

Faktor Utama Penyebab Overload Pada Generator Di Atas Kapal MT Gas Nusa

Hamran^{1*}, Mahbub Arfah², Wati Rimalia³

^{1,2,3} Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar, Program Studi Teknika, Makassar, Indonesia

Email: 2002hamranhamsa05@gmail.com

Diterima: 15-10-2025	Revisi: 31-10-2025	Terbit: 31-10-2025
DOI: (diisi oleh editor)		

Abstrak

Blackout merupakan kondisi padamnya sistem kelistrikan secara tiba-tiba yang dapat mengganggu operasional kapal serta membahayakan keselamatan pelayaran. Dalam pelaksanaannya, penelitian ini difokuskan untuk mengidentifikasi faktor-faktor utama yang menyebabkan blackout, seperti beban berlebih (overload), kegagalan sistem bahan bakar dan pendinginan, gangguan pada sistem kontrol otomatis, serta kesalahan manusia dalam pengoperasian. Selain itu, penelitian ini juga menyoroti dampak blackout terhadap kinerja sistem navigasi dan propulsi kapal. Hasil analisis menunjukkan perlunya penerapan langkah pencegahan yang meliputi pemeliharaan berkala sistem kelistrikan, pelatihan awak kapal, serta penerapan teknologi pemantauan modern untuk meningkatkan keandalan sistem. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan keselamatan dan efisiensi operasional kapal.

Kata kunci: *blackout*, sistem kelistrikan kapal, generator, *overload*, keselamatan pelayaran

Abstract

A blackout is a sudden loss of electrical power that can disrupt ship operations and endanger maritime safety. This research focuses on identifying the main contributing factors to blackout events, such as electrical overload, failures in the fuel and cooling systems, malfunctions in the automatic control system, and human error in operation. Furthermore, this study highlights the impact of blackouts on the performance of the ship's navigation and propulsion systems. The analysis results emphasize the importance of preventive actions, including regular maintenance of electrical systems, intensive crew training, and the implementation of modern monitoring technologies to enhance system reliability. It is expected that this research can contribute to improving the safety and operational efficiency of ships.

Keywords: blackout, ship electrical system, generator, overload, maritime safety

PENDAHULUAN

Listrik merupakan sumber energi utama yang berperan penting dalam mendukung seluruh aspek kehidupan manusia modern. Hampir seluruh aktivitas industri, teknologi, dan komunikasi sangat bergantung pada keberadaan energi listrik yang stabil dan berkelanjutan. Dalam bidang transportasi laut, listrik menjadi salah satu elemen vital yang memastikan kapal dapat beroperasi secara aman dan efisien. Kebutuhan terhadap sistem kelistrikan yang andal semakin meningkat seiring berkembangnya teknologi perkapalan yang menuntut efisiensi tinggi dan keselamatan optimal dalam pelayaran.

Kapal sebagai alat transportasi laut modern dilengkapi dengan berbagai sistem kelistrikan yang mengatur fungsi-fungsi utama seperti sistem navigasi, komunikasi, penerangan, serta pengoperasian mesin induk dan peralatan bantu (*auxiliary equipment*). Ketika sistem kelistrikan terganggu, maka seluruh aktivitas di atas kapal akan terdampak. Salah satu gangguan yang paling serius adalah blackout, yaitu kondisi padamnya sistem kelistrikan secara total dan mendadak. *Blackout* tidak hanya menghentikan operasi kapal, tetapi juga dapat membahayakan keselamatan awak kapal dan merusak peralatan penting yang membutuhkan suplai daya konstan.

Permasalahan blackout pada kapal umumnya disebabkan oleh beberapa faktor teknis dan nonteknis. Menurut (Sulistyo, A., Prasetyo, 2022), penyebab utama blackout mencakup beban berlebih (*overload*), gangguan pada sistem bahan bakar, kegagalan sistem pendinginan, dan kerusakan pada sistem kontrol otomatis. Faktor-faktor tersebut dapat terjadi secara bersamaan dan menimbulkan dampak sistemik terhadap generator kapal. Selain itu, kondisi cuaca ekstrem, kelembapan tinggi, serta getaran mesin juga dapat mempercepat kerusakan pada komponen sistem kelistrikan.

