

# Critical Path Method (CPM) pada pengerjaan *pipeline* dan analisis resiko pengelasan

Febitri Aryan Kumala<sup>1</sup>, Endang Pudji Purwanti<sup>2</sup>, Mochammad Karim Al Amin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

<sup>2,3</sup>Jurusan Teknik Pengelasan, PPNS, Surabaya

Email: febitri.14@gmail.com<sup>1</sup>; endangpudjip@ppns.ac.id<sup>2</sup>; karim@ppns.ac.id<sup>3</sup>

## Abstrak

Proyek pembangunan *pipeline* di PT. Gearindo Prakarsa sering terjadi *delay* dikarenakan banyak kegiatan yang tidak sesuai dengan target, hal ini dipengaruhi oleh adanya proses *repair* pada pengelasan dan kurangnya *manpower* pada beberapa kegiatan. Hal ini mengakibatkan durasi aktual lebih panjang dari durasi *planning*. Sehingga, perlu adanya pengendalian proyek melalui optimalisasi jadwal dan biaya pelaksanaan serta analisis resiko untuk proses pengelasannya. Metode CPM dan *crashing* adalah salah satu metode yang digunakan dalam pengendalian proyek untuk mendapatkan durasi waktu dan biaya yang lebih optimal. Sedangkan untuk menanggulangi adanya *repair* dilakukan dengan melakukan analisis resiko untuk mengetahui tingkat resiko cacat pengelasan dari faktor *safety*, lingkungan dan biaya. Jika pada kegiatan pengelasan tidak terjadi perubahan proses pengelasan, dengan menggunakan metode CPM dan *crashing* diperoleh waktu optimal sebesar 59 hari dengan melakukan penambahan pekerja 15 orang dan biaya sebesar Rp 9.001.453,-. Apabila secara keseluruhan dilakukan perubahan proses pengelasan dengan SMAW atau GTAW, dengan melakukan analisis resiko diperoleh besarnya biaya *consumable* Rp 27.72.000,- pada proses SMAW dan Rp 44.366.169,- pada proses GTAW. Dari sisi tingkat risikonya, cacat *porosity* dan *incomplete fusion* pada proses SMAW berada pada *level high risk* untuk faktor *safety*, lingkungan maupun biayanya. Sedangkan pada proses GTAW cacat *incomplete fusion* berada pada *level high risk* untuk faktor biayanya.

**Kata kunci** : Critical Path Method (CPM), *Crashing*, SMAW, GTAW, Analisis Resiko.

## Abstract

The pipeline construction project at PT. Gearindo Prakarsa often delays because many activities are not in accordance with the target, this is due to the repair process on welding and lack of manpower in some activities. This results in the actual duration being longer than the planning duration. So it is necessary to control the control through optimizing the schedule and implementation costs as well as risk analysis for the welding process. CPM and crashing methods are one of the methods used in controlling to get a more optimal time and cost duration. Meanwhile, to overcome any improvements made by conducting a risk analysis to determine the risk of defects from safety, environmental and cost factors. If the welding activity does not change the welding process, using the CPM and crashing methods, the optimal time is 59 days by adding 15 workers and costs Rp. 9,001,453. If the overall welding process changes with SMAW or GTAW, by analyzing the increase in consumption costs of Rp. 27,72,000 for the SMAW process and Rp. 44,366,169, for the GTAW process. In terms of the level of risk, porosity defects and incomplete fusion in the SMAW process are at a high risk level for safety, environmental and cost factors. Meanwhile, in the GTAW process, complete fusion defects are at a high risk level for the cost factor.

