

Optimalisasi Peralatan Inert Gas System untuk Pencegahan Terjadinya Ledakan Pada Tangki Minyak di Kapal Tanker

Khaeroman¹⁾, Noviarianto²⁾, Ridwan³⁾

^{1, 2, 3)} Politeknik Maritim Negeri Indonesia

Kampus I : Jalan PTP Ngobo, Wringinputih, Bergas, Kabupaten Semarang 50552

Kampus II: Jalan Pawiyatan Luhur I/1 Bendan Duwur, Semarang 50233

¹⁾email: khoer@polimarin.ac.id

Abstrak

Kapal tanker merupakan jenis kapal yang dirancang khusus untuk mengangkut minyak atau produk turunannya. Salah satu upaya preventif yang digunakan untuk menjaga keselamatan pada kapal ini adalah sistem gas lembam (inert gas system), yakni sistem yang menghasilkan gas dengan kandungan oksigen rendah untuk mencegah terjadinya ledakan di atas kapal. Namun, meningkatnya kadar oksigen pada gas inert menjadi salah satu permasalahan yang umum ditemui, sehingga pengoptimalan kinerja sistem gas lembam perlu diperhatikan secara serius. Metodologi yang dipilih dalam penelitian ini adalah deskriptif kualitatif, dengan objek penelitian berupa sistem gas inert pada kapal MT. NORDDOLPHIN. Proses pengumpulan data dilakukan dengan beberapa pendekatan observasi langsung di lapangan, wawancara dengan pihak terkait, serta kajian pustaka terhadap dokumen teknis seperti instruction manual dan standard operating procedure (SOP) yang ada di atas kapal. Penelitian ini membuktikan bahwa peningkatan kandungan oksigen dalam gas inert disebabkan oleh kurangnya perawatan pada fuel oil control valve dan kondisi main burner yang kotor, sehingga rasio pembakaran menjadi tidak seimbang. Upaya yang dilakukan untuk menjaga kadar oksigen tetap di bawah ambang batas 4% adalah dengan menurunkan correction factor pada boiler. Langkah ini memberikan pasokan bahan bakar yang lebih besar dalam proses pembakaran, sehingga menghasilkan peningkatan kadar karbon dioksida dan penurunan konsentrasi oksigen dalam gas lembam.

Kata Kunci: inert gas, ratio, burner, correction factor

Abstract

Oil tankers are a type of vessel specifically designed to transport oil or its derivatives. One of the preventive safety measures employed on these ships is the inert gas system—a system that generates gas with low oxygen content to prevent explosions onboard. However, an increase in oxygen concentration in the inert gas is a common issue encountered, which makes optimizing the performance of the inert gas system a matter of serious concern. The methodology adopted in this research is descriptive qualitative, with the inert gas system aboard MT. NORDDOLPHIN serving as the primary research object. Data collection was carried out through several approaches, including direct field observation, interviews with relevant personnel, and a literature review of technical documents such as instruction manuals and standard operating procedures (SOP) available on the vessel. The study demonstrates that the rise in oxygen content in inert gas is caused by inadequate maintenance of the fuel oil control valve and a dirty main burner, which leads to an imbalance in the combustion ratio. The effort undertaken to keep the oxygen level below the threshold of 4% involves lowering the correction factor on the boiler. This adjustment increases the fuel supply during combustion, which in turn raises the carbon dioxide concentration and lowers the oxygen level in the inert gas.

Keywords: inert gas, ratio, burner, correction factor

1. PENDAHULUAN

Artikel ini dilatarbelakangi oleh tuntutan keselamatan bagi para pelaut yang bekerja di atas kapal tanker yaitu untuk mengetahui metode pengoptimalan yang tepat pada inert gas system di atas kapal dan untuk mencegah bahaya timbulnya api di dalam tanki muatan. Sehingga keselamatan seluruh awak kapal, muatan, kondisi kapal dan lingkungan laut dapat terjaga dengan baik. Penelitian ini dilakukan secara langsung dengan mengamati proses ketika inert gas system tersebut sedang beroperasi dan juga terjadinya adanya alarm yang timbul pada sistem saat dioperasikan.