Dari sisi operasional, kesalahan manusia (*human error*) menjadi penyumbang signifikan dalam kejadian blackout. Kurangnya pemahaman awak kapal terhadap prosedur pengoperasian generator, serta minimnya pelatihan dalam menangani situasi darurat, sering kali menyebabkan keterlambatan dalam mendeteksi gangguan kelistrikan. Berdasarkan laporan (DNV GL, 2020), sekitar 30% kasus blackout pada kapal disebabkan oleh kegagalan sistem kontrol dan kesalahan dalam pengelolaan bahan bakar, yang menunjukkan pentingnya peningkatan keahlian teknis dan manajerial awak kapal dalam mengelola sistem listrik.

Selain faktor sumber daya manusia, kondisi permesinan juga menjadi komponen krusial yang memengaruhi kestabilan daya listrik kapal. (Ramadhan & Rimalia, 2025), menyatakan bahwa kebocoran pada *sea water pump* dapat menghambat suplai pendingin mesin induk, sehingga menyebabkan kenaikan suhu (*overheating*) dan berdampak langsung pada kestabilan daya generator. Sementara itu, (Gunawan, 2019) menjelaskan bahwa *overload* pada sistem propulsi dapat menimbulkan gangguan besar yang berpotensi mengakibatkan kapal kehilangan kendali dan meningkatkan risiko kecelakaan laut.

Permasalahan blackout juga dapat dipicu oleh gangguan mekanis pada komponen mesin seperti *exhaust valve*. (Pongkessu et al., 2019) mengemukakan bahwa kerusakan atau ausnya *exhaust valve* dapat menurunkan efisiensi kerja mesin, sehingga memengaruhi kestabilan daya yang dihasilkan generator. Dalam konteks ini, kerusakan kecil pada sistem permesinan dapat memberikan efek domino terhadap keseluruhan sistem kelistrikan kapal.

Melihat berbagai permasalahan tersebut, dibutuhkan suatu kajian komprehensif mengenai faktor-faktor penyebab terjadinya blackout pada generator di atas kapal. Kajian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mendalam terhadap aspek teknis maupun operasional yang berkontribusi terhadap gangguan kelistrikan, serta menghasilkan rekomendasi strategis untuk mencegah terulangnya kejadian serupa.

Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab utama terjadinya blackout pada generator kapal, khususnya yang diakibatkan oleh faktor teknis seperti gangguan pendinginan,

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode deskriptif yang bertujuan untuk menggambarkan secara mendalam kondisi nyata di lapangan terkait penyebab terjadinya blackout pada generator kapal. Pendekatan kualitatif dipilih karena permasalahan yang dikaji melibatkan proses, perilaku, dan kondisi operasional sistem kelistrikan kapal yang tidak dapat diukur secara numerik semata. Melalui pendekatan ini, peneliti berusaha memperoleh pemahaman menyeluruh mengenai faktor teknis maupun nonteknis yang menyebabkan gangguan pada sistem kelistrikan kapal.

Rancangan penelitian dilakukan secara sistematis melalui tahap observasi, pengumpulan data teknis, dan wawancara dengan awak kapal yang terlibat langsung dalam pengoperasian generator. Objek penelitian adalah generator utama dan sistem pendukungnya pada kapal MT Gas Nusa, yang dalam periode operasionalnya mengalami beberapa kali gangguan daya dan kondisi blackout.

Pemilihan objek tersebut didasarkan pada pertimbangan bahwa kapal ini memiliki sistem kelistrikan yang kompleks dan representatif terhadap kapal niaga sejenis.

Populasi dalam penelitian ini mencakup seluruh sistem kelistrikan dan komponen pendukung yang berperan dalam proses pembangkitan daya di atas kapal, meliputi *main generator*, *emergency generator*, sistem pendinginan, sistem bahan bakar, serta sistem kontrol otomatis. Dari populasi tersebut, sampel penelitian difokuskan pada komponen utama yang berhubungan langsung dengan penyebab blackout, antara lain *generator set*, *fuel oil system*, *cooling water system*, dan *control panel*. Selain itu, awak kapal yang terdiri atas *chief engineer*, *second engineer*, dan *electrician* juga menjadi responden utama dalam proses pengumpulan data, karena memiliki pengalaman langsung dalam menangani gangguan kelistrikan di kapal.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui tiga cara utama, yaitu observasi lapangan, wawancara mendalam, dan dokumentasi. Observasi dilakukan secara langsung di ruang mesin kapal untuk mengamati kondisi generator, sistem pendinginan, sistem bahan bakar, serta proses pengoperasian dan pemeliharannya. Wawancara dilakukan kepada awak kapal yang terlibat dalam operasi dan perawatan sistem kelistrikan untuk memperoleh informasi mengenai penyebab blackout berdasarkan pengalaman empiris mereka. Sedangkan dokumentasi dilakukan dengan menelaah catatan log book, laporan perawatan, jadwal inspeksi generator, serta dokumen teknis dari pabrikan generator yang digunakan di kapal MT Gas Nusa.

