



ANALISA PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL PADA GENERATOR LISTRIK KAPAL PENANGKAP IKAN STUDI KASUS PADA KM. PULAU PINANG

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF LOAD UNBALANCED ON NEUTRAL CURRENT IN FISHING VESSEL ELECTRIC GENERATOR CASE STUDY AT KM. PULAU PINANG

Bobby Demeianto*, Hafiz Ziddin, Juniawan Preston Siahaan

Program Studi Permesinan Kapal, Politeknik Kelautan dan Perikanan Dumai,
Jl. Wan Amir, No. 1, Kel. Pangkalan Sesai, Kecamatan Dumai Barat, Kota Dumai, Provinsi Riau, Indonesia

*Korespondensi: bobby.demeianto@gmail.com (B. Demeianto)

Diterima 22 Desember 2022 – Disetujui 19 Maret 2023

ABSTRAK. Penelitian tentang ketidakseimbangan beban pada instalasi listrik 3 fasa telah banyak dilakukan, tetapi penelitian mengenai pengaruh ketidakseimbangan beban listrik pada instalasi listrik 3 fasa pada generator listrik kapal penangkap ikan belum banyak dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mencari nilai presentase ketidakseimbangan beban pada instalasi listrik 3 fasa kapal penangkap ikan KM. Pulau Pinang dan melihat pengaruhnya terhadap munculnya arus listrik pada kabel penghantar netral pada instalasi listrik tersebut. Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dalam rules Volume IV tahun 2019 dan 2022 tentang Instalasi Kelistrikan pada Kapal mensyaratkan bahwa dalam keadaan operasi normal, nilai presentase ketidakseimbangan beban pada masing-masing fasa tidak boleh melebihi angka 15%. Penelitian dilakukan selama 3 tahap yaitu bulan Maret, April dan Juni tahun 2021. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa nilai rata-rata presentase ketidakseimbangan pembagian beban pada KM. Pulau Pinang tanggal 12 Maret 2021 adalah sebesar 15,73% dengan rata-rata nilai arus listrik pada penghantar netral adalah 8 Ampere. Pada tanggal 7 April 2021 nilai rata presentase ketidakseimbangan pembagian beban adalah sebesar 23,42% dengan rata-rata arus netral sebesar 12,26 Ampere dan pada tanggal 19 Juni 2021 nilai rata-rata presentase ketidakseimbangan pembagian beban adalah sebesar 16,02% dengan rata-rata arus netral sebesar 6,11 Ampere. Dengan adanya penelitian ini dapat menjadi informasi baru mengenai studi ketidakseimbangan pembagian beban dan arus listrik pada instalasi listrik 3 fasa pada kapal penangkap ikan dan dapat menjadi evaluasi bagi para pemilik kapal dalam mengurangi rugi-rugi daya akibat timbulnya arus listrik pada penghantar netral.

KATA KUNCI: Arus netral, ketidakseimbangan arus listrik, listrik kapal penangkap ikan.

ABSTRACT. Many studies have been conducted on load imbalance in 3-phase electrical installations, but research on the effects of unbalanced electrical loads on 3-phase electrical installations in fishing vessel generators has not been carried out. This study aims to determine the percentage value of load imbalance in the 3-phase electrical installations of KM fishing vessels in Pulau Pinang and observe its effect on the emergence of electric current in the neutral conductor cable in the electrical installation. The Indonesian Classification Bureau (BKI) in Volume IV rules for 2019 and 2022 regarding Electrical Installation on Ships requires that, under normal operating conditions, the percentage value of load imbalance in each phase must not exceed 15%. The research was conducted in three stages: March, April, and June 2021. From the study results, it was found that the average percentage value for load imbalance in KM Pulau Pinang on March 12, was 15.73% with an average electric current value of 8 Amperes in the neutral conductor. On April 7, the average percentage of unbalanced load sharing was 23.42% with an average neutral current of 12.26 Amperes. On June 19, the average percentage of unbalanced load sharing was 16.02% with an average neutral current of 6.11 Amperes. This research can provide new information regarding the study of load sharing imbalance and electric current in 3-phase electrical installations on fishing vessels. It can also serve as an evaluation for ship owners in reducing power losses due to the emergence of electric currents in the neutral conductor.

KEYWORDS: Current's unbalance, fishing vessel electricity, neutral's current.

1. Pendahuluan

Sistem kelistrikan pada kapal merupakan satu dari beberapa sistem yang memiliki peran penting dalam suatu pengoperasian di atas kapal. Sumber listrik pada umumnya dipergunakan sebagai catu daya kebutuhan penerangan di atas kapal baik pada bagian ruang kemudi, ruang akomodasi dan pada bagian kamar mesin, selain itu sumber listrik juga dibutuhkan sebagai catu daya utama untuk alat-alat pendukung navigasi maupun sebagai catudaya pada komponen-komponen yang dibutuhkan dalam pengoperasian mesin induk dan pesawat bantu di kamar mesin pada suatu kapal. Sebagian besar kapal laut, baik itu kapal niaga maupun kapal penangkap ikan membutuhkan sumber listrik yang besar yang bersumber dari generator listrik dimana generator tersebut pada umumnya menggunakan mesin diesel sebagai penggerak utama (Marwiyah & Sutria, 2023). Generator merupakan komponen utama yang dibutuhkan sebagai catudaya utama dalam rangka memenuhi segala kebutuhan tenaga listrik di atas kapal. Seluruh kebutuhan daya listrik yang besar pada kapal semaksimal mungkin dapat ditanggung oleh generator. Hal inilah yang menyebabkan seringnya terjadi penumpukan daya pada sistem instalasi kelistrikan kapal. Penumpukan daya biasanya digunakan pada saat kondisi tertentu dimana beberapa peralatan di kapal sedang digunakan pada waktu yang bersamaan. Sehingga pada saat pemilihan kapasitas generator sebagai sumber tenaga di kapal di tentukan dengan pemilihan daya yang paling besar agar dapat dijangkau oleh generator yang ada di kapal (Yanto, Wijaya, & Susanti, 2022). Dalam pendistribusian suatu energi listrik sering kali dijumpai adanya pembagian beban listrik yang tidak merata di setiap phasanya. Ketidakseimbangan beban ini dapat disebabkan karena pemasangan beban yang tidak seimbang pada setiap phasanya, waktu penyalaan beban listrik yang tidak serempak dan pengkoneksian yang tidak seimbang pada fasa R, S, T. Ketidakseimbangan beban pada instalasi listrik 3 fasa ini dapat menyebabkan timbulnya arus pada penghantar netral, rugi-rugi, dan turunnya efisiensi dari suatu peralatan atau sumber listrik (Siregar & Harahap, 2017).

