

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

Definisi kapal menurut Undang – Undang Nomor 17 Tahun 2008 Tentang Pelayaran Bab I, Pasal 1, Ayat 36, menyebutkan Kapal adalah kendaraan air dengan bentuk dan jenis tertentu, yang digerakan dengan tenaga angin, tenaga mekanik, energi lainnya, ditarik atau ditunda, termasuk kendaraan yang berdaya dukung dinamis, kendaraan di bawah permukaan air, serta alat apung dan bangunan terapung yang tidak berpindah-pindah.

2.1.1. Kualitas Daya

Kualitas daya listrik ditentukan oleh beberapa faktor, seperti kualitas frekuensi, tegangan, arus, dan faktor daya. Daya listrik dikatakan berkualitas baik jika arus, tegangan, dan frekuensi dalam sistem selalu stabil dan tidak mengalami perubahan yang signifikan. Namun, dalam praktiknya, arus, tegangan, dan frekuensi sering kali tidak konstan. Hal ini bergantung pada jenis peralatan listrik atau beban yang digunakan serta pengaturan sistem distribusi listrik yang diterapkan. Kualitas daya yang lebih spesifik merujuk pada gangguan kualitas daya, yang secara umum didefinisikan sebagai setiap perubahan dalam parameter daya seperti tegangan, arus, atau frekuensi yang dapat mengganggu operasi normal peralatan listrik. Gangguan ini bisa menyebabkan masalah pada efisiensi dan kinerja peralatan, serta dapat berdampak pada stabilitas sistem tenaga listrik (Davira & Karim, 2024).

2.1.2. Parameter Kualitas Daya Listrik

Terdapat beberapa parameter dalam menentukan kualitas daya listrik diantaranya Frekuensi, Tegangan, Arus, dan Faktor Daya, Penjelasan lebih lanjutnya yaitu sebagai berikut (Davira & Karim, 2024).

a. Frekuensi

Frekuensi adalah ukuran jumlah siklus berulang yang terjadi dalam suatu rentang waktu tertentu. Satuan frekuensi diukur dalam Hz (*hertz*), dinamai dari ilmuwan Jerman Heinrich Rudolf Hertz yang pertama kali menemukan fenomena ini. Setiap negara memiliki standar frekuensi listrik yang berbeda. Di Indonesia, frekuensi listrik yang digunakan adalah 50 Hz, Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung frekuensi yaitu sebagai berikut:

$$F = \frac{1}{T} \quad (2.1)$$

Dimana,

F = Frekuensi (Hz)

T = Periode (s)

b. Tegangan

Tegangan atau yang sering disebut sebagai beda potensial listrik, adalah perbedaan potensial antara dua titik dalam suatu rangkaian listrik. Perbedaan potensial ini menciptakan medan listrik yang mampu menghasilkan arus listrik. Ketika terdapat beda potensial antara ujung-ujung rangkaian dalam rangkaian tertutup, arus listrik akan mengalir melalui rangkaian tersebut, Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung tegangan yaitu sebagai berikut:

$$V = \frac{P}{I \times \cos \varphi} \quad (2.2)$$

Dimana,

V = Tegangan (V)

P = Daya Aktif (W)

I = Arus (A)

$\cos \varphi$ = Faktor Daya

Sedangkan untuk menghitung nilai tegangan dalam sistem tiga fase, dapat menggunakan Persamaan berikut:

$$V = \frac{P}{\sqrt{3} \times I \times \cos \varphi} \quad (2.3)$$

Dimana,

V = Tegangan (V)

P = Daya Aktif (W)

$\sqrt{3}$ = Sistem Tiga Fase

I = Arus (A)

$\cos \varphi$ = Faktor Daya

c. Arus

Arus listrik adalah aliran muatan listrik yang bergerak melalui material penghantar dalam setiap satuan waktu. Arus listrik terjadi karena pergerakan elektron yang mengalir akibat adanya beda potensial (Tegangan) antara kutub positif dan negatif. Arus ini hanya dapat mengalir jika rangkaian dalam keadaan tertutup, karena jika rangkaian terbuka, aliran elektron terputus dan arus tidak dapat mengalir, Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung arus yaitu sebagai berikut:

$$I = \frac{P}{V \times \cos \varphi} \quad (2.4)$$

Dimana,

- I = Arus (A)
- P = Daya Aktif (W)
- V = Tegangan (V)
- $\cos \varphi$ = Faktor Daya

Sedangkan untuk menghitung nilai arus sistem tiga fase, dapat menggunakan

Persamaan berikut:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi} \quad (2.5)$$

Dimana,

- I = Arus (A)
- P = Daya Aktif (W)
- $\sqrt{3}$ = Sistem Tiga Fase
- V = Tegangan (V)
- $\cos \varphi$ = Faktor Daya

d. Faktor Daya

Faktor daya adalah perbandingan antara daya aktif dan daya semu atau hubungan antara ketiga daya listrik yaitu daya Aktif, daya Semu, dan daya reaktif, ketiganya saling berkaitan (Esye et al., 2021). Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung faktor daya yaitu sebagai berikut:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (2.6)$$

Dimana,

- $\cos \varphi$ = Faktor Daya

- P = Daya Aktif (W)
 S = Daya Semu (VA)

Faktor daya terdiri dari tiga jenis yaitu faktor daya *unity*, faktor daya *lagging*, faktor daya *leading*. Berikut penjelasan mengenai perbedaan jenis faktor daya (Eko et al., 2022).

1) Faktor Daya *Unity*

Faktor daya *unity* adalah kondisi di mana di dalam sebuah rangkaian beban listrik gelombang tegangan dan arus berada dalam kondisi yang sejajar atau se-fase, faktor daya ini memiliki beban yang bersifat murni resistif yang terdiri dari komponen yang bersifat resistansi murni atau hambatan murni sehingga tidak memungkinkan terjadinya pergeseran antara gelombang tegangan dan juga arus dilihat pada Gambar 2.1. di bawah ini.



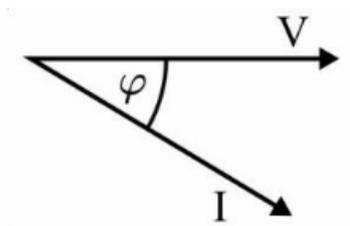
Gambar 2.1. Faktor Daya Unity

(Sumber: Lisiani et al., 2020)

2) Faktor Daya *Lagging*

Faktor daya *lagging* ini memiliki nilai $\cos \phi$ yang positif. Karena bersifat menyerap daya reaktif pada rangkaian daya, maka dengan adanya faktor daya *lagging* merupakan sebuah rugi – rugi, karena dapat memperbesar penggunaan daya reaktif yang ada di dalam sebuah rangkaian daya. Keadaan tersebut membuat arus pada beban menjadi meningkat dan juga dapat menimbulkan jatuh tegangan didalam rangkaian daya itu sendiri, sehingga faktor daya

lagging ini harus dikontrol keadaannya dapat dilihat pada Gambar 2.2. di bawah ini.