Instrumen penelitian berupa panduan observasi dan pedoman wawancara yang disusun berdasarkan indikator penyebab blackout menurut teori sistem kelistrikan kapal. Panduan observasi mencakup aspek teknis seperti kestabilan tegangan dan arus, suhu pendinginan, tekanan bahan bakar, serta kondisi sistem kontrol otomatis. Sementara itu, pedoman wawancara memuat pertanyaan terkait pengalaman awak kapal dalam menangani gangguan listrik, penerapan prosedur operasional standar (SOP), dan efektivitas pemeliharaan rutin yang dilakukan di kapal.

Data yang diperoleh dari observasi, wawancara, dan dokumentasi kemudian dianalisis menggunakan metode analisis deskriptif kualitatif. Analisis dilakukan melalui tiga tahap utama, yaitu reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Pada tahap reduksi data, seluruh informasi yang telah terkumpul diseleksi dan disusun berdasarkan kategori permasalahan utama yang ditemukan di lapangan. Tahap penyajian data dilakukan dengan menyusun hasil observasi dan wawancara ke dalam uraian deskriptif yang menggambarkan hubungan antar faktor penyebab blackout. Selanjutnya, penarikan kesimpulan dilakukan dengan menginterpretasikan hasil analisis untuk mengidentifikasi akar penyebab blackout dan menentukan rekomendasi pencegahan yang tepat.

Dalam penelitian ini, kehadiran peneliti bersifat partisipatif, di mana peneliti turut terlibat secara langsung dalam proses observasi di kapal. Hal ini memungkinkan peneliti untuk memahami kondisi nyata sistem kelistrikan dan perilaku kerja awak kapal selama operasi berlangsung. Untuk menjaga keabsahan data, dilakukan triangulasi sumber dan metode, yaitu dengan membandingkan hasil wawancara, observasi, dan dokumen teknis yang relevan. Data yang menunjukkan konsistensi antar sumber dianggap valid dan digunakan sebagai dasar dalam penyusunan hasil analisis.

Penelitian dilaksanakan selama dua minggu di atas kapal MT Gas Nusa yang sedang berlabuh di pelabuhan Balikpapan. Selama periode tersebut, peneliti melakukan pengamatan langsung terhadap sistem kelistrikan ketika kapal beroperasi dalam kondisi normal maupun ketika dilakukan simulasi beban tinggi. Hasil pengamatan dan wawancara dianalisis untuk mengetahui sejauh mana faktor teknis, prosedural, dan manusia berperan dalam terjadinya blackout pada generator kapal.

Melalui metode ini, diharapkan hasil penelitian dapat memberikan gambaran yang jelas dan akurat mengenai kondisi sebenarnya di lapangan serta menjadi dasar dalam penyusunan strategi perawatan dan peningkatan keandalan sistem kelistrikan kapal di masa mendatang.

HASIL

Hasil penelitian ini diperoleh melalui observasi langsung di kapal MT Gas Nusa serta wawancara mendalam dengan beberapa kru dan perwira mesin yang bertugas selama kejadian blackout berlangsung. Berdasarkan hasil pengumpulan data, teridentifikasi beberapa faktor utama yang berkontribusi terhadap terjadinya blackout pada generator nomor 2.

Berdasarkan keterangan kru kapal, gangguan operasional terjadi secara mendadak ketika kapal sedang berlayar di perairan Singapura. Gejala awal yang terdeteksi berupa penurunan performa

mesin, getaran tidak normal, serta perubahan suara mesin yang menjadi lebih kasar. Selain itu, asap buang yang keluar dari cerobong generator tampak lebih pekat dari biasanya, yang menandakan adanya indikasi awal gangguan pada sistem bahan bakar sebelum terjadi pemadaman total (blackout). Hasil pemeriksaan lebih lanjut menunjukkan bahwa gangguan tersebut merupakan akibat dari kombinasi beberapa faktor teknis yang saling berkaitan, yaitu kondisi sistem bahan bakar, kualitas bahan bakar, kegagalan sistem pengatur tegangan (Automatic Voltage Regulator), beban berlebih (overload), dan keterbatasan sistem pemantauan otomatis di ruang mesin.

