



Analisis Teknis dan Ekonomis *Hychain Shiplift* 1500 Ton Divisi Kapal Perang PT PAL Indonesia

Paryadi^{1*}, Minto Basuki²

^{1,2} Program Studi Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Indonesia

*Penulis Korespondensi: paryadidale0@gmail.com¹

Abstract. *This study examines the technical and economic condition of the 1,500-ton Hychain Shiplift facility at PAL Indonesia Ltd., which has operated for more than 44 years. This research applies qualitative field observation methods, using failure mode and effects analysis (FMEA) in technical studies, as well as life cycle cost (LCC) calculation in its economic analysis. The findings show that lifting cylinder height deviations mainly result from solenoid valve failure, piston seal leakage, and corrosion in the hydraulic pipes. The FMEA highlights the control panel and cooling pump as the most critical components requiring priority attention. From an economic perspective, the facility requires an initial repair cost of IDR 179.58 million, while the total present value of maintenance costs over the next ten years is estimated at IDR 249.6 million. In conclusion, upgrading the conventional control system to a PLC-based system represents a necessary retrofit strategy to ensure the operational reliability of the asset.*

Keywords: *Economic Analysis; FMEA; Hychain Shiplift; Life Cycle Cost; Technical Analysis.*

Abstrak. Penelitian ini menganalisis kondisi teknis dan ekonomis fasilitas *Hychain Shiplift* 1500 ton di PT PAL Indonesia yang telah beroperasi selama lebih dari 44 tahun. Tujuan penelitian adalah mengidentifikasi penyebab penurunan performa dan merumuskan strategi perbaikan yang efisien. Riset ini menerapkan metode kualitatif observasi lapangan, dalam kajian teknis menggunakan Analisis Dampak dan Mode Kegagalan (FMEA), serta perhitungan Biaya Siklus Hidup (LCC) dalam analisis ekonomisnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa masalah utama berupa Deviasi ketinggian angkat silinder akibat kegagalan solenoid valve, kebocoran seal piston, dan korosi pipa hidrolik. Analisis FMEA menempatkan panel kontrol dan pompa pendingin sebagai komponen paling kritis. Secara ekonomis, diperlukan biaya perbaikan tahap awal sebesar Rp. 179,58 juta dengan total nilai kini biaya pemeliharaan 10 tahun ke depan mencapai Rp. 249,6 juta. Disimpulkan bahwa strategi perbaikan melalui retrofit sistem kontrol konvensional ke berbasis PLC sangat diperlukan untuk menjaga keandalan operasional aset.

Kata Kunci: Analisis Ekonomis; Analisis Teknis; FMEA; *Hychain Shiplift*; LCC.

1. LATAR BELAKANG

Peningkatan produktivitas galangan kapal nasional memerlukan langkah strategis melalui revitalisasi menyeluruh terhadap fasilitas dan peralatan produksi. Mengingat kondisi sarana saat ini yang mayoritas masih berbasis teknologi konvensional dan termakan usia, investasi besar pada infrastruktur modern dan teknologi maju (*advanced technology*) menjadi prasyarat mutlak. Sebagai industri mencakup padat karya dan padat modal, transformasi ini tidak hanya bertumpu pada aspek fisik, tetapi juga menuntut pemenuhan kebutuhan Sumber Daya Manusia (SDM) yang profesional serta memiliki integritas tinggi. Fokus revitalisasi ini diarahkan pada penguatan kemampuan rancang bangun dan modernisasi desain guna memastikan implementasi metode produksi canggih, seperti *Integrated Hull Outfitting and Painting* (IHOP) berbasis *Product Work Breakdown Structure* (PWBS), dapat terlaksana secara optimal demi mencapai efisiensi operasional yang kompetitif di tingkat global. PT PAL

