



Tinjauan Sistematis Literatur: *Trade-Off* antara *Specialization* dan *Flexibility* dalam *Ship Design* serta Dampaknya terhadap *Economic Performance* dan *Operational Utilization*

Sitti Rahmiatin^{1*}, Eliyanti Agus Mokodompit²

¹⁻²Universitas Halu Oleo, Indonesia

*Penulis Korespondensi: sittirahmiatin11@gmail.com

Abstract. It is a challenge for the maritime industry to optimize ship design in order to enhance economic performance and operational utilization by balancing specialization and flexibility. According to a comprehensive analysis of the literature conducted between 2020 and 2025, specialist ships like bulk and container carriers can reach cost reductions of about 30–40% with utilization rates of about 85–92%, although they are also susceptible to fluctuations in the market. However, flexible vessels, also known as multifunctional vessels, have greater capital and operational expenditures but offer stable revenue and good utilization. These disparities can be reduced by implementing digital technologies like artificial intelligence, digital twins, and machine learning, which will improve economic performance by 15% to 20% while reducing fuel and maintenance expenses. As a result, ship owners' risk tolerance, operational needs, and long-term vision all influence investment choices. In order to facilitate better decision-making in the evolution of the maritime industry period, this study proposes a comprehensive strategy combined with the four primary variables.

Keywords: Economic Performance; Flexibility; Operational Utilization; Ship Design; Specialization.

Abstrak. Dalam industri maritim memiliki tantangan dalam menghadapi sebuah permasalahan yaitu mengoptimalkan desain kapal antara specialization dan flexibility dalam meningkatkan economic performance dan operational utilization. Dalam penelitian ini menggunakan tinjauan literatur sistematis dengan studi antara 2020-2025 yang menjelaskan bahwa specialization ship seperti container dan bulk carrier dapat mengoptimalkan biaya sekitar 30-40% dengan tingkat utilisasi sekitar 85-92%, tetapi memiliki kerentanan pada perubahan pasar. Sedangkan pada flexibility vessel (multipurpose vessel) memberikan stabilitas pada pendapatan dan utilisasi yang baik, tetapi memiliki biaya modal dan operasi lebih tinggi. Dengan mengadopsi teknologi digital seperti machine learning, digital twins dan artificial intelligence dapat meminimalisir perbedaan tersebut sehingga meningkatkan economic performance mencapai 15-20% dengan efisiensi pada bahan bakar dan biaya perawatan. Melalui hal tersebut membuat keputusan investasi bergantung pada long-term outlook, operational requirements dan risk tolerance pemilik kapal. Penelitian ini menyarankan pendekatan holistik yang terintegrasi dengan keempat variabel utama untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih informatif dalam perkembangan era industri maritim.

Kata kunci: Desain Kapal; Economic Performance; Flexibility; Operational Utilization; Specialization.

1. LATAR BELAKANG

Dunia kelautan selalu memberikan peluang dalam industri, khususnya pada industri kemaritiman. Industri kemaritiman telah mengalami perkembangan yang sangat signifikan terutama dalam lima tahun terakhir dengan ditandai oleh peningkatan atas permintaan kargo, lonjakan biaya bahan bakar dan tekanan terkait regulasi lingkungan (Adzam et al., 2025). Di mana perusahaan yang bergerak dalam kemaritiman penting memikirkan optimalisasi desain kapal sehingga dapat menyesuaikan dengan perubahan dalam pasar dan memenuhi efisiensi ekonomi dan operasional. Berdasarkan penelitian terbaru yang dimulai sejak 2020 menjelaskan bahwa trade-off memiliki peranan penting dengan specialization dan flexibility pada sebuah desain kapal yang mana kapal yang multipurpose (MPP dan ro-ro) memberikan peningkatan

dalam ketahanan operasional karena dapat melakukan berbagai pelayanan antar segmen kargo jika terjadi gangguan dalam rantai pasok (Lau et al., 2024).

Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh Xu et al, (2025) menjelaskan bahwa penggunaan kapal kontainer dengan metode *modular rapid prototyping* yang telah dikembangkan membuat kebutuhan akan desain yang adaptif menjadi berkurang dan mempersingkat waktu dalam penyesuaian jumlah serta tipe muatan. Pengembangan yang dilakukan terkait *operating cycles* memberikan kemudahan dalam mengukur efisiensi siklus operasi yang mana hal ini dilihat dari frekuensi bongkar-muatan serta memanfaatkan ruang kargo di mana hal ini menjadi salah satu indikator dalam *operational utilization* (Godet et al., 2024). Selain itu, dengan kegiatan observasi sebelumnya menjelaskan bahwa dalam kapal spesialis (kontainer, tanker, dan *bulk carrier*) memiliki keunggulan dalam ekonomi tetapi terdapat kelemahan terkait ketidakstabilan akan permintaan yang terdapat dalam segmen tertentu saja, sedangkan pada kapal fleksibel (MPP, rr-ro, dan *combined carrier*) memiliki kelebihan dalam hal ruang kapal yang beragam dan *operational utilization* yang cukup tinggi dengan dinamika pasar yang terus berubah. Karena hal tersebut, kajian literatur sistematis ini dilakukan untuk menjelaskan dan membandingkan secara empiris dengan didukung oleh teori ekonomi maritim terkait *specialization* dan *flexibility* dalam desain kapal terutama dalam sudut pandang *economic performance* dan *operational utilization* (Adzam, 2025).

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini menggunakan pendekatan sistematis kajian literatur (*systematic literature review*) atau disingkat sebagai SLR, di mana pendekatan ini merupakan pendekatan yang terstruktur dan sistematis dalam menentukan, menilai dan membuat sintesis literatur ilmiah dengan variabel terkait yaitu *specialization* dan *flexibility* dalam desain kapal dengan melihat pengaruhnya dalam *economic performance* dan *operational utilization*. Pendekatan ini dipilih agar memastikan bahwa cakupan penelitian sesuai dengan penelitian yang komprehensif, terukur dan terpercaya dengan melihat penelitian-penelitian terbaru dalam kurun waktu 2020- 2025. Proses penelitian ini terdiri dari beberapa hal penting yaitu dimulai dari menyusun pertanyaan riset yang tepat, menyaring literatur melalui beberapa kriteria dengan basis data seperti google scholar, scopus, *web of science* dan sumber lain relevan yang sesuai dengan penelitian ini. Di mana seluruh tahapan yang dilakukan mengikuti panduan dari PRISMA 2022 yang menjelaskan tahapan seperti transparansi dan akuntabilitas menjadi penting dalam membuat tinjauan literatur sistematis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Literatur Yang Dikaji

Dalam periode tinjauan sistematis yang dilakukan dalam rentang waktu yaitu 2020-2025, diketahui bahwa terdapat 47 total studi yang relevan antara *specialization* dengan *flexibility* pada desain kapal. Pada studi relevan tersebut terdiri dari jurnal akademik, laporan pasar industri, dan publikasi dari organisasi maritim internasional di mana secara garis besar dari literatur yang ada terdapat 65% literatur yang meneliti tentang kapal kargo (*container ships*, *bulk carrier*, dan *multipurpose vessels*) dan 35% meneliti terkait *operational utilization* dan *economic performance* yang dilihat dari berbagai jenis kapal. Dengan pendekatan penelitian ini, diketahui bahwa terdapat 60% penelitian yang menggunakan pendekatan penelitian kuantitatif dalam bentuk studi kasus dengan fokus penelitian yaitu *specialization* dan *flexibility*, 25% penelitian yang menggunakan *systematic literature review* yang berfokus pada *economic performance*, serta 15% sisanya menggunakan penelitian *mix methods approach* dengan fokus penelitian terhadap *operational utilization*. Di mana penjelasan ini sesuai dengan penyampaian (Koukaki & Tei, 2020). Menurut hasil dari 47 tinjauan literatur yang ada, dapat dijelaskan bahwa terdapat 18% penelitian yang spesifik mengintegrasikan antara *holistic assessment* dengan empat variabel yaitu *specialization*, *flexibility*, *economic performance*, dan *operational utilization* yang secara konsisten di mana 82% penelitian yang ada hanya berfokus pada satu hingga dua variabel. Selain itu, dalam analisis terkait *shipbuilding 4.0* menjelaskan bahwa literatur maritim moderen memberikan integrasi antara *ships design research* dan *digital transformation technologies* terutama penggunaan *digital twin*, *artificial intelligence* (AI) dan *big data analytics* dalam meningkatkan optimalisasi *trade-off* terutama antara spesialisasi dengan fleksibilitas di mana perkembangan ini dapat menjadi kesenjangan penelitian yang didukung dengan teknologi terintegrasi (Calvache et al., 2025).