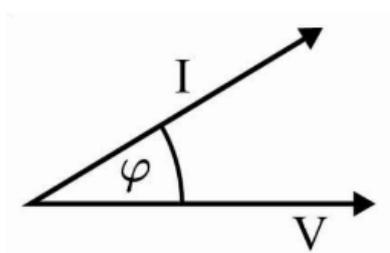


Gambar 2.2. Faktor Daya *Lagging*

(Sumber: Lisiani et al., 2020)

3) Faktor daya *leading*

Faktor daya mendahului atau faktor daya *leading* adalah kondisi rangkaian daya beban yang dimiliki cenderung bersifat kapasitif. Dengan beban yang cenderung kapasitif, maka sesuai dengan sifat bebannya yang membuat gelombang arus akan mendahului terhadap gelombang tegangan. Faktor daya *leading* ini bersifat menciptakan daya reaktif dan memiliki arah yang berlawanan dari faktor daya *lagging* dikarenakan sifat beban kapasitif yang berlawanan dengan beban induktif seperti Gambar 2.3. di bawah ini.



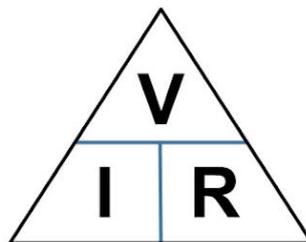
Gambar 2.3. Faktor Daya *Leading*

(Sumber: Lisiani et al., 2020)

2.1.3. Prinsip Dasar Hukum Ohm

Komponen yang dimanfaatkan berdasarkan besar kecilnya hambatan disebut resistor. Hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan dalam suatu

rangkaian dinyatakan dengan persamaan segitiga pada gambar 2.4., yang dikenal sebagai hukum Ohm. George Simon Ohm (1789–1854) merumuskan keterkaitan antara kuat arus listrik, hambatan, dan beda potensial, sehingga kemudian dikenal sebagai hukum Ohm (Ratna Mustika Yasi & Charis Fathul Hadi, 2021).



Gambar 2.4. Segitiga Hukum Ohm

(Sumber: Ratna Mustika Yasi & Charis Fathul Hadi, 2021)

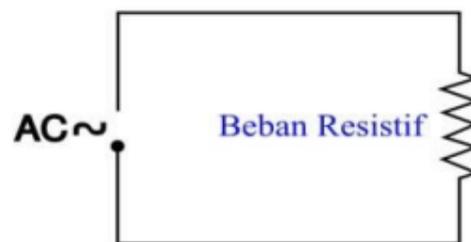
2.1.4. Daya Listrik

Daya listrik adalah jumlah energi yang dihasilkan atau digunakan dalam sebuah sirkuit atau rangkaian listrik. Tegangan dari sumber daya akan menghasilkan daya listrik, sementara beban yang terhubung akan menyerap daya tersebut. Secara sederhana, daya dapat diartikan sebagai total energi yang dihasilkan untuk melakukan suatu usaha. Besarnya beban listrik yang digunakan dalam suatu rangkaian ditentukan oleh faktor-faktor seperti resistansi, induktansi, dan kapasitansi. Selain itu, jumlah daya yang digunakan juga bergantung pada banyaknya beban yang terpasang (Eko et al., 2022).

Secara umum, terdapat tiga jenis beban listrik yang mempengaruhi penggunaan daya yaitu beban resistif murni, beban induktif, dan beban kapasitif. Berikut ini adalah penjelasan mengenai bagaimana ketiga jenis beban tersebut berhubungan dengan daya listrik (Eko et al., 2022).

a. Beban Resistif

Beban Resistif, juga dikenal sebagai beban murni, hanya terdiri dari hambatan (Resistor) tanpa komponen induktif atau kapasitif. Karena itu, penggunaan beban resistif tidak menyebabkan pergeseran fase antara arus dan tegangan. Dalam kondisi ini, arus dan tegangan berada dalam fase yang sama, sehingga faktor daya memiliki nilai 1, rangkaian beban seperti Gambar 2.5. dibawah ini.

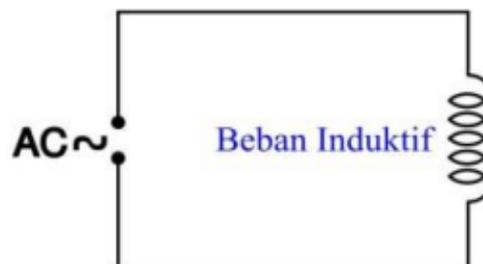


Gambar 2.5. Rangkaian Beban Resistif

(Sumber: Lisiani et al., 2020)

b. Beban Induktif

Beban induktif, yang bersifat positif, memerlukan daya reaktif untuk beroperasi. Contoh peralatan yang mengandung beban induktif termasuk motor listrik, lampu TL (*Tubular Lamp*), transformator, dan sejenisnya. Beban ini menyebabkan pergeseran fase antara arus dan tegangan, yang mengakibatkan faktor daya menjadi kurang dari 1, rangkaian beban seperti Gambar 2.6. dibawah ini.

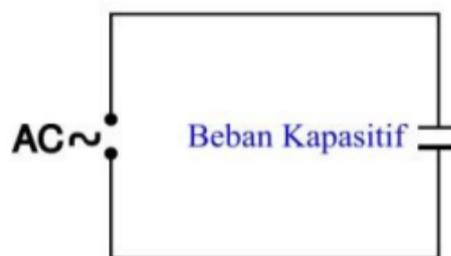


Gambar 2.6. Rangkaian Beban Induktif

(Sumber: Lisiani et al., 2020)

c. Beban kapasitif

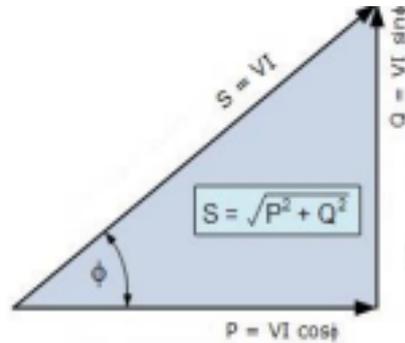
Beban kapasitif, yang bersifat negatif, menghasilkan daya reaktif. Daya reaktif ini tidak dapat digunakan sebagai sumber tenaga langsung, sehingga sering dianggap sebagai rugi-rugi daya. Namun, daya reaktif tetap memiliki fungsi penting dalam mentransmisikan energi listrik ke beban, membantu menjaga kestabilan tegangan dalam sistem listrik, rangkaian beban seperti Gambar 2.7. dibawah ini.



