ataupun tidak disadari (Saputera, 2000).

Firman Allah Swt dalam surat al A'raf(7): 31

يٰۤاٰدَمُ خُذْ وَاٰدَمَ زِيْنَتَكَمْ عِنْدَ كُلِّ مَسْجِدٍ وَكُلُوْا وَاشْرَبُوْا وَلَا تُسْرِفُوْا اِنَّهٗ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِيْنَ ﴿٣١﴾

“Hai anak Adam, pakailah pakaianmu yang indah di setiap (memasuki) mesjid, makan dan minumlah, dan janganlah berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berlebih-lebihan”(Al-A'raf: 31).

Kata kunci tafsir ayat di atas adalah (خُذُوا زِيْنَتَكُمْ) *khudhu ziiinatakum* memiliki makna menutupi aurat. Kata (كُلُوا وَاشْرَبُوا) *kullu waasyrabu* bermakna sesukamu. Kata (اِسْرَاف) *israf* bermakna berlebih lebihan (Asy-Syuyuthi, 2010). Dalam hal beribadah kepada Allah Swt dianjurkan untuk memakai pakaian yang indah untuk menutupi aurat. Makan dan minum diperbolehkan sesuka yang

diinginkan namun tidak boleh berlebih-lebihan. Upaya perbaikan faktor daya listrik yang rendah, dapat dilakukan dengan menggunakan kompensator faktor daya berupa kapasitor. Nilai kompensasi yang diberikan harus sesuai dengan nilai faktor daya yang akan ditingkatkan, dan tidak boleh berlebih.

Allah Swt berfirman dalam surat al-Isra'(17):26

وَعَاتِ ذَا الْقُرْبَىٰ حَقَّهُ، وَالْمِسْكِينَ وَابْنَ السَّبِيلِ وَلَا تُبَذِّرْ تَبْذِيرًا ﴿٢٦﴾

“Dan berikanlah kepada keluarga-keluarga yang dekat akan haknya, kepada orang miskin dan orang yang dalam perjalanan dan janganlah kamu menghambur-hamburkan (hartamu) secara boros”(Al-Isra': 26).

Kata (اتوا) *atu* bermakna pemberian sempurna. Pemberian yang dimaksud bukan hanya terbatas pada hal-hal materi tetapi juga imateri. Kata (تبذير) *tabdzir* / *pemborosan* dipahami oleh ulama dalam arti pengeluaran yang bukan *haq*, karena itu jika seseorang menafkahkan / membelanjakan semua hartanya dalam kebaikan atau *haq*, maka ia bukan seorang pemboros (Shihab, 2002). Kualitas faktor daya listrik yang buruk menyebabkan pemakaian daya listrik menjadi boros. Nilai kapasitas kapasitor yang digunakan sebagai kompensator, nilainya harus disesuaikan dengan nilai faktor daya yang akan diperbaiki. Bila nilai kapasitas kapasitor yang diberikan terlalu besar melebihi batas maksimum nilai perbaikan, maka nilai faktor daya akan menjadi semakin buruk, sehingga pemakaian kompensator menjadi *mubadzir* atau sia-sia.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian rancang bangun prototipe kompensator faktor daya otomatis sebagai upaya efisiensi tenaga listrik.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan pada bulan Juli – September di Laboratorium Instrumentasi dan Elektronika Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam rancang bangun ini adalah:

1. *Power Supply*
2. *Oscilloscope*
3. Multimeter
4. Kabel penghubung
5. Solder
6. Timah
7. Bor listrik
8. *Personal Computer*
9. *USBasp Downloader Programmer*
10. *PCB Wizard Software*

11. Proteus7 Simulator Software

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam perancangan dan pembuatan alat adalah:

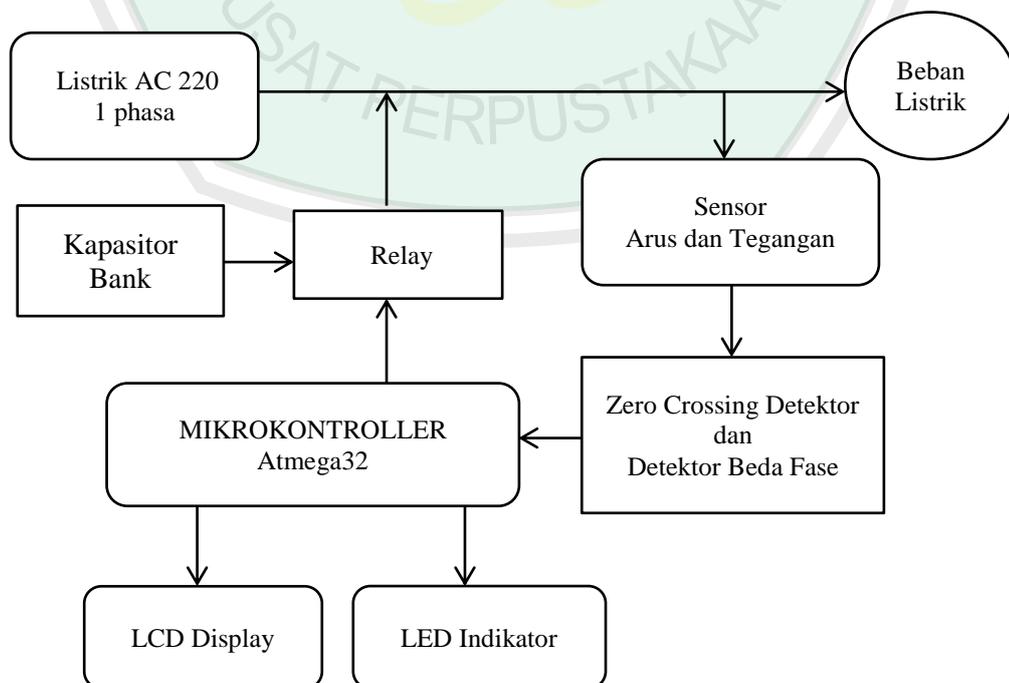
1. Trafo Arus
2. Trafo Tegangan
3. Trafo CT 2A
4. *Board* minimum sistem Atmega32
5. IC Atmega32
6. IC LM 358
7. IC ULN2803
8. IC 74LS86
9. PCB polos
10. Ferri klorida (FeCl_3)
11. Resistor
12. Kapasitor *bank* (non-elektrolit)
13. Resistor
14. Dioda
15. LED
16. LCD Grafik 16x2
17. *Relay* / Kontaktor
18. Papan Akrilik

3.4 Rancangan Penelitian

Perancangan dan pembuatan alat dibagi menjadi dua tahap yaitu pembuatan perangkat keras (*hardware*) dan pembuatan perangkat lunak (*software*).

3.4.1 Perancangan Perangkat Keras Secara Keseluruhan

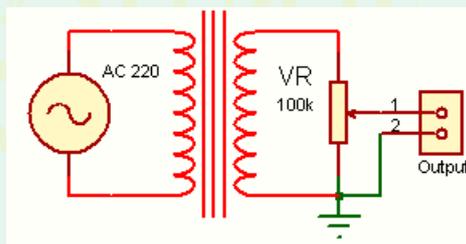
Perancangan pembuatan alat kompensator faktor daya otomatis mengacu pada blok diagram yang ditunjukkan pada gambar 3.1. Alat yang dibuat bertujuan untuk meningkatkan nilai faktor daya beban listrik menggunakan kompensator berupa kapasitor. Kapasitor dipasang paralel pada jaringan instalasi listrik secara otomatis menggunakan relay. Pengaktifan relay dikontrol menggunakan mikrokontroler sesuai dengan setting nilai faktor daya yang perlu ditingkatkan.



Gambar 3.1 Blok Diagram Perancangan Alat

3.4.2 Perancangan Rangkaian Sensor Tegangan

Sensor tegangan yang digunakan pada sistem ini adalah transformator *step-down* yang bertujuan menurunkan level tegangan AC 220 volt menjadi 5 volt dan sekaligus sebagai isolasi antara tegangan yang akan diukur dengan alat ukur. Untuk mengatur nilai tegangan agar sesuai dengan masukan komparator, digunakan rangkaian resistor pembagi tegangan. Fungsi dari sensor tegangan ini adalah untuk mendeteksi fase sinyal tegangan. Output dari sensor tegangan dihubungkan ke rangkaian *zero crossing* detektor dan detektor beda fase untuk mengetahui beda fase antara gelombang arus dan gelombang tegangan.

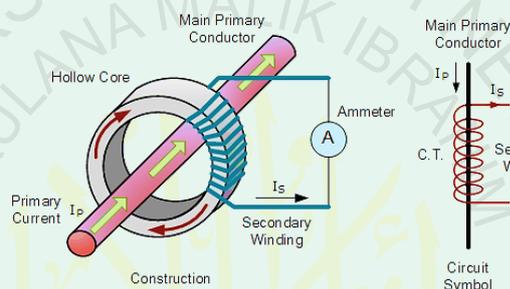


Gambar 3.2 Rangkaian Sensor Tegangan

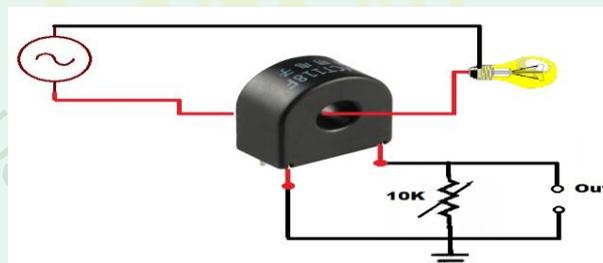
3.4.3 Perancangan Rangkaian Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan adalah sensor arus jenis ZCT (*Zero Current Transformer*) yang konstruksinya ditunjukkan pada gambar 3.3. Cara pengoperasiannya dengan melilitkan kabel satu fasa yang menuju ke beban pada lingkaran fisik dari ZCT, dan dirangkai secara seri dengan beban. Prinsip kerja dari sensor arus ZCT yaitu, jika pada kumparan primer ada arus yang mengalir, maka pada kumparan primer akan timbul gaya gerak magnet. Gaya gerak magnet ini akan menghasilkan fluks magnet pada inti. Fluks tersebut akan menginduksi kumparan sekunder, sehingga menimbulkan gaya gerak listrik pada kumparan

sekunder. Jika kumparan sekunder dihubungkan ke rangkaian tertutup, maka pada kumparan sekunder akan mengalir arus. Arus yang keluar dari kumparan sekunder berbentuk sinusoida. Fungsi dari sensor arus ini adalah untuk mendeteksi fase sinyal arus yang mengalir ke beban, kemudian dihubungkan ke rangkaian detektor beda fasa.



Gambar 3.3 Kontruksi sensor arus ZCT (www.electronics-tutorials.ws)

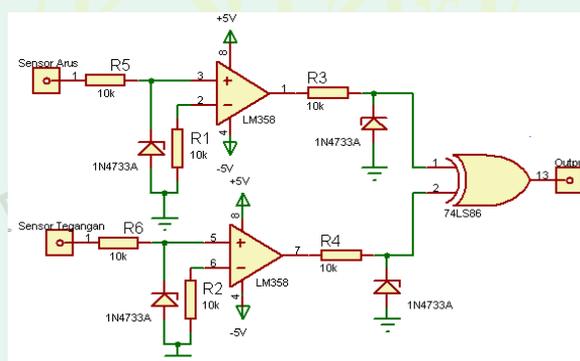


Gambar 3.4 Bentuk fisik sensor arus ZCT (www.artofcircuit.com)

3.4.4 Perancangan Rangkaian *Zero Crossing* dan Detektor Beda Fase

Rangkaian ini berfungsi untuk mendeteksi adanya beda fase antara gelombang arus dan tegangan. Pada rangkaian zero crossing detektor digunakan IC LM358 untuk mengubah sinyal sinusoida dari sensor tegangan dan sensor arus menjadi bentuk sinyal step (sinyal kotak). Sinyal step dari IC LM358 kemudian di masukkan ke input IC gerbang logika XOR 74LS86 untuk menghasilkan sinyal step yang menunjukkan nilai beda fase antara fase arus dan tegangan. Prinsip

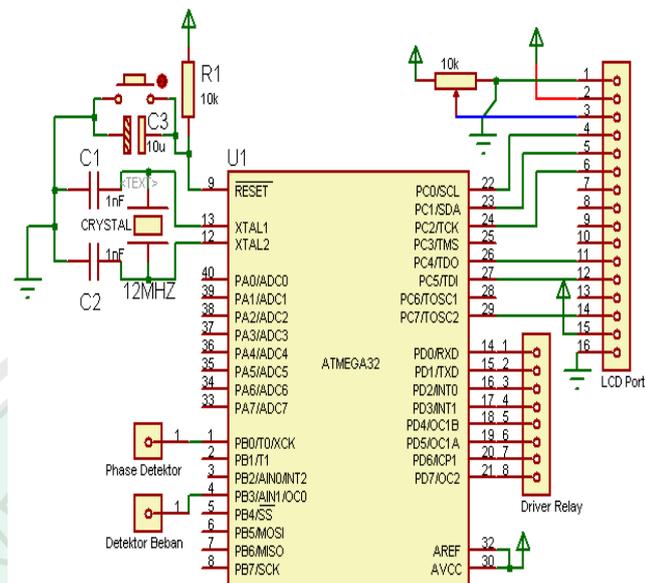
kerja IC XOR 74LS86 yaitu jika kedua input berlogika sama maka output akan berlogika “0”. Jika kedua input berlogika tidak sama, maka output akan berlogika “1”. IC XOR 74LS86 digunakan untuk membandingkan dua sinyal input, yaitu sinyal arus dan sinyal tegangan yang berasal dari keluaran rangkaian komparator, sehingga dapat diketahui perbedaan sudut fase antara sinyal tegangan dan sinyal arus yang mengalir pada beban. Perbedaan fase yang terjadi merepresentasikan nilai faktor daya. Nilai beda fase akan mempengaruhi berapa nilai kapasitor yang harus di pasang pada beban untuk mengkompensasi daya reaktif (VAr) agar faktor daya dapat ditingkatkan sampai di atas 0,95.



Gambar 3.5 Rangkaian *Zero Crossing Detector* / Detektor Beda Fase

3.4.5 Perancangan Rangkaian Sistem Mikrokontroler Atmega32

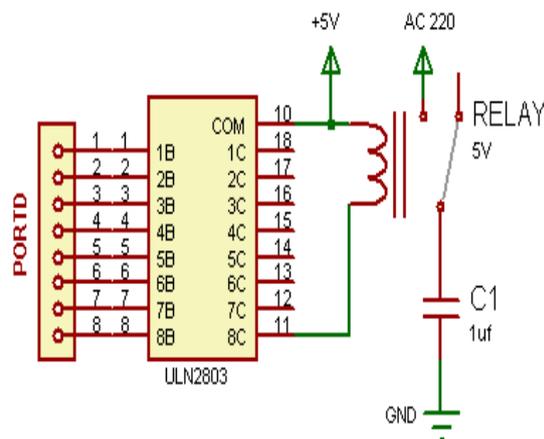
Pada rancangan *board* minimum sistem digunakan IC mikrokontroler Atmega 32. Rangkaian mikrokontroler berfungsi untuk memproses sinyal input dari rangkaian detektor beda fase dan mengontrol kontaktor relay untuk mengaktifkan kapasitor mana yang akan dipasang, sehingga nilai kapasitor yang dipasang sesuai dengan faktor daya yang diperbaiki.