Kapal KM. Pulau Pinang merupakan salah satu kapal penangkap ikan yang menggunakan alat tangkap pukat cincin atau yang dikenal juga dengan istilah *Purse Seine* yang beroperasi di wilayah perairan Samudera Hindia. Penggunaan energi listrik pada kapal penangkap ikan dengan alat tangkap Pukat Cincin pada umumnya sebagian besar digunakan sebagai catudaya untuk kebutuhan penerangan yang digunakan dalam proses pengoperasian alat tangkap *Purse Seine* di malam hari. Lampu penerangan yang digunakan adalah berjenis lampu halogen 1 fasa yang di pasang pada bagian paling atas anjungan yang kemudian arah cahaya dari lampu tersebut ditembakkan menuju permukaan air laut yang bertujuan untuk memikat gerombolan ikan agar mendekati kapal tersebut (Ziddin, Demeianto, & Siahaan, 2021). Total lampu sorot halogen yang terdapat pada KM. Pulau Pinang adalah berjumlah 16 buah dimana masing-masing lampu tersebut memiliki daya listrik sebesar 1000 Watt. Pada pemasangannya, lampu-lampu tersebut dibagi pada setiap fasa R, S, T pada instalasi listrik 3 fasa yang berada di KM. Pulau Pinang. Tetapi dalam pengoperasiannya, lampu-lampu tersebut tidak dioperasikan secara bersamaan dimana hal ini dapat mengakibatkan timbulnya ketidakseimbangan arus listrik pada instalasi listrik 3 fasa tersebut.

Beberapa penelitian terdahulu yang membahas mengenai ketidakeimbangan beban pada instalasi listrik 3 fasa diantaranya dilakukan oleh (Arghavani & Peyravi, 2017) melakukan perancangan tarif listrik dari akibat adanya ketidakseimbangan arus listrik dan tegangan yang berimbas dengan munculnya rugi-rugi daya dan energi listrik. (Siregar & Harahap, 2017) melakukan penelitian mengenai rugi-rugi daya dan efisiensi transformator dari akibat munculnya arus listrik pada penghantar netral yang diakibatkan oleh ketidakseimbangan beban 3 fasa pada transformator distribusi milik PT.PLN (Persero) rayon Medan Timur. (Kartika Sari, 2018) melakukan penelitian mengenai nilai presentase ketidakseimbangan beban dan rugi-rugi daya / *losses* pada trafo distribusi kapasitas 200 kVA milik PT.PLN (Persero) Rayon Blora, hasil penelitian didapatkan setelah dilakukan pengukuran nilai besaran-besaran listrik pada siang hari dan malam hari. (Dimiyati, Alawy, & Sugiono, 2018) melakukan evaluasi beban terhadap arus netral dan *Losses Transformator Distribusi Area Crusher* di PT. Semen Indonesia (Persero) pada dua kondisi yaitu kondisi operasi dan kondisi tidak beroperasi. (Prasetya, Setiawan, & Arjana, 2020) melakukan penelitian terhadap ketidakseimbangan beban dan harmonisa pada transformator distribusi mi 0096

penyulang abianbase dan membandingkan dengan standar PLN dan standar IEEE 519 tahun 2014. (Budiyasa, Wijaya, & Partha, 2021) melakukan penelitian terdapat rugi-rugi daya yang terjadi terhadap timbulnya arus netral pada penyulang Abiansemal dan membandingkannya dengan batas nilai maksimal nilai presentase ketidakseimbangan beban yang dikeluarkan oleh PLN. (Ektianto & Darwanto, 2021) melakukan Analisa pada ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Cepu untuk kemudian dihitung nilai kerugian materil yang timbul dari akibat adanya ketidakseimbangan beban pada trafo tersebut.

Meskipun penelitian mengenai kelistrikan pada kapal laut sudah mulai banyak dilakukan, tetapi penelitian yang membahas mengenai ketidakseimbangan beban pada instalasi listrik 3 fasa pada kapal penangkap ikan maupun pada kapal niaga belum banyak dilakukan. (Sakti, Supari, Nurhayati, & Derman, 2020) melakukan penelitian mengenai kebutuhan daya listrik pada kapal KM. Sabuk Nusantara 92 dan mencari nilai keefektifan generator pada kapal tersebut dengan membandingkannya dengan ketentuan BKI Vol.IV tahun 2004. (Prasetyo, Abrori, & Nurfauzi, 2021) melakukan penelitian mengenai efisiensi generator set pada kapal penangkap ikan terhadap perubahan beban listrik yang terjadi pada kapal tersebut dan belum membahas mengenai ketidakseimbangan beban listrik pada listrik 3 fasa. (Yanto, Wijaya, & Susanti, 2022) menganalisa kebutuhan daya listrik pada kapal self propelled Oil Barge (SPOB) Perkasa Samudera I dengan memperhitungkan berbagai macam jenis beban dan kondisi operasional dari kapal tersebut. (Asyadi, Muliadi, Syukri, Ramadhani, & Ikhsan, 2022) melakukan analisa terhadap sistem kelistrikan pada kapal motor penumpang Tanjung Burang dan juga membahas mengenai kesesuaian kabel penghantar dan MCB yang terpasang pada kapal tersebut. (Marwiyah & Sutria, 2023) menganalisa kesesuaian sistem pengaman kelistrikan pada kapal di Belawan dan belum membahas mengenai pembagian beban seimbang pada instalasi listrik tiga fasa.

