



**ANALISIS PERENCANAAN PERBAIKAN FAKTOR
DAYA SEBAGAI UPAYA OPTIMASI DAYA LISTRIK
DI GEDUNG E5 FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS
NEGERI SEMARANG**

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro**

Oleh

Viki Barik Rizqiya

5301414070

**PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Viki Barik Rizqiya
NIM : 5301414070
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro
Judul : Perencanaan Perbaikan Faktor Daya Sebagai Upaya
Optimasi Daya Listrik Di Gedung E5 Fakultas Teknik
Universitas Negeri Semarang

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 15 November 2018

Dosen pembimbing



Drs. Agus Murnomo M.T.

NIP 195506061986031002

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Perencanaan Perbaikan Faktor Daya Sebagai Upaya Optimasi Daya Listrik Di Gedung E5 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 29 bulan 11 tahun 2018

Oleh

Nama : Viki Barik Rizqiya
NIM : 5301414070
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro

Panitia

Ketua

Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto S.T., M.T.
NIP.197805312005011002

Sekretaris

Drs. Agus Suryanto M.T.
NIP. 196708181992031004

Penguji 1

Drs. Djoko Adi Widodo M.T.
NIP. 195909271986011001

Penguji 2

Drs. Said Sunardiyo M.T.
NIP.196505121991031003

Penguji 3/Pembimbing

Drs. Agus Murnomo M.T.
NIP.195506061986031002

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang



Dr. Nur Qudus M.T.
196911301994031001

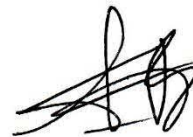
PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 15 November 2018

Yang membuat pernyataan,



Viki Barik Rizqiya

NIM. 5301414070

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

“Bertakwalah pada Allah maka Allah akan mengajarimu. Sesungguhnya Allah Maha Mengetahui segala sesuatu.”

(QS Al-Baqarah : 282.)

“Barangsiapa bersungguh-sungguh, sesungguhnya kesungguhannya itu adalah untuk dirinya sendiri.”

(QS Al-Ankabut : 6)

Persembahan

Alhamdulillah atas Rahmat dan Ridho Allah SWT, skripsi ini terselesaikan dan kupersembahkan untuk:

1. Bapak dan Ibu ku, (Suhadi Rahman & Sofiyah) yang telah memberikan segalanya untuk kesuksesanku.
2. Saudaraku, (Silfiana Rahmawati & Hasan Fauzi) yang selalu memotivasi.
3. Keluarga besar Bani Sumakno yang memberikan semangat.
4. Yoana Anestia Pradita yang selalu mendampingi dan memberikan semangat.

RINGKASAN

Viki Barik Rizqiya, 2018, “Analisis Perencanaan Perbaikan Faktor Daya Sebagai Upaya Optimasi Daya Listrik di Gedung E5 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang”, Drs. Agus Murnomo, M.T. Pendidikan Teknik Elektro.

Konsumsi daya reaktif yang berlebih pada gedung E5 FT UNNES akan mengakibatkan nilai faktor daya pada gedung E5 FT UNNES menjadi rendah. Berdasarkan observasi pada bulan September 2018, nilai faktor daya pada gedung E5 FT UNNES menyentuh angka 0,45. Akibat dari rendahnya nilai faktor daya pada gedung E5 FT UNNES ialah nilai arus dan daya reaktif pada sistem akan mengalami kenaikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perencanaan perbaikan faktor daya sebagai upaya optimasi daya listrik di gedung E5 FT UNNES. Pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada pembaca sebagai acuan untuk membangun sistem tenaga listrik lebih optimal.

Metode yang digunakan yaitu metode penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif. Metode ini dipilih karena penulis ingin mendeskripsikan atau menggambarkan nilai faktor daya yang ada di gedung E5 FT UNNES membuat perencanaan perbaikan faktor daya tersebut untuk mengoptimalkan daya listrik. Variabel yang digunakan adalah 1) variabel bebas yaitu perencanaan perbaikan faktor daya; 2) variabel terikat yaitu besar nilai faktor daya dan nilai optimasi daya listrik. Penelitian dilakukan selama lima hari dan diambil tiga waktu penelitian yaitu jam 08.00; 10.00; dan 14.00.

Pada hasil penelitian diketahui bahwa nilai faktor daya pada gedung E5 FT UNNES memiliki nilai faktor daya yang sangat rendah dan dibawah standart ketentuan PLN yaitu 0,85. Berdasarkan hasil penelitian dilakukan perencanaan perbaikan faktor daya di gedung E5 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Perencanaan yang dilakukan ialah untuk memperoleh faktor daya 0,9 ; 0,95; dan 0,99. Merujuk pada pembahasan faktor daya didapatkan pemasangan nilai kapasitor sebesar 9 kVAR pada nilai faktor daya 0,9, untuk nilai 11 kVAR pada nilai faktor daya 0,95 dan untuk nilai 14 kVAR pada faktor daya 0,99. Pada nilai daya semu mengalami penurunan sebesar 23,9 %, untuk nilai daya nyata mengalami kenaikan 22,7 %, untuk daya reaktif mengalami penurunan sebesar 47,0 % dan untuk nilai arus mengalami penurunan sebesar 24,5 %.

Kata-kata kunci : Faktor daya listrik, perbaikan Faktor daya listrik, Optimasi daya listrik

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Analisis Perencanaan Perbaikan Faktor Daya Sebagai Upaya Optimasi Daya Listrik di Gedung E5 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaat-Nya di yaumul akhir nanti, Aamiin.

Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada :

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, selaku Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T, selaku Dekan Fakultas Dekan Teknik, dan Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Drs. Agus Murnomo M.T. selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang penuh perhatian dan atas berkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan karya ini.

4. Drs. Djoko Adi Widodo M.T. dan Drs. Said Sunardiyo M.T, selaku Dosen Penguji yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pernyataan, komentar, tanggapan, dan kualitas karya tulis.
5. Semua dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
6. Teman-teman “Nyusahno Konco” yang selalu memberikan motivasi, dukungan, dan semangatnya.
7. Teman-teman “kontrakan mix jukis” yang selalu memberikan dukungan, motivasi dan bantuannya.
8. Teman-teman seperjuangan Jurusan Teknik Elektro tahun angkatan 2014 yang selalu memberikan motivasi, dukungan, dan bantuannya.
9. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat untuk masyarakat lainnya.

Semarang, 15 November 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
RINGKASAN	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I_PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	6
1.3. Pembatasan Masalah	6
1.4. Rumusan Masalah	7
1.5. Tujuan Penelitian.....	7
1.6. Manfaat Penelitian.....	7
BAB II_KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	9
2.1. Kajian Pustaka	9
2.2. Landasan Teori	13
2.2.1. Konsep Dasar Tegangan Listrik.....	13
2.2.2. Konsep Dasar Arus Listrik.....	14
2.2.3. Konsep Dasar Daya Listrik	15
2.2.4. Konsep Dasar Beban Listrik	18

2.2.5.	Konsep Dasar Faktor Daya	22
2.2.6.	Penyebab Faktor Daya Rendah	23
2.2.7.	Kerugian Akibat Faktor Daya Rendah	24
2.2.8.	Keuntungan Perbaikan Faktor Daya	25
2.2.9.	Kapasitor	26
2.2.10.	Perbaikan Faktor Daya	29
2.2.11.	Optimasi Daya Listrik	31
2.2.12.	Spesifikasi Kelistrikan Gedung E5	32
BAB III_METODOLOGI PENELITIAN.....		34
3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian	34
3.2.	Desain Penelitian	34
3.3.	Alat Penelitian	37
3.4.	Variabel Penelitian	38
3.5.	Teknik Pengumpulan Data	39
3.6.	Teknik Analisis Data	40
BAB IV_HASIL DAN PEMBAHASAN		42
4.1.	Deskripsi Data	42
4.2.	Analisis Pembahasan	48
BAB V_KESIMPULAN		80
5.1.	Kesimpulan.....	80
5.2.	Saran	81
DAFTAR PUSTAKA		82
LAMPIRAN		85

