

Analisa Risiko Penyebab Keterlambatan pada Proyek Konstruksi Pabrik Pupuk di Kabupaten Gresik Dengan Metode Pohon Kesalahan

Avisha Gita Prafitasiwi¹⁾, Naufal Ramadhani Kuncoro²⁾, Cahyo Umar Wibisono³⁾
^{1, 2, 3)} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik
Email: avishagita@umg.ac.id^{1*)}, naufalrk333@gmail.com,
cahyoumarwibisono@gmail.com³⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v14i2.1155>

(Received: 25 July 2024 / Revised: 06 September 2024 / Accepted: 15 September 2024)

Abstrak

Guna mendukung produktivitas pertanian Indonesia maka PT Petrokimia Gresik mendirikan pabrik pupuk NPK Cair. Namun, pelaksanaan konstruksi pabrik mengalami keterlambatan sehingga biaya proyek meningkat. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan inti masalah keterlambatan pada proyek konstruksi pabrik tersebut secara komprehensif menggunakan metode analisa risiko dan *Fault Tree Analysis (FTA)*. Kuisisioner dan wawancara dilakukan dalam proses pengumpulan data. Hasil dari analisa risiko didapatkan 6 (enam) risiko dengan kategori *high* yaitu: (1) Izin Kerja terlambat, (2) Kualitas dan kuantitas pekerja kurang, (3) Pengiriman ulang material karena perbedaan gambar dan spesifikasi, (4) Kesalahan perhitungan volume pekerjaan sehingga dilakukan pemesanan tambahan, (5) Pemesanan tambahan material karena perubahan spesifikasi serta (6) Pemesanan tambahan material karena perubahan desain yang mendadak. Akar penyebab risiko tersebut dicari dengan FTA, didapatkan 11 *basic event* dan 5 kombinasi *basic event*. Pemesanan tambahan material karena perubahan spesifikasi memiliki signifikansi terbesar sebagai penyebab keterlambatan proyek (Q sebesar 0,003994).

Kata kunci: *konstruksi pabrik, risiko, keterlambatan proyek, Fault Tree Analysis, structured interviewed*

Abstract

In order to support Indonesia's agricultural productivity, PT Petrokimia Gresik established a new factory. However, the factory project is delayed which has increased project costs. This research aims to present a comprehensive method for exploring the root cause that causes delays using risk analysis and Fault Tree Analysis (FTA). Questionnaires and interview were carried out in the data collection process. The results of the risk analysis showed that there were 6 (six) risks in the high category, namely: (1) Late work permits, (2) Insufficient quality and quantity of workers, (3) Re-delivery of materials due to differences in drawings and specifications, (4) Errors in calculating BOQ, (5) additional materials order due to changes in specifications and (6) Orders for additional materials due to sudden design changes. The results obtained 11 basic events and 5 basic event combinations. Additional material orders due to changes in specifications have the greatest significance as a cause of delays in the project (Q=0.003994).

Keywords: *factory construction, risk, project delay, Fault Tree Analysis, structured interviewed*

1. Latar Belakang

Pupuk memiliki peranan penting bagi peningkatan produktivitas pertanian Indonesia. Peningkatan produksi tanaman pertanian dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu perluasan lahan (ekstensifikasi) dan/atau meningkatkan produktivitas lahan yang telah dipakai (intensifikasi), di mana keduanya tidak bisa lepas dari peran pupuk (Sukana, Endang; Notohadiprawiro, 2006). Berdasarkan penelitian (Irawan and Rochayati, 2017), proyeksi kebutuhan pupuk tunggal dan majemuk di Indonesia akan selalu bertambah tiap tahunnya. Kebutuhan pupuk NPK meningkat dari 3,3 juta ton pada tahun 2013 menjadi 5,5 juta ton pada tahun 2020. Dikutip dari *Bisnis.com*, kebutuhan total pupuk secara nasional mencapai 26,18 juta ton. Akibat dari meningkatnya kebutuhan pupuk di Indonesia, PT Petrokimia Gresik mendirikan pabrik pupuk NPK Cair sebagai upaya untuk meningkatkan kapasitas produksi pupuk di Indonesia. PT Petrokimia Gresik merupakan salah satu produsen pupuk terbesar dan terlengkap di Indonesia, sehingga kemampuan perusahaan dalam meningkatkan produksi pupuk akan turut serta meningkatkan pertumbuhan produksi pertanian di Indonesia. Namun, pelaksanaan salah satu konstruksi pabrik pupuk NPK Cair pada perusahaan tersebut mengalami keterlambatan.

Waktu atau jadwal merupakan kriteria yang dapat menentukan keberhasilan suatu proyek. Sehingga, apabila terjadi keterlambatan pada proyek tersebut, maka proyek tersebut bisa dikatakan tidak sukses. Keterlambatan proyek diartikan sebagai ketidakmampuan proyek selesai pada waktu yang telah direncanakan atau dijadwalkan. Apabila suatu proyek mengalami keterlambatan ada dua kemungkinan yang terjadi yaitu, (1) proyek bisa mundur dari jadwal atau (2) kontraktor melakukan percepatan pekerjaan. Kedua hal tersebut akan sama-sama berdampak terhadap penambahan biaya proyek (Hamzah *et al.*, 2011).