Gambar 3.6 Rangkaian Minimum Sistem Atmega32

3.4.6 Perancangan Rangkaian Driver Relay

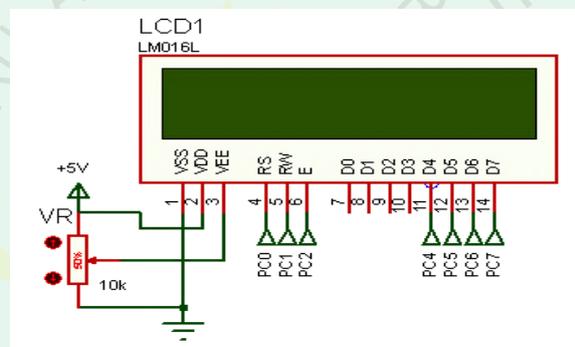
Pada perancangan rangkaian driver relay digunakan IC ULN2803. Karakteristik IC ULN2803 mempunyai 8 jalur pin input dan 8 jalur pin output, sehingga dapat digunakan untuk mengendalikan 8 buah relay. Input *driver relay* berasal dari mikrokontroler atmega32. Rangkaian ini berfungsi sebagai *switching* kapasitor pada jaringan listrik AC.



Gambar 3.7 Rangkaian Driver Relay

3.4.7 Perancangan Rangkaian LCD Grafik 16x2

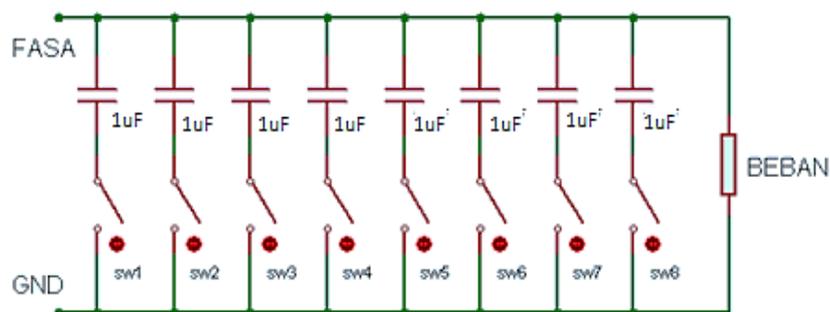
Rangkaian lcd grafik 16x2 berfungsi untuk menampilkan hasil pengolahan data pada mikrokontroller berupa bentuk tulisan. Pada alat yang dibuat pin data LCD dihubungkan ke PORTC mikrokontroller. Potensiometer pada LCD digunakan untuk mengatur kecerahan tampilan karakter. Fungsi dari rangkaian LCD adalah untuk menampilkan nilai faktor daya.



Gambar 3.8 LCD Grafik 16x2

3.4.8 Perancangan Rangkaian Kapasitor *Bank*

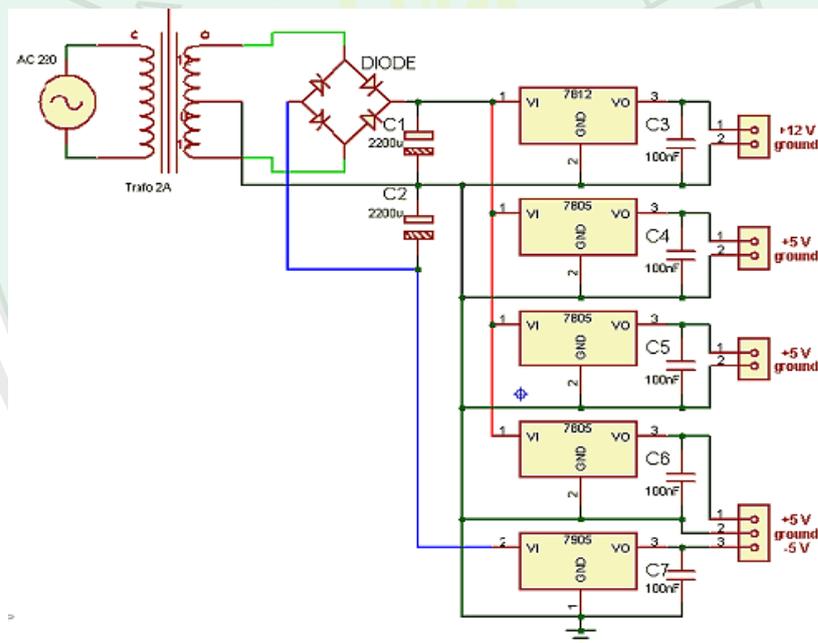
Kapasitor yang digunakan sebagai kompensator yaitu terdiri dari 8 buah kapasitor, dengan berkapasitas tiap kapasitor adalah 1 μF . Kapasitor dipasang secara parallel ke instalasi listrik menggunakan relay.



Gambar 3.9 Rangkaian kapasitor *bank*

3.4.9 Perancangan Rangkaian *Power Supply*

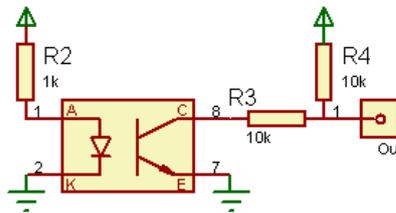
Rangkaian *power supply* berfungsi menyuplai daya keseluruhan rangkaian sistem. pada perancangan *power supply* digunakan trafo CT 2 ampere, diode sebagai penyearah, kapasitor, 3 buah IC LM7805 sebagai regulator tegangan agar keluarannya stabil +5 volt DC, IC LM7905 sebagai regulator tegangan agar keluarannya stabil -5 volt DC dan IC LM7812 sebagai regulator tegangan agar keluarannya stabil +12 volt DC.



Gambar 3.10 Skema Rangkaian *Power Supply*

3.4.10 Perancangan Rangkaian Detektor Beban

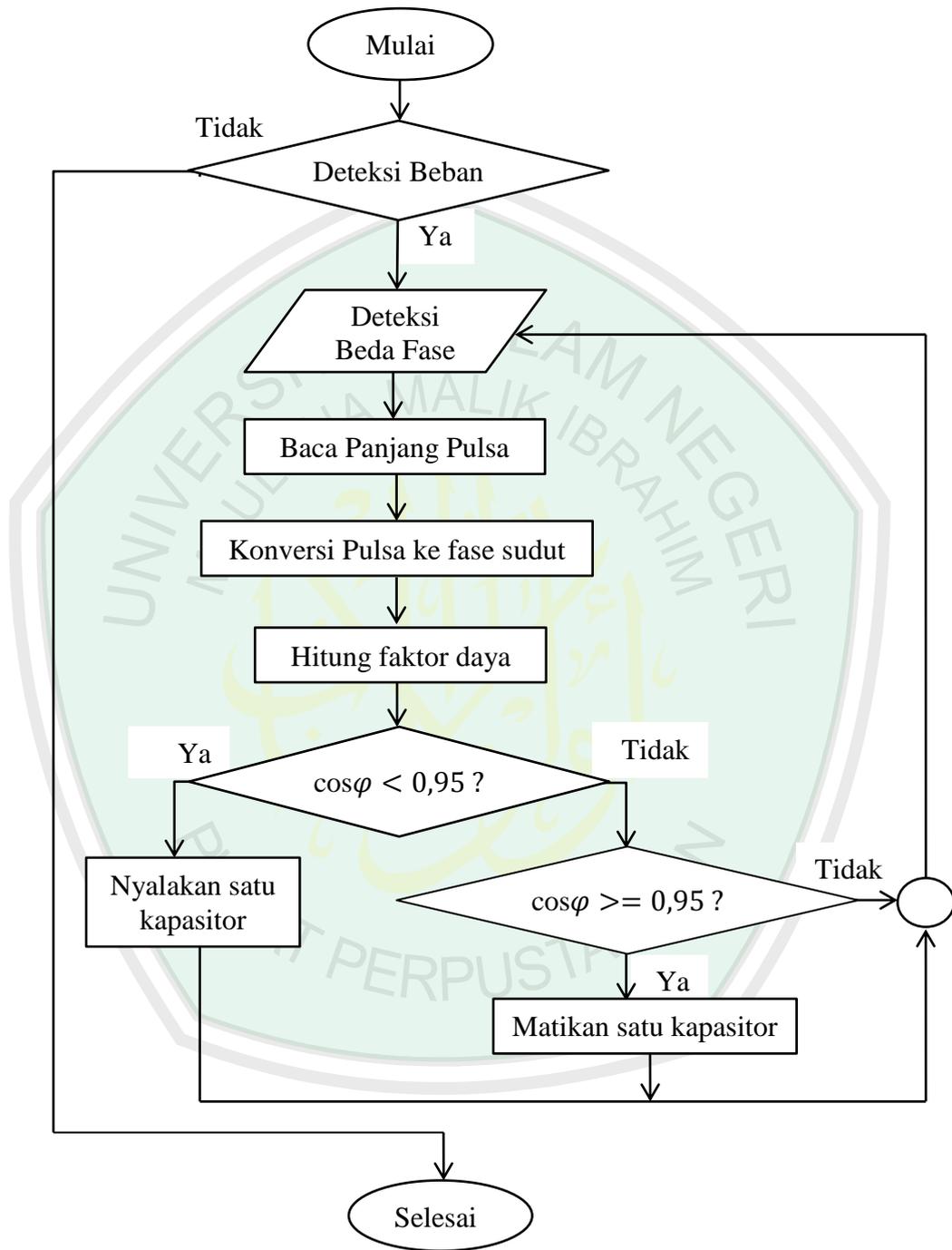
Perancangan rangkaian detektor beban berfungsi untuk mengetahui apakah ada beban listrik yang terpasang atau tidak terpasang. Sensor yang digunakan pada rangkaian detektor beban yaitu menggunakan *phototransistor* dan *infrared LED*. *Output* dari rangkaian ini dihubungkan ke PORTB.3 mikrokontroler



Gambar 3.11 Rangkaian Uji Detektor Beban

3.4.11 Perancangan Perangkat Lunak / *Software*

Sistem kendali otomatis yang menggunakan mikrokontroler sebagai pengendali utama, memerlukan perancangan perangkat lunak / *software* agar mikrokontroler dapat bekerja sesuai dengan intruksi-intruksi yang ditulis dalam bentuk program. Perancangan perangkat lunak dapat ditulis menggunakan bahasa pemrograman C. Perancangan perangkat lunak yang dibuat berfungsi mengkonversi lebar pulsa dari detektor beda fase menjadi nilai faktor daya kemudian ditampilkan pada LCD, dan mengeksekusi kontrol pengaktifan relay sesuai dengan nilai *setting point* faktor daya yang ingin ditingkatkan. Perancangan perangkat lunak kompensator faktor daya otomatis dibuat menggunakan program *Code Vision AVR*, Secara umum sistem perangkat lunak kompensator faktor daya otomatis dapat dilihat pada *flowchart* yang terlihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Diagram Alir Program

3.5 Teknik Pengambilan Data

3.5.1 Data Pengujian Alat

Tabel 3.1 Pengujian alat

Beban	Pengulangan ke-	Faktor daya _{awal} (fd _{awal})	Faktor daya _{akhir} (fd _{akhir})	Kapasitor aktif (μF)
Lampu TL 18 w Merek A	1			
	2			
	3			
Lampu TL 18 w Merek B	1			
	2			
	3			
Lampu TL 18 w Merek C	1			
	2			
	3			
Kapasitor 1 uF	1			
	2			
	3			
Kapasitor 2.2 uF	1			
	2			
	3			
Lampu pijar 5 w	1			
	2			
	3			
Lampu pijar 25 w	1			
	2			
	3			

1.6 Teknik Analisis Data

Untuk menentukan nilai kevalitan dan keefektifan dan titik kesalahan, dilakukan perbandingan hasil pengukuran faktor daya antara alat yang dibuat dengan alat yang sudah ada dipasaran (pabrikan). Analisis yang digunakan adalah analisis kesalahan relatif (KR) rata-rata. Adapun persamaan rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$KR(\%) = \frac{\cos(\phi) \text{ meterA} - \cos(\phi) \text{ meterB}}{\cos(\phi) \text{ meterA}} \times 100\%$$

Keterangan: $\cos(\phi)$ meter A (pasaran/pabrikan).

$\cos(\phi)$ meter B (hasil perancangan).

Tabel 3.2 Data perbandingan $\cos(\phi)$ meter A dengan $\cos(\phi)$ meter B

No.	Beban	$\cos(\phi)$ Meter A	$\cos(\phi)$ Meter B	KR (%)
Jumlah kesalahan rata-rata				



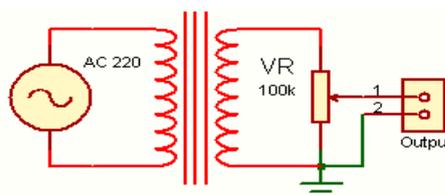
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Alat

Secara umum, pengujian ini bertujuan apakah alat yang dibuat dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi perencanaan yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kerja perangkat keras pada masing-masing blok rangkaian penyusun sistem, antara lain pengujian rangkaian sensor tegangan, pengujian rangkaian sensor arus, pengujian rangkaian komparator, pengujian rangkaian detektor beda fase / *zero crossing detector*, pengujian rangkaian driver relay, pengujian rangkaian detektor beban, pengujian rangkaian sistem mikrokontroller, dan pengujian alat kompensator faktor daya otomatis.