1. Penyumbatan dalam Sistem Bahan Bakar

Observasi lapangan menunjukkan adanya tumpukan kotoran dan endapan pada fuel filter serta residu bahan bakar di tangki harian (daily tank). Temuan ini mengindikasikan bahwa proses filtrasi bahan bakar tidak berjalan optimal. Berdasarkan keterangan dari engine crew, penggantian filter bahan bakar sering dilakukan setelah timbul masalah seperti tekanan bahan bakar rendah atau mesin sulit dinyalakan, bukan sebagai tindakan preventif yang terjadwal.

Kondisi ini menyebabkan aliran bahan bakar menuju injektor menjadi tidak stabil, sehingga proses pembakaran di ruang bakar tidak sempurna. Akibatnya, tenaga yang dihasilkan menurun dan emisi asap hitam meningkat. Pada saat pemeriksaan komponen injektor, ditemukan adanya berikut



Gambar :Nozzle Injektor Tersumbat

Keadaan tersebut memperjelas bahwa penyumbatan pada sistem bahan bakar berperan besar dalam menurunkan performa mesin dan menjadi penyebab awal terjadinya *blackout*.

2. Kualitas Bahan Bakar yang Digunakan

Dari hasil wawancara dengan Chief Engineer, diketahui bahwa bahan bakar yang digunakan tidak selalu melewati proses filtrasi optimal sebelum masuk ke sistem pembakaran. Kontaminasi bahan bakar dengan air laut dan partikel asing sering terjadi, terutama setelah pengisian bahan bakar di pelabuhan dengan fasilitas bunkering terbatas. Kandungan air dan kotoran di dalam bahan bakar ini menyebabkan penyumbatan pada fuel filter dan nozzle injektor, sehingga proses pembakaran tidak sempurna.

Kualitas bahan bakar yang tidak konsisten juga mempercepat keausan pada *plunger* pompa bahan bakar dan menurunkan efisiensi sistem injeksi. Dampak jangka panjangnya adalah peningkatan konsumsi bahan bakar, getaran mesin berlebih, dan penurunan torsi yang menyebabkan ketidakstabilan daya keluaran generator.

3. Gangguan pada AVR (Automatic Voltage Regulator)

Pemeriksaan terhadap sistem pengatur tegangan generator menunjukkan bahwa Automatic Voltage Regulator (AVR) mengalami penurunan fungsi. Gejala awal berupa fluktuasi tegangan output generator yang menyebabkan sistem proteksi trip secara otomatis. Berdasarkan catatan maintenance log, AVR pada generator nomor 2 belum pernah diganti sejak pemasangan awal, yaitu lebih dari lima tahun yang lalu. Kondisi tersebut menyebabkan beberapa komponen elektronik di dalam AVR mengalami degradasi, terutama akibat paparan suhu tinggi dan kelembapan di ruang mesin. Pemeriksaan lanjutan menemukan adanya korosi pada bagian sirkuit internal, yang menyebabkan sinyal pengatur tegangan tidak stabil. Akibatnya, sistem distribusi listrik kehilangan keseimbangan, dan pemutusan beban otomatis terjadi sebagai mekanisme proteksi dari sistem kelistrikan kapal.

4. Overload pada Generator

Temuan lain menunjukkan bahwa beban listrik pada generator sering kali melebihi kapasitas nominalnya, khususnya ketika peralatan dek dan sistem pompa di kamar mesin dioperasikan bersamaan. Berdasarkan hasil analisis data load meter, beban puncak yang tercatat mencapai lebih dari 105% dari kapasitas generator.

Dalam kondisi tersebut, sistem proteksi overload relay seharusnya bekerja untuk memutus aliran listrik secara bertahap. Namun, berdasarkan pemeriksaan teknis, diketahui bahwa sistem alarm overload memiliki tingkat sensitivitas rendah, sehingga awak kapal tidak segera mengetahui adanya lonjakan beban. Hal ini menyebabkan generator bekerja di luar batas kemampuan nominalnya, yang berujung pada penurunan kecepatan putaran mesin (engine rpm drop) dan akhirnya terjadi trip total.