Keterlambatan pada proyek konstruksi merupakan fenomena global yang sering sekali terjadi. Menurut (Trigunarsyah, 2004), di Indonesia hanya sebanyak 47% proyek selesai tepat waktu, 15% selesai lebih cepat dan 38% sisanya mengalami keterlambatan. Hal ini disebabkan salah satunya karena proses pelaksanaan proyek konstruksi yang kompleks dengan melibatkan banyak stakeholder dengan berbagai kepentingannya. Penyebab keterlambatan proyek dapat datang dari seluruh stakeholder proyek (*owner*, kontraktor, konsultan, pekerja, vendor material dan sebagainya). Dalam penelitian (Yap *et al.*, 2021), keterlambatan proyek paling sering terjadi di Malaysia adalah kurangnya perencanaan dan penjadwalan yang matang oleh kontraktor. Penelitian lain menyebutkan keterlambatan proyek disebabkan oleh buruknya manajemen pada proyek, tujuan proyek yang tidak jelas buruknya komunikasi, dan manajemen sumberdaya yang tidak tepat (Agyekum-Mensah and Knight, 2017). Akibat dari dampak keterlambatan proyek yang tidak diinginkan, maka mengidentifikasi penyebab keterlambatan proyek pabrik pupuk NPK Cair PT Petrokimia Gresik secara komprehensif bisa menjadi bentuk mitigasi risiko keterlambatan proyek untuk proyek-proyek sejenis di masa yang akan datang sehingga dapat menghindari kegagalan dan memberikan informasi yang membantu pada pelaku konstruksi (Zefri, Wulandari and Suripin, 2022).

Dalam upaya mengidentifikasi penyebab keterlambatan proyek proyek pabrik pupuk NPK Cair, konsep manajemen risiko dilakukan dengan cara mengidentifikasi risiko, menganalisa risiko dan merencanakan risiko. Penelitian ini akan menggunakan metode pohon kesalahan atau *Fault Tree Analysis* (FTA) yang

merupakan metode yang biasa dipakai untuk mendapatkan inti masalah atau akar penyebab yang tidak diinginkan pada suatu peristiwa dalam proses analisa risiko (Ericson, 2005). Kemudian, kombinasi faktor penyebab keterlambatan atau *basic event* diketahui dengan menggunakan *Method Obtain Cut Set* (MOCUS).

Sebelumnya, penelitian terkait analisa keterlambatan proyek konstruksi telah banyak dilakukan. Amalia dkk (Amalia, Rohman and Nurcahyo, 2012) melakukan analisa keterlambatan pada proyek apartemen di Surabaya dan Aziz (Aziz, 2023) melakukan analisa keterlambatan pada gedung sekolah islam. Namun, penelitian analisa keterlambatan pada proyek konstruksi pabrik pupuk belum banyak dilakukan. Sehingga, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menggali penyebab dan menemukan inti masalah yang menyebabkan keterlambatan pada proyek konstruksi pabrik pupuk NPK Cair PT Petrokimia Gresik secara lebih mendetail menggunakan metode yang lebih komprehensif, serta menganalisa seberapa besar signifikansi penyebab masalah terhadap keterlambatan proyek.

2. Metode Penelitian

2.1 Konsep Manajemen Risiko

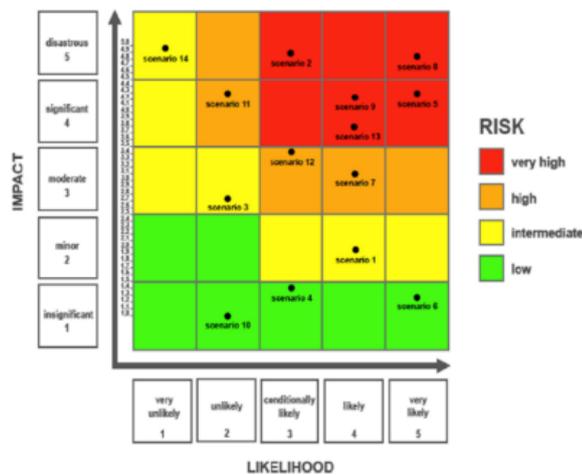
Penilaian risiko akan menentukan tingkatan atau level risiko yang dapat ditentukan melalui distribusi data pada suatu peta matrik risiko seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Risiko dihitung dengan cara mengalikan probabilitas dan konsekuensi dari risiko yang dapat dirangkum dalam sebuah persamaan seperti pada Persamaan 1 berikut.

$$Risiko = f(P, I) \tag{1}$$

di mana:

P = Probabilitas,

I = Konsekuensi atau dampak



Gambar 1 Matrik tingkat keparahan risiko

2.2 Fault tree analysis (FTA)

Fault Tree Analysis (FTA) atau juga disebut sebagai *Pohon Kesalahan* adalah metode untuk melakukan analisa terhadap akar permasalahan. Prosesnya dimulai dari menganalisa pada sistem yang terdapat kejadian yang tidak diinginkan (*undesired event*), FTA berbentuk diagram menyerupai pohon yang terdiri dari simbol-simbol (*fault tree symbols*) yang saling berkaitan dalam suatu struktur, diagram dihubungkan oleh simbol *event* dan simbol *logic gate* untuk

mempermudah proses analisa. Penelitian ini menggunakan aplikasi *TopEvent FTA 2017*. Selanjutnya, mencari *minimal cut set* menggunakan Aljabar Boolean dan MOCUS (*Method of Obtaining Cut Sets*). Aljabar Boolean menggunakan notasi *logic gate* “or” menggunakan tanda (+) sedangkan *logic gate* “and” menggunakan tanda (.).