**Keywords**: Critical Path Method (CPM), *Crashing*, SMAW, GTAW, Risk Analysis.

## 1. Pendahuluan

Eksplorasi sumber daya alam saat ini sangat berkembang pesat, khususnya sumber daya minyak dan gas. *Offshore* merupakan ladang penghasil sumber daya alam minyak dan gas terbesar di Indonesia, dikarenakan Indonesia merupakan Negara Kepulauan yang sebagian besar luasnya adalah lautan. Dengan berkembangnya teknologi, proses eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas dapat dilakukan dengan mudah dan cepat. Maka dari itu dibutuhkan sebuah model transportasi untuk mengangkut hasil dari eksploitasi yang berada di *offshore* menuju fasilitas di darat, yaitu dengan pipa bawah laut (*pipeline*).

Pada proses pengerjaan *pipeline* terdapat beberapa kegiatan dari *material transfer* hingga *delivering product*. Namun sering kali pada saat berjalannya pengerjaan proyek tersebut terdapat kendala seperti kekurangan *man power*, terdapat *repair* pada pengelasannya, keterlambatan datangnya material serta proses inspeksi maupun NDT yang tidak sesuai dengan jadwal yang ditentukan[1].

Pengerjaan proyek *pipeline* di PT Gearindo Prakarsa, proses pengelasan yang digunakan pada saat proses fabrikasi adalah *full* GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) dan *full* SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Dari dua jenis proses pengelasan tersebut, masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan dari segi hasil maupun biaya. Hasil pengelasan yang baik, ekonomis, serta

efisien sangat diharapkan pada proses pengelasan, maka dari itu dibutuhkan analisis biaya serta risikonya. Risiko sendiri merupakan probabilitas suatu kejadian yang mengakibatkan kerugian ketika kejadian itu terjadi selama periode tertentu dan pengaruhnya dapat diukur dengan mengalikan frekuensi kejadian dan dampak dari kejadian tersebut[2]. Risiko merupakan suatu peristiwa yang memiliki kemungkinan terjadi dan bila terjadi memiliki dampak negatif pada tujuan tersebut. Pada proses pengelasan risiko yang terjadi sangat beragam, mulai dari kecelakaan kerja dan kegagalan pada saat serta hasil pengelasan[3].

Beberapa penelitian telah dilakukan tentang penerapan CPM pada berbagai kasus di industri[4][5]. Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan penelitian lanjutan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk dapat melakukan pengendalian proyek melalui optimalisasi jadwal dan biaya pelaksanaan serta analisis risiko untuk proses pengelasannya.

## 2. Metodologi

### 2.1 Metode CPM

*Critical path method (CPM)* merupakan sebuah perangkat manajemen proyek yang digunakan dalam percepatan waktu dalam hal *design* dan *scheduling* dalam suatu proyek[6]. Dalam metode tersebut perlu untuk menentukan jalur yang digunakan sebagai penentu keberhasilan atau kegagalan suatu pekerjaan suatu pekerjaan yang biasa disebut dengan *critical path* dengan kata lain jalur tersebut merupakan lintasan yang menentukan penyelesaian proyek secara keseluruhan. Penentuan *critical path* perlu untuk menghitung ES dan EF ditentukan selama *forward pass*, LS dan LF ditentukan selama *backward pass*[7].

$$ES = EF + (lag + 1)$$

$$EF = ES + (Duration - 1)$$

$$LF = LS - (Lag + 1)$$

$$LS = LF - (Duration - 1)$$

Kemudian untuk menentukan jalur kritis tersebut maka langkah selanjutnya adalah menghitung *slack*

dengan rumus sebagai berikut:

$$Slack = LF - EF \quad \text{atau} \quad Slack = LS - ES$$

### 2.2 Metode Crashing

Metode *Crashing* adalah proses yang disengaja dan sistematis untuk mempercepat durasi proyek dengan mereduksi durasi pekerjaan yang berpengaruh terhadap waktu pengerjaan proyek yang berada pada lintasan kritis. Panjadwalan proyek yang ditinjau dari aspek biaya harus diperhitungkan dengan membuat hubungan biaya dengan durasi untuk setiap kegiatan pada proyek tersebut yang dimaksud dengan biaya disini ialah biaya langsung saja, tidak termasuk biaya administrasi supervisi dan lain-lain[8].