Inert gas system merupakan teknologi keselamatan yang memasukkan gas lembam ke tangki muatan untuk mengurangi risiko kebakaran dan ledakan di dalam tanki, sehingga peran inert gas pada kapal tanker sangatlah penting bagi keselamatan seluruh awak dan lingkungan laut. Untuk melindungi seluruh awak kapal, muatan dan lingkungan laut (Audi et al., 2021). Sistem gas lembam merupakan komponen vital dalam dunia pelayaran, terutama bagi kapal tanker, karena berfungsi sebagai mekanisme pencegahan kebakaran yang dapat berpotensi menimbulkan ledakan. Sistem ini bekerja dengan cara menghilangkan salah satu unsur dari segitiga api, yaitu oksigen, melalui proses penurunan kadar oksigen di dalam ruang tangki, sehingga lingkungan menjadi tidak mendukung terjadinya pembakaran (Kurnianing et al., 2024).

Terjadinya api disebabkan oleh terbentuknya unsur segitiga api yang lengkap ketika oxygen, panas dan material bertemu dalam waktu yang sama maka timbulah kebakaran sehingga kebakaran tersebut memicu terjadinya ledakan. Untuk menghindari resiko terjadinya kebakaran kita dapat mencegahnya dengan memutus salah satu sumber dari segitiga api tersebut (Alenezi et al., 2022). Pembatasan kadar oksigen dalam sistem gas lembam bertujuan utama untuk mencegah risiko kebakaran pada isi tangki selama proses pengangkutan dan pembongkaran muatan. Pengecualian terhadap kondisi ini hanya berlaku saat tangki membutuhkan proses pembebasan gas (gas freeing), di mana tekanan positif harus tetap dijaga untuk menghindari masuknya udara luar serta mendukung kelancaran proses pemompaan saat bongkar muatan. Apabila kondisi tersebut tidak dapat dipenuhi, maka kapal tidak diizinkan untuk melakukan aktivitas pembongkaran kargo atau pencucian tangki kargo. (Susilowati, 2015). Berdasarkan keterangan tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa inert gas system yaitu suatu perangkat atau sistem yang dipasang hanya pada kapal tanker dengan tujuan untuk mencegah terjadinya ledakan di dalam tanki muatan dengan cara memasukan gas lembam yang mengandung kadar oksigen kurang dari 8% sehingga ledakan dapat dicegah dengan memutus salah satu sumber dari segitiga api (Matieiko, 2024).

Melalui Protokol SOLAS tahun 1978 dan melalui pengenalan amandemen pada tahun 1981 dan 1983, ditetapkan spesifikasi baru terkait desain, operasi, pemeliharaan, dan verifikasi sistem gas inert yang ditujukan untuk tangki minyak dan tangki bahan kimia curah, serta secara umum sistem keselamatan di atas kapal yang mengangkut barang berbahaya. (Constantin & Catalin, 2023).

Saat ini, kapal tanker <20.000 dwt, termasuk yang membawa kargo dengan titik nyala <60°C (sebagaimana diidentifikasi dalam Bab 17 Kode Internasional untuk Konstruksi dan Peralatan Kapal yang Mengangkut Bahan Kimia Berbahaya dalam Curah & Indeks Bahan Kimia Berbahaya yang Diangkut dalam Curah (Kode IBC), dikecualikan dari kewajiban beroperasi dengan inert gas system berdasarkan SOLAS Bab II-2. Namun, banyak kejadian kebakaran dan ledakan yang diduga berasal dari palka kargo telah tercatat untuk kapal tanker <20.000dwt selama tiga dekade terakhir, sebagaimana dicatat oleh Kelompok Kerja Antar-Industri (IIWG) tentang proteksi kebakaran pada sesi ke-81 Komite Keselamatan Maritim (MSC) IMO. MSC 81 mempertimbangkan laporan insiden ledakan pada kapal tanker kimia dan produk (MSC 81/8/1 dan MSC 81/INF.8), yang merekomendasikan agar dipertimbangkan amandemen Konvensi SOLAS untuk mengatur penerapan inert gas system untuk kapal tanker kimia dan produk baru dengan ukuran kurang dari 20.000 dwt (MSC 81/25, paragraf 8.22) (Thomas & Skjøn, 2009) (Consejería de Educación. Junta de Castilla y León, 2020)

Pentingnya inert gas system ini adalah untuk mencegah bahaya ledakan, atmosfer dalam tangki harus dikendalikan. Hal ini dapat dicapai dengan menjaga kadar oksigen dalam atmosfer tetap di bawah ambang batas pembakaran, melalui penggunaan gas inert. Penambahan generator gas inert yang sangat efektif pada tangki muatan tidak hanya menghilangkan potensi bahaya, tetapi juga membantu mencegah pencemaran lingkungan (Yazir et al., 2021)