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Data observasi pengukuran faktor daya di Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.....	5
Tabel 2.1 Spesifikasi Gedung E5.....	33
Tabel 4.1 Hasil pengukuran arus, tegangan, dan faktor daya pada hari pertama....	43
Tabel 4.2 Hasil pengukuran daya nyata, daya semu, dan daya reaktif pada hari pertama.....	43
Tabel 4.3 Hasil pengukuran arus, tegangan, dan faktor daya pada hari kedua.....	44
Tabel 4.4 Hasil pengukuran daya nyata, daya semu, dan daya reaktif pada hari kedua.....	44
Tabel 4.5 Hasil pengukuran arus, tegangan, dan faktor daya pada hari ketiga.....	45
Tabel 4.6 Hasil pengukuran daya nyata, daya semu, dan daya reaktif pada hari ketiga.....	45
Tabel 4.7 Hasil pengukuran arus, tegangan, dan faktor daya pada hari keempat...	46
Tabel 4.8 Hasil pengukuran daya nyata, daya semu, dan daya reaktif pada hari keempat.....	46
Tabel 4.9 Hasil pengukuran arus, tegangan, dan faktor daya pada hari kelima.....	47
Tabel 4.10. Hasil pengukuran daya nyata, daya semu, dan daya reaktif pada hari kelima.....	47
Tabel 4.11. Hasil penghitungan arus total, nilai tegangan, daya nyata, daya semu, dan daya reaktif dalam keadaan tiga fasa pada hari pertama.....	49
Tabel 4.12. Hasil penghitungan arus total, nilai tegangan, daya nyata, daya semu, dan daya reaktif dalam keadaan tiga fasa pada hari kedua.....	49
Tabel 4.13. Hasil penghitungan arus total, nilai tegangan, daya nyata, daya semu, dan daya reaktif dalam keadaan tiga fasa pada hari ketiga.....	50
Tabel 4.14. Hasil penghitungan arus total, nilai tegangan, daya nyata, daya semu, dan daya reaktif dalam keadaan tiga fasa pada hari keempat.....	50
Tabel 4.15. Hasil penghitungan arus total, nilai tegangan, daya nyata, daya semu, dan daya reaktif dalam keadaan tiga fasa pada hari kelima.....	51

Tabel 4.16. Data penghitungan rata-rata nilai arus, tegangan, faktor daya, daya semu, daya nyata, dan daya reaktif.....	51
Tabel 4.17. Data penghitungan sudut pada faktor daya yang diinginkan.....	56
Tabel 4.18. Data Penghitungan Sudut pada faktor daya sebelum perbaikan di hari pertama.....	56
Tabel 4.19. Data Penghitungan Sudut pada faktor daya sebelum perbaikan di hari kedua.....	59
Tabel 4.20. Data Penghitungan Sudut pada faktor daya sebelum perbaikan di hari ketiga.....	61
Tabel 4.21. Data Penghitungan Sudut pada faktor daya sebelum perbaikan di hari keempat.....	64
Tabel 4.22. Data Penghitungan Sudut pada faktor daya sebelum perbaikan di hari kelima.....	66
Tabel 4.23. Data Penghitungan nilai perbaikan faktor daya dan nilai kapasitor (kVAR).....	69
Tabel 4.1. Data Penghitungan nilai Kapasitor (μF).....	70
Tabel 4.25. Data Penghitungan nilai arus, daya semu, dan daya reaktif sebelum dan sesudah perbaikan faktor daya 0,9.....	72
Tabel 4.26. Data persentase nilai arus, daya semu, dan daya reaktif sebelum dan sesudah perbaikan faktor daya 0,9.....	72
Tabel 4.27. Data Penghitungan nilai arus, daya semu, dan daya reaktif sebelum dan sesudah perbaikan faktor daya 0,95.....	73
Tabel 4.28. Data persentase nilai arus, daya semu, dan daya reaktif sebelum dan sesudah perbaikan faktor daya 0,9.....	74
Tabel 4.29. Data Penghitungan nilai arus, daya semu, dan daya reaktif sebelum dan sesudah perbaikan faktor daya 0,99.....	75
Tabel 4.30. Data persentase nilai arus, daya semu, dan daya reaktif sebelum dan sesudah perbaikan faktor daya 0,9.....	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Arus dan Tegangan Sefasa.....	19
Gambar 2.1. Arus Tertinggal 90° dari Tegangan.....	20
Gambar 2.2. Arus Mendahului 90° Dari Tegangan.....	21
Gambar 2.4. Segitiga Daya.....	23
Gambar 2.5. Simbol Kapasitor.....	27
Gambar 2.6. Perbaikan Faktor Daya.....	30
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	36
Gambar 3.2. Alat Power & Harmonic Analyzer.....	37
Gambar 4.1. Grafik nilai faktor daya.....	52
Gambar 4.2. Grafik nilai daya nyata.....	53
Gambar 4.3. Grafik nilai daya semu.....	53
Gambar 4.4. Grafik nilai daya reaktif.....	54
Gambar 4.5 Grafik Perubahan Nilai Arus.....	76
Gambar 4.6 Grafik Perubahan Nilai Daya Semu.....	77
Gambar 4.7 Grafik Perubahan Nilai Daya Nyata.....	78
Gambar 4.8 Grafik Perubahan Nilai Daya Reaktif.....	79

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pengukuran Sistem Tenaga Listrik Gedung E5.....	86
Lampiran 2. Lembar Usulan Dosen Pembimbing.....	90
Lampiran 3. Lembar SK Dosen Pembimbing.....	91
Lampiran 4. Lembar Surat Tugas Dosen Penguji Seminar Proposal.....	92
Lampiran 5. Lembar Surat Ijin Observasi.....	93
Lampiran 6. Lembar Surat Ijin Penelitian.....	94
Lampiran 7. Lembar Surat Peminjaman Alat.....	95
Lampiran 8. Lembar Laporan Selesai Bimbingan Skripsi.....	96
Lampiran 9. Lembar Surat Tugas Panitia Ujian Skripsi.....	97
Lampiran 10. Lembar Berita Acara Ujian Skripsi.....	98
Lampiran 11. Lembar Pernyataan Selesai Revisi.....	99

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan penting bagi manusia, khususnya energi listrik. Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang memengaruhi hidup dan kehidupan manusia saat ini. Semakin berkembangnya ilmu pengetahuan, menghasilkan penemuan-penemuan baru yang pada dasarnya membutuhkan listrik sebagai sumber energi. Dengan kata lain, semakin bertambah pula kebutuhan akan adanya listrik dalam kehidupan.

Energi listrik menjadi hal yang sangat penting dan vital karena tidak dapat dilepaskan dari keperluan sehari-hari. Manusia hampir tidak dapat melakukan pekerjaan yang ada dengan baik ataupun memenuhi kebutuhannya tanpa adanya energi listrik. Hampir semua peralatan yang digunakan manusia menggunakan energi listrik. Hal ini yang mendasari pentingnya energi listrik bagi kehidupan manusia di era sekarang.

Kekurangan energi listrik dapat mengganggu aktivitas manusia, bahkan energi listrik sekarang dapat dikatakan sebagai kebutuhan primer. Oleh sebab itu kesinambungan dan ketersediaan energi listrik harus dipertahankan. Dalam waktu yang akan datang kebutuhan listrik akan meningkat seiring dengan adanya peningkatan dan perkembangan yang baik dari jumlah penduduk, serta jumlah investasi yang semakin meningkat akan memunculkan berbagai industri-industri baru.

Menurut Kementerian ESDM (2017), “konsumsi listrik Indonesia tahun 2017 mencapai 1.012 Kilowatt per Hour (kWH)/kapita, naik 5,9 persen dari tahun sebelumnya”. Hal ini tentu dipengaruhi oleh minat masyarakat atau konsumen akan kebutuhan energi listrik. Meningkatnya kebutuhan energi listrik akan membuat banyak permasalahan dalam sistem tenaga listrik. Salah satu aspek dari permasalahan sistem energi listrik yaitu penurunan kualitas daya listriknya. Penurunan kualitas daya listrik dapat menyebabkan berkurangnya efisiensi energi. Oleh karena itu, salah satu parameter yang perlu diperhatikan dalam pengelolaan energi listrik pada suatu gedung adalah kualitas daya listriknya.

Seiring dengan hal tersebut, pengaturan sistem tenaga listrik yang baik sangat dibutuhkan untuk mendapatkan kualitas daya listrik yang sangat baik. Kualitas daya listrik yang buruk memiliki banyak dampak yang merugikan pada perangkat sistem tenaga dan pengguna. Kualitas daya listrik merupakan suatu konsep yang memberikan gambaran tentang baik atau buruknya mutu daya listrik akibat adanya beberapa jenis gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan.

