



Analisis Pengendalian Kebutuhan Material Reparasi Sistem *Flexible Ducting* pada Ruang Akomodasi Kapal MT Musi

Rikky Leonard^{1*}, Alvalo Toto Wibowo², Ovi Prina Gastriani³, Septaviola Dini Utami⁴,
Irkham Fatody Suryawan⁵

¹⁻⁵Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia

Email: rikkyleonard@ppns.ac.id¹, andrinofiar90@gmail.com²

*Penulis Korespondensi: rikkyleonard@ppns.ac.id

Abstract. *This study analyzes material requirement control for the repair of insulated aluminum flexible ducting in the accommodation spaces of MT Musi. The objectives are to determine the required duct size and length, compare the planned requirement with actual field utilization, and formulate a controlled procurement approach for ship HVAC repair. A case study approach was employed by integrating damage inspection, general arrangement drawings, repair lists, room-dimension measurements, heat-load calculations using the Air Handling Unit Calculation method, duct-diameter selection, and verification of the actual material used. Heat loads were determined based on transmission, solar radiation through windows, lighting, equipment, occupants, and humidity control. The predominant forms of damage included joint leakage, deformation, and duct constriction caused by service age and the ship's operating environment. The selected material was an 8-inch flexible duct, corresponding to an airflow requirement range of approximately 200–225 mm and the specifications stated in the repair list. The initial planned length across four decks was 34 m. After applying a 10% allowance, the requirement increased to 37.4 m and was rounded up to 38 m. Measurements of the removed ducting indicated an actual requirement of 36 m, resulting in a difference of 2 m or 5.56%. The integration of engineering calculations, route tracing, and field verification produced a more controlled procurement estimate while reducing the risks of material shortages and excessive waste.*

Keywords: *Flexible Ducting, HVAC Repair, Material Requirement, Ship Accommodation, Ventilation.*

Abstrak. Penelitian ini menganalisis pengendalian kebutuhan material reparasi flexible ducting aluminium berinsulasi pada ruang akomodasi Kapal MT Musi. Tujuan penelitian adalah menentukan ukuran dan kebutuhan panjang ducting, membandingkan kebutuhan perencanaan dengan realisasi lapangan, serta merumuskan pendekatan pengadaan yang terkendali untuk reparasi HVAC kapal. Pendekatan studi kasus menggabungkan inspeksi kerusakan, dokumen general arrangement, repair list, pengukuran dimensi ruang, perhitungan beban panas menggunakan Air Handling Unit Calculation, pemilihan diameter saluran, dan verifikasi material aktual. Beban panas ditentukan dari transmisi, radiasi matahari melalui jendela, pencahayaan, peralatan, personel, dan kontrol kelembapan. Kerusakan dominan berupa kebocoran sambungan, deformasi, dan penyempitan saluran akibat usia pakai serta lingkungan operasi kapal. Material adalah flexible ducting 8 inci, sesuai kelas kebutuhan aliran 200–225 mm dan spesifikasi repair list. Panjang rencana awal pada empat deck adalah 34 m. Setelah toleransi 10%, kebutuhan menjadi 37,4 m dan dibulatkan menjadi 38 m. Pengukuran material lama menunjukkan kebutuhan aktual 36 m, sehingga terdapat selisih 2 m atau 5,56%. Integrasi perhitungan teknis, penelusuran jalur, dan verifikasi lapangan menghasilkan estimasi pengadaan yang lebih terkendali serta mengurangi risiko kekurangan dan pemborosan material.

Kata Kunci: AHUC, Akomodasi Kapal, *Flexible Ducting*, Kebutuhan Material, Reparasi HVAC.