Gambar 2.7. Rangkaian Beban Kapasitif

(Sumber: Lisiani et al., 2020)

Berdasarkan Gambar 2.8. hubungan antara tiga jenis daya listrik yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya semu, serta bagaimana besarnya sudut faktor daya mempengaruhi hubungan tersebut. Ketika beban induktif digunakan, daya reaktif yang dihasilkan akan semakin besar. Akibatnya, sudut faktor daya juga meningkat, yang berarti nilai faktor daya menurun. Penurunan faktor daya ini terjadi karena rasio antara daya aktif dan daya semu semakin kecil. Fenomena ini disebut rugi-rugi daya, karena daya aktif, yang merupakan daya nyata yang bisa digunakan, tidak sebesar daya semu, yaitu total daya yang sesungguhnya dihasilkan. Adapun jenis-jenis Daya Listrik yaitu sebagai berikut (Eko et al., 2022):



Gambar 2.8. Segitiga Daya Satu Fase
(Sumber: Eko et al., 2022)

a. Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang digunakan untuk melakukan kerja nyata dan sering disebut sebagai daya nyata. Daya ini dibutuhkan oleh beban yang bersifat resistif. Penggunaan daya aktif mencerminkan adanya aliran dan perubahan energi dari sumber menuju beban. Untuk menghitung nilai daya nyata sistem satu fase dapat menggunakan Persamaan berikut (Eko et al., 2022):

$$P = V \times I \times \cos \varphi \quad (2.7)$$

Dimana,

P = Daya Aktif (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

$\cos \varphi$ = Faktor Daya

Sedangkan untuk menghitung nilai daya nyata sistem tiga fase dapat menggunakan Persamaan berikut:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad (2.8)$$

Dimana,

P = Daya Aktif (W)

$\sqrt{3}$ = Sistem Tiga Fase

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

Cos ϕ = Faktor Daya

b. Daya Semu

Daya semu, juga dikenal sebagai daya total atau *apparent power*, adalah total daya yang tersedia dalam suatu rangkaian listrik. Daya semu mencakup baik daya aktif maupun daya reaktif. Satuan untuk daya semu adalah VA (*Volt Ampere*), dan biasanya dinotasikan dengan huruf S. Untuk menghitung nilai daya semu sistem satu fase dapat menggunakan Persamaan berikut (Eko et al., 2022):

$$S = V \times I \quad (2.9)$$

Dimana,

S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

Sedangkan untuk menghitung nilai daya semu sistem tiga fase dapat menggunakan Persamaan berikut:

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (2.10)$$

Dimana,

S = Daya Semu (VA)

$\sqrt{3}$ = Sistem Tiga Fase

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

c. Daya Reaktif

Daya reaktif adalah daya yang digunakan untuk membangkitkan medan magnet dalam kumparan beban induktif. Daya reaktif ini sering disebut sebagai rugi-rugi daya karena keberadaannya mengurangi jumlah daya aktif yang dapat

digunakan dari total daya yang tersedia. Untuk menghitung nilai daya reaktif sistem satu fase dapat menggunakan Persamaan berikut (Eko et al., 2022):

$$Q = V \times I \times \sin\phi \quad (2.11)$$

Dimana,

Q = Daya Reaktif (VAR)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

Sin ϕ = Faktor Daya Reaktif

Sedangkan untuk menghitung nilai daya reaktif sistem tiga fase dapat menggunakan Persamaan berikut:

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin\phi \quad (2.12)$$

Dimana,

Q = Daya Reaktif (VAR)

$\sqrt{3}$ = Sistem Tiga Fase

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

Sin ϕ = Faktor Daya Reaktif

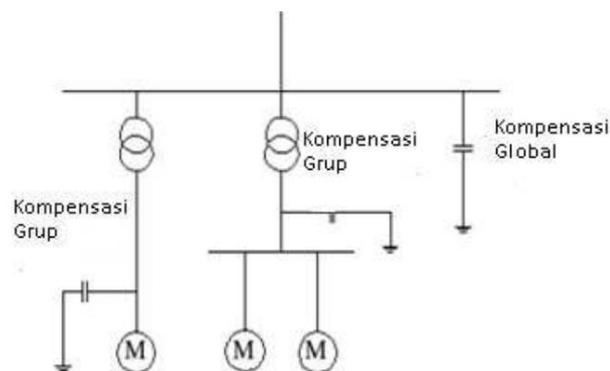
2.1.5. Kapasitor Bank

Kapasitor bank adalah suatu peralatan listrik yang digunakan untuk peningkatan faktor daya yang terdiri dari rangkaian-rangkaian kapasitor yang dirangkai ke dalam suatu panel yang disebut panel kapasitor bank, yang disusun seri atau parapel dalam suatu grup dengan lapisan logam. Dalam kapasitor bank terdapat resistor yang berfungsi sebagai alat internal untuk membuang sisa tegangan (Tamami, 2022).

Pada saluran listrik, beban yang bersifat induktif akan menyerap daya reaktif, yang kemudian akan dapat menimbulkan jatuh tegangan di sisi penerima. Disinilah kapasitor bank berfungsi dalam mengkompensasi daya reaktif dan memastikan tegangan terjaga pada levelnya pada saat beban penuh. Secara umum fungsi kapasitor pada sistem tenaga (Ar Rahman, 2016).

- a. Menyuplai daya reaktif sehingga memaksimalkan penggunaan daya semu.
- b. Memperbaiki atau meningkatkan faktor daya.
- c. Mengurangi jatuh tegangan.
- d. Memberi tambahan daya tersedia.
- e. Menghindari kenaikan arus dan suhu pada kabel.
- f. Menghemat daya / efisiensi.

Terdapat tiga jenis metode yang digunakan dalam meletakkan kapasitor didalam sebuah rangkaian beban yaitu *Global Compensation*, *Group compensation*, dan *individual compensation*. Dimana metodenya dapat dilihat pada Gambar 2.9. (Alqurnain, 2009).



Gambar 2.9. Metode Pemasangan Kapasitor *Bank*
(Sumber: Eko et al., 2022)

a. Metode Pemasangan Kapasitor Bank

Metode pemasangan kapasitor dapat dibagi menjadi 3 (tiga) yaitu *global compensation*, *individual compensation*, *group compensation* (Alqurnain, 2009):

1) *Global Compensation*

Metode *Global Compensation* adalah teknik pemasangan kapasitor pada panel utama distribusi atau MDP (*Main Distribution Panel*). Dalam metode ini, pemasangan kapasitor dilakukan pada induk panel MDP, yang mengakibatkan penurunan arus hanya terjadi pada penghantar antara panel MDP. Akibatnya, rugi-rugi daya akibat panas pada penghantar setelah panel MDP tidak terpengaruh, karena arus tidak mengalami penurunan di bagian tersebut. Metode ini membantu dalam meningkatkan efisiensi sistem distribusi listrik tanpa mengurangi performa penghantar setelah MDP.