2.3 Langkah Penelitian

Pada dasarnya, langkah-langkah penelitian ini dibagi menjadi tiga, yaitu (a) *preliminary stage*, (b) penilaian risiko dan yang terakhir (c) pengembangan FTA yang dijelaskan secara lengkap sebagai berikut:

a. Preliminary stage

Objek penelitian

Objek penelitian ini adalah pabrik pupuk NPK Cair di PT Petrokimia Gresik. Dari laporan mingguan dan bulanan, pekerjaan yang telah terealisasi hingga minggu ke-17 melingkupi 2 (dua) pekerjaan, yaitu pekerjaan persiapan dan pekerjaan pengadaan *equipment* dan material dengan deviasi keterlambatan masing-masing -1,308% dan -55,256%.

Identifikasi variabel penelitian

Setelah menentukan objek penelitian, dilakukan studi literatur guna memperoleh variabel risiko keterlambatan pada proyek konstruksi pabrik. Daftar risiko yang diperoleh dari studi literatur dijabarkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Identifikasi faktor risiko penyebab keterlambatan pada pekerjaan persiapan

Kode	Faktor Risiko	Sumber	Mean	Ket.
Faktor Owner				
A.1	Izin Kerja dari <i>owner</i> terlambat	(Mustika, Hasyim and Unas, 2014)	4,75	Relevan
A.2	Manajemen yang kurang baik	(Hsu <i>et al.</i> , 2020)	5,00	Relevan
A.3	Dokumen Perencanaan Belum Lengkap	(Hsu <i>et al.</i> , 2020),	3,25	Relevan
Faktor Kontraktor				
B.1	Kesulitan memahami dokumen teknik	(Hsu <i>et al.</i> , 2020),	3,25	Relevan
B.2	Kualitas dan kuantitas pekerja kurang	(Hsu <i>et al.</i> , 2020), (Mustika, Hasyim and Unas, 2014)	4,00	Relevan
B.3	Komunikasi pihak kontraktor dengan <i>supplier</i> material tidak berjalan baik	(Hsu <i>et al.</i> , 2020), (Mustika, Hasyim and Unas, 2014)	4,75	Relevan

Structured Interview dengan Ahli

Variabel diverifikasi dengan melakukan *preliminary survey* terhadap ahli sebab variabel tersebut diperoleh dari berbagai sumber dengan jenis proyek yang berbeda, sehingga proses ini bertujuan untuk memastikan bahwa variabel tersebut relevan dan dapat dipakai pada penelitian ini. Responden adalah Ahli yang memiliki pengalaman 15-20 tahun dengan latar belakang akademisi dan

praktisi yang memahami proses pelaksanaan serta penilaian risiko pada proyek konstruksi pabrik sebanyak 4 orang.

Preliminary survey dilakukan dengan menggunakan kuisisioner. Kuisisioner berupa pertanyaan dengan skala *likert* dari 1-5 dengan interpretasi 1 = sangat tidak relevan, 2 = kurang relevan, 3 = cukup relevan, 4 = relevan dan 5 = sangat relevan. Skor 3 menjadi skor *cut off* sehingga variabel yang dianggap relevan adalah variabel dengan skor di atas 3 (Prafitasiwi, Rohman and Alfianidah, 2023). Variabel yang relevan dapat digunakan untuk survei utama. Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan hasil dari *preliminary survey*.

Tabel 2 Identifikasi faktor risiko penyebab keterlambatan pekerjaan pengadaan *equipment* dan material

Kode	Faktor Keterlambatan	Sumber	Mean	Ket.
Faktor <i>Supply</i>				
C.1	Pengiriman kembali karena mutu dan spesifikasi material berbeda dari pemesanan	(Aritonang <i>et al.</i> , 2016)	4,50	Relevan
C.2	Terjadi kendala produksi material di pabrik	(Aritonang <i>et al.</i> , 2016)	4,50	Relevan
C.3	Pengiriman tertunda karena <i>stock</i> material dari <i>supplier</i> terbatas	(Aritonang <i>et al.</i> , 2016)	4,50	Relevan
Faktor <i>Control</i>				
D.1	Perubahan jadwal penggunaan material berubah menyebabkan perubahan jadwal pemesanan mendadak	(Aritonang <i>et al.</i> , 2016)	4,50	Relevan
D.2	Material harus dikirim ulang akibat perbedaan persepsi pada instruksi yang diterima	(Aritonang <i>et al.</i> , 2016)	4,00	Relevan
D.3	Pengiriman ulang material karena perbedaan gambar dan spesifikasi yang diterima oleh kontraktor	(Aritonang <i>et al.</i> , 2016)	5,00	Relevan
Faktor <i>Process</i>				
E.1	Keterlambatan material karena lalu lintas padat dan macet	(Mumtazi and Putra, 2020)	4,00	Relevan
E.2	Material terlambat karena adanya kecelakaan transportasi	(Mumtazi and Putra, 2020)	3,25	Relevan
E.3	Kesalahan perhitungan volume pekerjaan sehingga dilakukan pemesanan tambahan	(Aritonang <i>et al.</i> , 2016)	5,00	Relevan
Faktor <i>Demand</i>				
F.1	Kesulitan mencari material	(Mumtazi and Putra, 2020)	4,00	Relevan
F.2	Pemesanan tambahan material karena perubahan spesifikasi	(Aritonang <i>et al.</i> , 2016)	4,50	Relevan
F.3	Pemesanan tambahan material karena perubahan desain yang mendadak oleh owner	(Aritonang <i>et al.</i> , 2016)	4,50	Relevan