1. LATAR BELAKANG

Sistem pemanas, ventilasi, dan pengondisian udara (HVAC) pada kapal berperan menjaga kenyamanan termal, kelembapan, dan kualitas udara di ruang akomodasi. Menetapkan kondisi desain dan dasar perhitungan ventilasi serta pengondisian udara untuk ruang akomodasi dan kompartemen tertutup kapal. Dalam praktiknya, kebutuhan udara suplai harus disesuaikan dengan panas yang masuk dari lingkungan luar, ruang bersebelahan, peralatan, pencahayaan, dan aktivitas personel. Perhitungan yang terlalu rendah berisiko menurunkan

kenyamanan dan kualitas udara, sedangkan estimasi berlebihan meningkatkan ukuran sistem, kebutuhan material, dan beban energi (Barone et al., 2025).

Flexible ducting banyak digunakan pada jalur distribusi udara di ruang kapal karena mudah diarahkan mengikuti geometri struktur, ringan, dan relatif cepat dipasang pada ruang yang terbatas. Meskipun demikian, material ini dapat mengalami kebocoran sambungan, robek, tertekan, terlipat, atau menyempit akibat usia pakai, getaran, aktivitas perawatan, serta keterbatasan ruang. Kebocoran dan penyempitan menurunkan debit udara efektif, meningkatkan rugi tekanan, dan dapat menaikkan kebutuhan daya kipas. Kajian tentang kebocoran saluran dan optimasi ventilasi menunjukkan bahwa kualitas sambungan serta ketepatan diameter merupakan variabel penting bagi kinerja sistem (Menéndez et al., 2023).

Kapal MT Musi merupakan kapal tanker dengan ruang akomodasi pada beberapa *deck* yang memerlukan penggantian *flexible ducting* aluminium berinsulasi. Tantangan pekerjaan reparasi bukan hanya menentukan diameter yang memenuhi kebutuhan aliran udara, tetapi juga mengendalikan jumlah material yang dibeli agar cukup untuk jalur pemasangan tanpa menimbulkan kelebihan yang tidak produktif. Estimasi yang hanya mengandalkan *repair list* dapat berbeda dari kondisi aktual karena perubahan rute, kelonggaran pemasangan, kebutuhan sambungan, dan kondisi material lama yang baru terlihat setelah pembongkaran.

Penelitian ini diarahkan untuk menentukan ukuran dan kebutuhan panjang *flexible ducting* pada ruang akomodasi MT Musi, membandingkan kebutuhan perencanaan dengan realisasi lapangan, dan merumuskan pendekatan pengendalian material untuk reparasi HVAC kapal. Kebaruan praktis penelitian terletak pada integrasi perhitungan beban panas, pembacaan jalur pada *general arrangement*, alokasi material per *deck*, toleransi instalasi, serta validasi berdasarkan material lama yang dibongkar.

2. KAJIAN TEORITIS

Sistem HVAC dan *Flexible Ducting* pada Kapal

Sistem HVAC ruang akomodasi harus memenuhi kebutuhan kenyamanan termal dan kualitas udara pada kondisi operasi kapal yang berubah. Kebutuhan udara dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, jumlah personel, panas dari peralatan, dan karakteristik ruang. Penelitian pada kapal penumpang menekankan pentingnya pemantauan kualitas udara dan kinerja ventilasi, sedangkan pengembangan *digital twin* dan simulasi dinamis diarahkan untuk meningkatkan efisiensi energi sistem HVAC kapal (Barone et al., 2025) (Buonomano, Del Papa, Francesco Giuzio, Maka, & Palombo, 2023) (Cheung et al., 2025).

Flexible ducting memberikan keuntungan pada ruang sempit karena mudah mengikuti perubahan arah jalur dan lebih cepat dipasang dibandingkan saluran yang permanen. Namun, deformasi dan kebocoran dapat menurunkan luas aliran efektif serta menambah tekanan. Oleh karena itu, pemilihan material perlu mempertimbangkan dimensi, kondisi insulasi, kualitas sambungan, rute pemasangan, dan potensi gangguan mekanis selama operasi dan perawatan (Dai et al., 2021) (ZHAO & SHINODA, 2024).

