



Analisa Pengaruh Perancangan Penggelaran Pipa Oleh Kapal Terhadap Estimasi Durasi Proyek Pemasangan Pipa Penyalur Bawah Laut

Fajar Andriyanto¹⁾, Imam Pujo Mulyatno¹⁾, Deddy Chrismianto¹⁾

¹⁾Laboratorium Sistim Perpipaan dan Permesinan Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*e-mail: fajarandriyanto05@gmail.com

Abstrak

Variabel penting estimasi durasi proyek adalah *schedule* dan penggunaan alat. Penyebaran kapal merupakan penggunaan kapal – kapal dalam proyek lepas pantai dan implementasi penggunaan alat. Penerapan aktivitasnya tidak terdapat pada *schedule* proyek pemasangan pipa penyalur bawah laut PHE38P ke PPP milik PHE WMO, sehingga berpotensi terjadi kesalahan estimasi. Survey proyek oleh Project Management Institute (PMI) menunjukkan bahwa keberhasilan proyek hanya 51% dengan penyebab kurang akuratnya waktu pengerjaan sebesar 26%. Tujuan penelitian adalah mengetahui pengaruh penggunaan kapal pada kegiatan penggelaran pipa terhadap estimasi durasi proyek. Pemecahan masalah dengan kalkulasi kemampuan kapal, merancang jadwal proyek, membandingkan estimasi dengan aktual, dan analisa produktivitas. Hasil didapatkan bahwa dengan kemampuan kapal awal mengalami penurunan produktivitas untuk alat dan pekerja sebesar 20.51% dan 3.13% dengan peningkatan durasi 31 hari ke 39 hari dan 31 hari ke 32 hari. Dikarenakan mengalami penurunan produktivitas, maka dilakukan analisa estimasi kemampuan kapal baru untuk peningkatan produktivitas dan didapat peningkatan sebesar 10.71% pada produktivitas alat dan pekerja, dengan penurunan durasi 31 hari ke 28 hari. Hasil tersebut membuktikan jika penerapan penyebaran kapal terutama kemampuan kapal pada proyek pemasangan pipa bawah laut memberikan pengaruh berupa perubahan durasi proyek. Selain itu, hasil juga memberikan pertimbangan beberapa aktivitas kerja yang akan berisiko memperlambat proyek.

Kata Kunci : estimasi durasi, penyebaran kapal, produktivitas proyek

1. PENDAHULUAN

Hubungan durasi dan biaya sangat erat kaitannya. Menurut Rad, jika durasi dipercepat maka total pengeluaran meningkat pesat, sedangkan jika diperlambat maka total pengeluaran akan meningkat lambat. Maka, dalam mengestimasi proyek, durasi menjadi aspek penting karena perubahannya akan meningkatkan biaya proyek [1].

Survey proyek skala global yang dilakukan oleh Project Management Institute (PMI) dalam publikasi mereka tahun 2017 menyebutkan bahwa keberhasilan proyek sesuai jadwal sebesar 51%. Penyebabnya adalah ketidakakuratan waktu pengerjaan sebesar 26% [2]. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa manajemen proyek

tidak selalu memiliki hasil yang baik, sehingga manajemen waktu menjadi hal yang harus diperhatikan, baik dalam pengelolaan material, alat, dan pekerja. Manajemen waktu yang baik akan mengontrol pengeluaran proyek.

Penelitian ini menguji pengaruh penerapan penggunaan kapal pada kegiatan penggelaran pipa proyek pemasangan pipa bawah laut terhadap estimasi durasi proyek. Penggunaan kapal dalam proyek pemasangan pipa disebut penyebaran kapal yang merupakan pembagian kapal – kapal berdasarkan fungsinya terhadap kegiatan tertentu dengan tujuan penggunaan sebagai alat bantu dalam proyek lepas pantai. Penerapan penyebaran kapal sebagai aspek yang diteliti karena aktivitas kerja pada *schedule baseline* proyek pemasangan pipa kurang detail, sehingga analisa perancangan

penggelaran pipa oleh kapal dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya. Kurang detail karena pada *schedule baseline* proyek tidak memperlihatkan penjabaran penyebaran kapal secara runut. Kekurangan tersebut dibuktikan dalam penelitian Hardy dan Imam pada proyek serupa yang menyebutkan bahwa salah satu faktor risiko yang memperlambat proyek adalah kemampuan dari penyebaran kapal (*marine vessel spread*) [3].

Kegiatan penyebaran kapal terdiri dari aktivitas kerja dan kemampuan tiap kapal. Kemampuan tersebut berhubungan dengan spesifikasi kapal yang digunakan dan spesifikasi tersebut bergantung pada dokumen proyek, yang dalam proyek konstruksi disebut sebagai informasi proyek. Semakin lengkap informasi proyek maka semakin baik estimasi. Dampak kurangnya informasi menyebabkan penurunan efisiensi waktu yang mampu untuk dicapai [4]. Berdasarkan penelitian Jackson, masalah utama dalam mengestimasi adalah kurangnya informasi yang selalu terjadi [5].

Penelitian tentang memprediksi durasi proyek telah banyak dilakukan. Cara pengestimasi yang digunakan pun berbeda-beda. Penelitian pada umumnya menggunakan sistem pengestimasi regresi atau kalkulasi rata-rata dari berbagai macam proyek [6], metode monte carlo dengan pendekatan risiko [7], metode *time-cost relationship*, hubungan durasi dan biaya [8], dan lainnya. Sedangkan pada penelitian ini menggunakan dasar manajemen proyek yaitu *definitive estimate*, mendefinisikan kebutuhan proyek untuk dikalkulasi durasinya. Syarat *definitive estimate* adalah memiliki dokumen *detail engineering design* (DED) yang digunakan sebagai acuan dalam tahapan eksekusi proyek [9]. Penelitian ini pun menjadikan dokumen DED sebagai dokumen acuan penelitian.

Kemampuan kapal merupakan sumberdaya proyek yang perlu di manajemen penggunaannya sehingga dapat dirumuskan penggunaan kemampuan kapal yang terbaik untuk penerapannya terhadap estimasi durasi proyek. Salah satu kemampuan yang penting dalam kemampuan kapal adalah *weld travel speed* (kecepatan pengelasan) yang dimiliki oleh *pipelay barge*, yang dalam penelitian ini dijadikan variasi penelitian.

Pembuktian pengaruh penerapan penggunaan kapal terhadap durasi proyek dapat menggunakan berbagai cara. Penelitian ini menggunakan perbandingan durasi proyek estimasi dengan durasi proyek sebenarnya (aktual) dan perbandingan produktivitas proyek, baik pekerja maupun kapal. Kedua hasil akan memberikan penilaian secara

objektif berdasarkan perhitungan penelitian yang dilakukan.

Pendekatan produktivitas sering dijadikan faktor penimbang terhadap durasi proyek. Penelitian pun telah banyak dilakukan, tetapi sebagian besar membahas pekerja proyek saja tidak dengan alat proyek. Pendekatan produktivitas tersebut dapat dilakukan dengan risiko proyek yang mendefinisikan penyebab keterlambatan proyek [10], dengan jam kerja untuk mengetahui pengaruh perubahan jam kerja terhadap kinerja pekerja [11], dan lainnya. Penelitian ini menggunakan alat dan pekerja proyek untuk mengetahui perbedaan penggunaan kemampuan kapal dan menemukan kemampuan kapal yang terbaik. Metode penentuan produktivitas terbaik dalam ilmu manajemen disebut *work study*, metode yang digunakan untuk mengetahui, memperbaiki, dan meningkatkan kinerja penggunaan sumberdaya proyek. Dengan kata lain, sebuah cara untuk mengelola sumberdaya secara tepat [12].