Indonesia bukan sekedar produsen kapal perang dan niaga, melainkan pilar utama dalam industry maritime nasional yang juga melayani jasa perbaikan serta pemeliharaan kapal. Dari sekian banyak infrastruktur canggih yang di miliki, ada satu fasilitas yang memegang peranan krusial yaitu Dok Shiplift. Fasilitas ini memudahkan perawatan dan perbaikan kapal dalam proses pemindahan kapal, baik saat menaikkan kapal ke daratan maupun menurunkannya kembali ke laut. Fasilitas ini di bangun sekitar tahun 1982/1983, Shiplift yang berada di Divisi Kapal Perang ini sempat menjadi satu satu nya teknologi serupa di kawasan Asia Tenggara, menunjukkan betapa visionernya fasilitas ini sejak awal di bangun. Spesifikasi dan mekanisme kerja nya secara teknis, shiplift ini dirancang dengan dimensi yang mumpuni untuk menangani berbagai jenis kapal dengan dimensi platform 79 meter dan lebar 15,5 meter, system penggerak dilengkapi dengan 12 unit komponen hoist (alat angkat) dan 4 unit aggregate/power pack dengan di dukung teknis 2 unit pompa air laut sentrifugal dan satu ruang kendali pusat untuk operator. Mekanisme kerja shiplift seperti lift raksasa, unit power pack bertugas menyuplai tekanan oli hidrolik ke setiap hoist. Tekanan inilah yang kemudian menggerakkan rantai pada hoist untuk menaikkan atau menurunkan platform secara presisi, sesuai dengan instruksi yang diberikan oleh operator di ruang kendali.

Pengoperasian *shiplift* sudah tidak maksimal lagi dikarenakan banyak hoist mengalami masalah dan kerusakan pada selenoid saat sinkronisasi sering terjadi *Deviasi* atau selisih ketinggian daya angkat silinder hoist yang menyebabkan waktu *docking and undocking* kapal menjadi terhambat karena harus mengatur atau menyeting ketinggian daya angkat silinder hoist secara manual atau satu persatu hoist agar semua unit hoist bisa seimbang atau serempak. *Deviasi* terjadi karena ada salah satu silinder hoist mengalami keterlambatan atau terlalu cepat daya angkatnya, faktor ini yang harus dibenahi mengingat *shiplift* dan unit kapal mengacu pada level pasang surut air laut dan harus bisa mengapung atau sudah duduk diposisi cradle pada jam pasang surut air laut dan belum termasuk juga dengan pembengkakan biaya - biaya perbaikan dan operasionalnya.

Upaya meminimalisasi disfungsi operasional dan kerugian finansial menuntut perencanaan revitalisasi yang terukur dan komprehensif. Laporan ini secara khusus mengkaji aspek teknis dan ekonomis dari unit Hychain Shiplift 1500 Ton melalui pendekatan penelitian lapangan dan wawancara mendalam guna mengidentifikasi hambatan eksisting secara akurat. Dengan mengintegrasikan data primer dan sekunder, analisis ini bertujuan menghasilkan referensi deduktif yang mampu mengoptimalkan performa shiplift, baik dari efisiensi waktu

maupun efektivitas biaya pada proses docking dan undocking. Transformasi ini diproyeksikan tidak hanya memperbaiki alur kerja teknis, tetapi juga memperkuat stabilitas ekonomi galangan kapal, khususnya dalam mendukung daya saing operasional di PT PAL Indonesia.

2. KAJIAN TEORITIS

HyChain Shiplift

HyChain Shiplift adalah sistem *launching* atau peluncur kapal menggunakan platform yang dapat mengangkat kapal dari permukaan air ke darat dengan kapasitas angkut 1500 ton. Sistem ini menggunakan teknologi rantai (*chain*) yang memungkinkan proses angkat turun kapal secara efisien. dengan kapasitas 1500 ton, sistem ini mampu mengangkat kapal-kapal perang kelas menengah hingga besar yang ada di Indonesia.