Menurut H. Rizal (2015), “Kualitas daya listrik menjadi sangat penting untuk diperhatikan, ketika semakin sensitifnya suatu peralatan baik di industri maupun di rumah tangga”. Kualitas daya listrik yang baik akan memberikan nilai kompensasi energi listrik yang sedikit dan akan memberikan sifat penghematan energi listrik. Salah satu hal yang dapat mempengaruhi baik buruknya kualitas daya listrik yaitu nilai faktor daya.

Menurut S. Bhattacharyya et al. (2011), “*A poor power factor for the plant causes huge amount of losses, leading to thermal problem in switchgears*”. Hal tersebut membuat faktor daya merupakan suatu hal yang perlu ditangani dengan bijak. Menurut M. Rizal (2012), “Faktor daya yang dinotasikan $\cos \phi$ di definisikan sebagai perbandingan antara arus yang dapat menghasilkan kerja didalam suatu rangkaian terhadap arus total yang masuk kedalam rangkaian atau dapat dikatakan sebagai perbandingan daya aktif (kW) dan daya semu (kVA)”. Daya aktif adalah daya yang sesungguhnya dibutuhkan oleh beban. Daya semu adalah daya yang dihasilkan dari perkalian tegangan dan arus listrik.

Nilai faktor daya dibatasi dari nilai 0 hingga 1, semakin tinggi faktor daya (mendekati 1) artinya semakin baik nilai faktor daya tersebut, sebaliknya semakin rendah faktor daya (mendekati 0) maka semakin buruk nilai faktor daya yang ada pada sistem tenaga listrik tersebut. Berdasarkan Permen ESDM No. 07 tahun 2010, tentang tarif tenaga listrik yang disediakan oleh Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara, menjelaskan PLN menetapkan besarnya nilai faktor daya (*cos phi*) tidak boleh kurang dari 0,86. Apabila nilai faktor daya pada konsumen tidak memenuhi ketentuan maka harus membayar denda KVARH kepada PLN. Hal tersebut dapat disikapi dengan cara memperbaiki nilai faktor dayanya.

Salah satu cara untuk memperbaiki faktor daya adalah dengan memasang kompensasi kapasitif menggunakan kapasitor pada sistem tenaga listrik yang memungkinkan untuk mensuplai kebutuhan kVAR pada beban beban induktif. Menurut Rahardjo et al. (2010), “Komponen daya reaktif

yang bersifat induktif harus dikurangi dan pengurangan itu bisa dilakukan dengan menambah suatu sumber daya reaktif yaitu berupa kapasitor". Apabila pemasangan kapasitor yang terlalu kecil maka tidak akan memberikan perubahan pada faktor daya. Namun apabila pemasangan kapasitor disesuaikan besar nilainya maka akan memberikan nilai faktor daya yang baik.

Pada jaringan yang bersifat induktif, apabila kapasitor dipasang maka daya reaktif yang harus disediakan oleh sumber akan berkurang sebesar $Q_{koreksi}$ (yang merupakan daya reaktif berasal dari kapasitor). Karena daya aktif tidak berubah sedangkan daya reaktif berkurang, maka dari sudut pandang sumber, segitiga daya yang baru akan diperoleh.. Terlihat bahwa sudut φ mengecil akibat pemasangan kapasitor tersebut sehingga faktor daya pada sistem tenaga listrik akan naik.

Universitas negeri Semarang sebagai salah satu lembaga perguruan tinggi besar di Semarang, pasti memiliki fasilitas yang sangat lengkap dan gedung yang serba ada untuk menunjang akademik maupun non akademik. Gedung gedung besar dan semua peralatan yang ada didalamnya pasti membutuhkan energi listrik. Terbukti dengan total suplai daya listrik dari PLN sebesar 20 MVA. Hal inilah yang membuat Universitas Negeri Semarang memiliki tingkat konsumsi energi listrik yang sangat tinggi sebesar 7,4 MW .Tentunya dengan adanya hal tersebut membuat permasalahan sistem tenaga listrik akan sering terjadi karena kualitas daya listrik yang kurang baik. Begitu pula dengan gedung gedung di Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang memiliki suplay tegangan rendah berkapasitas 1,7 MVA.

Tabel 1.1 Data observasi pengukuran faktor daya di Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

DATA	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5	Rata2
	05-Sep	07-Sep	10-Sep	12-Sep	13-Sep	
E1	0,91	0,84	0,98	0,84	0,95	0,90
E2	0,71	0,76	0,83	0,85	0,87	0,80
E3	1	0,98	0,83	0,99	0,99	0,96
E4	0,99	0,98	1	0,99	0,98	0,99
E5	0,46	0,7	0,79	0,67	0,45	0,61
E6	0,97	0,95	0,93	0,99	1	0,97
E7	0,99	0,95	0,84	0,91	0,98	0,93
E8	0,99	0,99	1	0,87	0,96	0,96
E9	0,72	0,77	0,83	0,86	0,9	0,82
E10	0,92	0,96	0,98	0,96	0,99	0,96
E11	0,93	0,97	0,99	0,98	0,96	0,97
E12	0,99	0,99	0,88	0,71	0,6	0,83
DEKANAT	0,88	0,91	0,99	0,99	0,99	0,95

Berdasarkan hasil observasi yang dilakukan dengan mengambil satu sampel pengukuran dalam satu hari dapat dilihat pada Tabel 1.1 , dari tiga belas gedung di Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang, terdapat satu gedung yang memiliki nilai faktor yang rendah yaitu gedung E5 (jurusan Teknik Mesin). Nilai faktor daya yang menyentuh angka 0,45 membuktikan bahwa gedung E5 sudah jauh melewati batas ketentuan faktor daya dari PLN. Oleh karena itu perlu adanya sikap yang bijak untuk memperbaiki sistem tenaga listriknya khususnya nilai faktor daya.

Berdasarkan penjelasan tersebut, penulis ingin membuat judul penelitian “ **Analisis Perencanaan Perbaikan Faktor Daya Sebagai Upaya Optimasi Daya Listrik Di Gedung E5 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang** ”

1.2. Identifikasi Masalah

Permasalahan penelitian yang penulis ajukan ini dapat diidentifikasi permasalahannya sebagai berikut:

1. Nilai faktor daya pada gedung E5 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang sangat kecil dan tidak sesuai dengan ketentuan PLN.
2. Nilai faktor daya yang kecil akan menimbulkan berbagai masalah salah satunya yaitu tidak optimalnya daya listrik.
3. Belum adanya perencanaan perbaikan faktor daya sebagai upaya optimasi daya listrik di Gedung E5 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

1.3. Pembatasan Masalah

Agar penelitian ini dapat dilakukan lebih fokus, sempurna, dan mendalam maka penulis memandang permasalahan penelitian yang diangkat perlu adanya pembatasan masalah. Oleh sebab itu, penulis membatasi diri hanya berkaitan sebagai berikut :

1. Beban listrik yang digunakan hanya saat jam perkuliahan, karena saat malam hari beban berupa penerangan.
2. Tidak memperhatikan kondisi beban saat maksimum.
3. Tidak memperhatikan jumlah peralatan listrik di gedung E5 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah ada, maka penulis dapat merumuskan masalah penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana perencanaan perbaikan faktor daya sebagai upaya optimasi daya listrik di Gedung E5 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang ?

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian merupakan jawaban atau sasaran yang ingin dicapai penulis dalam sebuah penelitian. Oleh sebab itu, tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk melakukan identifikasi perencanaan perbaikan faktor daya sebagai upaya optimasi daya listrik di Gedung E5 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

1.6. Manfaat Penelitian

Penelitian yang penulis lakukan ini diharapkan mampu memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Bagi jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang, penelitian ini dapat menjadi rujukan untuk memperbaiki sistem tenaga listriknya.
2. Bagi pembaca, penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan untuk membangun sistem tenaga listrik yang lebih stabil.