2) *Group Compensation*

Metode *Group Compensation* adalah teknik pemasangan kapasitor yang melibatkan beberapa panel kapasitor yang ditempatkan pada panel SDP (*Sub Distribution Panel*). Metode ini cocok diterapkan di industri dengan kapasitas beban terpasang yang besar, mencapai ribuan kVA (*Kilo Volt Ampere*), terutama ketika jarak antara panel utama distribusi (*Main Distribution Panel*) dan panel SDP cukup jauh. Metode ini membantu mengoptimalkan penggunaan daya dengan mengurangi rugi-rugi energi yang terjadi pada penghantar jarak jauh, serta meningkatkan efisiensi sistem distribusi listrik dalam lingkungan industri yang besar.

3) *Individual Compensation.*

Metode *Individual Compensation* adalah teknik pemasangan kapasitor langsung pada setiap peralatan listrik, terutama yang memiliki daya besar. Metode ini sangat efektif dan lebih unggul dari segi teknis, karena memungkinkan pengendalian daya reaktif secara langsung pada sumber beban. Namun, kelemahan dari metode ini adalah perlunya menyediakan ruang khusus untuk menempatkan kapasitor, yang dapat mengurangi estetika dan membutuhkan lebih banyak ruang di area instalasi.

b. Cara Kerja Kapasitor Bank

Proses kerja kapasitor dimulai saat rangkaian diberi tegangan maka elektron akan mengalir masuk ke kapasitor. Pada saat kapasitor penuh dengan muatan elektron maka tegangan akan berubah. Kemudian elektron akan ke luar dari kapasitor dan mengalir ke dalam rangkaian yang memerlukannya dengan demikian pada saat itu kapasitor membangkitkan daya reaktif. Bila tegangan yang berubah itu kembali normal (tetap) maka kapasitor akan menyimpan kembali elektron. Pada saat kapasitor mengeluarkan elektron berarti sama juga kapasitor menyuplai daya reaktif ke beban (Dhida Aditya, 2012).

Proses pengurangan itu bisa terjadi karena kedua beban induktor dan kapasitor arahnya berlawanan akibat daya reaktif menjadi kecil. Bila daya reaktif menjadi kecil sementara daya aktif tetap maka harga faktor daya menjadi besar. Konsumsi daya reaktif sebelum kompensasi akan berkurang setelah kompensasi karena sebagian daya reaktif akan disuplai oleh kapasitor yang berakibat menaikkan faktor daya dan menghemat konsumsi energi listrik.

c. Perawatan Kapasitor Bank

Kapasitor yang digunakan untuk memperbaiki faktor daya supaya tahan lama tentunya harus dirawat secara teratur. Dalam perawatan itu perhatian harus dilakukan pada tempat yang lembab yang tidak terlindungi dari debu dan kotoran (Suseno, 2019). Periksa dan pastikan bahwa kapasitor tidak terhubung lagi dengan sumber, kemudian karena kapasitor ini masih mengandung muatan berarti masih ada arus atau tegangan listrik maka kapasitor itu harus dihubungkan singkatkan supaya muatannya hilang. Adapun jenis pemeriksaan yang harus dilakukan meliputi pemeriksaan kebocoran, pemeriksaan kabel dan penyangga kapasitor, serta pemeriksaan isolator.

d. Kompensasi Kapasitor Bank

1) Metode Segitiga Daya

Mengkompensasi penggunaan daya reaktif sumber dapat menggunakan kapasitor yang bersifat kapasitif akan menghasilkan daya reaktif yang dapat digunakan sebagai suplai daya reaktif tambahan di dalam sebuah rangkaian. Kompensasi daya reaktif yang dibutuhkan untuk mencapai nilai faktor daya yang diinginkan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan berikut (Esye et al., 2021).

$$Q_a = \sqrt{S_1^2 - P_1^2} \quad (2.13)$$

$$Q_b = \sqrt{S_2^2 - P_1^2} \quad (2.14)$$

$$Q_c = Q_a - Q_b \quad (2.15)$$

Dimana,

Q_c = Kompensasi Daya Reaktif (VAR)

Q_a = Daya Reaktif Awal (VAR)

Q_b = Daya Reaktif Akhir (VAR)

S_1 = Daya Semu Awal (VA)

S_2 = Daya Semu Akhir (VA)

P_1 = Daya Aktif (W)

2) Metode Tabel Kompensasi Kapasitor Bank

ACTUAL		Target power factor										
tan ϕ	cos ϕ	cos ϕ										
		0,80	0,82	0,85	0,88	0,90	0,92	0,94	0,95	0,96	0,98	1,00
Factor F												
1,33	0,60	0,58	0,64	0,71	0,79	0,86	0,91	0,97	1,00	1,04	1,13	1,33
1,30	0,61	0,55	0,60	0,68	0,76	0,81	0,87	0,94	0,97	1,01	1,10	1,30
1,27	0,62	0,52	0,57	0,65	0,73	0,78	0,84	0,90	0,94	0,97	1,06	1,27
1,23	0,63	0,48	0,53	0,61	0,69	0,75	0,81	0,87	0,90	0,94	1,03	1,23
1,20	0,64	0,45	0,50	0,58	0,66	0,72	0,77	0,84	0,87	0,91	1,00	1,20
1,17	0,65	0,42	0,47	0,55	0,63	0,68	0,74	0,81	0,84	0,88	0,97	1,17
1,14	0,66	0,39	0,44	0,52	0,60	0,65	0,71	0,76	0,81	0,85	0,94	1,14
1,11	0,67	0,36	0,41	0,49	0,57	0,62	0,68	0,75	0,78	0,82	0,90	1,11
1,08	0,68	0,33	0,38	0,46	0,54	0,59	0,65	0,72	0,75	0,79	0,88	1,08
1,05	0,69	0,30	0,35	0,43	0,51	0,57	0,62	0,69	0,72	0,76	0,85	1,05
1,02	0,70	0,27	0,32	0,40	0,48	0,54	0,59	0,66	0,68	0,73	0,82	1,02
0,99	0,71	0,24	0,29	0,37	0,45	0,51	0,56	0,63	0,66	0,70	0,79	0,99
0,96	0,72	0,21	0,27	0,34	0,42	0,48	0,54	0,60	0,64	0,67	0,76	0,96
0,94	0,73	0,19	0,24	0,32	0,40	0,46	0,51	0,57	0,61	0,64	0,73	0,94
0,91	0,74	0,16	0,21	0,29	0,37	0,43	0,48	0,55	0,58	0,62	0,71	0,91
0,88	0,75	0,13	0,18	0,26	0,34	0,40	0,45	0,52	0,55	0,59	0,68	0,88
0,86	0,76	0,11	0,16	0,24	0,32	0,37	0,42	0,49	0,53	0,56	0,65	0,86
0,83	0,77	0,08	0,13	0,21	0,29	0,34	0,40	0,47	0,50	0,54	0,63	0,83
0,80	0,78	0,05	0,10	0,18	0,26	0,32	0,38	0,44	0,47	0,51	0,60	0,80
0,78	0,79	0,03	0,08	0,16	0,24	0,29	0,36	0,41	0,46	0,48	0,57	0,78
0,75	0,80		0,06	0,13	0,21	0,27	0,32	0,39	0,42	0,46	0,55	0,75
0,72	0,81		0,03	0,10	0,18	0,24	0,30	0,36	0,40	0,43	0,52	0,72
0,70	0,82			0,08	0,16	0,21	0,27	0,34	0,37	0,41	0,49	0,70
0,67	0,83			0,05	0,13	0,19	0,25	0,31	0,34	0,38	0,47	0,67
0,65	0,84			0,03	0,11	0,16	0,22	0,28	0,32	0,35	0,44	0,65
0,62	0,85				0,08	0,14	0,19	0,26	0,29	0,33	0,42	0,62
0,59	0,86				0,05	0,11	0,17	0,23	0,26	0,30	0,39	0,59
0,57	0,87				0,03	0,08	0,14	0,20	0,24	0,28	0,36	0,57
0,54	0,88					0,06	0,11	0,18	0,21	0,25	0,34	0,54
0,51	0,89					0,03	0,09	0,15	0,18	0,22	0,31	0,51
0,48	0,90						0,06	0,12	0,16	0,19	0,28	0,48
0,46	0,91							0,03	0,09	0,13	0,16	0,46
0,43	0,92								0,06	0,10	0,13	0,43
0,40	0,93									0,03	0,07	0,40
0,36	0,94										0,03	0,36
0,33	0,95											0,33
0,29	0,96											0,29
0,25	0,97											0,25