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Dalam upaya meminimalkan faktor risiko dan mendongkrak keandalan peralatan pada sistem yang kompleks, penggunaan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) menjadi sangat krusial. Teknik ini mengandalkan pengalaman para ahli untuk mengidentifikasi mode kegagalan utama serta merumuskan langkah preventif yang paling efektif (Fitriah et al., 2021). Guna memprioritaskan tindakan perbaikan, FMEA menerapkan sistem pemeringkatan melalui nilai Risk Priority Number (RPN). perhitungan untuk menentukan nilai Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah Severity (s), Occurance (O) dan Detection (D). Untuk menghitung RPN adalah $RPN = O \times S \times D$.

Diagram Pareto

Dalam upaya mengidentifikasi sumber utama permasalahan secara efisien, penggunaan Diagram Pareto menjadi instrumen yang sangat vital. Metodologi ini berakar pada prinsip yang dikembangkan oleh Vilfredo Pareto, yang secara historis mengamati fenomena sosial-ekonomi di Italia di mana 80% kekayaan dikuasai oleh hanya 20% populasi elit (Sunarto & Nugroho, 2020). Meskipun perbandingan 80:20 sering dijadikan acuan, Sunarto (2020) menegaskan bahwa angka tersebut merupakan hipotesis awal yang bersifat empiris.

Life Cycle Cost (LCC)

Analisis Life Cycle Cost (LCC) merupakan metodologi komprehensif untuk menghitung total biaya kepemilikan suatu sistem atau infrastruktur selama masa umur ekonomisnya. Merujuk pada Floren dkk. (2019), LCC mencakup seluruh pendanaan yang dialokasikan selama siklus hidup aset berlangsung. Dalam konteks proyek infrastruktur,

Junus dan Fitria (2015) menekankan bahwa metode ini berfungsi sebagai alat pengambilan keputusan ekonomi dengan mengonversi seluruh biaya operasional di masa depan ke dalam nilai saat ini (present value).

3. METODE DAN BAHAN

Riset ini menerapkan metode kualitatif dengan metode kajian pustaka serta observasi lapangan yang saling melengkapi. Kajian pustaka dilaksanakan untuk menghimpun data dan teori terkait konsep Analisis Dampak dan Mode Kegagalan (*FMEA*), dianalisa part biaya dalam perbaikan performa *shiplift*. Pengumpulan data juga memanfaatkan informasi dari internet untuk mendukung validitas data primer dan sekunder.

Perhitungan teknis ekonomis yang dilakukan bersifat aktual karena menggunakan data spesifik dari proyek tersebut. Pada tahap ini data yang terkumpul akan dilakukan proses perhitungan *Life cycle cost* (LCC) dilaksanakan dengan *Approach PV (Present Value)* untuk menghitung nilai sekarang dari seluruh biaya konstruksi, operasional, dan pemeliharaan Hychain Shiplift.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegagalan operasi yang sering terjadi ialah *deviasi* karena tidak bekerjanya Solenoid Valve 3 (S3), Solenoid valve ini merupakan kontrol otomatisasi. Solenoid Valve 3 berfungsi sebagai *synchronous* atau penyeimbang fluida saat turun dan menyamakan hoist saat berbeda ketinggian satu dengan yang lainnya. Selain terjadinya S3 gagal fungsi *deviasi* juga bisa disebabkan oleh kebocoran atau *leakage* pada non-return valve atau unlockable pada lifting silinder sehingga harus diganti seal oring agar tidak terjadi kebocoran kembali. Untuk mengatasi *deviasi* ataupun kebocoran maka direkomendasikan perhitungan diameter Piston sesuai kebutuhan:

Tabel 1. Jenis Kerusakan HyChain Shiplift.