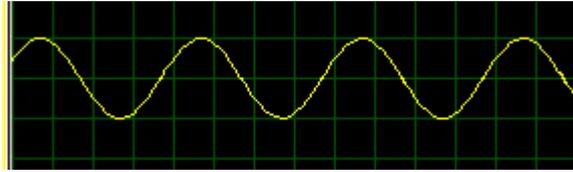
4.1.1 Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian rangkaian sensor tegangan dilakukan untuk mengetahui bentuk sinyal keluaran dari rangkaian sensor tegangan. Pengujian rangkaian sensor tegangan dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian seperti gambar 4.1



Gambar 4.1 Rangkaian Uji Sensor Tegangan

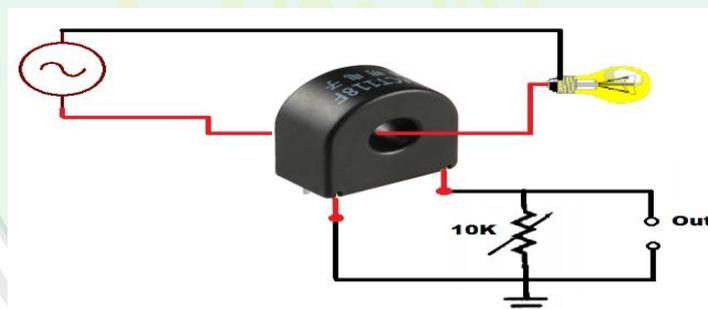
Berdasarkan hasil pengujian rangkaian sensor tegangan diperoleh bentuk sinyal tegangan berbentuk sinusoida, seperti diperlihatkan pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Sinyal Keluaran Sensor Tegangan

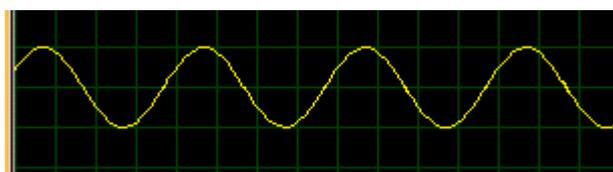
4.1.2 Pengujian Sensor Arus

Pengujian rangkaian sensor arus dilakukan untuk mengetahui bentuk sinyal keluaran dari rangkaian sensor arus. Pengujian sensor arus dilakukan dengan melilitkan satu kabel fasa yang menuju ke beban listrik pada lubang lingkaran sensor arus. Pengujian rangkaian sensor arus dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian seperti gambar 4.3



Gambar 4.3 Rangkaian Uji Sensor Arus

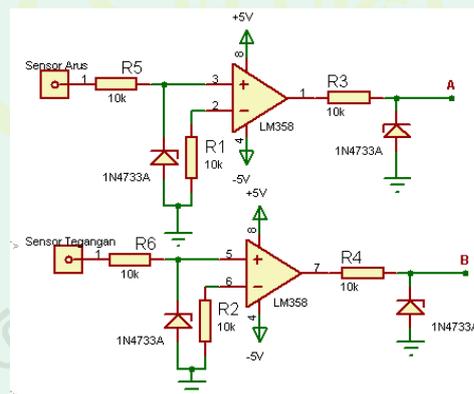
Berdasarkan hasil pengujian rangkaian sensor arus diperoleh bentuk sinyal arus yang berbentuk sinusoida, seperti diperlihatkan pada gambar 4.4



Gambar 4.4 Sinyal Keluaran Sensor Arus

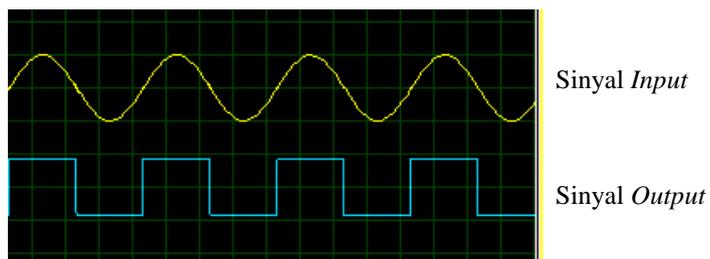
4.1.3 Pengujian Rangkaian *Zero Crossing Detector*

Pengujian rangkaian *zero crossing detector* dilakukan untuk mengetahui bentuk keluaran sinyal dari rangkaian *zero crossing detector*. Output sinyal dari sensor tegangan dan sensor arus yang berbentuk sinusoida dihubungkan pada *input* rangkaian *zero crossing detector*. Fungsi dari rangkaian komparator adalah mengubah bentuk sinyal sinusoida dari rangkaian sensor tegangan dan arus menjadi bentuk sinyal *step* (kotak). Pengujian rangkaian komparator dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian seperti gambar 4.5



Gambar 4.5 Rangkaian Uji *Zero Crossing Detector*

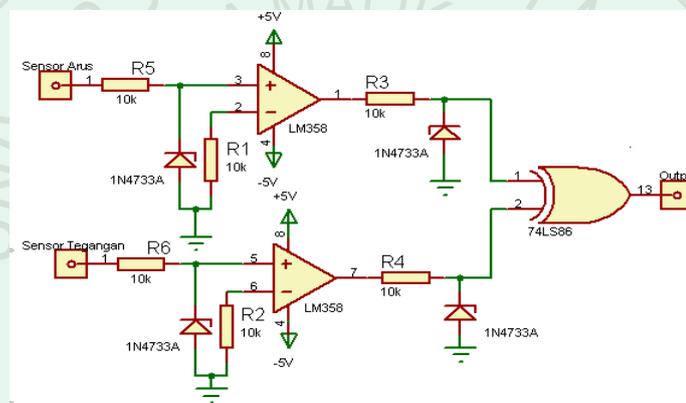
Berdasarkan hasil pengujian rangkaian *zero crossing detector* diperoleh bentuk sinyal seperti diperlihatkan pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Sinyal Masukan dan Keluaran *Zero Crossing Detector*

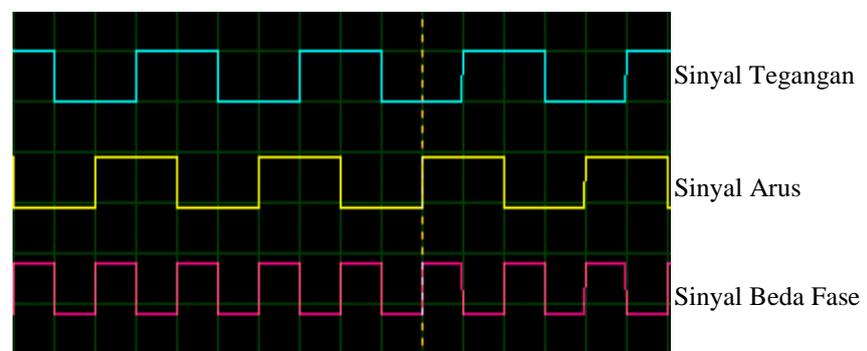
4.1.4 Pengujian Rangkaian Detektor Beda Fase

Pengujian rangkaian *zero crossing detector* dan detektor beda fase dilakukan untuk mengetahui perbedaan fase sinyal tegangan dan fase sinyal arus. Pengujian rangkaian detektor beda fase dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian seperti gambar 4.7



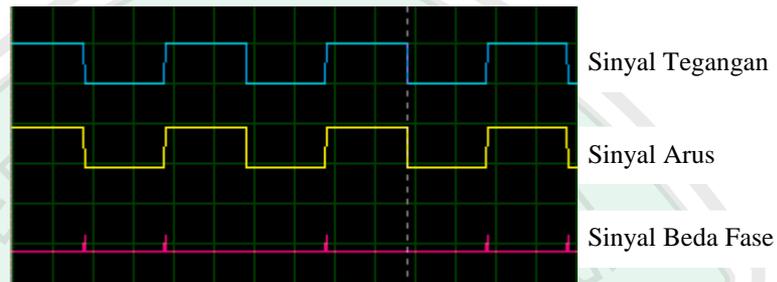
Gambar 4.7 Rangkaian Uji Detektor Beda Fase

Hasil pengujian rangkaian detektor beda fase menggunakan beban induktif berupa trafo *ballast* dengan spesifikasi faktor daya yang tertera pada label adalah 0.35 didapatkan bentuk fase gelombang seperti ditunjukkan pada gambar 4.8



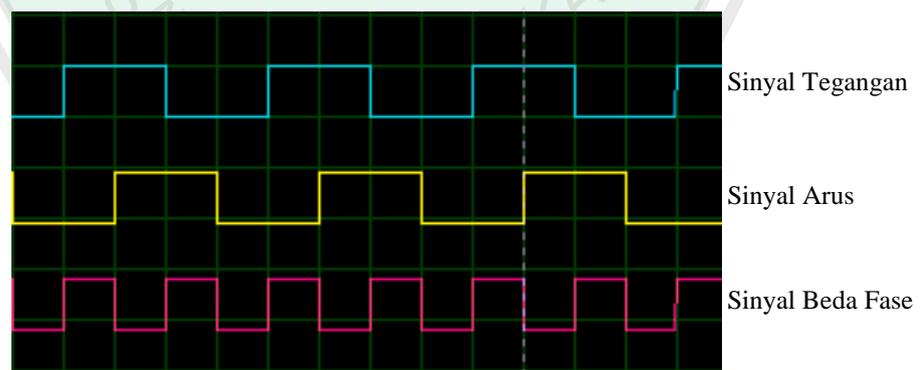
Gambar 4.8 Keluaran Sinyal Rangkaian Detektor Beda Fase dengan Beban Induktif

Hasil pengujian rangkaian detektor beda fase menggunakan beban resistif berupa lampu pijar didapatkan bentuk fase gelombang seperti ditunjukkan pada gambar 4.9



Gambar 4.9 Keluaran Sinyal Detektor Beda Fase dengan Beban Resistif

Hasil pengujian rangkaian detektor beda fase menggunakan beban kapasitif berupa kapasitor 1 *mikrofarad* didapatkan bentuk fase gelombang seperti ditunjukkan pada gambar 4.10

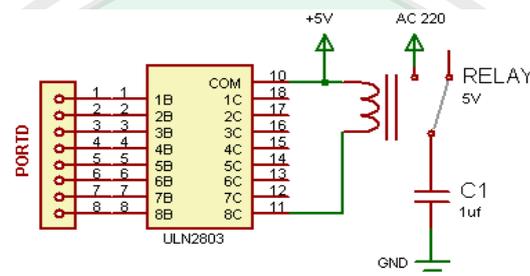


Gambar 4.10 Keluaran Sinyal Detektor Beda Fase dengan Beban Kapasitif

4.1.5 Pengujian Rangkaian *Driver Relay*

Pengujian rangkaian *driver relay* bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian ini bisa menyambung dan memutus rangkaian kapasitor. Pengujian

rangkaian ini dilakukan dengan menghubungkan *pin input* rangkaian *driver relay* dengan *port I/O* (*port D*) mikrokontroler. Pengujian rangkaian *driver relay* dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian seperti gambar 4.11



Gambar 4.11 Rangkaian Uji *Driver Relay*

Hasil pengujian rangkaian *driver relay* dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil pengujian rangkaian *driver relay*

No.	Input	PORT	Output
1.	LLLLLLH	Port D	0000001
2.	LLLLLHH	Port D	0000011
3.	LLLLHHH	Port D	0000111
4.	LLLHHHH	Port D	0001111
5.	LLHHHHH	Port D	0011111
6.	LHHHHHH	Port D	0111111
7.	LHHHHHH	Port D	0111111
8.	HHHHHHH	Port D	1111111

Keterangan : L = Logika “Low”

H = Logika “High”

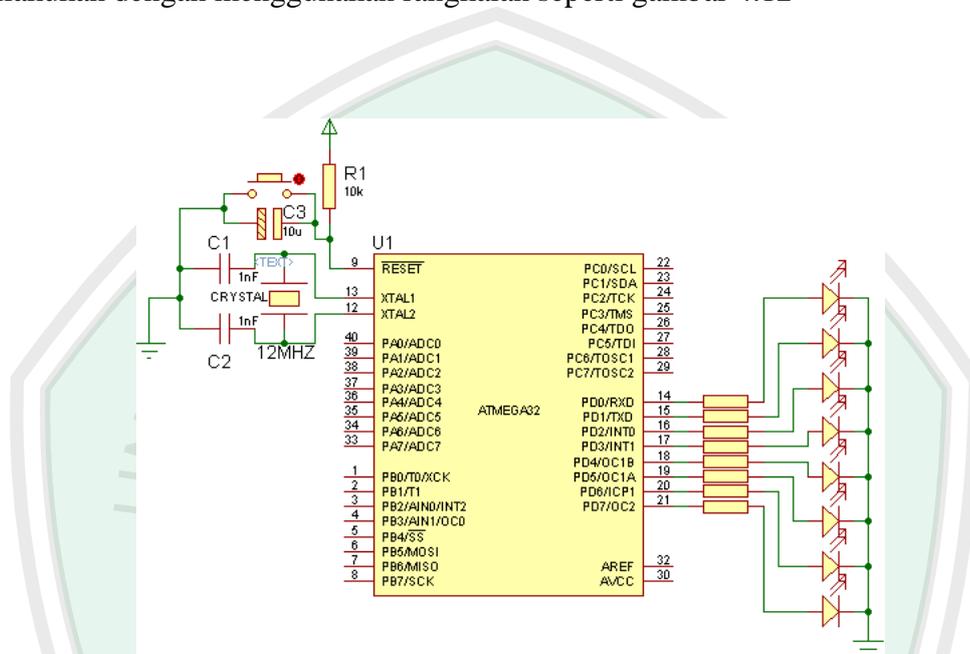
Output 0 = relay mati

Output 1 = relay aktif

4.1.6 Pengujian Rangkaian LED Indikator

Rangkaian LED indikator merupakan satu kesatuan dengan rangkaian *driver relay*. Pengujian rangkaian LED indikator dilakukan untuk mengetahui apakah

relay aktif atau mati. Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan rangkaian LED dengan *port D* mikrokontroller. Pengujian rangkaian LED indikator dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian seperti gambar 4.12



Gambar 4.12 Rangkaian Uji LED Indikator

Hasil pengujian rangkaian LED indikator dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil pengujian rangkaian LED indikator

No.	Input	PORT	Output
1.	LLLLLLH	Port D	0000001
2.	LLLLLLH	Port D	0000011
3.	LLLLHHH	Port D	0000111
4.	LLLHHHH	Port D	0001111
5.	LLHHHHH	Port D	0011111
6.	LHHHHHH	Port D	0111111
7.	LHHHHHH	Port D	0111111
8.	HHHHHHH	Port D	1111111

Keterangan : L = Logika “Low”

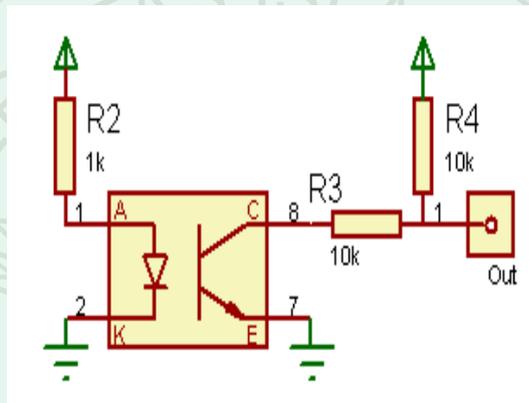
H = Logika “High”