3. Bagi instansi/lembaga lainnya, penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan untuk mengoptimalkan suatu sistem tenaga listrik.
4. Bagi penulis, penelitian ini dapat menambah wawasan dan pengalaman.
5. Bagi mahasiswa penelitian ini dapat dijadikan tambahan masukan yang ingin melakukan penelitian selanjutnya.
6. Secara keseluruhan diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan sumbangan yang berarti bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di Indonesia.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Kajian Pustaka

Amir dan Somantri (2017: 44) dalam penelitiannya menyatakan bahwa perhitungan besar daya reaktif dan kapasitas kapasitor bank yang sesuai dengan kebutuhan beban ini akan membantu meminimalkan nilai faktor daya yang rendah yang akan berpengaruh pada optimalisasi suplai tenaga listrik dan kenyamanan aktifitas operasional. Analisa pada penelitian ini sangat penting dilakukan untuk mengetahui berapa besar perbaikan faktor daya yang harus dipasang pada sistem tenaga listrik sehingga pembebanan daya terhadap kapasitas suplai PLN berada pada kondisi optimal. Pada faktor daya yang memiliki nilai 0,76 dapat diperbaiki menjadi 0,95. Perbaikan tersebut membutuhkan kapasitor untuk kompensasi daya reaktif sebesar 565 kVAR. Dengan melakukan perbaikan faktor daya sebesar 565 kVAR dapat menurunkan nilai daya reaktif dan meningkatkan nilai daya semu, sehingga total konsumsi daya semu dan reaktif hampir berada pada nilai yang sama dan penambahan daya baru dapat dilakukan tanpa penambahan suplai daya PLN. Pada nilai arus total mengalami penurunan sebesar 20% dari total konsumsi arus 1683 Ampere menjadi 1347 Ampere.

Sitorus dan Warman (2013:68) dalam penelitiannya menyatakan bahwa pemakaian energi listrik pada beban beban listrik, sering menimbulkan problem karena daya yang dikonsumsi tidak sesuai dengan daya yang dibutuhkan oleh beban. Hal ini disebabkan karena faktor daya pada beban

terpasang cukup rendah. Untuk mengoptimalkan pemanfaatan daya listrik yang tersedia dari PLN, maka keberadaan daya reaktif harus dibuat seminimal mungkin. Beban listrik pada umumnya bersifat induktif, dicirikan dengan arus yang tertinggal terhadap tegangan. Untuk itu haruslah dilakukan perbaikan faktor daya pada instalasi dengan memperhitungkan kapasitas beban terpasang dengan faktor daya yang dihasilkan. Salah satu cara perbaikan faktor daya adalah dengan memasang kapasitor. Dengan perbaikan faktor daya yang mendekati $\text{Cos } \phi (\text{phi}) = 1$ maka didapat pemakaian daya listrik yang optimum. Hasil penelitian yang menunjukkan Pada sistem listrik rumah tangga pada beban terpasang yang tetap 509,26 Watt dengan faktor daya sebelumnya 0,782 lagging menjadi 0,965 lagging. Serta besar pengurangan pemakaian daya semu sebesar 18.82 %.

Al-Naseem dan Adi (2011: 173) dalam *The Online Journal on Power and Energy Engineering (OJPEE)* yang berjudul *Impact of Power Factor Correction on the Electrical Distribution Network of Kuwait – A Case Study* menyatakan bahwa power factor correction (PFC) merupakan metode yang tepat untuk mengkompensasi efek dari beban reaktif dari sistem tenaga listrik di Kuwait. Metode PFC juga dapat memberikan efek rendah biaya energi listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor daya yang dapat diperbaiki yaitu dari 0.75 menjadi 0.95 . Serta kapasitas kVA yang memasok sistem tenaga listrik di Kuwait meningkat sebesar 21,05 %. Kesimpulan yang diambil ialah membuktikan bahwa power factor correction secara signifikan mengurangi biaya produksi tenaga listrik di Kuwait serta meningkatkan kapasitas dan efisiensi sistem tenaga listrik.

Fazal, et al. (2018: 1), Kompensasi daya reaktif memainkan peran penting di era modern karena perusahaan pemasok energi listrik harus menanggung daya reaktif tersebut. jika melebihi nilai yang telah ditentukan maka perusahaan harus memaksa pengguna untuk mengkompensasinya. Dalam penelitiannya, berbagai topologi didiskusikan tetapi metode yang digunakan adalah topologi kapasitor daya. Penelitian tersebut memiliki desain teknik kapasitor untuk 200 kVAR, 400V dapat memperbaiki factor daya sebesar 7%. Penelitian tersebut memahami standar dan persyaratan tentang topologi berdasarkan kapasitor berdasarkan harga, kualitas dan elemen yang berbeda.

Omar, et al. (2014: 499) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa Jaringan distribusi memasok energi listrik untuk aplikasi yang berbeda. Aplikasi ini termasuk industri, beban listrik perumahan, komersial dan pertanian. Masing-masing jenis beban ini dibedakan oleh yang khusus karakteristik peralatannya. Faktor daya rendah, secara umum, berarti arus yang lebih berat mengalir dalam kabel dan konduktor. Ini adalah tujuan dari operator jaringan distribusi untuk meningkatkan faktor daya dari beban yang terpusat pada sistem bus bus. Menghubungkan Kapasitor di bus bus rendah faktor daya dapat meningkatkan pasokan daya reaktif, sehingga mengurangi aliran arus pada kabel dan konduktor mengurangi kehilangan jaringan, mengurangi penurunan tegangan, dan sebagainya. Pada penelitian ini model yang digunakan untuk mengeksplorasi yang cocok jenis bank Capasitor, telah menyebabkan peningkatan dari faktor daya, meningkatkannya dari 0,7 menjadi 0,9. Dalam kasus penerapan bank kapasitor detuned, total harmonik

distribusi berkurang secara signifikan. Hasil bersihnya adalah pengurangan distorsi harmonik total dari rata-rata sekitar 61 hingga 44.

Noptin Harpawi (2010: 6) dalam tugas akhirnya menyimpulkan bahwa *Mini Capacitor Bank* akan bermanfaat jika dipasang pada jaringan listrik yang memiliki beban induktif. Diantara manfaat yang dihasilkan pada listrik rumah tangga yang dijadikan objek adalah: peningkatan power factor (dari 0.95 *lagging* menjadi 0.99 *lagging*), mengurangi drop tegangan (karena turunnya arus dari 4.13A menjadi 3.89A, mengurangi daya total yang ditarik dari jala-jala PLN (dari 900 VA menjadi 850VA). Kemudian, pemasangan kapasitor *bank* tidak mengurangi tagihan listrik bulanan. Karena yang dikompensasi oleh alat ini hanya daya reaktif bukan daya aktif. Tetapi dengan pemasangan alat ini akan terjadi optimalisasi pemanfaatan daya berlangganan. Dari hasil pengukuran terlihat bahwa kebutuhan daya total menjadi turun dari 900 VA menjadi 850 VA (turun 5.6 %).

Hariansyah dan Setiawan (2016: 33) dalam penelitiannya perbaikan faktor daya listrik pada sistem kelistrikan FT-UIKA Bogor dengan cara pemasangan kapasitor bank yang dapat beroperasi secara otomatis. Setelah dipasang kapasitor bank sebesar 6 kVAR pada panel LVMDP FT-UIKA Bogor, faktor daya dapat diperbaiki rata-rata dari 0,62 menjadi 0,79. Pemasangan kapasitor bank dapat menurunkan daya aktif rata-rata dari 16,77 kW rata-rata menjadi 16,73 kW, Pemasangan kapasitor bank dapat menurunkan daya reaktif rata-rata dari 21,29 kVAR menjadi 14,41 kVAR. Hasil perhitungan dengan menggunakan metoda menunjukkan bahwa kapasitas kebutuhan kapasitor bank untuk panel LVMDP FT-UIKA Bogor

sebesar 20 kVAR, namun karena keterbatasan biaya maka kapasitor yang baru terpasang sebesar 6 kVAR sehingga faktor daya yang baru di capai hanya sebesar 0,79.