Gambar 2.10. Tabel Kompensasi Faktor Daya

(Sumber: M. Hariansyah., 2017)

$$Q_c = P \times (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (2.16)$$

Dimana,

Q_c = Kompensasi Daya Reaktif (VAR)

P = Daya Aktif (Watt)

$\tan \varphi_1$ = Faktor Daya Awal

$\tan \varphi_2$ = Faktor Daya Akhir

e. *Switched Capacitor*

Dalam jaringan distribusi dan transmisi, pemasangan bank kapasitor yang dengan *switched capacitor* memainkan peran vital untuk mengendalikan faktor daya. *Switched capacitor* banyak digunakan dalam industri untuk memperbaiki faktor daya, setiap produsen memiliki *Algoritma control* yang berbeda-beda, tetapi sebagian besar skema dapat diperkirakan secara umum dengan menggunakan metode yang disajikan pada *Electrical Transient Analysis Program* (Marroquin & Chee, 2013).

Parameter *Switching Capacitor* merupakan pengaturan yang menentukan bagaimana kapasitor bank beroperasi dalam sistem tenaga listrik, penjelasannya diantara lain sebagai berikut (Sankaran, 2017):

- 1) *Control Mode* untuk menentukan variable yang dimonitor.
- 2) *Switch Out* untuk memutus ketika faktor daya mencapai nilai target.
- 3) *Switch in* untuk menghubungkan ketika faktor daya turun hingga nilai target.
- 4) *Upper Band* untuk menentukan zona toleransi atas dari nilai target untuk mencegah *switching* yang terlalu sering saat nilai faktor daya berfluktuasi disekitar nilai target.

- 5) *Lower Band* untuk menentukan zona toleransi bawah dari nilai target fungsinya sama seperti *upper band*.
- 6) *Step/Bank* untuk mengaktifkan atau memutus kapasitor secara bertahap.

2.1.6. Standar Kelistrikan Kapal

Dalam sistem kelistrikan kapal, parameter seperti tegangan, frekuensi, dan faktor daya harus dijaga dalam batas yang telah ditentukan oleh standar klasifikasi guna memastikan keandalan operasi dan perlindungan peralatan listrik. Berdasarkan ketentuan dari DNV (*Det Not Veritas*), *Section 5 Stationary voltage regulation* halaman 122 menyatakan tegangan sistem distribusi utama harus dikendalikan dalam rentang 97,5% hingga 102,5% atau batas $\pm 2,5\%$ dari tegangan nominal pada kondisi beban tetap (*Steady State*), dimana sistem tersebut harus tetap dapat bekerja pada faktor daya antara 0,7 hingga 0,9 *lagging* dalam kondisi normal, sedangkan untuk sistem distribusi darurat diberi toleransi hingga $\pm 3,5\%$. Selain itu, penurunan tegangan dari *main switchboard* ke terminal peralatan pengguna tidak boleh melebihi 6% dari tegangan nominal sistem untuk memastikan kinerja peralatan tetap optimal, untuk distribusi dari baterai (*battery distribution*), batas variasi tegangan yang diperbolehkan adalah 10 % dari tegangan nominal sistem. Dalam kondisi transien akibat perubahan beban mendadak, tegangan sesaat tidak boleh menyimpang lebih dari $\pm 3\%$ selama 1,5 detik untuk sistem utama, dan tidak lebih dari $\pm 4\%$ selama 5 detik untuk sistem darurat. Dari sisi frekuensi, sistem dengan frekuensi nominal tetap harus mampu mempertahankan variasi frekuensi antara 95% hingga 105% pada kondisi normal, dan 90 % hingga 110 % pada kondisi transien. Untuk instalasi dengan frekuensi

variabel, peralatan dan perangkat proteksi harus mampu beroperasi dalam rentang tersebut. Sementara itu, pemenuhan terhadap batas-batas tersebut sangat penting agar sistem kelistrikan kapal dapat beroperasi dengan stabil, efisien, dan aman terhadap gangguan, sistem kelistrikan kapal diharapkan mampu memberikan performa yang stabil, andal, dan aman baik dalam kondisi operasi normal maupun saat terjadi gangguan transien atau keadaan darurat (DNV AS, 2024).

Standar kelistrikan kapal di Indonesia merujuk pada *Rules For Electrical Installations* dari Badan Klasifikasi Indonesia (BKI), Dalam kondisi pelayanan normal penurunan tegangan antara busbar (*Main Switchboard*) dan konsumen (beban) tidak boleh melebihi 6 %, atau 10 % dalam kasus jaringan yang disuplai baterai 50 V atau kurang (BKI, 2025).