b. Langkah Penilaian Risiko

Pengumpulan Data Penilaian Risiko

Pengumpulan data dilakukan melalui survei menggunakan kuisioner. Populasi yang dimaksud dalam penelitian ini adalah semua pemangku kepentingan yang terlibat pada pekerjaan konstruksi pabrik pupuk NPK Cair (*owner*, konsultan, kontraktor dan instansi lainnya). *Purposive sampling* dan *snowball sampling* digunakan untuk melakukan proses pengambilan data. Sampel penelitian ini adalah pekerja yang terdiri dari *project manager*, manajer K3, manajer operasional, manajer engineer, staff dan pekerja yang memahami proses konstruksi beserta penyebab keterlambatan yang terjadi. Jumlah responden adalah sebanyak 10 orang. Menurut latar belakang responden, 20% memiliki pendidikan terakhir S2 (2 orang), 60% memiliki pendidikan terakhir S1 (6 orang) dan 20% memiliki pendidikan terakhir D3 (2 orang). 70% dari total responden (7 orang) memiliki pengalaman kerja > 5 tahun, sisanya 30% (3 orang memiliki pengalaman kerja 1-4 tahun). Kuisioner didesain untuk keperluan perhitungan level *probability* (P) dan *impact* (I) untuk setiap variabel yang ada. Pengambilan data dilakukan pada minggu 2 bulan Januari 2024 secara langsung di lapangan.

Proses Analisa Risiko

Proses analisa risiko bertujuan untuk menghimpun dan menentukan level risiko keterlambatan berdasarkan pada nilai *probability* (P) dan *impact* (I). Skala numerik digunakan untuk merepresentasikan skor P dan I, Tabel 3 menunjukkan interpretasi skala *probability* dan Tabel 4 menunjukkan interpretasi skala *impact* menurut Kesuma dkk (Kesuma, Rohman and Arif Prastyanto, 2022) dan Gondia dkk (Gondia *et al.*, 2020). Level risiko dihitung dengan Persamaan 1.

Tabel 3 Skala penilaian *probability* risiko

Skala Penilaian	Deskripsi
1 Hampir tidak pernah terjadi (<i>Very Low</i>)	Sangat jarang terjadi dalam 5 (lima) tahun terakhir.
2 Jarang Terjadi (<i>Low</i>)	Pernah terjadi dalam 1 (satu) tahun terakhir
3 Terkadang Terjadi (<i>Moderate</i>)	Terjadi beberapa kali dalam rentang waktu 1 (satu) tahun terakhir
4 Sering Terjadi (<i>High</i>)	Terjadi lebih dari satu kali dalam 1 (satu) bulan
5 Sangat Sering Terjadi (<i>Very High</i>)	Terjadi lebih dari 1 (satu) kali dalam seminggu

Karena proses Analisa risiko melibatkan responden sebanyak 10 orang, maka dilakukan perhitungan *Severity Index* (SI) sebagai suatu metode untuk mengombinasikan nilai persepsi dari responden penelitian terhadap penilaian risiko keterlambatan proyek (Al-Hammad, 2000). Hasil dari perhitungan SI pada setiap risiko keterlambatan pada pekerjaan persiapan dan pekerjaan pengadaan *equipment* dan material dapat digunakan untuk menentukan level risiko seperti telah dirangkum pada Tabel 5 dan Tabel 6. Penilaian risiko juga dirangkum dalam bentuk matrik risiko pada Gambar 2 dan Gambar 3.

Tabel 4 Skala penilaian *impact* risiko

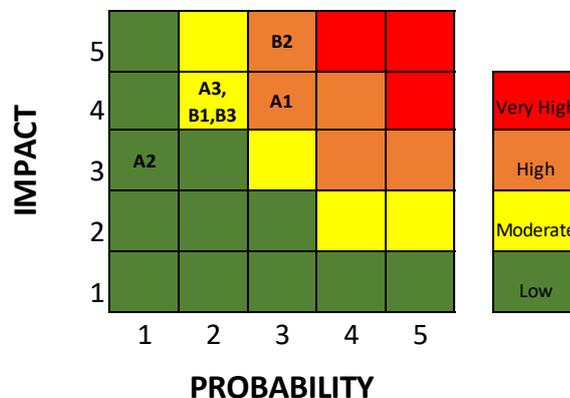
Skala Penilaian	Deskripsi
1 Sangat Kecil (<i>Very Low</i>)	Tidak berperan signifikan pada keterlambatan
2 Kecil (<i>Low</i>)	Berperan terhadap <5% keterlambatan
3 Menengah (<i>Moderate</i>)	Berperan terhadap 5-10% keterlambatan
4 Besar (<i>High</i>)	Berperan terhadap 10-20% keterlambatan
5 Sangat Besar (<i>Very High</i>)	Berperan terhadap >20% keterlambatan