Specialization Dalam Ship Design Dan Ekonomi Performance

Specialization pada *ship design* merupakan sebuah proses dari sebuah perancangan kapal dengan mengoptimalkan beberapa bagian secara spesifik dalam jenis kargo dan rute operasional tertentu seperti kapal *container ships*, *bulk carrier* dan *tanker*. Kapal ini memiliki beberapa fitur khusus dalam memaksimalkan *cargo handling* dengan fungsi tertentu agar meningkatkan *economic of scale* secara signifikan. Pada *container shipping sector* menjelaskan adanya *economic efficiency* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan *bulk shipping*. Hal ini dilihat berdasarkan kapal dengan kapasitas besar yaitu 20.000-24.000 TEU yang memiliki *cost per ton-mile* sekitar 30-40% lebih rendah dengan generasi sebelumnya.

Keunggulan ini disebabkan karena adanya *hull optimization* yang mengurangi *hydrodynamic resistance*, *cargo handling system* yang terintegrasi sampai pada *propulsion technology* canggih berupa *waste heat recovery system* (Salman, 2025). Evaluasi tujuan desain pada *specialized ship* dilakukan untuk menentukan tujuan fungsinya mencakup *cost efficiency* yang berperan penting dalam menyesuaikan *constraint considerations* yang berbeda-beda diberbagai jenis kapal (Kim & Roh, 2024). Di mana lebih dari 5.000 *vessel* telah menerapkan *energi saving technologies (ESTs)* yang terdiri dari 33% *boxship fleet tonnage*, 28% *tanker fleet tonnage*, dan 20% *bulk fleet tonnage* yang mana ini telah dilengkapi ESTs dengan menghasilkan nilai *fuel saving* sebesar 2-10% yang disesuaikan dengan teknologi yang diterapkan (Development, 2023).

Selanjutnya pada segmen *bulk carrier*, *specialization strategy* terbukti efektif yang mana sebagian besar pada *Very Large Ore Carrier (VLOC)* dan *cape-size vessel* memerlukan biaya *capital expenditure* mencapai 100 juta USD. Tetapi *operational expenditure* yang dikeluarkan lebih rendah sekitar 35-40% per unit kargo jika dibandingkan dengan *vessel* pada generasi selanjutnya. Kapal spesialis memiliki *economic performance* yang baik karena dapat mengoptimalkan penggunaan bahan bakar hingga 25-30% melalui *IMO EEDI compliance* dan meminimalkan biaya perawatan karena komponen yang telah terstandarisasi serta meningkatkan keuntungan per *voyage* karena memaksimalkan *cargo capacity utilization* (Limited, 2024). Hal ini didukung oleh penelitian Hasan (2025) terkait pengembangan *machine learning algorithms* dalam memprediksi dan *optimization ships design particular*, diketahui bahwa dengan *optimized design parameters* dapat meningkatkan efisiensi terhadap energi yang digunakan dan mengurangi biaya operasional dengan signifikan. Dengan adanya *specialization* membuat *economic efficiency* menjadi meningkat, tetapi *ship design* ini masih memiliki keterbatasan yaitu rentan terhadap perubahan permintaan pasar dan *limited flexibility* dalam beralih segmen kargo lainnya sehingga dapat menimbulkan *underutilization* dengan kondisi pada yang *volatility*. Hal ini didukung oleh (DataHorizon Research, 2024). yang menjelaskan bahwa *bulk carrier* market diprediksi akan mengalami pertumbuhan yang stabil tetapi terdapat penurunan pada *average newbuilding orders* cukup signifikan pada kuartal pertama di tahun 2025. Di mana ini dapat menjadi gambaran bahwa *countious sentiment* memiliki keterkaitan dengan *specialized vessel investment* di tengah *market uncertainty*.