### 2.3 Analisis Risiko

Analisis Risiko merupakan sebuah prosedur untuk mengenali satu ancaman dan kerentanan, kemudian menganalisanya untuk memastikan hasil pembongkaran dan menyoroti dampak yang ditimbulkan dapat dihilangkan atau dikurangi. Analisis Risiko pada pengelasan ditinjau dari faktor *safety*, lingkungan, dan biaya dengan *risk matrix* mengacu pada DNV RP G101[9].

## 3. Hasil Dan Pembahasan

### 3.1. Analisis Durasi Proyek Menggunakan Metode CPM

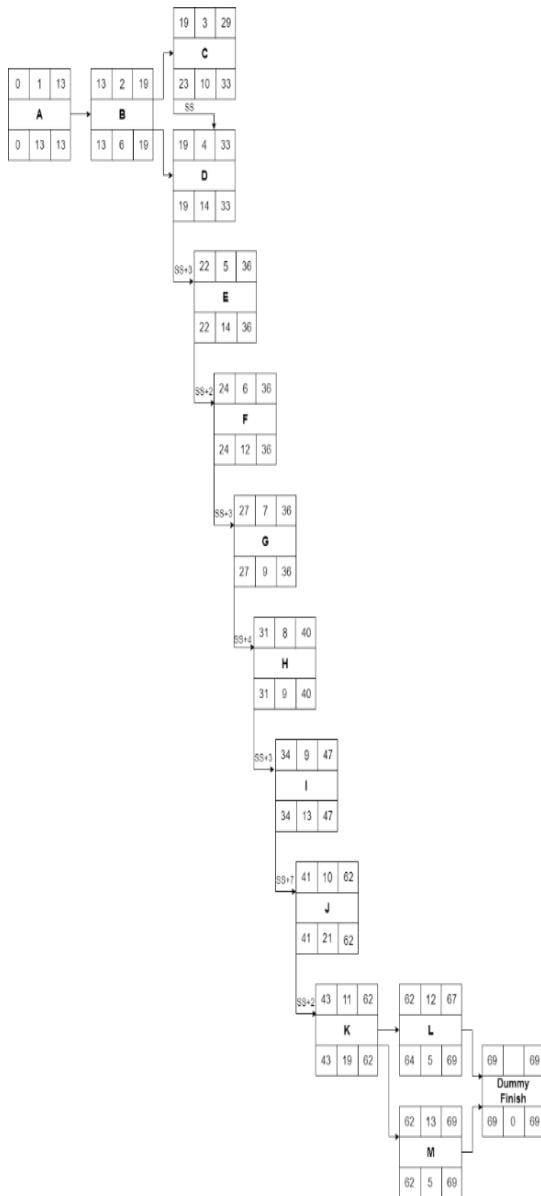
#### a) Durasi Planning

Dari data *fabrication plan* dijadikan dasar pertimbangan untuk menentukan durasi pada tahapan pengelasan, kemudian diolah menjadi notasi – notasi kegiatan dan dimasukkan ke dalam metode CPM untuk disusun *network planning*-nya yang ditunjukkan pada Tabel 1 sebagai berikut:

**Tabel 1.** Durasi *Planning* Pengerjaan Proyek Pembangunan *Pipeline*

No	Kegiatan	Notasi	Prede sesor	Durasi
1	Material Transfer dari Owner	A	-	13
2	Identifikasi Material	B	A	6
3	Fit Up Pipe (Marking, Cutting, Bevel)	C	B	10
4	Inspection Fit Up Pipe	D	B,C	14
5	Welding Pipe	E	D	14
6	Visual Inspection Weld	F	E	12
7	Non Destructive Test			
	a) Penetrant Test	G	F	9
	b) Radiography Test			
8	Repairing	H	G	9
9	Hydrostatic Test	I	H	13
10	Painting Spool Pipe	J	I	21
11	Painting Inspection	K	J	19
12	Final Dimension Check	L	K	5
13	Delivering Product	M	K	7

