

**STUDI PERBAIKAN FAKTOR DAYA DAN TEGANGAN AKIBAT
PEMBEBANAN PADA SISTEM KELISTRIKAN KAPAL LATIH
SULTAN HASANUDDIN**



TUGAS AKHIR

*Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan
Program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Makassar*

Oleh:

MUH. AMIN R
D411 16 005

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2020



LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**STUDI PERBAIKAN FAKTOR DAYA DAN TEGANGAN AKIBAT
PEMBEBANAN PADA SISTEM KELISTRIKAN KAPAL LATIH
SULTAN HASANUDDIN**

Disusun Oleh:

MUH. AMIN R
D41116005

Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan untuk Menyelesaikan

Program Strata-I pada Sub-Program Teknik Energi.

Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Makassar, 14 Agustus 2020

Disahkan Oleh:

Pembimbing I



Dr. Indar Chaerah Gunadin, S.T., MT.
NIP. 19731118 199803 2 001

Pembimbing II



Dr. Ir. Yustinus Upa Sombolayuk., MT
NIP. 19590708 198802 1 001

Mengetahui,

Plt. Ketua Departemen Teknik Elektro



Prof. Baharuddin Hamzah, ST., M. Arch., Ph.D
NIP. 1969030819951210011



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini, nama Muh. Amin R, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Studi Perbaikan Faktor Daya dan Tegangan Akibat Pembebanan Pada Sistem Kelistrikan Kapal Latih Sultan Hasanuddin”, adalah karya ilmiah penulis sendiri dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi ini berasal dari penulis lain yang telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu, semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak maupun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 14 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan



Muh. Amin R

D41116005



ABSTRAK

MUH. AMIN R., Studi Perbaikan Faktor Daya Dan Tegangan Akibat Pembebanan Pada Sistem Kelistrikan Kapal Latih Sultan Hasanuddin (dibimbing oleh Indar Chaerah Gunadin dan Yustinus Upa Sombolayuk)

Kualitas energi pada sistem kelistrikan yang baik merupakan keharusan untuk menjaga semua peralatan dapat berfungsi baik dan awet. Diantaranya adalah memiliki tegangan stabil dengan batas tegangan 5% *overvoltage* dan 10% *undervoltage* dan faktor daya stabil ($0.85 < \cos \phi \leq 1.0$, SPLN 70 nomor 1 tahun 1985). Tetapi akibat penggunaan banyak peralatan listrik yang bersifat beban induktif, mengakibatkan perubahan tegangan dan menurunnya faktor daya sehingga efisiensi penggunaan daya berkurang. Agar faktor daya dan tegangan tetap stabil maka diperlukan pemasangan kapasitor yang kapasitasnya disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing beban. Skripsi ini membahas mengenai studi perbaikan faktor daya dan tegangan akibat pembebanan pada sistem kelistrikan kapal latih Sultan Hasanuddin. Analisis dilakukan berdasarkan prinsip aliran daya dengan metode Newton-Raphson menggunakan bantuan pemecahan dengan *software Electrical Transient and Analysis Program (ETAP) 16.0*. Simulasi yang dilakukan mengamati kondisi tegangan dan faktor daya pada masing-masing beban listrik sebelum dan sesudah dipasang kapasitor pada tiga kondisi kapal yakni pada kondisi sandar, berlayar dan manuver. Hasil analisis menunjukkan besarnya perubahan faktor daya pada kondisi berlayar 13% (dari 0.859 menjadi 0.971), manuver 13.6% (dari 0.858 menjadi 0.971), serta kondisi sandar 3% (dari 0.835 menjadi 0.863) dan tegangan 0.025% yang terjadi pada kapal latih Sultan Hasanuddin setelah pemasangan kapasitor. Selain itu dengan adanya pemasangan kapasitor maka besarnya daya yang dapat dihemat dalam sekali pelayaran selama 12 jam adalah 10.4% dari kebutuhan daya awal.

Kata kunci: faktor daya, kestabilan tegangan, kapasitor, kapal latih Sultan Hasanuddin.



ABSTRACT

MUH. AMIN R., Studi Perbaikan Faktor Daya Dan Tegangan Akibat Pembebanan Pada Sistem Kelistrikan Kapal Latih Sultan Hasanuddin (dibimbing oleh Indar Chaerah Gunadin dan Yustinus Upa Sombolayuk)

The quality of energy in a good electrical system is a must to keep all equipment functioning properly and durable. Among them are having a stable voltage with a voltage limit of 5% overvoltage and 10% undervoltage and a stable power factor ($0.85 < \cos \phi \leq 1.0$, SPLN 70 number 1 of 1985). However, due to the use of many electrical appliances that are inductive loads, it result in a changes in voltage and decrease in the power factor so that the efficiency of power use decreases. In order for the power factor and voltage to remain stable, it is necessary to install a capacitor whose capacity is adjusted to the needs of each load. This research discusses the study of improved in power factor and voltage due to loading on the electrical system of kapal latih Sultan Hasanuddin. The analysis was carried out based on the principal power flow using the Newton-Raphson method using the Electrical Transient and Analysis Program (ETAP) 16.0 software. The simulation is carried out observing the voltage the conditions of the voltage and power factor in each electric load before and after the capacitors are installed in three conditions of the ship, namely in the condition of berthing, sailing and maneuvering conditions. The results of the analysis show the magnitude of the change in power factor under sailing is 13% (from 0.859 to 0.971), maneuvering is 13.6% (from 0.859 to 0.971), and the berthing conditions is 3% (from 0.835 to 0.863) and the voltage of 0.025% that occurred on the kapal latih Sultan Hasanuddin after the installation of capacitors. In addition, with the installation of capacitors, the amount of power that can be saved in a single voyage for 12 hours is 10.4% of the initial power requirements.

Keywords: power factor, voltage stability, capacitors, kapal latih Sultan Hasanuddin



KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmaanirrahiim. Puji dan syukur kami panjatkan ke-hadirat Allah Subhanahu wata'ala, atas limpahan rahmat dan petunjuk serta izin-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul "*Studi Perbaikan Faktor Daya dan Tegangan Akibat Pembebanan Pada Sistem Kelistrikan Kapal Latih Sultan Hasanuddin*". Shalawat serta salam penulis curahkan kepada sauri teladan terbaik di muka bumi, Rasulullah Muhammad Shalallahu 'alaihi wasallam yang telah membukakan jalan menuju zaman ilmu pengetahuan.

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Strata-1 di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian tugas akhir ini banyak kendala yang dihadapi, baik itu kendala teknis maupun nonteknis. Namun, berkat petunjuk dan pertolongan Allah Subhanahu wata'ala melalui bantuan dari berbagai pihak, sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.

Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak Pendidikan yang berperan penting dalam penyelesaian tugas akhir penulis:

1. Bapak Dr.Indar Chaerah Gunadin,ST.MT., selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr.Ir.Yustinus Upa Sombolayuk.,MT., selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan bimbingan, motivasi, dan saran selama

penyelesaian tugas akhir ini.



2. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Nadjamuddin Harun MS dan Ibu Ir. Zaenab Muslimin, M.T., selaku dosen penguji skripsi saya yang telah memberikan saran dan kritik dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Seluruh dosen, staf administrasi dan pegawai yang telah memberikan kami ilmu, bantuan, dan kemudahan selama kami menempuh pendidikan di Departemen Teknik Elektro.
4. Ibu Dr. Rukmini, ST., MT., yang telah memberikan banyak bantuan, dukungan dan bimbingan selama proses penyelesaian tugas akhir ini, serta seluruh pihak Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu M.A., selaku Rektor Universitas Hasanuddin.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak Pendukung yang berperan penting dalam penyelesaian tugas akhir penulis:

1. Orang tua tercinta, Ibunda Taharia dan Ayahanda Abd. Rasyid yang selalu meridhai dan mendoakan, memberikan segala bentuk dukungan, dan memberikan motivasi serta nasehat kepada penulis.

...siswa Bidikmisi yang telah memberikan bantuan finansial selama proses pendidikan jenjang strata-1 penulis.



3. Saudari penulis Rasmitasari R. yang selalu memberikan dukungan dan motivasi. Tante Rahmawati dan Ibu Adriani (Mama Alle') selaku ibu sambung penulis yang selalu memberikan segala bentuk dukungan, doa, dan motivasi selama penulis menempuh proses pendidikan.
4. Seluruh keluarga dan kerabat penulis yang selalu memberikan dukungan dan motivasi untuk menempuh proses pendidikan penulis.
5. Kanda Muhammad Arifai, ST. dan seluruh kanda-kanda senior yang senantiasa memberikan saran, dukungan dan motivasi kepada penulis.
6. *Fisdas Squad* (Dhea, Nita, Pida, Aidil dan Adnan) dan teman-teman dekat penulis (Dwiki, Shaadiq, Uni, Fauzan, Restu, Syarwan, Ayu, Dhilah dan Aswan) yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan kepada penulis.
7. Teman-teman seperjuangan Laboratorium Relay dan Pengukuran (Shania, Alya, Amel, Kiki, Icha, Reyhan, Adul, Wira, Adnan, Arya, Gafur, Syafiq, dan Syahril) yang telah banyak membantu dan memberikan dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Seluruh teman-teman *EXCITER 16* dan adik-adik *CALIBRATOR* yang telah memberikan semangat dan dukungan.
9. Keluarga besar dan teman-teman Asisten Laboratorium Fisika Dasar atas kebersamaannya.
10. Keluarga besar Kompleks Elite, khususnya kepada (kak Suwitno, ST., Dhea,

uci, Ilmi, dan Saleh) yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.



11. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini namun tidak bisa disebutkan satu persatu pada kesempatan ini.

Demikian ungkapan terima kasih kepada seluruh pihak, penulis ucapkan jazaakumullahu khairan. Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini dikarenakan keterbatasan ilmu pengetahuan, wawasan, dan pengalaman. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata, semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri, institusi pendidikan, dan masyarakat.

Gowa, 14 Agustus 2020

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iii
ABSTRAK	ivv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Ruang Lingkup dan Batasan Masalah.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Sistem Kelistrikan Kapal.....	7
Faktor Daya dan Daya Listrik	9
Tegangan Listrik.....	18



2.4	Jenis-jenis Beban Listrik	20
2.5	Effisiensi / Manfaat dengan menggunakan Kapasitor Bank.....	22
2.6	Transien dan <i>Inrush Current</i> pada <i>switching</i> kapasitor.....	23
2.7	Sistem <i>Grounding</i> kapal laut.....	25
2.8	Software ETAP (<i>Electrical Transient and Analysis Program</i>).....	26
2.9	Penelitian-penelitian sebelumnya.....	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		30
3.1.	Waktu dan Lokasi Penelitian.....	30
3.2.	Metode Penelitian.....	30
3.3.	Data Penelitian.....	31
3.5.	Analisis data	40
3.6.	Alur Penelitian.....	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		53
4.1.	Perbandingan Nilai Faktor Daya dan Tegangan Berdasarkan Penempatan Kapasitor Kapal Latih Sultan Hasanuddin.....	53
4.1.1.	Pemasangan kapasitor pada panel utama.....	53
4.1.2.	Pemasangan kapasitor pada beban langsung	55
4.2.	Analisis Faktor Daya Peralatan Listrik Kapal Latih Sultan Hasanuddin Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor.....	59



4.3. Analisis Tegangan Pada Peralatan Listrik Kapal Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor	63
4.4. Biaya Penghematan dari pemasangan kapasitor	64
4.5. Perhitungan Biaya Pengadaan kapasitor	66
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	68
V.1 Kesimpulan.....	68
V.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN.....	72



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perbaikan Faktor Daya	11
Gambar 2. 2 Segitiga daya	17
Gambar 2. 3 Arus dan tegangan sefasa	21
Gambar 2. 4 Arus tertinggal 90° dari tegangan	21
Gambar 2. 5 Arus mendahului 90° dari tegangan	22
Gambar 2. 6 Transien osilasi karena switching kapasitor bank	24
Gambar 2. 7 Tegangan dan arus inrush pada saat pengisian kapasitor tunggal	25
Gambar 3. 1 Gambaran Umum Single Line Diagram Kapal Latih Sultan Hasanuddin PIP Makassar.....	31
Gambar 3. 2 Rangkaian simulasi ETAP sistem kelistrikan Kapal Latih Sultan Hasanuddin.....	39
Gambar 3.3 Diagram Fashor C paralel beban RL.....	50



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data Pembangkit Kapal Latih Sultan Hasanuddin.....	33
Tabel 3. 2 Data Beban Listrik Kapal Latih Sultan Hasanuddin.....	33
Tabel 3. 3 Tabel Admitansi n-bus	42
Tabel 3. 4 Persamaan Jacobian Satu Fasa Polar	47
Tabel 4. 1 Nilai power faktor, tegangan dan arus panel utama.....	53
Tabel 4. 2 Losses sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor pada panel utama	54
Tabel 4. 3 Nilai power faktor dan tegangan pada beban langsung	56
Tabel 4. 4 Losses sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor pada beban langsung	57
Tabel 4. 5 Faktor daya sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor serta kapasitas kapasitor	60
Tabel 4. 6 Beban total dan faktor daya masing-masing kondisi sebelum dan setelah pemasangan kapasitor pada beban	61
Tabel 4. 7 Daya total masing-masing kondisi sebelum dan setelah pemasangan kapasitor pada generator	62
Tabel 4. 8 Daya yang dikompensasi setelah pemasangan kapasitor	62
Tabel 4. 9 Tegangan sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor serta kapasitas kapasitor	63
Tabel 4. 10 Tipe dan harga kapasitor	66



BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang Masalah

Kapal latihan di Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar dinamai kapal latihan Sultan Hasanuddin. Sumber listrik pada kapal dihasilkan oleh suatu sistem pembangkit listrik, dimana listrik tersebut didistribusikan melalui sistem instalasi menuju ke beban kapal. Pembangkit daya listrik kapal terletak didalam ruang mesin pada bagian *deck* bawah kapal dan beban listrik kapal tersebar pada beberapa titik dikapal. Sistem kelistrikan di kapal hanya untuk memenuhi kebutuhan di kapal itu sendiri, dimana jarak antara sistem pembangkit dan beban hanya beberapa puluh meter tergantung pada ukuran kapal.