Output 0 = LED mati

Output 1 = LED menyala

4.1.7 Pengujian Rangkaian Detektor Beban

Pengujian rangkaian detektor beban dilakukan untuk mengetahui apakah ada beban listrik yang terpasang atau tidak terpasang. Pengujian rangkaian detektor beban dapat dilakukan dengan rangkaian seperti gambar 4.13



Gambar 4.13 Rangkaian Uji Detektor Beban

Hasil pengujian rangkaian detektor beban dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil pengujian rangkaian detektor beban

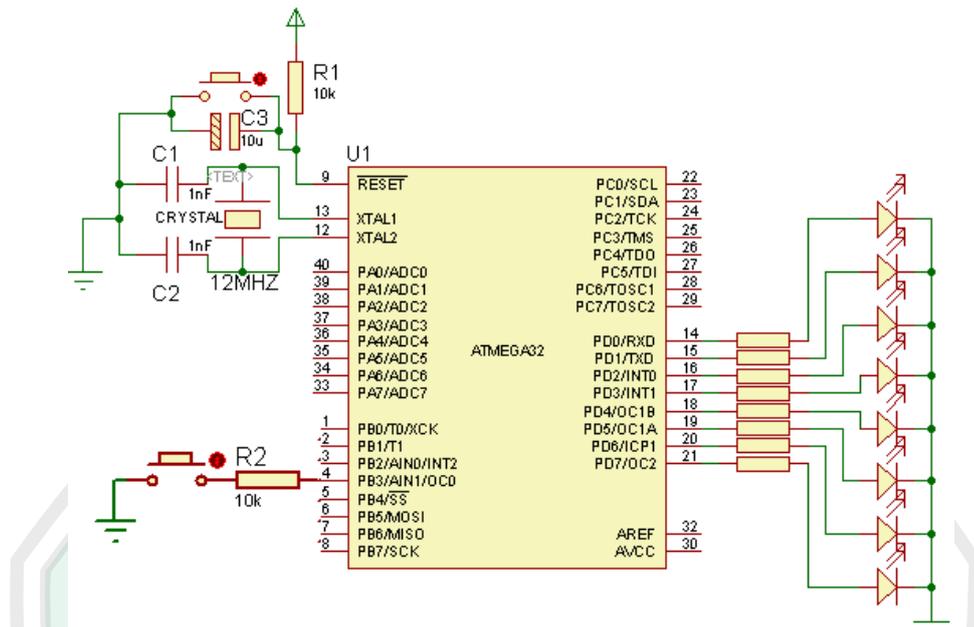
No.	Kondisi	Output	Logic
1.	Beban tidak terpasang	0 volt	L
2.	Beban terpasang	5 volt	H

Keterangan : L = Logika “Low”

H = Logika “High”

4.1.8 Pengujian Rangkaian Sistem Mikrokontroler Atmega32

Pengujian rangkaian minimum sistem mikrokontroler Atmega32 dilakukan untuk mengetahui apakah sistem mikrokontroler dapat bekerja sesuai dengan perangkat lunak yang dibuat. Pengujian rangkaian minimum sistem mikrokontroler Atmega32 menggunakan rangkaian seperti gambar 4.14



Gambar 4.14 Rangkaian Uji Minimum Sistem Mikrokontroler Atmega32

Berikut merupakan listing program menggunakan bahasa C yang dibuat dengan software Codevision AVR. Listing program yang telah dibuat digunakan untuk menguji rangkaian minimum sistem mikrokontroler Atmega32

```
#include <mega32.h>
#include <delay.h>
```

```
void main (void)
```

```
{
    DDRB=0x00;        // PORTB disetting menjadi input
    PORTB=0b0001000; // PINB.3 disetting menjadi input
    DDRD=0xFF;       // PORTD disetting menjadi output
    PORTD=0x00;
```

```
while(1)
```

```
{
    if(PINB.3==0){
        PORTD=0xFF;        // LED nyala
        delay_ms(500);     // LED berkedip selama 500 milisekon / 0,5 detik
    }
    if(PINB.3==1){
        PORTD=0x00;        // LED mati
    }
}
```

Hasil pengujian rangkaian sistem mikrokontroler Atmega32 ditunjukkan pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil pengujian rangkaian sistem mikrokontroler Atmega32

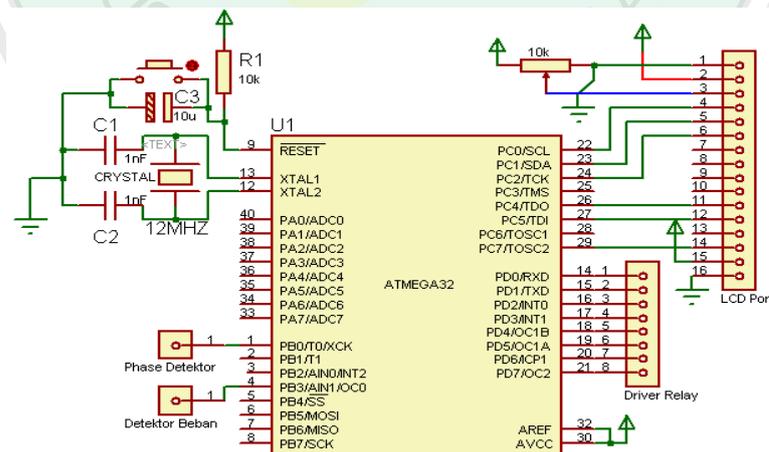
No.	PINB.3	PORTD	Kondisi LED
1.	H	0x00	LED mati
2.	L	0xFF	LED menyala

Keterangan : L (Logika “Low”) = 0

H (Logika “High”) = 1

4.1.9 Pengujian Alat Kompensator Faktor Daya Otomatis

Pengujian alat kompensator faktor daya otomatis bertujuan untuk mengetahui apakah alat yang sudah dirancang dan dibuat dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan. Secara umum rangkaian yang digunakan pada alat kompensator faktor daya otomatis ditunjukkan pada gambar 4.15



Gambar 4.15 Rangkaian Uji Alat Kompensator Faktor Daya Otomatis

Pengujian alat kompensator faktor daya otomatis dilakukan dengan pengambilan data pengukuran faktor daya (*cosphi*) pada beberapa sampel beban.

Untuk menentukan nilai kevalitan dan keefektifan dan titik kesalahan, dilakukan perbandingan hasil pengukuran faktor daya antara alat yang dibuat hasil perancangan dengan alat yang sudah ada dipasaran (pabrik). Analisis yang digunakan adalah analisis kesalahan relatif (KR) rata-rata. Setelah mendapatkan data dari hasil pengukuran, didapatkan nilai kesalahan rata-rata dengan analisis rumus :

$$KR(\%) = \frac{\cos(\phi) \text{ meterA} - \cos(\phi) \text{ meterB}}{\cos(\phi) \text{ meterA}} \times 100\% \quad (4.1)$$

Keterangan: $\cos(\phi)$ meter A (Buatan Pabrik merek DW-6091).

$\cos(\phi)$ meter B (Hasil Perancangan).

Tabel 4.5 Data pengukuran dengan $\cos(\phi)$ meter A dengan $\cos(\phi)$ meter B

No.	Beban	$\cos(\phi)$ Meter A	$\cos(\phi)$ Meter B	KR (%)
1.	Lampu TL 18 w Merek Philips	0,40	0.43	-7.50%
2.	Lampu TL 18 w Merek Sinar	0.38	0.34	10.53%
3.	Kapasitor 2,2 uF	0.78	0.37	52.56%
4.	Kapasitor 1 uF	0.33	0.25	24.24%
5.	Lampu pijar 5 w	1	1	0.00%
6.	Lampu pijar 25 w	1	1	0.00%
Jumlah kesalahan rata-rata				13.31%

Untuk mengetahui apakah alat kompensator faktor daya otomatis yang telah dirancang dapat meningkatkan nilai faktor daya, maka dilakukan pengujian pada beberapa sampel beban induktif yaitu pada lampu TL dan motor listrik. Didapatkan data hasil seperti ditunjukkan pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Data hasil pengujian alat kompensator faktor daya

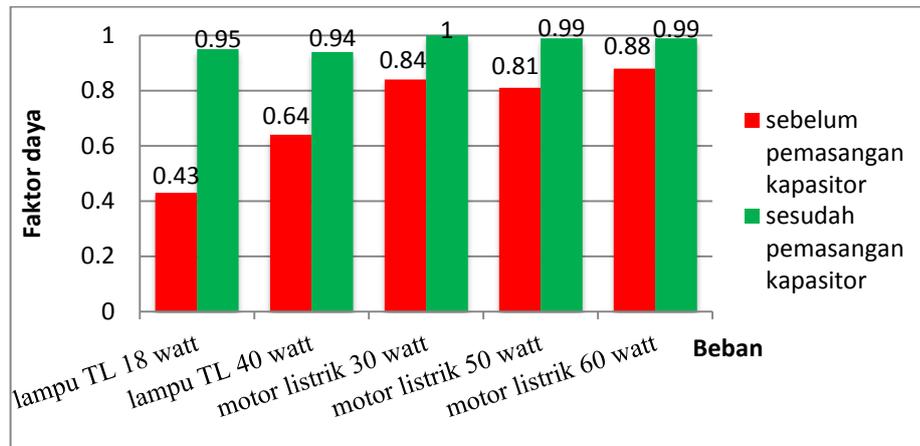
No.	Beban	Perulangan ke-	Faktor daya _{awal} (fd _{awal})	Faktor daya _{akhir} (fd _{akhir})							
				Kapasitor aktif (μF)							
				1μ	2μ	3μ	4μ	5μ	6μ	7μ	8μ
1.	Lampu TL 18 watt	1	0.43	0.54	0.54	0.54	0.56	0.59	0.81	0.84	0.95
		2	0.54	0.54	0.48	0.54	0.59	0.59	0.83	0.86	0.96
		3	0.45	0.54	0.54	0.43	0.59	0.59	0.84	0.83	0.93
		Rata-rata	0.47	0.54	0.52	0.5	0.58	0.59	0.83	0.84	0.95
2.	Lampu TL 40 watt	1	0.64	0.75	0.75	0.64	0.88	0.84	0.86	0.88	0.94
		2	0.68	0.71	0.75	0.68	0.86	0.86	0.86	0.75	0.95
		3	0.61	0.73	0.68	0.66	0.83	0.88	0.88	0.88	0.95
		Rata-rata	0.64	0.73	0.73	0.66	0.86	0.86	0.87	0.84	0.95
3.	Motor listrik 30 watt	1	0.84	1	x	x	x	x	x	x	x
		2	0.92	1	x	x	x	x	x	x	x
		3	0.88	1	x	x	x	x	x	x	x
		Rata-rata	0.88	1	x	x	x	x	x	x	x
4.	Motor listrik 50 watt	1	0.81	0.86	0.93	0.93	0.99	x	x	x	x
		2	0.83	0.88	0.93	0.93	1	x	x	x	x
		3	0.83	0.92	0.94	0.94	1	x	x	x	x
		Rata-rata	0.82	0.89	0.93	0.93	0.99	x	x	x	x
5.	Motor listrik 60 watt	1	0.88	0.81	0.93	0.81	0.94	0.89	0.97	0.89	0.99
		2	0.77	0.93	0.83	0.90	0.81	0.96	0.96	0.96	1
		3	0.89	0.84	0.90	0.81	0.96	0.88	0.98	0.98	1
		Rata-rata	0.85	0.86	0.89	0.84	0.9	0.91	0.97	0.94	0.99

Keterangan :

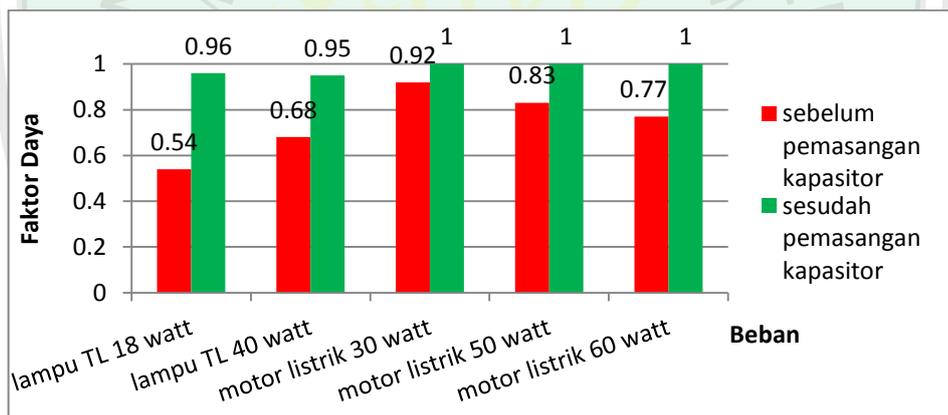
Tanda “ x “ = Kapasitor tidak dipasang

Tabel 4.7 Prosentase kenaikan nilai rata-rata faktor daya

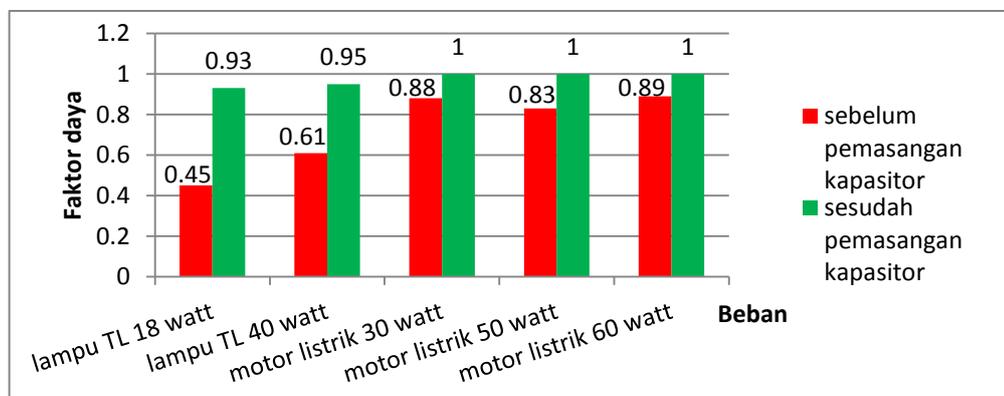
No.	Beban	Faktor daya _{awal} (fd _{awal})	Faktor daya _{akhir} (fd _{akhir})	Prosentase kenaikan nilai efisiensi faktor daya (%)
1.	lampu TL 18 watt	0.47	0.95	50.53%
2.	lampu TL 40 watt	0.64	0.95	32.63%
3.	motor listrik 30 watt	0.88	1	12.00%
4.	motor listrik 50 watt	0.82	0.99	17.17%
5.	motor listrik 60 watt	0.85	0.99	14.14%