Penentuan jalur kritis pada jaringan kerja tersebut ditentukan berdasarkan hasil perhitungan maju lalu didapatkan nilai *earliest start* (ES) dan *earliest finish* (EF), kemudian perhitungan mundur yang nantinya diperoleh nilai *latest start* (LS) dan *latest finish* (LF). Dari perhitungan maju dan mundur tersebut kemudian dilakukan perhitungan *slack* jika hasil pengurangan EF – LF atau LS – LF bernilai 0 maka pada aktivitas tersebut merupakan aktivitas kritis seperti pada Gambar 1 berikut:



**Gambar 1.** Jaringan Kerja *Planning* Proyek Pembangunan *Pipeline*

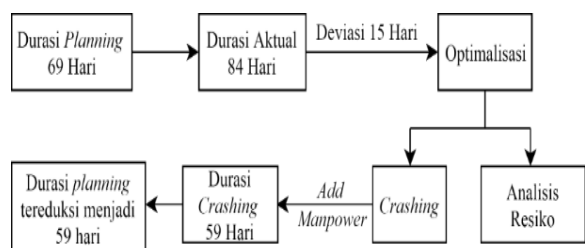
Notasi aktivitas yang merupakan jalur kritis yaitu: A – B – D – E – F – G – H – I – J – K – M, dengan total durasi waktu 69 hari.

**b) Durasi Aktual**

Menggunakan data *manufacturer data record* maka didapatkan durasi aktual atau durasi yang sebenarnya terjadi di lapangan dan didapatkan bahwa kegiatan A(12 hari), B(5 hari), C(14 hari), D(15 hari), E(20 hari), F(19hari), G(18 hari), H(17 hari), I(17 hari), J(33 hari), K(17 hari), L(5 hari), dan M(5 hari)

Kemudian jalur kritis pada jaringan kerja tersebut ditentukan berdasarkan hasil perhitungan maju lalu didapatkan nilai *earliest start* (ES) dan *earliest finish* (EF), kemudian perhitungan mundur yang nantinya diperoleh nilai *latest start* (LS) dan *latest finish* (LF) seperti metode pada Gambar 1, sehingga diperoleh total durasi aktual 84 hari

**3.2. Optimalisasi Proyek Menggunakan Metode *Crashing***



**Gambar 2.** Optimalisasi Proyek

Pada Gambar 2 diketahui bahwa setelah dilakukan perhitungan CPM diketahui pada aktualnya, proyek tersebut mengalami keterlambatan hingga 15 hari dari durasi yang ditentukan (*planning*). Hal ini terjadi dikarenakan selama proses fabrikasi terdapat banyak kendala, mulai dari kurangnya *manpower*, *defect rate* pada pengelasan yang tinggi, hingga terbatasnya peralatan yang menunjang fabrikasi.

Pengendalian proyek dilakukan dengan beberapa cara dalam penelitian menggunakan penambahan *manpower* dan *equipment*, upaya tersebut dilakukan untuk mempercepat penyelesaian suatu proyek agar sesuai dengan rencana awal dari keterlambatan suatu aktivitas dalam penyelesaian dapat digunakan waktu *crashing* pada jalur kritis yang akan memberikan pengaruh terhadap biaya pengerjaan seperti pada Tabel 2 dibawah ini.