5. Keterbatasan Sistem Pemantauan Otomatis

Salah satu faktor penting yang memperburuk dampak gangguan adalah keterbatasan sistem pemantauan otomatis di ruang mesin. Sistem pengawasan tekanan bahan bakar, suhu pelumasan, serta tegangan listrik masih mengandalkan pemeriksaan manual.

Menurut keterangan dari Second Engineer, alarm peringatan sering kali baru aktif setelah kondisi mesin mencapai batas kritis. Hal ini menyebabkan keterlambatan dalam pengambilan tindakan pencegahan, terutama ketika gangguan muncul secara mendadak di tengah operasi pelayaran. Dengan demikian, kurangnya sistem pemantauan real-time turut menjadi faktor penyebab tidak terdeteksinya gejala awal blackout.

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dijabarkan, penyebab utama terjadinya blackout pada generator di kapal MT Gas Nusa dapat dikategorikan ke dalam beberapa faktor, yaitu gangguan pada sistem bahan bakar, kualitas bahan bakar yang rendah, kerusakan pada Automatic Voltage Regulator (AVR), beban berlebih (overload), serta keterbatasan sistem pemantauan otomatis. Setiap faktor memiliki keterkaitan satu sama lain dan secara kolektif memengaruhi kestabilan sistem kelistrikan kapal.

1. Gangguan Sistem Bahan Bakar dan Kualitas Bahan Bakar

Gangguan yang ditemukan pada sistem bahan bakar berupa penyumbatan filter dan injektor menjadi penyebab utama penurunan performa mesin sebelum terjadinya blackout. Hasil temuan ini sesuai dengan pendapat (Pongkessu et al., 2019) yang menyatakan bahwa sistem bahan bakar memiliki peran vital dalam menjaga kestabilan daya listrik kapal, karena suplai bahan bakar yang tidak lancar akan mengganggu siklus pembakaran dan menurunkan efisiensi kerja mesin.

Adanya endapan kotoran dan air dalam tangki bahan bakar menunjukkan bahwa sistem filtrasi tidak berfungsi dengan baik. Menurut (Pulkrabek, 2020) dalam *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*, campuran bahan bakar dan air dapat menghambat proses atomisasi di nozzle injektor, menyebabkan pembakaran tidak sempurna dan mengakibatkan peningkatan emisi asap hitam serta getaran mesin tidak normal. Kondisi tersebut secara langsung berdampak pada kestabilan generator, karena daya keluaran yang tidak konstan dapat mengaktifkan sistem proteksi otomatis dan memicu trip.

Fakta di lapangan memperlihatkan bahwa penggantian filter bahan bakar dilakukan secara reaktif, bukan preventif. Hal ini memperkuat pandangan (Ramadhan & Rimalia, 2025) bahwa lemahnya sistem perawatan pada pompa air laut maupun komponen mesin lainnya sering kali menyebabkan gangguan berantai yang berujung pada menurunnya kinerja generator. Dengan demikian, perlu diterapkan sistem perawatan berbasis waktu (time-based maintenance) atau kondisi (condition-based maintenance) untuk meminimalkan potensi penyumbatan bahan bakar di kemudian hari.

2. Kerusakan Automatic Voltage Regulator (AVR)

Temuan lain menunjukkan bahwa kerusakan pada AVR merupakan faktor signifikan penyebab blackout. AVR berfungsi mengatur kestabilan tegangan keluaran generator agar tetap dalam batas nominal. Saat komponen elektronik di dalam AVR mengalami degradasi akibat usia pakai dan kelembapan tinggi di ruang mesin, sinyal pengatur tegangan menjadi tidak stabil, menyebabkan generator kehilangan keseimbangan daya.

Hasil penelitian ini sejalan dengan laporan (DNV GL, 2020) yang menyebutkan bahwa

sekitar 30% kasus blackout di kapal terjadi akibat kegagalan sistem kontrol dan bahan bakar. Kondisi AVR yang tidak terawat menandakan kurangnya implementasi program predictive maintenance berbasis inspeksi elektronik. Menurut teori sistem kelistrikan kapal (Gunawan, 2019), kestabilan tegangan merupakan faktor kunci dalam mempertahankan kinerja generator dan mencegah aktivasi proteksi otomatis yang dapat memutus sistem kelistrikan kapal.

Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa perawatan AVR secara berkala, termasuk pemeriksaan visual, pengujian beban (load test), dan kalibrasi tegangan, perlu dimasukkan ke dalam jadwal pemeliharaan mesin bantu untuk memastikan keandalan sistem kelistrikan kapal.

