

ANALISIS OPERASI DAN BIAYA UNTUK PEKERJAAN INSTALASI PIPA HIDRAN MENGGUNAKAN TEKNIK SIMULASI (STUDI KASUS PROYEK PEMBANGUNAN PLTU X DI CILEGON)

Pratama Eka Putra Sijabat

Institut Teknologi Bandung, Indonesia

Email: pratamaekaptr@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini dirancang sebagai studi analisis operasi untuk pekerjaan instalasi pipa hidran pada suatu proyek pembangunan PLTU di kota Cilegon yang mengalami *delay* akibat tidak tercapainya target produktivitas harian dari pekerjaan tersebut. Penelitian dilakukan dengan merancang model CYCLONE dari pekerjaan pipa hidran tersebut kemudian dilakukan simulasi operasi konstruksi menggunakan data aktual di lapangan untuk mengetahui durasi total dari seluruh 9 zona pekerjaan. Durasi hasil simulasi kemudian dibandingkan dengan progress aktual pekerjaan di lapangan untuk menganalisis faktor-faktor perbaikan yang dapat diterapkan agar produktivitas pekerjaan meningkat. Data simulasi juga didukung dengan data *foreman delay survey* (FDS) untuk mengetahui masalah-masalah yang terjadi di lapangan sehingga mengakibatkan *delay*. Berdasarkan data-data tersebut, dirancang usulan perbaikan pola operasi dan jumlah sumber daya yang tepat untuk dapat mengejar ketertinggalan *schedule* serta menganalisis dampaknya terhadap biaya pekerjaan. Dari hasil simulasi ditemukan bahwa pekerjaan di zona 1-4 dapat diselesaikan dalam 159,95 hari. Namun aktualnya, pekerjaan selesai dalam waktu 220 hari (terdeviasi 27,30%). Selain itu, pekerjaan tetap tidak bisa selesai sesuai *schedule*, dimana hingga zona 4, pekerjaan ditargetkan selesai dalam waktu 135 hari. Dari hasil simulasi juga ditemukan bahwa beberapa sumber daya memiliki tingkat *idle* yang tinggi sehingga mempengaruhi durasi pekerjaan. Sehingga disulkan rancangan perbaikan dengan mengubah pola operasi dan menambah jumlah sumber daya. Hasilnya, ditemukan bahwa sisa pekerjaan hingga Zona 9 dapat selesai dalam waktu 67,56 hari dengan total biaya pekerjaan senilai Rp 754.291.871 dimana jika berdasarkan kondisi eksisting, ditemukan bahwa sisa pekerjaan dapat selesai selama 131,27 hari dengan total biaya Rp 1.227.274.688. Durasi ini jauh lebih singkat dari *schedule* dimana sisa pekerjaan ditargetkan selesai dalam 113 hari.

Kata Kunci: Simulasi, Pipa Hidran, *Idle*, *Foreman Delay Survey*, CYCLONE, Produktivitas, Biaya.

Abstract

This research is designed as an operational analysis study for the installation of hydrant main ring in a power plant construction project in Cilegon, which has experienced delays due to the failure to meet daily productivity targets. The research was conducted by designing a CYCLONE model of the installation work and then simulating the construction operations using actual field data to determine the total duration of all nine work zones. The simulated duration was then compared to the actual progress of field work to analyze possibility of improvement that could be implemented to increase work productivity. The simulation data is also supported by the foreman delay survey (FDS) data to identify on-site issues which causing the delays. Based on these data, proposals were made for improving operational patterns and determining the appropriate number of resources needed to catch up with the schedule, including the cost impact analysis for the implementation of the

proposed improvement. From the simulation results, it was found that the work in zones 1-4 could be completed in 159.95 days. However, in reality, the work was completed in 220 days (a deviation of 27.30%). Additionally, the work could not be completed as per the schedule, where until zone 4, the work was targeted to be completed in 135 days. The simulation results also indicated that several resources had high idle times, affecting the work duration. Thus, an improvement design was proposed by changing the operational pattern and increasing the number of resources. As a result, it was found that the remaining work up to Zone 9 could be completed in 67.56 days with a total work cost of Rp 754.291.871. Under existing conditions, it was found that the remaining work could be completed in 131.27 days with a total cost of Rp 1.227.274.688. This duration is much shorter than the scheduled target, where the remaining work was targeted to be completed in 113 days.

Keywords: *Simulation, Hydrant Main Ring, Idle, Foreman Delay Survey, CYCLONE, Productivity, Cost.*

Pendahuluan

Pada pekerjaan konstruksi sistem perpipaan melibatkan proses repetitif dimana salah satu permasalahan yang paling sering dihadapi adalah optimalisasi alokasi sumber daya. Maka dari itu, setiap sumber daya yang ada harus dipelajari secara hati-hati untuk mencapai target waktu dan biaya proyek (Zahran & Nassar, 2013). Pekerjaan konstruksi sistem perpipaan umumnya melibatkan beberapa proses mulai dari pekerjaan fabrikasi spool, *pipe laying/stringing*, pekerjaan *fit-up*, pekerjaan *welding*, pekerjaan inspeksi dan pengetesan, *reinstatement* hingga pekerjaan *commissioning* (Aldrin et al., 2013; Smrecek, 2013). Setiap tahapan memiliki prosedur yang terukur serta sumber daya manusia yang memiliki fungsi dan tugas masing-masing seperti *welder*, *fitter*, *helper*, *welding inspector*, *grinder*, supervisor, dan lainnya.

Pada proyek insdustrial, *power plant* ataupun *oil and gas*, produktivitas instalasi pipa memiliki peran yang sangat penting terhadap kesuksesan proyek sehingga telah banyak dilakukan pengembangan metode untuk perencanaan dan memonitoring progress pekerjaan tersebut (Ferreira et al., 2018; Kuppusamy & Ramar, 2011; Tabim & Ferreira, 2015). Keterlambatan pekerjaan instalasi pipa ini dapat berdampak pada pekerjaan lain sehingga dapat mengakibatkan efek domino yang dapat mempengaruhi target penyelesaian keseluruhan proyek. Salah satu pekerjaan installasi pipa yang memegang peran penting dalam keberhasilan proyek *power plant* ataupun *oil and gas* adalah pekerjaan installasi pipa hidran. Ini disebabkan karena sebelum melakukan *plant commissioning*, sistem pemadam kebakaran harus sudah terpasang terlebih dahulu untuk memproteksi *plant* jika terjadi kebakaran (Colmenarejo et al., 2022; Pratama & Murti, 2023).

Pada penelitian ini, studi kasus dilakukan pada pekerjaan instalasi pipa hidran pada suatu proyek pembangunan PLTU di kota Cilegon yang mengalami *delay* akibat tidak tercapainya target produktivitas harian dari pekerjaan installasi pipa tersebut. Pekerjaan installasi pipa hidran ini dilakukan oleh subkontraktor lokal yang mengalokasikan satu tim *fitter* dan dua tim *welder* untuk mengerjakan installasi pipa tersebut. Pada saat data penelitian ini diambil, progres aktual pekerjaan telah terdeviasi sebesar 25% dari progress yang direncanakan sehingga berpotensi mempengaruhi tercapainya penyelesaian *milestone* proyek.

Sebagai pekerjaan repetitif, operasi instalasi pipa hidran dapat dimodelkan dan disimulasikan kedalam program komputer untuk membantu dalam perencanaan *resource* yang dibutuhkan serta mengevaluasi tahapan operasi tersebut. Menurut Abduh et al. (2010), simulasi operasi merupakan teknik yang efektif dalam merencanakan dan

menganalisis operasi konstruksi yang akan dilakukan terlebih dahulu sehingga kontraktor dapat mengantisipasi permasalahan efisiensi yang akan terjadi dalam fase implementasi. Penggunaan simulasi dalam mempelajari operasi konstruksi pertama kali diperkenalkan oleh Halpin (1973) yang mengembangkan suatu metode simulasi operasi yang disebut Cyclic Construction Operation Network (CYCLONE). Pada pemodelan ini, semua sumber daya dan tugas dinyatakan secara eksplisit sebagai *flow unit* dan digambarkan sebagai elemen-elemen pemodelan.