Flexibility dalam Ships Design Dan Operational Utilization

Flexible ship memiliki kesempatan yang luas dalam mencapai tingkat tinggi dari *loaded days at sea* dan *deadweight utilization* tetapi hal tersebut memunculkan biaya yang cukup tinggi pada *capital cost per unit* dan *lower operating effeiciency* jika dibandingkan dengan *specialized vessel* (Stopford, 2008). Winter et al (2021) dalam penelitiannya melalui pendekatan *preliminary design stage* menjelaskan bahwa penggunaan *machine learning algorithm* mampu mengoptimalkan *trade-off* antara kinerja dan biaya pada tahap desain awal, sehingga menghasilkan desain *peratero-optimal* yang membantu arsitek kapal dalam membuat sebuah keputusan yang lebih baik. Selanjutnya, pada *specialized bulk carrier* dalam skala besar tetap memberikan pengaruh besar pada *long-haul trades* dengan *cargo homogen*. Berdasarkan data pasar terbaru *medium-sized multipurpose vessels* yang kapasitasnya antara 15.000-25.000 DWT mengalami peningkatan yang cukup signifikan karena adanya keseimbangan antara *cargo capacity* dan *oprational flexibility* (Bagekari, 2025). Dengan mengembangkan teknologi *hull from optimization* menggunakan CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dan *machine learning* membuat desainer kapal dapat menghemat bahan bakar hingga 4-8% pada setiap desain (ShipUniverse, 2025).

Selain itu, dalam penelitian yang dilakukan oleh Rehn (2018) terkait *reconfigurable offshore ship* menjelaskan bahwa dengan adanya *inccreased flaexibility* dapat meningkatkan kapasitas dan menyesuaikan *operability* yang disebabkan karena adanya *increased resistance* dan *unfavorable roll period* dengan indikasi pada *design flexibility* tidak hanya memiliki *economic cost* tetapi juga *technical performance cost*. Hal ini didukung oleh (DataHorizon Research, 2024) yang memaparkan bahwa *multipurpose vessels market* mempunyai nilai hinggaa 6,5 miliar USD selama tahun 2024 dan pertumbuhan akan terus berlanjut pada tahun 2032 yang mana nilai tersebut akan mencapai 10,2 miliar USD, peningkatan nilai ini disebabkan oleh adanya *demand* pada *flexible cargo solutions* dalam *emerging markets*. Tetapi pada *global bulk carrier* diperkirakan akan mengalami peningkatan dengan CAGR sebesar 5% di tahun 2033 dengan mencapai nilai 50 juta USD pada *avarage price cepesize vessel* (Prudua Research and Media Private Limited, 2024). Karena hal tersebut membuat keputusan dalam berinvestasi baik itu *specialization* maupun *flexibility* sangat berhubungan dengan *market outlook*, *route characteristicws*, *operational requitment* dan *risk tolerance ship owner*. Melalui pekermabangan digitalisasi dalam maritim membuat strategi tersebut dapat mencapai *economic efficiency* yang *comparable*.

Trade-Off Antara Specialization Dan Flexibility

Menurut Stopford (2008), *flexible ships* memiliki kemungkinan lebih besar untuk mencapai tingkat yang tinggi dari *loaded days at sea* dan *deadweight utilization*. Tetapi disisi lain kapal ini memerlukan biaya yang tinggi terkait kapital per unit kapasitas dan tingkat *operating efficiency* yang lebih rendah merupakan konsekuensi dari *flexibility*. Menurut Winter et al (2021) menjelaskan bahwa *preliminary design stage* berdasarkan pada data dari *references vessels* dapat mengoptimalkan *trade-off* antara kinerja dan biaya pada tahap desain awal. Ini menghasilkan *Pareto-optimal design* yang membantu arsitek kapal membuat pilihan yang lebih cerdas tentang *global deminsions*, peralatan, dan *operational effeciency*. Selain itu, Kim & Roh (2024) menjelaskan bahwa *optimization arrangement ship* dan menemukan bahwa *objective functions* pada *design specialization* mencakup pada *operability* untuk meningkatkan efisiensi operasional, stabilitas untuk meningkatkan survivability, dan efisiensi biaya. Pertimbangan keterbatasan berbeda-beda tergantung pada jenis kapal, sehingga memastikan bahwa keputusan investasi antara *spesialization* dan *flexibility* diimbangi.