Beban Panas, Aliran Udara, dan Pemilihan Diameter

Beban panas sensibel ruang berasal dari transmisi melalui sekat dan *deck*, radiasi matahari melalui jendela, pencahayaan, peralatan, dan personel. Beban laten terutama berasal dari personel serta udara luar. Setelah komponen beban dihitung, kebutuhan aliran udara suplai ditentukan dari beban sensibel dan beda temperatur udara ruang dengan udara suplai. Nilai aliran udara kemudian dipetakan pada kurva desain saluran untuk menentukan diameter yang bekerja pada rentang kecepatan yang direkomendasikan (Barone et al., 2025) (H. Liu, Zhan, Lin, & Gong, 2024).

Pemilihan ukuran komersial tidak hanya mengikuti hasil perhitungan teoritis, tetapi juga perlu diselaraskan dengan spesifikasi *repair list*, ketersediaan material, kompatibilitas sambungan, dan kondisi jalur eksisting. Keseragaman ukuran dapat menyederhanakan pengadaan dan kontrol persediaan, tetapi pemeriksaan kecepatan udara serta rugi tekanan tetap diperlukan agar ukuran yang dipilih tidak diterapkan secara universal tanpa verifikasi kasus (Tanadecha & Khaothong, 2025a) (Xie & Li, 2022) (Wu, Cai, & Chen, 2021).

Pengendalian Kebutuhan Material Reparasi

Pengendalian material reparasi membedakan kebutuhan dasar hasil penelusuran jalur, kebutuhan setelah *allowance* instalasi, kuantitas pengadaan yang dibulatkan, dan penggunaan aktual di lapangan. General arrangement memberikan informasi rute dan lokasi ruang, *repair list* menunjukkan lingkup kontraktual, sedangkan inspeksi lapangan mengoreksi ketidakpastian setelah plafon dan sambungan dibuka. Integrasi sumber tersebut diperlukan untuk menekan risiko kekurangan material dan pembelian berlebih (Tanadecha & Khaothong, 2025b).

3. METODE PENELITIAN

Desain, Lokasi, dan Sumber Data

Penelitian menggunakan desain studi kasus pada pekerjaan reparasi *flexible ducting* di ruang akomodasi MT Musi yang dilaksanakan di PT Yasa Wahana Tirta Samudera, Semarang. Data primer diperoleh melalui inspeksi, pengukuran jalur, dokumentasi pembongkaran, dan diskusi dengan personel pelaksana. Data sekunder meliputi *general arrangement*, *repair list*,

ukuran utama kapal, dimensi ruang, serta data desain HVAC. Perhitungan mengacu pada prinsip beban pendinginan dan desain saluran (Barone et al., 2025).

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal MT Musi

Parameter	Nilai
Panjang keseluruhan (LOA)	90 m
Panjang antara garis tegak (LPP)	84 m
Lebar moulded	15,2 m
Tinggi moulded	7,2 m
Sarat	5 m
Kecepatan dinas	12 knot
Deadweight	3.587 ton

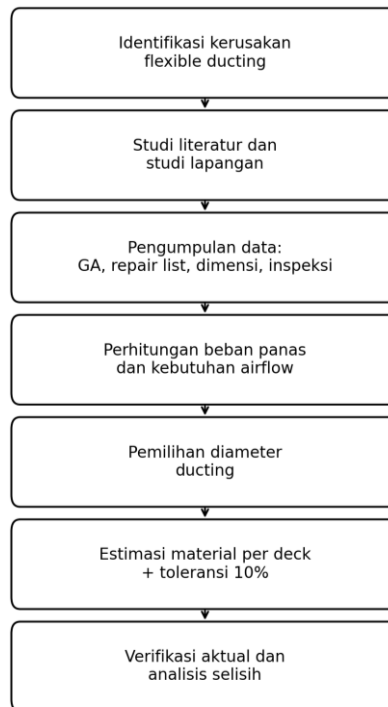
(Sumber: Dokumen proyek PT. Yasa Wahana Tirta Samudera)



Gambar 1. Kapal MT Musi sebagai Objek Studi (dokumen proyek PT YWTS)

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dimulai dari identifikasi kerusakan dan lokasi penggantian, dilanjutkan dengan studi literatur serta studi lapangan. Setelah data dinyatakan cukup, dilakukan perhitungan beban panas, penentuan *airflow*, pemilihan diameter, estimasi panjang per *deck*, penambahan toleransi instalasi, dan verifikasi terhadap panjang material aktual. Validasi dilakukan melalui triangulasi antara dokumen perusahaan, hasil pengukuran, dan keterlibatan langsung peneliti pada proses reparasi.