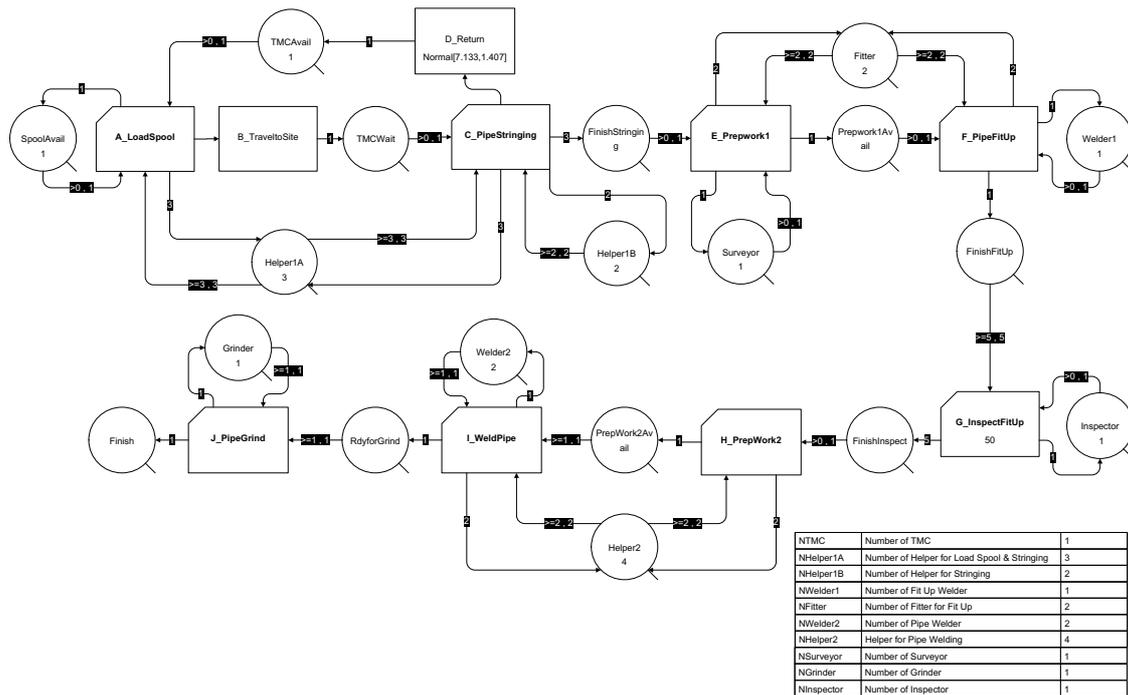
Dari beberapa studi literatur, penerapan teknik simulasi telah dilakukan dalam operasi instalasi pipa. Sarireh (2011) menganalisis produktivitas serta biaya pekerjaan instalasi *pipeline* dengan metode *Horizontal Directional Drilling* menggunakan software MicroCYCLONE dimana data durasi pekerjaan di lapangan diambil dan dikelompokkan berdasarkan stage pekerjaan (pre-reaming dan reaming) dan setiap work task untuk masing-masing stage pekerjaan dicatat sebagai referensi perhitungan simulasi. Dari hasil simulasi telah didapat estimasi produktivitas pekerjaan tersebut serta biaya pekerjaan secara keseluruhan. Hajji (2013) dalam penelitiannya melakukan analisis produktivitas pekerjaan instalasi pipa *underground* dengan metode *Direct Pipe Drilling* menggunakan model CYCLONE. Dari hasil simulasi, ditemukan bahwa produktivitas pekerjaan direct drilling method adalah 11.36 meter/hour dari hasil pengamatan 12 kali siklus. Zahran dan Nassar (2013), Dargham et al. (2019), serta Younes et al. (2020) melakukan simulasi pekerjaan instalasi *pipeline* menggunakan software EZStrobe untuk memberikan *overview* terhadap penggunaan simulasi dalam perencanaan dan evaluasi pekerjaan tersebut.

Pada penelitian ini, pekerjaan instalasi pipa hidran tersebut akan disimulasikan dengan menggunakan data aktual dari durasi operasi serta jumlah *resource* yang ada. Kemudian hasil simulasi akan dibandingkan dengan data laporan produktivitas harian yang didapat dari subkontraktor pekerjaan tersebut dan selanjutnya dianalisis untuk menemukan masalah yang mengakibatkan pekerjaan mengalami keterlambatan. Selain itu, untuk mendukung hasil analisis, wawancara akan dilakukan kepada personil proyek yang terlibat untuk menemukan masalah-masalah yang mempengaruhi produktivitas pengelasan pipa dan kaitannya dengan hasil simulasi pekerjaan menggunakan *software* EZStrobe. Dari hasil analisis tersebut akan diusulkan solusi perbaikan serta *resource* dan biaya yang dibutuhkan untuk mengejar keterlambatan dan mencapai target penyelesaian.

Metode Penelitian

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini dirancang sebagai studi analisis operasi dengan menyimulasikan operasi instalasi pipa hidran menggunakan data *resources* aktual untuk mengetahui durasi total pekerjaan. Durasi hasil simulasi kemudian dibandingkan dengan progress aktual pekerjaan di lapangan. Pengumpulan data durasi pekerjaan dilakukan melalui pengamatan langsung menggunakan metode *time studies*. Formulir pengamatan durasi pekerjaan serta jumlah *resource* yang digunakan akan diberikan ke supervisor pekerjaan untuk dicatat dan dilaporkan. *Time studies* akan dilakukan pada operasi yang menjadi objek pengamatan yaitu operasi instalasi pipa. Operasi yang diamati adalah operasi *material handling, pipe stringing/laying, pipe fit-up, pipe welding* serta test dan inspeksi. Berdasarkan pengamatan di lapangan, digambarkan model CYCLONE dari keseluruhan pekerjaan sebagai berikut (gambar 1). Deskripsi dan jumlah masing-masing sumberdaya pada kondisi eksisting digambarkan pada tabel 1.



Gambar 1. Model CYCLONE pekerjaan instalasi pipa hidran (kondisi eksisting)

Sebagai data tambahan dari analisis kuantitatif yang dilakukan, analisis operasi diperkuat dengan kuisioner yang diisi supervisor menggunakan format *foreman delay survey*. Sebagai data pendukung, diperlukan juga data teknis mengenai pekerjaan yang diamati berupa kurva-s, penjadwalan, gambar teknis, metode kerja dan volume pekerjaan. Berdasarkan data-data tersebut kemudian diusulkan kombinasi jumlah *resource* yang tepat untuk dapat mengejar ketertinggalan *schedule*.

Tabel 1. Sumber daya untuk pekerjaan instalasi pipa

ID	Deskripsi	Jumlah	Tugas Utama
TMCavail	Truck mounted crane (TMC)	1	Mengambil spool pipa dari laydown ke area kerja
Helper1A	Helper untuk pipe stringing dan loading pipa	3	Mengambil pipa dan melakukan pipe stringing
Helper1B	Helper untuk pipe stringing di lokasi kerja	2	Melakukan setting pedestal dan pipe stringing
Fitter	Pipe Fitter	2	Membantu juru las untuk melakukan fit up
Welder1	Juru las untuk fit up	1	Melakukan pengelasan fit up
Surveyor	Surveyor fit up	1	Mengecek elevasi dan centre line pipa yang di fit up
Inspector	Welding inspector	1	Mengecek hasil fit up
Helper2	Helper untuk pengelasan pipa	4	Membantu juru las untuk melakukan instalasi pipa
Weder2	Jurus las untuk instalasi pipa	2	Melakukan instalasi pipa
Grinder	Tukang gerinda	1	Melakukan finishing hasil pengelesan

Pengumpulan Data dan Simulasi EZStrobe

Data durasi pekerjaan diambil untuk setiap work task. Untuk pekerjaan pengelasan, durasi pekerjaan akan berbeda untuk diameter pipa yang berbeda. Dalam proyek ini, pipa hidran terdiri dari pipa utama, yaitu pipa berdiameter 12 inch, 10 inch, 8 inch; dan pipa cabang pilar hidran, yaitu pipa berdiameter 6 inch. Dalam proyek ini, tim lapangan membuat sembilan pembagian area untuk memudahkan dalam mengontrol progress dan merencanakan target penyelesaian pekerjaan. Sehingga dalam pengerjaannya, subkontraktor diarahkan untuk menyelesaikan satu area terlebih dahulu lalu kemudian pindah ke area selanjutnya. Sembilan area tersebut digambarkan sebagai Zona 1- Zona 9. Pada penelitian ini, data durasi diambil pada pekerjaan di Zona 1-4. Data durasi setiap work task yang didapat kemudian akan dilakukan pengecekan *goodness-of-fit* menggunakan software Easyfit untuk menentukan jenis distribusi data serta parameter distribusi.