Chandra dan Agarwal (2014: 238), menjelaskan bahwa peningkatan faktor daya membuat utilitas perusahaan menyingkirkan dari kerugian daya sementara konsumen bebas dari hukuman faktor daya rendah biaya. Dengan memasang kapasitor daya yang berukuran sesuai ke dalam sirkuit, maka faktor daya ditingkatkan dan nilainya menjadi lebih dekat 0,9-0,95, dengan demikian, kapasitor bank digunakan untuk koreksi faktor daya mengurangi kerugian dan meningkatkan efisiensi sistem tenaga dan juga meningkatkan stabilitas.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Konsep Dasar Tegangan Listrik

Pada sebuah rangkaian listrik, diperlukan suatu tenaga yang digunakan untuk mengalirkan sejumlah muatan dari suatu kedudukan ke kedudukan lainnya. Menurut Nuraeni dan Selan (2013) bahwa “Tegangan Listrik adalah jumlah energi yang dibutuhkan untuk memindahkan unit muatan listrik dari satu tempat ke tempat lainnya”. Pada Sistem Satuan Internasional besaran potensial listrik disimbolkan dengan V kemudian satuannya adalah volt. Besaran ini mengukur energi potensial dari sebuah medan listrik yang mengakibatkan adanya aliran listrik dalam sebuah konduktor listrik. Berdasarkan nilai tegangannya, tegangan listrik dibagi atas empat jenis, yaitu tegangan rendah, tegangan menengah, tegangan tinggi dan

tegangan ekstra tinggi. Secara matematis berdasarkan hukum Ohm dapat dituliskan :

$$V = I \times R$$

Keterangan :

I = Arus (Ampere)

V = Tegangan (Volt)

R = Tahanan (Ohm)

2.2.2. Konsep Dasar Arus Listrik

Menurut Astuti (2011) dalam bukunya “Arus didefinisikan sebagai aliran muatan positif yang berlawanan dengan gerak elektro”. Arus listrik dapat diukur dalam satuan coulumb/detik atau Ampere. Arus listrik dibagi atas dua jenis, yaitu arus bolak – balik (*Alternating Current*) dan arus searah (*Dirrect Current*). Arus bolak – balik adalah arus yang nilainya berubah terhadap satuan waktu. Arus bolak – balik biasanya dihasilkan oleh pusat – pusat pembangkit tenaga listrik. Sementara arus searah adalah arus yang nilainya tetap atau konstan terhadap satuan waktu. Secara matematis arus didefinisikan :

$$I = \frac{dq}{dt}$$

Keterangan :

I = Arus (Ampere)

q = muatan listrik

t = waktu

Arus listrik yang mengalir tersebut dari sumber arus listrik tersebut dapat kita bedakan menjadi 2 macam yaitu :

Arus bolak-balik (Alternating Current) Arus bolak-balik (AC) adalah arus yang mengalir dengan polaritas yang berubah dan dimana masing-masing terminal polaritasnya bergantian. Pada umumnya arus AC ini adalah arus yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari seperti alat-alat elektronika yang dipakai didalam rumah kita. Arus listrik ini dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik yang bernama generator yang ada pada pembangkit listrik.

Arus searah (Direct Current) Arus searah (DC) merupakan arus yang mengalir dengan arah yang tetap (konstan) dengan masing-masing terminal selalu tetap pada polaritasnya. Arus ini bisa terjadi karena berasal dari akumulator (Accu). Arus listrik searah ini dapat dihasilkan dengan cara merubah arus AC menjadi DC menggunakan power supply dengan dioda sebagai penyearah arus yang dapat menyearahkan arus bolak-balik menjadi arus searah.

2.2.3. Konsep Dasar Daya Listrik

Menurut B. G. Melipurbowo (2016:19) “Daya listrik di definisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam sirkuit listrik”. Dalam pengertian lain, Daya listrik adalah jumlah besar listrik yang dapat diserap dalam sebuah rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah watt, yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu (joule/detik). Dalam rangkaian arus searah besarnya daya yang diserap dalam suatu beban listrik ditentukan oleh nilai

tahanan beban serta besar arus yang mengalir pada beban tersebut. Pada rangkaian DC, daya dalam watt merupakan perkalian antara arus (I) dan tegangan (V). Jadi $P = V I$. Tetapi dalam rangkaian AC, persamaan $P = V I$, hanya benar untuk nilai sesaat saja atau kondisi tertentu yaitu pada saat arus dan tegangan sefasa (beban resistif). Tetapi dalam banyak hal beban-beban listrik tidak hanya terdiri dari resistansi saja, melainkan kombinasi dari beberapa jenis tahanan. Misalnya resistansi dengan reaktansi induktif, resistansi dengan reaktansi kapasitif atau kombinasi dari ketiganya (Nuraeni dan Charles, 2013).

Oleh sebab itu dapat di pastikan dalam banyak kondisi pada rangkaian arus bolak-balik akan terjadi geseran fasa antara arus dan tegangan. Hal ini akan mempengaruhi perhitungan daya, dimana perkalian antara arus dan tegangan belum menghasilkan daya nyata dalam watt, tetapi merupakan daya semu.

2.2.3.1. Daya Nyata

Daya nyata adalah daya yang memang benar – benar digunakan dan terukur pada beban. Daya nyata dibedakan berdasarkan penggunaannya, yaitu pada satu fasa atau tiga fasa. Secara matematis dapat ditulis :

Untuk 1 fasa :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Untuk 3 fasa :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3}$$

Keterangan :

P = Daya aktif (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Amper)

Cos ϕ = Faktor Daya

2.2.3.2. Daya Semu

Daya semu adalah nilai tenaga listrik yang melalui suatu penghantar. Daya semu merupakan hasil perkalian dari tegangan dan arus yang melalui penghantar. Daya semu dibedakan berdasarkan penggunaannya, yaitu pada satu fasa dan tiga fasa. Secara matematis dapat dituliskan :

Untuk 1 fasa :

$$S = V \cdot I$$

Untuk 3 fasa :

$$S = V \cdot I \cdot \sqrt{3}$$

Keterangan :

S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

2.2.3.3. Daya Reaktif

Daya reaktif adalah daya yang dihasilkan oleh peralatan – peralatan listrik. Sebagai contoh, pada motor listrik terdapat 2 daya reaktif panas dan mekanik. Daya reaktif panas karena kumparan pada motor dan daya reaktif

mekanik karena perputaran. Daya reaktif adalah hasil perkalian dari tegangan dan arus dengan vektor daya. Secara matematis dapat dituliskan :

Untuk 1 fasa :

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \phi$$

Untuk 3 fasa :

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \phi \cdot \sqrt{3}$$

Keterangan :

Q = Daya Reaktif (VAR)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

Sin ϕ = Besaran Vektor Daya

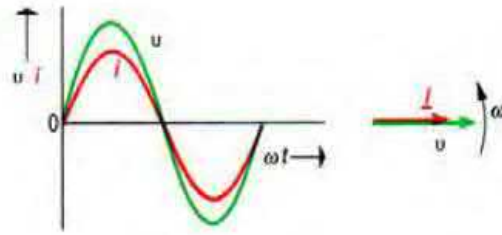
2.2.4. Konsep Dasar Beban Listrik

Beban listrik adalah suatu alat atau benda yang dapat bekerja atau berfungsi apabila dialiri arus listrik yang berpotensi (dapat bekerja dengan memanfaatkan energi listrik). contoh : lampu, alat-alat rumah tangga, alat-alat elektronik, selain itu alat-alat yang digunakan untuk merubah energi listrik menjadi energi lain misal gerak dan panas, dan lain sebagainya. Berdasarkan sifat suatu beban listrik dapat dibedakan menjadi 3 yaitu :

Beban Resistif

Beban resistif adalah beban yang terdiri dari komponen tahanan ohm / resistor murni, seperti elemen pemanas dan lampu pijar. Nuraeni dan Charles (2013) dalam bukunya menyebutkan bahwa

beban resistor tidak menyebabkan adanya geser fasa antara arus dan tegangan pada rangkaian ac. Apabila pada sebuah resistor diterapkan tegangan bolak-balik maka arus dan tegangan sefasa yang ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Arus dan Tegangan Sefasa

Bila tegangan $U = V = U_m \sin \omega t$ diberikan pada rangkaian dengan tahanan R maka arus dalam rangkaian adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{U}{R}$$

$$I = \frac{U_m \sin \omega t}{R}$$

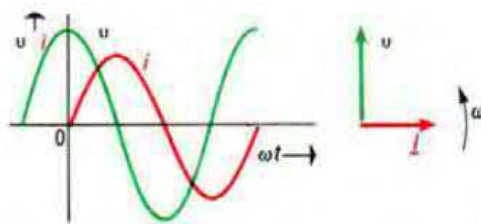
$$I = I_m \sin \omega t$$

Dengan demikian dapat mengerti bahwa $R = (U_m/I_m)$ dan gelombang arus, bersamaan fasanya dengan tegangan, atau beda fasa antara arus dan tegangan adalah nol.

Beban Induktif

Beban induktif (L) yaitu beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti, seperti coil, motor – motor listrik, transformator, dan selenoida. Beban jenis ini dapat menyebabkan pergeseran fasa pada arus sehingga bersifat *lagging*.

Nuraeni dan Charles (2013) dalam bukunya menyebutkan bahwa apabila arus yang berubah-ubah mengalir melewati induktor maka pada induktor tersebut terbangkit ggl. Arus ac adalah arus yang berubah-ubah. Hubungan antara arus dan tegangan suplai pada induktor dapat juga secara grafis sinusoida ditunjukkan dalam gambar 2.2.