Berbeda dengan sistem kelistrikan di darat yang tersebar, dimana beberapa sistem pembangkit listrik terpisah dalam jarak puluhan bahkan ratusan kilometer yang terkoneksi menjadi satu dalam jaringan. Sistem kelistrikan di darat terdiri dari beberapa komponen pembangkitan, transmisi, distribusi dan beban yang saling berhubungan dan berkerja sama untuk melayani kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan, sesuai kebutuhan masing-masing.

Daya listrik dibangkitkan oleh generator untuk menyuplai dan memenuhi kebutuhan daya listrik pada peralatan-peralatan pengguna daya listrik yang diangkat sebagai beban listrik. Karena beban listrik menyerap daya listrik



berdasarkan jenisnya yaitu, beban resistif menyerap daya aktif, beban induktif menyerap daya reaktif dan beban kapasitif menyerap daya kapasitif. Beban kapasitif dapat menyuplai daya reaktif pada jaringan, sehingga beban kapasitif disebut pembangkit daya reaktif. Oleh sebab itu, untuk membedakan daya listrik yang diserap beban dan daya listrik yang dibangkitkan oleh generator, maka daya generator disebut dengan daya semu.

Kapasitas kebutuhan daya listrik sejalan dengan besarnya penggunaan beban dan jenis beban yang dilayani. Secara umum ada tiga jenis beban dalam sistem kelistrikan kapal yakni: beban resistif seperti lampu pijar, heater, dan semua alat listrik yang bekerja menggunakan elemen pemanas, beban induktif seperti motor listrik, las listrik dan semua alat listrik yang bekerja berdasarkan induksi, dan beban kapasitif seperti kapasitor atau kondensator. Beban kapal didominasi oleh beban induktif, dikarenakan banyaknya motor-motor yang digunakan dalam pengoperasian kapal. Beban induktif kapal akan mencapai beban puncak ketika dalam kondisi berlayar dan akan mencapai beban minimum ketika kapal dalam kondisi sandar.

Beban listrik yang bersifat induktif membutuhkan kapasitor sebagai sumber daya reaktif, yang pada umumnya berupa peralatan penggerak seperti motor listrik. Karena sifat beban induktif menyerap daya dengan kapasitas yang reaktif terhadap perubahan pembebanan mekaniknya, maka perubahan

kapasitas kebutuhan daya secara reaktif terhadap perubahan pembebanan mekanik pada beban induktif disebut menyerap daya reaktif. Kebutuhan daya reaktif sangat mengganggu kapasitas pembangkitan daya pada generator dan



juga penyalurannya ke beban listrik kapal. Oleh karena itu, dibutuhkan penempatan sumber daya reaktif didekat setiap beban induktif. Tetapi pengoperasian terhadap banyak sumber daya reaktif menimbulkan masalah lain pada pengendaliannya, sehingga dibutuhkan lokasi penempatan yang tepat dalam instalasi sistem kelistrikan supaya dapat melayani beban-beban induktif dengan kendali terpusat secara efisien pada kapal.

Besar total kapasitas beban listrik yang mengalami peningkatan ataupun penurunan akan mengakibatkan adanya perubahan faktor daya dan tegangan. Akibat dari menurunnya faktor daya maka akan terjadi kerugian yaitu menimbulkan permasalahan seperti, arus yang mengalir pada sistem akan besar, efisiensi penggunaan listrik menurun, dapat merusak jaringan dan peralatan listrik akibat arus besar, sehingga dibutuhkan perawatan ekstra untuk mengatasi kerusakan peralatan listrik dan lain-lainnya. Salah satu cara untuk memperbaiki faktor daya adalah dengan mengurangi daya reaktif di jaringan. Jika komponen arus reaktif dapat dikurangi, maka total arus akan berkurang begitu juga dengan komponen arus yang tidak berubah mengakibatkan faktor daya akan lebih besar sebagai akibat berkurangnya daya reaktif. Dengan penggunaan kapasitor pada saluran maka daya reaktif (Q) akan berkurang karena kapasitor akan mensuplai daya reaktif ke beban [1]. Begitupun dengan terjadinya perubahan tegangan, kapasitor dapat berfungsi untuk menyuplai daya reaktif *leading* dari sumber [2].



Fluktuasi beban yang terjadi pada sistem kelistrikan kapal dalam hal ini pada kondisi sandar, berlayar dan manuver mengakibatkan terjadinya perubahan pada tegangan, dimana tegangan dapat mengalami kenaikan (*overvoltage*) dan tegangan dapat mengalami penurunan (*undervoltage*). Kenaikan maupun penurunan tegangan dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan-peralatan dan mesin-mesin listrik dikapal jika dibiarkan dan tidak ditanggulangi.

Perubahan faktor daya dan tegangan akibat pembebanan pada sistem kelistrikan Kapal Latih Sultan Hasanuddin diatas, maka perlu diadakan Studi dan Analisis untuk menanggulangi permasalahan-permasalahan yang dapat timbul akibat adanya perubahan beban. Studi ini akan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Electric Transient and Analysis Program* (ETAP) 16.0. ETAP digunakan untuk menganalisis aliran daya sistem kelistrikan kapal, mengetahui peletakan kapasitor yang optimal dan menampilkan daya kompensasi sebelum dan setelah pemasangan kapasitor.

1.2.Rumusan Masalah

Pokok-pokok masalah dari penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan penempatan kapasitor untuk perbaikan faktor daya dan tegangan akibat pembebanan dalam sistem kelistrikan Kapal Latih Sultan Hasanuddin pada kondisi sandar, berlayar dan manuver?



2. Bagaimana menentukan optimum kapasitor agar dapat memperbaiki faktor daya dan tegangan pada sistem kelistrikan Kapal Latih Sultan Hasanuddin?
3. Berapa besar persentase penghematan biaya yang terjadi pada Kapal Latih Sultan Hasanuddin dengan adanya pemasangan kapasitor?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan penempatan kapasitor untuk perbaikan faktor daya dan tegangan akibat pembebanan dalam sistem kelistrikan Kapal Latih Sultan Hasanuddin pada kondisi sandar, berlayar dan manuver.
2. Untuk menentukan optimum kapasitor agar dapat memperbaiki faktor daya dan tegangan pada sistem kelistrikan Kapal Latih Sultan Hasanuddin.
3. Untuk menentukan besar persentase penghematan biaya yang terjadi pada Kapal Latih Sultan Hasanuddin dengan adanya pemasangan kapasitor.

1.4. Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

1. Sistem kelistrikan Kapal Latih Sultan Hasanuddin Hasanuddin Politeknik Ilmu Pelayaran (PIP) Makassar.
Studi dan simulasi dilakukan dengan menggunakan ETAP 16.0.