Tabel 2. Durasi Setiap Worktask

No	Nama Work Task	Jenis Durasi	Jenis Distribusi	Durasi (min)		
				Rata-rata	Std Dev	Parameter Distribusi
1	Loading material	Stokastik	Normal	26.263	4.266	
2	Perjalanan ke area kerja					
2.1	Zona 1 – LD1	Stokastik	Normal	6	0.816	
2.2	Zona 2 – LD2	Stokastik	Normal	7.133	1.407	
2.3	Zona 3 – LD3	Stokastik	Normal	11.429	2.992	
2.4	Zona 4 – LD2	Stokastik	Gamma	11.33	1.871	a=36.698; b=0.3088
3	Pipe stringing	Stokastik	Scaled Beta	64.711	9.543	a ₁ =1.7188 ; a ₂ =4.6438; a=49.347 ; b=106.33
4	Persiapan pipe fit up					
4.1	Pipa 6 inch	Stokastik	Gamma	45.706	6.621	a=47.645; b=0.9593
4.2	Pipa 8 inch	Stokastik	Gamma	73.191	13.881	a=27.803; b=2.6325
4.3	Pipa 10 inch	Stokastik	Gamma	81.75	13.845	a=34.866; b=2.3447
4.4	Pipa 12 inch	Stokastik	Normal	81.227	13.662	
5	Pipe fit up					
5.1	Pipa 6 inch	Stokastik	Normal	12.647	1.766	
5.2	Pipa 8 inch	Stokastik	Scaled Beta	16	2.085	a ₁ =8.1622; a ₂ =176.04; a=9.981; b=145.81
5.3	Pipa 10 inch	Stokastik	Normal	17.023	3.008	
5.4	Pipa 12 inch	Stokastik	Normal	21.545	3.528	
6	Inspeksi fit up	Deterministik		15		
7	Persiapan pengelasan pipa	Stokastik	Gamma	27.661	9.843	a=7.897; b=3.503

No	Nama <i>Work Task</i>	Jenis Durasi	Jenis Distribusi	Durasi (min)		
				Rata-rata	Std Dev	Parameter Distribusi
8	Pekerjaan pengelasan					
8.1	Pipa 6 inch	Stokastik	Normal	62.813	6.493	
8.2	Pipa 8 inch	Stokastik	Normal	68.596	3.3535	
8.3	Pipa 10 inch	Stokastik	Gamma	71.93	8.1661	a=77.587; b=0.92709
8.4	Pipa 12 inch	Stokastik	Pert	84.905	5.872	m=87.482; a=62.654; b=95.973
9	Pekerjaan gerinda					
9.1	Pipa 6 inch	Stokastik	Gamma	7.75	2.6708	a=8.42; b=0.92043
9.2	Pipa 8 inch	Stokastik	Beta	10.809	2.909	a ₁ =3.238; a ₂ =5.324; a=3.871; b=22.226
9.3	Pipa 10 inch	Stokastik	Scaled Beta	11.884	2.163	a ₁ =1.925; a ₂ =2.823; a=7.596; b=18.172
9.4	Pipa 12 inch	Stokastik	Gamma	13.286	4.291	a=9.5855; b=1.386
10	Pekerjaan inspeksi (NDT & Line checking)	Deterministik		5 hari		
11	Pekerjaan <i>hydrotest</i>	Deterministik		3 hari		

Proses *running* dari simulasi kemudian dilakukan berdasarkan data durasi tersebut untuk mengamati produktivitas harian untuk tiap-tiap operasi. Proses *running* simulasi akan dibatasi hingga 480 satuan waktu yang merepresentasikan jumlah jam kerja dalam satu hari yaitu 8 jam (480 menit). Simulasi akan dibuat untuk masing-masing pembagian area, dimana model CYCLONE akan sama namun jumlah *flow units* dan durasi *work task* tertentu akan berbeda tergantung jumlah sambungan/*joint* pipa setiap area dan diameter pipa yang digunakan. Data volume pekerjaan (jumlah *joint field weld*) dari masing-masing diameter pipa per masing-masing zona pekerjaan digambarkan pada tabel berikut:

Tabel 3. Volume pekerjaan untuk masing-masing diameter pipa

Zona	Jenis Pengelasan	Jumlah Joint				Total Joint	Keterangan
		6 in	8 in	10 in	12 in		
Zone 1	Field Weld	17	-	96	-	113	Sudah selesai (hand over ke tim commissioning)
	Shop Weld	55	-	73	-	128	
Sub-Total		72	-	169	-	241	
Zone 2	Field Weld	22	49	77	54	202	Sudah selesai (hand over ke tim commissioning)
	Shop Weld	48	44	29	26	147	
Sub-Total		70	93	106	80	349	

Analisa Operasi dan Biaya untuk Pekerjaan Instalasi Pipa Hidran Menggunakan Teknik Simulasi (Studi Kasus Proyek Pembangunan PLTU X di Cilegon)

Zona	Jenis Pengelasan	Jumlah Joint				Total Joint	Keterangan
		6 in	8 in	10 in	12 in		
Zone 3	Field Weld	11	33	47	16	107	Sudah selesai (hand over ke tim commissioning)
	Shop Weld	118	42	28	10	198	
	Sub-Total	129	75	75	26	305	
Zone 4	Field Weld	36	72	-	67	175	Sudah selesai (hand over ke tim commissioning)
	Shop Weld	95	18	-	22	135	
	Sub-Total	131	90	-	89	310	
Zone 5	Field Weld	38	34	18	28	118	On progress
	Shop Weld	40	42	20	33	135	
	Sub-Total	78	76	38	61	253	
Zone 6	Field Weld	8	46	25	25	104	Belum dikerjakan
	Shop Weld	10	36	-	28	74	
	Sub-Total	18	82	25	53	178	
Zone 7	Field Weld	15	29	18	15	77	Belum dikerjakan
	Shop Weld	16	28	25	18	87	
	Sub-Total	31	57	43	33	164	
Zone 8	Field Weld	12	27	31	26	96	Belum dikerjakan
	Shop Weld	17	25	45	31	118	
	Sub-Total	29	52	76	57	214	
Zone 9	Field Weld	45	88	-	75	208	Belum dikerjakan
	Shop Weld	110	88	-	31	229	
	Sub-Total	155	176	-	106	437	
Grand Total		713	701	532	505	2,451	

Foreman Delay Survey (FDS)

Pengumpulan data FDS dilakukan selama satu minggu untuk masing-masing work task. Untuk menganalisis delay yang terjadi, dilakukan pengelompokan jenis delay menjadi dua kategori utama yaitu recoverable delay dan supportive delay. Menurut Jain et al. (2019), recoverable delay adalah tipe delay yang harus dieliminasi yang meliputi waktu idle, waktu istirahat, waktu akibat rework, dll. Sedangkan supportive delay adalah tipe delay yang dibutuhkan agar pekerjaan dapat selesai. Supportive delay meliputi mobilisasi alat, pembersihan area kerja, delay akibat perubahan desain, delay akibat material handling, dll. Tipe delay ini tidak dapat di eliminasi namun dapat dikurangi. Pengelompokan jenis delay dalam penelitian ini digambarkan pada tabel berikut.

Tabel 4. Pengelompokan Jenis Delay

	Tipe Delay	Deskripsi
Supportive Delay	Gambar kerja	Delay akibat perubahan gambar/menunggu gambar
	Material handling	Mengirimkan material ke tim/pekerja lain
	Mobilisasi alat	Persiapan alat, pemindahan alat dari gudang ke lokasi kerja atau pemasangan <i>scaffolding</i>
	Ketersediaan lahan kerja	Ketersediaan lahan kerja meliputi pedestal beton, <i>pipe support</i> , dll.
	Safety	Delay akibat isu HSE (kelengkapan APD, <i>work permit</i> , dll)
Reco	Late start/early finish	Waktu terbuang akibat pekerjaan dimulai telat atau pekerja pulang lebih awal.

Tipe Delay	Deskripsi
<i>Personal break</i>	Pekerjaan berhenti karena pekerja sedang menggunakan handphone, sarapan, istirahat diluar jam istirahat makan siang.
Rework	Repair/rework akibat kesalahan pengelasan, kesalahan fabrikasi di shop, tidak lolos NDT, kebocoran saat pengetesan.
Menunggu/idle	Idle karena menunggu pekerjaan sebelumnya selesai terlebih dahulu atau menunggu arahan
Tidak bekerja	Tidak bekerja akibat isu lainnya seperti mogok kerja, alat rusak, sakit, dll

Hasil dan Pembahasan

Analisis Durasi Pekerjaan dan Produktivitas Harian

Dilakukan perbandingan antara durasi pekerjaan berdasarkan simulasi dengan durasi pekerjaan berdasarkan schedule serta aktual yang terjadi di lapangan. Durasi simulasi didapat dari rata-rata hasil replikasi simulasi sebanyak 100 kali. Dari hasil simulasi, dapat dilihat bahwa dalam kondisi ideal dengan sumber daya saat ini, pekerjaan dari zona 1-4 dapat diselesaikan dalam 159,95 hari. Namun aktualnya, pekerjaan selesai dalam waktu 220 hari (terdeviasi 27,30%). Deviasi progress ini mayoritas terjadi pada pekerjaan di zona 2, 3 dan 4 dimana deviasi progress terjadi paling besar yaitu 26.77% pada zona 2, 22,72% di Zona 3 dan 40,48% pada zona 4. Namun hasil simulasi menunjukkan durasi yang mirip dengan kondisi aktual pada zona 1 dimana hanya ada perbedaan durasi sebesar 5.87%.