Gambar 2. Diagram Alir Analisis Kebutuhan Material Reparasi *Flexible Ducting*

Perhitungan Beban Panas dan Aliran Udara

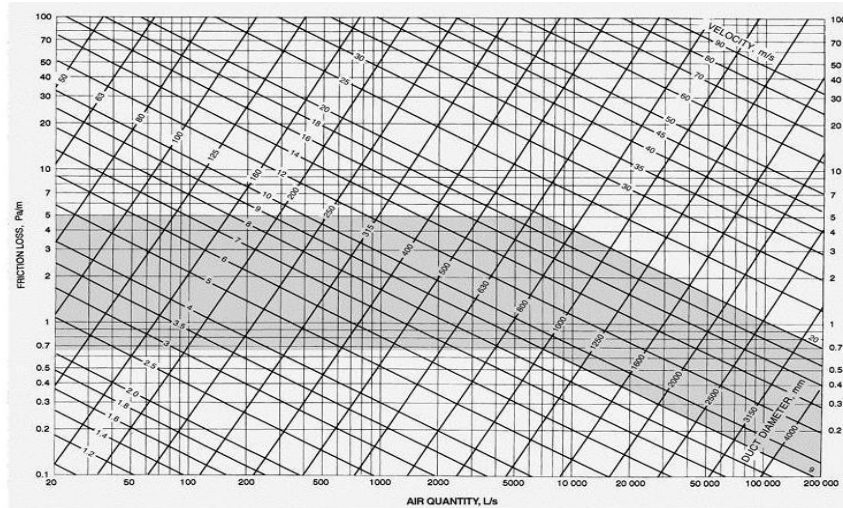
Beban panas sensibel ruang dihitung dari transmisi melalui sekat dan *deck*, beban matahari pada jendela, pencahayaan, peralatan, dan personel. Beban laten terutama berasal dari personel dan udara luar. Secara umum, beban transmisi dihitung menggunakan Persamaan (1), dengan U sebagai koefisien perpindahan panas, A sebagai luas bidang, dan ΔT sebagai beda temperatur.

$$Q_{\text{trans}} = U \times A \times \Delta T$$

Setelah seluruh komponen dijumlahkan, kebutuhan aliran udara suplai dihitung dari beban sensibel ruang menggunakan Persamaan (2). Konstanta 1,08 digunakan untuk satuan imperial, Q_s dinyatakan dalam Btu/jam, dan ΔT merupakan beda temperatur udara ruang dan udara suplai.

$$\text{CFM} = Q_s / (1,08 \times \Delta T)$$

Airflow kemudian dipetakan pada kurva desain duct untuk menentukan diameter yang berada pada zona kecepatan yang direkomendasikan. Karena material tersedia dalam ukuran komersial, hasil kurva diselaraskan dengan spesifikasi *repair list*. Dalam studi ini dipilih *flexible ducting* aluminium berinsulasi nominal 8 inci; secara desain, kebutuhan berada pada kelas sekitar 200–225 mm.



Gambar 3. Kurva Pemilihan Diameter *Ducting* Berdasarkan *Airflow* dan Kecepatan (Barone et al., 2025)

Estimasi dan Pengendalian Material

Panjang rencana ditentukan dengan menelusuri jalur *flexible ducting* pada *general arrangement* dan mengelompokkan kebutuhan menurut *deck*. Kebutuhan dasar merupakan penjumlahan panjang jalur pada ruang yang direparasi. Untuk mengakomodasi sambungan, pemotongan, perubahan arah, serta ketidakpastian lapangan, diterapkan toleransi 10% sebagaimana Persamaan (3).