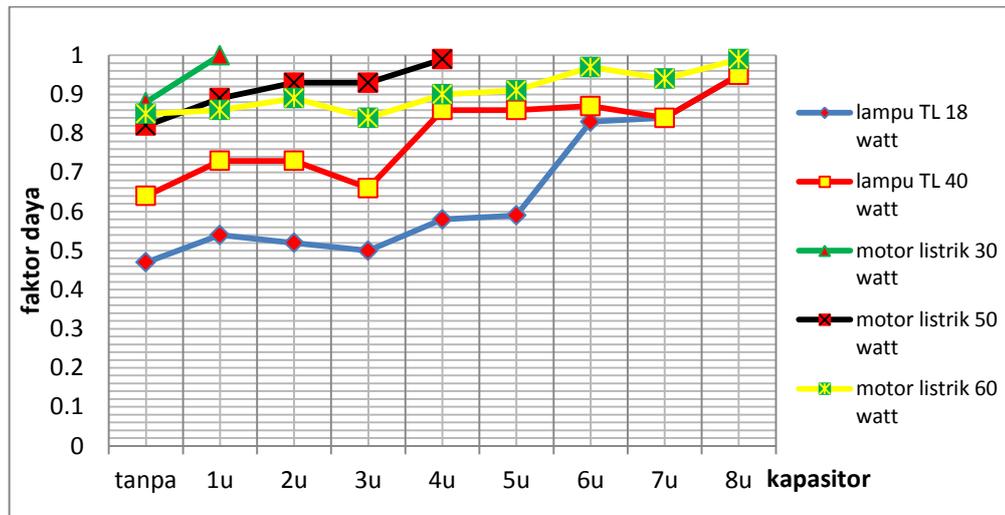
Gambar 4.16 Grafik perbandingan nilai faktor daya pada perulangan pertama



Gambar 4.17 Grafik perbandingan nilai faktor daya pada perulangan kedua



Gambar 4.18 Grafik perbandingan nilai faktor daya pada perulangan ketiga



Gambar 4.19 Grafik pengaruh variasi nilai kapasitor terhadap nilai rata-rata faktor daya

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pembahasan Alat

Alat kompensator faktor daya otomatis yang telah dibuat terdiri dari beberapa blok rangkaian diantara yaitu rangkaian sensor arus dan sensor tegangan, rangkaian *zero crossing detector*, rangkaian detektor beda fase, rangkaian detektor beban, rangkaian LCD, rangkaian LED indikator, rangkaian *driver relay*, rangkaian *power supply*, dan rangkaian minimum sistem mikrokontroler Atmega32.

Hasil pengujian rangkaian sensor tegangan menunjukkan bahwa bentuk sinyal tegangan keluaran dari sensor berbentuk sinusoidal. Sensor tegangan yang digunakan adalah berupa transformator *step down*. Transformator *stepdown* berfungsi menurunkan tegangan tinggi 220 volt menjadi lebih rendah yaitu sebesar 6 volt. Transformator *stepdown* juga berfungsi sebagai isolasi antara tegangan sumber yang akan diukur dengan rangkaian pengukur. Potensiometer

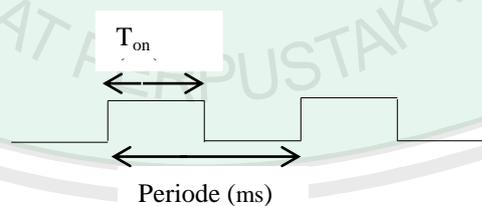
yang dirangkai paralel dengan sensor tegangan, digunakan untuk mengatur nilai tegangan keluaran sensor agar sesuai dengan tegangan input masukan rangkaian *zero crossing detector*.

Hasil pengujian rangkaian sensor arus menunjukkan bahwa bentuk sinyal arus keluaran dari sensor berbentuk sinusoida. Sensor arus yang digunakan adalah sensor arus jenis ZCT (*Zero Current Transformer*) atau biasa disebut trafo arus. Cara penggunaan sensor ini yaitu dengan melilitkan satu kabel fasa pada tengah lingkaran cincin sensor ZCT. Prinsip kerja dari sensor ini adalah memanfaatkan induksi magnet disekitar konduktor / kabel yang dialiri arus listrik. Fluks magnet yang timbul disekitar konduktor yang dialiri arus listrik akan menginduksi kumparan sekunder, sehingga pada kumparan sekunder akan timbul beda potensial antar ujung kumparan. Jika pada kumparan sekunder dihubungkan pada rangkaian tertutup maka akan timbul aliran arus. Besarnya tegangan keluaran pada kumparan sekunder akan berbanding lurus dengan besar arus yang mengalir pada kumparan primer. Output sinyal keluaran dari sensor arus dihubungkan dengan rangkaian *zero crossing detector* untuk diubah bentuk menjadi sinyal *step* (kotak).

Hasil pengujian rangkaian *zero crossing detector* dan detektor beda fase pada beban induktif berupa trafo *ballast* didapatkan data seperti ditunjukkan pada gambar 4.8. Nampak dari gambar tersebut ada pergeseran fase antara sinyal arus dan sinyal tegangan. Hasil pengujian menggunakan beban resistif berupa lampu pijar 5 watt didapatkan data seperti ditunjukkan pada gambar 4.9. Dari gambar tersebut hampir tidak terjadi pergeseran fase sinyal arus dan sinyal tegangan dan

keluaran sinyal dari detektor beda fase periode gelombang puncak sangat kecil sekali, dalam hal ini dapat dikatakan arus sefase dengan tegangan. Pada pengujian menggunakan beban kapasitif berupa kapasitor 1 *microfarad* didapatkan data seperti pada gambar 4.10. Dari gambar tersebut Nampak terjadi pergeseran fase antara arus dan tegangan. Dengan demikian rangkaian *zero crossing detector* dan detektor beda fase dapat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan teori.

Rangkaian *zero crossing detector* dan detektor beda fase merupakan satu-kesatuan. Rangkaian ini dirancang untuk mengetahui perbedaan fase sinyal arus dan sinyal tegangan berdasarkan inputan dari sensor arus dan sensor tegangan. Perbedaan fase sinyal arus dan sinyal tegangan merepresentasikan nilai faktor daya. Keluaran sinyal dari detektor beda fase berupa sinyal step 1 dan 0. Sinyal tersebut dibaca lebar pulsa pada saat berlogika 1, kemudian dikonversi ke nilai derajat setelah itu dikonversi ke nilai faktor daya.



Gambar 4.20 Bentuk gelombang sinyal beda fase hasil perbandingan dari sinyal step arus dan tegangan

Pengendalian sistem kontrol otomatis secara keseluruhan berpusat pada mikrokontroller. Alur jalannya kontrol yang dilakukan oleh mikrokontroller sepenuhnya diatur oleh program utama yang ditanam pada *chip* mikrokontroller. Program tersebut dibuat menggunakan bahasa pemrograman C. Dalam program

utama yang dibuat terdapat sub rutin-sub rutin berupa intruksi-intruksi logika program yang akan mengaktifkan beberapa fitur mikrokontroller dalam mengontrol sistem secara keseluruhan.

Prinsip kerja dari alat yang dibuat yaitu, mikrokontroller akan mendeteksi apakah ada beban yang terpasang atau tidak menggunakan sensor inframerah berupa *phototransistor* yang terhubung pada PINB.3, saat kondisi sensor ini *low* (0) berarti tidak ada beban yang terpasang. Saat kondisi sensor *high* (1) berarti ada beban yang terpasang. Jika tidak ada beban yang terpasang maka mikrokontroller akan mengaktifkan mode *standbay* dan LCD akan menampilkan mode tersebut. Jika ada beban yang terpasang, maka mikrokontroller akan mengaktifkan mode pembacaan dan perhitungan faktor daya kemudian ditampilkan pada LCD. Setelah ada beban yang terpasang mikrokontroller akan membaca periode lebar pulsa dari keluaran rangkaian detektor beda fase yang terhubung pada PINB.1. Lebar pulsa yang terbaca tersebut kemudian dikonversi ke nilai derajat sudut dalam bentuk *radian* setelah itu dikonversi menjadi nilai faktor daya ($\cos \varphi$). Nilai $\cos \varphi$ sendiri adalah merupakan nilai faktor daya. Perlu diperhatikan bahwa fitur fungsi matematika dalam mikrokontroller hanya dapat menghitung derajat sudut dalam bentuk *radian*, oleh karena itu nilai derajat sudut harus dikonversi dahulu ke bentuk *radian*. Berikut merupakan rumus untuk mengkonversi nilai lebar pulsa:

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= \cos \left(\left(\frac{T_{on} (ms)}{Periode (ms)} \times 360^{\circ} \right) \left(\frac{2\pi}{360^{\circ}} rad \right) \right) \\ \cos \varphi &= \cos \left(\left(\frac{T_{on} (ms)}{Periode (ms)} \times 2\pi rad \right) \right) \dots \dots \dots (4.1) \end{aligned}$$

Keterangan : T_{on} = Periode pulsa On (milisekon)

Periode = Periode pulsa dalam satu gelombang (20 milisekon)

$\cos \varphi$ = Faktor daya

$$2\pi = 6.28$$

$$\text{Sudut } 1^{\circ} = 0,0174532925 \text{ radian}$$

Setelah didapatkan nilai faktor daya, nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai *set poin* untuk mengaktifkan *driver relay*. Jika nilai faktor daya dibawah nilai *set poin* yaitu 0,98 maka mikrokontroller akan mengaktifkan *relay* satu persatu secara berurutan sampai nilai faktor daya di atas 0,98. Kemudian jika nilai faktor daya melebihi nilai *set point* maka mikrokontroller akan mematikan *relay*. Pada alat yang dibuat menggunakan 8 buah *relay*. Pada setiap masing-masing *relay* terdapat kapasitor dengan kapasitas 1 uF (*microfarad*), kapasitor ini dipasang pada jaringan instalasi listrik sebagai kompensator untuk meningkatkan nilai faktor daya sampai di atas 0,98. Nilai minimal kapasitas kapasitor yang digunakan sebagai kompensator adalah sebesar 1 uF. Nilai maksimal kapasitas kapasitor yang dapat digunakan sebagai kompensator yaitu sebesar 8 uF (*microfarad*). Untuk mengetahui jumlah kapasitor yang terpasang dapat dilihat pada panel LED indikator.

Hasil pengujian perbandingan pengukuran alat yang dibuat hasil perancangan dengan alat sudah ada untuk kalibrasi dan mencari nilai kesalahan pengukuran, didapatkan data seperti ditunjukkan pada tabel 4.5. Dari data tersebut didapatkan nilai rata-rata kesalahan pengukuran sebesar 13.31 %.

Besarnya nilai kesalahan pengukuran dari alat hasil perancangan kemungkinan disebabkan oleh pembacaan panjang periode pulsa. Karena *timer* pencacah penghitung periode pulsa pada mikrokontroler berupa nilai bilangan bulat bukan nilai bilangan pecahan.

Hasil pengujian alat kompensator faktor daya otomatis pada beban induktif didapatkan data seperti ditunjukkan pada tabel 4.6. Pengujian alat pada masing-masing beban induktif dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan. Beban induktif yang digunakan adalah berupa lampu TL 18 watt, lampu TL 40 watt, motor listrik 30 watt, motor listrik 50 watt, dan motor listrik 60 watt. Nilai rata-rata faktor daya yang diperoleh dari hasil pengujian alat pada masing-masing sampel beban menunjukkan bahwa pada lampu TL 18 watt terjadi kenaikan efisiensi faktor daya sebesar 50,53% dari nilai faktor daya awal 0,47 menjadi 0,95. Pada lampu TL 40 watt terjadi kenaikan efisiensi faktor daya sebesar 32,63% dari nilai faktor daya awal 0,64 menjadi 0,95. Pada motor listrik 30 watt terjadi kenaikan efisiensi faktor daya sebesar 12% dari nilai faktor daya awal 0,88 menjadi 1. Pada motor listrik 50 watt terjadi kenaikan efisiensi faktor daya sebesar 17,17% dari nilai faktor daya awal 0,82 menjadi 0,99. Pada motor listrik 60 watt terjadi kenaikan efisiensi faktor daya sebesar 14,14% dari nilai faktor daya awal 0,85 menjadi 0,99. Dari data tersebut terlihat adanya peningkatan faktor daya setelah penambahan pemasangan kapasitor. Nilai kapasitor akan bertambah terus sampai nilai kapasitor yang terpasang pada alat mencapai nilai *setting point* yang telah ditentukan, nilai *setting point*, pada alat yang dibuat nilai maksimum faktor daya *disetting* sebesar 0,98. Nilai kapasitas kapasitor paling kecil adalah 1 *microfarad*

dan nilai kapasitas kapasitor maksimum adalah 8 *microfarad*. Besarnya nilai kapasitor yang diperlukan untuk perbaikan faktor daya tergantung dari berapa nilai awal faktor daya sebelum kapasitor terpasang. Dari data hasil pengujian, alat kompensator faktor daya yang telah dibuat mampu meningkatkan nilai faktor daya yang nilai awalnya rendah menjadi lebih tinggi sampai nilai faktor mendekati nilai maksimumnya yaitu mendekati nilai 1.

Beban yang bersifat induktif bila dihubungkan dengan sumber arus bolak-balik maka pada beban akan menghasilkan medan magnet yang berubah-ubah. Daya reaktif digunakan untuk pembangkitan medan magnet. Induksi medan elektromagnetik akan menimbulkan gaya gerak listrik (GGL) pada ujung-ujung konduktor dengan arah yang berlawanan. Gaya gerak listrik (GGL) tersebut akan bersifat cenderung menahan laju arus listrik dari sumber yang menuju ke beban, sehingga akan menyebabkan gelombang arus tertinggal dari gelombang tegangan sebesar sudut fase ϕ . Pergeseran sudut fase antara gelombang arus dan gelombang menyebabkan nilai faktor daya ($\cos\phi$) menjadi rendah. Untuk meningkatkan nilai faktor daya dapat dilakukan dengan meminimalisir daya reaktif. Daya reaktif induktif dapat dikurangi dengan memasang kapasitor secara paralel pada beban induktif. Tujuan dari pemasangan kapasitor adalah untuk mengurangi daya reaktif induktif, sehingga fase gelombang arus dan fase gelombang tegangan menjadi sama atau sefase. Prinsip kerja dari kapasitor yang digunakan dalam perbaikan faktor daya adalah bila rangkaian diberi tegangan maka elektron akan mengalir masuk ke kapasitor. Pada saat kapasitor penuh dengan muatan elektron maka tegangan akan berubah. Kemudian elektron akan ke luar dari kapasitor dan

mengalir ke dalam rangkaian yang memerlukannya dengan demikian pada saat itu kapasitor membangkitkan daya reaktif kapasitif. Bila tegangan yang berubah itu kembali normal (tetap) maka kapasitor akan menyimpan kembali elektron. Pada saat kapasitor mengeluarkan elektron (I_c) berarti sama juga kapasitor menyuplai daya reaktif ke beban. Karena daya reaktif beban bersifat induktif (+) sedangkan daya reaktif kapasitor bersifat kapasitif(-) akibatnya daya reaktif menjadi kecil.

