

Efektivitas Metode *Pipe Spooling* Terhadap Proses

Fabrikasi Pada Kapal Tugboat 26 Meter

Fajar Riyaldi, Naufal Abdurrahman Prasetyo and Mega Gemala

* Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: f.riyaldi12@gmail.com

Abstrak

Sistem perpipaan adalah sistem yang mengalirkan suatu fluida yang disimpan ataupun diteruskan dari tangki menuju peralatan lain yang membutuhkan fluida. Metode *pipe spooling* merupakan salah satu teknik yang digunakan dalam industri konstruksi pipa untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas proses pemasangan pipa. Termasuk pada proses fabrikasi pipa yang ada di dalam kapal. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur peningkatan efisiensi waktu serta kualitas hasil fabrikasi yang dicapai dengan menerapkan metode *pipe spooling* dibandingkan dengan metode konvensional, dengan menggunakan *software* pendukung yaitu perangkat lunak desain CAD (*Computer-Aided Design*). Gambar 3D sistem perpipaan yang ada di dalam kapal dipecah menjadi bagian-bagian kecil dalam bentuk 2D. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengukur meningkatkan produktivitas, kualitas dan penghematan biaya yang dihasilkan dengan menerapkan metode *pipe spooling* dibandingkan dengan metode konvensional. Menggabungkan penerapan metode *Critical Path Method* (CPM) dan wawancara mendalam untuk mengidentifikasi semua faktor signifikan yang mempengaruhi produktivitas, kualitas dan penghematan biaya. Penelitian ini memberikan kerangka kerja untuk pendekatan yang lebih komprehensif dalam memperkirakan efektivitas dengan menggunakan metode *pipe spooling*.

Kata kunci: Metode *Pipe Spooling*, Faktor, Efektivitas

Abstract

A piping system is a system that flows a fluid that is stored or forwarded from a tank to other equipment that requires fluid. The pipe spooling method is a technique used in the pipe construction industry to increase the efficiency and productivity of the pipe installation process. Including the pipe fabrication process inside the ship. This research aims to measure the increase in time efficiency and quality of fabrication results achieved by applying the pipe spooling method compared to conventional methods, using supporting software, namely CAD (Computer-Aided Design) design software. 3D image of the piping system in the ship broken down into small parts in 2D form. The main aim of this research is to measure the increase in productivity, quality and cost savings produced by applying the pipe spooling method compared to conventional methods. Combining the application of the Critical Path Method (CPM) and in-depth interviews to identify all significant factors that influence productivity, quality and cost savings. This research provides a framework for a more comprehensive approach to estimating effectiveness using the pipe spooling method.

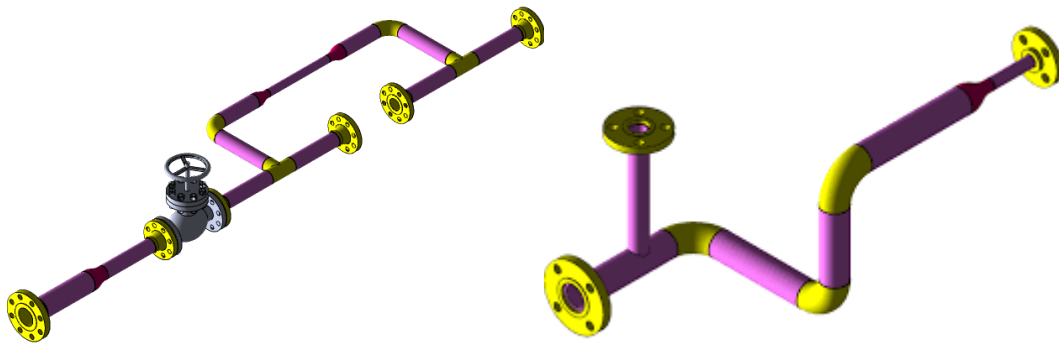
Keywords : Pipe Spooling Method, Factor, Effectiveness

1 Pendahuluan

Untuk memenuhi kebutuhan kapal dan sekaligus meningkatkan daya saing industri kapal Indonesia di dunia, dibutuhkan pengembangan teknologi produksi kapal yang dapat menekan biaya, meningkatkan produktivitas, dan mempercepat proses pembangunan kapal. Berbagai cara dikembangkan oleh pihak industri kapal untuk mencapai hal tersebut. Berbagai pendekatan sistem produksi layaknya industri dengan produk massal pun diadaptasi dan diaplikasikan pada proses pembangunan kapal [1].