Gambar 2.1. Arus Tertinggal 90° dari Tegangan

Pergeseran fasa ini disebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis akan mengakibatkan fasa arus bergeser dan menjadi tertinggal terhadap tegangan. Beban jenis ini menghisap daya aktif dan daya reaktif. Induktor dalam rangkaian ac memiliki reaktansi yang dinotasikan dengan simbol X_L , dan X_L ini mempunyai nilai sebagai berikut :

$$X_L = \frac{U}{I} \text{ Ohm}$$

Dimana :

U = tegangan pada induktor

I = arus ac yang melewati induktor

Jika induktor disuplai dengan tegangan bolak-balik sinusoida maka untuk menghitung besarnya reaktansi induktif (X_L) dapat digunakan rumus :

$$X_L = 2\pi \times f \times L$$

Keterangan :

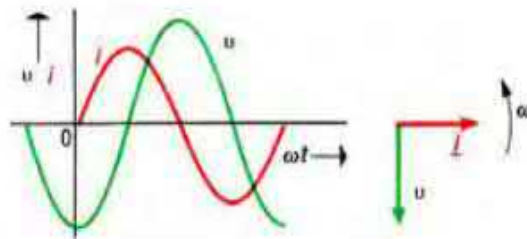
X_L = Reaktansi induktif (Ω)

f = Frekuensi (Hz)

L = Induktansi (Henry)

Beban Kapasitif

Beban kapasitif yaitu beban yang memiliki kemampuan kapasitansi atau kemampuan untuk menyimpan energi yang berasal dari pengisian dielektrik (*electrical charge*) pada suatu sirkuit. Komponen ini dapat menyebabkan arus mendahului tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif. Hubungan antara arus dan tegangan ac pada kapasitor ditunjukkan pada gambar 2.3



Gambar 2.2. Arus Mendahului 90° Dari Tegangan

Terlihat dari gambar 2.12. bahwa arus yang melewati kapasitor memiliki fasa 90 mendahului tegangan yang diterapkan padanya. Kapasitor dalam rangkaian ac memiliki reaktansi kapasitif yang dinotasikan dengan simbol X_c . Untuk menghitung besarnya reaktansi kapasitif (X_c) adalah dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$X_c = \frac{U}{I} \text{ Ohm}$$

Keterangan :

U = tegangan pada kapasitor.

I = arus pada kapasitor

Jika kapasitor disuplai dengan tegangan bolak-balik sinusoida maka reaktansi kapasitor

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \text{ Ohm}$$

Keterangan :

X_c = Reaktansi kapasitif (Ω)

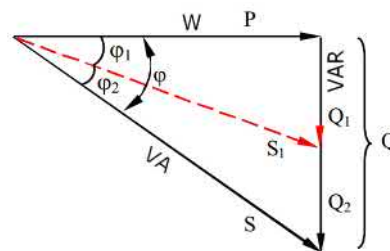
f = Frekuensi (Hz)

C = Kapasitansi (Farad)

2.2.5. Konsep Dasar Faktor Daya

Menurut Rahardjo dan Yadi Yunus (2010) bahwa “Faktor daya (*power factor*) atau sering disebut dengan $\cos \phi$ adalah perbandingan daya aktif dan daya semu. Sudut ϕ adalah sudut yang dibentuk antara sisi daya aktif (P) dan daya semu (S), sedangkan daya reaktif (Q) tegak lurus terhadap daya aktif (P)”.

Faktor daya merupakan cosinus dari beda sudut fasa antara arus dan tegangan. Faktor daya disimbolkan dengan $\cos \phi$ dan mempunyai rentang nilai antara 0 sampai 1. Semakin mendekati 1 maka nilai faktor daya akan semakin baik. Kemudian untuk mencari nilai faktor daya dapat dilakukan dengan membagi daya aktif (P) dengan daya semu (S). Faktor daya dibagi menjadi dua yaitu faktor daya tertinggal (*lagging*) dan faktor daya mendahului (*leading*). Jika digambarkan dalam bentuk segitiga daya, maka daya semu direpresentasikan oleh sisi miring sedangkan daya aktif dan reaktif direpresentasikan oleh sisi-sisi segitiga yang saling tegak lurus, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Segitiga Daya

2.2.6. Penyebab Faktor Daya Rendah

Menurut Akash Srivastava, dkk (2016: 12) mengemukakan bahwa “*Low power factor result in inefficient system operation and losses*”. Pada maksud yang lain, bahwa Faktor daya yang rendah dapat menghasilkan kerugian pada sistem, sehingga sistem tidak efisien. Faktor daya yang rendah disebabkan oleh peralatan listrik seperti motor induksi, unit – unit ballast yang memerlukan arus

magnetisasi reaktif untuk gerakannya. Alat – alat seperti ini memerlukan arus listrik untuk membangkitkan medan, sehingga menimbulkan panas dan daya mekanis yang dapat menimbulkan rugi – rugi. Penggunaan kapasitor yang berlebihan dalam suatu instalasi juga akan menyebabkan faktor daya yang buruk, namun hal ini jarang terjadi

2.2.7. Kerugian Akibat Faktor Daya Rendah

Hal yang menyebabkan menyebabkan rendahnya faktor daya adalah besarnya daya reaktif. Daya reaktif yang terlalu besar ini tidak memberikan nilai kerja, melainkan diserap oleh saluran dan disimpan dalam bentuk elektromagnetik. Dengan bertambahnya daya reaktif, maka faktor daya menjadi rendah, sehingga akan menyebabkan beberapa kerugian, diantara lain :

1. Kapasitas penyaluran daya dari saluran penghantar akan menurun. Bila faktor daya rendah maka arus akan membesar sedangkan kapasitas penghantar adalah tetap. Hal ini akan mengakibatkan menurunnya kapasitas penyaluran daya dari saluran penghantar.
2. Bertambahnya daya reaktif, maka kebutuhan akan arus induktifnya akan menjadi lebih besar sehingga akan mendapatkan daya aktif, diperlukan penambahan daya semu dan hal ini berarti harus memperbesar kapasitas (kebutuhan instalasi listrik), yaitu dengan memperbesar rating pengaman arus lebih dan ukuran penghantar yang lebih besar. Sehingga dibutuhkan

penambahan biaya dengan kata lain kebutuhan listrik yang lebih besar.

3. Bertambahnya rugi – rugi pada saluran penghantar dan peralatan listrik. Hal ini biasanya berupa rugi – rugi penyaluran daya yang diakibatkan oleh panas yang timbul.

Denda atau biaya kelebihan daya reaktif dikenakan apabila jumlah pemakaian kVARH yang tercatat dalam sebulan lebih tinggi dari 0,62 jumlah kWh pada bulan yang bersangkutan sehingga PF rata – rata kurang dari 0,85. sedangkan perhitungan kelebihan pemakaian kVARH dalam rupiah menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kelebihan pemakaian kVARH} = [B - 0,62 (A1 + A2)] Hk$$

Keterangan :

B = pemakaian kVARH

A1 = pemakaian kWh WPB

A2 = pemakaian kWh LWBP

Hk = harga kelebihan pemakaian kVARH

2.2.8. Keuntungan Perbaikan Faktor Daya

Beberapa keuntungan meningkatkan faktor daya :

1. Tagihan listrik akan menjadi kecil (PLN akan memberikan denda jika faktor daya lebih kecil dari 0,85)
2. Kapasitas distribusi sistem tenaga listrik akan meningkat
3. Mengurangi rugi – rugi daya pada sistem

4. Adanya peningkatan tegangan karena daya menurun
5. Mengurangi besarnya tegangan jatuh

Jika faktor daya lebih kecil dari 0,85 maka kapasitas daya nyata (kW) yang digunakan akan berkurang. Kapasitas itu akan terus menurun seiring dengan menurunnya faktor daya pada sistem kelistrikan.

Beberapa strategi untuk koreksi faktor daya adalah :

1. Meminimalkan operasi dari beban motor yang ringan atau tidak bekerja
2. Menghindari operasi dari peralatan listrik diatas tegangan rata – ratanya
3. Mengganti motor – motor yang sudah tua dengan energi efisien motor. Meskipun dengan energi efisien motor, bagaimanapun faktor daya dipengaruhi oleh beban yang variasi. Motor ini harus dioperasikan sesuai dengan kapasitas rata – ratanya untuk memperoleh faktor daya tinggi.
4. Memasang kapasitor pada jaringan AC untuk menurunkan medan dari daya reaktif.