$$L_{\text{rencana}} = L_{\text{dasar}} \times (1 + 10\%)$$

Kebutuhan aktual ditentukan dari rekapitulasi panjang material lama yang dibongkar dan verifikasi rute penggantian. Selisih relatif dihitung terhadap kebutuhan aktual menggunakan Persamaan (4).

$$\text{Selisih (\%)} = [(L_{\text{rencana}} - L_{\text{aktual}}) / L_{\text{aktual}}] \times 100\%$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Kerusakan dan Cakupan Reparasi

Inspeksi menunjukkan bahwa kerusakan *flexible ducting* terutama berupa kebocoran pada sambungan, sobekan atau lapisan aluminium yang tidak lagi rapat, deformasi akibat tertekan, serta penyempitan luas aliran (Wu et al., 2021) (Zmrhal & Boháč, 2021). Kondisi tersebut dapat menghasilkan distribusi udara yang tidak merata dan meningkatkan rugi tekanan. Temuan ini konsisten dengan kajian kebocoran saluran dan optimasi ventilasi yang menempatkan kebocoran sebagai salah satu mode degradasi penting karena berdampak pada *airflow* dan konsumsi energi (Menéndez et al., 2023) (Okonkwo, Suominen, Romanoff, & Musharraf, 2026).

Cakupan reparasi dibagi menjadi empat zona utama, yaitu Main Deck, Poop Deck, Boat Deck, dan Bridge Deck. Pengelompokan per *deck* memudahkan kontrol pengadaan dan pelaksanaan karena material dapat dialokasikan sesuai urutan pekerjaan. Pendekatan ini juga memungkinkan penyimpangan panjang pada satu area segera diidentifikasi sebelum pekerjaan berpindah ke *deck* berikutnya.



Gambar 4. Contoh *Flexible Ducting* Lama Hasil Pembongkaran di Ruang Akomodasi.

Penentuan Diameter *Ducting*

Contoh perhitungan pada ruang Pump Man menunjukkan bahwa beban transmisi dominan berasal dari *deck* yang berbatasan dengan ruang mesin. Beban sensibel selanjutnya ditambah dengan beban pencahayaan, jendela, peralatan, dan personel (Mihai & Rusu, 2023) (Tawackolian & Kriegel, 2022). Dengan pendekatan Air Handling Unit Calculation, kebutuhan *airflow* ruang diperoleh dan dipetakan pada kurva diameter. Rekapitulasi seluruh ruang menunjukkan bahwa kebutuhan berada pada rentang yang dapat dilayani ukuran komersial 8 inci sesuai *repair list*. Pemilihan ukuran seragam juga menyederhanakan pengadaan, sambungan, dan kontrol persediaan (ZHAO & SHINODA, 2024) (Xie & Li, 2022).

Keseragaman ukuran tetap harus diimbangi pemeriksaan kecepatan udara dan tekanan. Studi ventilasi kapal menekankan bahwa pengaturan *airflow* perlu mempertimbangkan okupansi, kondisi lingkungan, kualitas udara, konsumsi energi, dan kenyamanan termal (Cheung et al., 2025) (Li et al., 2025). Oleh karena itu, ukuran 8 inci dalam penelitian ini merupakan hasil spesifik kasus berdasarkan jalur dan beban ruang MT Musi, bukan ukuran universal untuk seluruh kapal.

Distribusi Kebutuhan Material per Deck

Tabel 2. Rekapitulasi Kebutuhan Dasar per Deck

Area	Ruang Utama	Panjang
Main Deck	Pump Man dan Spare Room	12 m
Poop Deck	Hospital dan Crew Mess	6 m
Boat Deck	Store, Quarter Master, dan 3rd Officer	6 m
Bridge Deck	1st/2nd/Chief Engineer, Office, dan Captain	10 m
Total	—	34 m

(Sumber: Hasil Penelusuran Jalur pada General Arrangement dan Verifikasi Ruang)