Dalam merancang kapal baru beberapa komponen penting dan pokok akan menjadi fokus utama dalam perencanaan teknis, estetika, dan ekonomi. Salah satu contohnya adalah sistem perpipaan. Sistem perpipaan adalah sistem yang mengalirkan suatu fluida yang disimpan ataupun diteruskan dari tangki menuju peralatan lain yang membutuhkan fluida. Dalam instalasi perpipaan baik untuk mengalirkan fluida itu perlu dipertimbangkan dengan teliti untuk keamanan pada kapal sehingga susunan perpipaan dan perlengkapan lainnya tidak mengalami kendala dalam pemasangannya [2].

Skematik sistem pipa adalah representasi visual yang digunakan untuk menggambarkan struktur dan konfigurasi sistem perpipaan. Skematik ini dimaksudkan untuk memberikan gambar yang jelas tentang bagaimana pipa-pipa, katup-katup, pompa-pompa, dan komponen lainnya tersusun dan berhubungan satu sama lain dalam sistem. Pada umumnya sistem perpipaan yang ada di kapal tugboat diantaranya sistem perpipaan air laut (*seawater system*), sistem perpipaan pelumas (*lubricating oil system*), sistem perpipaan bahan bakar (*fuel oil system*), sistem perpipaan bilga dan *ballast* (*bilge & ballast system*) sistem perpipaan air tawar (*fresh water system*), sistem pipa pemadam kebakaran (*fire system*), sistem pipa udara, pipa pengisian, dan pipa pengukuran suara (*air, filling & sounding system*), (*sea chest system*). Gambar 1 menampilkan 3D *pipe spooling*.



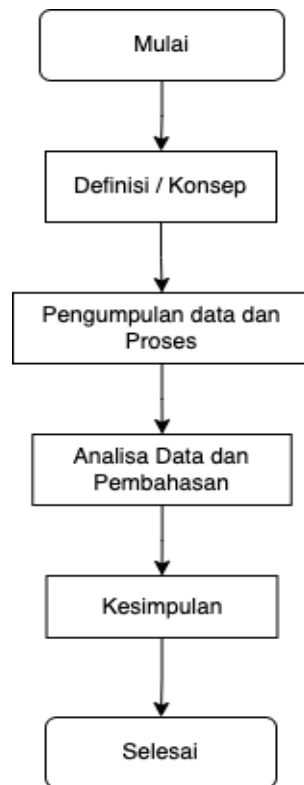
Gambar 1. 3D *Pipe Spooling*

Dalam proses merancang sistem perpipaan di dalam kapal ini salah satunya masih menggunakan metode konvensional. Beberapa kekurangan yang terdapat dalam menggunakan metode konvensional antara lain keterbatasan visualisasi, kesulitan dalam perubahan dan revisi, kesulitan koordinasi, resiko kesalahan, dan keterbatasan dokumentasi. Hal ini dapat memperlambat proses perancangan dan meningkatkan resiko kesalahan. Dapat menyebabkan ketidaksesuaian antara desain dan implementasi aktual dan menyulitkan pemecahan masalah di masa mendatang. Terdapat metode lainnya dalam proses fabrikasi yaitu metode *pipe spooling* dengan perangkat lunak desain CAD (*Computer-Aided Design*). *Pipe spooling* pada dasarnya adalah teknik penyambungan khusus dengan menggunakan *flange* dan aksesoris *stube end*. Teknik dalam konstruksi pipa dimana pipa-pipa dipotong, dipersiapkan dan disusun menjadi *spool-spool* kecil [3]

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengukur meningkatkan produktivitas, kualitas dan penghematan biaya yang dihasilkan dengan menerapkan metode *pipe spooling* dibandingkan dengan metode konvensional. Batasan masalah pada penelitian kali ini adalah penelitian ini hanya membandingkan metode *pipe spooling* dengan metode konvensional terhadap proses fabrikasi perpipaan pada kapal tugboat 26 meter. Penelitian ini tidak membahas lebih lanjut menghitung ukuran semua sistem pipa yang ada di kapal. Dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan perbandingan terkait efektivitas sehingga dapat memilih metode yang tepat untuk digunakan pada proses fabrikasi.