Al Quran adalah firman Allah Swt yang di turunkan bagi umat manusia sebagai petunjuk dan pedoman hidup agar manusia selamat dunia akhirat. Di dalam al Quran juga menjelaskan bukti kebesaran Allah Swt dalam mengatur isi alam jagat raya sesuai dengan ketetapanNya (*sunnatullah*). Allah Swt menciptakan dunia dan seluruh isinya ini dengan sangat lengkap, dimana semua yang diciptakan mempunyai kegunaan dan manfaat masing-masing.

Di dalam al Quran surat al Fatir(35):43 Allah Swt berfirman:

أَسْتَكْبَرًا فِي الْأَرْضِ وَمَكْرُ السَّيِّئِ وَلَا يَحِيقُ الْمَكْرُ السَّيِّئِ إِلَّا بِأَهْلِهِ فَهَلْ يَنْظُرُونَ إِلَّا سُنَّتَ الْأَوَّلِينَ فَلَنْ بَجِدَ لِسُنَّتِ اللَّهِ تَبْدِيلًا ۗ وَأَلَنْ بَجِدَ لِسُنَّتِ اللَّهِ تَحْوِيلًا ﴿٤٣﴾

“Karena kesombongan (mereka) di muka bumi dan karena rencana (mereka) yang jahat. Rencana yang jahat itu tidak akan menimpa selain orang yang merencanakannya sendiri. Tiadalah yang mereka nanti-nantikan melainkan (berlakunya) sunnah (Allah yang telah berlaku) kepada orang-orang yang terdahulu. Maka sekali-kali kamu tidak akan mendapat penggantian bagi sunnah Allah, dan sekali-kali tidak (pula) akan menemui penyimpangan bagi sunnah Allah itu.” (Al-Fatir:43).

Kata (سنة) *sunnah* antara lain berarti kebiasaan. *Sunnatullah* atau *sunnah* Allah Swt adalah kebiasaan-kebiasaan yang diberlakukan Allah Swt terhadap apa, siapa dan kapanpun. Karena ia adalah *sunnah* yang tidak

menyimpang dari arah yang telah ditetapkan dari hukum-hukum Allah Swt. Siapapun dari makhluk yang ada di dunia ini, tidak akan mampu mengalihkan hukum Allah Swt dari arah yang telah ditentukan (Shihab, 2003).

Kata kunci dari tafsir ayat di atas adalah *sunnah* yang dapat diartikan sebagai ketetapan hukum (*sunnatullah*). Dalam kajian ilmu fisika beban listrik yang bersifat induktif akan menyerap daya aktif dan daya reaktif. Sedangkan beban listrik yang bersifat kapasitif akan menyerap daya aktif dan memberikan atau mengeluarkan daya reaktif kapasitif. Allah Swt telah menetapkan suatu hukum pada sesuatu yang telah diciptakan-Nya agar dapat diambil manfaatnya oleh umat manusia. Kapasitor merupakan komponen yang ada di alam ini yang dapat dimanfaatkan untuk mengurangi daya reaktif beban induktif, karena daya reaktif kapasitor (Q_c) bersifat negatif (-) sedangkan daya reaktif beban induktif (Q_L) bersifat positif (+), sehingga daya reaktif beban induktif dapat berkurang. Daya reaktif yang rendah akan menyebabkan nilai faktor daya mendekati nilai maksimum, sehingga kualitas faktor daya menjadi semakin baik.

Sudah menjadi ketetapan hukum bahwa beban yang bersifat induktif bila dihubungkan dengan sumber arus listrik bolak-balik (AC) akan timbul reaktansi induktif. Reaktansi induktif terjadi karena perubahan *fluks* magnetik B yang melalui kawat penghantar / konduktor arus listrik, sehingga terjadi induksi elektromagnetik disekitar kawat konduktor. Induksi elektromagnetik tersebut menimbulkan gaya gerak listrik (GGL) ε pada ujung-ujung kawat induktor dengan arah yang berlawanan yang disebabkan oleh. Gaya gerak listrik (GGL) ε akan cenderung menahan atau menghambat laju arus listrik. Hal ini menyebabkan fase

gelombang arus tertinggal dari fase gelombang tegangan sebesar sudut 90^0 , sehingga nilai faktor daya ($\cos\phi$) menjadi rendah. Faktor daya memiliki rentangan nilai dari 0 sampai 1. Kualitas faktor daya yang baik adalah nilainya mendekati 1. Besarnya nilai sudut fase pergeseran gelombang arus dan gelombang tegangan akan berpengaruh terhadap nilai faktor daya. Semakin kecil nilai sudut fase gelombang arus dan gelombang tegangan (mendekati 0^0) maka nilai faktor daya akan menjadi semakin besar yaitu nilai faktor daya akan mendekati 1. Sebaliknya, jika nilai sudut fase semakin besar (mendekati 90^0) maka nilai faktor akan menjadi kecil yaitu mendekati 0. Agar fase gelombang arus dan tegangan pada beban induktif menjadi sefase maka dapat digunakan kompensator faktor daya menggunakan kapasitor yang dirangkai paralel dengan beban induktif. Kapasitor sendiri memiliki sifat beban kapasitif yaitu gelombang arus mendahului gelombang tegangan sebesar sudut 90^0 . Kapasitor akan mengeluarkan daya reaktif kapasitif. Daya reaktif kapasitif akan mengkompensasi daya reaktif induktif. Hal ini menyebabkan sudut fase antara gelombang arus dan tegangan akan mendekati 0^0 . Sehingga nilai faktor daya akan mendekati 1 dan tenaga listrik yang disuplai dapat dimanfaatkan dengan maksimal dan efisien.

Penelitian tentang rancang bangun kompensator faktor daya otomatis sebagai upaya efisiensi tenaga listrik yang telah dilakukan, merupakan salah satu upaya untuk memperbaiki kualitas faktor daya. Kualitas faktor daya yang baik nilainya adalah di atas 0,85 atau mendekati 1. Sedangkan, kualitas faktor daya yang buruk nilainya adalah dibawah 0.3. Kualitas faktor daya akan menentukan seberapa besar daya listrik yang termanfaatkan dan tidak termanfaatkan oleh

beban listrik. Kualitas faktor daya yang baik akan meningkatkan efisiensi tenaga listrik dan menghemat pemakaian energi listrik yang disuplai dari pemasok. Namun kualitas faktor daya yang buruk akan menyebabkan pemakaian energi listrik menjadi boros. Dalam ajaran Islam pemborosan adalah hal yang dicela oleh agama. Baik tidak disadari atau disengaja, apalagi kalau dilakukan dengan sengaja. Firman Allah Swt dalam surat Al-A'raf(7): 31

يٰۤاٰدَمُ خُذْ زِينَتَكَ عِنْدَ كُلِّ مَسْجِدٍ وَكُلْ وَاشْرَبْ وَلَا تُسْرِفْ اِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِيْنَ ﴿٣١﴾

“Hai anak Adam, pakailah pakaianmu yang indah di setiap (memasuki) mesjid, makan dan minumlah, dan janganlah berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berlebih-lebihan”(Al-A'raf: 31).

Kata kunci tafsir ayat di atas adalah (إسرف) *israf* bermakna berlebih-lebihan (Asy-Syuyuthi, 2010). Ayat di atas menganjurkan sikap berbuat hemat dan melarang sikap berbuat berlebih-lebihan. Berkaitan dengan upaya perbaikan faktor daya listrik yang rendah pada beban induktif menggunakan kompensator faktor daya berupa kapasitor, nilai kompensasi yang diberikan harus sesuai dengan nilai faktor daya yang akan ditingkatkan, dan tidak boleh melebihi batas maksimal nilai faktor daya. Ayat al Quran tersebut menganjurkan dalam memakai dan memanfaatkan sesuatu harus dilakukan secara efektif dan efisien.

Hadits nabi yang berkaitan dengan berhemat:

عن أنس قال: كان النبي يتوضأ بالمدّ ويغتسل بالصّاع إلى خمسة أمداد

Dari Anas Rodhiyallahu Anhu ia berkata: "Nabi Shollallahu Alaihi wa Sallam biasa berwudhu dengan memakai satu mud* dan mandi dengan satu sho' sampai 5 mud." {HR.Muslim 1:156,Mukhtashor Shohih Muslim no. 136}

Hadits tersebut menunjukkan betapa hematnya Rasulullah Swt menggunakan air untuk berwudhu'. Satu *mud* seukuran dengan satu tadah kedua telapak tangan orang dewasa. Rasulullah berusaha semaksimal mungkin memperhemat penggunaan air wudhu'. Hal ini sebagai salah satu perbuatan untuk menghindari pemborosan air. Sama seperti halnya pemakaian daya listrik, agar daya listrik dapat digunakan secara efektif dan efisien, maka perlu dilakukan perbaikan kualitas faktor daya pada beban induktif, sehingga pemakaian daya listrik menjadi hemat.

Beban listrik yang bersifat induktif umumnya mempunyai kualitas faktor daya yang buruk. Beban listrik yang bersifat induktif menyebabkan gelombang arus tertinggal dari gelombang tegangan, sehingga akan menyebabkan turunnya kualitas faktor daya (*cosphi*). Penggunaan beban yang bersifat induktif akan menimbulkan daya reaktif, dimana daya reaktif yang besar akan menurunkan nilai faktor daya. Semakin besar daya reaktif semakin besar pula daya semu (VA) yang harus di suplai ke sistem dan daya yang terpasang tidak bisa di pakai secara maksimal. Faktor daya yang buruk dapat menyebabkan rendahnya efisiensi tenaga listrik dan kapasitas daya yang terpasang menjadi berkurang. Kualitas faktor daya yang buruk menyebabkan daya yang di suplai ke sistem menjadi sangat boros. Salah satu upaya untuk mengatasi persoalan tersebut dapat dilakukan usaha memperbaiki kualitas faktor daya, yaitu dengan memasang alat kompensator faktor daya. Kompensator yang digunakan adalah berupa sekumpulan kapasitor (kapasitor *bank*) yang dirangkai secara paralel pada instalasi jaringan listrik. Namun dalam hal perbaikan faktor daya, nilai kompensasi yang diberikan harus

sesuai dengan nilai faktor daya yang akan di perbaiki, sehingga akan tercapai efisiensi tenaga listrik. Jika nilai kompensasi yang diberikan nilainya tidak sesuai atau terlalu besar melampaui batas yang ditentukan, maka faktor daya dan efisiensi daya listrik akan menjadi semakin buruk dan alat kompensator yang digunakan akan menjadi *mubadzir*. Dalam surat Al-Isra' (17): 26 dijelaskan

وَأْتِ ذَا الْقُرْبَىٰ حَقَّهُ وَالْمِسْكِينَ وَابْنَ السَّبِيلِ وَلَا تُبَذِّرْ تَبْذِيرًا ﴿٢٦﴾

“Dan berikanlah kepada keluarga-keluarga yang dekat akan haknya, kepada orang miskin dan orang yang dalam perjalanan dan janganlah kamu menghambur-hamburkan (hartamu) secara boros”(Al-Isra': 26).

Kata (اتوا) *atu* bermakna pemberian sempurna. Pemberian yang dimaksud bukan hanya terbatas pada hal-hal materi tetapi juga imateri. Kata (تبذير) *tabdzir/pemborosan* dipahami oleh ulama dalam arti pengeluaran yang bukan *haq*, karena itu jika seseorang menafkahkan/membelanjakan semua hartanya dalam kebaikan atau *haq*, maka ia bukan seorang pemboros (Shihab, 2002). Kata kunci dari tafsir ayat di atas adalah kata *atu* dan *tabdzir*. Ayat di atas bila dikaitkan dengan penelitian yang dilakukan, kompensator faktor daya harus diberikan pada beban yang memiliki kualitas faktor daya rendah, sehingga setelah pemberian kompensator kualitas faktor daya meningkat menjadi lebih baik. Namun dalam pemberian nilai kompensasi ada aturannya, nilai kompensasi yang diberikan harus sesuai dengan nilai faktor daya yang akan ditingkan. Bila nilai kompensasi yang diberikan melampaui batas nilai maksimum faktor daya, maka kualitas faktor daya akan menjadi buruk dan kompensator yang diberikan menjadi *mubadzir* dan tidak ada gunanya.

Agar nilai kompensasi yang diberikan tidak *mubadzir* dan sesuai dengan nilai faktor daya yang akan diperbaiki, maka perlu dibuat sistem otomatisasi atau pengaturan pemasangan kompensator (kapasitor) pada jaringan instalasi listrik. Berkenaan dengan sistem otomatisasi atau pengontrolan dalam al Quran dijelaskan pada surat at Talaq(65):3

قَدْ جَعَلَ اللَّهُ لِكُلِّ شَيْءٍ قَدْرًا ۝٣

"*Sesungguhnya Allah telah mengadakan ketentuan bagi tiap-tiap sesuatu.*" (At - Talaq: 3).

Kata kunci dari ayat tersebut adalah (قدر) *qadar* yang mempunyai makna hidup penuh dengan kecukupan, dan hidup sengsara (ketentuan) atau waktu yang ditentukan (Asy-Syuyuthi, 2010). Kata *qadar* atau ketentuan dari tafsir ayat tersebut dapat diartikan sebagai instruksi. Sebagaimana alat yang dibuat akan bekerja berdasarkan ketentuan-ketentuan atau instruksi-instruksi yang telah ditanam pada *chip* mikrokontroler. Alat kompensator faktor daya otomatis akan bekerja sesuai dengan pembacaan nilai faktor daya pada beban. Kapasitor akan dipasang secara otomatis bila ada beban yang mempunyai nilai faktor daya yang rendah atau di bawah nilai *setting point* yang telah ditentukan. Manfaat dari sistem otomatis adalah kompensator akan dipergunakan dengan tepat dan efisien.

Allah Swt telah menganugerahi akal dan fikiran pada manusia agar manusia memikirkan bagaimana cara mengambil manfaat dari semua yang telah diciptakan oleh Allah Swt. Upaya perbaikan faktor daya listrik harus dilakukan agar daya listrik yang terpasang pada peralatan listrik dapat digunakan dan diubah menjadi usaha atau kerja secara maksimal. Beban yang bersifat induktif umumnya

memiliki faktor daya yang rendah yang akan mengakibatkan konsumsi daya lebih besar dan boros. Sehingga biaya konsumsi energi listrik yang harus dikeluarkan menjadi lebih besar. Dalam surat ar Ra'du(13): 11 Allah berfirman

إِنَّ اللَّهَ لَا يُغَيِّرُ مَا بِقَوْمٍ حَتَّىٰ يُغَيِّرُوا مَا بِأَنْفُسِهِمْ ۗ وَإِذَا أَرَادَ اللَّهُ بِقَوْمٍ سُوءًا فَلَا مَرَدَّ لَهُ ۗ وَمَا لَهُم مِّن دُونِهِ مِن وَّالٍ ﴿١١﴾

“Sesungguhnya Allah tidak merubah keadaan sesuatu kaum sehingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri. Dan apabila Allah menghendaki keburukan terhadap sesuatu kaum, maka tak ada yang dapat menolaknya; dan sekali-kali tak ada pelindung bagi mereka selain Dia” (Ar-Ra’du: 11).