Tabel 5 Penilaian risiko keterlambatan pada pekerjaan persiapan

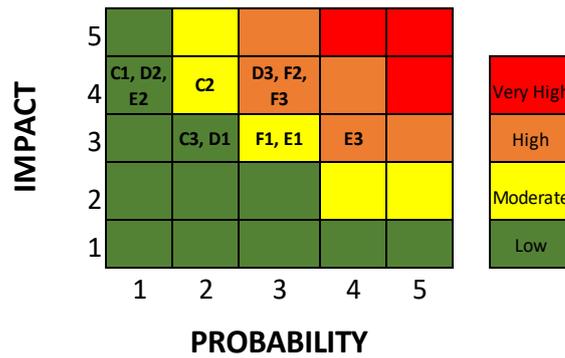
Kode Risiko	Risk Probability (P)	Risk Impact (I)	Skor (PxI)	Level Risiko
A.1	3	4	12	<i>High</i>
A.2	1	3	3	<i>Low</i>
A.3	2	4	8	<i>Moderate</i>
B.1	2	4	8	<i>Moderate</i>
B.2	3	5	15	<i>High</i>
B.3	2	4	8	<i>Moderate</i>

Tabel 6 Penilaian risiko pada pekerjaan pengadaan *equipment* dan material

Kode Risiko	Risk Probability (P)	Risk Impact (I)	Skor Risiko (PxI)	Level Risiko
C.1	1	4	4	<i>Low</i>
C.2	2	4	8	<i>Moderate</i>
C.3	2	3	6	<i>Low</i>
D.1	2	3	6	<i>Low</i>
D.2	1	4	4	<i>Low</i>
D.3	3	5	15	<i>High</i>
E.1	3	3	9	<i>Moderate</i>
E.2	1	4	4	<i>Moderate</i>
E.3	3	4	12	<i>High</i>
F.1	3	3	9	<i>Moderate</i>
F.2	3	4	12	<i>High</i>
F.3	3	4	12	<i>High</i>



Gambar 2 Matrik penilaian risiko pekerjaan persiapan



Gambar 3 Matrik penilaian risiko pekerjaan pengadaann *equipment* dan material

c. Langkah Pengembangan FTA

Pengumpulan data pengembangan FTA

Untuk menemukan akar penyebab, diagram FTA dibuat berdasarkan faktor risiko dengan kategori *high-very high*. *Basic event* diidentifikasi melalui proses studi literatur, kemudian dilanjutkan dengan penilaian secara kualitatif dengan metode *expert judgement* untuk menentukan *basic event* yang menjadi penyebab *top event* terjadi. Responden tahapan ini adalah 3 orang ahli dengan latar belakang akademisi pada bidang keahlian manajemen risiko dengan pengalaman kerja rata-rata lebih dari 15 tahun. Pendapat ahli dikumpulkan melalui proses *depth interview*.

Pengembangan Diagram FTA

Analisa akar penyebab dilakukan terhadap faktor risiko yang memiliki potensi *high-very high*. Potensi risiko tinggi inilah yang dijadikan peristiwa dasar pada analisa FTA. Proses pengembangan FTA dimulai dengan penentuan tujuan, penentuan top event, penentuan lingkup FTA, penentuan level FTA, menetapkan aturan FTA, pengembangan diagram FTA, dan yang terakhir adalah evaluasi FT. Evaluasi dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif menggunakan perhitungan *minimum cut set* dengan Aljabar Boolean. Hal ini ditujukan untuk mendapatkan logika hubungan untuk *basic event* dengan *top event* dengan lebih sederhana.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan Tabel 5 dan proses penilaian risiko dengan matriks risiko (Gambar 2) didapatkan bahwa risiko keterlambatan pada pekerjaan persiapan dengan kategori *low* adalah risiko A2, kategori *moderate* adalah A3, B1, B3, kategori *High* adalah A1 dan B2.

Tabel 7 Perhitungan *minimal cut set*

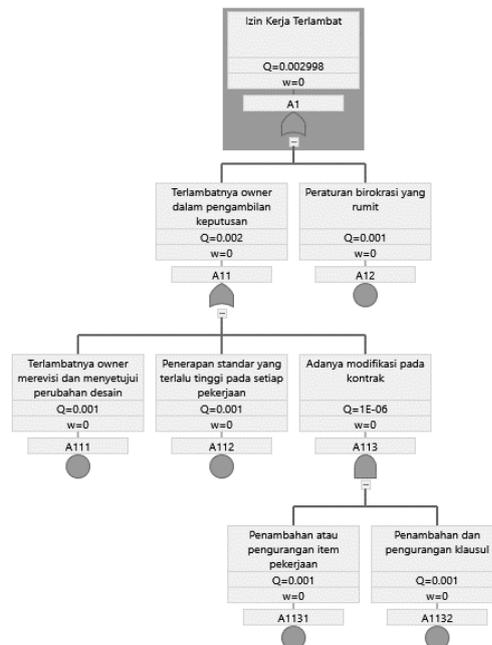
FTA	Perhitungan	<i>Minimal cut sets</i>
1	$A1 = A11+A12$ $A1 = A111+A112+A113$ $A1 = A111+A112+(A1131.A1132)$ $A1 = 0,002998$	(A111), (A112), (A12), (A1131, A1132)
2	$B2 = B21.B22$ $B2 = (B211+B212)B22$ $B2 = 0,000001999$	(B22,B211), (B22,B212)
3	$D3 = D31 + D32$	(D31), (D321), (D322)