2 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian ini menggabungkan penerapan metode *Critical Path Method* (CPM) dan wawancara mendalam untuk mengevaluasi efisiensi dan efektivitas metode pipe spooling. Pendekatan ini dipilih untuk mendapatkan pemahaman mendalam mengenai pengalaman dan perspektif para pekerja dalam menerapkan metode *pipe spooling*. Data dikumpulkan melalui survei, wawancara, observasi langsung di lapangan. Berikut adalah langkah-langkah dalam menyelesaikan tugas akhir yang disajikan dalam bentuk flowchart seperti pada gambar 2 berikut ini :



Gambar 2. Flowchart Penelitian

2.1 Konvensional

Metode konvensional merupakan teknik fabrikasi yang masih menggunakan cara lama atau tradisional. Metode ini masih digunakan dalam proses pembuatan sistem perpipaan pada industri kapal, terlebih dengan perkembangan teknologi yang sudah ada yang bisa membantu dalam efektivitas pengerjaan. Metode konvensional ini mencakup serangkaian langkah-langkah yang dilakukan dengan menggunakan peralatan dan teknik yang telah ada sejak lama.

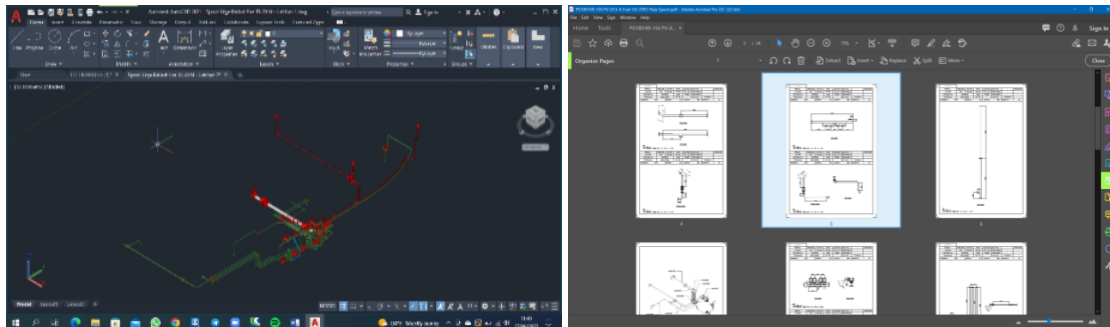
Semua tahapan dalam proses fabrikasi menggunakan metode konvensional ini dilakukan langsung di dalam kapal. Seperti perencanaan, pengukuran, pemotongan pipa, penyambungan pipa hingga menjadi sistem perpipaan yang ada di dalam kapal. Proses ini merupakan representasi umum dari metode konvensional dalam pembuatan sistem pipa di kapal. Meskipun teknologi modern telah memperkenalkan inovasi seperti penggunaan robotika dalam pengelasan atau pemotongan otomatis, metode konvensional masih digunakan terutama untuk proyek-proyek dengan skala kecil hingga menengah atau di mana ketersediaan peralatan dan keahlian operator masih menjadi faktor penting.

2.2 Pipe Spooling

Metode pipe spooling merupakan teknik fabrikasi yang digunakan dalam proses pembuatan pipa untuk kapal atau struktur *offshore* lainnya. Pipe spool adalah sebuah istilah yang digunakan dalam industri fabrikasi pipa untuk merujuk kepada sebuah modul atau unit yang terdiri dari satu atau lebih pipa yang disambungkan. *Pipe spool* umumnya dipersiapkan di darat atau di lokasi fabrikasi sebelum kemudian dipasang di dalam kapal. *Pipe spooling* pada dasarnya adalah teknik penyambungan khusus dengan menggunakan *flange* dan aksesoris *stube end*.

Dalam hal ini proses pengerjaan metode *pipe spooling* menggunakan *software* pendukung yaitu dengan perangkat lunak desain CAD (*Computer-Aided Design*). Gambar 3D sistem perpipaan yang di dalam kapal dipecah menjadi bagian-bagian kecil dalam bentuk 2D, yang bertujuan untuk mempermudah bagian fabrikasi untuk memotong bagian sistem perpipaan yang akan dimasukkan ke dalam kapal.

Menggunakan rincian kerja pendekatan struktur untuk pemodelan proses fabrikasi dan perakitan *spool* pipa. Mengembangkan model simulasi yang mampu memperkirakan produktivitas fabrikasi dan menunjukkan potensi hambatan dalam proses fabrikasi. Hasil model ini memuaskan karena mampu memperkirakan produktivitas fabrikasi dengan kesalahan kurang dari 5%. Analisis statistik juga digunakan untuk menentukan sumber daya dengan waktu tunggu tinggi yang menyebabkan kemacetan dalam prosesnya [4]. Gambar 3 dan 4 menampilkan proses *pipe spooling* dan contoh hasil dari *pipe spooling*.



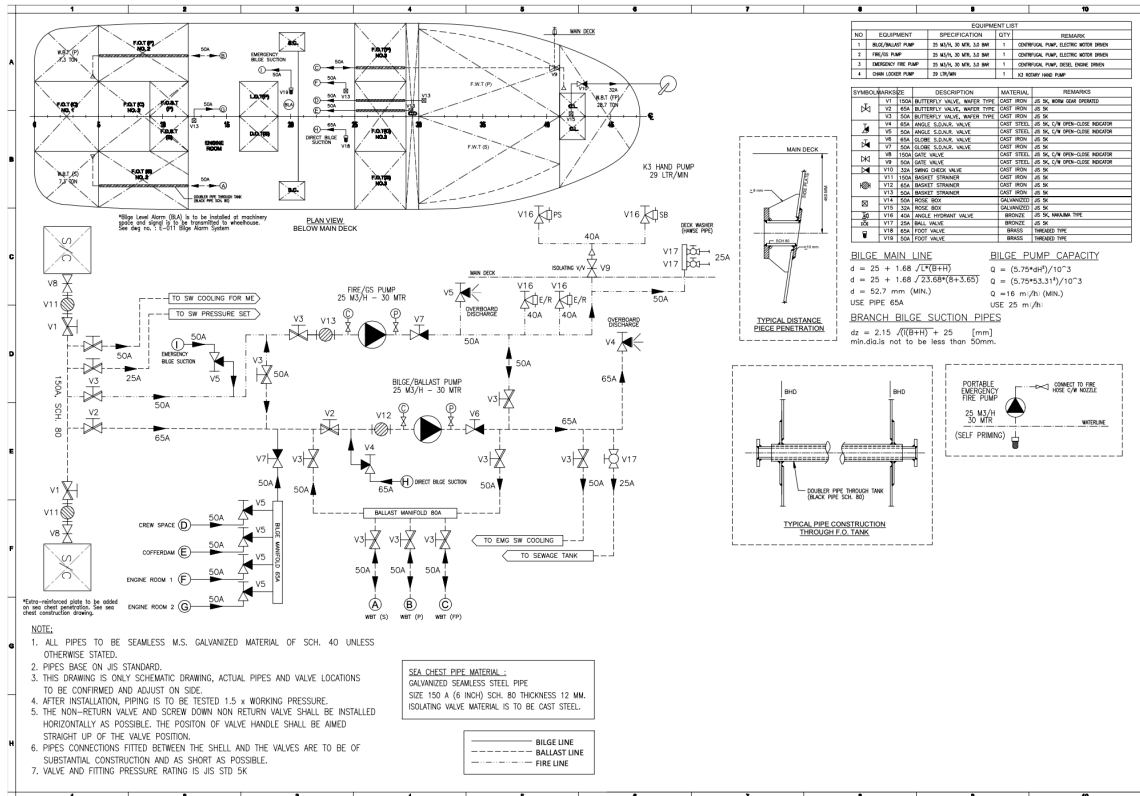
Gambar 3. Proses *Pipe Spooling* dari gambar 3D menjadi 2D



Gambar 4. Contoh hasil dari *Pipe Spooling*

2.3 Pengumpulan Data

Data ini didapatkan dengan melakukan survei, observasi dan wawancara, pada saat penulis melaksanakan kerja praktik di PT Patria Maritim Perkasa pada periode Juli-Oktober 2022. Selain itu juga terdapat data pendukung dari beberapa profesional yang berpengalaman pada bidang fabrikasi sistem perpipaan pada kapal tugboat 26 meter. Contoh *schematic drawing* dapat dilihat pada gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. SCHEMATIC OF BILGE, BALLAST, & FIRE SYSTEM

Tabel 1. Data Manpower

No	Manpower	Manpower yang diperlukan	Biaya	
			Per Jam	Per Hari
1	Helper	1	Rp 15.000	Rp 120.000
2	Fitter	2	Rp 40.000	Rp 320.000
3	Welder	2	Rp 50.000	Rp 400.000
Total		5	Rp 105.000	Rp 840.000

Pada tabel 1 menampilkan data manpower yang diperlukan dan biaya manpower yang dikeluarkan pada proses fabrikasi perpipaan pada kapal tugboat 26 meter. Data tersebut didapatkan melalui observasi lapangan dan wawancara kepada tenaga ahli yang terlibat pada proses pengerjaan.

2.4 Proses

2.4.1 Critical Path Method

Metode Jalur Kritis (Critical Path Method) adalah sebuah metode perencanaan dan pengendalian proyek yang sangat umum digunakan. Dalam metode CPM, terdapat konsep jalur kritis yang merujuk pada rangkaian kegiatan dengan total waktu paling lama dan mencerminkan durasi penyelesaian proyek yang paling cepat. Jalur kritis terbentuk oleh serangkaian kegiatan kritis yang dimulai dari tahapan awal hingga tahapan akhir proyek. Mengidentifikasi jalur kritis sangat penting bagi pelaksana proyek karena di dalamnya terdapat kegiatan-kegiatan yang jika mengalami keterlambatan, akan menyebabkan proyek keseluruhan terlambat [5].

Berikut adalah langkah – langkah penelitian yang dilakukan :

1. Identifikasi aktivitas proyek seperti fabrikasi pipa diluar lokasi, pengiriman pipa ke lokasi proyek, instalasi pipa di lokasi proyek, pengujian dan inspeksi pipa
2. Menentukan urutan aktivitas
3. Memperkirakan durasi aktivitas perkiraan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan setiap aktivitas.
4. Membuat diagram jaringan menggunakan informasi di atas untuk membuat diagram jaringan (network diagram) yang menggambarkan urutan dan hubungan antar aktivitas. Aktivitas akan dihubungkan dengan panah yang menunjukkan aliran proyek.
5. Identifikasi jalur kritis menggunakan CPM untuk menentukan jalur kritis (critical path) dari proyek, yaitu jalur terpanjang yang menentukan durasi keseluruhan proyek. Jalur kritis ini adalah urutan aktivitas yang tidak boleh tertunda agar proyek selesai tepat waktu.
6. Analisis dan optimasi dengan mengetahui jalur kritis, kita bisa fokus pada aktivitas-aktivitas di jalur tersebut untuk memastikan bahwa tidak ada penundaan. Selain itu, kita bisa mencari cara untuk mengurangi durasi aktivitas di jalur kritis jika memungkinkan, misalnya dengan meningkatkan efisiensi fabrikasi atau mempercepat pengiriman pipa.

2.4.2 Analisis Produktivitas

Produktivitas adalah perbandingan atau hubungan antara hasil (output) dengan sumber daya yang digunakan (input). Perhitungan produktivitas diperlukan sebagai dasar perbandingan antara metode pipe spooling dan konvensional. Produktivitas tenaga kerja dapat dihitung dengan menggunakan rumus persamaan 1 [6].

$$\text{Produktivitas} = \frac{\text{Sistem Pipa}}{\text{Waktu pengerjaan} \times \text{Jumlah pekerja}} \quad (1)$$

2.4.3 Analisis Biaya

Perhitungan biaya langsung yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan data yang diperoleh dari hasil observasi lapangan yang terdapat pada tabel 1 .Data upah pekerja tersebut akan dilakukan perhitungan dengan tenaga kerja dan durasi tiap sistem pipa. Perhitungan biaya tenaga kerja langsung dapat dilihat dengan rumus persamaan 2 [7].

$$\text{Biaya} = \text{UP} \times \text{TK} \times \text{D} \quad (2)$$

Keterangan :

UP : Upah Kerja
TK : Tenaga Kerja
D : Durasi

3 Analisa Data dan Pembahasan

3.1 Critical Path Methode

3.1.1 Identifikasi Aktivitas

Aktivitas A = Fabrikasi Pipa di Luar Lokasi
Aktivitas B = Pengiriman Pipa ke Lokasi Proyek
Aktivitas C = Instalasi Pipa di Lokasi Proyek
Aktivitas D = Pengujian dan Inspeksi Pipa

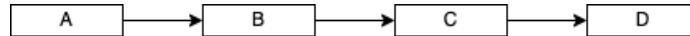
3.1.2 Menentukan Urutan Aktivitas

Aktivitas A (Fabrikasi Pipa) harus selesai sebelum Aktivitas B (Pengiriman Pipa).
Aktivitas B (Pengiriman Pipa) harus selesai sebelum Aktivitas C (Instalasi Pipa).
Aktivitas C (Instalasi Pipa) harus selesai sebelum Aktivitas D (Pengujian dan Inspeksi).

3.1.3 Perkiraan Durasi (Semua Sistem)

1. Fabrikasi Pipa : 34 hari
2. Pengiriman Pipa : 2 hari
3. Instalasi Pipa : 6 hari
4. Pengujian dan Inspeksi : 4 hari

3.1.4 Diagram Jaringan



3.1.5 Identifikasi Jalur Kritis (Critical Path)

Jalur Kritis : A → B → C → D

Total Durasi Proyek : 34 + 4 + 6 + 4 = 46 hari

3.1.6. Analisa dan Optimasi

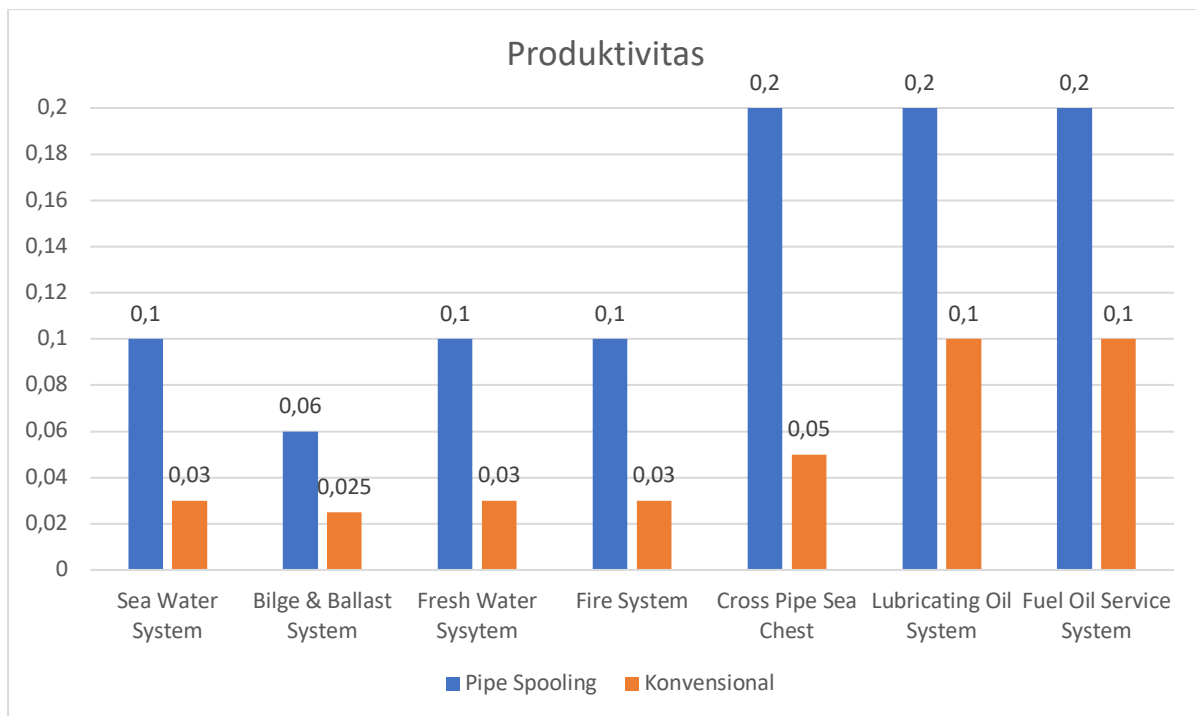
Berfokus pada jalur kritis (A,B,C,D) meningkatkan efisiensi fabrikasi pipa dengan menggunakan metode *pipe spooling* untuk mengurangi durasi waktu pengerjaan dari 34 hari menjadi 12 hari. Dengan menggunakan metode *pipe spooling* yang memiliki acuan gambar dan detail *spooling* yang sudah dibuat sebelumnya dalam mempercepat proses fabrikasi. Metode *spooling* akan jauh lebih efisien dari segi waktu pengerjaan dibandingkan dengan metode konvensional. Hal ini disebabkan oleh pengerjaan *spooling* bisa dikerjakan secara paralel bahkan bisa dikerjakan terlebih dahulu daripada pekerjaan konstruksi. Namun jika metode konvensional masih harus menunggu pekerjaan konstruksi selesai, setelah itu *rooting* manual jalur pipanya.

3.2 Perhitungan Produktivitas

$$\text{Produktivitas} = \frac{\text{Sistem Pipa}}{\text{Waktu pengerjaan} \times \text{Jumlah pekerja}} \quad (1)$$

Tabel 2. Laporan Perhitungan Produktivitas

No	Sistem Perpipaan	Durasi Pengerjaan (hari)		Tenaga Kerja	Sistem Pipa	Produktivitas (mandays)	
		Pipe Spooling	Konvensional			Pipe Spooling	Konvensional
1	Sea Water System	2	6	5	1 sistem	0,1	0,03
2	Bilge & Ballast System	3	8	5	1 sistem	0,06	0,025
3	Fresh Water Sysytem	2	6	5	1 sistem	0,1	0,03
4	Fire System	2	6	5	1 sistem	0,1	0,03
5	Cross Pipe Sea Chest	1	4	5	1 sistem	0,2	0,05
6	Lubricating Oil System	1	2	5	1 sistem	0,2	0,1
7	Fuel Oil Service System	1	2	5	1 sistem	0,2	0,1



Gambar 6. Hasil Produktivitas

Diagram produktivitas ini membandingkan efisiensi antara dua metode, yaitu Pipe Spooling (ditunjukkan dengan warna biru) dan Konvensional (ditunjukkan dengan warna oranye), dalam berbagai sistem yang berbeda. Dari diagram tersebut angka yang paling besar menunjukkan produktivitas yang lebih baik yang di tunjukkan pada digram biru atau metode *pipe spooling*. Dari diagram tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode *Pipe Spooling* secara konsisten menunjukkan produktivitas yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional di semua kategori sistem yang diukur. Secara keseluruhan, diagram ini jelas menunjukkan bahwa metode Pipe Spooling lebih produktif dibandingkan metode konvensional di semua sistem yang dianalisis.

3.3 Perhitungan Biaya

$$\text{Biaya} = \text{UP} \times \text{TK} \times \text{D} \quad (2)$$

Keterangan :

UP : Upah Kerja
 TK : Tenaga Kerja
 D : Durasi

Dengan melakukan perhitungan biaya menggunakan rumus yang telah dijelaskan sebelumnya, saya memperoleh hasil yang terperinci dan komprehensif, seperti yang disajikan dalam tabel di bawah ini. Tabel ini menunjukkan rincian biaya secara spesifik berdasarkan parameter yang telah ditentukan, memberikan gambaran yang jelas dan akurat mengenai alokasi dan total biaya yang terlibat dalam proyek ini.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Biaya

No	Sistem Perpipaan	Total Biaya	
		Pipe Spooling	Konvensional
1	Sea Water System	Rp 8.400.000	Rp 25.200.000
2	Bilge & Ballast System	Rp 12.600.000	Rp 33.600.000
3	Fresh Water Sysytem	Rp 8.400.000	Rp 25.200.000
4	Fire System	Rp 8.400.000	Rp 25.200.000
5	Cross Pipe Sea Chest	Rp 4.200.000	Rp 16.800.000
6	Lubricating Oil System	Rp 4.200.000	Rp 8.400.000
7	Fuel Oil Service System	Rp 4.200.000	Rp 8.400.000
Total		Rp 50.400.000	Rp 142.800.000

Hasil perbandingan jumlah biaya yang dikeluarkan antara metode pipe spooling dan metode konvensional menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam efisiensi dan efektivitas biaya. Metode pipe spooling, yang melibatkan fabrikasi dan perakitan pipa di luar lokasi proyek sebelum dipasang di tempat, cenderung mengurangi biaya secara keseluruhan. Ini disebabkan oleh pengurangan waktu kerja di lokasi yang mahal, efisiensi dalam penggunaan tenaga kerja, serta minimnya gangguan pada operasi proyek lainnya. Selain itu, dengan fabrikasi di lingkungan yang terkontrol, risiko kesalahan dan biaya perbaikan dapat diminimalkan.

Sebaliknya, metode konvensional, yang memerlukan pengelasan dan pemasangan pipa secara langsung di lokasi proyek, seringkali mengakibatkan biaya yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan akan lebih banyak tenaga kerja di lokasi, potensi gangguan yang lebih besar, serta risiko keterlambatan yang dapat meningkatkan biaya total proyek. Secara keseluruhan, analisis biaya menunjukkan bahwa metode pipe spooling menawarkan keuntungan ekonomis yang lebih besar dibandingkan dengan metode konvensional, membuatnya menjadi pilihan yang lebih efisien untuk banyak proyek instalasi pipa.

3.4 Hasil Setelah Optimasi Semua Sistem (Metode *Pipe Spooling* dengan CPM)

1. Fabrikasi Pipa : 12 hari (menggunakan metode *pipe spooling*)
2. Pengiriman Pipa : 2 hari
3. Instalasi Pipa : 6 hari
4. Pengujian dan Inspeksi : 4 hari

Total durasi proyek : 12 + 2 + 6 + 4 : 24 hari

Dengan hasil ini maka perbandingan efektivitas metode *pipe spooling* dengan metode konvensional dapat dilihat bahwa metode *pipe spooling* menghemat waktu durasi keseluruhan aktivitas sebanyak sebanyak 22 hari.

4 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan metode pipe spooling yang dianalisis menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM) memberikan peningkatan yang signifikan dalam efektivitas dan efisiensi proyek perpipaan. Dengan mengidentifikasi aktivitas-aktivitas penting dan jalur kritis dalam proyek menggunakan CPM, proyek dapat direncanakan dan dikelola dengan lebih baik.

Metode *pipe spooling* secara signifikan meningkatkan efisiensi dibandingkan dengan metode konvensional dalam proses fabrikasi perpipaan pada kapal tugboat. Dengan melakukan fabrikasi di lokasi terpusat sebelum pengiriman ke lokasi instalasi, proses ini mengurangi waktu yang diperlukan untuk pemasangan dan memungkinkan pengawasan kualitas yang lebih baik. Penggunaan *pipe spooling* memastikan tingkat akurasi yang lebih tinggi dalam pembuatan dan pemasangan pipa. Proses ini memungkinkan fabrikasi pipa dengan toleransi yang lebih ketat dan pengujian kualitas yang lebih menyeluruh, sehingga mengurangi risiko kesalahan dan cacat pada pipa. Proses *pipe spooling* dapat meminimalisir resiko pengerjaan berulang karena kesalahan *routing* pipa, sehingga dapat menghemat waktu fabrikasi dan instalasi nantinya.

Dari segi biaya, metode *pipe spooling* juga menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional. Pengurangan waktu kerja di lokasi proyek berarti penurunan biaya tenaga kerja langsung dan biaya terkait lainnya. Selain itu, dengan fabrikasi offsite, risiko keselamatan dapat diminimalkan, yang pada gilirannya mengurangi potensi biaya yang terkait dengan kecelakaan kerja. Secara keseluruhan, penelitian ini menyimpulkan bahwa metode pipe spooling menawarkan peningkatan produktivitas dan efisiensi biaya yang signifikan. Implementasi metode ini dalam proyek-proyek instalasi pipa dapat memberikan keuntungan ekonomi dan operasional yang substansial, menjadikannya pilihan yang lebih efektif dibandingkan metode konvensional.

5 Daftar Pustaka

- [1] N. Virliantarto, B. Ma'ruf, and I. K. Suastika, "Pengukuran Kesiapan Teknologi untuk Pembangunan Kapal Kontainer 100 TEUs dengan Sistem Modular di PT PAL Indonesia," *Wave J. Ilm. Teknol. Marit.*, vol. 11, no. 1, pp. 31–38, Nov. 2017, doi: 10.29122/jurnalwave.v11i1.2054.
- [2] S. Pramono and R. D. Kurniawan, "Sistim pipa kapal berdaya mesin 2655 HP," 2019, [Online]. Available: https://www.academia.edu/27141220/SISTIM_PIPA_KAPAL_BERDAYA_MESIN_2655_HP
- [3] T. P. Naufal *et al.*, "Konstruksi Kapal dan Pipe Spooling: Panduan Praktis Berbasis Kasus dengan Model 3D."
- [4] S. P. Mosayebi, A. R. Fayek, L. Yakemchuk, and S. Waters, "Factors Affecting Productivity of Pipe Spool Fabrication," *Int. J. Archit. Eng. Constr.*, vol. 1, no. 1, pp. 30–36, 2012, doi: 10.7492/ijaec.2012.003.
- [5] I. Soeharto, *Manajemen Proyek*, Jakarta: Erlangga, 1999.
- [6] H. C. Wahyuni, *Analisa Produktivitas Konsep Dasar dan Teknik Pengukuran Produktivitas*, Sidoarjo: UMSIDA Press, 2017.
- [7] Raka Fadlyan Musfar, "Analisis Percepatan Waktu Dan Produktivitas Pada Proyek Reparasi Kapal Km Dharma Rucitra Vii Dengan Metode Critical Chain Project Management," 2023.