3. Tidak membahas harmonisa pada kapasitor.
4. Penelitian ini hanya fokus pada perbaikan faktor daya dan tegangan akibat perubahan beban Kapal Latih Sultan Hasanuddin PIP Makassar.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Menjadi referensi dalam perencanaan maupun pengoperasian kapal laut.
2. Memberikan pemahaman tentang dampak perubahan faktor daya dan tegangan dalam sistem kelistrikan dikapal laut.
3. Memberikan petunjuk untuk perbaikan faktor daya dan tegangan pada Kapal Latih Sultan Hasanuddin PIP Makassar.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Kelistrikan Kapal

Sistem kelistrikan yang terdapat pada sebuah kapal terdiri atas sumber daya, sistem distribusi, dan berbagai macam peralatan listrik. Tenaga listrik digunakan sebagai penggerak motor bagi banyak mesin bantu dan juga untuk berbagai peralatan di dek kapal, penerangan, ventilasi, dan peralatan pendingin ruangan. Penyediaan listrik yang kontinyu sangat dibutuhkan untuk operasi peralatan dan kapal secara aman, oleh karena itu kapasitas daya yang dapat dihasilkan oleh generator harus memadai. Generator difungsikan sebagai sumber tenaga utama yang sanggup mencukupi semua kebutuhan akan listrik di kapal. Peralatan kelistrikan pada sebuah kapal biasanya dibagi menjadi 2, yaitu [3]:

- 1) Penerangan dan Navigasi
- 2) Peralatan Kelistrikan yang menunjang sistem pada kapal

Pada kapal penumpang yang besar, 2 atau 3 sub distribusi atau *load center switchboard* harus tersedia untuk distribusi daya dan sistem penerangan. Secara umum satu *switchboard* terletak pada bagian depan kapal, dan jika memungkinkan yang kedua diletakkan pada bagian tengah kapal. Tiap bagian *switchboard* pusat daya disuplai dari *switchboard* layanan kapal dengan

gunakan *Bus feeder*. Desain ini lebih ekonomis dari pada memberikan
ak jalur yang panjang dari *switchboard* layanan kapal ke seluruh bagian



kapal. Masing-masing *switchboard* diletakkan/dipasang pada ruangan yang sesuai. Kompartemen ini biasanya juga bertindak sebagai pusat untuk pelayanan kebutuhan listrik dan perawatan serta masing-masing mungkin juga menyediakan meja kerja dan *locker* untuk komponen peralatan lampu sekering dan kebutuhan listrik lainnya. Selanjutnya daya listrik atau arus listrik keluaran dari *Main Switch Board* (MSB) dibagi dalam beban-beban yang terdiri dari 3 kelompok besar [3]:

- 1) Beban penerangan
- 2) Beban daya
- 3) Beban komunikasi dan navigasi

Pada sebuah kapal, terdapat dua generator. Generator satu beroperasi sedang yang lain dalam keadaan *stand by*. Oleh karena itu dibutuhkan generator sebanyak 2 buah maupun lebih yang dihubungkan secara paralel agar mencapai daya yang dibutuhkan. Paralel generator dapat diartikan menggabungkan dua buah generator atau lebih dan kemudian dioperasikan secara bersama-sama dengan tujuan mendapatkan daya yang lebih besar, untuk efisiensi (menghemat biaya pemakaian operasional dan Menghemat biaya pembelian), untuk memudahkan penentuan kapasitas generator dan untuk menjamin kontinuitas ketersediaan daya listrik. Paralel generator didapatkan dengan cara menyinkronkan dua generator tersebut dengan alat *synchronoskop*.

ini merupakan suatu alat yang digunakan untuk menyinkronkan dua atau generator agar dapat menjadikan hasil yang optimal yaitu dengan cara



memberikan indikator terhadap operator sehingga syarat sinkronisasi dapat terpenuhi. Untuk syarat sinkronisasi suatu paralel generator diantaranya [3]:

- Memiliki tegangan kerja yang sama
- Memiliki frekuensi yang sama
- Memiliki urutan fasa yang sama
- Mempunyai sudut phase yang sama

Power Management System (PMS) adalah bagian penting dari peralatan kontrol dalam kapal dan biasanya mendistribusikan daya ke berbagai stasiun kontrol yang dapat beroperasi bersama-sama dan berbagi informasi antara satu sama lain atau *independent*/tersendiri. Generator dikontrol dan dimonitoring untuk menghasilkan daya dan akhirnya dialirkan pada peralatan kelistrikan yang ada pada sebuah kapal. Tahapan dalam mengalirkan daya adalah generator, *switchboards* dan akhirnya adalah peralatan kelistrikan itu sendiri. Total daya yang dialirkan dimonitoring dan dikontrol dengan satu atau beberapa sistem kontrol. Untuk fungsi pengontrolan daya generator dapat dibagi lagi menjadi 3, yaitu: kontrol generator, kontrol daya yang tersedia dan pengamanan terhadap peralatan kelistrikan. Untuk fungsi dari *restoration* setelah kapal mengalami *blackout* adalah *starting* generator kembali setelah kapal mengalami *blackout*. [3]

2.2 Faktor Daya dan Daya Listrik



Faktor daya

definisikan sebagai [4]:

1. Cosinus sudut terbelakang (*lagging*) atau mendahului (*leading*)
2. Rasio R/Z
3. Rasio P/S

Faktor daya menentukan nilai guna dari daya yang dapat dipakai/digunakan. Faktor daya yang optimal adalah sama dengan satu. Faktor daya yang *lagging* maupun *leading* bersifat memperkecil nilai guna tersebut. Hanya saja umumnya untuk pemakaian tenaga di industri, sebagian besar bebannya bersifat induktif, sehingga faktor dayanya *lagging* [4].

Untuk mengantisipasi agar nilai gunanya tidak terlalu merosot jauh, maka sistem tenaga listrik yang ada tersebut dihubungkan dengan kapasitor (diparalel), dengan kata lain memasok daya reaktif (yang dihasilkan kapasitor) ke beban induktif yang membutuhkan daya reaktif [4].

Pembangkitan daya reaktif pada perencanaan daya dan pensuplaiannya ke beban-beban yang berlokasi pada jarak yang jauh adalah tidak ekonomis, tetapi dapat dengan mudah disediakan oleh kapasitor yang ditempatkan pada pusat beban [5].

Dengan mengasumsikan beban disuplai dengan daya nyata (P), daya reaktif tertinggal Q1, dan daya semu S1, pada faktor daya tertinggal bahwa:

$$\cos\theta = \frac{P}{S_1}$$



au

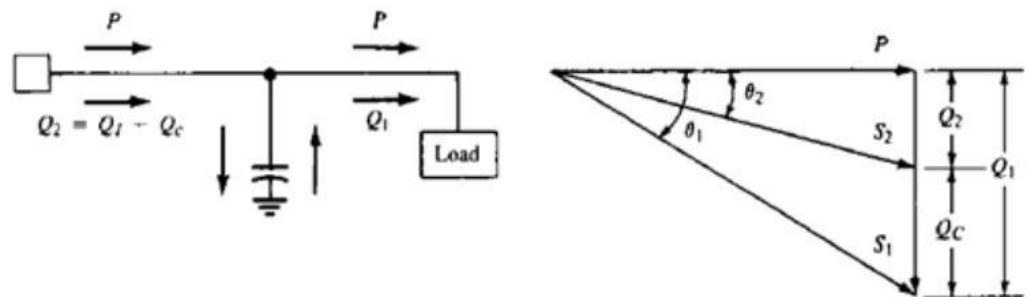
$$\cos\theta = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

ketika kapasitor shunt Q_c kVA dipasang pada beban, faktor daya dapat ditingkatkan dari $\cos\theta_1$ ke $\cos\theta_2$, dimana [5]:

$$\cos\theta = \frac{P}{S_2}$$

$$\cos\theta = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

$$\cos\theta = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_l - Q_c)^2}}$$



Gambar 2. 1 Perbaikan Faktor Daya

Oleh karena itu, dapat dilihat dari gambar 2.1, daya semu dan daya reaktif menurun dari S_1 kVA menjadi S_2 kVA dan dari Q_1 kvar menjadi Q_2 kVAR. Tentu saja penurunan hasil daya reaktif dalam penurunan arus total, yang disebabkan oleh turunnya penyusutan daya [5].