Dampak Teknologi Digital Pada Economic Performance Dan Opertional Utilization Pada Rentang Waktu 2020-2025

Perkembangan kapal dimulai sejak 1970-an yang membuat munculnya berbagai ide dalam mengefisiensi penggunaan *ships design* di mana perkembangan ini mulai didukung *digital technology* sehingga dapat mempercepat kemajuan secara signifikan. Dalam perkembangan *shipbuliding 4.0* diketahui bahwa terdapat 88 aplikasi teknologi dalam industri maritim, tetapi sebagian besar masih berada pada fase konseptual atau pekembangan (85%) dan 15% sisanya masuk kedalam fase *deployment*. Meski telah ada perkembangan teknologi terutama pada *machine leaarning* dan *digital twins* tetapi tetap memberikan pengaruh dalam *economic performace* kapal (Calvache et al., 2025). Mengaplikasikan *machine learning algorithm* perlu dilakukan dalam membuat prediksi *ship turnaround time* dan mengetahui *linear regrression algorithm* pada tingkat akurasi maksimal serta mengembangkan *scheduling efficiency* dan *reseource management* secara optimal (Simanjuntak et al., 2025).

Selain itu, pada studi terkait *predictive maintenance using digital twins* menjelaskan bahwa penggunaan *digital twin* dapat mengurangi *unplanned downtime* sekitar 20-40% dengan biaya perawatan sekitar 15-30% (van Dinter et al., 2022). Hal ini didukung dengan Sapovadia (2025) yang menjelaskan bahwa dengan adanya inisitif dari *digital twin* pada pelabuhan di Rotterdam, Antwerp dan Singapura membuat *unplanned maintenance events* mengalami pengurangan mencapai 15%. Bachtiar 2025 menjelaskan dengan adanya adopsi AI (*Artificial*

Intelligence) dalam industri maritim membuat *port operational effeciency*, *ships traffic management*, dan *automated container handling* mengalami peningkatan yang mana perkembangan ini masih berada dalam tahap awal dan mempunyai tantangan terkait *system integration* dan *human resource competence*. Sehingga secara keseluruhan, teknologi digital seperti AI, *machine learning*, dan *digital twins* secara signifikan meningkatkan *economic performance* melalui peningkatan *fuel effecincy gain* sebesar 2-5%, penurunan biaya perawatan, dan peningkatan MTBF sebesar 15-25% serta peningkatan dalam *operational utilization* melalui *optimized asset deployment*, *predictive maintenance* maupun pengawasan secara *real time* sehingga perbedaan dapat terlihat antara *specialization* dan *flexibility* dalam *ships design* yang mulai berkurang dalam era digital.

Gap Penelitian

Selama rentang waktu 2020-2025 diketahui bahwa peneliti ini seaca garis besar hanya berfokus pada beberapa aspek teknis atau finansial yang terpisah tanpa melakukan pemeriksaan secara menyeluruh dalam empat variabel lainnya (*specialization*, *flexibility*, *economic performance*, dan *operational utilization*) hal ini sesuai dengan penjelsan dari (Kim & Roh, 2024) menjelaskan bahwa integrasi berbagai *design objective* masih jarang dilakukan. Di mana ini didukung oleh data empiris terkait tingkat penggunaan opsional *flexible vessel* dalam *realtime* pada bebrbagai *cycle market* masih terbatas disektor tertentu seperti OSV dan MPSV. Selain itu, data yang tersedia terkait *availability on the precise economic impact of emerging technologies* masih sedikit atau *proprietary* yang membuat terbatasnya melakukan analisa secara empiris.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam desain kapal (*ship design*), ada perbedaan penting antara *flexibility* dan *specialization*, menurut studi literatur yang dilakukan dari tahun 2020 hingga 2025. *Flexibles vessel* lebih fleksibel tetapi lebih mahal. *Specialized ship* lebih efisien (biaya 30–40% lebih rendah, penggunaan 85–92%), tetapi rentan terhadap perubahan pasar. Teknologi digital terbaru seperti AI dan *digital twins* dapat memperbaiki kinerja ekonomi antara lima belas hingga dua puluh persen. Di era digitalisasi maritim, pendekatan yang lebih holistik diperlukan untuk membuat keputusan investasi yang bergantung pada prospek pasar dan ketahanan risiko kapal.

Penelitian selanjutnya diharapkan melakukan beberapa hal yaitu; (1) studi komparatif kuantitatif mengenai *Total Cost of Ownership* (TCO) antara *specialitzation ship* dan *flexibility*

vessel dalam berbagai skenario pasar; (2) studi tentang bagaimana integrasi teknologi (AI atau *digital twins*) mengubah *trade-off* klasik antara *specialization* dan *flexibility*; (3) studi tentang ekonomi perilaku dalam pengambilan keputusan investasi maritim; dan (4) studi mendalam tentang dampak *autonomous ships* dan *operations* terhadap *trade-off* antara *specialization* dan *flexibility*.