Berdasarkan penjelasan diatas, penelitian ini bertujuan untuk membuktikan bahwa penerapan penggunaan kapal pada kegiatan penggelaran pipa proyek pemasangan pipa bawah laut berpengaruh terhadap estimasi durasi proyek dan juga meninjau penyebab keterlambatan proyek dari jalur kritis penjadwalan. Pengujian pengaruh tersebut dengan analisa perbandingan produktivitas pekerja dan alat.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan software penjadwalan, Primavera P6 dan software kalkulasi perhitungan, Microsoft Excel. Berikut tahapan penggunaannya:

Tabel 1. Tahapan Penggunaan Software

No	Proses	Software
1	Input Data	
2	Kalkulasi Perhitungan	Microsoft
3	Perancangan Penyebaran	Excel
4	Output Data	
5	Set-up Kalender	
6	WBS	
7	Penyusunan Aktivitas kerja Kerja	Primavera P6
8	Penginputan Output Data	
9	Jadwal Proyek	

2.1. Objek Penelitian

Penyebaran kapal yang digunakan berdasarkan proyek milik Pertamina Hulu Energi *West Madura Offshore* (PHE WMO) yaitu proyek pemasangan pipa penyalur bawah laut PHE-38P ke PPP Platform. Data – data diperoleh dari dokumen

proyek terkait, seperti *project specification*, *pipeline overall layout*, *daily project report*, dan *schedule baseline*. Berikut data – data yang digunakan:

Tabel 2. Data Koordinat

No	Item	Koordinat	Satuan
1	Awal Pemasangan (PHE-38P)	705717.12 928285.76	mE mN
2	Akhir Pemasangan (PPP)	712146.96 9263290.15	mE mN
3	Lamongan Shore Base (LSB)	656654.31 9240636	mE mN
4	Pelabuhan Gresik	683529.35 9207644.39	mE mN

Tabel 3. Data Pipa

No	Item	Ukuran	Satuan
1	Panjang Pipa	12	m
2	Diameter Luar Pipa	406.4	mm
3	Tebal Pipa	12.7	mm
4	Densitas Baja	7.9	ton/m ³

Tabel 4. Data Kapal

No	Item	Ukuran	Satuan
1	Tensioner Rate (PLB)	25	m/min
2	Kapasitas Pipa (PLB)	300	jts
3	Weld Travel Speed Min (PLB)	147	mm/min
4	Weld Travel Speed Max (PLB)	196	mm/min
5	LOA (CB)	76.2	m
6	B (CB)	24.4	m
7	Load Rate (CB)	15	ton/m ²
8	V (Crew Boat)	14	knot
9	V (SV)	10	knot
10	V (TB)	10	knot
11	Estimasi Pekerja Terlibat	299	orang

2.2. Variabel Penelitian

Kemampuan kapal merupakan topik pembahasan dalam penelitian ini dan variasi penelitian terletak didalamnya, sehingga penelitian ini bermaksud untuk melihat pengaruh perubahan kemampuan dari tiap kapal terhadap durasi proyek pemasangan pipa bawah laut. Variabel tetapnya adalah penggelaran pipa dan variabel peubahnya adalah *weld travel speed*, kemampuan *pipelay barge*. Variasi penelitian terdapat pada penggunaan *weld travel speed*, 147 mm/min (minimum) sebagai variasi 1 dan 196 mm/min (maksimum) sebagai variasi 2.

2.3. Prosedur Penelitian

Pemecahan permasalahan penelitian ini menggunakan dua cara, yaitu membandingkan

durasi proyek aktual dengan estimasi dan analisa produktivitas pekerja dan alat proyek. Selain mengetahui pengaruh penerapan penyebaran kapal terhadap esitmasi durasi proyek, kedua cara tersebut juga memberikan masukan aktivitas kerja yang beresiko menyebabkan keterlambatan proyek.

Durasi aktual diambil berdasarkan *schedule baseline* proyek pemasangan pipa penyalur PHE-38P ke PPP. Sedangkan durasi estimasi ditentukan dengan penggunaan variasi penelitian. Kemudian durasi aktual dan estimasi dibandingkan untuk menilai terjadi peningkatan atau penurunan durasi.

Hasil perbandingan durasi proyek kemudian dibuktikan lagi dengan analisa produktivitas yang membandingkan perbedaan produktivitas estimasi dengan analisa produktivitas aktual. Berikut tahapan penelitian,

1. Menyusun aktivitas kerja beserta keterkaitannya.
2. Kalkulasi perhitungan penyebaran kapal dan menyusun timeline penyebarannya.
3. Membuat jadwal proyek.
4. Membandingkan estimasi durasi dengan aktual.
5. Mengkalkulasi produktivitas estimasi dan aktual.
6. Membandingkan hasil estimasi dan aktual dengan rasio produktivitas proyek.
7. Menentukan produktivitas terbaik untuk estimasi.
8. Menentukan kemungkinan risiko penyebab keterlambatan proyek pemasangan pipa.

Kalkulasi perhitungan estimasi antara lain perhitungan jarak, waktu pelayaran, berat pipa, kapastias pipa *cargo barge*, *lay rate*, jumlah sambungan, panjang sambungan, jumlah pengangkutan, jumlah pertukaran pekerja, dan jumlah penyuplaian logistik. Hasil perhitungan tersebut dijadikan acuan dalam perancangan timeline Penyebaran kapal dengan output berupa durasi aktivitas kerja setiap Penyebaran kapal. Software kalkulasi dan perancangan menggunakan Mirosoft Excel.

Output timeline penyebaran kapal dijadikan masukan data penjadwalan proyek bersama dengan penyusunan aktivitas kerja kerja beserta keterkaitannya. Hasil penjadwalan proyek berupa lintasan kritis dan estimasi durasi proyek dengan diagram batang yang menyediakan tampilan penyebaran kapal serta lintasan kritis aktivitas kerja proyek. Penjadwalan proyek menggunakan software Primavera P6.

Durasi proyek kemudian digunakan sebagai masukan analisa perbandingan produktivitas pekerja dan alat dengan hasil akhir berupa persentase rasio produktivitas. Dari hasil tersebut

dapat diketahui tingkat efektivitas kinerja terhadap proyek pemasangan pipa bawah laut. Jika hasil rasio produktivitas negatif maka dilakukan analisa peningkatan produktivitas dengan cara serupa. Tingkat efektivitas kinerja dapat ditentukan dengan nilai $A/E < 1/0\%$ maka efektivitas mengalami penurunan (bernilai negatif) atau $A/E > 1/0\%$ maka efektivitas mengalami kenaikan (bernilai positif) [11]. Prosedur yang digunakan dalam penelitian ini menganut dasar estimasi manajemen proyek, sehingga penerapan pada proyek sebenarnya sudah dilakukan dan terdapat beberapa penelitian yang membuktikan pengaruh durasi proyek dengan analisa produktivitas.

2.4. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian bertempat di Kantor Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore, Divisi Project, Departemen Engineering. Penelitian dilakukan dengan studi – studi dokumen dan teori *best practice* dilapangan serta berdiskusi dengan pihak proyek terkait penelitian yang dilakukan. Penelitian dilakukan kurang lebih tiga bulan dengan interval waktu dari bulan Mei sampai Juli.

2.5. Alat dan Bahan Penelitian

Pengerjaan penelitian menggunakan laptop dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Processor : Intel Core i5-5200U 2.20GHz
2. RAM : 4 GB
3. Memory : 500 GB
4. VGA : NVIDIA GeForce 930M

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Durasi proyek aktual merupakan durasi yang diambil dari *schedule baseline* proyek yang diacu. Kemudian durasi tersebut akan menjadi pembandingan dengan durasi estimasi yang diteliti. Gambar 2 memberikan gambaran *schedule baseline* yang berisi aktivitas kerja, durasi tiap aktivitas kerja, dan durasi proyek. Aktivitas kerja tersebut merupakan bukti tidak terdapatnya penerapan penyebaran kapal pada proyek pemasangan pipa dan akan dijadikan acuan dalam merumuskan aktivitas kerja hasil penerapan penyebaran kapal untuk setiap kapal yang terlibat.

Installation	30.5 days
Pipeline	23.75 days
Preparation	5 days
Laydown Pipeline	22 days
Tiile in	3 days

Gambar 1. Durasi Proyek Aktual

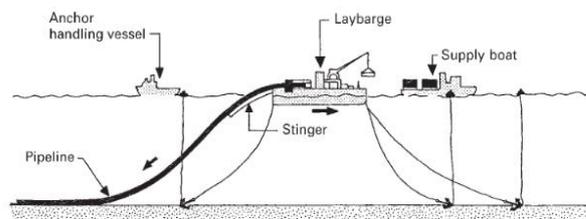
Berdasarkan Gambar 2, diketahui durasi proyek aktual adalah 30.5 hari, yang dalam penelitian akan dibulatkan menjadi 31 hari. Durasi proyek tersebut yang menjadi pembandingan dengan durasi proyek estimasi.

Penggelaran pipa merupakan proses penurunan pipa ke dasar laut yang menggunakan kapal sebagai alat bantu. Salah satu metode penggelaran pipa adalah S-lay yang memiliki kriteria sebagai berikut:

1. Instalasi laut dangkal sekitar 500 m.
2. Fabrikasi pipa diatas kapal.
3. Kapal penggelaran terinstal *stringer*.
4. Membutuhkan bantuan kapal lain.