Tabel 2.1. *Voltage and frequency variations for a.c. distribution systems*

<i>Quantity in operation</i>	<i>Variations</i>	
	<i>Permanent</i>	<i>transient</i>
<i>Frequency</i>	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$ (5 Sec)
<i>Voltage</i>	+ 6%, - 10%	$\pm 20\%$ (1,5 Sec)

Tabel 2.1. merupakan variasi tegangan dan frekuensi untuk komponen arus bolak-balik (AC), seperti yang ditunjukkan dalam Tabel harus diasumsikan.

Tabel 2.2. *Voltage variations for d.c. distribution system*

<i>Parameters</i>	<i>Varitions</i>
<i>Voltage tolerance (continuous)</i>	$\pm 10\%$
<i>Voltage cyclic variation deviation</i>	5%
<i>Voltage ripple (a.c. r.m.s over steady d.c. voltage)</i>	10%

Tabel 2.2. merupakan variasi tegangan untuk komponen arus searah (DC) yang disuplai oleh generator DC atau dikonversi oleh penyearah (*Rectifier*), seperti yang ditunjukkan dalam Tabel harus diasumsikan.

Tabel 2.3. *Voltage variations for battery system*

<i>Systems</i>	<i>Variations</i>
<i>Components connected to the battery during charging</i>	+ 30%, - 25%
<i>Components not connected to the battery during cha</i>	+ 20%, - 25%

Tabel 2.3. merupakan variasi tegangan untuk komponen arus searah yang disuplai oleh baterai listrik seperti yang ditunjukkan dalam Tabel harus diasumsikan.

Menurut ketentuan Badan Klasifikasi Indonesia Vol. IV 2025 Tentang pemasangan kapasitor pada kapal diantaranya sebagai berikut (BKI, 2025). Persyaratan dalam Bagian ini berlaku untuk kapasitor daya dengan daya reaktif sebesar 0,5 kVAR ke atas.

1) Bagian Kontruksi

- a) Kapasitor harus memiliki penutup baja yang kedap udara.
- b) Penutup logam harus memiliki sarana untuk menghubungkan konduktor pentanahan.
- c) Desain dimensi kapasitor harus sedemikian rupa sehingga, jika casing rusak, tidak lebih dari 10 liter agen impregnasi dapat bocor.
- d) Kesalahan internal harus dibatasi oleh sekering elemen,
- e) Resistor pengosongan harus memastikan pengosongan kapasitor hingga tegangan terminal di bawah 50 V dalam 1 menit setelah pemutusan.

2) Bagian Pengujian

Laporan uji jenis harus diserahkan untuk kapasitornya jika diminta.

3) Bagian Pemilihan dan Operasi

- a) Penghilangan panas melalui konveksi dan radiasi harus dipastikan. Di lokasi dengan suhu lingkungan yang tinggi, kapasitor dengan kelas suhu yang lebih tinggi harus digunakan.
- b) Tegangan pengenal kapasitor harus dipilih sesuai dengan tegangan operasi sistem tenaga, dengan memperhatikan kemungkinan peningkatan tegangan yang disebabkan oleh kapasitor dan induktansi yang terhubung secara seri.
- c) Dalam sistem dengan tingkat harmonisa yang tinggi, kapasitor harus dilindungi dari kelebihan beban dengan menggunakan induktor seri dan/atau memilih kapasitor dengan tegangan pengenal yang lebih tinggi.
- d) Untuk menghindari eksitasi diri motor yang dikompensasi secara individu, daya kompensasi tidak boleh melebihi 90% dari daya reaktif tanpa beban motor.
- e) Pengontrol daya reaktif atau *interlock* listrik diperlukan untuk menghindari kompensasi berlebihan pada jaringan utama kapal.

2.1.7. Kapal *Tug Boat*

Kapal *Tug Boat*, atau sering disebut kapal tunda, adalah kapal berukuran kecil yang digunakan untuk membantu *manuver* kapal-kapal besar saat bersandar atau bersandar di pelabuhan. Meskipun ukurannya kecil, kapal ini memiliki daya dorong yang sangat kuat, karena tugas utamanya adalah mendorong atau menarik kapal-kapal besar. Selain itu, kapal *Tug Boat* juga memiliki fungsi tambahan sebagai kapal pemadam kebakaran di perairan seperti pada Gambar 2.11. dan 2.12. di bawah ini (Sumaryanto, 2013).



Gambar 2.11. *Maneuver* Kapal di Panama
(Sumber: Haje, 2018)



Gambar 2.12. Pemadaman Kebakaran Pada Kapal
(Sumber: Suhartono, 2023)

2.1.8. Keadaan Kapal

Keadaan kapal perlu untuk diketahui untuk menghitung pengeluaran listrik dan potensi penghematannya (Aries, 2018). Dalam penelitian ini kapal *Tug Boat* terbagi menjadi 3 (Tiga) Keadaan yaitu sebagai berikut.

a. *Cruising* (Berlayar)

Keadaan berlayar merupakan kapal pada saat melakukan tugasnya, merujuk pada fungsi kapal *Tug Boat* untuk mendorong ataupun menarik kapal yang lebih besar maka pada kondisi ini biasa membutuhkan listrik yang lebih besar,

beban yang bersifat kontinu saat berlayar diantaranya beban listrik *under main deck, main deck*, peralatan komunikasi dan navigasi, *Fire & G.S Pump, Bilge & Ballast Pump, Exhaust Fan*, dan *Air Conditioner*.

b. *Harbour* (Bersandar)

Crew kapal dan *port engineer* untuk menggambarkan suatu proses olah gerak kapal, kondisi akhir pergerakan sebelum FWE (*Finish With Engine / Stop*). pada kondisi ini beban listrik yang digunakan secara kontinu diantaranya yaitu beban, *Anchor Windlass, Under Main Deck, Main Deck, Fire & G.S Pump, Bilge & Ballast Pump, Exhaust Fan, Air Conditioner*, serta peralatan komunikasi dan navigasi.

c. *Departing* (Keberangkatan)

Kondisi kapal di awal pergerakan sesaat sebelum FAW (*Full Away / Full Speed*). beban listrik *Under main deck, main deck*, peralatan komunikasi dan navigasi, *Fire & G.S Pump, Bilge & Ballast Pump, Exhaust Fan*, dan *Air Conditioner*.

2.1.9. Sistem Kelistrikan Kapal

a. Pembangkit Listrik

1) Generator Set

Genset atau generator set adalah mesin yang mengubah energi panas dari proses pembakaran menjadi energi mekanik. Bahan bakar yang digunakan umumnya adalah solar, dan pembakarannya dilakukan dengan udara bertekanan tinggi. Mesin diesel pada genset menggerakkan generator untuk membangkitkan listrik. Di atas kapal, genset berfungsi sebagai sumber listrik

untuk berbagai keperluan seperti lampu, alat navigasi, pompa, serta peralatan elektrik lainnya (Faturachman & Febrian, 2020). Dalam menentukan kapasitas generator yang akan digunakan, dilakukan analisis beban guna mengetahui jumlah daya yang dibutuhkan serta variasi penggunaan berdasarkan kondisi operasional kapal. Kapasitas generator ditentukan menggunakan tabel *Electric Balance*, yang mencantumkan semua peralatan listrik beserta daya yang dibutuhkannya. Dengan menggunakan tabel *Electric Balance* ini, dapat dihitung kebutuhan listrik untuk setiap kondisi operasional kapal (Legowo, 2017).