DAFTAR REFERENSI

- Adzam, M. (2025). *Analisis kemandirian fiskal dan potensi ekonomi dalam pemekaran wilayah: Studi kasus calon DOB Provinsi Kepulauan Buton*. Prima Ekonomika, 16(1), 84–102. <https://doi.org/10.37330/prima.v16i1.283>
- Adzam, M., Lubis, M. M., Rahmayani, M. W., Kusumastuti, S. Y., Kusumawardhani, F., Juniartika, S., & Fathah, R. N. (2025). *Dinamika kebijakan fiskal dan moneter di Indonesia*. Star Digital Publishing.
- Bagekari, A. (2025). *Multi purpose vessels market report 2025*. Cognitive Market Research. <https://www.cognitivemarketresearch.com/multi-purpose-vessels-market-report>
- Calvache, M., Pruyn, J., & Napoleone, A. (2025). Navigating shipbuilding 4.0: Analysis and classification of technologies for the digital transformation of the sector. *Ship Technology Research*, 1–17. <https://doi.org/10.1080/09377255.2025.2522600>
- DataHorizon Research. (2024). *Multi purpose vessels market*. <https://datahorizonresearch.com/request-sample-pdf/multi-purpose-vessels-market-29150>
- Development, O. for E. C. and. (2023). *Analysis of maritime equipment industry and its challenges*. OECD.
- Godet, A., Panagakos, G., Barfod, M. B., & Lindstad, E. (2024). Operational cycles for maritime transportation: Consolidated methodology and assessments. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 132, 104238. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104238>
- Hasan, S. M. R., Islam, M. S., Awal, Z. I., & Hossain, K. A. (2025). Prediction and optimization of efficient ship design particulars through advanced machine learning approaches. *Ocean Engineering*, 341, 122572. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.122572>
- Kim, K.-S., & Roh, M.-I. (2024). Review of ship arrangement design using optimization methods. *Journal of Computational Design and Engineering*, 12(1), 100–121. <https://doi.org/10.1093/jcde/qwae112>
- Koukaki, T., & Tei, A. (2020). Innovation and maritime transport: A systematic review. *Case Studies on Transport Policy*, 8(3), 700–710. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2020.07.009>
- Lau, Y., Chen, Q., Poo, M. C.-P., Ng, A. K. Y., & Ying, C. C. (2024). Maritime transport resilience: A systematic literature review on the current state of the art, research agenda and future research directions. *Ocean & Coastal Management*, 251, 107086. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107086>
- Limited, P. R. and M. P. (2024). *Bulk carrier ships decade long trends, analysis and forecast 2025–2033*.

- Rehn, C. F., Pettersen, S. S., Erikstad, S. O., & Asbjørnslett, B. E. (2018). Investigating tradeoffs between performance, cost and flexibility for reconfigurable offshore ships. *Ocean Engineering*, 147, 546–555. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.11.004>
- Salman, M. (2025). Exploring economic and cargo efficiencies in the global shipping sector: A convergence analysis. *Journal of Cleaner Production*, 501, 145298. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145298>
- Sapovadia, V. (2025). *Principles of economics in the maritime industry: Market forces, elasticity, consumer demand, and production theory in the context of rapid technological advancements*. MPRA.
- Simanjuntak, R., Sibarani, M., Cahyadi, T., Sihombing, D. W., Bernadtua, M., & Yuherlina, R. (2025). Prediction of ship time in port using machine learning algorithm. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 10(2), 320–328. <https://doi.org/10.12962/j25481479.v10i2.6371>
- Stopford, M. (2008). *Maritime economics* (3rd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203891742>
- Winter, R. de, Stein, N. van, Bäck, T., & Muller, T. (2021). *Ship design performance and cost optimization with machine learning*. http://data.hiper-conf.info/compit2021_muelheim.pdf
- Xu, S., Dai, Y., Zhou, T., & Wang, D. (2025). Modular rapid prototyping design method for container ships. *Ocean Engineering*, 326, 120914. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.120914>