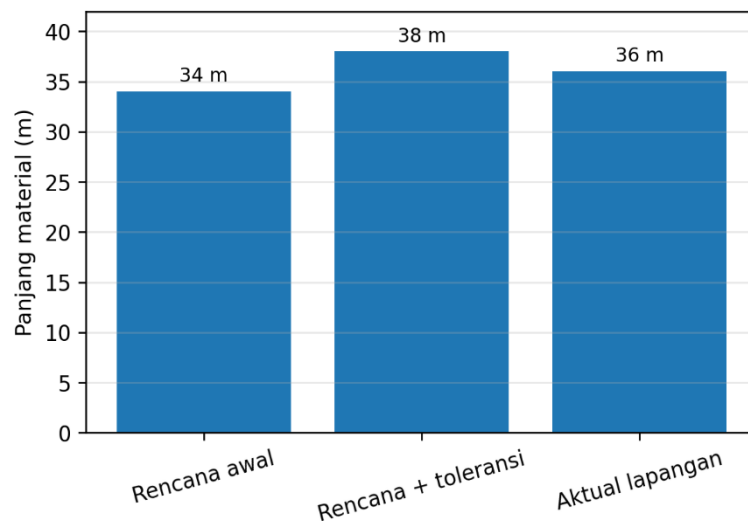
Kebutuhan dasar 34 m berasal dari Main Deck 12 m, Poop Deck 6 m, Boat Deck 6 m, dan Bridge Deck 10 m. Main Deck menjadi area terbesar karena jalur Pump Man dan Spare Room masing-masing membutuhkan sekitar 6 m. Setelah toleransi 10%, kebutuhan menjadi 37,4 m. Pengadaan dibulatkan menjadi 38 m agar mengikuti satuan pemesanan dan menyediakan cadangan minimal untuk pemotongan serta sambungan.

Perbandingan Perencanaan dan Aktual

Tabel 3. Perbandingan Kebutuhan Material

Komponen	Panjang	Keterangan
Rencana dasar	34 m	Hasil penelusuran jalur
Toleransi 10%	3,4 m	Cadangan instalasi
Rencana pengadaan	38 m	37,4 m dibulatkan
Aktual lapangan	36 m	Hasil pembongkaran/verifikasi
Selisih	2 m	5,56% terhadap aktual

(Sumber: Hasil analisis dan verifikasi lapangan)



Gambar 5. Perbandingan kebutuhan rencana dan kebutuhan aktual lapangan.

Perbandingan menunjukkan bahwa rencana pengadaan 38 m lebih tinggi 2 m daripada kebutuhan aktual 36 m. Persentase selisih sebesar 5,56% masih berada di bawah toleransi 10% yang diterapkan. Artinya, toleransi berhasil mencegah potensi kekurangan material, tetapi tidak seluruh cadangan terpakai. Sisa 2 m dapat dipertahankan sebagai stok untuk perbaikan kecil

dengan syarat penyimpanan menjaga lapisan insulasi dan aluminium dari kelembapan atau deformasi.

Hasil ini juga memperlihatkan pentingnya membedakan kebutuhan dasar, kebutuhan pengadaan, dan penggunaan aktual. Dalam sistem pengendalian material, 34 m merupakan hasil *take-off* jalur, 37,4 m merupakan hasil setelah *allowance*, 38 m merupakan kuantitas pengadaan yang dibulatkan, dan 36 m merupakan kuantitas yang tervalidasi di lapangan.

Implikasi terhadap Pengendalian Reparasi HVAC Kapal

Pengendalian material yang efektif memerlukan empat lapis verifikasi. Perhitungan beban panas memastikan diameter tidak dipilih hanya berdasarkan material eksisting (Wang et al., 2025). General arrangement menyediakan jalur dan lokasi ruang, *repair list* memastikan lingkup kontraktual, sedangkan pengukuran lapangan mengoreksi ketidakpastian jalur, sambungan, dan perubahan kondisi setelah pembongkaran. Integrasi keempat sumber tersebut mengurangi risiko kekurangan material sekaligus menekan pembelian berlebih (Gao et al., 2021).