	$D3 = D31+(D32+D32)$ $D3 = 0,002997$	
4	$E3 = E31.E32.E33$ $E3 = 0,000000009$	(E31,E32, E33)
5	$F2 = F21+F22+F23$ $F2 = F21+F22+(F231+ F232)$ $F2 = 0,003994$	(F21),(F22), (F231), (F232)
6	$F3 = F31.F32$ $F3 = F31 (F321+322)$ $F3 = 0,000001999$	(F31, F321), (F31, F322)

Sedangkan berdasarkan Tabel 6 dan proses penilaian risiko dengan matriks risiko (Gambar 3) didapatkan bahwa risiko keterlambatan pada pekerjaan pengadaan *equipment* dan material dengan kategori *Low* adalah C1, C3, D1, D2 dan E2, kategori *Moderate* adalah C2, E1 dan F1, kategori *High* adalah D3, F2, F3 dan E3. Risiko dengan kategori *High* (A1, B2, D3, F2, F3 dan E3) akan dicari akar penyebabnya menggunakan diagram FTA yang ditunjukkan oleh Gambar 4-9.

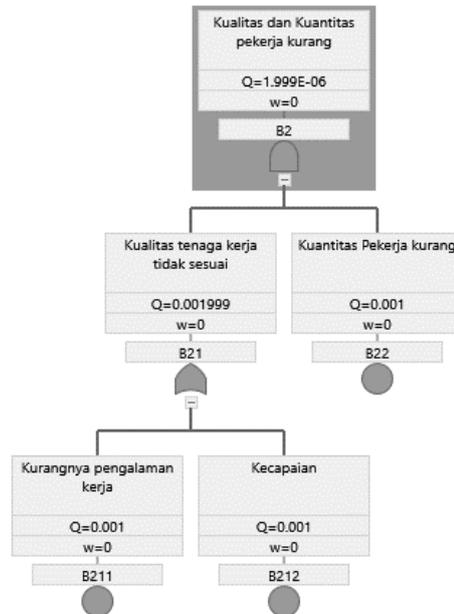
Berdasarkan pada hasil analisa FTA, *minimum cut set* peristiwa risiko keterlambatan dapat dihitung seperti pada Tabel 7 yang mengacu pada metode aljabar Boolean, faktor risiko A1 disebabkan oleh adanya 3 *basic event* yaitu : (1) terlambatnya *owner* merevisi dan menyetujui perubahan desain (A111), (2) penerapan standar yang terlalu tinggi pada setiap pekerjaan (A112) serta (3) kombinasi *basic event* penambahan atau pengurangan item pekerjaan dan penambahan dan pengurangan klausul (A1131, A1132).

Sementara itu, pada faktor risiko kualitas dan kuantitas pekerja kurang (B2) diperoleh 2 kombinasi *basic event* yaitu : (1) kuantitas pekerja kurang dan kurangnya pengalaman kerja (B22,B211) serta (2) kuantitas pekerja kurang dan kecapaian (B22,B212).

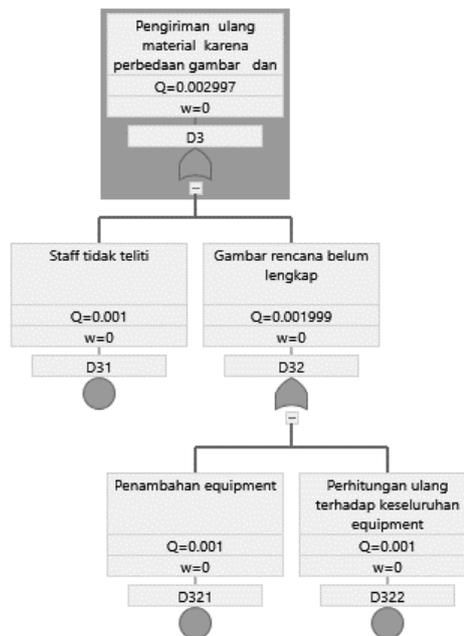


Gambar 4 Diagram FTA risiko A1

Faktor risiko pengiriman ulang material karena perbedaan gambar dan spesifikasi yang diterima oleh kontraktor (D3) disebabkan oleh tiga *basic event* yaitu : (1) Staff tidak teliti, (2) penambahan *equipment* dan (3) perhitungan ulang terhadap keseluruhan *equipment*. Faktor risiko kesalahan perhitungan volume pekerjaan sehingga dilakukan pemesanan tambahan (E3) didapatkan satu kombinasi *basic event* yaitu (1) perubahan ukuran equipment, perubahan kondisi lapangan dan penambahan komponen *equipment* (E31, E32, E33).