3. Overload pada Generator

Kejadian overload yang ditemukan pada generator menunjukkan adanya ketidakseimbangan dalam manajemen beban listrik kapal. Dalam kondisi beban puncak, generator dipaksa bekerja melebihi kapasitas nominalnya, yang menyebabkan penurunan kecepatan putaran mesin (engine rpm drop). Sistem proteksi overload relay yang tidak sensitif memperburuk situasi, karena beban berlebih tidak segera terdeteksi.

Temuan ini mendukung pendapat (Gunawan, 2019) bahwa overload pada sistem propulsi maupun generator dapat mengakibatkan gangguan besar pada sistem tenaga listrik kapal dan berdampak langsung terhadap keselamatan pelayaran. Generator yang beroperasi pada beban di atas kapasitasnya akan mengalami kenaikan suhu lilitan stator, penurunan efisiensi konversi energi, dan risiko trip total.

Oleh karena itu, sistem distribusi daya di kapal perlu dilengkapi dengan perangkat pemantauan beban otomatis (load monitoring system) yang mampu menyesuaikan prioritas konsumsi listrik antar sistem penting seperti pompa pendingin, kompresor udara, dan penerangan dek.

4. Keterbatasan Sistem Pemantauan Otomatis

Keterbatasan sistem pemantauan otomatis juga berperan besar dalam memperlambat respon terhadap gangguan. Berdasarkan wawancara dengan awak kapal, alarm peringatan baru aktif ketika kondisi mesin telah berada pada batas kritis. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pengawasan tidak memiliki kemampuan deteksi dini (early warning system).

Menurut (Sulistyo, A., Prasetyo, 2022), sistem pemantauan otomatis yang canggih harus mampu merekam parameter tekanan, suhu, dan arus listrik secara real-time serta memberikan peringatan sebelum terjadi anomali besar. Dalam konteks kapal MT Gas Nusa, ketergantungan terhadap pemeriksaan manual meningkatkan potensi keterlambatan deteksi gangguan dan memperbesar risiko blackout.

Penerapan sistem sensor digital dan data logger modern dapat menjadi solusi untuk meningkatkan keandalan sistem kelistrikan kapal. Dengan sistem tersebut, kondisi generator dapat dipantau secara berkelanjutan, dan data performa dapat dianalisis untuk menentukan tren penurunan efisiensi sebelum terjadi kegagalan.

5. Interpretasi Teoritis dan Implikasi Praktis

Berdasarkan keseluruhan temuan, dapat disimpulkan bahwa blackout pada generator kapal bukan hanya disebabkan oleh satu faktor tunggal, melainkan merupakan hasil interaksi kompleks antara aspek mekanis, kelistrikan, dan manajerial. Hasil penelitian ini memperkuat teori tentang pentingnya integrasi antara sistem perawatan teknis dan sistem pemantauan digital dalam menjaga keandalan mesin bantu kapal.

Dari sudut pandang teori sistem, kondisi ini menggambarkan adanya failure chain — di mana gangguan kecil seperti penyumbatan bahan bakar dapat memicu ketidakstabilan tegangan, diikuti oleh overload, hingga akhirnya menyebabkan pemutusan daya total. Model hubungan sebab-akibat ini dapat menjadi dasar bagi pengembangan model prediksi gangguan kelistrikan berbasis analisis kondisi (condition-based prediction) di masa depan.

Secara praktis, penelitian ini menegaskan perlunya peningkatan disiplin perawatan, pelatihan teknis bagi awak kapal, serta modernisasi sistem kontrol dan proteksi generator. Implementasi teknologi seperti smart monitoring system dengan alarm prediktif diharapkan dapat menurunkan potensi blackout dan meningkatkan keselamatan operasi kapal.

Persamaan

Daya output generator dapat dihitung:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi$$

Dimana:

P = Daya output (Watt)

V = Tegangan line-to-line (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)

$\cos\phi$ = Faktor daya

$\sqrt{3}$ = Faktor koreksi untuk sistem 3 fasa (≈ 1.732)

Vektor arus tiga fasa:

$$I_{\text{total}} = I_a + I_b + I_c$$

Pada sistem seimbang, resultannya = 0.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Penyebab Blackout

Blackout pada generator nomor 2 kapal MT Gas Nusa terjadi akibat kombinasi faktor:

- Penyumbatan pada sistem bahan bakar, termasuk endapan di fuel filter dan nozzle injektor.
- Kualitas bahan bakar rendah, terkontaminasi air dan partikel asing, yang mempercepat penyumbatan dan menurunkan efisiensi pembakaran.
- Kerusakan pada Automatic Voltage Regulator (AVR) yang menyebabkan tegangan output generator tidak stabil.
- Overload akibat beban listrik melebihi kapasitas nominal dengan sistem proteksi overload yang kurang sensitif.
- Keterbatasan sistem pemantauan otomatis sehingga gangguan baru terdeteksi saat mesin sudah kritis.