Konfigurasi metode S-lay ditunjukkan pada Gambar 1. Kapal – kapal yang membantu proyek pemasangan pipa disebut penyebaran kapal proyek pemasangan pipa [13]. Penelitian ini menggunakan penyebaran kapal sebagai dasar pemahaman untuk mengestimasi durasi. Berikut penyebaran kapal yang digunakan dalam penelitian,

1. *Pipelay barge* dan *anchor handling tug*, atau penyebaran penggelaran pipa (*pipelay spread*).
2. *Cargo barge* dan *tug boat* atau penyebaran pengangkutan pipa (*pipe haul spread*).
3. *Crew boat* atau penyebaran pertukaran pekerja (*crew change spread*).
4. *Supply vessel* atau penyebaran penyuplai logistik.



Gambar 2. Konfigurasi Metode S-lay

3.1. Penyusunan dan Keterkaitan Aktivitas Kerja

Penentuan aktivitas kerja dan keterkaitannya, peneliti dapatkan berdasarkan dokumen proyek terkait serta studi di lokasi penelitian. Dokumen proyek yang digunakan adalah *project specification*, yang berisi spesifikasi dan ketentuan sebelum proyek dieksekusi. Tabel 5 merupakan hasil penentuan aktivitas kerja yang berisi pemetaannya, kode, dan paket pekerjaannya.

Tabel 5. Daftar Aktivitas Kerja

Paket Pekerjaan	Aktivitas Kerja	Kode
-----------------	-----------------	------

<i>Pipelay Spread</i>	Pengecekan kesiapan	PL10
	Fabrikasi pipa penyalur	PL20
	Pemasangan <i>dead man anchor</i>	PL30
	Proses penggelaran	PL40
	<i>Tie in</i>	PL50
<i>Pipe Haul Spread</i>	Pemuatan pipa pertama	PH10
	Pemuatan pipa	PH20
	Pelayaran dan bongkar muat	PH30
<i>Crew Change Spread</i>	Pertukaran pekerja	CC10
<i>Logistic Supply Spread</i>	Penyuplaian logistik	LS10

Tabel 6 menunjukkan keterkaitan antar aktivitas kerja yang membentuk urutan dari mulainya proyek sampai proyek selesai. Perlu dipahami bahwa dalam keterkaitan aktivitas kerja terdapat predesesor yang merupakan aktivitas kerja yang mendahului aktivitas kerja sebelumnya. Dengan kata lain, aktivitas kerja tersebut sebagai syarat untuk aktivitas kerja selanjutnya dapat dimulai.

Tabel 6. Keterkaitan Aktivitas Kerja

Urutan	Kode	Predesesor
1	PH10	-
2	PL10	PH10
3	PL20	PH10, PL10
4	PL30	PL10
5	PL40	PL30
6	PH20	PL30
7	PH30	PH20
8	CC10	PL10
9	LS10	PL10
10	PL60	CC10, LS10, PH30, PL40

3.2. Kalkulasi Penyebaran Kapal

Timeline penyebaran kapal merupakan pemetaan penggunaan kapal. Masukan data berasal dari hasil kalkulasi kemampuan kapal. Perhitungan pertama yang dirumuskan adalah berat pipa. Perhitungan tersebut menganut persamaan massa jenis (densitas) yang membagi massa (berat pipa) dan volume. Persamaan tersebut disesuaikan dengan kebutuhan proyek.

$$W_{pipe} = \left(\frac{(\pi \times Do^2 - (Do - 2 \times b)^2)}{4} \times l \right) \times \rho \text{ (ton)} \quad (1)$$

dimana Do adalah diameter pipa (m), b adalah ketebalan pipa (m), l adalah panjang pipa (m), dan ρ adalah massa jenis baja (7.9 t/m^3).

Penyebaran kapal penggelaran pipa melibatkan beberapa persamaan untuk mendapatkan durasi penggelaran. Persamaan

tersebut antara lain *lay rate*, panjang sambungan, jumlah sambungan, dan durasi penggelaran.

Lay rate merupakan kemampuan kapal menggelar dalam sehari. Persamaan *lay rate* melibatkan kemampuan *tensioner lay barge* dan waktu pengelasan. Pada perhitungan ini akan menghasilkan dua hasil karena masukan data menggunakan variasi penelitian, yaitu *weld travel speed*.

$$Lay \text{ rate} = \text{ten. time} + \text{weld time (jts/hari)} \quad (2)$$

$$\text{Ten. time} = \frac{\text{ten. rate}}{l} \text{ (hari)} \quad (3)$$

$$\text{Weld time} = \frac{2.5 \times \pi \times Do}{\text{weld travel speed}} \text{ (hari)} \quad (4)$$

Dimana ten. rate adalah ketahanan beban tensioner (m/min), l adalah panjang pipa (m), Do adalah diameter pipa (m), weld travel speed adalah kecepatan pengelasan (m/min).

Panjang sambungan pipa dikalkulasi dengan menerapkan persamaan pythagoras. Dalam penelitian ini, penerapan tersebut menggunakan koordinat lokasi pemasangan, yaitu PHE-38P dan PPP.

$$L = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \text{ (m)} \quad (5)$$

Dimana x adalah koodinat latitude, y adalah koordinat longitude, dan L adalah panjang sambungan pipa (m).

Jumlah sambungan adalah jumlah kebutuhan pipa penyalur selama proyek berjalan. Hasil perhitungannya digunakan sebagai sebagai masukan perhitungan estimasi durasi penggelaran.

$$\text{Total jts} = \frac{L}{l} \text{ (joints)} \quad (6)$$

$$\text{Lay} = \frac{\text{total joints}}{\text{lay rate}} \text{ (hari)} \quad (7)$$

Dimana L adalah panjang sambungan (m), l adalah panjang pipa (m/jts), *lay rate* adalah kemampuan penggelaran pipa (jts/hari), dan *lay* adalah durasi penggelaran (hari).

Sebelum dilakukan kalkulasi, perlu diketahui jika terdapat estimasi durasi yang diasumsikan, yaitu waktu pemuatan pipa di gudang (2 hari) dan pembongkaran pipa di *PLB* (2 jam). Asumsi tersebut diambil berdasarkan hasil diskusi dan studi di lokasi penelitian serta akan digunakan sebagai masukan pada perancangan timeline penyebaran kapal. Persamaan yang terlibat adalah kapasitas

muat pipa, jumlah pengangkutan, jarak, dan waktu pelayaran.

$$DI = \frac{LOA \times B}{10.764} \times \text{load rate (ton)} \quad (8)$$

$$\text{muat pipa} = \frac{\text{total joints}}{DI - (93\% \times DI)} \text{ (ton)} \quad (9)$$

$$\text{jumlah angkut} = \frac{\text{total joints} \times b}{\text{muat pipa}} \text{ (kali)} \quad (10)$$

Dimana LOA adalah panjang kapal (m), B adalah lebar kapal, load rate adalah kemampuan muat kapal (ton/m²), b adalah ketebalan pipa (m), dan DI adalah kapasitas muat seluruh kapal (ton).

Jarak dan waktu pelayaran adalah perhitungan yang saling terkait dengan tujuan untuk mendapatkan waktu tempuh dalam jarak tertentu. Jarak menganut persamaan pythagoras yang koordinat lokasi gudang dan PHE-38P. Waktu pelayaran menganut persamaan dasar fisika mengenai waktu tempuh.

$$S = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \text{ (km)} \quad (11)$$

$$T = \frac{S}{V} \text{ (hari)} \quad (12)$$

Dimana x adalah koordinat latitude, y adalah koordinat longitude, S adalah jarak (km), V adalah kecepatan kapal (knot), dan T adalah waktu pelayaran (hari).

Berdasarkan diskusi dan studi di lokasi penelitian, didapatkan bahwa pertukaran pekerja dalam rentang waktu satu minggu sebanyak 2 kali. Selain itu, penyebaran kapal ini juga terdapat durasi yang diasumsikan, yaitu *embark/disembark* pekerja (1 jam). Persamaan yang terlibat adalah jumlah pertukaran, jarak, waktu pelayaran, dan estimasi durasi. Koordinat yang digunakan dalam pertukaran pekerja adalah Pelabuhan Gresik dan PHE-38.

$$\text{jumlah tukar} = \frac{\text{Lay}}{3} \text{ (kali)} \quad (13)$$

Dimana lay adalah durasi penggelaran pipa (hari).