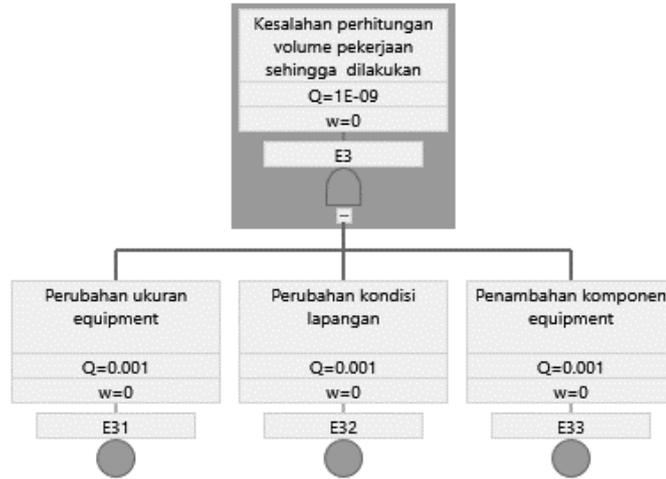


Gambar 5 Diagram FTA risiko B2



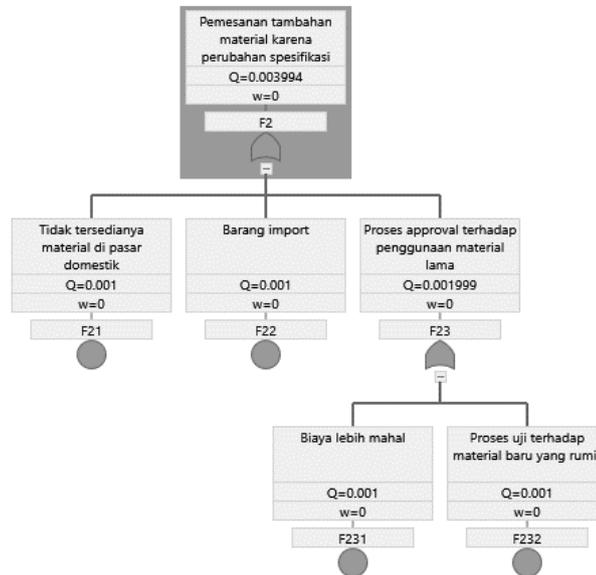
Gambar 6 Diagram FTA risiko D3

Sedangkan untuk faktor risiko pemesanan tambahan material karena perubahan spesifikasi (F2), diperoleh empat *basic event* yaitu : (1) tidak tersedianya material di pasar domestik (F21), (2) barang import (F22), (3) biaya lebih mahal (F231) dan (4) proses uji terhadap material baru yang rumit (F232).



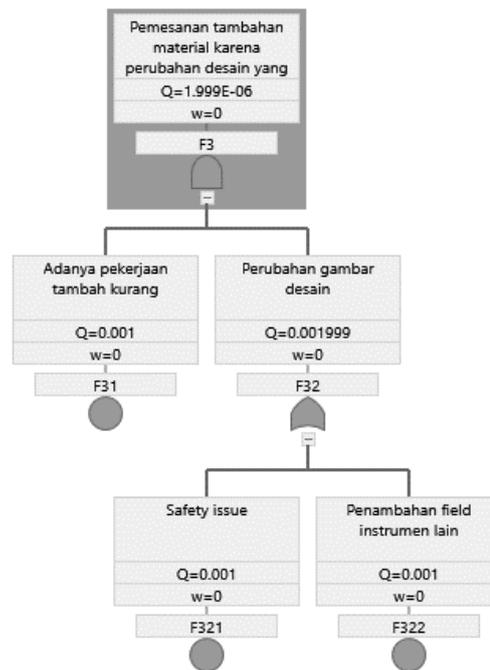
Gambar 7 Diagram FTA risiko E3

Faktor risiko kesalahan perhitungan volume pekerjaan sehingga dilakukan pemesanan tambahan (E3) didapatkan satu kombinasi basic event yaitu (1) perubahan ukuran equipment, perubahan kondisi lapangan dan penambahan komponen equipment (E31, E32, E33).



Gambar 8 Diagram FTA risiko F2

Yang terakhir, faktor risiko pemesanan tambahan material karena perubahan desain yang mendadak oleh *owner* (F3) diperoleh dua kombinasi *basic event* yaitu : (1) Adanya pekerjaan tambah kurang dan *safety issue* (F31, F321) serta (2) Adanya pekerjaan tambah kurang dan pembahan *field instrument* lain (F31, F322).



Gambar 9 Diagram FTA risiko F3

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Penelitian ini menyajikan metodologi untuk mencari akar permasalahan dari keterlambatan pada proyek pabrik pupuk NPK Cair PT Petrokimia Gresik menggunakan analisa risiko dan FTA. Hal ini dibutuhkan sebagai bentuk mitigasi risiko pada proyek sejenis ke depannya. Hasil dari analisa risiko didapatkan 6 (enam) risiko dengan kategori *high* yaitu: (1) Izin Kerja dari *owner* terlambat, (2) Kualitas dan kuantitas pekerja kurang, (3) Pengiriman ulang material karena perbedaan gambar dan spesifikasi yang diterima oleh kontraktor, (4) Kesalahan perhitungan volume pekerjaan sehingga dilakukan pemesanan tambahan, (5) Pemesanan tambahan material karena perubahan spesifikasi serta (6) Pemesanan tambahan material karena perubahan desain yang mendadak oleh *owner*. Keenam risiko dengan kategori *high* tersebut dicari akar penyebab menggunakan FTA dan didapatkan 11 *basic event* dan 5 kombinasi *basic event*. Dari data tersebut didapatkan bahwa Pemesanan tambahan material karena perubahan spesifikasi memiliki signifikansi terbesar sebagai penyebab keterlambatan proyek NPK Cair PT Petrokimia Gresik (Q sebesar 0,003994), disusul oleh Izin Kerja dari *owner* terlambat (Q sebesar 0,002998) dan Pengiriman ulang material karena perbedaan gambar dan spesifikasi yang diterima oleh kontraktor (Q sebesar 0,002997).