Ketidakseimbangan arus listrik merupakan satu dari beberapa masalah serius yang berkaitan dengan mutu / kualitas daya listrik dari suatu sistem instalasi listrik. Dalam instalasi listrik tiga fasa ketidakseimbangan arus listrik diakibatkan dari adanya ketidakseimbangan pembagian atau pengoperasian beban pada setiap fasanya dan itu juga bisa menjadi penyebab utama munculnya ketidakseimbangan nilai tegangan pada setiap fasa (Arghavani & Peyravi, 2017). Salah satu akibat dari adanya ketidakseimbangan dari pembagian beban listrik pada instalasi listrik tiga fasa pada kapal adalah akan munculnya arus pada penghantar netral pada kapal KM. Pulau Pinang yang akan menimbulkan adanya *losses* atau rugi-rugi daya pada penghantar netral. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari nilai presentase ketidakseimbangan beban pada instalasi listrik 3 fasa kapal penangkap ikan KM. Pulau Pinang dan melihat pengaruhnya terhadap munculnya arus listrik pada kabel penghantar netral pada instalasi listrik tersebut untuk kemudian dibandingkan dengan standar BKI mengenai batas maksimal nilai presentase ketidakseimbangan pada suatu instalasi listrik di atas kapal. Hasil yang didapat dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan yang berarti bagi setiap pemilik kapal atau bagi setiap Kepala Kamar Mesin pada suatu kapal untuk menjaga nilai keseimbangan pembagian beban pada instalasi listrik tiga fasa di atas kapal.

2. Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah *Clamp Meter / Tang Ampere* dan lembar kerja pengukuran untuk mencatat nilai tegangan dan arus listrik fasa R, S, T dan N pada panel utama atau *Main Distribution Panel* (MDP) pada Kapal KM. Pulau Pinang.

2.2 Tinjauan Pustaka

Menurut (Ektianto & Darwanto, 2021) suatu instalasi listrik 3 fasa dikatakan seimbang apabila memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- a. Ketiga vektor arus dari masing-masing fasa (R, S, T) mempunyai nilai yang sama besar.
- b. Perbedaan sudut dari ketiga vektor fasa adalah masing-masing berbeda 120° .

Ketidakseimbangan merupakan suatu keadaan yang terjadi apabila salah satu atau ketiga fasa pada suatu generator atau transformator mengalami perbedaan. Perbedaan ini dapat dilihat dari besarnya vektor arus/tegangan dan sudut dari masing-masing fasa tersebut (Kartika Sari, 2018). Dilihat dari vektornya, ada beberapa hal yang terjadi apabila suatu generator atau transformator mengalami keadaan tidak seimbang, yaitu:

1. Vektor arus pada fasa R, S, dan T mempunyai nilai yang sama besar tetapi sudut antar fasa satu dengan yang lain tidak membentuk sudut sebesar 120°.
2. Sudut pada vektor antar fasa sebenarnya sudah membentuk 120° namun nilai vektor pada fasa R, S, dan T terdapat perbedaan.
3. Nilai vektor pada fasa R, S, dan T terdapat perbedaan sekaligus sudut pada vektor antar fasa tidak membentuk 120° (Istoni & Gunawan, 2021).

Apabila suatu catudaya listrik menyalurkan daya listrik sebesar P melalui suatu saluran 4 kawat yang memiliki penghantar netral, jika dalam proses pendistribusian daya listrik tersebut arus listrik pada setiap fasanya (R, S, T) memiliki nilai yang sama besar, maka besar daya listrik tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P = 3 \times V \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots (1)$$

Dimana: P = Daya Aktif (Watt); V = Tegangan (Volt); I = Arus (Ampere); $\cos \varphi$ = Faktor Daya

Jika I merupakan besaran arus fasa pada daya sebesar P saat keadaan seimbang, maka saat pendistribusian daya dalam keadaan arus masing-masing fasa (I_R, I_S, I_T) tidak dalam keadaan seimbang dinyatakan dengan koefisien a, b, c dengan rumus sebagai berikut:

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \dots\dots\dots (2)$$

$$I_R = a \cdot I \text{ dimana } a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} \dots\dots\dots (3)$$

$$I_S = b \cdot I \text{ dimana } b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} \dots\dots\dots (4)$$

$$I_T = c \cdot I \text{ dimana } c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} \dots\dots\dots (5)$$

I_R, I_S, I_T berturut-turut merupakan arus dari fasa R, fasa S, dan fasa T. Bila factor daya ($\cos \varphi$) dianggap sama walaupun nilai arus pada setiap fasanya berbeda, maka besarnya daya listrik yang disalurkan dapat dinyatakan dengan rumus:

$$P = (a+b+c) \times V \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots (6)$$

Dalam keadaan seimbang atau arus pada setiap fasanya memiliki nilai yang sama maka $a=b=c=1$ dan $a+b+c=3$. Untuk mencari nilai presentase ketidakseimbangan beban dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$\% TS = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

Dimana: %TS = Persentase rata-rata ketidakseimbangan beban

Apabila nilai arus listrik I_R, I_S, I_T berada dalam keadaan tidak seimbang, maka akan ada arus listrik mengalir pada penghantar netral. Arus yang mengalir di sepanjang kawat netral akan menimbulkan rugi-rugi (*losses*) yang dinyatakan dengan:

$$P_N = I_N^2 \times R_N \dots\dots\dots (8)$$

Nilai persentase rugi-rugi daya (*losses*) akibat adanya arus listrik yang mengalir ke penghantar netral adalah:

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

Dimana: P_N = Rugi-rugi daya penghantar Netral (Watt); I_N = Arus yang mengalir pada penghantar Netral (Ampere); R_N = Nilai resistansi penghantar netral (Ohm/Kilometer); $\%P_N$ = Nilai presentase rugi-rugi daya penghantar netral.