Faktor daya merupakan perbandingan antara daya nyata (kW) dan daya semu (kVA). Dari gambar dapat ditentukan bahwa faktor daya sebelum



dan sesudah dipasang kapasitor adalah $\cos \theta_1$ dan $\cos \theta_2$. Setelah dipasang kapasitor, faktor daya menjadi [5]:

$$Pf_{new} = \text{Cos}\{\text{arc. tan}\left(\frac{Q_1 - Q_c}{P}\right)\}$$

Adanya perbaikan faktor daya, akan timbul pengurangan kVA yang mengalir pada jaringan. Sehingga pada jaringan tersebut dapat ditambahkan sejumlah kVA sebesar pengurangan kVA yang terjadi. Tambahan kVA ini merupakan selisih antara kVA sebelum dipasang kapasitor dengan kVA setelah dipasang kapasitor [5].

Adanya kVA tambahan pada suatu jaringan, akan menambah jumlah beban yang dapat ditanggung oleh jaringan tersebut. Hal ini merupakan suatu keuntungan, karena apabila ada tambahan beban pada daerah dimana jaringan itu berada, daya listriknya dapat dikirim melalui jaringan tersebut tanpa perlu membangun jaringan yang baru [5].

Adanya koreksi faktor daya maka akan menghasilkan penghematan ekonomi dalam pengeluaran yang besar dan pengeluaran bahan bakar melalui pengurangan kapasitas kilovoltampere dan penurunan rugi daya dalam semua perlengkapan diantara titik yang dipasang kapasitor dan rencana sumber daya, termasuk saluran distribusi, trafo di gardu induk dan saluran transmisi. Peningkatan faktor daya adalah titik dimana keuntungan

ekonomis dari pemasangan kapasitor shunt sama dengan harga dari kapasitor tersebut [5].



Disamping itu dengan faktor daya yang lebih tinggi (sudut cosinusnya lebih kecil), maka akan menyebabkan berkurangnya rugi-rugi daya yang hilang ($=I^2R$, berupa panas pada konduktor/kabel) [4]:

Misalkan suatu jaringan listrik bolak-balik 1 fasa: mempunyai tegangan V , diberikan beban listrik, sehingga menarik arus sebesar I , maka besarnya daya yang diserap beban listrik tersebut sebesar [4]:

$$P = V.I.\cos \phi$$

Dengan besarnya $\cos \phi$, tergantung sifat bebannya.

Apabila besarnya $\cos \phi$ tersebut diperbaiki (diperbesar), untuk pemakaian daya yang sama, maka dari persamaan diatas terlihat, besarnya arus listrik yang mengalir akan semakin kecil (dengan catatan besarnya tegangan jaringan tetap) [4].

Kapasitor yang duhubungkan seri dengan maksud memperbaiki faktor daya sangat jarang digunakan, karena [4]:

- Untuk besar kVAR yang sama, perbaikan dengan kapasitor seri *relative* lebih kecil daripada kapasitor shunt (paralel).
- Unit-unit kapasitor seri tidak bisa dilepas dan dipasang kembali dengan cepat untuk keperluan perbaikan faktor daya.
- Ada efek samping:



- 1) Timbul resonansi sub-sinkron waktu menjalankan motor listrik, sehingga arus motor menjadi besar dan kerja motor tidak stabil.
- 2) Timbul resonansi pada inti transformator, yaitu arus besar yang berkepanjangan pada transformator.
- 3) Timbulnya arus yang tiba-tiba besar, tiba-tiba kecil, selama motor bekerja.

Namun penggunaan kapasitor seri lebih ditekankan pada [4]:

- 1) Mengurangi “*flicker*” yang diakibatkan fluktuasi beban yang cepat dan berulang-ulang, misalnya pada las listrik dan busur listrik.
- 2) Mengurangi jatuh tegangan.
- 3) Menaikkan kemampuan daya terkirim pada jaringan dan memperbaiki stabilitas sistem.

11.2.2 Daya Listrik

1. Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang memang benar-benar digunakan dan terukur pada beban. Daya aktif dibedakan berdasarkan penggunaannya, yaitu pada satu fasa (*phase*) atau tiga fasa. Secara matematis dapat ditulis [6]:

Untuk 1 fasa: $P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$

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



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 [6]:

Untuk 1 fasa: $S = V \cdot I$

Untuk 3 fasa: $S = V \cdot I \cdot \sqrt{3}$

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, arus dan vektor daya. Secara matematis dapat dituliskan [6]:

Untuk 1 fasa: $Q = V \cdot I \cdot \sin \phi$

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

Keterangan:

P = Daya aktif (Watt)

Q = Daya Reaktif (VAR)

S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Amper)

$\cos \phi$ = Faktor Daya



Menurut sejarahnya, penggunaan konsep daya semu (*apparent power*) dan faktor daya (*power factor*) diperkenalkan oleh kalangan industri penyedia daya listrik, yang bisnisnya memindahkan energi listrik dari satu titik ke titik lain. Efisiensi proses pemindahan daya listrik ini terkait langsung dengan biaya energi listrik yang pada gilirannya berubah menjadi biaya yang harus dibayarkan oleh konsumen. Hal yang mempengaruhi perpindahan energi listrik tersebut adalah faktor daya. Untuk mencapai efisiensi pemindahan energi 100 %, maka rangkaian harus memiliki nilai faktor daya sebesar 1. Namun hal ini sulit dicapai karena adanya rugi-rugi yang ditimbulkan oleh penghantar listrik dan juga beban listrik, terutama beban induktif. Perbandingan antara daya nyata (*watt*) terhadap perkalian arus dan tegangan (*voltampere*) disebut faktor daya (*pf*). Secara matematis faktor daya (*pf*) atau disebut $\cos \phi$ adalah sebagai berikut:

$$pf = \frac{P \text{ (watt)}}{UI \text{ (voltampere)}}$$

$$\cos \phi = \frac{P}{UI} = \frac{\text{daya nyata}}{\text{daya semu}}$$

Pada rangkaian induktif, arus tertinggal dari tegangan, oleh sebab itu rangkaian ini memiliki faktor daya tertinggal atau *lagging*. Sedangkan pada rangkaian kapasitif, arus mendahului tegangan, oleh sebab itu rangkaian ini memiliki faktor daya mendahului atau *leading* [7].