2) Baterai

Baterai merupakan bagian yang sangat penting pada sistem kelistrikan kapal. Baterai berfungsi untuk menyimpan arus sementara yang kemudian digunakan untuk memenuhi kebutuhan arus listrik pada peralatan listrik kapal diantaranya sistem starter mesin, sistem penerangan lampu-lampu *emergency* dan komponen kelistrikannya (Nanang, 2019)

3) *Shore Connection*

Shore Connection adalah sistem penyaluran listrik dari darat ke kapal yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan daya listrik ketika kapal sedang bersandar, atau melakukan proses bongkar muat dengan mesin kapal dalam keadaan mati. Sistem ini memungkinkan kapal mendapatkan pasokan listrik tanpa perlu menggunakan generator internalnya. Secara umum, sistem *shore connection* diatur dalam IEC PAS 80005-3 Tahun 2014, yang menjelaskan

tentang ruang lingkup LVSC (*Low Voltage Shore Connection*), yaitu koneksi listrik bertegangan rendah antara darat dan kapal (Pambudi et al., 2021).

b. Sistem Distribusi

1) *Main Switch Board*

Main Switch Board (MSB) adalah rangkaian yang disusun dalam sebuah panel kontrol, dirancang untuk mengatur dan mendistribusikan listrik di kapal. Komponen-komponennya saling terhubung untuk menjalankan fungsi-fungsi yang dibutuhkan dalam distribusi listrik. MSB ini terhubung langsung dengan pembangkit listrik di kapal (*Generator Set*) serta beban-beban listrik lainnya, seperti peralatan dan sistem yang membutuhkan suplai listrik untuk beroperasi diantaranya (Nugroho et al., 2019).

- a) Volt meter, Ampere meter, Kilowatt meter, Frekuensi meter.
- b) Indikator lampu, antara lain berwarna merah (alarm), warna kuning (peringatan), warna hijau (normal) dan warna putih (netral).
- c) *Switch* pemilih atau *selector*.
- d) *Main Circuit Braker*, berfungsi sebagai pengaman jika terjadi gangguan.
- e) *Phase Squence Indicator*, digunakan untuk *parallel* Generator dan melihat *Phase Shore Connection*.
- f) *Load Sharing*, peralatan yang dipakai untuk menjaga agar *parallel* Generator tetap *balance* pada operasi beban kapal.
- g) Pengaman elektronik, aktif bila terjadi gangguan, seperti *Short Circuit*, *Over Current*, *Under Voltage* dan *Reverse Power*.

2) *Switch Distribution*

Switch Distribution atau dikenal dengan sebutan lain yaitu DBL (*Distribution Board Lighting*) merupakan sub panel dari panel utama (*Main Switch Board*) Selanjutnya daya listrik atau arus listrik keluaran dari MSB dibagi dalam beban- beban yang terdiri dari 3 kelompok besar (Legowo, 2017).

- a) Beban penerangan mempunyai tegangan 220V satu fase dengan frekuensi 50 Hz. Kebanyakan beban ini berupa penerangan pada gang-gang, ruangan-ruangan tertutup, ruangan terbuka dan *socket* keluaran untuk peralatan untuk peralatan-peralatan *power* yang relatif rendah.
- b) Beban daya mempunyai tegangan 220 V/380V tiga fase dengan frekuensi 50 Hz. Kebanyakan beban pada kelompok ini adalah peralatan berupa mesin pompa (*Ballast, Bilge, FW, dan lain-lain*), mesin angkat (*Crane, Jangkar, dan lain-lain*), *refrigerator* dan sistem *air condition (AC)*.
- c) Beban komunikasi dan navigasi terdiri dari peralatan navigasi bertegangan 220V dengan frekuensi 50 Hz. Beban-beban instrumentasi pada tegangan 36 VDC/ 24 V DC yang diambil dari *rectifier* dan di *back up* oleh *battery* melalui UPS Suplai utama dari output generator mempunyai tegangan *line* 380 V atau tegangan fase 220 V pada frekuensi 50 Hz. Kabel transmisi akan menimbulkan jatuh tegangan dan ini harus tidak boleh lebih dari 6 % menurut *rule* BKI.

2.1.10. Energi Listrik Kapal

Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang dihasilkan oleh pergerakan muatan listrik atau elektron melalui suatu penghantar untuk menghitungnya dapat menggunakan Persamaan berikut (Wira, 2020).

$$W = P \times t \quad (2.17)$$

Dimana,

W = Energi Listrik (kWh)

P = Daya Aktif (Watt)

t = Waktu (Jam)

Setelah mengetahui Persamaan daya listrik yang terpakai pada saat sistem kelistrikan sebelum dipasang kapasitor bank, maka dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui perbedaan atau selisih biaya setelah perbaikan faktor daya dalam hal ini pemasangan kapasitor bank maka persentase kerugian menggunakan Persamaan berikut (Adiyansa, 2018).

$$\%PF_{rugi} = [1 - (\frac{\varphi_{Awal}}{\varphi_{Akhir}})^2] \times 100\% \quad (2.18)$$

Dimana,

$\%PF_{rugi}$ = Faktor Daya Rugi

φ_{Awal} = Faktor Daya Awal

φ_{Akhir} = Faktor Daya Akhir

$$W_{rugi} = \%PF_{rugi} \times P \times t \quad (2.19)$$

Dimana,

W_{rugi} = Energi Listrik Rugi (kWh_{rugi})

PF_{rugi} = Faktor Daya Rugi

P = Daya Aktif (Watt)

t = Waktu (Jam)

2.1.11. Bahan Bakar Kapal

Bahan bakar pada kapal menjadi komponen biaya operasional kapal yang paling rutin dikeluarkan, yang mana biaya pengadaan bahan bakar tidak sedikit. Bahan bakar juga merupakan komponen yang sensitif akan kecurangan dan kecurigaan dalam hal penyalahgunaan pemakaiannya. Pemilik kapal kurang mengetahui *actual* konsumsi bahan bakar yang digunakan, terutama pertanyaan terkait alasan dan kapan kapal membutuhkan tenaga listrik berlebih (Aries, 2018).