Kalkulasi Penyebaran penyuplaian logistik sama dengan pertukaran, yang membedakan adalah rutinitas penyuplaian. Dalam rentang waktu seminggu, penyuplaian dilakukan sebanyak 1 kali. Durasi yang diasumsikan adalah bongkar muat logistik (2 jam).

$$\text{jumlah suplai} = \frac{\text{Lay}}{6} \text{ (kali)} \quad (14)$$

Dimana lay adalah durasi penggelaran pipa (hari).

Pengolahan data dan perancangan timeline penyebaran kapal menggunakan bantuan Micsoroft Excel. Formula yang digunakan sebageian besar merupakan Fungsi IF atau fungsi logika perhitungan. Tujuan utama, untuk mendapatkan estimasi durasi tiap kapal dan gambaran pemetaan penggunaan kapal yang secara umum berisi waktu, tanggal, dan status operasi. Setiap timeline penyebaran kapal memberikan gambaran yang berbeda bergantung pada fungsi kapalnnya.

Penyebaran penggelaran pipa dengan fungsi utama yaitu menangani kegiatan penggelaran pipa yang memberikan gambaran pemetaan kapal penggelaran terhadap waktu dan tanggal dengan melibatkan jumlah sambungan pipa, panjang yang dicapai, dan status operasinya. Pemetaan tersebut ditunjukkan pada Gambar 3 dan hanya potongan pemetaan sebagai gambaran bentuk timeline penyebaran kapal.

Count per 15 minutes (= per)	Date & time	PIPELAY VESSELS SPREAD		
		Operation status	Weld jts number	Joint length (m)
30.96	Wed, 01-May-2013 08:30 AM	Pipelaying	0.0	0.0
30.97	Wed, 01-May-2013 08:45 AM	Pipelaying	0.5	6.3
30.98	Wed, 01-May-2013 09:00 AM	Pipelaying	1.1	12.6
30.99	Wed, 01-May-2013 09:15 AM	Pipelaying	1.6	18.9
31.00	Wed, 01-May-2013 09:30 AM	Pipelaying	2.1	25.2
31.01	Wed, 01-May-2013 09:45 AM	Pipelaying	2.6	31.5
31.02	Wed, 01-May-2013 10:00 AM	Pipelaying	3.2	37.9
31.03	Wed, 01-May-2013 10:15 AM	Pipelaying	3.7	44.2
31.04	Wed, 01-May-2013 10:30 AM	Pipelaying	4.2	50.5
31.05	Wed, 01-May-2013 10:45 AM	Pipelaying	4.7	56.8
31.06	Wed, 01-May-2013 11:00 AM	Pipelaying	5.3	63.1
31.07	Wed, 01-May-2013 11:15 AM	Pipelaying	5.8	69.4
31.08	Wed, 01-May-2013 11:30 AM	Pipelaying	6.3	75.7
31.09	Wed, 01-May-2013 11:45 AM	Pipelaying	6.8	82.0
31.10	Wed, 01-May-2013 12:00 PM	Pipelaying	7.4	88.3
31.11	Wed, 01-May-2013 12:15 PM	Pipelaying	7.9	94.6
31.13	Wed, 01-May-2013 12:30 PM	Pipelaying	8.4	101.0
31.14	Wed, 01-May-2013 12:45 PM	Pipelaying	8.9	107.3

Gambar 3. Timeline Penyebaran Kapal Penggelaran

Penyebaran pengangkutan pipa dengan fungsi utama, yaitu menangani proses bongkar muat pipa dari gudang ke kapal penggelaran (*pipelay barge*). Berdasarkan hal tersebut, maka penerapan kegiatannya pada pemetaan timeline penyebaran kapal melibatkan jumlah pengangkutan dan status operasi yang keduanya dipetakan berdasarkan waktu dan tanggal. Pemetaannya ditunjukkan pada Gambar 4.

per 15 minutes (= per)	Start	Date & time	PIPE HAUL VESSELS SPREAD	
			Voyage Number	Operation status
5.76	Sat, 06-Apr-2013	03:45 AM	2	Pipe loading
5.77	Sat, 06-Apr-2013	04:00 AM	2	Pipe loading
5.78	Sat, 06-Apr-2013	04:15 AM	2	Pipe loading
5.79	Sat, 06-Apr-2013	04:30 AM	2	Pipe loading
5.80	Sat, 06-Apr-2013	04:45 AM	2	Pipe loading
5.81	Sat, 06-Apr-2013	05:00 AM	2	Sail to PLB
5.82	Sat, 06-Apr-2013	05:15 AM	2	Sail to PLB
5.83	Sat, 06-Apr-2013	05:30 AM	2	Sail to PLB
5.84	Sat, 06-Apr-2013	05:45 AM	2	Sail to PLB
5.85	Sat, 06-Apr-2013	06:00 AM	2	Sail to PLB
7.80	Mon, 08-Apr-2013	04:45 AM	2	Ship-to-ship PLB
7.81	Mon, 08-Apr-2013	05:00 AM	2	Ship-to-ship PLB
7.82	Mon, 08-Apr-2013	05:15 AM	2	Ship-to-ship PLB
7.83	Mon, 08-Apr-2013	05:30 AM	2	Ship-to-ship PLB
7.84	Mon, 08-Apr-2013	05:45 AM	2	Ship-to-ship PLB
7.85	Mon, 08-Apr-2013	06:00 AM	2	Sail to Stockpipe
7.86	Mon, 08-Apr-2013	06:15 AM	2	Sail to Stockpipe
7.88	Mon, 08-Apr-2013	06:30 AM	2	Sail to Stockpipe

Gambar 4. Timeline Penyebaran Kapal Pengangkutan

Penyebaran penyuplai logistik dengan fungsi utama yaitu menangani proses suplai logistik seperti material, makanan, alat, dan lainnya dari pelabuhan ke kapal penggelaran. Berdasarkan fungsi tersebut, pemetaan yang terlibat adalah jumlah penyuplai dan status operasi. Pemetaan ditunjukkan pada Gambar 5.

per 15 minutes (= per)	Start	Date & time	CONSUMABLE VESSEL SPREAD	
			Voyage Number	Operation status
9.95	Wed, 10-Apr-2013	08:15 AM	3	Sail to PLB
9.96	Wed, 10-Apr-2013	08:30 AM	3	Sail to PLB
9.97	Wed, 10-Apr-2013	08:45 AM	3	Sail to PLB
9.98	Wed, 10-Apr-2013	09:00 AM	3	Sail to PLB
9.99	Wed, 10-Apr-2013	09:15 AM	3	Sail to PLB
10.00	Wed, 10-Apr-2013	09:30 AM	3	Sail to PLB
10.01	Wed, 10-Apr-2013	09:45 AM	3	Sail to PLB
10.02	Wed, 10-Apr-2013	10:00 AM	3	Sail to PLB
10.03	Wed, 10-Apr-2013	10:15 AM	3	Ship-to-ship PLB
10.04	Wed, 10-Apr-2013	10:30 AM	3	Ship-to-ship PLB
10.05	Wed, 10-Apr-2013	10:45 AM	3	Ship-to-ship PLB
10.06	Wed, 10-Apr-2013	11:00 AM	3	Ship-to-ship PLB
10.07	Wed, 10-Apr-2013	11:15 AM	3	Ship-to-ship PLB
10.16	Wed, 10-Apr-2013	01:15 PM	3	Sail to Port
10.17	Wed, 10-Apr-2013	01:30 PM	3	Sail to Port
10.18	Wed, 10-Apr-2013	01:45 PM	3	Sail to Port
10.19	Wed, 10-Apr-2013	02:00 PM	3	Sail to Port
10.20	Wed, 10-Apr-2013	02:15 PM	3	Sail to Port

Gambar 5. Timeline Penyebaran Kapal Penyuplai Logistik

Penyebaran pertukaran pekerja menangani perpindahan pekerja dari pelabuhan ke kapal penggelaran. Pemetaan yang terlibat tidak jauh beda dengan penyuplai logistik. Gambar 6 menunjukkan pemetaannya.