2.3 Metode

Pengambilan data penelitian dilaksanakan di atas kapal penangkap ikan KM. Pulau Pinang yang terdaftar di Pelabuhan Perikanan Nusantara Sibolga dan memiliki daerah pengoperasian penangkapan ikan di wilayah perairan Samudera Hindia. Pengambilan data dilakukan pada bulan Maret, April dan Juni tahun 2021 dimana dalam satu bulan tersebut diambil sampel 1 hari pengukuran nilai besaran listrik saat generator listrik beroperasi yaitu pada pukul 18.00 s/d pukul 05.00 WIB. Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data Generator dan Beban Listrik KM. Pulau Pinang

Generator listrik pada kapal penangkap ikan KM. Pulau Pinang memiliki kapasitas daya terpasang adalah sebesar 50 kW atau 62,5 kVA. Generator tersebut terhubung dengan Main Distribution Panel (MDP) dengan penghantar tembaga berjenis kabel NYY ukuran 4x50 mm². Berikut spesifikasi dari generator kapal penangkap ikan KM. Pulau Pinang:

Tabel 1. Spesifikasi Mesin listrik KM. Pulau Pinang.

No	Nama Bagian	Spesifikasi
1	Tegangan	400 Volt
2	Daya	50 Kw
3	Frekuensi	50 Hz
4	Fasa	3 Fasa
5	Jenis Generator	AC (Sinkron)
6	Mesin Penggerak	Motor Diesel
7	Merk/model Mesin	Mitsubishi 6D16T
8	Jumlah Silinder/Daya Mesin	6/225 HP @2800 Rpm
9	Volume Silinder (<i>Displacement</i>)	7.545 cc
10	Bore x Stroke	188 x 115 mm
11	Urutan penyemprotan bahan bakar (<i>Firing Order</i>)	1-5-3-6-2-4
12	Pelumas	Sump basah
13	Bahan Bakar	Solar

Jenis beban listrik yang terdapat pada kapal penangkap ikan KM. Pulau Pinang didominasi oleh lampu halogen yaitu sebanyak 16 unit dengan masing-masing lampu memiliki daya listrik sebesar 1000 Watt. Lampu halogen tersebut merupakan penerangan yang digunakan sebagai pemikat ikan pada malam hari pada saat kegiatan penangkapan ikan dilakukan. Beban listrik tertinggi dimiliki oleh motor listrik 3 fasa dengan daya sebesar 3,7 kW sebanyak 2 unit, motor tersebut digunakan sebagai motor penggerak pompa air yang disalurkan menuju radiator mesin penggerak generator.

Tabel 2. Beban listrik Pada KM. Pulau Pinang.

No	Jenis Peralatan listrik	Phasa	Daya (Watt)	Unit	Keterangan
1	Lampu Halogen	1	1.000	16	Pemikat Ikan
2	Lampu CFL	1	45	9	Penerangan Kapal
3	Lampu CFL	1	36	6	Penerangan Kapal
4	Motor Pompa	3	3.750	2	Kamar mesin
5	Trafo Cas Accu	1	350	2	Kamar mesin
6	Televisi	1	36	3	Kamar ABK, mesin, dan Nakhoda
7	DVD Player	1	15	3	Kamar ABK, mesin, dan Nakhoda
8	Speaker	1	80	3	Kamar ABK, mesin, dan Nakhoda
Jumlah Daya (Watt)				25.214	

3.2 Data Besaran Listrik KM. Pulau Pinang

Pengambilan sample nilai tegangan dan arus listrik pada KM. Pulau Pinang diambil sebanyak 1 hari dalam bulan Maret, April dan Juni tahun 2021. Pengukuran nilai besaran arus listrik dilakukan dengan mengukur nilai arus listrik pada setiap fasa-nya (fasa R, S, T dan Netral), hal ini bertujuan untuk mencari nilai presentase ketidak seimbangan pembagian beban listrik pada instalasi listrik 3 fasa pada

generator KM. Pulau Pinang dan membandingkannya dengan nilai standar maksimal ketidakseimbangan beban yang dikeluarkan oleh BKI yaitu sebesar 15%. Seperti telah dijelaskan di atas bahwa KM. Pulau Pinang menggunakan generator listrik dengan kapasitas daya 62,5 kVA, dimana apabila generator tersebut dioperasikan dengan beban penuh maka arus listrik yang akan dihasilkan adalah kurang lebih sebesar 90,32 Ampere.

Tabel 3. Pengukuran Besaran Listrik KM. Pulau Pinang tanggal 12 Maret 2021.

No	Waktu	Tegangan Listrik (Volt)						Arus Listrik (Ampere)			
		R-S	R-T	S-T	R-N	S-N	T-N	R	S	T	N
1	18.00	318	314	317	189	189	189	9,44	10,76	13,32	3,26
2	19.00	317	315	317	189	189	189	9,49	10,78	13,36	3,31
3	20.00	316	315	316	189	189	189	9,45	10,75	13,35	3,32
4	21.00	317	316	315	188	188	189	9,72	10,45	13,41	2,9
5	22.00	317	317	316	188	187	188	9,73	10,52	13,42	2,91
6	23.00	316	316	316	189	180	184	9,71	10,51	13,45	3,00
7	00.00	314	315	311	186	186	187	17,59	14,21	17,11	12,51
8	01.00	311	315	312	187	186	186	17,62	14,51	17,12	12,8
9	02.00	294	296	298	178	173	174	25,4	14,31	26,43	13,2
10	03.00	295	295	294	174	174	175	25,5	14,21	26,5	13,1
11	04.00	293	293	293	173	173	174	25,3	14,2	26,3	12,9
12	05.00	296	294	296	174	175	173	25,5	14,25	26,8	12,8

Tabel 4. Pengukuran Besaran Listrik KM. Pulau Pinang tanggal 7 April 2021.