Ayat di atas menerangkan bahwa Allah Swt tidak akan merubah keadaan suatu kaum, selama mereka tidak merubah penyebab kemunduran mereka. Tanpa usaha dan kerja keras, tentu perubahan atau sesuatu yang ingin dicapai hanya mimpi kosong tiada makna. Dengan semangat berusaha untuk merubah diri sendiri agar menjadi yang lebih baik, niscaya akan datang pertolongan dari Allah Swt, sehingga keinginan yang ingin dicapai akan menjadi kenyataan.

Berbagai upaya perlu dilakukan dalam rangka penghematan energi listrik. Sehingga energi listrik yang ada dapat dimanfaatkan untuk keperluan lain yang bermanfaat dan juga dapat dimanfaatkan oleh orang banyak. Dengan dibuatnya alat kompensator faktor daya otomatis dapat menjadikan pemakaian daya listrik lebih efektif dan efisien, konsumsi energi listrik menjadi lebih hemat.

Penelitian ini masih terbatas pada penelitian kompensator faktor daya pada beban induktif. Sedangkan pada beban kapasitif tidak diteliti. Kompensator faktor daya yang dibuat masih dalam bentuk prototype dan nantinya dapat di aplikasikan pada distribusi saluran tenaga listrik agar pemakaian daya listrik lebih efisien.

BAB V PENUTUP

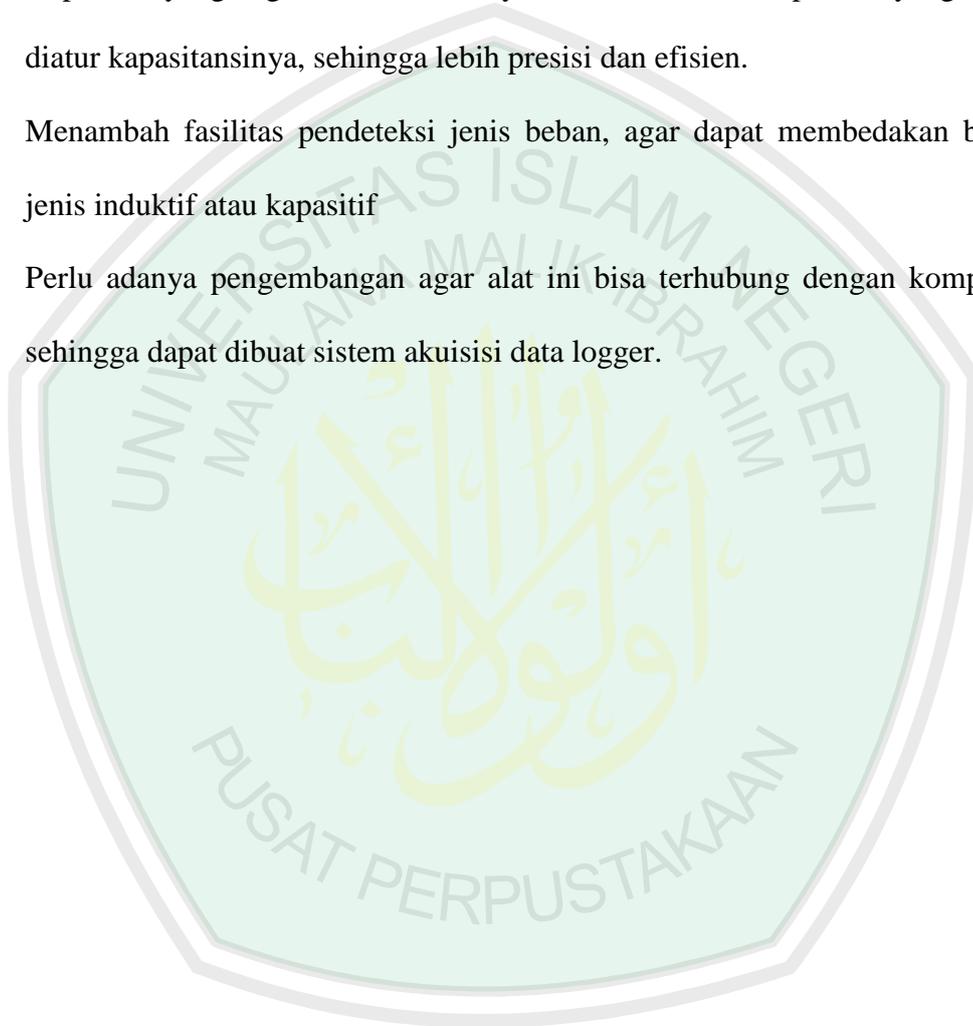
5.1 Kesimpulan

Bedasarkan hasil penelitian dan pembahasan tentang kompensator faktor daya otomatis sebagai upaya efisiensi tenaga listrik yang telah diuraikan di atas maka dapat ditarik kesimpulan:

1. Telah dibuat alat kompensator faktor daya otomatis yang dapat membaca nilai faktor daya pada beban listrik dengan baik dan dapat mengontrol nilai kompensator yang diberikan sesuai dengan nilai faktor daya yang ingin ditingkatkan secara otomatis.
2. Alat kompensator faktor daya otomatis dapat meningkatkan nilai faktor daya pada beban induktif. Nilai rata-rata faktor daya yang diperoleh dari hasil pengujian alat kompensator faktor daya otomatis pada masing-masing sampel beban menunjukkan bahwa pada lampu TL 18 watt terjadi kenaikan efisiensi faktor daya sebesar 50,53% dari nilai faktor daya awal 0,47 menjadi 0,95. Pada lampu TL 40 watt terjadi kenaikan efisiensi faktor daya sebesar 32,63% dari nilai faktor daya awal 0,64 menjadi 0,95. Pada motor listrik 30 watt terjadi kenaikan efisiensi faktor daya sebesar 12% dari nilai faktor daya awal 0,88 menjadi 1. Pada motor listrik 50 watt terjadi kenaikan efisiensi faktor daya sebesar 17,17% dari nilai faktor daya awal 0,82 menjadi 0,99. Pada motor listrik 60 watt terjadi kenaikan efisiensi faktor daya sebesar 14,14% dari nilai faktor daya awal 0,85 menjadi 0,99.

5.2 Saran

1. Perlu pengkajian lebih lanjut agar alat ini dapat digunakan pada jaringan listrik 3 *phase*.
2. Kapasitor yang digunakan seharusnya adalah variable kapasitor yang dapat diatur kapasitansinya, sehingga lebih presisi dan efisien.
3. Menambah fasilitas pendeteksi jenis beban, agar dapat membedakan beban jenis induktif atau kapasitif
4. Perlu adanya pengembangan agar alat ini bisa terhubung dengan komputer, sehingga dapat dibuat sistem akuisisi data logger.



DAFTAR PUSTAKA

- Andrianto, Heri. 2013. *Pemrograman Mikrokontroler AVR Atmega16 Menggunakan Bahasa C*. Bandung: Informatika
- Anonim. 2009. *Atmega32 8 Bit AVR Mikrokontroler Wiyh 32K Bytes In-Sistem Programmable Flash*. Atmel Corporation. <http://www.atmel.com/Atmega32.pdf>.
- Anonim. 2013. High-Voltage, High-Current Darlington Transistor Arrays. Atmel Corporation. <http://www.ti.com/ULN2003A.pdf>.
- As-Syuyuti, Jalaluddin Abdurrahman. 2010. *Tafsir Jalalain*. Surabaya: Pustaka Elba
- Astuti, Budi. 2011. *Pengantar Teknik Elektro*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Bueche, Frederick J. 1989. *Fisika Edisi Kedelapan*. Jakarta: Erlangga
- Electrical, Relay. 2015.[Online]. *The Electromechanical Relay*. Tersedia. http://www.electronics-tutorials.ws/io/io_5.html [6 Juni 2015]
- Driver, Relay. 2015.[Online]. *Driver Relay menggunakan IC Driver (IC Penguat Daya)*. Tersedia. <http://roboholiccommunity.blogspot.com.driver-relay-menggunakan-ic-driver-ic.html> [5 Juni 2015]
- Giancoli, Douglas C. 2001. *Fisika Edisi Kelima*. Jakarta: Erlangga
- Gorang, Wahyudin. 2014. *Pemanfaatan Port Paralel PC Untuk Pengukuran Faktor Daya*. Skripsi. Malang: Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Hamzah, Amir dkk. 2013. *Perbaikan Faktor Daya Otomatis Berbasis Smart Relay Pada Jaringan Tegangan Rendah Satu Fasa*. Riau: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Riau
- Happy S., Ardiyanto dan Purwati, Ninik. 2001. *Rancang Bangun Sistem Kontrol Temperatur Berbasis Logika Fuzzy*. Surabaya: Jurusan Teknik Telekomunikasi Politeknik Elektronika Surabaya ITS
- Munawwir, Ahmad Warson. 2002. *Kamus Al-Munawwir Arab-Indonesia*. Surabaya: Pustaka Progresif
- Neidle, Michael. 1999. *Teknologi Instalasi Listrik Edisi Ketiga*. Jakarta: Erlangga
- Ogata, Katsuhiko. 1993. *Teknik Kontrol Otomatik (Sistem Pengaturan)*. Jakarta: Erlangga
- Pujiono. 2012. *Rangkaian Elektronika Analog*. Yogyakarta: Graha Ilmu

- Shihab, M Quraish. 2002. *Tafsir Al-Misbah*. Jakarta: Lentera Hati
- Shihab, M Quraish. 2003. *Tafsir Al-Misbah. Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati
- Syafrianto, Asrul. 2012. *Rancang Bangun Alat Untuk Perbaikan faktor Daya Pada Beban Dinamis 1 fase dan Monitoring Daya Dengan LCD Grafik*. Jurusan Teknik Elektro Industri PENS_ITS
- Wibowo, Prihantara S. 2010. *Rancang Bangun Automatic Power Factor Correction (APFC) Berbasis Mikrokontroler AVR Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan*. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Wihardiyono, Tejo. 2011. *Switching Kapasitor untuk Perbaikan Power Faktor dengan Menggunakan Mikrokontroler M68HC11*. Semarang: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
- Yasin, Muhammad. 2013. *Perancangan Cos Phi Meter Digital Berbasis Mikrokontroler Atmega16*. Bogor: Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Pakuan Bogor

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Pengujian

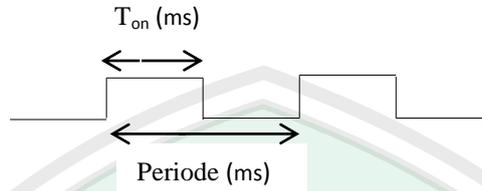
Tabel 1. Data hasil pengujian perbandingan alat menggunakan cosphi meter A dan cosphi meter B

No.	Beban	$Cos(\phi)$ Meter A	$Cos(\phi)$ Meter B	KR (%)
1.	Lampu TL 18 w Merek Philips	0,40	0,43	-7.50%
2.	Lampu TL 18 w Merek Sinar	0.38	0.34	10.53%
3.	Kapasitor 2,2 uF	0.78	0.37	52.56%
4.	Kapasitor 1 uF	0.33	0.25	24.24%
5.	Lampu pijar 5 w	1	1	0.00%
6.	Lampu pijar 25 w	1	1	0.00%
Jumlah kesalahan rata-rata				13.31%

Tabel 2 Data hasil pengujian alat pada beban induktif

No.	Beban	Perulangan ke-	Faktor daya _{awal} (fd _{awal})	Faktor daya _{akhir} (fd _{akhir})							
				Kapasitor aktif (μ F)							
				1 μ	2 μ	3 μ	4 μ	5 μ	6 μ	7 μ	8 μ
1.	Lampu TL 18 watt	1	0,43	0,54	0,54	0,54	0,56	0,59	0,81	0,84	0,95
		2	0,54	0,54	0,48	0,54	0,59	0,59	0,83	0,86	0,96
		3	0,45	0,54	0,54	0,43	0,59	0,59	0,84	0,83	0,93
		Rata-rata	0,47	0,54	0,52	0,5	0,58	0,59	0,83	0,84	0,95
2.	Lampu TL 40 watt	1	0,64	0,75	0,75	0,64	0,88	0,84	0,86	0,88	0,94
		2	0,68	0,71	0,75	0,68	0,86	0,86	0,86	0,75	0,95
		3	0,61	0,73	0,68	0,66	0,83	0,88	0,88	0,88	0,95
		Rata-rata	0,64	0,73	0,73	0,66	0,86	0,86	0,87	0,84	0,95
3.	Motor listrik 30 watt	1	0,84	1	x	x	x	x	x	x	x
		2	0,92	1	x	x	x	x	x	x	x
		3	0,88	1	x	x	x	x	x	x	x
		Rata-rata	0,88	1	x	x	x	x	x	x	x
4.	Motor listrik 50 watt	1	0,81	0,86	0,93	0,93	0,99	x	x	x	x
		2	0,83	0,88	0,93	0,93	1	x	x	x	x
		3	0,83	0,92	0,94	0,94	1	x	x	x	x
		Rata-rata	0,82	0,89	0,93	0,93	0,99				
5.	Motor listrik 60 watt	1	0,88	0,81	0,93	0,81	0,94	0,89	0,97	0,89	0,99
		2	0,77	0,93	0,83	0,90	0,81	0,96	0,96	0,96	1
		3	0,89	0,84	0,90	0,81	0,96	0,88	0,98	0,98	1
		Rata-rata	0,85	0,86	0,89	0,84	0,9	0,91	0,97	0,94	0,99

Lampiran 2 Perhitungan faktor daya



Gambar gelombang keluaran rangkaian detektor beda fase

$$\cos \varphi = \cos \left(\left(\frac{T_{on} (ms)}{Periode (ms)} \times 360^\circ \right) \left(\frac{2\pi}{360^\circ} rad \right) \right)$$

$$\cos \varphi = \cos \left(\left(\frac{T_{on} (ms)}{Periode (ms)} \times 2\pi rad \right) \right) \dots \dots \dots (4.1)$$

Keterangan : T_{on} = Periode pulsa On (milisekon)