a. *Specific Fuel Consumption*

Specific Fuel Consumption (SFC) berperan penting dalam sistem pembangkitan listrik karena menjadi indikator utama tingkat efisiensi konversi energi yaitu seberapa baik pembangkit listrik mampu mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanik. Nilai SFC menunjukkan seberapa banyak bahan bakar yang digunakan oleh pembangkit untuk menghasilkan daya sebesar 1 kilowatt selama satu jam operasional (Alber & Kiono, 2022). Dapat dikatakan bahwa *Specific Fuel Consumption* (SFC) menyatakan seberapa efisien bahan bakar yang disuplai ke mesin untuk dijadikan daya output. Satuan dalam Sistem Internasional (SI) adalah kg/kWh (Monasari et al., 2021).

$$Q_f = RFCR(L/h) \times \rho(kg) \quad (2.20)$$

Dimana,

Q_f = Jumlah Bahan Bakar yang digunakan (kg/h)

RFCR = *Rated Fuel Compustion Ratio* (L/h)

ρ = *Solar Density* (kg)

$$SFC_{kg} = \frac{Q_f}{Gross\ Power} \quad (2.21)$$

Dimana,

SFC_{kg} = *Specific Fuel Consumption* (Kg/ kWh)

Q_f = Jumlah Bahan Bakar yang digunakan (kg/h)

Gross Power = Jumlah energi listrik yang dihasilkan generator (kWh)

$$SFC_{Liter} = \frac{SFC_{kg}}{\rho} \quad (2.22)$$

Dimana,

SFC_{Liter} = *Specific Fuel Consumption* (L/ kWh)

SFC_{kg} = *Specific Fuel Consumption* (kg/h)

ρ = *Solar Density* (kg)

b. Perhitungan Biaya Pemakaian Bahan Bakar Kapal

Bahan bakar generator set yang digunakan adalah solar. Untuk menghitungnya dapat menggunakan Persamaan berikut (Adiyansa, 2018).

$$Bp = SFC_{Liter} \times P \times Cost \quad (2.23)$$

Dimana,

Bp = Biaya Pemakaian (Rupiah)

SFC_{Liter} = *Specific Fuel Consumption* (L/kWh)

P = Konsumsi Generator Set (kWh)

$Cost$ = Harga Bahan Bakar (Rp/L)

2.2. Penelitian Terkait dan Kebaruan Penelitian

Tabel 2.4. Penelitian Terkait

Identitas Penelitian	Judul	Permasalahan	Metode Penelitian	Hasil
Alimuddin, Herudin, David Mangantar Jurusan Teknik Elektro Universitas Ageng Tirtayasa	Analisa Efisiensi Konsumsi Energi Listrik Pada Kapal Motor Penumpang Nusa Mulia	Kapal Nusa Mulia banyak menggunakan beban induktif seperti motor listrik sehingga pemakaian bahan bakar untuk mensuplai beban-beban induktif menjadi besar. Akibat pemakaian beban induktif yang besar maka mengakibatkan faktor daya yang rendah yaitu sekitar 0,78 dan menyebabkan pemakaian daya yang kurang optimal pada peralatan listrik lain.	Penelitian ini menggunakan metode simulasi dengan perangkat lunak ETAP Power Station	Setelah pemasangan kapasitor, faktor daya berhasil ditingkatkan dari 0,78 menjadi 0,95. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa biaya energi bahan bakar per hari menurun dari Rp10.985.000 menjadi Rp7.492.680, yang berarti ada penghematan yang signifikan dalam konsumsi bahan bakar.
Bima Sakti, Supari, Titik Nurhayati,	Analisa Kebutuhan Daya Listrik Kapal KM. Sabuk Nusantara	Kapal KM. Sabuk Nusantara 92 masih menjadi alat transportasi utama untuk penyeberangan antar pulau, sehingga	Metode penelitian yang	Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio konsumsi daya peralatan berkisar antara 80%

Jurusan Teknik Elektro Universitas Semarang	92 Dengan <i>Electric Balance</i> BKI	diperlukan analisis kebutuhan daya listrik yang tepat dalam pemilihan generator. Permasalahan yang diangkat adalah menentukan kapasitas generator yang mampu memenuhi kebutuhan listrik kapal dalam berbagai kondisi operasionalnya, sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).	digunakan adalah analisis kebutuhan daya listrik kapal berdasarkan Electric Balance dari BKI.	hingga 90%, dengan nilai <i>Diversity Factor</i> di atas 0,50. <i>Load Factor</i> generator dalam operasi kapal dinyatakan masih layak dan sesuai dengan standar BKI yang tidak boleh melebihi 80%. Selain itu, hasil pengelompokan daya menunjukkan bahwa generator kapal mampu memenuhi kebutuhan listrik dalam berbagai kondisi operasional yang dianalisis.
Wimpi Rizal Tamami, Istiyo Winarno, dan Daeng Rahmatullah dari Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan	Peningkatan Faktor Daya dan Efisiensi Konsumsi Energi Listrik pada Kapal Bulk Carrier 50.000 DWT (<i>Dead Weight</i>	Permasalahan utama yang dibahas dalam penelitian ini adalah penurunan faktor daya pada sistem kelistrikan kapal Bulk Carrier 50.000 DWT yang disebabkan oleh besarnya beban induktif dari motor-motor listrik. Hal ini menyebabkan	Penelitian ini menggunakan metode simulasi dengan perangkat	Hasil simulasi menunjukkan peningkatan rata-rata faktor daya sebesar 10,15% pada semua skema pembebanan. Selain itu, penelitian ini juga mencatat penghematan bahan

<p>Universitas Hang Tuah Surabaya, Indonesia.</p>	<p><i>Ton</i>) Menggunakan Filter Pasif.</p>	<p>ketidakefisienan penggunaan daya dan meningkatkan konsumsi bahan bakar kapal.</p>	<p>lunak ETAP Power Station</p>	<p>bakar dengan rata-rata Rp 1.338.246 per hari, dan pada skema beban penuh mencapai Rp 2.213.640 per hari. Jurnal ini menyoroti pentingnya penggunaan kapasitor bank dan filter pasif dalam meningkatkan efisiensi energi listrik pada kapal Bulk Carrier, yang berdampak langsung pada pengurangan konsumsi bahan bakar dan peningkatan kinerja sistem kelistrikan kapal.</p>
---	--	--	-------------------------------------	---

Perbedaan dengan penelitian terdahulu terdapat pada data yang digunakan, pada penelitian umumnya menggunakan data hasil pengukuran dari lapangan secara *realtime*, sedangkan pada penelitian ini data didapatkan dari perencanaan penentuan kapasitas generator set (*Electric Balance*), sebagai upaya pencegahan atau *quality control* sebelum dibuatnya kapal terkhusus pada sistem kelistrikannya serta sebagai bentuk rekomendasi untuk perencanaan kelistrikan yang memperhatikan kualitas daya listrik yang digunakan.