per 15 minutes (= per)	Start	Date & time	CREW CHANGE VESSEL SPREAD	
			Voyage Number	Operation status
13.93	Sun, 14-Apr-2013	07:45 AM	6	Sail to PLB
13.94	Sun, 14-Apr-2013	08:00 AM	6	Sail to PLB
13.95	Sun, 14-Apr-2013	08:15 AM	6	Sail to PLB
13.96	Sun, 14-Apr-2013	08:30 AM	6	Sail to PLB
13.97	Sun, 14-Apr-2013	08:45 AM	6	Sail to PLB
13.98	Sun, 14-Apr-2013	09:00 AM	6	Sail to PLB
13.99	Sun, 14-Apr-2013	09:15 AM	6	Embark/Disembark Crew PLB
14.00	Sun, 14-Apr-2013	09:30 AM	6	Embark/Disembark Crew PLB
14.01	Sun, 14-Apr-2013	09:45 AM	6	Embark/Disembark Crew PLB
14.02	Sun, 14-Apr-2013	10:00 AM	6	Embark/Disembark Crew PLB
14.03	Sun, 14-Apr-2013	10:15 AM	6	Embark/Disembark Crew PLB
14.04	Sun, 14-Apr-2013	10:30 AM	6	Embark/Disembark Crew PLB
14.05	Sun, 14-Apr-2013	10:45 AM	6	Embark/Disembark Crew PLB
14.07	Sun, 14-Apr-2013	11:15 AM	6	Sail to Port
14.08	Sun, 14-Apr-2013	11:30 AM	6	Sail to Port
14.09	Sun, 14-Apr-2013	11:45 AM	6	Sail to Port
14.10	Sun, 14-Apr-2013	12:00 PM	6	Sail to Port
14.11	Sun, 14-Apr-2013	12:15 PM	6	Sail to Port

Gambar 6. Timeline Penyebaran Kapal Pertukaran Pekerja

Hasil akhir pemetaan penyebaran kapal adalah estimasi durasi tiap kapal yang kemudian dijadikan masukan dalam penjadwalan proyek. Tabel 7 dan Tabel 8 memberikan hasil tersebut dengan perbedaan penggunaan *weld travel speed*. Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat jika perbedaan pada *weld travel speed*, kemampuan *pipelay barge*, akan mempengaruhi perubahan kapal lain yang terlibat.

Tabel 7. Estimasi Durasi Tiap Kapal Variasi 1

Kapal	Aktivitas kerja Kerja	Unit
<i>PLB + AHT</i>	Durasi penggelaran pipa	29 hari
	Jumlah pengangkutan	5 kali
<i>CB + TB</i>	Durasi pemuatan pipa	10 hari
	Durasi pelayaran	2 hari
	Durasi bongkar muat pipa	10 hari
<i>Crew boat</i>	Total durasi	22 hari
	Jumlah pertukaran	10 kali
	Durasi pelayaran	3 hari
<i>Supply Vessel</i>	Durasi <i>embark/disembark</i>	1 hari
	Total durasi	13 hari
	Jumlah penyuplaian	5 kali
<i>Supply Vessel</i>	Durasi pelayaran	2 hari
	Durasi bongkar muat logistik	1 hari
	Total durasi	7 hari

Tabel 8. Estimasi Durasi Tiap Kapal Variasi 2

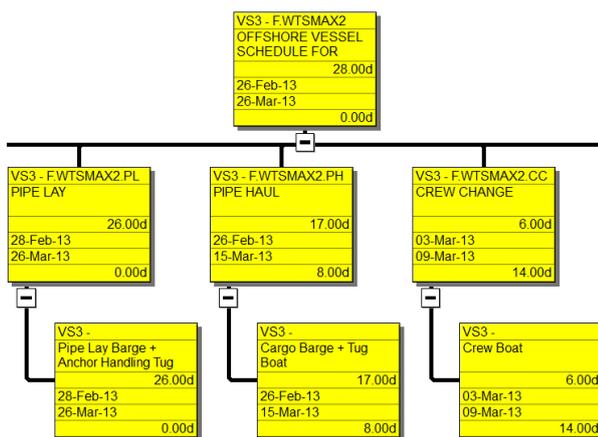
Kapal	Aktivitas kerja Kerja	Unit
<i>PLB + AHT</i>	Total durasi kapal	22 hari
	Jumlah pengangkutan	5 kali
<i>CB + TB</i>	Durasi pemuatan pipa	10 hari
	Durasi pelayaran	1 hari
	Durasi bongkar muat pipa	4 hari
	Total durasi kapal	15 hari
	Jumlah pertukaran	8 kali

Crew boat	Durasi pelayaran	2 hari
	Durasi <i>embark/disembark</i>	1 hari
	Total durasi kapal	10 hari
Supply Vessel	Jumlah penyuplaian	4 kali
	Durasi pelayaran	2 hari
	Durasi bongkar muat logistik	1 hari
	Total durasi kapal	6 hari

Keterangan Tabel 7 dan Tabel 8, dimana PLB adalah *pipe lay barge*, AHT adalah *anchor handling tug*, CB adalah *cargo barge*, dan TB adalah *tug boat*.

3.3. Penjadwalan Primavera P6

Penjadwalan merupakan proses penyusunan aktivitas kerja, keterkaitan, dan durasi yang digambarkan dalam diagram batang dengan bantuan *scheduling software*, dalam penelitian ini Primavera P6. Tujuan utama, untuk mendapatkan gambaran seluruh proyek baik durasi dan aktivitas kerjanya, lintasan kritis proyek, dan durasi proyek. Langkah pertama yaitu *set-up* kalender. *Set-up* kalender ditentukan berdasarkan jam kerja proyek yang digunakan, dalam penelitian jam kerja 24 jam per hari dalam 7 hari. Selanjutnya adalah pendefinisian dan penyusunan penjabaran struktur kerja (WBS) dengan masukan data berupa penyebaran kapal yang terlibat dalam penelitian beserta kapal yang digunakan. Gambar 7 memberikan potongan diagram hirarki penjabaran struktur kerja yang menggambarkan tingkatan pekerjaan dari terbesar sampai terkecil, serta komponen penjadwalan didalamnya, seperti durasi, tanggal, dan struktur kerja.



Gambar 7. Diagram Hirarki Penjabaran Struktur Kerja

Penjabaran struktur kerja layaknya badan dalam penjadwalan yang didalamnya terdapat aktivitas kerja – aktivitas kerja, karena itu dalam Primavera P6, aktivitas kerja dapat dimasukkan setelah penjabaran struktur kerja didefinisikan.

Pemasukan aktivitas kerja pada Primavera P6 juga disertakan dengan keterkaitan dan durasi yang telah didapatkan sebelumnya. Terdapat beberapa beberapa durasi yang diasumsikan, yaitu pengecekan kesiapan (3 hari), pemasangan DMA (2 hari), dan *tie in* (3 hari). Dasar pengasumsian diambil dari *schedule baseline* yang digunakan dengan tujuan untuk memudahkan dalam membandingkan variasi penelitian. Tabel 9 dan Tabel 10 merupakan penjabaran durasi tiap aktivitas kerja untuk masing – masing variasi penelitian, digunakan sebagai masukan data pada Primavera P6.

Tabel 9. Penjabaran Durasi Kapal Variasi 1

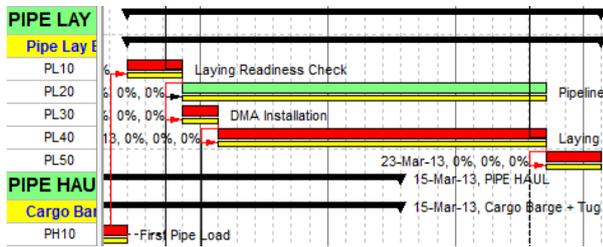
Kode	Penjabaran Struktur Kerja	Durasi (hari)
Pipe Lay Spread		
PL10	Pengecekan kesiapan	3
PL20	Fabrikasi pipa penyalur	31
PL30	Pemasangan <i>dead man anchor</i>	2
PL40	Proses penggelaran	29
PL50	<i>Tie in</i>	3
Pipe Haul Spread		
PH10	Pemuatan pipa pertama	2
PH20	Pemuatan pipa	8
PH30	Pelayaran dan bongkar muat	12
Crew Change Spread		
CC10	Pertukaran pekerja	13
Logistic Supplying Spread		
LS10	Penyuplaian logistik	7

Tabel 10. Penjabaran Durasi Kapal Variasi 2

Kode	Penjabaran Struktur Kerja	Durasi (hari)
Pipe Lay Spread		
PL10	Pengecekan kesiapan	3
PL20	Fabrikasi pipa penyalur	24
PL30	Pemasangan <i>dead man anchor</i>	2
PL40	Proses penggelaran	22
PL50	<i>Tie in</i>	3
Pipe Haul Spread		
PH10	Pemuatan pipa pertama	2
PH20	Pemuatan pipa	8
PH30	Pelayaran dan bongkar muat	5
Crew Change Spread		
CC10	Pertukaran pekerja	10
Logistic Supplying Spread		
LS10	Penyuplaian logistik	6

Hasil penginputan langkah – langkah diatas adalah penjadwalan proyek pemasangan pipa bawah laut yang memberikan gambaran seluruh proyek, baik aktivitas kerja, durasi aktivitas kerja, durasi proyek, dan lintasan kritis proyek. Lintasan kritis merupakan aktivitas kerja yang perubahannya

mempengaruhi durasi proyek. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini memberikan pertimbangan aktivitas kerja yang berpotensi menyebabkan keterlambatan proyek. Lintasan kritis terbentuk karena masukan aktivitas kerja dan keterkaitannya pada Primavera P6.