Selain itu, dapat dilihat bahwa bahkan dengan kondisi pekerjaan ideal (durasi simulasi), pekerjaan tetap tidak bisa selesai sesuai schedule pekerjaan yang disepakati dengan subkontraktor. Berdasarkan analisis data, ditemukan bahwa terdapat deviasi progress sebesar 18,48% antara hasil simulasi dengan schedule pekerjaan, dimana pekerjaan hingga zona 4 ditargetkan selesai selama 135 hari. Deviasi progress mayoritas terjadi pada pekerjaan di Zona 2 dimana berdasarkan simulasi, pekerjaan dapat selesai selama 51,26 hari namun sesuai schedule, pekerjaan seharusnya selesai dalam waktu 35 hari (deviasi sebesar 46.47%).

Tabel 5. Analisis Durasi Pekerjaan

Zona	Durasi Schedule (hari)	Durasi Aktual (hari)	Durasi Simulasi (hari)	Deviasi Antara Durasi Schedule dengan Aktual	Deviasi Antara Durasi Simulasi dengan Schedule	Deviasi Antara Durasi Simulasi dengan Aktual
Zona 1	29	34	32	14.71%	10.36%	5.87%
Zona 2	35	70	51	50.00%	46.47%	26.77%
Zona 3	33	43	33	23.26%	0.70%	22.72%
Zona 4	38	73	43	47.95%	14.33%	40.48%
Total	135	220	160	38.64%	18.48%	27.30%

Durasi pekerjaan tersebut sejalan dengan angkat produktivitas harian dari sumberdaya dimana ditemukan bahwa produktivitas harian aktual dan hasil simulasi lebih rendah dari target produktivitas harian sesuai schedule. Ini membuktikan bahwa sumber daya yang dialokasikan subkontraktor saat ini masih kurang untuk mengejar target penyelesaian pekerjaan sehingga dibutuhkan penambahan sumber daya. Berdasarkan

schedule proyek, diketahui bahwa subkontraktor memiliki sisa waktu 113 hari lagi untuk menyelesaikan seluruh pekerjaan dari Zona 5 hingga zona 9.

Tabel 6. Data produktivitas harian

Zona / Dia Pipe	Target Daily Productivity (joint/day)	Produktivitas Harian Aktual (joint/day)	Produktivitas Harian Simulasi (joint/day)				
			6 in	8 in	10 in	12 in	Produktivitas rata-rata per Zona
Zona 1	5.38	3.32	5.78	-	4.56	-	5.17
Zona 2	7.48	2.89	6.15	4.88	4.52	4.29	4.96
Zona 3	4.28	3.15	4.73	4.58	4.33	3.31	4.24
Zona 4	5.83	2.54	6.69	4.97	-	4.30	5.32
TOTAL	5.80	2.88	Rata-Rata				4.922

Analisis Tingkat *Idleness* Pekerjaan Stringing

Untuk pekerjaan stringing pipa, sumber daya yang diamati adalah helper stringing (ID: Helper1A dan Helper1B) dan TMC. Berdasarkan hasil simulasi ditemukan bahwa selama durasi pekerjaan untuk setiap zona, TMC tidak memiliki waktu tunggu, dimana nilai AvWait dan idle time untuk queue "TMCavail" dan "TMCWait" adalah nol. Hal ini menggambarkan bahwa TMC memiliki produktivitas tinggi.

Tabel 7. Data perbandingan rata-rata waktu tunggu helper stringing

Zona / Dia Pipe	Durasi Rata-rata waktu tunggu "Helper1A" (menit)					Durasi Rata-rata waktu tunggu "Helper1B" (menit)				
	6 in	8 in	10 in	12 in	Total	6 in	8 in	10 in	12 in	Total
	Zona 1	5.81	-	6.12	-	11.93	34.53	-	37.55	-
Zona 2	6.51	6.91	7.02	7.11	27.55	37.70	39.19	39.67	41.12	157.68
Zona 3	9.32	9.50	9.16	9.52	37.50	44.37	43.67	45.87	44.68	178.59
Zona 4	8.54	9.18	-	9.39	27.11	41.88	44.63	-	43.69	130.20
Rata-rata	7.55	8.53	7.43	8.67	32.18	39.62	42.50	30.77	43.16	156.05

Kemudian dapat dilihat bahwa Helper1A memiliki waktu tunggu (AvWait) yang cukup rendah yaitu 32,18 menit. Artinya, setelah melakukan suatu work taks, setiap Helper1A mengalami idle selama ± 32 menit hingga bisa mengerjakan work task selanjutnya. Selain itu, untuk Helper1B memiliki waktu tunggu (AvWait) yang cukup tinggi yaitu 156.05 menit. Helper1B memang bertugas untuk menunggu pipa datang ke area kerja. Umumnya mereka juga bertugas untuk mempersiapkan area kerja seperti mempersiapkan kedudukan pipa sementara, memindahkan material yang menghalangi jalur pipa, dll. Namun pekerjaan persiapan ini bersifat kondisional dan tidak selalu diperlukan, tergantung areanya. Berdasarkan data simulasi ini, dapat disimpulkan bahwa helper untuk stringing banyak mengalami idle sehingga dapat dikurangi jumlahnya.

Analisis Tingkat *Idleness* Pekerjaan Fit-up

Dalam pekerjaan fit-up pipa, sumber daya yang diamati adalah fitter (ID: Fitter), surveyor (ID: Surveyor), welder fit up (ID: Welder1) dan inspector pengelasan (ID: Inspector). Namun untuk surveyor dan inspector dapat dianggap sebagai sumber daya pendukung dan diasumsikan tidak mempengaruhi produktivitas pekerjaan. Ini dikarenakan surveyor dan inspector juga digunakan untuk pekerjaan lain selain pekerjaan instalasi pipa hidran ini sehingga idle time untuk sumber daya ini tidak diamati.

Tabel 8. Data perbandingan rata-rata waktu tunggu untuk sumberdaya pekerjaan *fit up*

Zona / Dia Pipe	Durasi Rata-rata waktu tunggu "Fitter" (menit)					Durasi Rata-rata waktu tunggu "Welder1" (menit)				
	6 in	8 in	10 in	12 in	Total	6 in	8 in	10 in	12 in	Total
Zona 1	1.98	-	0.44	-	2.42	47.49	-	80.17	-	127.66
Zona 2	0.11	0.96	0.56	0.79	2.42	48.17	76.24	82.98	81.15	288.54
Zona 3	2.75	1.28	0.04	2.19	6.26	48.04	74.03	83.85	79.20	285.12
Zona 4	0.08	0.69	-	0.03	0.80	47.41	75.52	-	84.67	207.60
Rata-rata	1.23	0.98	0.26	1.00	3.47	47.78	75.26	61.75	81.67	266.46

Dapat dilihat pada tabel rata-rata waktu tunggu (tabel 8) bahwa rata-rata waktu idle untuk fitter sangat rendah yaitu adalah 3.47 menit. Berbanding terbalik dengan fitter, welder fit up (ID: Welder1) memiliki rata-rata waktu idle yang cukup tinggi yaitu 266.46 menit. Hal ini diakibatkan karena welder harus menunggu tim fitter melakukan persiapan fit up sebelum welder tersebut melakukan tugasnya. Aktualnya, welder fit up ini adalah foreman atau mandor yang membawahi fitter sehingga tugasnya memang lebih banyak memberikan arahan.

Analisis Tingkat *Idleness* Pekerjaan Welding

Dalam pekerjaan pengelasan pipa, sumber daya yang diamati adalah helper juru las (ID: Helper2), juru las (ID: Welder2) dan tukang gerinda (ID: Grinder). Dapat dilihat pada tabel 9, rata-rata waktu idle dari Helper2 dan Welder2 cukup tinggi (196.38 menit dan 483.42 menit). Untuk tukang gerinda, dapat dilihat juga bahwa waktu idle-nya juga cukup tinggi yaitu 13663.57 menit atau 70,56% dari total simulation time, dimana rata-rata waktu idle-nya adalah 493.42 menit. Berdasarkan hasil analisis simulasi, tingginya waktu idle dari setiap sumber daya tersebut diakibatkan oleh beberapa alasan sebagai berikut:

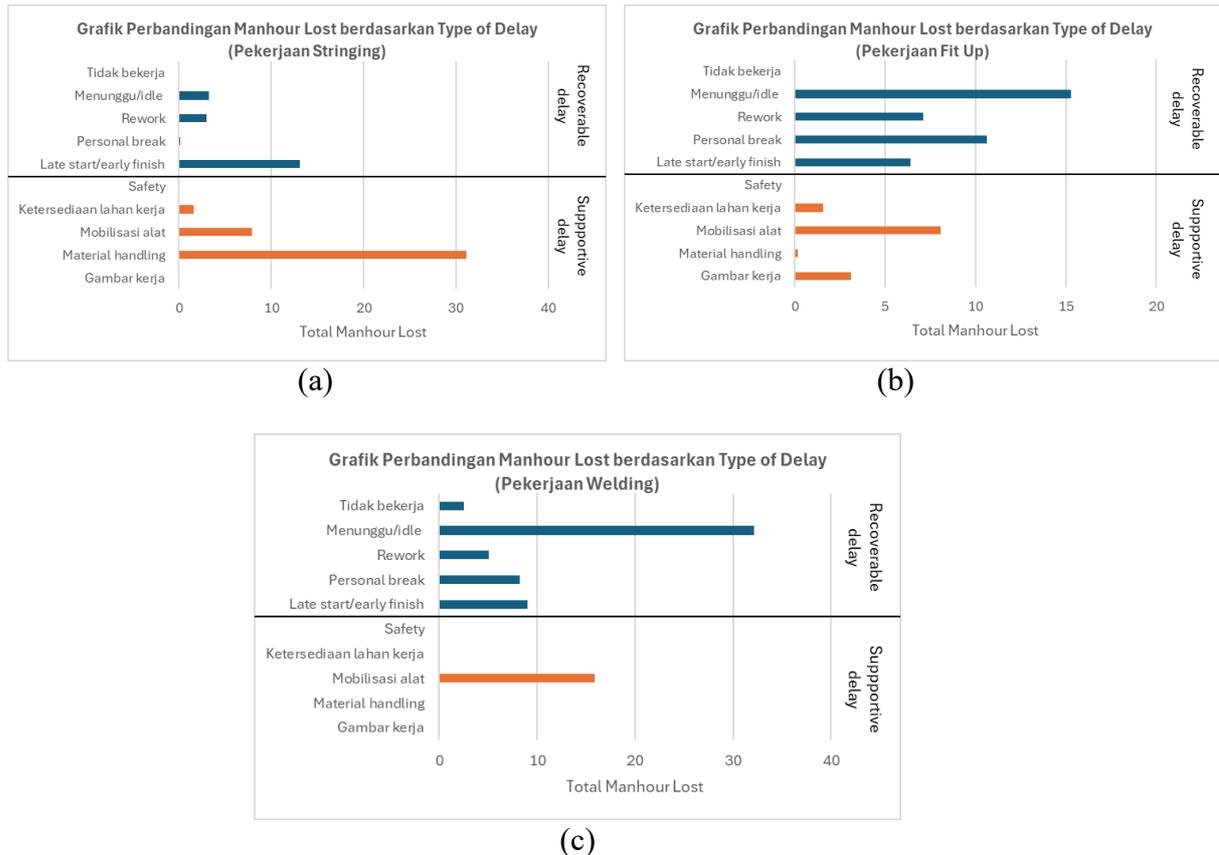
- Subkontraktor menerapkan sistem dimana tim welder baru diarahkan untuk bekerja setelah hasil fit-up sudah mencapai beberapa 5-8 joint. Hal ini juga dapat terlihat pada report simulasi, dimana terdapat rentang waktu yang cukup jauh antara waktu mulai pertama kali untuk pekerjaan persiapan fit-up dengan waktu mulai pertama kali untuk pekerjaan welding. Ini mengakibatkan tingginya waktu idle pada seluruh sumber daya pekerjaan pengeelasan pipa.
- Produktivitas pekerjaan predecessor (pekerjaan fit-up) tidak seimbang dengan produktivitas pekerjaan welding. Berdasarkan analisis, ini disebabkan karena jumlah tim fitter lebih sedikit dari jumlah tim welder.

Tabel 9. Data perbandingan rata-rata waktu tunggu untuk sumberdaya pekerjaan *welding*

Zona / Dia Pipe	Durasi Rata-rata waktu tunggu "Helper2" (menit)					Durasi Rata-rata waktu tunggu "Welder2" (menit)				
	6 in	8 in	10 in	12 in	Total	6 in	8 in	10 in	12 in	Total
Zona 1	31.90	-	51.72	-	83.62	88.49	-	128.95	-	217.44
Zona 2	29.03	50.13	55.31	52.94	187.41	82.41	126.75	138.89	130.96	479.01
Zona 3	41.36	49.41	58.72	71.70	221.19	101.10	124.70	142.18	165.13	533.11
Zona 4	24.33	47.24	-	57.00	128.57	74.88	123.93	-	138.61	337.42
Rata-rata	31.66	48.93	55.25	60.55	196.38	86.72	125.13	136.67	144.90	493.42

Analisis Foreman Delay Survey (FDS)

Dalam penelitian ini, data FDS akan dijadikan sebagai data pendukung untuk data hasil simulasi EZStrobe. Secara keseluruhan, FDS memberikan landasan data empiris yang kuat yang bisa digunakan untuk memperbaiki dan memvalidasi model simulasi konstruksi di EZStrobe, memastikan simulasi mendekati kondisi lapangan dan dapat digunakan untuk membuat keputusan yang lebih baik dan terinformasi. Pengambilan data FDS dilakukan selama 6 hari untuk masing-masing task (*stringing*, *fitup*, dan *welding*) dimana pekerjaan yang diamati dilakukan di Zona 4. Berdasarkan hasil pengamatan didapat grafik manhour lost untuk masing-masing *work task* sebagai berikut:



Gambar 1. Grafik Manhour Lost; (a) Pekerjaan stringing; (b) Pekerjaan fit up; (c) Pekerjaan welding

(a) Pekerjaan Stringing

Diketahui dari total durasi pengamatan selama 38.33 jam kerja, total manhour lost untuk seluruh sumber daya yang terlibat pada pekerjaan pipe stringing adalah sebesar 60,17 manhours. Jumlah manhour lost ini di dominasi pada Helper1B dengan total manhour lost sebesar 38,82 dengan rata-rata manhour lost sebesar 17.92 jam. Artinya, untuk masing-masing individu Helper1B, hanya bekerja secara efektif selama 53.26% dari total durasi pekerjaan. Temuan ini juga sejalan dengan hasil simulasi EZStrobe dimana tingkat idleness paling tinggi dialami oleh Helper1B sedangkan Helper1A dan TMC memiliki Tingkat idleness yang rendah. Delay yang terjadi juga mayoritas merupakan supportive delay. Artinya delay yang terjadi disebabkan oleh penyediaan dukungan atau layanan tambahan yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan.

(b) Pekerjaan Fit Up

Diketahui dari total durasi pengamatan selama 49.50 jam kerja, total manhour lost untuk seluruh sumber daya yang terlibat pada pekerjaan pipe stringing adalah sebesar 52,32 manhours. Jumlah manhour lost ini di dominasi pada welder fit up dengan total manhour lost sebesar 26,87. Temuan ini juga sejalan dengan hasil simulasi EZStrobe dimana tingkat idleness paling tinggi dialami oleh Welder1. Namun tingkat idleness dari dua orang fitter pada data FDS memiliki perbedaan yang signifikan dimana pada data simulasi, tingkat idleness rata-rata fitter adalah 3,44%. Hal ini dikarenakan banyak idle pada data FDS diakibatkan oleh faktor yang tidak tergambar pada simulasi yaitu late start/early finish, personal break dan rework. Ini juga yang menjelaskan kenapa durasi simulasi sangat jauh berbeda dengan durasi aktual pada analisis durasi untuk Zona 4, sehingga hal ini akan menjadi masukan bagi proyek untuk membenahi produktivitas pekerjaan. Selain itu, dari data FDS yang didapat, delay yang terjadi mayoritas merupakan recoverable delay. Artinya delay yang terjadi disebabkan pekerjaan yang tidak efisien dan merupakan delay yang dapat dieliminasi. Berdasarkan grafik perbandingan manhour lost berikut ini, dapat dilihat bahwa penyebab delay paling besar adalah akibat dari menunggu/idle, personal break, mobilisasi alat dan rework.

(c) Pekerjaan Welding

Diketahui dari total durasi pengamatan selama 48.34 jam kerja, total manhour lost untuk seluruh sumber daya yang terlibat pada pekerjaan pengelasan pipa adalah sebesar 72,83 manhours. Jumlah manhour lost ini di dominasi pada helper2A dan helper2B dengan total manhour lost masing-masing sebesar 28,53 jam dan 25,25 jam. Temuan ini berbeda dengan hasil simulasi EZStrobe dimana tingkat idleness paling tinggi dialami oleh Welder2. Tingkat idleness yang cukup tinggi dari dua orang helper ini dikarenakan helper banyak menghabiskan waktu mereka hanya menunggu arahan welder. Disisi lain, tingkat idle helper pada data FDS juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti late start/early finish, personal break dan rework. Faktor-faktor tersebut diatas tidak dapat terindikasi pada simulasi EZStrobe sehingga mengakibatkan perbedaan signifikan antara tingkat idle pada simulasi dan data FDS. Selain itu, dari data FDS yang didapat, delay yang terjadi mayoritas merupakan recoverable delay. Artinya delay yang terjadi disebabkan pekerjaan yang tidak efisien dan merupakan delay yang dapat dieliminasi. Berdasarkan grafik perbandingan manhour lost berikut ini, dapat dilihat bahwa penyebab delay paling besar adalah akibat dari menunggu/idle, personal break, mobilisasi alat dan rework

Analisis Perbaikan Pola Operasi

Dengan mempertimbangkan hasil analisis kondisi eksisting, baik analisis simulasi maupun *foreman delay survey*, maka disusunlah pengembangan rekomendasi perbaikan pola operasi yang meliputi hal-hal sebagai berikut.