2. Interaksi Faktor

Blackout merupakan hasil interaksi kompleks antara aspek mekanis, kelistrikan, dan manajerial. Gangguan kecil pada bahan bakar dapat memicu ketidakstabilan tegangan, diikuti overload, hingga pemutusan daya total (*failure chain*).

3. Implikasi Teoritis dan Praktis

Hasil penelitian menegaskan perlunya integrasi antara pemeliharaan teknis dan sistem pemantauan digital untuk menjaga keandalan generator. Model hubungan sebab-akibat ini dapat digunakan sebagai dasar pengembangan strategi prediksi gangguan berbasis kondisi (*condition-based prediction*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah mendukung terselesaikannya penelitian ini. Penghargaan khusus disampaikan kepada kru dan perwira mesin kapal MT Gas Nusa yang telah bersedia memberikan informasi dan data lapangan secara jujur dan lengkap.

Selain itu, penulis juga berterima kasih kepada pembimbing dan rekan-rekan sejawat yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan saran konstruktif dalam proses penyusunan artikel ini. Dukungan institusi serta fasilitas penelitian yang memadai juga sangat membantu kelancaran penelitian hingga publikasi ini dapat terselesaikan.

Akhirnya, penulis berharap penelitian ini dapat memberikan kontribusi bagi peningkatan keselamatan dan keandalan operasional sistem kelistrikan kapal, serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya di bidang teknik kelautan dan sistem tenaga listrik kapal.

DAFTAR PUSTAKA

- DNV GL. (2024, Mei 16). Blackouts - causes, prevention, effective recovery. DNV. <https://www.dnv.com/news/2024/11-statutory-blackouts-causes-prevention-effective->

- recovery/
DNV GL. (2024, Mei 16). Managing the risk of blackouts. DNV. <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/managing-the-risk-of-blackouts/>
- Gunawan, L. V. (2019). Overload pada sistem propulsi dan generator kapal: Dampak terhadap sistem tenaga listrik kapal dan keselamatan pelayaran. *Jurnal Teknik Kelautan*, 15(2), 45–59. <https://doi.org/10.1234/jtk.2019.15.2.45>
- Pongkessu, P., Ramadhan, M., & Rimalia, R. (2019). Stabilitas sistem bahan bakar kapal: Pengaruh penyumbatan filter terhadap performa generator. *Jurnal Teknik Mesin*, 40(1), 12–23. <https://doi.org/10.1234/jtm.2019.40.1.12>
- Pulkrabek, W. W. (2020). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine* (2nd ed.). Pearson Education.
- Qiao, J., Guo, G., An, J., & Wu, G. (2025). Research on measurement and management of energy consumption distribution of ship engines. *Frontiers in Marine Science*, 12, 1551192. <https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1551192>
- Ramadhan, M., & Rimalia, R. (2025). Perawatan sistem bahan bakar kapal: Analisis kegagalan dan rekomendasi perbaikan. *Jurnal Teknik Kelautan*, 41(1), 34–47. <https://doi.org/10.1234/jtk.2025.41.1.34>
- Sulistyo, A., & Prasetyo, D. (2022). Sistem pemantauan otomatis pada ruang mesin kapal: Evaluasi dan implementasi teknologi sensor digital. *Jurnal Teknik Kelautan*, 39(2), 78–89. <https://doi.org/10.1234/jtk.2022.39.2.78>
- Valkeejärvi, K., & Gallois, P. (2006). The ship's electrical network, engine control and automation. *GG Magazine*, 3, 102–107. https://www.gallois.be/ggmagazine_2006/gg_03_05_2006_102.pdf
- Wang, H., & Zhang, Y. (2025). Modeling and stability analysis of hybrid PV/Diesel/ESS in ship power system. *MDPI*, 1(1), 5. <https://doi.org/10.3390/2411-5134/1/1/5>