Gambar 9. Lintasan Kritis Proyek

Pada Gambar 9, lintasan kritis ditunjukkan dengan diagram batang dan anak panah berwarna merah. Jalur kritis antara lain PH10 – PL10 – PL30 – PL40 – PL50. Aktivitas kerja yang diperhatikan dalam penelitian ini adalah PL40 – proses penggelaran, karena pada aktivitas kerja tersebut variasi dilakukan dan merupakan kemampuan *pipelay barge*.

OFFSHORE VESSEL SCHEDULE FOR PIPE				VS - 7Dx24H	39,00d
MILESTONE				VS - 7Dx24H	31,00d
MLS10	Start Laying	Start Milestone	VS - 7Dx24H	0,00d	
MLS20	End Laying	Finish Milestone	VS - 7Dx24H	0,00d	
PIPE LAY				VS - 7Dx24H	37,00d
Pipe Lay Barge + Anchor Handling Tug				VS - 7Dx24H	37,00d
PL10	Laying Readiness Check	Task Dependent	VS - 7Dx24H	3,00d	
PL20	Pipeline Fabrication	Task Dependent	VS - 7Dx24H	31,00d	
PL30	DMA Installation	Task Dependent	VS - 7Dx24H	2,00d	
PL40	Laying Process	Task Dependent	VS - 7Dx24H	29,00d	
PL50	Tie In	Task Dependent	VS - 7Dx24H	3,00d	
PIPE HAUL				VS - 7Dx24H	25,00d
Cargo Barge + Tug Boat				VS - 7Dx24H	25,00d
PH10	First Pipe Load	Task Dependent	VS - 7Dx24H	2,00d	
PH20	Pipe Load During Laying	Task Dependent	VS - 7Dx24H	8,00d	
PH30	Voyage & Loadout During L	Task Dependent	VS - 7Dx24H	10,00d	
CREW CHANGE				VS - 7Dx24H	13,00d
Crew Boat				VS - 7Dx24H	13,00d
CC10	Labor Changing	Task Dependent	VS - 7Dx24H	13,00d	
LOGISTIC SUPPLY				VS - 7Dx24H	7,00d
Utility Vessel				VS - 7Dx24H	7,00d
LS10	Logistic Supplying	Task Dependent	VS - 7Dx24H	7,00d	

Gambar 10. Durasi Proyek Variasi 1

OFFSHORE VESSEL SCHEDULE FOR PIPE				VS - 7Dx24H	32,00d
MILESTONE				VS - 7Dx24H	24,00d
MLS10	Start Laying	Start Milestone	VS - 7Dx24H	0,00d	
MLS20	End Laying	Finish Milestone	VS - 7Dx24H	0,00d	
PIPE LAY				VS - 7Dx24H	30,00d
Pipe Lay Barge + Anchor Handling Tug				VS - 7Dx24H	30,00d
PL10	Laying Readiness Check	Task Dependent	VS - 7Dx24H	3,00d	
PL20	Pipeline Fabrication	Task Dependent	VS - 7Dx24H	24,00d	
PL30	DMA Installation	Task Dependent	VS - 7Dx24H	2,00d	
PL40	Laying Process	Task Dependent	VS - 7Dx24H	22,00d	
PL50	Tie In	Task Dependent	VS - 7Dx24H	3,00d	
PIPE HAUL				VS - 7Dx24H	19,00d
Cargo Barge + Tug Boat				VS - 7Dx24H	19,00d
PH10	First Pipe Load	Task Dependent	VS - 7Dx24H	2,00d	
PH20	Pipe Load During Laying	Task Dependent	VS - 7Dx24H	8,00d	
PH30	Voyage & Loadout During L	Task Dependent	VS - 7Dx24H	4,00d	
CREW CHANGE				VS - 7Dx24H	10,00d
Crew Boat				VS - 7Dx24H	10,00d
CC10	Labor Changing	Task Dependent	VS - 7Dx24H	10,00d	
LOGISTIC SUPPLY				VS - 7Dx24H	6,00d
Utility Vessel				VS - 7Dx24H	6,00d
LS10	Logistic Supplying	Task Dependent	VS - 7Dx24H	6,00d	

Gambar 11. Durasi Proyek Variasi 2

Pada Gambar 10 dan Gambar 11, menggambarkan durasi proyek dan aktivitas kerja – aktivitas kerja tiap penjabaran struktur kerjanya. Durasi proyek untuk variasi 1 adalah 39 hari dan variasi 2 adalah 32 hari. Hasil perbandingan dengan durasi proyek aktual, durasi proyek estimasi variasi 1 dan variasi 2 mengalami peningkatan durasi yang artinya berpotensi merugikan proyek, karena akan meningkatkan biaya proyek juga.

3.4. Produktivitas Proyek Pemasangan Pipa

Secara sederhana produktivitas merupakan perbandingan antara *output* dengan *input*. Input dalam penelitian ini adalah pekerja dan alat proyek, dan output adalah durasi proyek. Analisa produktivitas dilakukan untuk melihat persentase peningkatan atau penurunan efektivitas kinerja proyek yang dinilai dari pekerja dan alat proyek. Lalu dilakukan perbandingan estimasi dan aktual dengan rasio produktivitas. Efektivitas ditentukan dari nilai rasio produktivitas tersebut. Jika hasil negatif maka penerapan metode *work study* akan dilakukan untuk mencari produktivitas yang lebih baik [5]. Produktivitas pekerja merepresentasikan kemampuan pekerja melakukan pengelasan per hari dan produktivitas pengelasan merepresentasikan kemampuan *pipelay barge* dalam menggelar per hari.

$$Productivity = \frac{output}{input} \quad (15)$$

$$PL = \frac{(B_{pipe} \times N_{pipe})}{D_{total}} \quad (kg/hari) \quad (16)$$

$$PC = \frac{(B_{pipe} \times N_{pipe})}{(D_{total} \times N_{crew})} \quad (kg/orang/hari) \quad (17)$$

$$Rasio = \frac{(aktual - estimasi)}{estimasi} \times 100\% \quad (\%) \quad (18)$$

Dimana PL adalah produktivitas pengelasan (kg/hari), Bpipe adalah berat pipa penyalur (kg/jts), Npipe adalah jumlah pipa yang gelar (jts), Dtotal adalah durasi proyek (hari), Ncrew adalah jumlah pekerja yang terlibat (orang), aktual adalah produktivitas aktual, dan estimasi adalah produktivitas estimasi.

Tabel 11 menampilkan hasil perhitungan produktivitas pengelasan, sedangkan Tabel 12 menampilkan hasil perhitungan produktivitas pekerja. Kedua tabel tersebut menampilkan variasi *weld travel speed* minimum.

Tabel 11. Produktivitas Penggelaran Variasi 1

Item	Produktivitas	Unit
Nilai Aktual	81,955.77	kg/hari
Nilai Estimasi	65,144.33	kg/hari
Rasio	-20.51	%

Tabel 12. Produktivitas Pekerja Variasi 1

Item	Produktivitas	Unit
Nilai Aktual	274.10	kg/orang/hari
Nilai Estimasi	217.87	kg/orang/hari
Rasio	-20.51	%

Hasil analisa produktivitas pekerja dan penggelaran dengan estimasi variasi *weld travel speed* minimum adalah -20.51% (negatif). Produktivitas pekerja dan penggelaran untuk variasi ini mengalami penurunan efektivitas kinerja. Tabel 13 dan Tabel 14 memperlihatkan hasil perhitungan produktivitas variasi *weld travel speed* maksimum.