4.2 Saran

Penelitian ini berkontribusi pada *body of knowledge* berupa perspektif baru analisa risiko pada proyek konstruksi industrial berupa bangunan pabrik pupuk. Kedepannya, perlu ditambahkan kemungkinan hubungan antara *basic event* yang diperoleh dan distribusi kemungkinan terjadinya *basic event* tersebut pada *top event*.

Daftar Kepustakaan

- Agyekum-Mensah, G. and Knight, A.D. (2017) 'The professionals' perspective on the causes of project delay in the construction industry', *Engineering, Construction and Architectural Management*, 24(5), pp. 828–841. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2016-0085>.
- Al-Hammad, A.-M. (2000) 'Common Interface Problems among Various Construction Parties', *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 14(2), pp. 71–74. Available at: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0887-3828\(2000\)14:2\(71\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0887-3828(2000)14:2(71)).
- Amalia, R., Rohman, M.A. and Nurcahyo, C.B. (2012) 'Analisa Penyebab Keterlambatan Proyek Pembangunan Sidoarjo Town Square Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA)', *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), pp. D20–D23.
- Aritonang, A.H. et al. (2016) 'Simulasi Pengaruh Risiko Supply Chain terhadap Keterlambatan Pengadaan Material Baja Tulangan dengan Metode Monte Carlo', *Jurnal Karya Teknik Sipil; Volume 5, Nomor 2, Tahun 2016* [Preprint].
- AS/NZS 4360:2004 (2004) 'Australian/New Zealand Standard Risk Management', *Australian Standards / New Zealand Standards 4360:2004* [Preprint].
- Aziz, I.S. (2023) 'Analisa Faktor yang Berpengaruh terhadap Keterlambatan Proyek dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA)'.
- Aziz, R.F. (2013) 'Ranking of delay factors in construction projects after Egyptian revolution', *Alexandria Engineering Journal*, 52(3), pp. 387–406. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2013.03.002>.
- Ericson, C.A. (2005) *Hazard Analysis Techniques for System Safety, Hazard Analysis Techniques for System Safety*. Available at: <https://doi.org/10.1002/0471739421>.
- Gondia, A. et al. (2020) 'Machine Learning Algorithms for Construction Projects Delay Risk Prediction', *Journal of Construction Engineering and Management* [Preprint].
- Hamzah, N. et al. (2011) 'Cause of construction delay - Theoretical framework', in *Procedia Engineering*. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.192>.
- Hsu, P.-Y. et al. (2020) 'Understanding and visualizing schedule deviations in construction projects using fault tree analysis', *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(9), pp. 2501–2522. Available at: <https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2020-0058>.
- Irawan, D.S. and Rochayati, S. (2017) 'Proyeksi kebutuhan pupuk sektor pertanian melalui pendekatan sistem dinamis', *Bogor, Balai Penelitian Tanah* [Preprint].
- Kesuma, P.A., Rohman, M.A. and Arif Prastyanto, C. (2022) 'Analysing the root cause of the damage risk in heavy vehicles to reduce traffic congestion', *International Journal of Construction Management*, 22(10), pp. 1872–1883. Available at: <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1742639>.
- Mumtazi, A.N. and Putra, B.M. (2020) 'Analisis Penyebab Keterlambatan Pengadaan Komponen pada Sistem Repair Order Proyek Engine CFM56-7B ESN', in *Seminar dan Konferensi Nasional IDEC*, p. B10.

- Mustika, A.F., Hasyim, M.H. and Unas, S. El (2014) ‘Analisa Keterlambatan Proyek Menggunakan Fault Tree Analysis (Fta) (Studi Kasus Pada Proyek Pembangunan Gedung Program Studi Teknik Industri Tahap II Universitas Brawijaya Malang)’, *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya*, 1(2).
- Prafitasiwi, A.G., Rohman, M.A. and Alfianidah, R. (2023) ‘Identifikasi Hambatan Pada Bangunan Gedung Kampus Dalam Ketercapaian Kebijakan Sustainable Development Goals’, *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan; Vol 7 No 1 (2023): Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan* DO - 10.19184/jrsl.v7i1.37643 [Preprint]. Available at: <https://jurnal.unej.ac.id/index.php/JRSL/article/view/37643>.
- R., B.J. *et al.* (1971) ‘Causes of Delay in the Construction Industry’, *Journal of the Construction Division*, 97(2), pp. 177–187.
- Sukana, Endang; Notohadiprawiro, T. (2006) ‘Peranan Pupuk dalam Pembangunan Pertanian’, *Repro: Ilmu Tanah Universitas Gadjah Mada* [Preprint]. Available at: http://faperta.ugm.ac.id/download/publikasi_dosen/tejoyuwono/1981/1988.pera.pdf.
- Trigunarsyah, B. (2004) ‘Constructability Practices among Construction Contractors in Indonesia’, *Journal of Construction Engineering and Management*, 130, pp. 656–669. Available at: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2004\)130:5\(656\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:5(656)).
- Yap, J.B.H. *et al.* (2021) ‘Revisiting critical delay factors for construction: Analysing projects in Malaysia’, *Alexandria Engineering Journal* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.11.021>.
- Zefri, R., Wulandari, D.A. and Suripin (2022) ‘Analisis Risiko Kegagalan Bendungan Paselloreng Dengan Metode Pohon Kejadian (Event Tree)’, *Siklus : Jurnal Teknik Sipil*, 8(2 SE-Articles), pp. 149–160. Available at: <https://doi.org/10.31849/siklus.v8i2.10574>.