Dalam konteks yang lebih luas, pengembangan HVAC kapal semakin diarahkan pada pemantauan *real-time*, simulasi dinamis, dan optimasi energi (Barone et al., 2025) (Buonomano et al., 2023) (Cheung et al., 2025) (Kumar et al., 2025) (Li et al., 2025) (C. Liu, Su, & Zhang, 2023) (Wu et al., 2021). Meskipun penelitian ini menggunakan perhitungan statis, basis data panjang, diameter, lokasi, dan kondisi kerusakan dapat dikembangkan menjadi basis digital untuk perawatan. Dokumentasi material per *deck* dapat dihubungkan dengan inspeksi periodik, histori kebocoran, dan indikator *airflow* agar penggantian berikutnya dapat diprediksi lebih awal.

Keterbatasan penelitian adalah fokus pada *flexible ducting* aluminium berinsulasi dan belum memasukkan biaya, waktu kerja, rugi tekanan jaringan secara terperinci, maupun pengukuran *airflow* setelah pemasangan. Verifikasi aktual menggunakan material hasil pembongkaran sehingga akurasi tetap dipengaruhi deformasi dan cara pengukuran. Penelitian lanjutan perlu menguji debit udara sebelum dan sesudah reparasi, membandingkan beberapa jenis ducting, serta mengevaluasi biaya siklus hidup.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan perhitungan beban panas, kebutuhan *airflow*, dan spesifikasi *repair list*, *flexible ducting* aluminium berinsulasi untuk ruang akomodasi MT Musi dipilih pada ukuran nominal 8 inci. Kebutuhan dasar hasil penelusuran jalur adalah 34 m, terdiri atas Main Deck 12 m, Poop Deck 6 m, Boat Deck 6 m, dan Bridge Deck 10 m. Setelah toleransi 10%, kebutuhan

menjadi 37,4 m dan dibulatkan menjadi 38 m. Kebutuhan aktual berdasarkan material lama yang dibongkar dan verifikasi lapangan adalah 36 m, sehingga terdapat selisih 2 m atau 5,56%.

Metode integratif yang memadukan Air Handling Unit Calculation, *general arrangement*, *repair list*, pembagian per *deck*, toleransi instalasi, dan verifikasi lapangan memberikan estimasi yang terkendali. Pada penerapan berikutnya, pengukuran rute disarankan dilakukan setelah akses plafon dibuka, material direkap per *deck*, dan sisa pengadaan dicatat sebagai stok. Penelitian lanjutan perlu memasukkan pengukuran *airflow* dan tekanan, analisis biaya-waktu, serta perbandingan *flexible ducting* aluminium, plastik, dan aluminium berinsulasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya dan PT Yasa Wahana Tirta Samudera atas dukungan data, akses lapangan, serta informasi teknis yang digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR REFERENSI

- Barone, G., Buonomano, A., Del Papa, G., Giuzio, G. F., Palombo, A., & Russo, G. (2025). Towards sustainable ships: Advancing energy efficiency of HVAC systems onboard through digital twin. *Energy*, 317, 134435. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.134435>
- Buonomano, A., Del Papa, G., Francesco Giuzio, G., Maka, R., & Palombo, A. (2023). Advancing sustainability in the maritime sector: energy design and optimization of large ships through information modelling and dynamic simulation. *Applied Thermal Engineering*, 235, 121359. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121359>
- Cheung, H. Y. W., Kumar, P., Hama, S., Emygdio, A. P. M., Wei, Y., Anagnostopoulos, L., ... Wang, Z. (2025). Monitoring of indoor air quality at a large sailing cruise ship to assess ventilation performance and disease transmission risk. *Science of The Total Environment*, 962, 178286. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.178286>
- Dai, H. K., Huang, W., Fu, L., Lin, C.-H., Wei, D., Dong, Z., ... Chen, C. (2021). Investigation of pressure drop in flexible ventilation ducts under different compression ratios and bending angles. *Building Simulation*, 14(4), 1251–1261. <https://doi.org/10.1007/s12273-020-0737-8>
- Gao, R., Guo, W., Yang, C., Wang, M., Zhang, S., Zhou, H., & Li, A. (2021). Truncation method for calculating the resistance of ventilation air-conditioning duct systems under nonfully developed flow boundary conditions. *Building Simulation*, 14(4), 1237–1249. <https://doi.org/10.1007/s12273-020-0734-y>
- Kumar, P., Hama, S., Cheung, H. Y. W., Hadjichristodoulou, C., Mouchtouri, V. A., Anagnostopoulos, L., ... Siilin, N. (2025). Airborne pathogen monitoring and dispersion modelling on passenger ships: A review. *Science of The Total Environment*, 980, 179571. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179571>