Dengan menerapkan dalil phitagoras dan dalil-dalil trigonometri

hubungan antara daya semu (*s*), daya nyata (*p*), daya reaktif (*q*) dapat dihitung sebagai berikut :



$$\text{Daya Semu } S = \sqrt{(\text{daya nyata } P)^2 + (\text{daya reaktif } Q)^2}$$

$$UI = \sqrt{(UI \cos \varphi)^2 + (UI \sin \varphi)^2}$$

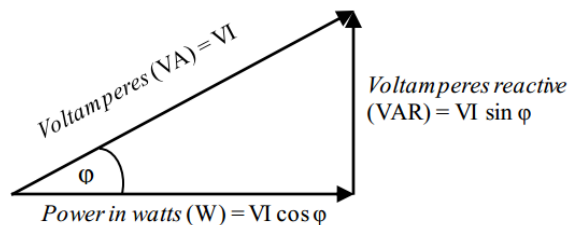
Selain itu, daya nyata dirumuskan sebagai berikut:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ (W)}$$

Persamaan ini pada umumnya disebut daya listrik, jika kita uraikan menjadi

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI} = \frac{\text{daya nyata}}{\text{daya semu}}$$

Dari sini selain daya semu UI (VA) yang diserap oleh beban pada kenyataan terdapat juga faktor, faktor ini disebut faktor daya (*power factor*). Hubungan vektoris antara daya nyata (*watt*) dan daya voltampere diperlihatkan dalam segitiga daya pada Gambar 2.2



Gambar 2. 1 Segitiga daya

Segitiga daya dalam Gambar 2.2 diperoleh dari segitiga impedansi yaitu dengan mengalikan masing-masing sisinya dengan arus kuadrat. Proyeksi horizontal dari daya voltampere (VA) adalah daya nyata (*watt*), sedangkan proyeksi vertikalnya adalah daya voltampere reaktif (VAR) Peralatan-peralatan suplai listrik seperti alternator dan transformator, *rating* dayanya

tidak dinyatakan dalam satuan kilowatt karena beban-beban yang dilayaninya memiliki faktor daya bermacam-macam [6].



2.3 Tegangan Listrik

Sebuah sistem berada dalam kondisi mengalami ketidakstabilan tegangan ketika terjadi gangguan, meningkatnya permintaan beban, atau perubahan dalam kondisi sistem yang dikarenakan penurunan tegangan secara progresif dan tidak terkendali. Faktor utama penyebab ketidakstabilan adalah ketidakmampuan sistem tenaga listrik untuk memenuhi permintaan daya reaktif. Inti dari permasalahan biasanya adalah penurunan tegangan yang terjadi ketika daya aktif dan daya reaktif mengalir melalui reaktansi induktif pada jaringan transmisi. Tegangan dan daya sistem akan tetap dapat dikendalikan setiap saat apabila kestabilan tegangan tetap terjaga [8].

Faktor utama penyebab ketidakstabilan tegangan seperti yang telah dikemukakan sebelumnya, membatasi kemampuan jaringan transmisi untuk mengirim daya. Ketika beberapa generator telah mencapai batas kemampuan daya reaktifnya, maka *transfer* daya pun akan semakin terbatas. Yang menjadi pemicu utama ketidakstabilan tegangan adalah beban. Dalam merespon gangguan, regulator tegangan distribusi dan transformator *on load tap-charging* diharapkan dapat merespon gangguan tersebut untuk memulihkan daya yang dikonsumsi oleh beban. Pemulihan beban meningkatkan tekanan pada jaringan tegangan tinggi dan menyebabkan pengurangan tegangan yang lebih banyak. Situasi ini menyebabkan

terjadinya ketidakstabilan tegangan.



Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah kestabilan tegangan yaitu [9]:

1. Pembangkit cadangan yang beroperasi

Pengoperasian pembangkit cadangan (*back up supply*) dapat dilakukan untuk menyediakan dukungan tegangan selama keadaan darurat, ketika saluran baru atau ketika transformator terlambat beroperasi.

2. Kompensator daya reaktif

Kompensator daya reaktif ini biasanya dilakukan dengan pemasangan kapasitor bank baik itu secara seri maupun secara paralel. Penggunaan kapasitor seri ditujukan untuk mengurangi rugi daya reaktif karena dengan pemasangan kapasitor seri seolah-olah memperpendek saluran yang panjang. Selain itu, dengan memasang kapasitor seri dapat mengirim daya reaktif yang lebih banyak menuju daerah yang kekurangan suplai daya reaktif. Begitu pula dengan kapasitor paralel, kapasitor tambahan dapat menyelesaikan masalah dengan menggantikan fungsi cadangan daya reaktif pada generator. Karena pada umumnya, hampir seluruh kebutuhan daya reaktif disuplai secara khusus, hal ini dikarenakan generator dominan menyuplai daya aktif.

3. Pengoperasian pada tegangan yang lebih tinggi

Suplai cadangan daya reaktif tidak ditingkatkan melalui dengan operasi tegangan yang lebih tinggi, namun dapat menurunkan permintaan daya reaktif. Sehingga generator dapat bertahan jauh dari batas daya reaktifnya.



4. Pelepasan beban *undervoltage*

Pelepasan beban merupakan salah satu cara untuk mempertahankan kestabilan sistem jika terjadi suatu gangguan. Jika terjadi gangguan yang berakibat pada besarnya daya yang dihasilkan pembangkit tidak mencukupi kebutuhan beban, misalnya terdapat suatu pembangkit yang lepas, maka penggerak utama generator akan melambat karena memikul beban melewati kapasitas serta teganganpun akan mengalami penurunan. Jika hal ini tidak segera diatasi, maka sistem akan mengalami penurunan tegangan dan frekuensi di luar standar yang diizinkan [10]. Oleh karena itu perlu dilakukan pelepasan beban. Pengurangan beban walaupun hanya sebesar 5% hingga 10% dapat membuat suatu perbedaan yang signifikan antara *collapse* atau bertahan.

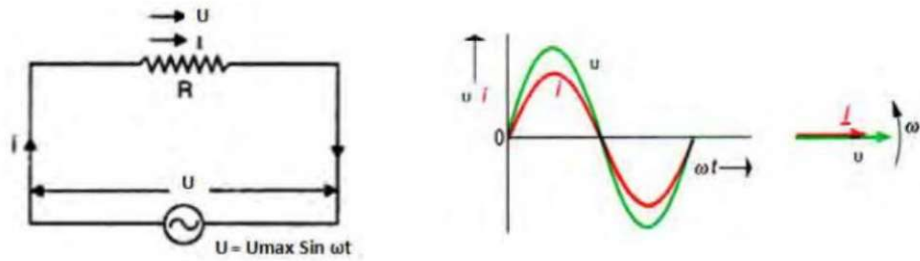
2.4 Jenis-jenis Beban Listrik

Dalam sistem listrik arus bolak-balik, jenis-jenis beban listrik dapat diklasifikasikan menjadi tiga bagian, yaitu:

1) Beban Resistif (R)

Beban resistif adalah beban yang terdiri dari komponen tahanan ohm/resistor murni, seperti elemen pemanas dan lampu pijar. 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 2.3 [7].