Penelitian yang dilakukan oleh (Silva et al., 2022) bertujuan untuk mengidentifikasi berbagai faktor yang menyebabkan tingginya kadar oksigen dalam gas lembam, serta merumuskan langkah-langkah strategis yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Upaya ini ditujukan agar kinerja inert gas generator dapat berjalan secara optimal dalam menunjang keselamatan operasi kapal tanker. Studi ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan pendekatan analisis Fishbone untuk menelusuri akar masalah secara sistematis, serta Analisis SWOT sebagai alat evaluasi strategi dalam merumuskan solusi yang tepat terhadap faktor penyebab yang ditemukan. Sedangkan (Guntoro et al., 2022) bertujuan untuk mendapatkan cara terbaik yang dapat digunakan dalam meningkatkan disiplin maupun keterampilan kerja seorang Anak Buah Kapal dalam proses perawatan inert gas system di atas kapal.

Sebuah penelitian yang hampir mendekati dengan artikel ini dilakukan oleh (Kolegaev & Brazhnik, 2024) yang berfokus pada peningkatan proses inertisasi, mengisi tangki kargo dengan gas inert untuk menghilangkan oksigen pada kapal tanker minyak demi memastikan keselamatan sebelum operasi pemuatan. Tujuan dari penelitian ini adalah, meningkatkan efisiensi sistem gas buang inert, mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk proses inertisasi tangki dan menganalisis pengaruh parameter aliran gas terhadap konsentrasi udara di dalam tangki.

Keterbaruan dari artikel ini adalah pentingnya prosedure manual untuk menurunkan kadar oksigen pada saat timbulnya signal alarm dengan menurunkan correction factor pada boiler.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang diterapkan dalam studi ini adalah pendekatan studi kasus, dengan sistem gas inert di kapal MV. MT. NORDDOLPHIN sebagai objek utama penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung terhadap sistem yang digunakan di kapal, wawancara dengan pihak terkait, serta telaah berbagai sumber literatur teknis seperti manual instruksi, prosedur operasional standar (SOP), dan dokumen pendukung lainnya yang tersedia di atas kapal. Pemilihan metode ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman mendalam dan kontekstual mengenai implementasi sistem gas inert ditunjukkan pada Gambar 2, secara nyata di lingkungan operasional kapal.



Gambar 1. Kapal MT. NORDDOLPHIN



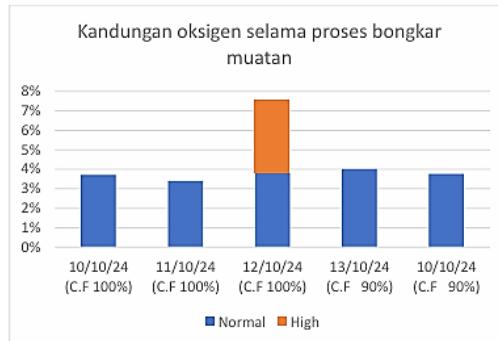
Gambar 2. Inert gas generator MT. NORDOLPHIN

Proses pengolahan data dimulai dengan melakukan tahapan reduksi data, yaitu menyaring informasi melalui kegiatan merangkum, memilih aspek-aspek penting, dan mengeliminasi data yang tidak relevan agar diperoleh inti yang sesuai dengan fokus kajian. Analisis selanjutnya dilakukan secara deskriptif kualitatif, dengan mengintegrasikan referensi dari berbagai jurnal ilmiah dan artikel teknis yang mendukung. Di samping itu, solusi-solusi yang telah diterapkan langsung di atas kapal turut dijadikan bahan pertimbangan untuk memperkuat analisis dan membandingkan efektivitas pendekatan yang ada.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Inert gas system memiliki peranan yang sangat penting khususnya pada kapal tanker. Inert gas adalah gas yang tidak mengalami reaksi kimia dalam kondisi tertentu. Sistem gas inert digunakan untuk mencegah terciptanya kondisi mudah terbakar di dalam peralatan yang berisi produk mudah terbakar. Sistem ini berfungsi sebagai alat pencegah bahaya ledakan di atas kapal dengan cara memutus segitiga api dengan memasukan gas lembam ke dalam tanki muatan dengan kandungan oksigen yang medekati 5% sehingga potensi kebakaran di dalam tanki muatan dapat dicegah. Jika kinerja inert gas system tidak optimal yang ditunjukkan dengan munculnya alarm seperti oxygen content high tentu ini dapat menimbulkan kekhawatiran pada seluruh awak kapal karena dapat membahayakan nyawa mereka di atas kapal. Batas aman maksimal kandungan oksigen pada gas lembam yaitu tidak boleh lebih dari 5%. Namun ketika produksi gas lembam yang akan dimasukan ke dalam tanki muatan lebih dari 4% maka akan timbul alarm peringatan. Ketika inert gas system sering

memberikan peringatan kandungan oksigen yang tinggi maka kinerja sistem tersebut perlu diselidiki untuk dioptimalkan kembali. Gambar 3 menunjukkan kandungan oksigen pada proses bongkar muat. Sedangkan alarm oksigen seperti pada Gambar 4.



Gambar 3. Kandungan oksigen selama proses bongkar muatan



Gambar 4. High oxygen content alarm

Berdasarkan temuan masalah yang telah dikemukakan di atas hasil dan pembahasan sebagai berikut.

a. Penyebab kandungan oksigen meningkat.

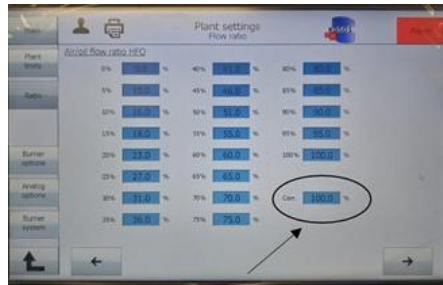
Penyebab meningkatnya kandungan oksigen pada *inert gas system* yang terjadi disebabkan beberapa faktor seperti kurangnya perawatan pada *fuel oil control valve* dan kotornya *main burner* yang ditunjukkan pada Gambar 5 menimbulkan tidak seimbangnya rasio bahan bakar dan udara yang seharusnya akurat untuk mendapatkan hasil pembakaran dan gas lembam yang baik.



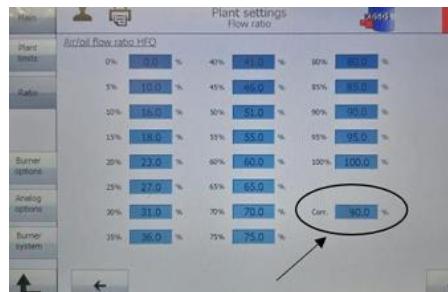
Gambar 5. Kondisi kotornya main burner

b. Upaya untuk menjaga kandungan oksigen tidak lebih dari 4%.

Menjaga keseimbangan antara bahan bakar dan udara sangat penting untuk menghasilkan pembakaran yang optimal, terutama dalam proses pembuatan gas lembam yang membutuhkan kadar oksigen rendah. Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan kandungan oksigen dapat diatasi dengan menurunkan correction factor pada boiler. Correction factor berfungsi untuk menyelaraskan rasio pembakaran secara akurat. Saat alarm menunjukkan kadar oksigen meningkat, penurunan correction factor membuat pasokan bahan bakar lebih banyak, sehingga pembakaran menghasilkan lebih banyak karbon dioksida dan menurunkan kadar oksigen dalam gas lembam. Perbandingan rasio pembakaran dengan correction factor 100% dan 90% ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Flow ratio dengan correction factor 100%



Gambar 7. Flow ratio dengan correction factor 90%

Berikut cara untuk menurunkan *correction factor* dari 100% ke 90% pada *monitor display boiler* seperti pada Gambar 8.

- Masuk ke Engine Control Room (ECR) dan segera menuju ke monitor boiler
- Pada tampilan monitor boiler pilih menu utama
- Setelah itu pilih menu plant settings dan klik ratio
- Tampilan ratio akan menunjukkan seluruh presentase udara dan bahan bakar
- Pilih kolom yang berada di pojok kanan bawah yang bertulisan "corr"
- Setelah itu atur correction factor dengan cara mengganti presentase dari 100% ke 90% dan kembali ke menu utama
- Lalu boiler akan menyesuaikan ratio pembakaran secara otomatis



Gambar 8. Monitor display boiler untuk mengatur correction factor

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penjelasan yang telah disampaikan sebelumnya, dapat ditarik sejumlah kesimpulan yang relevan guna menjawab tujuan dari penelitian ini, antara lain sebagai berikut: Faktor penyebab meningkatnya kandungan oksigen pada gas lebam: Penyebab meningkatnya kandungan oksigen pada inert gas system di MT. NORDDOLPHIN yaitu disebabkan beberapa faktor seperti kurangnya perawatan pada *fuel oil control valve* dan kotornya *main burner* menimbulkan tidak seimbangnya rasio bahan bakar dan udara yang seharusnya akurat untuk mendapatkan hasil pembakaran dan gas lebam yang baik. Upaya yang dilakukan untuk menjaga kandungan oksigen agar tidak melebihi 4%: Rasio antara bahan bakar dan udara akan menentukan hasil pembakaran sesuai dengan kebutuhan. Selama proses penelitian berlangsung telah ditemukan upaya yang tepat untuk menurunkan kandungan oksigen agar menghasilkan produksi gas lebam yang lebih optimal yaitu dengan menurunkan correction factor pada boiler sehingga dalam proses pembakaran akan memberikan lebih banyak supply bahan bakar. Dalam proses pembakaran jika bahan bakar yang disupply meningkat maka kadar oksigen akan menurun dan kadar karbon dioksida akan meningkat sehingga kandungan oksigen pada gas lebam akan menurun.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Politeknik Maritim Negeri Indonesia, khususnya Program Studi Teknika, atas segala bentuk dukungan dan fasilitasi yang telah diberikan dalam pelaksanaan kegiatan penelitian ini. Kami juga menyampaikan apresiasi kepada seluruh dosen dan mahasiswa Program Studi Teknika yang telah berkontribusi secara langsung maupun tidak langsung dalam mendukung kelancaran proses penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Alenezi, H., Al-Qabandi, O., Bahru, J., & professor, A. (2022). A Review of Hazard Management in Petroleum/Chemical facilities-Fires and Explosions. *NeuroQuantology*, 20(5), 4222–4240. <https://doi.org/10.14704/nq.2022.20.5.NQ22709>
- Audi, A., Setiyantara, Y., Astriawati, N., & Suganjar, S. (2021). EVALUASI PELAKSANAAN INERT GAS SYSTEM (IGS) PADA KAPAL TANKER (Studi Kasus Di Kapal MT. Winson No.5 Milik Perusahaan Winson Oil Singapore). *Jurnal Sains Dan Teknologi Maritim*, 21(2), 126. <https://doi.org/10.33556/jstm.v2i12.276>
- Consejería de Educación. Junta de Castilla y León. (2020). *Protocolo de Prevención y Organización Del Regreso a La Actividad Lectiva En Los Centros Educativos de Castilla y León Para El Curso Escolar 2020/2021*, 2, 1–19.
- Guntoro, H., Agus Muslim, J., Aries Maulana, H., Enggar Pinardi, M., & Englan Maliansyah, A. (2022). Optimalisasi Perawatan Sistem Gas Lembam Guna Mencegah Terjadinya Kebakaran dalam Penanganan Muatan. *Journal Marine Inside*, 1(1), 12–30. <https://doi.org/10.56943/ejmi.v1i1.5>
- Kolegaev, M., & Brazhnik, I. (2024). Improvement of the process of preparing cargo tanks of crude oil tankers for cargo operations. *Technology Audit and Production Reserves*, 6(1(80)), 36–40. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.318534>
- Kurnianing, D., Politeknik, S., Semarang, I. P., Transelasi, F., Rohmah, N., Ilmu, P., Semarang, P., Yoga Pratama, A., Dian, o, Sari, K., & Transelasi, o Fajar. (2024). Alfian Yoga Pratama Peningkatan Sistem Kerja Inert Gas dalam Proses Penanganan Muatan di MT. Nusa Merdeka. *Seminar Nasional Transportasi Dan Keselamatan*, 1, 1–6.
- Matieiko, O. (2024). Selection of optimal schemes for the inerting process of cargo tanks of gas carriers. *Technology Audit and Production Reserves*, 4(1(78)), 43–50. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.310699>
- Silva, S., Seno, A., & Hermanto, A. (2022). Kinerja Inert Gas Generator Untuk Mendapatkan Oksigen Konten 3% Pada Gas Lembam. *Jurnal Sains Teknologi Transportasi Maritim*, 4(1), 7–13. <https://doi.org/10.51578/j.sitektransmar.v4i1.43>
- STAN, L.-C., & FAITAR, C. (2023). “Performance Analysis of Inert Gas Plant With Scrubber Using Ansys for a Vlcc Ship.” *Journal of Marine Technology and Environment*, 1, 54–61. <https://doi.org/10.53464/jmte.01.2023.09>
- Susilowati, S. E. (2015). Inert Gas System Kapal Motor Tanker Gandini. *Journal WIDYA Eksakta*, 34(September).
- Thomas, M., & Skjøng, R. (2009). Cost benefit analysis of inert gas systems for chemical and product tankers. *Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering - OMAE*, 2(January 2009), 651–660. <https://doi.org/10.1115/OMAE2009-79919>
- Yazir, D., Sahin, B., & Alkac, M. (2021). Selection of an Inert Gas System for the Transportation of Direct Reduced Iron. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/8529724>