- Li, D., Zeng, J., Bai, Y., Zhang, X., Gu, H., Lu, N., ... Wang, K. (2025). Optimization of Thermal Environment in Cruise Ship Atriums Using CFD Simulation and Air Distribution Strategies. *Energies*, 18(21), 5772. <https://doi.org/10.3390/en18215772>
- Liu, C., Su, Y., & Zhang, D. (2023). Optimal Control Strategy for Ship Cabin's Active Chilled Beam System Using Improved Multi-Objective Salp Swarm Algorithm. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(7), 1396. <https://doi.org/10.3390/jmse11071396>
- Liu, H., Zhan, L., Lin, X., & Gong, Z. (2024). Study of comprehensive comfort evaluation based on fuzzy method in the ship's cabins. *Thermal Science and Engineering Progress*, 53, 102738. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.102738>
- Menéndez, J., Fernández-Oro, J. M., Merlé, N., Galdo, M., Álvarez, L., López, C., & Bernardo-Sánchez, A. (2023). Auxiliary ventilation systems in mining and tunnelling: Air leakage prediction and system design to optimize the energy efficiency and operation costs. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 140, 105298. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2023.105298>
- Mihai, V., & Rusu, L. (2023). CFD Analysis and Wind Tunnel Experiment for Ventilation Ducts with Structural Elements Inside. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(2), 371. <https://doi.org/10.3390/jmse11020371>
- Okonkwo, A. N., Suominen, M., Romanoff, J., & Musharraf, M. (2026). Energy consumption optimization of ship ventilation system using hybrid Extreme gradient boosting and chimp Algorithm. *Energy*, 346, 140332. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2026.140332>
- Tanadecha, P., & Khaothong, K. (2025a). Analysis of the alternative air ductwork by Numerical airflow behavior combined with the New Economic index and standard. *Energy and Built Environment*, 6(5), 941–969. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2024.04.004>
- Tanadecha, P., & Khaothong, K. (2025b). Thermoeconomic analysis of duct works for air-conditioned building in Thailand. *Energy and Built Environment*, 6(1), 80–95. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2023.09.002>
- Tawackolian, K., & Kriegel, M. (2022). Turbulence model performance for ventilation components pressure losses. *Building Simulation*, 15(3), 389–399. <https://doi.org/10.1007/s12273-021-0803-x>
- Wang, Y., Gao, R., Liu, M., Li, A., Tian, Y., & Jing, R. (2025). A method for demand controlled ventilation based on a pressure loss model under conditions of non-fully developed flow. *Building and Environment*, 270, 112521. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112521>
- Wu, B., Cai, W., & Chen, H. (2021). A model-based multi-objective optimization of energy consumption and thermal comfort for active chilled beam systems. *Applied Energy*, 287, 116531. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116531>
- Xie, D., & Li, K. (2022). Comprehensive Evaluation of Thermal Comfort in Ship Cabins: A Case Study of Ships in Yangtze River Basin, China. *Buildings*, 12(10), 1766. <https://doi.org/10.3390/buildings12101766>
- ZHAO, X., & SHINODA, T. (2024). Development of Ventilation System for Ship Accommodation Space Considering the Thermal Comfort Index. *The Journal of Japan Institute of Navigation*, 150(0), 56–65. <https://doi.org/10.9749/jin.150.56>

Zmrhal, V., & Boháč, J. (2021). Pressure loss of flexible ventilation ducts for residential ventilation: Absolute roughness and compression effect. *Journal of Building Engineering*, 44, 103320. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103320>