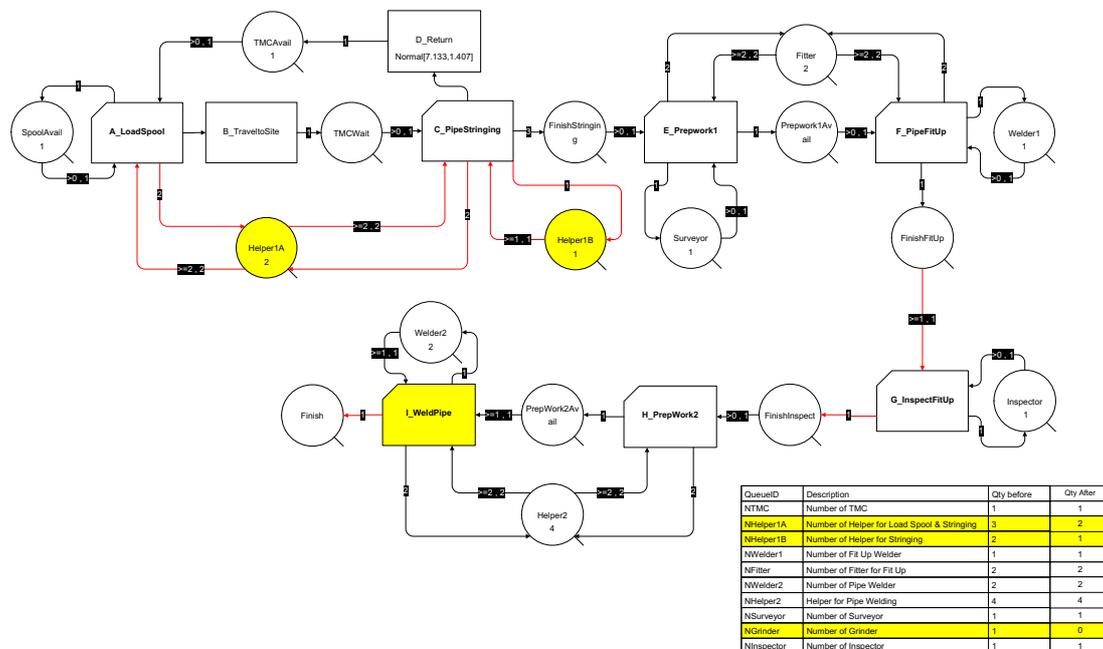
1. Berdasarkan hasil analisis data simulasi dan data FDS, ditemukan bahwa untuk pekerjaan *stringing*, terdapat *idle time* yang cukup tinggi untuk Helper1B. Maka dari itu diusulkan agar Helper1B ini dikurangi jumlahnya menjadi hanya satu orang. Berdasarkan wawancara dengan personel di lapangan, satu orang dianggap cukup untuk persiapan *stringing* di area kerja. Selain itu, berdasarkan data FDS ditemukan sering kali Helper1A hanya terdiri dari dua orang dimana diamati bahwa jumlah tersebut cukup untuk melakukan pengangkutan material di laydown. Hal ini dikonfirmasi oleh tim lapangan dimana untuk pekerjaan *stringing* pada aktualnya

Analisa Operasi dan Biaya untuk Pekerjaan Instalasi Pipa Hidran Menggunakan Teknik Simulasi (Studi Kasus Proyek Pembangunan PLTU X di Cilegon)

cukup hanya dengan tiga helper. Sehingga untuk satu tim *stringing* disimpulkan bahwa komposisi idealnya adalah dua orang Helper1A, satu orang Helper1B dan satu TMC.

2. Berdasarkan analisis tingkat produktivitas pekerjaan pekerjaan *fit-up* yang tidak seimbang dengan produktivitas pekerjaan *welding* yang mengakibatkan tingginya *idleness* manpower untuk pengelasan pipa, maka diusulkan agar dilakukan penambahan untuk tim fitter
3. Diusulkan agar untuk pekerjaan pengelasan pipa ini dilakukan dengan sistem harian sehingga tim *welder* dapat diarahkan untuk mengerjakan hasil *fit up* tanpa menunggu minimum jumlah *fit up*.
4. Berdasarkan pengamatan FDS, ditemukan bahwa pekerjaan *grinding* langsung dilakukan oleh *welder* atau *helper* sehingga dalam model CYCLONE, pekerjaan grinding dapat digabungkan dengan pekerjaan pengelasan dan sumber daya tukang gerinda (ID: Grinder) dapat dihapus.

Berdasarkan perbaikan pola operasi tersebut diatas dilakukan perubahan model CYCLONE seperti yang terlampir pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Model CYCLONE berdasarkan perbaikan pola operasi

Analisis Penambahan Jumlah Sumber Daya

Diketahui berdasarkan *schedule* proyek, subkontraktor memiliki sisa waktu 115 hari untuk menyelesaikan seluruh pekerjaan dari Zona 5 hingga zona 9. Berdasarkan data yang didapat, jumlah sisa pekerjaan hingga Zona 9 adalah 603 joint. Dengan durasi 113 hari, maka subkontraktor harus mencapai *daily productivity* sebanyak 5,33 joint per hari atau minimal 6 joint per hari. Dalam upaya meningkatkan produktivitas, diusulkan penambahan jumlah sumber daya yang dianggap kurang atau yang menjadi "bottle neck" dari operasi konstruksi ini. Dalam hal ini dilakukan *sensitivity analysis* untuk menentukan *resource* mana yang perlu ditingkatkan sehingga dapat mencapai target produktivitas.

Dalam *sensitivity analysis*, dilakukan *trial and error* melalui simulasi EZStrobe dengan mencoba berbagai macam kombinasi jumlah sumber daya hingga produktivitas

harian mencapai target dan durasi pekerjaan dapat selesai dalam 113 hari. Selain mempertimbangkan durasi, *sensitivity analysis* juga mempertimbangkan biaya dan efektivitas pekerjaan. Berdasarkan beberapa pertimbangan diatas, maka didapat tabel *sensitivity analysis* sebagai berikut:

Tabel 10. *Sensitivity Analysis*

Kombinasi No.	Jumlah Tim Stringing	Jumlah Tim Fit Up	Jumlah Tim Welding	Daily Productivity (joint per day)	Duration (hari)	Unit Cost per Cycle (Rp)	Total Cost (Rp)	Total Waste (%)
1	1	1	2	4.621	36.700	Rp 1,850,717	Rp 313,824,262	15.94%
2	1	2	2	7.213	23.538	Rp 1,420,507	Rp 241,172,431	10.42%
3	1	2	1	3.639	46.440	Rp 2,441,286	Rp 412,577,354	10.20%
4	1	2	3	9.140	18.656	Rp 1,221,621	Rp 208,297,119	14.50%
5	1	2	4	9.153	18.627	Rp 1,320,426	Rp 225,093,099	21.93%
6	1	3	1	3.637	46.471	Rp 2,787,152	Rp 471,028,748	13.47%
7	1	3	2	7.217	23.538	Rp 1,654,723	Rp 281,070,612	13.36%
8	1	3	3	10.741	15.877	Rp 1,197,361	Rp 204,184,120	13.46%
9	1	3	4	12.726	13.467	Rp 1,082,922	Rp 185,556,245	16.50%
10	1	4	1	3.634	46.507	Rp 3,499,611	Rp 591,434,283	21.74%
11	1	4	2	7.219	23.524	Rp 1,888,921	Rp 320,775,752	20.87%
12	1	4	3	10.735	15.888	Rp 1,355,907	Rp 231,248,641	20.38%
13	1	4	4	12.713	13.485	Rp 1,217,407	Rp 208,662,355	22.72%
14	2	2	1	3.635	46.492	Rp 3,935,413	Rp 665,084,768	8.81%
15	2	2	2	7.207	23.556	Rp 2,112,186	Rp 358,585,700	9.09%
16	2	2	3	9.121	18.702	Rp 1,769,476	Rp 301,801,534	12.01%
17	2	2	4	9.127	18.692	Rp 1,869,351	Rp 318,888,841	17.13%
18	2	3	1	3.636	46.478	Rp 4,400,119	Rp 743,620,126	10.09%
19	2	3	2	7.214	23.536	Rp 2,345,308	Rp 398,160,842	10.27%
20	2	3	3	10.736	15.884	Rp 1,661,387	Rp 283,298,279	10.53%
21	2	3	4	13.518	12.683	Rp 1,387,131	Rp 237,808,100	11.90%
22	2	4	1	3.637	46.474	Rp 4,866,211	Rp 822,389,741	11.16%
23	2	4	2	7.220	23.519	Rp 2,578,234	Rp 437,757,190	11.30%
24	2	4	3	10.745	15.875	Rp 1,817,667	Rp 310,054,982	11.53%
25	2	4	4	14.200	12.069	Rp 1,440,131	Rp 246,793,188	11.81%
26	3	2	1	3.631	46.541	Rp 5,269,665	Rp 890,573,463	9.67%
27	3	2	2	7.198	23.590	Rp 2,785,742	Rp 473,015,641	9.84%
28	3	2	3	9.139	18.662	Rp 2,293,990	Rp 391,192,450	11.98%
29	3	2	4	9.131	18.679	Rp 2,396,891	Rp 408,736,043	15.96%
30	3	3	1	3.637	46.469	Rp 5,727,447	Rp 967,938,468	10.55%
31	3	3	2	7.210	23.550	Rp 3,015,605	Rp 512,047,657	10.72%
32	3	3	3	10.733	15.893	Rp 2,110,959	Rp 360,042,133	10.97%
33	3	3	4	13.512	12.687	Rp 1,744,931	Rp 299,079,282	11.89%
34	3	4	1	3.632	46.535	Rp 6,202,045	Rp 1,048,145,650	11.37%
35	3	4	2	7.223	23.494	Rp 3,245,629	Rp 550,718,196	11.46%
36	3	4	3	10.740	15.893	Rp 2,267,382	Rp 386,993,426	11.72%
37	3	4	4	14.192	12.076	Rp 1,780,096	Rp 305,070,802	11.98%