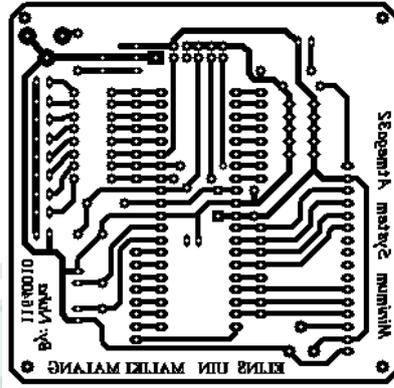
Periode = Periode pulsa dalam satu gelombang (20 milisekon)

$\cos \varphi$ = Faktor daya

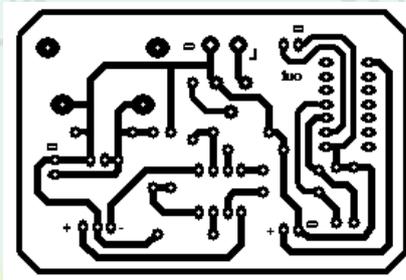
$$2\pi = 6.28$$

Sudut $1^\circ = 0,0174532925 \text{ radian}$

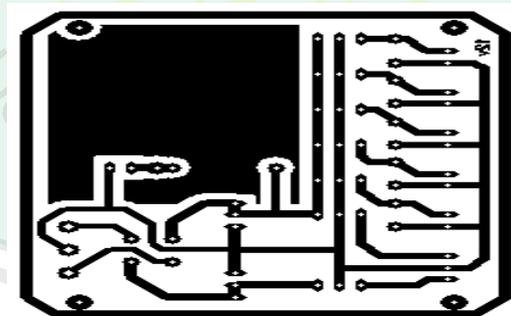
Lampiran 3 Gambar layout PCB skema rangkaian alat



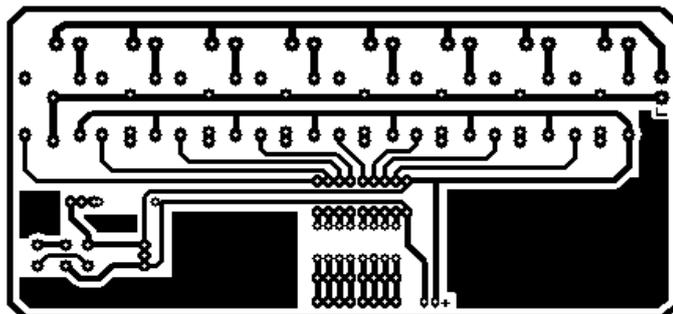
Gambar *Layout* minimum sistem mikrokontroler Atmega32



Gambar *Layout* Rangkaian *Zero Crossing Detector* dan Detektor Beda fase



Gambar *Layout* Skema Power Supply



Gambar *Layout* Rangkaian Driver Relay

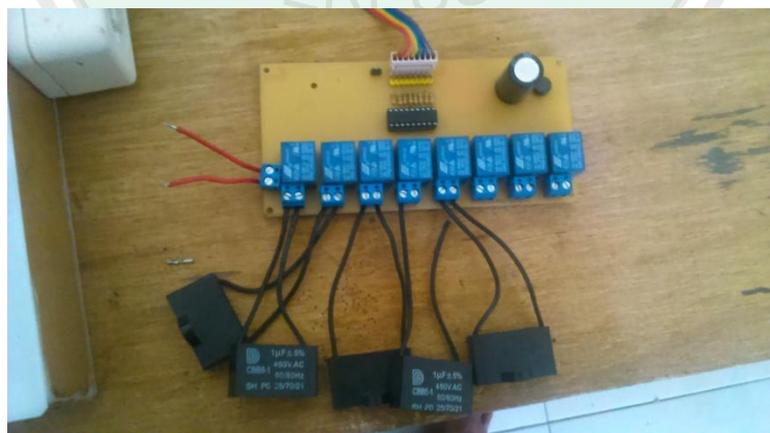
Lampiran 4 Gambar alat kompensator faktor daya hasil rancang bangun



Gambar Alat Tampak Luar



Gambar Alat Tampak Bagian Dalam



Gambar Driver Relay

Lampiran 5 Listing program alat kompensator faktor daya secara keseluruhan

This program was created by the
CodeWizardAVR V3.12 Advanced
Automatic Program Generator
© Copyright 1998-2014 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.
<http://www.hpinfotech.com>

```
Project       : Kompensator faktor daya otomatis
Version      : 46
Date        : 11/4/2015
Author      : M. Ulin Nuha
Company     : ELINS UIN MALIKI Malang
Chip type    : ATmega32
Program type : Application
AVR Core Clock frequency : 12.000000 MHz
Memory model : Small
External RAM size : 0
Data Stack size : 512
*****/
#include <mega32.h>
#include <delay.h>
#include <math.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <lcd.h>
#asm
.equ __lcd_port=0x15;
#endasm

// Declare your global variables here
unsigned char t[16];
unsigned char n[]={0x00,0x01,0x03,0x07,0x0F,0x1F,0x3F,0x7F,0xFF};
unsigned char i,j;
float p=0;

float faktor_daya()
{
  unsigned char count=0;
  unsigned char Ton,a,b,c;
  unsigned char d[16];
  unsigned char x[16];
  float sudut,sdradian,fd;
  while (PINB.0==1);
  while (PINB.0==0);
  while(1)
  {
```

```

count++;
delay_us(100);
if(!PINB.0)
break;
}

Ton=count;
sudut=(float)(Ton/200.0)*6.28; // rumus konversi periode timer ke sudut
fase
fd=cos(sudut); // konversi sudut radian ke nilai faktor daya
fd=fabs(fd);

a=Ton%10;
b=(Ton/10)%10;
c=(Ton/100)%10;
lcd_gotoxy(0,0);
sprintf(d,"Ton:%d%d%d",c,b,a); // tampilan LCD untuk periode pulsa
lcd_puts(d);
lcd_gotoxy(8,0);
sprintf(x,"Pf:%0.2f",fd); // tampilan LCD untuk nilai faktor daya
lcd_puts(x);
return fd;
}
void rele()
{
float s;
p=faktor_daya();
p*=100;
s=p+1;
if(p<98)
{
i+=1;
delay_ms(2000);
PORTD=n[i];
if(i>=8)
{
PORTD=n[8];
}
}
if(s>99)
{
i-=1;
delay_ms(5000);
PORTD=n[i]; }
}
void main(void)
{
// Declare your local variables here
float a,b,c,d,e,fd,fs,fkr,setpoint;

```

```

// Input/Output Ports initialization
// Port A initialization
// Function: Bit7=In Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In Bit2=In Bit1=In Bit0=In
DDRA=(0<<DDA7) | (0<<DDA6) | (0<<DDA5) | (0<<DDA4) | (0<<DDA3) |
(0<<DDA2) | (0<<DDA1) | (0<<DDA0);
// State: Bit7=T Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T Bit1=T Bit0=T
PORTA=(0<<PORTA7) | (0<<PORTA6) | (0<<PORTA5) | (0<<PORTA4) |
(0<<PORTA3) | (0<<PORTA2) | (0<<PORTA1) | (0<<PORTA0);
// Port B initialization
// Function: Bit7=Out Bit6=Out Bit5=Out Bit4=Out Bit3=Out Bit2=Out
Bit1=Out Bit0=Out
DDRB=(0<<DDB7) | (0<<DDB6) | (0<<DDB5) | (0<<DDB4) | (0<<DDB3) |
(0<<DDB2) | (0<<DDB1) | (0<<DDB0);
// State: Bit7=0 Bit6=0 Bit5=0 Bit4=0 Bit3=0 Bit2=0 Bit1=0 Bit0=0
PORTB=(0<<PORTB7) | (0<<PORTB6) | (0<<PORTB5) | (0<<PORTB4) |
(1<<PORTB3) | (0<<PORTB2) | (0<<PORTB1) | (0<<PORTB0);
// Port C initialization
// Function: Bit7=In Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In Bit2=In Bit1=In Bit0=In
DDRC=(0<<DDC7) | (0<<DDC6) | (0<<DDC5) | (0<<DDC4) | (0<<DDC3) |
(0<<DDC2) | (0<<DDC1) | (0<<DDC0);
// State: Bit7=T Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T Bit1=T Bit0=T
PORTC=(0<<PORTC7) | (0<<PORTC6) | (0<<PORTC5) | (0<<PORTC4) |
(0<<PORTC3) | (0<<PORTC2) | (0<<PORTC1) | (0<<PORTC0);
// Port D initialization
// Function: Bit7=In Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In Bit2=In Bit1=In Bit0=In
DDRD=(1<<DDD7) | (1<<DDD6) | (1<<DDD5) | (1<<DDD4) | (1<<DDD3) |
(1<<DDD2) | (1<<DDD1) | (1<<DDD0);
// State: Bit7=T Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T Bit1=T Bit0=T
PORTD=(0<<PORTD7) | (0<<PORTD6) | (0<<PORTD5) | (0<<PORTD4) |
(0<<PORTD3) | (0<<PORTD2) | (0<<PORTD1) | (0<<PORTD0);
// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
// Mode: Normal top=0xFF
// OC0 output: Disconnected
TCCR0=(0<<WGM00) | (0<<COM01) | (0<<COM00) | (0<<WGM01) |
(0<<CS02) | (0<<CS01) | (0<<CS00);
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;
// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer1 Stopped
// Mode: Normal top=0xFFFF
// OC1A output: Disconnected
// OC1B output: Disconnected
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer1 Overflow Interrupt: Off

```

```

// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=(0<<COM1A1) | (0<<COM1A0) | (0<<COM1B1) | (0<<COM1B0) |
(0<<WGM11) | (0<<WGM10);
TCCR1B=(0<<ICNC1) | (0<<ICES1) | (0<<WGM13) | (0<<WGM12) |
(0<<CS12) | (0<<CS11) | (0<<CS10);
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer2 Stopped
// Mode: Normal top=0xFF
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0<<AS2;
TCCR2=(0<<PWM2) | (0<<COM21) | (0<<COM20) | (0<<CTC2) | (0<<CS22) |
(0<<CS21) | (0<<CS20);
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=(0<<OCIE2) | (0<<TOIE2) | (0<<TICIE1) | (0<<OCIE1A) |
(0<<OCIE1B) | (0<<TOIE1) | (0<<OCIE0) | (0<<TOIE0);

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: Off
// INT2: Off
MCUCR=(0<<ISC11) | (0<<ISC10) | (0<<ISC01) | (0<<ISC00);
MCUCSR=(0<<ISC2);

// USART initialization
// USART disabled
UCSRB=(0<<RXCIE) | (0<<TXCIE) | (0<<UDRIE) | (0<<RXEN) | (0<<TXEN) |
(0<<UCSZ2) | (0<<RXB8) | (0<<TXB8);

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// The Analog Comparator's positive input is
// connected to the AIN0 pin
// The Analog Comparator's negative input is

```

```

// connected to the AIN1 pin
ACSR=(1<<ACD) | (0<<ACBG) | (0<<ACO) | (0<<ACI) | (0<<ACIE) |
(0<<ACIC) | (0<<ACIS1) | (0<<ACIS0);
SFIOF=(0<<ACME);

// ADC initialization
// ADC disabled
ADCSRA=(0<<ADEN) | (0<<ADSC) | (0<<ADATE) | (0<<ADIF) | (0<<ADIE) |
(0<<ADPS2) | (0<<ADPS1) | (0<<ADPS0);

// SPI initialization
// SPI disabled
SPCR=(0<<SPIE) | (0<<SPE) | (0<<DORD) | (0<<MSTR) | (0<<CPOL) |
(0<<CPHA) | (0<<SPR1) | (0<<SPR0);

// TWI initialization
// TWI disabled
TWCR=(0<<TWEA) | (0<<TWSTA) | (0<<TWSTO) | (0<<TWEN) |
(0<<TWIE);

// Alphanumeric LCD initialization
// Connections are specified in the
// Project|Configure|C Compiler|Libraries|Alphanumeric LCD menu:
// RS - PORTC Bit 0
// RD - PORTC Bit 1
// EN - PORTC Bit 2
// D4 - PORTC Bit 4
// D5 - PORTC Bit 5
// D6 - PORTC Bit 6
// D7 - PORTC Bit 7
// Characters/line: 16
lcd_init(16);

lcd_gotoxy(1,0);
lcd_putsf("M. ULIN NUHA");
lcd_gotoxy(1,1);
lcd_putsf("NIM: 11640010");
delay_ms(1000);
lcd_clear();
lcd_gotoxy(1,0);
lcd_putsf("RANCANG BANGUN");
lcd_gotoxy(3,1);
lcd_putsf("KOMPENSATOR ");
delay_ms(1000);
lcd_clear();
lcd_gotoxy(2,0);
lcd_putsf("FAKTOR DAYA");
lcd_gotoxy(3,1);

```

```

lcd_putsf("OTOMATIS");
delay_ms(2000);
lcd_clear();

do
{

if(PINB.3==1)
{
unsigned char y;
for(y=1;y<=5;y++)
{
delay_ms(20);
a=faktor_daya();
b=faktor_daya();
c=faktor_daya();
d=faktor_daya();
e=faktor_daya();
break;
}
fd=(float)(a+b+c+d+e)/5;
fs=(float)((((a-fd)*(a-fd))+ ((b-fd)*(b-fd))+((c-fd)*(c-fd))+((d-fd)*(d-fd))+((e-
fd)*(e-fd)))/(4);
fkr=(float)sqrt(fs);
lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,1);
sprintf(t,"Sd:%0.3f",fkr);
lcd_puts(t);
faktor_daya();
rele();
}

if(PINB.3==0)
{
PORTD=n[0];
lcd_clear();
lcd_gotoxy(5,0);
lcd_putsf("BEBAN");
lcd_gotoxy(1,1);
lcd_putsf("BELUM TERPASANG");
delay_ms(400);

}}
while(1);
while (1)
{
// Place your code here
}}

```



KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : M. ULIN NUHA
NIM : 11640010
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Rancang Bangun Kompensator Faktor Daya Otomatis
Sebagai Upaya Efisiensi Tenaga Listrik
Pembimbing I : Farid Samsu Hananto, M.T
Pembimbing II : Umayyatus Syarifah, M.A

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1.	27 Oktober 2015	Konsultasi Bab I, II, dan III	
2.	30 Oktober 2015	Konsultasi Kajian Agama	
3.	16 November 2015	Konsultasi <i>Hardware</i>	
4.	23 November 2015	Konsultasi Program	
5.	30 November 2015	Konsultasi Program	
6.	23 Desember 2015	Konsultasi Data	
7.	23 Desember 2015	Konsultasi Bab I, II, III dan IV	
8.	29 Desember 2015	Konsultasi Bab IV dan V	
9.	29 Desember 2015	Konsultasi Kajian Agama dan Acc	
10.	30 Desember 2015	Konsultasi Semua Bab, Abstrak dan Acc	

Malang, 30 Desember 2015
Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika,

Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009