No	Deskripsi Equipment	Jenis Kerusakan
1	Merk : HYCHAIN LIFT Tahun Pembuatan : 1982 No Aset : WE0603AU01 Kapasitas : 1500 ton SWL : 1350 ton Dimensi Panjang = ±80 meter Lebar = ±15 meter Tinggi angkat = ±8 meter	1. Banyak terjadi rembesan oli pada lifting silinder hoist 2. Banyak terjadi rembesan oli pada locking silinder hoist 3. Kabel power Agregat sering short/ grounding atau arus pendek dikarenakan manhole dan gorong-gorong terendam air hujan maupun air pasang laut. 4. Chock pass / pondasi hoist ada yang retak 5. Instalasi pipa pipa Hidrolik banyak yang keropos / berkarat 6. Pompa Pendingin Air Laut Keropos sehingga daya hisap kurang maksimal dan terjadi kebocoran pada saat dioperasikan

-
7. Pressure switch Agregan tidak berfungsi dengan baik dan terjadi kebocoran pada neple neplenya
 8. 6 unit cradle mengalami kerusakan pada bearing roda dan bearing bodi
 9. Bodi / kerangka Cradel banyak mengalami keropos
 10. Spare part tidak tersedia
-

Berlandaskan menganalisa dan berdiskusi mendalam ditemukan 20 komponen utama mengalami bentuk mode gagal dari 20 komponen sesuai dengan table 1, dapat dipahami yakni cara gagal meliputi 5 tertinggi nilai RPN nya terdapat di Panel Kontrol, Pompa Pendingin Agregate, Rail Locking, Hoist dan Agregate / *Hidrolic Power Unit* terdapat RPN nilai tertinggi komponen panel control sejumlah 240 dalam mode gagal / *Failure* silinder hoist rembes oli hidrolis saat terjadi *Deviiasi* sering terjadi pengacakan level hoist yang lain dan toleransi level *deviasi* berubah dari biasanya.

Diagram Pareto

Setelah menghimpun dan memetakan risiko melalui analisis FMEA dan mendapatkan skor RPN (*Risk Priority Number*), langkah berikutnya dilaksanakan mengidentifikasi komponen apa saja yang mengalami mode kegagalan dengan diagram pareto. Diagram dibuat pertama dengan menyusun nilai RPN kemudian dihitung nilai presentase peningkatan.

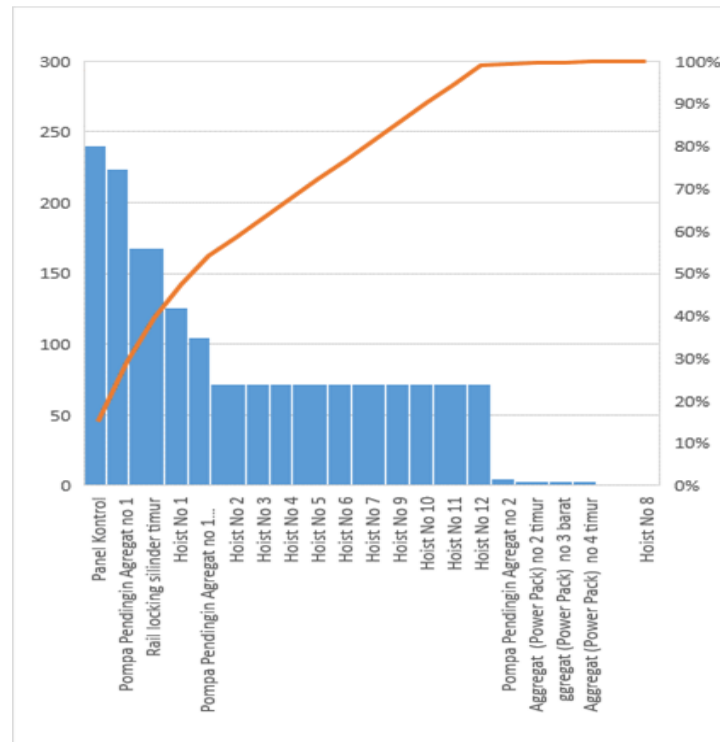
Table 2. Presentase Peningkatan.