2.2.9. Kapasitor

Menurut Ramdhani (2008) dalam bukunya menjelaskan bahwa “Kapasitor atau Kondensator adalah suatu alat yang dapat menyimpan energi di dalam medan listrik, dengan cara mengumpulkan ketidakseimbangan internal dari muatan listrik”. Kapasitor memiliki

satuan yang disebut Farad (F). Kondensator diidentikkan mempunyai dua kaki dan dua kutub, yaitu positif (+) dan negatif (-) serta memiliki cairan elektrolit dan pada umumnya berbentuk tabung, sedangkan kapasitor nilai kapasitansinya lebih rendah, tidak memiliki kutub positif (+) dan negatif (-) pada kakinya, kebanyakan berbentuk bulat pipih berwarna cokelat, merah, hijau seperti tablet.



Gambar 2.5. Simbol Kapasitor

Satuan dari kapasitor adalah Farad (F), tetapi karena nilai dalam Farad sangat besar, maka lebih sering digunakan :

Pikofarad (pF) $= 1 \times 10^{-12}$ F

Nanofarad (nF) $= 1 \times 10^{-9}$ F

Mikrofarad (μ F) $= 1 \times 10^{-6}$ F

Sistem kapasitif adalah sistem yang dapat menyimpan muatan atau medan listrik. Sedangkan kapasitor adalah sistem kapasitif yang dibuat agar mempunyai harga kapasitansi tertentu.

Proses Kerja Kapasitor

Kapasitor yang akan digunakan untuk memperbesar faktor daya dipasang paralel dengan rangkaian beban. Bila rangkaian itu 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. 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 kapasitor (-) akibatnya daya reaktif yang berlaku menjadi kecil. Rugi-rugi daya sebelum dipasang kapasitor

$$\text{Rugi daya aktif} = I^2 R \text{ (Watt)}$$

$$\text{Rugi daya reaktif} = I^2 \times X_c \text{ (VAR)}$$

Rugi-rugi daya sesudah dipasang kapasitor

$$\text{Rugi daya aktif} = (I^2 - I_c^2) R \text{ (Watt)}$$

$$\text{Rugi daya reaktif} = (I^2 - I_c^2) \times X_c \text{ (VAR)}$$

Metode Pemasangan Kapasitor

Adapun cara memasang kapasitor daya pada instalasi listrik dapat dibagi menjadi 3 bagian menurut Syawal (2015) yaitu

1) Global compensation

Dengan metode ini kapasitor bank dipasang pada induk panel mine distribution panel (MDP) dan arus yang turun dari pemasangan model ini hanya pada penghantar antara panel MDP dan transformator.

2) Sectoral Compensation

Dengan metoda ini pemasangan kapasitor bank yang terdiri dari beberapa panel kapasitor yang akan dipasang pada setiap panel sub distribution panel (SDP).

3) Individual Compensation

Dengan metoda ini kapasitor bank langsung dipasang pada masing – masing beban yang akan digunakan.

2.2.10. Perbaikan Faktor Daya

Prinsip dasar dari peningkatan faktor daya adalah dengan menyuntikkan arus dengan fase mendahului ke dalam rangkaian agar menetralkan arus yang ketinggalan fase. Salah satu caranya yaitu dengan memasang kapasitor pada rangkaian. Menurut Firmansyah (2010) bahwa “Perbaikan faktor daya dapat dilakukan dengan memasang kompensator berupa kapasitor bank disalah satu lokasi sistem kelistrikan, sebelum pemasangan perlu dilakukan pengukuran faktor daya awal terlebih dahulu kemudian ditentukan faktor daya yang diinginkan sehingga dapat mengetahui berapa besarnya kompensasi yang harus dipasang”. Lokasi pemasangan dari kapasitor bank terbagi dalam tiga jenis yaitu kompensasi sendiri (individual compensation), kompensasi grup (group compensation), dan kompensasi terpusat (central compensation). Sedangkan pada pengoperasiannya kompensator dapat dibedakan menjadi kompensasi tetap (fixed compensation) dan kompensasi otomatis (automatic compensation).

Sebuah kapasitor daya atau yang dikenal dengan nama kapasitor bank harus mempunyai daya Q_c yang sama dengan daya reaktif dari sistem yang akan diperbaiki faktornya. Jika keadaan ini dipenuhi, kapasitor akan memperbaiki faktor daya menjadi bernilai

maksimum (faktor daya = 1). Besarnya daya reaktif yang diperlukan untuk mengubah faktor daya dari $\cos \phi_1$ menjadi $\cos \phi_2$ dapat ditentukan dengan

$$Q_c = P \cdot (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

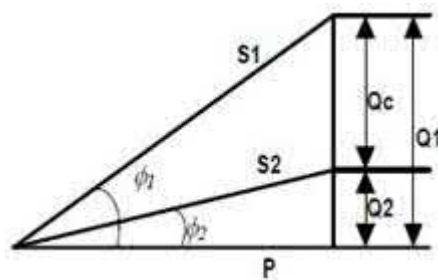
Keterangan:

Q_c = nilai power factor correction (kVAR)

P = nilai daya nyata (kW)

ϕ_1 = sudut sebelum perbaikan faktor daya

ϕ_2 = sudut sesudah perbaikan faktor daya



Gambar 2.6. Perbaikan Faktor Daya

$$\Delta C = \frac{\Delta Q}{V^2 2\pi f} (\mu F)$$

Keterangan :

ΔC : Besar nilai kapasitor perphasa

V : Tegangan

F : frekuensi

ΔQ :Jumlah daya reaktif yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya (VAR)

2.2.11. Optimasi Daya Listrik

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (1994) Optimasi adalah berasal dari kata dasar optimal yang berarti terbaik, tertinggi, paling menguntungkan, menjadikan paling baik, menjadikan paling tinggi, pengoptimalan proses, cara, perbuatan mengoptimalkan (menjadikan paling baik, paling tinggi, dan sebagainya) sehingga optimasi adalah suatu tindakan, proses, atau metodologi untuk membuat sesuatu (sebagai sebuah desain, sistem, atau keputusan) menjadi lebih/sepenuhnya sempurna, fungsional, atau lebih efektif. Dengan adanya optimalisasi, suatu sistem dapat meningkatkan efektifitasnya, yaitu seperti meningkatkan keuntungan, meminimalisir waktu proses, dan sebagainya.

Optimasi daya listrik ialah suatu tindakan atau proses untuk membuat daya listrik menjadi baik, fungsional, atau efektif. Daya listrik yang akan dioptimalkan yaitu daya semu, daya nyata, dan daya reaktif. Daya semu (VA) dinyatakan optimal apabila nilai daya semu pada sistem rendah sehingga suplay nilai daya semu (VA) dari sumber dapat digunakan pada peralatan-peralatan listrik lainnya atau membuat bus sistem yang baru. Daya Nyata dinyatakan optimal jika nilainya meningkat karena dapat meningkatkan pula kapasitas jaringan distribusi dan mengurangi rugi rugi daya. Pada nilai daya reaktif dikatakan optimal apabila nilainya mengalami penurunan. Hal ini karena daya reaktif yang besar dapat membuat kebutuhan akan arus induktifnya menjadi lebih besar sehingga untuk mendapatkan daya

aktif, diperlukan penambahan daya semu dan hal ini berarti harus memperbesar kapasitas (kebutuhan instalasi listrik), yaitu dengan memperbesar rating pengaman arus lebih dan ukuran penghantar yang lebih besar. Sehingga dibutuhkan penambahan biaya dengan kata lain kebutuhan listrik yang lebih besar.

2.2.12. Spesifikasi Kelistrikan Gedung E5

Gedung E5 Unnes mempunyai luas bangunan 504550 m^2 terdiri dari 3 lantai dengan luas bangunan total 1513650 m^2 . Pada sistem kelistrikan Gedung E4 Unnes mempunyai dual power yaitu listrik dari PLN saja, dan tidak menggunakan Genset sebagai cadangan listrik ketika terjadi pemadaman pada listrik PLN. Ini dikarenakan beban pada gedung E5 mempunyai kapasitas yang besar. Maka jika gedung E5 menggunakan genset, maka akan membutuhkan energi yang cukup banyak.