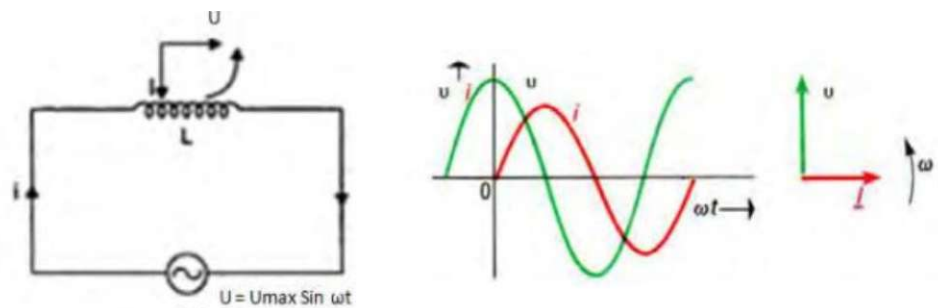




Gambar 2. 2 Arus dan tegangan sefasa

2) Beban Induktif (L)

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*. Apabila arus yang berubah-ubah mengalir melewati induktor maka pada induktor tersebut terbangkit gaya gerak listrik (ggl). Arus AC adalah arus yang berubah-ubah [7]. Hubungan antara arus dan tegangan suplai pada induktor dapat juga secara grafis sinusoida ditunjukkan pada Gambar 2.4

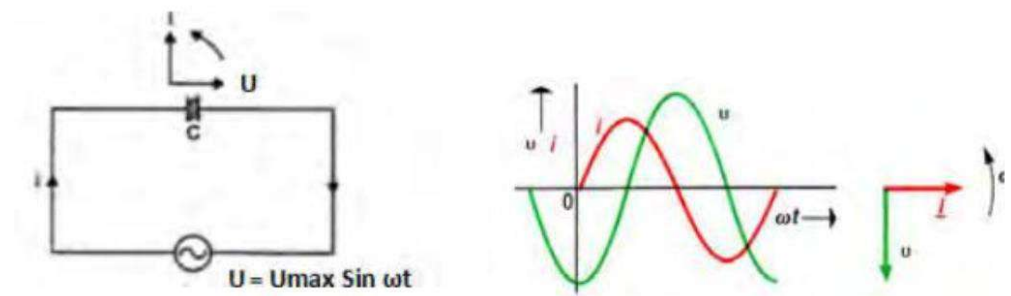


Gambar 2. 3 Arus tertinggal 90° dari tegangan



3) Beban Kapasitif (C)

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 2.5 [6].



Gambar 2. 4 Arus mendahului 90° dari tegangan

2.5 Effisiensi / Manfaat dengan menggunakan Kapasitor Bank

Manfaat menggunakan kapasitor bank secara parallel [11].

1. Bagi utilitas penyedia listrik:
 - a. Komponen reaktif pada jaringan dan arus total pada sistim ujung akhir ke konsumen menjadi berkurang.
 - b. Kehilangan daya I^2R dalam sistem berkurang karena penurunan arus.
 - c. Kemampuan kapasitas jaringan distribusi listrik meningkat.
2. Bagi perusahaan / Industri (bukan pelanggan rumah tangga) dapat mengurangi denda kVARh bila paktor daya ($\cos \phi$) rata-rata per



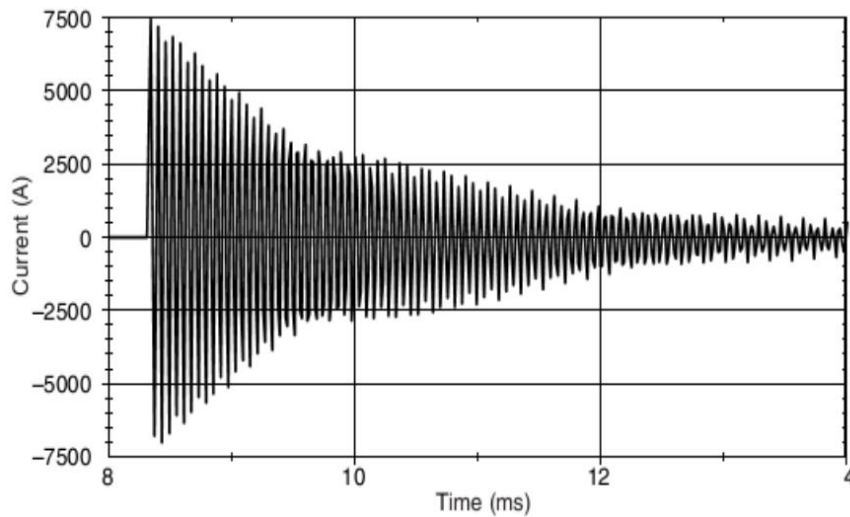
bulannya lebih dari 0.85 karena menggunakan kapasitor bank (meredam daya nyata/mengurangi biaya induksi).

3. Kebutuhan daya reaktif akan berkurang karena sebagian disuplai oleh kapasitor bank.
4. Arus listrik turun (I) sehingga mengurangi panas pada jaringan.
5. Memaksimalkan daya terpasang, sehingga dapat menambah peralatan listrik lainnya.
6. Menghemat biaya pemakaian listrik, jika bebannya sama seperti sebelum dipasang kapasitor bank (tidak menambah peralatan listrik/elektronik).
7. Mengurangi arus “*start*” awal suatu peralatan listrik, sehingga MCB tidak mudah jatuh.
8. Menghemat biaya operasional Genset.

2.6 Transien dan *Inrush Current* pada *switching* kapasitor

Gejala transien merupakan perubahan nilai tegangan atau arus maupun keduanya dalam jangka waktu tertentu dari kondisi tunak (*steady state*). Penyebabnya adalah dari faktor eksternal atau lingkungan misalnya petir dan dapat juga akibat perlakuan dari sistem itu sendiri atau faktor internal seperti proses *switching* contoh transien osilasi ditunjukkan pada Gambar II.6 Transien osilasi karena *switching* kapasitor bank [12].