No	Nama Equeitmen	Kondisi Existing	RPN	Presentase
1	Panel Kontrol	a. Saat terjadi deviasi sering terjadi pengacakan level hoist yang lain b. Toleransi Level deviasi, berubah dari biasanya	240	14,37986818
2	Pompa Pendingin Agregat no 1	a. Kebocoran pada REMES b. FOOTKLEP tidak bisa kedap	224	13,42121031
3	Rail locking silinder timur	Solenoid Rusak	168	10,06590773
4	Hoist No 1	a. limit upper sering macet b. S1 : Directional Valve yang terpasang sparepart rekondisi	126	7,549430797
5	Pompa Pendingin Agregat no 1 barat	Kondisi berfungsi baik tapi masih ada kebocoran saat beroperasi	105	6,291192331
6	Hoist No 2	a. S1 : Directional Valve yang terpasang sparepart rekondisi b. S2 : Proporsional Valve yang terpasang sparepart rekondisi	72	4,313960455
7	Hoist No 3		72	4,313960455

		a. S1,S4,S5 : Directional Valve yang terpasang sparepart rekondisi b. S2 : Proporsional Valve yang terpasang sparepart rekondisi		
8	Hoist No 4	a. limit swich locking yang terpasang spare part rekondisi b. S1 : Directional Valve yang terpasang sparepart rekondisi c. S2 : Proporsional Valve yang terpasang sparepart rekondisi	72	4,313960455
9	Hoist No 5	S1,S4,S5 : Directional Valve yang terpasang sparepart rekondisi	72	4,313960455
10	Hoist No 6	a. S1,S4,S5 : Directional Valve yang terpasang sparepart rekondisi b. S2 : Proporsional Valve yang terpasang sparepart rekondisi	72	4,313960455
11	Hoist No 7	S1 Directional Valve yang terpasang sparepart rekondisi	72	4,313960455
12	Hoist No 8	a. limit swich locking yang terpasang spare part rekondisi b. S1,S5 : Directional Valve yang terpasang sparepart rekondisi		
13	Hoist No 9	a. S1,S4,S5 : Directional Valve yang terpasang sparepart rekondisi b. S2 : Proporsional Valve yang terpasang sparepart rekondisi	72	4,313960455
14	Hoist No 10	a. limit swich locking yang terpasang spare part rekondisi b. lifting silinder yang terpasang adalah lifting silinder spare yang diameternya lebih kecil terpasang sparepart rekondisi. S4, : Directional Valve yang terpasang sparepart rekondisi	72	4,313960455
15	Hoist No 11	a. S1,S4,S5 : Directional Valve yang terpasang sparepart rekondisi b. S2 : Proporsional Valve yang terpasang sparepart rekondisi	72	4,313960455
16	Hoist No 12	a. S1,S4,S5 : Directional Valve yang terpasang sparepart rekondisi b. S2 : Proporsional Valve yang terpasang sparepart rekondisi	72	4,313960455
17	Pompa Pendingin Agregat no 2	Kondisi berfungsi	5	0,299580587
18	Aggregat (Power Pack) no 2 timur	Kondisi berfungsi baik	3	0,179748352

19	ggregat (Power Pack) no 3 barat	Kondisi berfungsi baik	3	0,179748352
20	Aggregat (Power Pack) no 4 timur	Kondisi berfungsi baik	3	0,179748352

Setelah mengurutkan RPN selanjutnya membuat grafik pareto dapat dipahami pada grafik dibawah ini.



Gambar 1. Grafik Diagram Pareto.

Berlandaskan Grafik Diagram Pareto dapat dianalisa komponen yang menjangkau 20% adalah panel kontrol nilai 14,3%, pompa pendingin agregat no 1 13,4%, rail locking silinder timur 10,6%, hoist no 1, dan agregat power pack no 1 barat 6,2%. Dari 20 komponen yang telah diperiksa, komponen yang di analisa ada 5 komponen kategori kritis adalah keempat komponen tersebut.

Analisis Teknis Menggunakan Metode *Life Cycle Cost* (LCC)

Langkah pertama adalah menjumlahkan semua komponen yang ada di daftar berdasarkan nilai RPN tertinggi. Biaya ini dibagi menjadi dua kategori: CAPEX (Modal investasi barang) dan OPEX (Biaya operasional/upah).

Table 3. Nilai CAPEX dan OPEX.

Nama Alat	Harga Barang (Capex)	Upah/Maint. (Opex)	Total Per Alat
Panel Kontrol	Rp 135,000,000	Rp6,700,000	Rp141,700,000
Pompa Pendingin	Rp 27,000,000	Rp370,000	Rp27,370,000
Rail Locking Silinder	Rp 6,000,000	Rp560,000	Rp6,560,000
Hoist No 1	Rp 1,500,000	Rp 500.000	Rp 2.000.000
Aggregat (Power Pack)	Rp 1,350,000	Rp.600.000	Rp 1.950.000
Total	Rp 170,850,000	Rp8,730,000	Rp179,580,000

Untuk perhitungan LCC (*Life Cycle Cost*) yang lebih aman dan akurat secara finansial (akuntansi biaya), kita akan menggunakan angka pembulatan inflasi sebesar 2,6% sebagai dasar kenaikan biaya tahunan (*Maintenance & Labor*).

Tabel 4. Perhitungan LCC Tahun ke 1-10.

Tahun	Investasi (A)	Upah Terinflasi (B)	Total Pengeluaran (A+B)
1	Rp170,850,000	Rp8,730,000	Rp179,580,000
2	-	Rp8,956,980	Rp8,956,980
3	-	Rp9,189,861	Rp9,189,861
4	-	Rp9,428,798	Rp9,428,798
5	-	Rp9,673,947	Rp9,673,947
6	-	Rp9,925,469	Rp9,925,469
7	-	Rp10,183,531	Rp10,183,531
8	-	Rp10,448,303	Rp10,448,303
9	-	Rp10,719,959	Rp10,719,959
10	-	Rp10,998,678	Rp10,998,678
Total	Rp170,850,000	Rp98,255,526	Rp269,105,526

Rekapitulasi Biaya (Total LCC)

Berdasarkan perhitungan, total komitmen biaya selama 10 tahun dalam bentuk table dan grafik adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Rekapitulasi LCC.

Kategori Biaya	Nilai Total (10 Tahun)	Persentase
Investasi Awal (CAPEX)	Rp170,850,000	63.50%
Pemeliharaan & Upah (OPEX)	Rp98,255,526	36.50%
Total LCC	Rp269,105,526	100%

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil analisis teknis dari metode FMEA teridentifikasi bahwa elemen yang mencangkup 20% awal adalah panel kontrol dengan nilai persentase peningkatan 14,3%, pompa pendingin agregat no 1 13,4%, rail locking silinder timur 10,6%, hoist no 1, dan agregat power pack no 1

barat 6,2%. Dari 20 komponen yang telah dianalisa, ditemukan komponen yang tidak berfungsi normal sejumlah 5 item dan kategori kritis adalah keempat komponen tersebut.

Hasil analisis ekonomis dengan metode LCC adalah total biaya diperkirakan total biaya yang dibutuhkan selama 10 tahun ke depan (periode 2025-2035) adalah sebesar Rp269,1 Juta. Dengan faktor inflasi dari perhitungan menggunakan asumsi inflasi Kota Surabaya sebesar 2,6% per tahun. Akibatnya, biaya perawatan pada tahun ke-10 akan menjadi 26% lebih mahal dibanding tahun pertama. Serta nilai kini (present value) adalah total nilai kini dari seluruh komitmen biaya tersebut (dengan suku bunga diskonto 5%) adalah sebesar Rp249,6 Juta.

Penelitian selanjutnya diharapkan dapat dikembangkan lagi untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, segera realisasikan rencana perbaikan dengan anggaran tahap 1 Rp179,58 juta, prioritaskan pengadaan spare part dan retrofit sistem kontrol ke PLC. Terapkan manajemen perawatan disiplin berbasis FMEA untuk memantau *RPN* dan kurangi risiko *breakdown*. Lakukan resertifikasi oleh BKI pasca-perbaikan dan hitung ulang LCC setiap 2 tahun mengikuti inflasi terkini.

DAFTAR REFERENSI

- Alijoyo, A., Wijaya, B., & Jacob, I. (2020). *Failure mode and effect analysis: Analisis modus kegagalan dan dampak*. Center of Risk Management & Sustainability (CRMS) Indonesia.
- Astuti, M., Sri, F., & Sugiyanto. (2017). Studi kelayakan investasi proyek pembangunan Tower 5 Karawaci Tangerang Selatan. *Matriks Teknik Sipil*, 981–989.
- Azizah, N. A. (2025). *Analisis maintenance menggunakan metode failure mode and effects analysis (FMEA) dan reliability centered maintenance (RCM) (Studi kasus: PT Chandra Asri Petrochemical Tbk)*.
- Badan Pusat Statistik Kota Surabaya. (2025). *Laporan bulanan indeks harga konsumen dan inflasi Kota Surabaya*. BPS Kota Surabaya.
- Buyung, R., Pratas, P. A. K., & Malingkase, G. (2019). Life cycle cost (LCC) pada proyek pembangunan Gedung Akuntansi Universitas Negeri Manado (UNIMA) di Tondano (Vol. 7). Universitas Sam Ratulangi.
- Eritama, M. H. (2018). *Analisis keandalan sistem hidrolik pada fasilitas shiplift di PT PAL Indonesia (Persero)* [Tesis/Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember].
- Flanagan, R., & Jewell, C. (2005). *Whole life costing: A new approach*. Blackwell Publishing.
- Floren, K., Kaming, P. F., & Ervianto, W. I. (2019). Model pemeliharaan infrastruktur embung berbasis biaya siklus hidup di Kabupaten Sleman DIY. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 3, 13–22. <https://doi.org/10.12962/j26151847.v3i0.5730>

- Franata, H., Honesti, L., & Misbah. (2025). *Analisis life cycle cost pada konstruksi jembatan Universitas Andalas*. Institut Teknologi Padang.
- Hasbullah, M. (2016). Strategi penguatan galangan kapal nasional dalam rangka memperkuat efektifitas dan efisiensi armada pelayaran domestik nasional 2030. *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK)*.
- Heralova, R. S. (2017). Life cycle costing as an important contribution to feasibility study in construction projects. *Procedia Engineering*, 196, 565–570. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.031>
- Heralova, S. R. (2014). Life cycle cost optimization within decision making on alternative designs of public buildings. *Procedia Engineering*, 85, 454–463. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.572>
- Inprasetyobudi, H. (2016). *Studi pengembangan model strategi operasi pembangunan kapal berbasis fasilitas produksi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Irfanto, R. (2022). The analysis cause of casting repair work with Pareto chart in Project X. *Jurnal Teknik Industri*, 18(1). <https://doi.org/10.28932/jts.v18i1.4485>
- International Organization for Standardization. (2017). *ISO 15686-5: Buildings and constructed assets—Service-life planning—Part 5: Life-cycle costing*.
- Junus, T. D., & Fitria, D. (2015). Pengambilan keputusan investasi dengan menggunakan metode life cycle cost analysis. Green Building Engineers, Divisi Sustainability, PT Asdi Swasatya.
- Kamagi, G. P. (2013). Analisis life cycle cost pada pembangunan gedung (Studi kasus: Proyek Bangunan Rukun Bahu Mall Manado). *Jurnal Sipil Statik*, 1(8), 549–556.
- Khoyroh, S. B. (2021). *Laporan praktik industri pengoperasian, perawatan, dan perbaikan shiplift*. Universitas Negeri Malang.
- Liano, I. H. (2019). Implementasi metode life cycle cost analysis pada bangunan ruang kelas di kompleks Gedung Diklat Kabupaten Muara Enim. *Civil Engineering and Environmental Symposium*.
- Marliansyah, J. (2015). *Analisis rencana life cycle cost gedung hostel pada kawasan Rumah Sakit Jimbun Medika Kediri*. Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Maruf, B. (2014). *Strategi pengembangan industri kapal nasional berbasis teknologi produksi dan pasar domestik*. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Munawir, H., Ulfa, R. M., & Djunaidi, M. (2020). Analisa risiko kegagalan terhadap downtime pada line crank case menggunakan metode failure mode effect analysis. *Prosiding IENACO*, 149–156.
- Oktavia, L. S., Aldina, L., Nurdiyanto, Fahrati, M., & Yulaeli, T. (2023). Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai waktu uang: Future value, present value, dan annuity. Universitas Bhayangkara Jakarta Raya.

- Palcoid. (2019, December 3). Profile perusahaan. <https://www.pal.co.id/profile-perusahaan/>
- Pindyck, R. S. (1992). [Acknowledgment of research support]. *Energy Policy*, 4083.
- Prasetyo, H., & Sutopo, W. (2018). Life cycle cost analysis for asset management: A case study of industrial equipment. *International Journal of Engineering and Technology*.
- Pujawan, I. N. (2019). *Ekonomi teknik*. Penerbit Andi.
- Puhssti, I. N. (2021). Life cycle cost pada gedung boarding house daerah Glagahsari, Yogyakarta. <https://doi.org/10.33019/fropil.v9i1.2297>
- Putri, F. A., Santoso, M. Y., & Rachmat, A. N. (2024). Implementasi failure mode and effect analysis (FMEA) dan diagram Pareto untuk analisis kegagalan komponen continuous casting machine pada perusahaan baja. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Rahman, A., & Fahma, F. (2021). Penggunaan metode FMECA (failure modes effects criticality analysis) dalam identifikasi titik kritis di industri kemasan. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 31(1), 110–119. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2021.31.1.110>
- Sari, C. F., Sawaki, M. E., & Sabarofek, M. S. (2018). Pengaruh analisis investasi terhadap kelayakan penambangan batu mangan di PT Berkat Esa Mining. *Jurnal Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa*, 4(1), 11–18. <https://doi.org/10.30738/jst.v4i1.2226>
- Suharto, I. (2021). *Manajemen proyek: Dari konseptual sampai operasional*. Erlangga.
- Sunandar, R. (2017). *Analisis kekuatan struktur shiplift menggunakan metode elemen hingga*. Universitas Hang Tuah.
- Sunarto, & Nugroho, H. (2020). *Buku saku analisis Pareto*. Prodi Kebidanan Magetan Politekkes Kemenkes.
- Syahroni, I. (2018). *Usulan perencanaan perawatan mesin forklift dengan metode reliability centered maintenance di PT Indospring Tbk*. Universitas Muhammadiyah Gresik.
- Wardhana, R. P., & Syahrizal. (2017). Analisis life cycle cost pada pemeliharaan gedung (Studi kasus: PDAM Tirta Nauli Sibolga). Universitas Sumatera Utara.
- Windyandari, A. (2008). *Prospek industri galangan kapal*. Universitas Diponegoro.

- Yuamita, F., & Fatkhurohman, A. (2023). Analisis risiko kecelakaan kerja pada stasiun pemotongan batu alam dengan menggunakan metode failure mode and effect analysis (FMEA) di PBA Surya Alam. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 2(12), 4687–4696. <https://doi.org/10.53625/jcijurnalcakrawalailmiah.v2i12.6398>
- Zaman, M. (2021). *Penilaian risiko dan analisa akar pada shiplift docking undocking metode JSA dan fishbone diagram di perusahaan galangan kapal*. Politeknik Perkapalan Surabaya.