Sistem kelistrikan dari PLN yang menyuplai Gedung E5 Unnes kapasitas trafo sebesar 1000 KVA disuplai dari trafo FIK. Sistem transportasi pada Gedung E4 Unnes adalah bantuan anak tangga. Untuk suplai listrik di gedung E5 dari trafo FIK, dikarenakan beban yang digunakan gedung E5 mempunyai kapasitas daya yang besar, jadi jika diambil dari trafo dekanat 250 KVA akan terjadi ketidakstabilan beban. Seperti yang pernah terjadi adalah saat gedung E5 digunakan untuk pratek kuliah dengan mesin yang ada di gedung E5, lampu dan proyektor akan redup. Jadi suplai gedung E5 diambil dari trafo FIK yang sebesar 1000 KVA.

Pada sistem pengairan (pompa air) di Gedung E5 Unnes mempunyai 1 pompa. Gedung E1 Unnes disuplai pompa utama yang mempunyai daya 2 PK dengan kapasitas daya 1,5 Kw yang berfungsi sebagai pemompa air dari pusat tandon penyimpanan air dengan skala besar menuju ke tandon gedung.

Tabel 2.1 Spesifikasi Gedung E5

Gedung :	E5
Luas Bangunan	Luas bangunan = $504550m^2$ Luas Total = $1513650m^2$
Jumlah Lantai	3
Kapasitas Trafo	1000 KVA
Tegangan	220-380 V
Alat Mesin :	M. Fraiz 5 @51W, Dongkrak 1@1,5kW, HT 2 @1.5 kW, Turret Milling 5 x 7.5 kW, Testing Machine 500W, Mesin Bor 250W, Mesin Gerinda 550W, Stabilizer 50W, Mesin Bor 120 W, M. Gerinda 375W, Kompresor 4kW

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan melalui analisis yang pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan beberapa hal sebagai berikut,

1. Nilai faktor daya pada gedung E5 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yaitu 0,69; 0,77; 0,82 pada hari pertama, 0,83; 0,76; 0,78 pada hari kedua, 0,65; 0,73; 0,74 pada hari ketiga, 0,69; 0,7; 0,78 pada hari keempat dan 0,78; 0,76; 0,79 pada hari kelima.
2. Pada perbaikan faktor daya dengan menggunakan target nilai faktor daya 0,9; 0,95; dan 0,99, gedung E5 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang dapat memasang kapasitor bank dengan nilai 15 kVAR
3. Akibat dari perbaikan faktor daya dapat mengoptimalkan daya listrik, salah satunya daya semu yaitu dengan capaian optimasi sebesar 74,1 % pada faktor daya 0,99; untuk capaian 42,9 % terdapat pada faktor daya 0,95; untuk capaian 34,4 % ada pada nilai faktor daya 0,90. Sehingga peralatan – peralatan yang ada pada gedung E5 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang dapat dioptimalkan kinerjanya.

4. Pada sisi daya reaktif, optimasi yang dapat dilakukan ialah dengan mengurangi penggunaan kVAR yang bersumber dari aliran PLN sehingga nilai kVAR di sumber tidak besar karena berhubungan dengan tagihan biaya listrik. Semakin besar nilai kVAR semakin besar pula biaya listriknya.

5.2. Saran

Pada penulisan skripsi ini terdapat saran untuk memperbaiki penelitian selanjutnya. Saran yang diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut,

1. Pada penelitian ini hanya mengambil satu gedung, untuk penelitian atau pengembangan selanjutnya dapat mengambil tempat penelitian lebih dari satu gedung.
2. Pada Penelitian ini waktu yang diambil hanya tiga kali sehari, untuk penelitian atau pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan variasi waktu yang lebih banyak.
3. Pada penelitian ini hanya dibuat analisis perencanaan, untuk penelitian atau pengembangan selanjutnya dapat dibuat analisis yang langsung disertai pemasangan kapasitor bank.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Naseem, O A dan A. K. Adi. 2011. Impact of Power Factor Correction on the Electrical Distribution Network of Kuwait – A Case Study. *The Online Journal on Power and Energy Engineering* 2 (1): 173-176
- Amir, M., dan Aji M. S. 2017. Analisis Perbaikan Faktor Daya untuk Memenuhi Penambahan Beban 300 kVA Tanpa Penambahan Daya PLN. *Program Studi Teknik Elektro-ISTN* 19 (1) : 33-44
- Arikunto. 2006. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Astuti, B. 2011. *Pengantar Teknik Elektro*. Edisi Pertama. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Bhattacharyya, S, A Choudhury, dan H.R. Jariwala. 2011. Case Study On Power Factor Improvement. *International Journal of Engineering Science and Technology* 3(12): 8372-8378.
- Chandra, A dan T. Agarwal. 2014. Capacitor Bank Designing for Power Factor Improvement. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 4(8): 235-239
- Fazal, M, M. W. Raza, Khan S dan Faizullah. 2018. Reactive Power Compensation by Power Capacitor Method. *Engineering technology Open Access Journal* 1(3): 1-4
- Firmansyah, Ifhan. 2010. Studi Pemasangan Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Faktor Daya PT. Asian Profile Indosteel, *Skripsi Jurusan teknik Elektro FTI ITS Surabaya*.
- Hariansyah, M. Dan J. Setiawan. 2016. Pemasangan Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Faktor Daya Pada Panel Utama Listrik Gedung Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor. *Jurnal Teknik Elektro Dan Sains* 3(1): 26-33
- Harpawi, N. 2010. Analisis Pengaruh Pemasangan *Mini Capacitor Bank* Terhadap Kualitas Listrik Rumah Tangga Serta Perancangan Filter Aktif Menggunakan Kontroller Pi Sebagai Pelindung

- Kapasitor Dari Harmonisa. Tugas Akhir program S1 Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Kamus Besar Bahasa Indonesia. 1994. Jakarta : Balai Pustaka. Hlm 800
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral RI. *Data Realisasi Konsumsi Energi Listrik*. 2017. Jakarta.
- Melipurbowo, B.G. 2016. Pengukuran Daya listrik Real Time Dengan Menggunakan Sensor Arus ACS 712. *ORBITH* 12 (1): 17-23.
- Mohammad, M.M, A.F.A El-gawad, dan H.S.Ramadan. 2016. Power Factor Improvement for Pumping Stations using Capacitor Banks. *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, 17(5): 597–605
- Nuraeni, R. dan C. A. Selan. 2013. Dasar Pengukuran Listrik 2. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.
- Omar, A. S., M. A. L. Badr, dan W. H. Abdel-Hamid. 2014. Selection of Industrial Capacitor Banks for Power Factor Correction in Industrial Load Application. *International Journal on Power Engineering and Energy (IJPEE)* 5(3): 494-499.
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 07 Tahun 2010. *Tarif Tenaga Listrik yang Disediakan oleh Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara*. 30 Juni 2010. Jakarta.
- Priyono. 2008. *Metode Penelitian Kuantitatif*. Edisi revisi. Sidoarjo: Zifatama publishing
- Rahardjo, dan Y. Yunus. 2010. Perbaikan Faktor Daya Motor Induksi 3 Fasa. *Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta*. Hal 451-458.
- Ramdhani, M. 2008. *Rangkaian Listrik*. Edisi Pertama. Jakarta: Erlangga
- Ravindran, M dan V. Kirubakaran. 2012. Electrical Energy Conservation in Automatic Power Factor Correction by Embedded System. *Energy and Power* 2(4): 51-54
- Rizal, M., 2012, *Daya*, Jurusan Electrical engineering di Politeknik Negeri Malang Badan Eksekutif Mahasiswa.

- Rizal, M. H. 2015. *Kualitas Daya Listrik Industri*. Depok(ID): Universitas Indonesia.
- Sitorus , R J dan Eddy Warman. 2013. Studi Kualitas Listrik Dan Perbaikan Faktor Daya Pada Beban Listrik Rumah Tangga Menggunakan Kapasitor. *SINGUDA ENSIKOM* 3 (2) : 64 – 69
- Siyoto, S. dan M. A. Sodik. 2015. *Dasar Metodologi Penelitian*. Edisi Pertama. Sleman: Literasi Media Publishing
- Srivastava, A., S. Saxena, M. Dwiwedi, dan D. Ray. 2016. Power Factor Improvement by Engaging Appropriate Number of Shunt Capacitor. *The International Journal Of Science & Technoledge* 4(5): 12-17.
- Stephen, O,O. L. Yanli, dan S. Hui. 2011. Application of Switched Capacitor banks for Power Factor Improvement and Harmonics Reduction on the Nigerian Distribution Electric Network. *International Journal of Electrical & Computer Sciences* 11(6).
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. edisi ke-17. Bandung: Alfabeta.
- _____. 2016. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. edisi ke-23. Bandung: Alfabeta.