Tabel 13. Produktivitas Penggelaran Variasi 2

Item	Produktivitas	Unit
Nilai Aktual	81,955.77	kg/hari
Nilai Estimasi	79,394.65	kg/hari
Rasio	-3.13	%

Tabel 14. Produktivitas Pekerja Variasi 2

Item	Produktivitas	Unit
Nilai Aktual	274.10	kg/orang/hari
Nilai Estimasi	265.53	kg/orang/hari
Rasio	-3.13	%

Hasil analisa produktivitas pekerja dan penggelaran variasi *weld travel speed* maksimum adalah -3.13% (negatif), yang artinya mengalami penurunan efektivitas kinerja. Kedua hasil menunjukkan bahwa *weld travel speed* 147 – 196 mm/min (sesuai dokumen proyek) mengalami penurunan efektivitas dari produktivitas aktual, sehingga analisa peningkatan produktivitas perlu dilakukan guna mencari interval *weld travel speed* baru untuk memperbaiki produktivitas proyek.

Langkah awal peningkatan produktivitas adalah mencari maksimum interval terbaru, yaitu dengan merubah nilai maksimum awal menjadi nilai minimum baru dan nilai maksimum baru adalah penjumlahan nilai minimum baru dengan selisih interval sebelumnya.

$$max_2 = max_1 + (max_1 - min_1)(mm/min) \quad (17)$$

Dimana max2 adalah nilai maksimum baru (mm/min), max1 adalah nilai maksimum awal (196

mm/min), dan min1 adalah nilai minimum awal (147 mm/min).

Diketahui interval *weld travel speed* baru adalah 196 – 245 mm/min, yang kemudian dikalkulasi untuk menentukan durasi proyek terbaru dengan analisa sebelumnya. Setelah masukan data didapatkan, pembaruan durasi tiap aktivitas kerja dilakukan untuk memudahkan dalam proses pencarian estimasi durasi proyek terbaru dengan Primavera P6. Tabel 13 memperlihatkan pembaruan estimasi durasi tiap kapal, Tabel 14 memperlihatkan pembaruan penjabaran durasi, dan Gambar 12 memperlihatkan estimasi durasi proyek terbaru dengan Primavera P6.

Tabel 15. Estimasi Durasi Tiap Kapal Variasi Baru

Kapal	Aktivitas kerja Kerja	Unit
PLB + AHT	Durasi penggelaran pipa	18 hari
	Jumlah pengangkutan	5 kali
	Durasi pemuatan pipa	8 hari
CB + TB	Durasi pelayaran	1 hari
	Durasi bongkar muat pipa	3 hari
	Total durasi	12 hari
Crew boat	Jumlah pertukaran	6 kali
	Durasi pelayaran	2 hari
	Durasi <i>embark/disembark</i>	1 hari
Supply Vessel	Total durasi	8 hari
	Jumlah penyuplaian	4 kali
	Durasi pelayaran	2 hari
Vessel	Durasi bongkar muat logistik	1 hari
	Total durasi	6 hari

Tabel 16. Penjabaran Durasi Kapal Variasi Baru

Kode	Penjabaran Struktur Kerja	Durasi (hari)
Pipe Lay Spread		
PL10	Pengecekan kesiapan	3
PL20	Fabrikasi pipa penyalur	20
PL30	Pemasangan <i>dead man anchor</i>	2
PL40	Proses penggelaran	18
PL50	<i>Tie in</i>	3
Pipe Haul Spread		
PH10	Pemuatan pipa pertama	2
PH20	Pemuatan pipa	6
PH30	Pelayaran dan bongkar muat	4
Crew Change Spread		
CC10	Pertukaran pekerja	6
Logistic Supplying Spread		
LS10	Penyuplaian logistik	4

OFFSHORE VESSEL SCHEDULE FOR PIPE				VS - 7Dx24H	28.00d
MILESTONE				VS - 7Dx24H	20.00d
MLS10	Start Laying	Start Milestone	VS - 7Dx24H	0.00d	
MLS20	End Laying	Finish Milestone	VS - 7Dx24H	0.00d	
PIPE LAY				VS - 7Dx24H	26.00d
Pipe Lay Barge + Anchor Handling Tug				VS - 7Dx24H	26.00d
PL10	Laying Readiness Check	Task Dependent	VS - 7Dx24H	3.00d	
PL20	Pipeline Fabrication	Task Dependent	VS - 7Dx24H	20.00d	
PL30	DMA Installation	Task Dependent	VS - 7Dx24H	2.00d	
PL40	Laying Process	Task Dependent	VS - 7Dx24H	18.00d	
PL50	Tie In	Task Dependent	VS - 7Dx24H	3.00d	
PIPE HAUL				VS - 7Dx24H	16.00d
Cargo Barge + Tug Boat				VS - 7Dx24H	16.00d
PH10	First Pipe Load	Task Dependent	VS - 7Dx24H	2.00d	
PH20	Pipe Load During Laying	Task Dependent	VS - 7Dx24H	6.00d	
PH30	Voyage & Loadout During L	Task Dependent	VS - 7Dx24H	3.00d	
CREW CHANGE				VS - 7Dx24H	6.00d
Crew Boat				VS - 7Dx24H	6.00d
CC10	Labor Changing	Task Dependent	VS - 7Dx24H	6.00d	
LOGISTIC SUPPLY				VS - 7Dx24H	4.00d
Utility Vessel				VS - 7Dx24H	4.00d
LS10	Logistic Supplying	Task Dependent	VS - 7Dx24H	4.00d	

Gambar 12. Durasi Proyek Variasi Baru

Pada Gambar 12 memperlihatkan jika durasi proyek variasi terbaru adalah 28 hari, terjadi penurunan durasi proyek baik dari estimasi *weld travel speed* minimum, maksimum, maupun aktual. Dalam segi produktivitas akan dianalisa dengan cara yang serupa, dengan hipotesis bahwa terjadi peningkatan produktivitas pekerja dan pengeluaran dari penurunan durasi proyek tersebut. Tabel 14 dan Tabel 15 akan menjelaskannya.

Tabel 14. Produktivitas Penggelaran Baru

Item	Produktivitas	Unit
Nilai Aktual	81,955.77	kg/hari
Nilai Estimasi	90,736.74	kg/hari
Rasio	10.71	%

Tabel 15. Produktivitas Pekerja Baru

Item	Produktivitas	Unit
Nilai Aktual	274.10	kg/orang/hari
Nilai Estimasi	303.47	kg/orang/hari
Rasio	10.71	%

Berdasarkan Tabel 14 dan Tabel 15 menunjukkan rasio peningkatan produktivitas pekerja dan pengeluaran (positif) sebesar 10.71%. Rasio tersebut lebih baik dari produktivitas sebelumnya yang mengalami penurunan sebesar 20.51% dan 3.13%.

3.5. Hasil Penelitian

Berdasarkan analisa dan pembahasan penelitian, menunjukkan bahwa *weld travel speed* memberikan perubahan pada durasi proyek dan durasi kapal yang terlibat proyek. Dibuktikan dengan perbedaan durasi aktivitas kerja pada Tabel 9, Tabel 10, dan Tabel 16. Berikut durasi proyek aktual dan estimasi untuk mengetahui perbedaan durasinya,

1. Estimasi variasi 1, durasi proyek 39 hari.
2. Estimasi variasi 2, durasi proyek 32 hari.
3. Estimasi terbaru, durasi proyek 28 hari.
4. Aktual, durasi proyek 31 hari.

Durasi proyek estimasi variasi 2 dengan durasi proyek aktual memiliki perbedaan durasi yang sedikit, yaitu 1 hari, sehingga dapat diasumsikan jika durasi proyek aktual merupakan kalkulasi estimasi *weld travel speed* maksimum (196 mm/min). Kemudian peningkatan durasi proyek terjadi pada estimasi variasi 1 (147 mm/min) dan penurunan durasi proyek terjadi pada estimasi setelah peningkatan produktivitas (245 mm/min). Perubahan durasi proyek oleh *weld travel speed*, memberikan gambaran tingkat efektivitas kinerja untuk proyek pemasangan pipa bawah laut. Berikut persentase rasio produktivitas antara aktual dan estimasi,

1. Estimasi variasi 1, rasio produktivitas adalah -20.51%.
2. Estimasi variasi 2, rasio produktivitas adalah -3.13%.
3. Estimasi terbaru, rasio produktivitas adalah 10.71%.