No	Waktu	Tegangan Listrik (Volt)						Arus Listrik (Ampere)			
		R-S	R-T	S-T	R-N	S-N	T-N	R	S	T	N
1	18.00	314	315	311	187	188	187	17,59	14,6	17,11	2,35
2	19.00	295	295	298	173	175	175	25,5	14,58	26,52	12,8
3	20.00	295	296	297	173	175	176	25,4	14,55	26,51	12,7
4	21.00	295	295	298	173	175	175	25,5	14,58	26,52	12,8
5	22.00	295	296	297	173	175	176	25,4	14,55	26,51	12,7
6	23.00	312	311	312	184	185	188	29,8	14,5	26,8	13,2
7	00.00	317	316	317	188	189	188	25,8	13,9	26,33	12,51
8	01.00	312	310	314	185	186	188	28,7	14,8	25,5	15,8
9	02.00	312	311	312	184	185	188	29,8	14,5	26,8	13,2
10	03.00	313	311	312	185	185	188	29,2	13,8	26,9	13,6
11	04.00	313	310	312	186	186	187	29,7	14,1	27,7	12,7
12	05.00	312	310	311	185	185	187	28,6	13,6	27,3	12,8

Tabel 5. Pengukuran Besaran Listrik KM. Pulau Pinang tanggal 19 Juni 2021.

No	Waktu	Tegangan Listrik (Volt)						Arus Listrik (Ampere)			
		R-S	R-T	S-T	R-N	S-N	T-N	R	S	T	N
1	18.00	335	334	334	193	193	193	5,71	11,83	6,51	2,86
2	19.00	324	320	320	191	192	191	13,17	11,03	17,42	4,46
3	20.00	324	321	321	191	192	191	13,16	11,05	17,52	4,56
4	21.00	317	316	316	188	189	189	16,88	14,71	17,44	1,69
5	22.00	317	316	316	188	188	189	16,88	14,72	17,53	1,7

No	Waktu	Tegangan Listrik (Volt)						Arus Listrik (Ampere)			
		R-S	R-T	S-T	R-N	S-N	T-N	R	S	T	N
6	23.00	316	315	314	187	188	188	17,39	14,71	17,07	2,2
7	00.00	314	315	311	187	188	187	17,59	14,6	17,11	2,35
8	01.00	314	316	312	187	188	186	17,59	14,72	17,12	2,3
9	02.00	293	295	298	173	175	174	25,6	14,62	26,43	12,9
10	03.00	294	295	299	174	174	174	25,5	14,61	26,49	12,8
11	04.00	295	295	298	173	175	175	25,5	14,58	26,52	12,8
12	05.00	295	296	297	173	175	176	25,4	14,55	26,51	12,7

Dari hasil pengukuran di atas dapat kita lihat bahwa terdapat ketidakseimbangan beban pada pengoperasian beban listrik di KM. Pulau Pinang. Ketidakseimbangan tersebut mengakibatkan mengalirnya arus listrik pada penghantar netral. Berdasarkan hasil pengukuran nilai arus listrik pada penghantar netral didapatkan bahwa pada tanggal 12 Maret 2021 rata-rata nilai arus netral adalah sebesar 8 Ampere dengan nilai tertinggi yaitu berada pada angka 13,2 Ampere. Pada tanggal 7 April 2021 rata-rata nilai arus netral adalah sebesar 12,26 Ampere dengan nilai tertinggi yaitu berada pada angka 15,8 Ampere. Pada tanggal 19 Juni 2021 rata-rata nilai arus netral adalah sebesar 6,11 Ampere dengan nilai tertinggi yaitu berada pada angka 12,9 Ampere.

3.3 Perhitungan Nilai Presentase Ketidakseimbangan Beban KM. Pulau Pinang

Hasil pengukuran nilai arus listrik yang terdapat pada tabel 3, tabel 4 dan tabel 5 selanjutnya akan dicari nilai presentase ketidakseimbangan bebannya. Sebagai contoh perhitungan akan diambil sample data pada tanggal 7 April 2021 pukul 01.00 WIB dimana secara berturut-turut arus listrik pada fasa R, S, dan T adalah sebesar 28,7 A, 14,8 A, dan 25,5 A, maka dengan menggunakan persamaan 2, nilai rata-rata arus listriknya adalah:

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{28,7 + 14,8 + 25,5}{3} = \frac{69}{3} = 23 \text{ Ampere}$$

Dengan menggunakan persamaan 3, 4, dan 5, nilai koefisien a, b, dan c adalah sebagai berikut:

$$a = \frac{I_R}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{28,7}{23} = 1,25$$

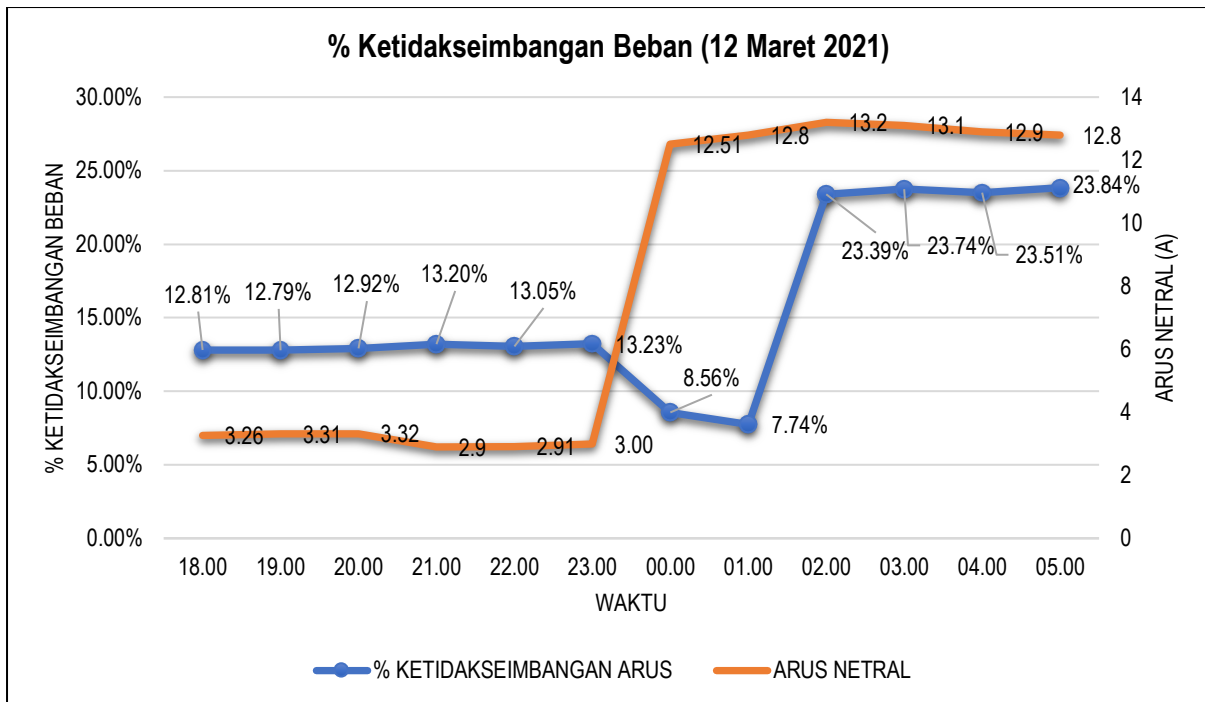
$$b = \frac{I_S}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{14,8}{23} = 0,64$$

$$c = \frac{I_T}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{25,5}{23} = 1,25$$

Setelah nilai koefisien a, b, dan c diketahui maka dengan menggunakan persamaan 7, nilai presentase ketidakseimbangan beban pada tanggal 7 April 2021 pukul 01.00 adalah:

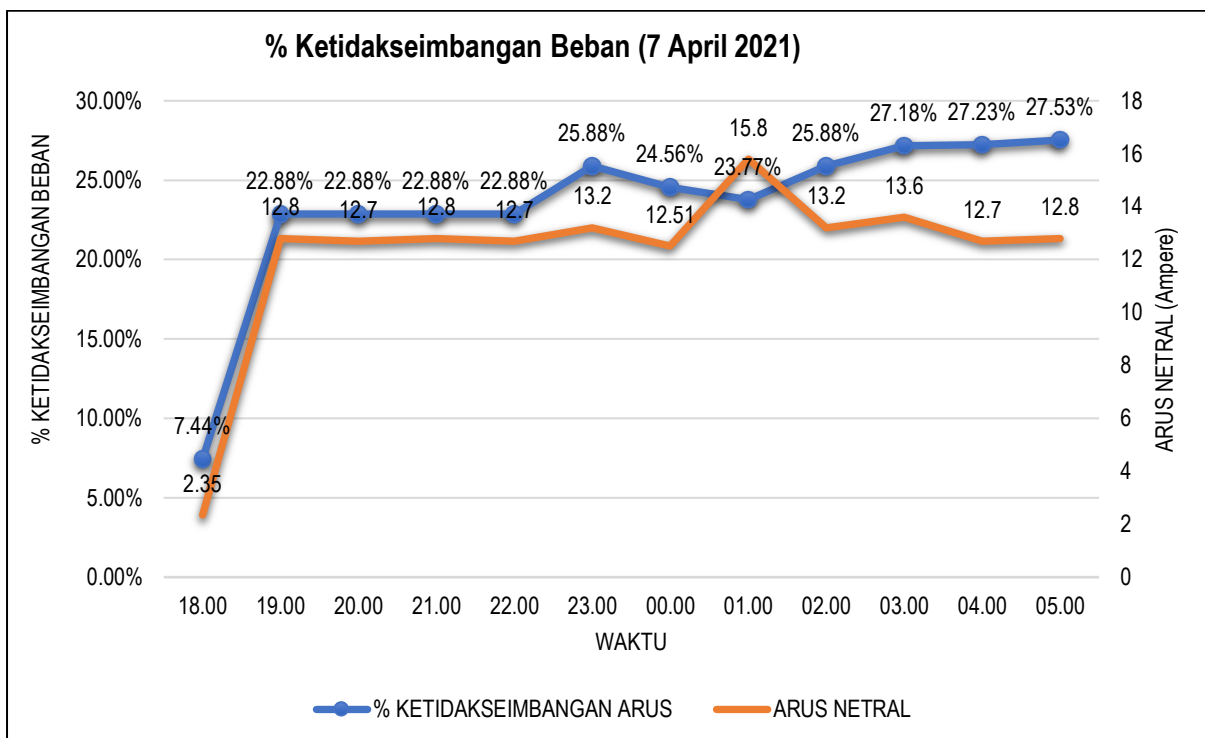
$$\% \text{ TS} = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% = \frac{\{|1,25-1|+|0,64-1|+|1,25-1|\}}{3} \times 100\% = 23,77\%$$

Nilai presentase ketidakseimbangan beban pada tanggal 7 April 2021 pukul 01.00 adalah sebesar 23,77%, dimana hal ini menandakan bahwa nilai tersebut telah melebihi nilai standar maksimal dari standar yang telah ditetapkan BKI yaitu sebesar 15%. Dengan menggunakan cara dan rumus yang sama, maka nilai presentase ketidakseimbangan untuk data lainnya adalah:



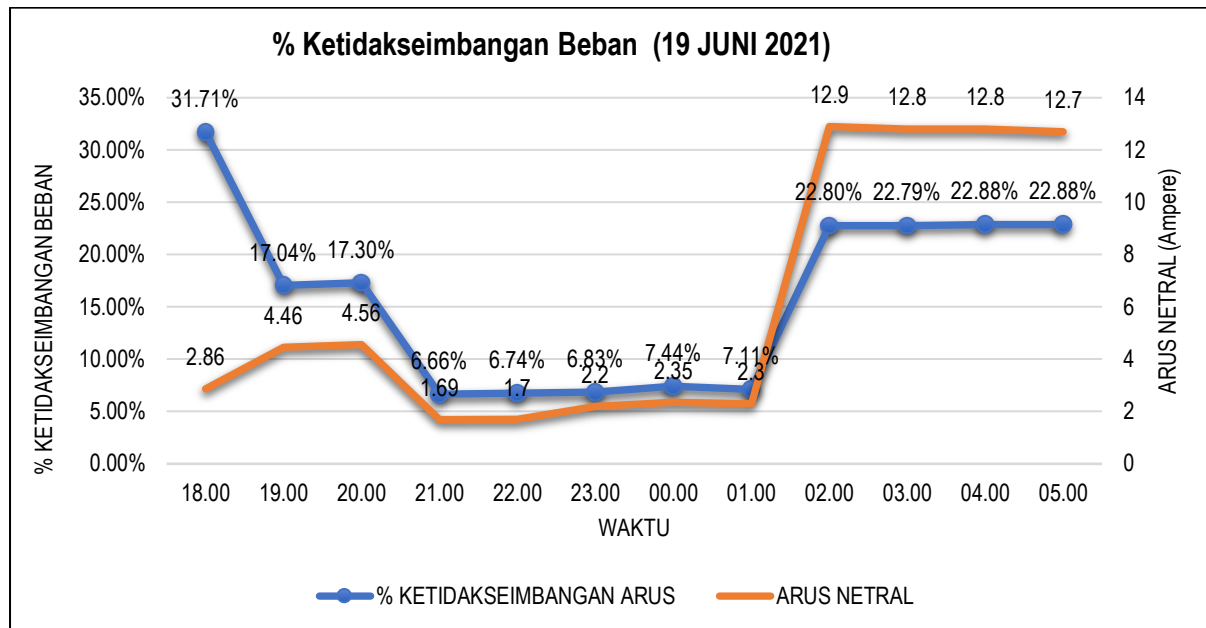
Gambar 2. Presentase Ketidakseimbangan Beban dan Arus Listrik KM. Pulau Pinang Tanggal 12 Maret 2021.

Berdasarkan grafik di atas dapat kita lihat bahwa tingginya nilai presentase ketidakseimbangan beban akan diikuti dengan tingginya nilai arus listrik pada penghantar Netral. Rata-rata nilai presentase ketidakseimbangan beban pada tanggal 12 Maret 2021 adalah sebesar 15,73% dengan nilai presentase ketidak seimbangan terkecil adalah pada pukul 01.00 WIB yaitu senilai 7,74% dan nilai presentase ketidakseimbangan terbesar adalah pada pukul 05.00 WIB yaitu senilai 23,84%.



Gambar 3. Presentase Ketidakseimbangan Beban dan Arus Listrik KM. Pulau Pinang Tanggal 7 April 2021.

Rata-rata nilai presentase ketidakseimbangan beban pada tanggal 7 April 2021 adalah sebesar 23,42% dengan nilai presentase ketidak seimbangan terkecil adalah pada pukul 18.00 WIB yaitu senilai 7,44% dan nilai presentase ketidakseimbangan terbesar adalah pada pukul 05.00 WIB yaitu senilai 27,53%.



Gambar 4. Presentase Ketidakseimbangan Beban dan Arus Listrik KM. Pulau Pinang Tanggal 19 Juni 2021.

Rata-rata nilai presentase ketidakseimbangan beban pada tanggal 19 Juni 2021 adalah sebesar 16,02% dengan nilai presentase ketidak seimbangan terkecil adalah pada pukul 21.00 WIB yaitu senilai 6,66% dan nilai presentase ketidakseimbangan terbesar adalah pada pukul 18.00 WIB yaitu senilai 31,71%.

3.4 Perhitungan Nilai Rugi-rugi Daya pada Penghantar Netral

Adanya ketidakseimbangan pembagian beban pada setiap fasa akan menyebabkan timbulnya arus listrik pada penghantar netral. Timbulnya arus pada penghantar netral akan menyebabkan adanya rugi-rugi daya atau losses pada penghantar netral. Kabel penghantar dari generator menuju MDP adalah menggunakan kabel NYY dengan ukuran 4 x 50 mm², kabel tersebut memiliki nilai resistansi 0,464 ohm/km. Apabila antara generator dengan MDP memiliki jarak sebesar 5 meter, maka nilai resistansi dari kabel tersebut adalah sebesar 0,00232 ohm. Sehingga nilai rugi-rugi daya pada penghantar netral pada tanggal 7 April 2021 pukul 01.00 WIB adalah:

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = (15,8)^2 \times 0,0232 = 0,5792 \text{ Watt}$$

Hal yang membuat nilai *losses* pada penghantar netral rendah adalah karena rendahnya nilai resistansi kabel penghantar yang disebabkan karena dekatnya jarak antara generator listrik dengan panel MDP pada KM. Pulau Pinang. Penggunaan kabel berukuran besar dengan Panjang kabel yang relative pendek juga dapat menjadi sebuah keuntungan tersendiri karena mempunyai nilai resistansi yang rendah, hal ini akan meminimalisasi nilai *losses* dan jatuh tegangan pada suatu penghantar. Dengan cara dan rumus yang sama, maka nilai losses pada penghantar netral pada tanggal 12 Maret 2021, 7 April 2021, dan 19 Juni 2021 adalah:

Tabel 6. Nilai Rugi-Rugi Daya (Losses) Pada Penghantar Netral.