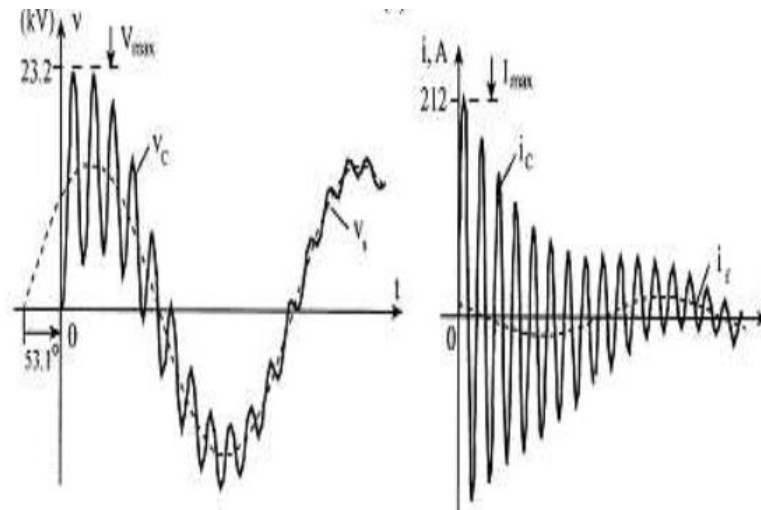




Gambar 2. 5 Transien osilasi karena *switching* kapasitor bank

Arus *inrush* dapat didefinisikan sebagai besarnya lonjakan arus yang pertama kali muncul pada rangkaian, saat rangkaian terhubung dengan beban. Operasi penutupan dan pembukaan saklar pada suatu rangkaian listrik akan menyebabkan adanya lonjakan tegangan dan arus. Pada suatu rangkaian listrik ketika saklar ditutup maka akan terdapat lonjakan arus yang besar. Lonjakan arus yang terjadi sangat singkat, dalam skala mikrodetik sampai milidetik. Gambar 2.7 adalah lonjakan arus yang disebut sebagai arus transien dan sering disebut arus *inrush* dan tegangan transien pada kapasitor tunggal [12].





Gambar 2. 6 Tegangan dan arus *inrush* pada saat pengisian kapasitor tunggal

Arus *inrush* ini dapat direduksi dengan menggunakan reaktor dengan nilai induktansi yang sesuai, dipasang secara seri dengan kapasitor bank.

2.7 Sistem *Grounding* kapal laut

Sistem pentanahan (*grounding*) kapal laut pada umumnya digunakan untuk menangkal sambaran petir yang mengenai kapal ketika dalam keadaan berlayar ataupun dalam keadaan sandar. Cara kerja dari penangkal petir ini adalah ketika petir menyambar tiang penangkal petir maka petir akan disalurkan langsung menuju ke permukaan air melalui badan kapal yang telah dipasang elektroda. Elektroda yang biasa digunakan

adalah elektroda jenis *Siedarc*



Sebuah sistem proteksi petir pada perahu biasanya memiliki empat komponen utama [13]:

- a) Perangkat penangkal atau terminal udara, disediakan terminal penangkal petir perahu tersebut.
- b) Hantaran penangkal utama menyalurkan arus petir ke air.
- c) Terminal *Grounding* memungkinkan arus petir keluar ke dalam air.
- d) Sebuah jaringan ikatan hantaran penangkal penyama tegangan antara sistem proteksi petir dengan pengikat hantaran.

Sistem *grounding* menyediakan jalur yang menghubungkan antara sistem proteksi petir dan air. Ini memiliki fungsi sebagai berikut [13] :

- a. untuk menyalurkan aliran arus ke dalam air;
- b. untuk membuat impedansi jaringan rendah sehingga arus petir optimal melewatinya;
- c. untuk mencegah sambaran pada pengikat penghantar, dan
- d. untuk meminimalkan bahaya kejutan bagi anak buah kapal atau *crew*.

2.8 Software ETAP (*Electrical Transient and Analysis Program*)

Software ETAP merupakan suatu perangkat lunak yang dapat melakukan penggambaran *single line diagram* secara grafis dan mengadakan beberapa analisa atau studi yaitu *Load Flow* (aliran daya), *Short Circuit* (hubung singkat), motor *starting*, harmonisa *transient* *ability*, *protective device coordination*, dan *cable derating*. Sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat dirubah



langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan ETAP adalah sebagai berikut [14]:

1. *One line diagram*, menunjukkan hubungan antar komponen atau peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
2. *Library*, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail atau lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi atau analisa.
3. *Standard* yang digunakan biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode-metode yang digunakan.
4. *Study case*, berisikan parameter-parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa.

2.9 Penelitian-penelitian sebelumnya

Dalam penelitian ini sumber referensi dan metode perhitungan yang digunakan juga didasarkan pada penelitian-penelitian sebelumnya, hal ini dilakukan untuk mendukung akurasi penelitian. Berikut skripsi dan jurnal ilmiah yang mendukung akurasi penelitian ini:



1. Sri Adiyansa dan Subur Insur Haryudo dengan judul jurnal “studi analisa efisiensi konsumsi energi listrik pada kapal *tug boat sei deli* di pt. dok dan perkapalan Surabaya”. Studi analisis ini mengkaji tentang konsumsi energi listrik, penghematan energi listrik dan perubahan harmonisa di kapal *Tug Boat Sei Deli* di PT. Dok dan Perkapalan Surabaya. Analisis data dilakukan dengan cara pengumpulan data, dan perhitungan nilai kapasitor bank dan simulasi menggunakan program *software* ETAP (*Electrical Transient Analysis Program*). Hasil dari penelitian efisiensi konsumsi energi listrik, dapat diketahui bahwa setelah dilakukan perbaikan faktor daya sistem dengan menggunakan kapasitor bank berukuran 2 x 90 kVar di bus A dan B, maka *power quality* sistem kelistrikan mengalami peningkatan. Faktor daya pada bus utama sistem kelistrikan mengalami kenaikan hingga 90% yang pada awalnya sebesar 67,09%. Besarnya rugi-rugi daya sistem dapat diturunkan dikarenakan arus total pada sistem berkurang. Pada kondisi beban puncak yang awalnya bernilai 292,7 kVAR berkurang menjadi 157,3 kVAR.
2. Syamsuddin Noor dan Noor Saputera dengan judul jurnal “Efisiensi pemakaian daya listrik menggunakan kapasitor bank” menjelaskan bahwa kapasitor bank dapat memperbaiki faktor daya (*cos phi*) untuk meningkatkan kualitas daya sekaligus meningkatkan efisiensi penggunaan peralatan listrik konsumen.



3. Fachry Azharuddin Noor, Henry Ananta, dan Said Sunardiyo dengan judul jurnal “pengaruh penambahan kapasitor terhadap tegangan, arus, faktor daya, dan daya aktif pada beban listrik di minimarket” menjelaskan bahwa penambahan kapasitor daya menimbulkan pengaruh terhadap beban listrik. Pengaruh tertinggi didapatkan dari penambahan kapasitor terhadap beban *showcase*. Penambahan kapasitor yang terpasang pada beban listrik minimarket terbukti berpengaruh terhadap arus dan faktor daya beban listrik. Semakin tepat nilai kapasitor yang ditambahkan maka semakin tinggi nilai faktor daya beban listrik mendekati angka 1.
4. Edo Legowo dengan judul skripsi “analisis stabilitas tegangan pada sistem kelistrikan di kapal general cargo”. Skripsi ini menjelaskan bahwa Tegangan akan turun pada titik terendah, sehingga dapat menimbulkan terjadinya *black out* sistem secara keseluruhan ataupun parsial. Proses pembangkitan tenaga listrik di kapal yang dilakukan oleh generator dipengaruhi oleh perubahan kebutuhan daya reaktif pada beban. Adanya perubahan daya reaktif yang terjadi sangat mempengaruhi kestabilan dari tegangan keluaran terminal yang dihasilkan oleh generator. Tegangan keluaran tersebut harus diatur agar generator tetap dalam keadaan stabil saat mengkompensasi kebutuhan daya reaktif dari beban.