**Tabel 2.** Optimalisasi Dengan Metode *Crashing*

Aktivitas	Durasi Aktual (Hari)	Durasi <i>Crashing</i> (Hari)	Jumlah SDM Aktual	Jumlah SDM <i>Crashing</i>	Biaya <i>Crashing</i> (Rp)	Biaya Aktual (Rp)	<i>Slope Cost</i> (Rp/hari)	Biaya Tambahan (Rp)
D	15	14	2	3	Rp9.450.000	Rp6.750.000	Rp2.700.000	Rp2.700.000
E	20	14	6	9	Rp23.762.655	Rp22.631.100	Rp188.593	Rp1.131.555
F	19	12	2	4	Rp10.800.000	Rp8.550.000	Rp321.429	Rp2.250.000
G	18	9	2	4	Rp7.578.720	Rp7.578.720	Rp0	Rp0
H	17	9	3	6	Rp10.183.995	Rp9.618.218	Rp70.722	Rp565.778
I	17	9	2	4	Rp7.996.170	Rp6.971.020	Rp256.288	Rp1.025.150
J	33	21	3	5	Rp23.256.975	Rp21.928.005	Rp110.748	Rp1.328.970
<b>TOTAL BIAYA CRASHING</b>								Rp9.001.453

Dari Tabel 2 tersebut dilakukan perhitungan menggunakan metode CPM seperti halnya pada Gambar 1 didapat total durasi 59 hari dengan semua kegiatan berada pada jalur kritis.

### 3.3. Perhitungan Biaya Consumable

Untuk pemilihan proses pengelasan yang ekonomis dan efisien perlu adanya perhitungan biaya *consumable* antara proses pengelasan *full SMAW* dan *full GTAW*, sehingga dapat diketahui perbandingannya dari segi biaya.

Jumlah kawat las dihitung menggunakan persamaan dan kemudian dapat diketahui berapa biaya *consumable* pada proses SMAW dan GTAW seperti pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Kebutuhan Biaya *Consumable*

	SMAW	GTAW
Jumlah Kawat	572 kg	386 kg @Rp100.700/kg
Las (Kg)	@Rp48.500/kg = Rp27.742.000	=Rp38.870.000
Kebutuhan Gas	-	10569,56 l @Rp1.040.000/2000l =Rp5.496.169
Total Biaya	Rp27.742.000	Rp44.366.169

### 3.4. Analisis Resiko

Untuk mengetahui tingkat resiko yang terjadi pada proses las SMAW dan GTAW dilakukan analisis resiko dari segi *safety*, lingkungan, dan biaya sebagai bahan pertimbangan dalam pemilihan proses las yang efektif.

Dengan mengolah *data report* dan didapatkan jenis-jenis *welding defect* yang mempengaruhi pengelasan kemudian kita klasifikasikan jenis-jenis *welding defect* yang terjadi untuk mendapatkan jenis *welding defect* yang paling dominan, menggunakan diagram pareto yang sering digunakan dalam hal pengendalian mutu seperti pada Gambar 3 pada proses SMAW dan Gambar 4 pada proses GTAW. Dari diagram pareto tersebut 80% kumulatif merupakan penyebab utama sehingga pada penyebab utama tersebut dilakukan analisis resiko menggunakan matriks resiko mengacu pada DNV-RP-G101[9].

Selanjutnya tingkat resiko diketahui setelah memasukkan PoF (*Probability of Failure*) seperti

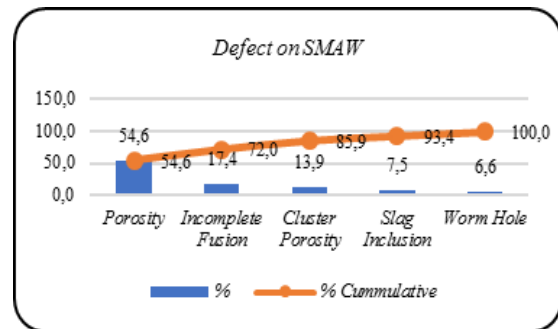
**Tabel 4.** *Consequence of Failure SMAW*

No	Welding Defect	Type Consequence of Failure		
		Safety	Lingkungan	Biaya
1	Porosity	B	B	B
2	Incomplete Fusion	B	B	C
3	Cluster Porosity	B	B	B