Berdasarkan standar rasio produktivitas yang dijelaskan oleh Feri dan Syafiudin, jika $A/E < 1$ atau negatif, maka mengalami penurunan efektivitas kerja, dan jika $A/E > 1$ atau positif, maka mengalami peningkatan efektivitas kerja [11]. Hasil dengan nilai negatif ditunjukkan pada penerapan estimasi variasi 1 dan variasi 2 yang diambil berdasarkan dokumen proyek, sehingga *weld travel speed* 147 – 196 mm/min yang sesuai dokumen proyek, mengalami penurunan efektivitas kinerja (kurang optimal) dan berpotensi akan merugikan proyek.

Setelah dilakukan analisa peningkatan produktivitas, terjadi peningkatan sebesar 10.71%. Maka, interval estimasi *weld travel speed* baru 196 – 245 mm/min memiliki efektivitas lebih baik (lebih optimal) dan berpotensi akan menguntungkan proyek. Hal tersebut dapat dijadikan acuan baru dalam mengestimasi perancangan proyek pemasangan pipa.

Berdasarkan hasil penelitian diatas, dapat dikatakan jika penerapan penggunaan kapal pada proyek pemasangan pipa berpengaruh terhadap perubahan durasi proyek. Pengaruh penggunaan kapal yang merupakan alat proyek, dibuktikan juga dalam penelitian Soekiman, dijelaskan bahwa perusahaan besar di Indonesia memiliki faktor pengaruh produktivitas yang tinggi pada *equipment factor* atau faktor peralatan, yang dalam penelitian ini mengambil studi kasus dari perusahaan besar di Indonesia, yaitu Pertamina Hulu Energi dan *equipment factor* dalam penelitian ini adalah penggunaan kapal [14].

Pengaruh penerapan penggunaan kapal terhadap durasi proyek dengan analisa produktivitas telah dilakukan dalam penelitian Soepardi, dijelaskan bahwa produktivitas pekerja memiliki hubungan korelasi yang rendah atau lemah terhadap keterlambatan proyek [15]. Tetapi dalam penelitian ini, produktivitas dikalkulasi berdasarkan pekerja dan alat. Penerapan alat dalam produktivitas penggelaran memberikan pengaruh terhadap durasi proyek, dibuktikan dengan angka peningkatan produktivitas 10.71% dengan interval *weld travel speed* yang dapat ditingkatkan lagi, dengan peningkatan spesifikasi *pipelay barge*. Penelitian Imam, Hardy juga membenarkan jika penyebaran kapal (*marine vessel spread*) menjadi salah satu penyebab keterlambatan proyek penggelaran pipa penyalur bawah laut melalui metode analisa risiko proyek [3]. Penelitian Soepardi juga menyebutkan bahwa perlu penelitian lebih lanjut tentang faktor produktivitas pekerja yang mempengaruhi keterlambatan proyek dan penelitian ini memberikan pertimbangan penyebab keterlambatan proyek dari produktivitas alat [15].

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dalam penelitian ini adalah penggunaan *weld travel speed* 147 – 196 mm/min sebagai variasi penelitian menghasilkan peningkatan durasi proyek dari 31 hari ke 38 hari dan 31 hari ke 32 hari dengan penurunan efektivitas kinerja sebesar 20.51% dan 3.13% terhadap durasi proyek, sehingga penggunaannya pada proyek pemasangan pipa kurang optimal dan berpotensi merugikan proyek. Rekomendasi dengan penerapan metode *work study* dilakukan untuk memperbaiki efektivitas kinerja dan didapatkan peningkatan sebesar 10.71% dan terjadi penurunan durasi dari 31 hari ke 28 hari, dengan *weld travel speed* 196 – 245 mm/min. Penerapannya mungkin untuk dilakukan karena lebih optimal dari sebelumnya. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pengaruh penggunaan kapal terutama kemampuannya pada kegiatan penggelaran pipa, berpengaruh terhadap perubahan estimasi durasi proyek pemasangan pipa, sehingga perlu diestimasi sebaik mungkin untuk menghindari kesalahan estimasi yang dapat meningkatkan waktu dan biaya proyek. Penerapan kemampuan *pipelay barge* pada proyek pemasangan pipa juga mempengaruhi kapal lain yang terlibat, dibuktikan pada perbedaan durasi tiap kapal pada variasi penelitian, dengan *weld travel speed* minimum didapatkan durasi *pipelay barge* 29 hari, dengan durasi *cargo barge* 22 hari, *crew boat* 13 hari, dan *supply vessel* 7 hari, sedangkan pada *weld travel speed* maksimum

didapatkan durasi *pipelay barge* 22 hari dengan durasi *cargo barge* 15 hari, *crew boat* 10 hari, dan *supply vessel* 6 hari. Berdasarkan lintasan kritis penjadwalan proyek, dapat diketahui kemungkinan aktivitas kerja yang berpotensi menjadi risiko penyebab keterlambatan proyek, antara lain, 1) pengecekan kesiapan penggelaran, 2) instalasi *dead man anchor* (DMA), 3) proses penggelaran, 4) *tie in*, dan 5) pemuatan pipa di gudang penyimpanan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan penelitian ini berbagai pihak telah terlibat, baik secara langsung maupun tidak. Peneliti ucapkan terima kasih kepada Pertamina Hulu Energi *West Madura Offshore* (PHE WMO) terutama mentor yang telah membantu peneliti dalam penyusunan penelitian dan tim *training service* karena telah memberikan izin penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Rad, *Project Estimating and Cost Management*. Virginia: Management Concepts, 2002
- [2] Project Management Institute, *PMI's Pulse of The Profession: Success Rates Rise Transforming the High Cost of Low Performance*. Pennsylvania: Project Management Institute, 2017.
- [3] H. Gunanda dan I. Baihaki, "Evaluasi Schedule Baseline Pada Proyek EPCI Fasilitas Migas Lepas Pantai Berdasarkan Analisis Risiko Kuantitatif Dengan Metode Simulasi Monte Carlo", B. E. thesis, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia, 2017.
- [4] J. Gerung, A. Dundu, dan J. Mangare, "Analisa Penerapan Manajemen Waktu pada Pembangunan Jaringan Daerah Irigasi Sangkup Kiri", *Jurnal Sipil Statik*, vol. 4, no. 7, pp. 441-446, Juli. 2016
- [5] S. Jackson, "Project Cost Overruns and Risk Management", In *Proceeding 18th Annual ARCOM Conference on Construction Management*, 2002, pp. 65-68.
- [6] J. Martin, T. Burrows, dan I. Pegg, "Predicting Construction Duration of Building Project", In *Proceeding of Shaping the Change XXIII FIG Congress*, Munich, Germany, 2006.
- [7] L. Nguyen, D. Phan, dan L. Tang, "Predicting Construction Duration with Typical Construction Sequences for High-rise Buildings", *Architectural Engineering Conference*, pp. 387-396, Apr. 2013.

- [8] F. Czarnigowska, dan A. Sobotka, "Time-cost Relationship for Predicting Construction Duration", *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, vol. 13, pp. 518-526, May. 2013.
- [9] H. Kerzner, *Project Manajement: A Systems Approach to Planning, Scheduling and Controlling Tenth Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.
- [10] I. Rini, dan A. Tenriajeng, "Analisa Risiko Produktivitas Tenaga Kerja Terhadap Kinerja Waktu Proyek pada Bangunan Bertingkat", *Jurnal Desain Konstruksi*, vol. 13, no. 2, pp. 89-103, Des. 2014.
- [11] F. Harianto, dan M. Syafiudin, "Perbandingan Produktivitas Kerja Lembur dan Kerja Normal di Proyek Rehabilitasi Terminal Joyoboyo Surabaya", *Jurnal IPTEK*, vol. 11, no. 1, pp. 1-8, Jan. 2008.
- [12] L. Singh, *Work Study and Ergonomic*. Chicago: Cambridge University Press, 2015.
- [13] M. Braestrup, et al., *Design and Installation of Marine Pipeline*. Iowa: Blackwell Publishing Company, 2005.
- [14] A. Soekiman, K. Pribadi, dan B. Soemardi, "Factors Relating to Labor Productivity Affecting the Project Schedule Performance in Indonesia", *Procedia Engineering*, vol. 14, pp. 865-873, Okt. 2011.
- [15] S. Harris, B. Alam, dan A. Wibowo, "Pengaruh Produktivitas Kerja Terhadap Keterlambatan Pelaksanaan Proyek Konstruksi Bangunan", *Tecnoscienza*, vol. 2, no. 1, pp. 53-68, Okt. 2017.