

ANALISIS PENYEBAB PECAHNYA SELANG SOLENOID SAAT MELAKUKAN PEMBONGKARAN MUATAN DI KAPAL TONASA LINE XIX

Yusuf Bakhtiar¹, Endang Lestari², Ade Chandra³

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

koyarsanjaya2003@gmail.com

ABSTRACT

Solenoid hoses are critical components in the hydraulic and pneumatic systems of bulk cement carriers, as they channel fluid pressure to actuators and valves during the unloading process. On the KM. Tonasa Line XIX, solenoid hoses frequently rupture during unloading, disrupting the smooth flow of operations. This study aims to identify the causes of solenoid hose ruptures and propose preventive measures. The study employed a qualitative descriptive method using a case study approach. Data were collected through observations during sea trials, interviews with the chief officer and crew members, documentation, and a literature review. Data analysis was conducted using the Miles and Huberman interactive model, which includes data reduction, data presentation, and drawing conclusions. The results of the study indicate that solenoid hose failure is caused by a combination of system pressure exceeding safe operational limits due to the non-gradual opening of valves, degradation of hose material that has exceeded its service life, and the suboptimal implementation of preventive maintenance. Additionally, a lack of monitoring of pressure indicators during the loading and unloading process further increases the risk of failure. Recommended preventive measures include routine inspections using checklists, periodic hose replacement based on service life, gradual valve operation, and the installation of pressure relief valves to maintain stable system pressure. Implementing these measures can improve the reliability of the loading and unloading system, reduce the potential for damage, and support vessel safety and operational efficiency.

Keywords: Cargo Unloading, Human Error, Pneumatic System, Preventive maintenance, Solenoid Hose.

ABSTRAK

Selang solenoid merupakan komponen penting dalam sistem hidrolik dan pneumatik pada kapal pengangkut semen curah karena berfungsi menyalurkan tekanan fluida menuju aktuator dan katup pada proses pembongkaran muatan. Di KM. Tonasa Line XIX sering terjadi pecahnya selang solenoid saat pembongkaran, sehingga mengganggu kelancaran operasi. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi penyebab pecahnya selang solenoid serta upaya pencegahannya. Penelitian menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan pendekatan studi kasus. Data diperoleh melalui observasi selama praktik laut, wawancara dengan *chief officer* dan awak kapal, dokumentasi, serta studi pustaka. Analisis data dilakukan menggunakan model interaktif Miles dan Huberman yang meliputi reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerusakan selang solenoid disebabkan oleh kombinasi tekanan sistem yang melebihi batas operasional aman akibat pembukaan valve yang tidak bertahap, degradasi material selang yang telah melewati usia pakai, serta belum optimalnya penerapan *preventive maintenance*. Selain itu, kurangnya pengawasan terhadap indikator tekanan selama proses bongkar muat turut meningkatkan risiko kerusakan. Upaya pencegahan yang direkomendasikan meliputi inspeksi rutin menggunakan checklist, penggantian selang secara berkala sesuai usia pakai, pengoperasian valve secara bertahap, serta pemasangan *pressure relief valve* untuk menjaga kestabilan tekanan sistem. Penerapan langkah-langkah tersebut mampu meningkatkan keandalan sistem bongkar muat, mengurangi potensi kerusakan, serta mendukung keselamatan dan efisiensi operasional kapal.

Kata Kunci: Bongkar Muat, *Human Error*, *Preventive maintenance*, Selang Solenoid, Sistem Pneumatik.

A. Pendahuluan

Industri pelayaran memegang peranan vital dalam perekonomian global sebagai penghubung perdagangan antarnegara, dan kelancaran operasional kapal sangat

bergantung pada keandalan sistem pembongkaran muatan. Pada kapal pengangkut semen curah modern, proses ini umumnya mengandalkan tenaga fluida hidrolik dan pneumatik untuk menggerakkan *gate/slide valve*,

aktuator, dan perangkat kendali lain yang mengatur aliran material dari silo ke fasilitas penerima di dermaga. Dalam arsitektur tersebut, solenoid valve berperan sebagai sakelar otomatis yang mengatur suplai media bertekanan ke aktuator, sementara selang solenoid menjadi media penghantar utama tekanan dari manifold menuju komponen akhir sehingga menjadi titik yang jika gagal akan menghentikan proses bongkar muat sekaligus memunculkan risiko keselamatan kerja.

Standar internasional ISO 4413 (hidrolik) dan ISO 4414 (pneumatik), menegaskan bahwa sistem tenaga fluida harus dirancang dan dipelihara dengan memperhitungkan seluruh bahaya signifikan, mencakup pemilihan komponen sesuai rating tekanan, penerapan pengaman tekanan seperti relief valve, serta tata letak yang memudahkan inspeksi. Ketidakpatuhan terhadap prinsip ini meningkatkan probabilitas burst pada selang ketika sistem bekerja pada beban puncak, sebagaimana yang terjadi saat proses *unloading*. KM. Tonasa Line XIX, salah satu armada PT. Tonasa Lines, tidak terlepas dari persoalan ini: berdasarkan catatan

perawatan kapal, *trouble* pecahnya selang solenoid berulang kali terjadi saat pembongkaran muatan, menyebabkan kerugian waktu dan biaya sekaligus berpotensi mengganggu jadwal pelayaran.

Meskipun kejadian ini berulang, pemahaman mendalam mengenai penyebabnya masih terbatas dan kajian yang ada umumnya membahas komponen hidrolik/pneumatik secara terpisah dari konteks operasional kapal semen curah. Banyak faktor yang berpotensi berkontribusi mulai dari kualitas material selang, usia dan kondisi pakai, tekanan kerja sistem, prosedur operasional, hingga praktik pemeliharaan namun belum ada analisis komprehensif yang mengaitkan seluruh faktor tersebut secara spesifik pada kasus KM. Tonasa Line XIX. Kesenjangan inilah yang mendasari penelitian ini.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengidentifikasi penyebab pecahnya selang solenoid saat pembongkaran muatan di KM. Tonasa Line XIX, dengan menggabungkan data observasi lapangan, wawancara dengan perwira kapal, dan telaah standar teknis yang berlaku. Hasil penelitian ini

diharapkan memberikan wawasan yang bermanfaat bagi PT. Tonasa Lines dalam meningkatkan keandalan sistem hidrolik, mengurangi biaya perawatan, dan meningkatkan keselamatan kerja, sekaligus menjadi referensi bagi perusahaan pelayaran semen curah lain yang menghadapi persoalan serupa.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian kualitatif deskriptif dengan pendekatan studi kasus, bertujuan memahami dan mendeskripsikan secara mendalam mengapa trouble pecahnya selang solenoid terjadi di KM. Tonasa Line XIX dari perspektif para pelaku di lapangan, tanpa menguji hipotesis. Unit analisis penelitian ini adalah penyebab pecahnya selang solenoid selama proses bongkar muat, yang ditelaah dari tiga aspek utama: faktor teknis (kondisi dan kinerja peralatan), faktor manusia (peran operator dan pengambil keputusan), dan faktor prosedur (kepatuhan terhadap SOP dan pemeliharaan).

Populasi penelitian adalah seluruh awak kapal KM. Tonasa Line XIX yang terlibat dalam proses bongkar muat dan pemeliharaan

sistem hidrolik, berjumlah 22 orang berdasarkan data manifest dan struktur organisasi kapal. Sampel dipilih secara purposive, difokuskan pada awak kapal yang memiliki keterlibatan langsung dengan sistem hidrolik dan proses bongkar muat, dengan *chief officer* sebagai informan utama karena memegang tanggung jawab atas muatan dan alat pemuatan di atas kapal.

Pengumpulan data dilakukan melalui empat teknik. Observasi partisipatif dilakukan dengan mengamati langsung kejadian dan gejala kerusakan selang solenoid selama praktik laut. Wawancara dilakukan secara semi-terstruktur dengan *chief officer* dan awak kapal terkait untuk menggali pengetahuan mereka mengenai penyebab dan penanganan kerusakan. Dokumentasi dikumpulkan dari catatan SOP serta foto/rekaman selama proses perbaikan dan penggantian selang. Studi pustaka dilakukan untuk memperoleh landasan teori pendukung dari buku, jurnal, dan dokumen teknis terkait sistem pneumatik, selang solenoid, dan *preventive maintenance* di kapal.

Data yang terkumpul dianalisis menggunakan model interaktif Miles dan Huberman (2014), yang terdiri atas tiga tahapan berulang. Reduksi data dilakukan dengan memilah dan mengategorikan data mentah hasil wawancara, observasi, dan dokumen ke dalam kelompok faktor tekanan, faktor material, dan faktor *human error*. Penyajian data dilakukan dalam bentuk naratif dan tabel perbandingan antara SOP dengan praktik aktual di lapangan, termasuk pemetaan akar masalah menggunakan diagram *fishbone* (manusia, mesin, metode, material, lingkungan). Penarikan kesimpulan dilakukan dengan memverifikasi temuan awal terhadap seluruh data yang tersedia untuk menghasilkan deskripsi mendalam mengenai akar penyebab utama pecahnya selang solenoid beserta rekomendasi pencegahannya.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

KM. Tonasa Line XIX berbendera Indonesia dengan *port registry* Makassar, memiliki panjang keseluruhan 112,27 meter dan lebar 24 meter, dengan kapasitas muatan sekitar 8.000-8.200 ton semen tergantung permintaan. Kecepatan pembongkaran kapal ini mencapai

150 ton/jam melalui satu jalur pembongkaran, dengan dua jalur pembongkaran tersedia di sisi kanan dan kiri kapal.

Pada tanggal 28 Oktober 2024, saat kapal melakukan *voyage* 029 dari Samarinda menuju Pelabuhan Biringkassi, dilakukan pemeriksaan terhadap sistem bongkar muat dan ditemukan salah satu selang solenoid pada *dust collector* mengalami pecah. Selang tersebut kemudian diganti oleh *chief officer* bersama bosun dan cadet. Pengamatan menunjukkan bahwa tekanan udara pada saat bongkar muat kerap melebihi batas normal operasional, yaitu di atas 4 bar, sehingga selang menerima beban tekanan berlebih secara terus-menerus. Selain faktor tekanan, banyak selang yang digunakan telah melewati usia pakai, ditandai dengan pengerasan material, penurunan elastisitas, dan munculnya retakan kecil pada lapisan luar.

Preventive maintenance terhadap selang solenoid ditemukan belum dilakukan secara maksimal: pemeriksaan masih bersifat visual tanpa jadwal penggantian yang tetap, dan penggantian selang umumnya baru dilakukan setelah kerusakan

terjadi, bukan berdasarkan usia pakai atau jam kerja. Pada aspek manusia, ditemukan bahwa operator dalam beberapa kondisi membuka valve secara langsung tanpa tahapan bertahap, sehingga memicu *pressure surge* (lonjakan tekanan), diperburuk oleh kurangnya pengawasan terhadap indikator tekanan pada panel HMI.

Hasil wawancara dengan *chief officer* menguatkan temuan observasi tersebut. Tekanan kerja yang direkomendasikan berada pada kisaran 3,5–4 bar, namun pada tahap awal bongkar muat (*start-up*) kerap terjadi lonjakan tekanan akibat pembukaan valve yang cepat tanpa tahapan bertahap. Selang yang telah digunakan lebih dari dua tahun cenderung mengalami penurunan elastisitas dan retakan mikro akibat kombinasi paparan suhu tinggi, tekanan berulang, dan kontaminasi debu semen. Penggantian selang kerap tertunda karena keterbatasan suku cadang di kapal, sementara sistem pengaman tekanan seperti *pressure relief valve* belum tersedia di beberapa jalur.

Tabel 1. Ringkasan Faktor Penyebab Pecahnya Selang Solenoid

pada Sistem Bongkar Muat KM.
 Tonasa Line XIX

Aspek	Temuan	Faktor Penyebab
Teknis	Tekanan sistem melampaui batas normal (>4 bar)	Tidak ada <i>pressure relief valve</i> ; pembukaan valve tidak bertahap
Materia l	Selang mengalami degradasi (mengeras, retak mikro)	Usia pakai selang >2 tahun; kontaminasi debu semen dan panas
Pemeli haraan	<i>Preventive maintenance</i> belum optimal	Tidak ada jadwal penggantian terstruktur; inspeksi visual tanpa <i>checklist</i>
Operasi onal/S DM	<i>Human error</i>	Kurangnya pengawasan tekanan pada panel HMI; prosedur pembukaan valve tidak sesuai
Lingku ngan	Percepatan degradasi material	Paparan suhu tinggi; kontaminasi debu semen

Sumber: Data penelitian, 2024

Uji coba penerapan langkah *preventive maintenance* meliputi inspeksi visual rutin setiap dua minggu, penggantian selang berkala setiap 18–24 bulan, pemasangan relief valve, dan pelatihan operator menunjukkan penurunan frekuensi pecahnya selang hingga 50% selama periode uji coba tersebut.:



Gambar 1. KM. Tonasa Line XIX

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pecahnya selang solenoid disebabkan oleh kombinasi faktor teknis dan operasional, sejalan dengan temuan Efendi (2023) yang menekankan bahwa kegagalan komponen hidrolik umumnya dipicu oleh tekanan berlebih, keausan material, dan kurangnya pemeliharaan berkala secara bersamaan, bukan oleh satu penyebab tunggal. Struktur selang yang terdiri atas lapisan dalam, lapisan penguat, dan lapisan luar sebagaimana dijelaskan Astanto dan Himawanto (2019) terbukti menjadi

titik kritis ketika salah satu lapisan mengalami degradasi observasi lapangan memperlihatkan retakan mikro pada lapisan luar serta abrasi akibat partikel semen, yang konsisten dengan teori mengenai kontaminasi dan degradasi material.

Temuan ini juga memperkuat hasil Prasetyo (2021), yang menyatakan bahwa solenoid valve merupakan elemen kontrol vital dalam sistem fluida ketika selang yang terhubung dengannya gagal, seluruh sistem bongkar muat ikut terganggu. Dalam konteks kapal semen curah secara lebih luas, temuan Abe et al. (2023) dan de Freitas et al. (2022) mengenai pentingnya kestabilan tekanan pada sistem pneumatic conveying dan blow tank relevan dengan kondisi di KM. Tonasa Line XIX, di mana lonjakan tekanan saat *start-up* menjadi pemicu utama kegagalan. Temuan Xu et al. (2022) tentang sensitivitas stabilitas tekanan pada sistem *blow tank* fase padat turut menjelaskan mengapa pembukaan valve yang tidak bertahap bukan sekadar tekanan tinggi secara statis menjadi faktor pemicu yang dominan.

Dari sisi faktor manusia dan prosedural, temuan penelitian ini

sejalan dengan Rahman et al. (2025) yang meneliti kapal yang sama dan menemukan bahwa kelalaian SDM berupa komunikasi buruk dan tidak dijalankannya tanggung jawab sesuai prosedur menjadi akar masalah gangguan sistem pemuatan, meskipun peralatan dalam kondisi baik. Pola ini juga konsisten dengan temuan pada jenis kapal lain: Malindo et al. (2025) pada kerusakan ramp door kapal Ro-Ro dan Ilmi et al. (2025) pada pecahnya hydraulic motor *windlass*, keduanya menunjukkan bahwa minimnya perawatan rutin bukan kegagalan desain menjadi penyebab dominan gangguan operasional bongkar muat. Kesamaan pola lintas jenis kapal dan komponen ini memperkuat argumen bahwa persoalan *preventive maintenance* pada sistem hidrolik/pneumatik kapal bersifat sistemik di industri pelayaran domestik, bukan kasus yang unik pada KM. Tonasa Line XIX semata.

Merujuk kerangka Swiss Cheese Model, kegagalan yang teramati di KM. Tonasa Line XIX dapat dipahami sebagai akumulasi celah pada beberapa lapisan pertahanan sekaligus: SOP yang belum sepenuhnya dijalankan (pembukaan

valve tidak bertahap), pengawasan yang belum optimal (indikator tekanan HMI kurang dipantau), serta perawatan yang bersifat reaktif (penggantian selang setelah rusak, bukan *preventif*). Ketika seluruh celah tersebut sejajar, risiko kegagalan sistem meningkat signifikan, sebagaimana tercermin dalam data uji coba yang menunjukkan penurunan kerusakan hingga 50% setelah beberapa celah tersebut ditutup melalui langkah *preventive maintenance* yang lebih ketat.

Penelitian ini memiliki keterbatasan yang perlu diakui. Pertama, data wawancara terutama bersumber dari *chief officer* sebagai informan utama, sehingga perspektif operator lapangan (juru mudi, bosun) belum tergali secara mendalam. Kedua, periode uji coba *preventive maintenance* yang menjadi dasar klaim penurunan 50% relatif singkat sehingga belum menggambarkan efektivitas jangka panjang. Ketiga, penelitian ini bersifat studi kasus tunggal pada satu kapal, sehingga generalisasi terhadap armada semen curah lain perlu dilakukan dengan kehati-hatian.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan studi kuantitatif atau perbandingan multi-kapal untuk menguji signifikansi statistik dari setiap faktor penyebab, serta kajian jangka panjang mengenai efektivitas biaya (*cost-effectiveness*) penerapan *preventive maintenance* terstruktur dibandingkan pendekatan reaktif yang selama ini berjalan. Kajian lanjutan mengenai desain sistem peringatan dini (*early warning system*) berbasis pemantauan tekanan *real-time* juga terbuka untuk dieksplorasi, mengingat keterbatasan pengawasan manual terhadap panel HMI teridentifikasi sebagai salah satu titik lemah dalam penelitian ini.

D. Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa pecahnya selang solenoid pada sistem bongkar muat KM. Tonasa Line XIX disebabkan oleh interaksi tiga kelompok faktor: faktor teknis berupa tekanan sistem yang melampaui batas aman akibat pembukaan *valve* yang tidak bertahap dan absennya *pressure relief valve*; faktor material berupa degradasi selang yang telah melewati usia pakai optimal; serta faktor operasional berupa human error dan penerapan

preventive maintenance yang masih reaktif alih-alih preventif. Ketiga faktor ini tidak berdiri sendiri, melainkan saling memperkuat sebagaimana digambarkan dalam kerangka Swiss Cheese Model, sehingga kegagalan sistem baru dapat dicegah secara efektif apabila celah pada seluruh lapisan pertahanan teknis, material, dan prosedural ditutup secara bersamaan.

Temuan ini mengisi kesenjangan penelitian mengenai kurangnya kajian sistematis atas penyebab kegagalan selang solenoid pada kapal semen curah, sekaligus memberikan kebaruan berupa bukti empiris bahwa kombinasi inspeksi rutin, penggantian selang berkala, dan pemasangan relief valve mampu menurunkan frekuensi kerusakan hingga 50%. Implikasi praktis dari penelitian ini adalah perlunya PT. Tonasa Lines dan perusahaan pelayaran semen curah sejenis menyusun kebijakan *preventive maintenance* yang terstruktur dan terdokumentasi, guna meningkatkan keandalan sistem bongkar muat, mengurangi downtime, serta memperkuat keselamatan kerja awak kapal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abe, M. C., Gelladuga, G. A., Mendoza, C. J., Natavio, J. M., Zabala, J. S., & Lopez, E. C. R. (2023). Pneumatic conveying technology: Recent advances and future outlook. *Engineering Proceedings*, 56(1). <https://doi.org/10.3390/ASEC2023-16267>
- Astanto, J. H., & Himawanto, D. A. (2019). Dasar-dasar sistem kendali pneumatik-hidrolik.
- de Freitas, A. G., de Oliveira, V. F., dos Santos, R. B., Riascos, L. A. M., & Zou, R. (2022). Optimization method for pneumatic conveying parameters and energy consumption performance analysis of a compact blow tank. *Journal of Pressure Vessel Technology*, 144(6). <https://doi.org/10.1115/1.4055111>
- Efendi, A. P. (2023). Analisa kebocoran pompa hidrolik kemudi tipe DZY 25B terhadap kinerja mesin kemudi elektrik hidrolik di kapal MV. Titanium dengan metode HAZOP [Skripsi, Politeknik Pelayaran Surabaya].
- Ilmi, F. A. R., Darmana, E., & Pujiyanto, F. (2025). Analisis pecahnya windlass hydraulic motor di kapal MV. Lumoso Aman. *Jurnal BarTek*, 1(2), 80–87. <https://doi.org/10.6425/b0ab0e44>
- International Organization for Standardization. (2010). ISO 4413: Hydraulic fluid power General rules and safety requirements for systems and their components. ISO.
- International Organization for Standardization. (2010). ISO 4414: Pneumatic fluid power General rules and safety requirements for systems and their components. ISO.
- Malindo, I., Mudiyanto, & Wiyono, T. (2025). Analisis dampak kerusakan ramp door terhadap kinerja bongkar muat Kapal Ro-Ro KM Mutiara Ferindo VII. *Journal Marine Inside*, 7(2), 321–331. <https://doi.org/10.62391/ejmi.v7i2.142>
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). Qualitative

data analysis: A methods
sourcebook (3rd ed.). SAGE
Publications.

Prasetyo, A. (2021). Rancang bangun
pengontrolan solenoid valve
oleh Arduino pada alat peraga
fresh water generator [Skripsi,
Politeknik Ilmu Pelayaran
Semarang].

Rahman, M. R., Rachman, S., &
Ridwan, W. (2025). Analisis
faktor penyebab blow tank terisi
selama proses muat di kapal
Tonasa Line XIX. *Jurnal Siber
Transportasi dan Logistik*, 3(2),
103–113.
[https://doi.org/10.38035/jstl.v3i
2](https://doi.org/10.38035/jstl.v3i2)

Syarif, H. U., Sukardin, M. S., &
Pratiwi, C. Z. (2023). Sistem
hidrolik. CV. Gita Lentera.

Wireman, T. (2014). Total productive
maintenance (2nd ed.).
Industrial Press.

Xu, G., Zhang, Q., & Chen, F. (2022).
Discharge stability analysis of top
discharge blow tank in dense-
phase pneumatic conveying
system. *Particulate Science and
Technology*, 40(1), 58–65.
[https://doi.org/10.1080/02726351.
2021.1905122](https://doi.org/10.1080/02726351.2021.1905122)