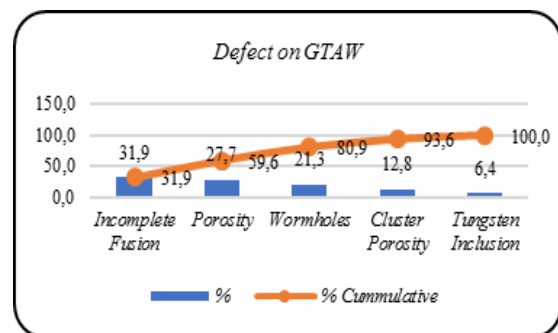
Data pada Tabel 3 dan 4 dimasukkan pada matriks resiko sehingga didapatkan tingkat resiko cacat pengelasan pada masing masing proses lasnya.

1. Tingkat Resiko Cacat Pengelasan Pada Proses SMAW

pada Tabel 3 dengan menghitung secara kuantitatif pada jumlah kejadian per jamnya dalam kurun waktu 8 bulan dan CoF (*Consequence of Failure*) pada Tabel 4 dan 5 yang didapatkan dengan proses *expert judgement*.



**Gambar 3.** Diagram Pareto Proses SMAW



**Gambar 4.** Diagram Pareto Proses GTAW

**Tabel 3.** *Probability of Failure*

SMAW			
Welding Defect	Kuantitas	PoF Rangking	Probabilitas
Porosity	0.04	5	Failure Expected
Incomplete Fusion	0.014	5	Failure Expected
Cluster Porosity	0.01	4	High
GTAW			
Welding Defect	Kuantitas	PoF Rangking	Probabilitas
Incomplete Fusion	0.003	4	High
Porosity	0.002	4	High
Wormholes	0.001	3	Medium

**Tabel 5.** *Consequence of Failure GTAW*

No	Welding Defect	Type Consequence of Failure		
		Safety	Lingkungan	Biaya
1.	Incomplete Fusion	B	B	C
2.	Porosity	B	B	B
3.	Wormholes	B	B	B

Setelah dimasukan PoF dan CoF maka didapat tingkat resiko untuk cacat las *cluster porosity* berada pada *level medium risk* atau *yellow* untuk tipe faktor dampak *safety*, lingkungan dan biaya. Sehingga didapatkan tingkatan resiko dari tiap jenis cacat las yang terjadi, maka didapatkan

tingkatan resiko yang memiliki *level* lebih berbahaya dibandingkan cacat las lainnya, yang dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Perbandingan Tingkat Resiko Cacat Las Pada Proses Pengelasan SMAW

No.	Porosity	Incomplete Fusion	Cluster Porosity
1	Safety	Safety	Safety
2	Lingkungan	Lingkungan	Lingkungan
3	Biaya	Biaya	Biaya

#### 2. Tingkat Resiko Cacat Pengelasan Pada Proses GTAW

Seperti halnya pada Tabel 5, pada proses las GTAW didapatkan cacat las *wormholes* berada pada *level medium risk* atau *yellow* untuk tipe faktor dampak *safety*, lingkungan dan biaya, sehingga tingkatan resiko yang memiliki *level* lebih berbahaya dibandingkan cacat las lainnya, yang dapat dilihat pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Perbandingan Tingkat Resiko Cacat Las Pada Proses Pengelasan SMAW

No.	Incomplete Fusion	Porosity	Wormholes
1	Safety	Safety	Safety
2	Lingkungan	Lingkungan	Lingkungan
3	Biaya	Biaya	Biaya