Berdasarkan hasil analisis, ditemukan bahwa penambahan tim *stringing* tidak mempengaruhi produktivitas harian. Dapat dilihat pada kombinasi tim *fit-up* dan tim *welder* yang sama, menambah jumlah tim *stringing* tidak menambah nilai produktivitas, namun malah meningkatkan biaya. Selain itu dapat dilihat pada kombinasi-1 yang merupakan kombinasi sumber daya eksisting, terdapat peningkatan produktivitas akibat perbaikan pola operasi. Sebelumnya, untuk pekerjaan pipa 12 inch, nilai produktivitas harian adalah sebesar 4,29 joint/day untuk Zona 2; 3,31 joint/day untuk zona 3 dan 4,30 joint/day untuk Zona 4. Artinya perubahan pola operasi yang diusulkan dapat meningkatkan produktivitas pekerjaan.

Di sisi lain, ditemukan bahwa penambahan minimal satu tim *fit-up* dapat meningkatkan produktivitas pekerjaan hingga 7,21 joint/day. Angka produktivitas ini sudah mencukupi target produktivitas untuk menyelesaikan pekerjaan sesuai *schedule*. Ini membuktikan hipotesis sebelumnya bahwa diperlukan penambahan tim *fit up* untuk

mengimbangi produktivitas tim *welding*. Ditemukan juga bahwa akibat penambahan tim *fit-up* ini, rata-rata waktu tunggu Helper² dan Welder² menurun secara signifikan.

Dalam hal produktivitas, ditemukan kombinasi dengan produktivitas paling tinggi terjadi pada kombinasi 3 tim *fit-up* dan 4 tim *welder* (kombinasi-9) dengan angka produktivitas 12,72 joint/day. Selain itu ditemukan bahwa peningkatan jumlah tim *fit up* tanpa peningkatan jumlah tim *welder* tidak mempengaruhi produktivitas pekerjaan. Sehingga dapat disimpulkan, bahwa untuk produktivitas pekerjaan yang tinggi, jumlah tim *fit-up* dan tim *welder* minimal sama agar produktivitas antar pekerjaan seimbang. Hal ini didukung dengan data %waste berikut ini dimana ditemukan bahwa penambahan tim *fit-up* tanpa diiringi penambahan tim *welder* akan meningkatkan *waste* atau tangka *idleness* dari *manpower*. Selain itu, jumlah tim *fit-up* sebanyak 4 tim menunjukkan nilai *waste* yang cukup tinggi.

Dalam hal %waste, ditemukan bahwa *waste* yang paling rendah terdapat pada kombinasi 2 tim *fit-up* dan 2 tim *welder* (kombinasi-2). Diketahui memang kombinasi 2 tim *fit-up* dan 1 tim *welder* (kombinasi-3) memiliki %waste yang lebih rendah, namun kombinasi ini tidak dapat mencapai target produktivitas harian sehingga %waste untuk kombinasi tersebut tidak diperhitungkan.

Dalam hal biaya, Dapat dilihat bahwa biaya pekerjaan paling murah ditunjukkan pada kombinasi 3 tim *fit-up* dan 4 tim *welder* (Kombinasi-9) dengan biaya satuan per cycle sebesar Rp 1.082.922. Selain itu, diambil beberapa kombinasi yang menghasilkan biaya paling rendah yaitu kombinasi 2 tim fitter – 3 tim *welder* (kombinasi-4) dengan biaya satuan per cycle sebesar Rp 1.221.621 serta kombinasi 3 tim fitter – 3 tim *welder* (kombinasi-8) biaya satuan per cycle sebesar Rp 1.197.361. Untuk kombinasi 4 tim fitter – 4 tim *welder* (kombinasi-13), diketahui memang biaya satuan per cycle merupakan urutan ketiga terendah dengan nilai Rp 1.217.407. Namun dengan total durasi yang hampir mirip dengan kombinasi-9, serta mempertimbangkan %waste yang cukup tinggi, maka kombinasi ini tidak diperhitungkan.

Berdasarkan analisis tersebut diatas maka dapat disimpulkan terdapat empat kombinasi terbaik yang dapat menjadi pilihan bagi subkontraktor untuk meningkatkan produktivitas pekerjaan dalam mengejar *schedule* dengan mempertimbangkan faktor biaya dan efektivitas sumber daya antara lain :

1. Kombinasi-9 = 1 tim *stringing* + 3 tim *fit-up* + 4 tim *welder*
2. Kombinasi-4 = 1 tim *stringing* + 2 tim fitter + 3 tim *welder*
3. Kombinasi-8 = 1 tim *stringing* + 3 tim fitter + 3 tim *welder*

Hasil Rancangan Perbaikan dan Dampak Biaya

Berdasarkan rancangan perbaikan pola operasi dan penambahan sumber daya yang telah dijabarkan diatas, dilakukan percobaan simulasi EZStrobe untuk masing-masing kombinasi *manpower* yang dipilih berdasarkan *sensitivity analysis*. Simulasi dilakukan pada Zona 5 – zona 9 untuk mengetahui durasi sisa pekerjaan berdasarkan masing-masing kombinasi sumber daya. Rangkuman hasil simulasi digambarkan pada tabel 11.

Ditemukan bahwa durasi pekerjaan paling singkat terjadi pada kombinasi-9 dengan total durasi 55,68 hari. Durasi paling lama ditemukan pada kombinasi-4 dimana total durasi simulasi adalah 67,55 hari. Sehingga dapat disimpulkan ketiga kombinasi yang menjadi usulan perbaikan dapat menyelesaikan pekerjaan sesuai *schedule* bahkan lebih cepat.

Selain itu, dapat dilihat bahwa biaya satuan per cycle paling rendah didapat pada kombinasi-4 senilai Rp 23.497.961. Biaya pekerjaan paling besar terlihat pada kombinasi-9 dengan total Rp 23.926.520. Selain itu, ditemukan juga bahwa %waste paling rendah terjadi pada kombinasi-4 dengan rata-rata waste sebesar 19.07%. Kemudian %waste paling tinggi dialami pada kombinasi-9 dengan nilai 26.28%. Berdasarkan penilaian yang telah dijabarkan, dapat disimpulkan bahwa kombinasi terbaik yang dapat diterapkan sebagai Solusi perbaikan untuk mengejar schedule adalah kombinasi-4. Walaupun durasi pekerjaan hasil simulasi dengan kombinasi-4 paling lama dibanding kombinasi lainnya, namun total biaya pekerjaan dan %waste dari kombinasi-4 paling rendah dari kombinasi lainnya. Artinya subkontraktor tetap dapat mengejar schedule dengan biaya paling rendah dan efektivitas pekerjaan paling tinggi.