No	Waktu	LOSSES (Watt)		
		12 Maret 2021	7 April 2021	19 Juni 2021
1	18:00	0,0247	0,0128	0,0190
2	19:00	0,0254	0,3801	0,0461
3	20:00	0,0256	0,3742	0,0482
4	21:00	0,0195	0,3801	0,0066
5	22:00	0,0196	0,3742	0,0067
6	23:00	0,0209	0,4042	0,0112
7	00.00	0,3631	0,3631	0,0128
8	1:00	0,3801	0,5792	0,0123
9	2:00	0,4042	0,4042	0,3861
10	3:00	0,3981	0,4291	0,3801
11	4:00	0,3861	0,3742	0,3801
12	5:00	0,3801	0,3801	0,3742
Rata-rata		0,2040	0,3713	0,1403

4. Kesimpulan

Hasil penelitian didapatkan bahwa nilai rata-rata presentase ketidakseimbangan pembagian beban pada KM. Pulau Pinang tanggal 12 Maret 2021 adalah sebesar 15,73% dengan rata-rata nilai arus listrik pada penghantar netral adalah 8 Ampere. Pada tanggal 7 April 2021 nilai rata presentase ketidakseimbangan pembagian beban adalah sebesar 23,42% dengan rata-rata arus netral sebesar 12,26 Ampere dan pada tanggal 19 Juni 2021 nilai rata-rata presentase ketidakseimbangan pembagian beban adalah sebesar 16,02% dengan rata-rata arus netral sebesar 6,11 Ampere. Hal ini berarti nilai presentase ketidakseimbangan beban pada KM. Pulau Pinang belum sesuai standar maksimal dari nilai yang ditetapkan oleh BKI yaitu sebesar 15%. Tingginya nilai presentase ketidakseimbangan beban selalu akan diikuti dengan munculnya arus listrik pada penghantar netral, namun besar arus listrik yang mengalir pada penghantar netral juga tergantung dari nilai arus listrik pada setiap fasa. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat menjadi informasi baru dan dapat menjadi masukan yang berarti bagi para pemilik kapal dan para KKM untuk lebih memperhatikan pembagian arus listrik saat mengoperasikan suatu beban listrik di atas kapal. Perlu adanya penelitian lanjutan mengenai dampak adanya ketidakseimbangan arus listrik terhadap ketidakseimbangan nilai tegangan pada suatu instalasi listrik tiga fasa.

Daftar Pustaka

- Arghavani, H., & Peyravi, M. (2017). Unbalanced Current Based Tarrif. 24th International Conference on Electricity Distribution. Glasgow: CIRED.
- Asyadi, T. M., Muliadi, Syukri, Ramadhani, T. S., & Ikhsan, M. (2022, Juni). Analisa Sistem Kelistrikan Pada Kapal Motor Penumpang Tanjung Burang. AJEETECH, 1-7.
- Budiyasa, I. G., Wijaya, I. W., & Partha, T. G. (2021, Maret). Rugi-rugi Daya Akibat Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Pada Efektifitas Penggunaan Daya Terpasang. Jurnal SPEKTRUM, 260-267.
- Dimiyati, M. A., Alawy, M. T., & Sugiono. (2018). Studi Analisa Evaluasi Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Transformator Distribusi Area Crusher di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Science Electro, 12-18.
- Ektianto, A. S., & Darwanto, A. (2021, Juli). Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator

- Distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Cepu. SIMETRIS, 35-42.
- Istoni, R., & Gunawan, A. (2021, Desember). Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Rugi-rugi pada Transformator 3 Fasa 20 kV/400 V di PT. SGMW Motor Indonesia. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 109-116.
- Kartika Sari, G. A. (2018). Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Trafo Distribusi Studi Kasus pada PT. PLN(Persero) Rayon Blora. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Marwiyah, M., & Sutria, Y. (2023, Februari). Sistem Pengaman Kelistrikan Kapal di Belawan. *Journal of Maritime and Education*, 456-461.
- Prasetya, I. W., Setiawan, I. N., & Arjana, I. G. (2020, Maret). Analisis Ketidakseimbangan Beban dan Harmonisa Pada Transformator Distribusi MI 0096 Penyulang Abianbase. *Jurnal SPEKTRUM*, 109-115.
- Prasetyo, D., Abrori, M. Z., & Nurfauzi, A. (2021, Juli-Desember). Efisiensi Generator Set Terhadap Perubahan Beban Listrik Pada Kapal Perikanan. *Edu Elekrika Journal*, 56-61.
- Sakti, B., Supari, Nurhayati, T., & Derman. (2020). Analisa Kebutuhan Daya Listrik Kapal KM. Sabuk Nusantara 92 Dengan Electric Balance BKL. Universitas Semarang, 1-7.
- Siregar, R. S., & Harahap, R. (2017, Oktober). Perhitungan Arus Netral, Rugi-Rugi, dan Efisiensi Transformator Distribusi 3 Fasa 20 KV/400V Di PT. PLN (Persero) Rayon Medan Timur Akibat Ketidakseimbangan Beban. *Journal Of Electrical Technology*, 79-85.
- Yanto, Wijaya, T. K., & Susanti, E. (2022, Juni). Analisa Kebutuhan Daya Listrik di Kapal Self Propelled Oil Barge (SPOB) Perkasa Samudera 1. *Sigma Teknika*, 108-118.
- Ziddin, H., Demeianto, B., & Siahaan, J. P. (2021, Oktober). Analisa Efisiensi Penggunaan Mesin Listrik Kapal Penangkap Ikan Studi Kasus pada KM. Pulang Pinang. *Aurelia Journal*, 35-46.