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan waktu *planning* pada jalur kritis menggunakan metode CPM didapatkan durasi total 69 hari, dan waktu aktual didapatkan total durasi 84 hari. Sedangkan waktu optimal untuk penyelesaian proyek pembangunan *pipeline* yang dihitung dengan menggunakan metode CPM dan *crashing* tanpa adanya perubahan proses pengelasan didapatkan total durasi 59 hari, yaitu lebih cepat 10 hari dari durasi *planning* dengan biaya tambahan akibat penambahan tenaga kerja langsung sebesar Rp9.001.453. Apabila terdapat perubahan proses pengelasan *full* SMAW dengan sudut bevel 30° pada proyek pembangunan *pipeline* sepanjang 70 meter didapatkan kebutuhan elektroda sejumlah 572 kg elektroda dengan total harga Rp27.742.000 dan pada proses pengelasan *full* GTAW membutuhkan 386 kg *filler metal* dan gas argon 10569,56 liter dengan total harga Rp44.366.169. Dari tingkat resiko yang terjadi cacat yang memiliki resiko paling berbahaya pada proses pengelasan SMAW adalah *porosity* dan *incomplete fusion* dikarenakan ketiga faktor dampak tersebut berada pada *level high risk*. Dan dari proses pengelasan GTAW yang memiliki tingkatan resiko yang paling berbahaya adalah *incomplete fusion* dari biaya karena berada pada *level high risk*.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak perusahaan yang telah memberikan izin,

memberi data serta kepada Ibu Dra. Endang Pudji Purwanti, MT., dan Bapak Moch. Karim Al Amin., S.ST., MT., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan saran dalam penyusunan tugas akhir ini.

#### Daftar Notasi

ES = waktu terdahulu suatu kegiatan dapat dimulai (*earliest start*)

EF = waktu terdahulu suatu kegiatan dapat selesai (*earliest finish*)

LS = waktu terakhir suatu kegiatan dapat dimulai (*latest start*)

LF = waktu terakhir suatu kegiatan dapat selesai (*latest finish*)

#### Referensi

- [1] M. R. A. Simanjuntak and B. Christin, "ANALISIS FAKTOR-FAKTOR RISIKO CONTINGENCY COST PROYEK EPC PIPELINE," *Pros. SNITT POLTEKBA*, vol. 4, pp. 429–437, 2020.
- [2] A. Mills, "A systematic approach to risk management for construction," *Struct. Surv.*, 2001.
- [3] J. James, "ANALISA PENILAIAN RESIKO PADA PROSES PENGELASAN DENGAN METODE JOB SAFETY ANALYSIS: STUDI KASUS: PT. MEINDO ELANG INDAH," *IDENTIFIKASI J. Ilm. Keselamatan, Kesehat. Kerja dan Lindungan Lingkung.*, vol. 3, no. 1, pp. 18–29, 2017.
- [4] J. L. F. Freire, R. D. Vieira, P. M. Fontes, A. C. Benjamin, L. S. Murillo C, and A. C. Miranda, "The critical path method for assessment of pipelines with metal loss defects," in *International Pipeline Conference*, 2012, vol. 45134, pp. 661–671.
- [5] Y. B. Suryono and H. Hasbullah, "ANALYSIS OF NEW PRODUCTION LINE PROJECT IMPROVEMENT THROUGH CRITICAL PATH METHOD (CPM), DESIGN STRUCTURE MATRIX (DSM) AND PROGRAM EVALUATION AND REVIEW (PERT)," *J. Ind. Eng. Manag. Res.*, vol. 1, no. 4, pp. 9–17, 2020.
- [6] S. J. Mantel, J. R. Meredith, S. M. Shafer, and M. M. Sutton, *Project management in practice 4*. United States: John Wiley & Sons. Inc, 2011.
- [7] D. Jin, "Construction Project Schedule Risk Analysis and Assessment Using Monte Carlo Simulation Method," 2008.
- [8] A. Frederika, "Analisis percepatan



pelaksanaan dengan menambah jam kerja optimum pada proyek konstruksi,” *J. Ilm.*

*Tek. Sipil*, vol. 14, no. 2, 2010.

[9] D. N. Versitas, “DNV-RP-G101,” 2010.