Tabel 11. Hasil penerapan usulan perbaikan

Parameter Analisis	Kombinasi 9	Kombinasi 4	Kombinasi 8	Kondisi Eksisting
Durasi Pekerjaan (Hari)	55.69	67.56	59.24	131.27
%Waste	26.28%	19.07%	21.14%	22.45%
Unit rate per Cylce (Rp)	23,926,521	23,497,961	23,908,362	40,171,087
Total Cost (Rp)	767,338,349.50	754,291,871.50	761,862,857.70	1,227,274,688

Didapat bahwa dengan kondisi eksisting, pekerjaan dapat selesai selama 131.27 hari dengan total biaya Rp 1.227.274.688. Ditemukan bahwa komposisi biaya paling mahal adalah biaya TMC yang menyumbang 45% dari total biaya pekerjaan serta Helper1 sebesar 14% dari total biaya pekerjaan. Jumlah ini mengakibatkan pekerjaan pipe stringing menjadi pekerjaan dengan biaya yang paling besar yaitu Rp 728.567.174. Biaya ini justru jauh lebih besar daripada hasil simulasi menggunakan perbaikan pola operasi yaitu Rp 754.291.871. Artinya, dengan memperbaiki pola operasi dan menambah sumber daya justru akan menghemat anggaran subkontraktor hingga 38.54%. Walaupun terdapat penambahan sumber daya pada simulasi rancangan perbaikan, namun terjadi penurunan biaya yang disebabkan:

1. Dilakukan pengurangan jumlah helper (ID: Helper1) pada pekerjaan pipe stringing sebanyak dua orang dan task menggerinda pipa dilakukan oleh Welder2 atau Helper2 sehingga manpower tukang gerinda (ID: Grinder) dihapuskan. Hal ini dapat mempengaruhi biaya walaupun tidak signifikan.
2. Dari perbandingan kondisi aktual dengan hasil perbaikan, ditemukan terjadi penurunan durasi pekerjaan dari 131.27 hari menjadi 67.56 hari atau turun sebesar 53,81%. Penurunan ini sejalan dengan penurunan biaya TMC yang menjadi sumber daya paling mahal dalam pekerjaan ini. Ditemukan bahwa penurunan biaya TMC dari kondisi eksisting memiliki presentase yang sama yaitu 48.54%. Penurunan biaya TMC inilah yang mempengaruhi total biaya secara signifikan yaitu sebesar Rp 268.876.268.

Berdasarkan hasil analisis diatas, dapat disimpulkan bahwa penambahan jumlah sumber daya sesuai perbaikan operasi yang diusulkan dapat mengurangi durasi pekerjaan secara signifikan yang berdampak pada pada penurunan biaya pekerjaan yang signifikan pula.

Kesimpulan

Dari hasil pengolahan data dan analisis data, baik analisis simulasi maupun analisis FDS yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu: (1) Dari hasil simulasi ditemukan bahwa dalam kondisi ideal dengan sumber daya eksisting, pekerjaan dari zona

1-4 dapat diselesaikan dalam 159,95 hari. Namun aktualnya, pekerjaan selesai dalam waktu 220 hari (terdeviasi 27,30%). Selain itu, dengan kondisi pekerjaan ideal (durasi simulasi), pekerjaan tetap tidak bisa selesai sesuai *schedule* pekerjaan, dimana pekerjaan hingga zona 4 ditargetkan selesai selama 135 hari. Hal ini sejalan dengan perhitungan angka produktivitas harian dimana bahwa produktivitas berdasarkan simulasi (4,92 joint/hari) dan produktivitas aktual (2,88 joint/hari) belum bisa mencapai target produktivitas harian yang dihitung berdasarkan volume pekerjaan dan durasi *schedule* (5,80 joint/day). (2) Dari hasil simulasi ditemukan beberapa sumber daya yang memiliki rata-rata waktu tunggu ($AvWait$) yang tinggi yaitu Helper1B, Welder1, Helper2, Welder2 dan Grinder. Tingginya rata-rata waktu tunggu dari sumber daya tersebut mengakibatkan tingginya %idle dari *resources*. (3) Mengacu pada analisis Simulasi dan FDS, dilakukan perbaikan operasi pekerjaan untuk meningkatkan efisiensi. Dari pengamatan FDS, pekerjaan stringing dapat dilakukan oleh tiga orang Helper, sementara pekerjaan gerinda dapat dilakukan oleh welder atau helper, sehingga jumlah Helper1 dikurangi dari lima menjadi tiga orang, dan tukang gerinda dihapus dari simulasi karena memiliki tingkat idle yang tinggi. Selain itu, diusulkan agar tim welder menggunakan sistem harian untuk mengurangi waktu tunggu tanpa syarat minimum jumlah fit up. Penyesuaian juga mencakup penambahan manpower dengan kombinasi optimal berdasarkan analisis sensitivitas, yaitu 1 tim stringing, 2 tim fitter, dan 3 tim welder. (4) Dari hasil perbaikan, ditemukan bahwa sisa pekerjaan dari Zona 5 – Zona 9 dapat selesai dalam 67,55 hari dengan total biaya pekerjaan senilai Rp 711.729.947. Durasi ini jauh lebih singkat dari target *schedule* yaitu 113 hari. Dan (5) dengan kondisi eksisting, disimpulkan bahwa sisa pekerjaan dapat selesai selama 146,26 hari dengan total biaya Rp 1.275.254.996. Artinya, dengan memperbaiki pola operasi dan menambah sumber daya akan menghemat biaya hingga 44,19%. Hal ini disebabkan karena durasi pekerjaan yang turun secara signifikan akibat dari perbaikan operasi sehingga berdampak pada penurunan biaya pekerjaan yang signifikan pula.

BIBLIOGRAFI

- Abduh, M., Pratama, A., & Iskandar, N. (2010). Resources Optimization of The Earthmoving Operation Using Simulation. *Civil Engineering Conference in the Asian Region, 2003*.
- Aldrin, T., Sompie, B., & Rantung, J. (2013). Sistem Informasi Manajemen Pengendalian Persediaan Bahan Instalasi Perpipaan Pada Satuan Kerja Pengembangan Kinerja Pengelolaan Air Minum. *Jurnal Ilmiah Media Engineering, 3*(2).
- Colmenarejo, S. J. I., Camprubi, F. M., González-Gaya, C., & Sánchez-Lite, A. (2022). Power Plant Construction Projects Risk Assessment: A Proposed Method for Temporary Systems of Commissioning. *Buildings, 12*(8). <https://doi.org/10.3390/buildings12081260>
- Dargham, S. A., Assaf, S., Faour, K., & Hamzeh, F. (2019). Optimizing material-related costs using dynamic site layout and supply chain planning. *27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 2019*. <https://doi.org/10.24928/2019/0135>
- Ferreira, M. L. R., Lobato, M. M., & Morano, C. A. R. (2018). Welding Productivity Indicators: A critical analysis. *Journal of Mechanical and Civil Engineering, 15*(5), 22–32.

- Hajji, A. M. (2013). Sensitivity analysis and productivity study of directpipe technology by using simulation. *Procedia Engineering*, 54. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.03.054>
- Halpin, D. W. (1973). *An investigation of the use of simulation networks for modeling construction operations*. University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Jain, P. P., Shah, R., Chaudhary, R., Bhatnagar, S., Devkar, G., & Trivedi, J. (2019). *Application Of Foreman Delay Survey In Indian Construction Projects*.
- Kuppusamy, A., & Ramar, S. (2011). Productivity Improvement in Construction of Onshore Oil and Gas Pipeline Tie in Joints Execution. *28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*.
- Pratama, A., & Murti, R. H. A. (2023). Pengendalian Risiko pada Pekerjaan Block Assembly Proyek Barge Mounted Power Plant Menggunakan Job Hazard Analysis. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 2(3). <https://doi.org/10.55123/insologi.v2i3.1895>
- Sarireh, M. (2011). Cyclic Productivity for Horizontal Directional Drilling (HDD) Operation. *International Journal of Construction Engineering and Management*, 2(3).
- Smrecek, R. (2013). This is an electronic reprint of the original article. This reprint. *Jyvässkylän Yliopiston Julkaisuarkisto*, 602(2).
- Tabim, P. M., & Ferreira, M. L. R. (2015). Productivity monitoring of land pipelines welding via control chart using the Monte Carlo simulation. *Journal of Software Engineering and Applications*, 8(10), 539–548.
- Younes, T., Ni, F. M. W., & Tighe, S. (2020). Risk analysis in paving operations using discrete event simulation: a case study of Taiwan permeable asphalt concrete pavement pilot road project. *International Journal of Pavement Engineering*, 21(7). <https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1511785>
- Zahran, H., & Nassar, K. (2013). Modeling pipeline projects using computer simulation. *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference - Simulation: Making Decisions in a Complex World, WSC 2013*. <https://doi.org/10.1109/WSC.2013.6721692>

Copyright holder:

Pratama Eka Putra Sijabat (2025)

First publication right:

Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia

This article is licensed under:

