

Pemodelan Simulasi Bobot Risiko Rantai Pasok Material Struktur dengan Metode Monte Carlo pada Konstruksi Sektor Gedung

Lisherly Reginancy Debatara^{1,*}, Marsedes Purba¹, Amrizal¹, Gallio Budianto¹, Naga Raya Sinaga¹

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan, Kota Medan¹

Koresponden*, Email: ldebatara@polmed.ac.id

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	01 Oktober 2024	<i>The lack of materials is a vital problem in construction projects and related to understanding the supply chain of material. So that simulations are needed to predict material delay from the internal (supply, control, process, demand) and external factor (disaster), and analyzing the risk sensitivity. This research began with literature studies to obtain lists of risks, then collected data using questionnaires from 50 respondents who were experts in construction materials. Risk analysis was carried out using Monte Carlo with Crystal Balls software. The result from predicted material delay is 2.25–5.70 days for the minimum time and 15.19–32.98 days for the maximum time. The three most dominant risks of delay are precast concrete (41.60%), steel (34.90%), and iron (33.40%). These risks are delays in payments from the main contractor to subcontractors, long waiting times due to delivery in stages, and problems with factory processes and material limitations with suppliers.</i>
Diperbaiki	09 Mei 2025	
Disetujui	19 Mei 2025	

Keywords: *supply chain, monte carlo, material delays*

Abstrak

Keterlambatan material merupakan permasalahan yang vital dalam penyelesaian pekerjaan konstruksi, hal ini erat kaitannya dengan pemahaman aliran pasok material. Sehingga dibutuhkan simulasi untuk memprediksi waktu keterlambatan material dari sisi internal (*supply, controll, process, demand*) dan eksternal (*disaster factor*) serta menganalisis sensitivitas risiko rantai pasok. Penelitian ini dimulai dengan studi literatur untuk mendapatkan daftar risiko, lalu pengumpulan data dengan metode kuisioner kepada 50 responden yang ahli dalam pengadaan material konstruksi. Selanjutnya dilakukan analisis risiko menggunakan Monte Carlo dengan perangkat lunak *crystal balls*. Dari analisis tersebut didapatkan prediksi waktu keterlambatan material selama 2,25–5,70 hari untuk waktu minimum dan 15,19–32,98 hari untuk waktu maksimum. Tiga risiko keterlambatan paling dominan terdapat pada material beton pracetak (41,60%), baja (34,90%), dan besi (33,40%). Risiko tersebut adalah keterlambatan pembayaran kontraktor utama ke sub kontraktor, waktu tunggu yang lama karena pengiriman secara bertahap, dan kendala pada proses pabrik hingga keterbatasan material pada supplier.

Kata kunci: *rantai pasok, monte carlo, keterlambatan material*

1. Pendahuluan

Sektor konstruksi harus giat dalam mendorong penyelenggaraan pembangunan konstruksi yang lebih efektif, lebih efisien dan lebih produktif sehingga mampu memberikan nilai tambah tinggi bagi produk konstruksi. Dalam setiap pembangunan konstruksi, keterlambatan adalah salah satu masalah klasik yang sering terjadi, hal ini tentu dapat merugikan banyak pihak. Penundaan proyek menyebabkan pemilik (*owner*) atau pengguna akhir tidak bisa segera memanfaatkan fasilitas yang telah dibangun. Sedangkan bagi kontraktor akan membayar denda keterlambatan sebagai biaya tambahan yang tidak perlu dan dapat merusak reputasi perusahaan. Penyebab keterlambatan dalam proyek konstruksi bisa berasal dari kontraktor, pemilik proyek, maupun faktor-faktor eksternal lainnya. Kaliba [1] menemukan bahwa pembayaran tertunda, proses keuangan dan kesulitan dipihak kontraktor dan klien, modifikasi kontrak, masalah ekonomi, pengadaan bahan material,

perubahan gambar, masalah staf, tidak tersedianya peralatan, pengawasan yang buruk, kesalahan konstruksi, koordinasi yang buruk di lokasi, perubahan spesifikasi dan perselisihan perburuhan serta pemogokan ditemukan sebagai penyebab utama tertundanya jadwal proyek pembangunan jalan. Dari sisi lain, penyebab penundaan proyek atau keterlambatan dalam industri konstruksi diidentifikasi sebagai: ketidakmampuan manajemen kontraktor, tantangan terkait subkontraktor, kekurangan kualitas desain, masalah yang timbul dari kontrak, dan gangguan rantai pasok yang memengaruhi ketersediaan tenaga kerja dan bahan konstruksi [2].

Rantai pasok konstruksi/*Construction Supply Chain* (CSC) terdiri dari banyak pemangku kepentingan dan merupakan interaksi kompleks yang terjadi selama proses berlangsung, siklus hidup suatu proyek konstruksi berbeda dari rantai pasok industri lainnya. CSC bersifat sementara [3] dan memberikan hasil produk heterogen dan tentunya menghadirkan manajemen yang lebih besar dan penuh

tantangan [4]. Hal tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar masalah keterlambatan proyek tidak dapat dipisahkan dari rantai pasok material proyek konstruksi [5]

Sistem Rantai Pasok/*supply chain* juga merupakan sebuah sistem yang terintegrasi antara aliran barang, uang, informasi dan uang dari sebuah titik awal/*origine* ke titik tujuan/*destination*. Secara umum aliran ini terkait kepada pengadaan, produksi, dan penyaluran. Tujuan utama dari sistem rantai pasok adalah *managing* aliran barang agar penerimaan/penyerahan produk dapat diterima tepat waktu oleh konsumen. Sistem rantai pasok pada konstruksi didefinisikan sebagai pasokan rantai dalam konstruksi yang dianggap sebagai suatu proses dari serangkaian kegiatan mengubah bahan mentah menjadi produk akhir (misalnya jalan atau gedung) dan layanan (misalnya desain atau anggaran) untuk digunakan oleh klien dengan batas-batas organisasi [6]. Kolaborasi pada rantai pasok konstruksi meliputi general kontraktor, sub kontraktor, perencana, dan *suppliers*. General kontraktor sering melibatkan sub kontraktor sebagai *supplier* untuk memenuhi beberapa kualifikasi dari proyek konstruksi seperti keahlian khusus yang belum mampu ditangani secara keseluruhan oleh general kontraktor, sub kontraktor memiliki *supplier* sendiri dalam menyediakan kebutuhan mereka termasuk material, mesin dan lainnya, hal ini yang membedakan rantai pasok konstruksi dan manufaktur karena lebih rumit dan kurang bisa diramal. Secara umum, penerapan manajemen rantai pasok diproyek konstruksi menjadi sebuah tantangan karena keterlibatan beberapa organisasi yang bersifat sementara, hubungan jangka pendek, dan kesulitan dalam mengelola jaringan yang melibatkan banyak pemangku kepentingan, material dan berbagai layanan [7][8]. Dengan demikian pengelolaan material dalam proyek konstruksi merupakan hal vital yang perlu direncanakan dalam proyek, ketiadaan material dapat membuat pekerjaan terhenti hingga kerugian. Oleh karena itu penguasaan dan pemahaman teknik dalam membeli, menyimpan, mendistribusikan hingga menghitung penggunaan material konstruksi menjadi sangat penting. Teknik penguasaan ini juga harus dilengkapi dengan model simulasi risiko keterlambatan material, analisis *forecast value* keterlambatan material dan pemodelan sensitivitas risiko yang dapat mempengaruhi keterlambatan material. Kegagalan dalam mendefinisikan dan mengenali risiko dapat menyebabkan kegagalan secara menyeluruh dari manajemen material sehingga menghasilkan konstruksi yang lebih mahal dari pada yang dianggarkan.

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah memodelkan analisa risiko dan prediksi waktu keterlambatan material dari sisi

internal (*supply, controll, process, demand*) dan eksternal (*disaster factor*) dengan menggunakan simulasi Monte Carlo, menganalisis sensitivitas untuk mengetahui kategori risiko paling dominan pada keterlambatan material di Kota Medan dan memaparkan strategi mitigasi risiko untuk mengurangi risiko dominan.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode simulasi monte carlo dengan alat bantu perangkat lunak Cristal Balls. Subjek penelitian yang digunakan adalah variabel dampak dan probabilitas kemungkinan terjadinya risiko. Risiko material yang ditinjau adalah besi tulangan, baja profil, bekisting, beton pracetak, beton ready mix, tiang pancang, dan semen. Penelitian dideskripsikan sebagai berikut :

a. Identifikasi risiko,

Langkah pertama adalah mengidentifikasi risiko untuk mendapatkan *risk register* yang diambil dari literatur dan penelitian yang sebelumnya pernah dilakukan. Identifikasi risiko meliputi risiko pada *supply, process, controll, demand* dan *disaster factor*. Risiko *supply* berasal dari berbagai sumber pemasok, produsen, dan distributor. Hal ini penting untuk memastikan bahwa pasokan barang atau bahan baku tersedia tepat waktu dan dalam jumlah yang memadai. Risiko *controll* berasal dari risiko yang mungkin terjadi pada manajemen operasional yang meliputi pengelolaan inventaris, penjadwalan produksi, dan pengaturan aliran barang secara efisien. Ini mencakup penggunaan teknologi dan proses manajemen untuk memastikan bahwa setiap tahap dalam rantai pasok berjalan lancar dan terkoordinasi. Risiko *process* mengacu pada serangkaian langkah atau aktivitas yang dilakukan untuk mentransformasikan bahan mentah menjadi produk jadi atau menyediakan layanan kepada perusahaan/pelanggan. Proses ini meliputi produksi, pengeemasan, distribusi, dan pengiriman. Proses yang efisien dan terkoordinasi penting untuk mengoptimalkan kinerja rantai pasok secara keseluruhan. Risiko *demand* mengacu pada permintaan jumlah produk atau layanan yang diinginkan oleh perusahaan sebagai pelanggan. Manajemen permintaan (*demand management*) penting untuk memprediksi dan mengantisipasi kebutuhan pasar sehingga rantai pasok dapat merespons dengan tepat waktu dan efisien.

b. Pengumpulan data

Setelah daftar risiko didapatkan maka selanjutnya akan dikumpulkan data primer melalui wawancara dan kuisioner untuk mendapatkan nilai probabilitas dan dampak risiko, kuisioner akan disebarikan kepada kontraktor yang bekerja pada proyek konstruksi di Kota Medan seperti site manager, site engineer, staff teknik, quality control, dan logistik.

Tabel 1. Kriteria Dampak [9]

Skala	Kriteria Dampak	Keterlambatan (akibat dampak)	Kriteria Probabilitas	Frekuensi Probabilitas	Deskripsi Frekuensi
1	Tidak Signifikan	0,5 hari / 4 jam	1 kali dalam satu periode	Keterlambatan material (0,5 hari atau 4 jam)	Hampir tidak mungkin terjadi
2	Kecil	1 hari	Kecil	1-2 kali dalam satu periode	Kemungkinan kecil terjadi
3	Sedang	2 hari	Sedang	3-4 kali dalam satu periode	Kemungkinan terjadi dan tidak terjadi sama
4	Besar	4 hari	Besar	4-5 kali dalam satu periode	Kemungkinan besar terjadi
5	Katastrofe	> 6 hari	Sangat Besar	>5 kali dalam satu periode	Hampir Pasti terjadi

Untuk menentukan nilai skala dampak dan probabilitas dapat merujuk pada

Tabel 1.

c. Analisis data

Setelah data dikumpulkan akan dilakukan analisis data dengan simulasi monte carlo yang dibantu menggunakan perangkat lunak *crystal ball* untuk mendapatkan nilai sensitivitas risiko dan prediksi waktu keterlambatan dengan menggunakan 20.000 percobaan.

d. Output– Penarikan kesimpulan

Setelah analisis selesai akan didapatkan hasil penelitian berupa model simulasi risiko, model grafik prediksi waktu keterlambatan (waktu minimum dan maksimum), bobot risiko dominan, dan grafik sensitivitas risiko serta rekomendasi strategi mitigasi risiko

3. Hasil dan Pembahasan

Identifikasi risiko merupakan langkah pertama untuk menelusuri daftar kejadian risiko yang berkemungkinan terjadi pada proyek gedung di Kota Medan. Hasil identifikasi risiko didapatkan dari penelusuran studi literature dan wawancara dengan responden. Pada penelitian ini identifikasi risiko disusun dari faktor internal (*supply, process, controll, demand*) dan eksternal (*disaster factor*) . Hasil identifikasi risiko yang mempengaruhi rantai pasok tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Daftar identifikasi risiko

Sumber risiko	Kode risiko	Kejadian / Risk Occurrence	Pustaka
Supply	S1	Material dikirim berulang karena material rusak / tidak sesuai mutu dengan spesifikasi yang ditentukan	[10], [11], [12]
	S2	Keterlambatan material karena terjadi kendala pada proses pabrik hingga keterbatasan material pada supplier	
	S3	Pembatalan pengiriman karena masalah transportasi / tidak adanya alat angkut	
	S4	Untuk setiap material hanya berfokus pada 1 supplier saja	
	S5	Waktu tunggu yang lama karena pengiriman material dilakukan secara bertahap	
Controll	C1	Sistem manajemen inventaris yang tidak efisien sehingga material berkurang atau menumpuk digudang	[11], [13], [14], [15]
	C2	Perubahan kebutuhan material karena perubahan jadwal penggunaan material dan jadwal pelaksanaan proyek dari kontraktor	
	C3	Kurangnya kemampuan penyimpanan material oleh kontraktor yang menyebabkan pemasokan ulang	
	C4	Keterlambatan pembayaran kontraktor utama ke sub kontraktor sehingga pemesanan material terlambat	
	C5	Tertunda pemesanan karena kurangnya informasi terkait pekerjaan yang akan dilakukan	
Process	P1	Keterlambatan kedatangan material karena permasalahan lalu lintas	[16], [17]
	P2	Ketidakmampuan dalam memenuhi pemesanan	
	P3	Kurang detail informasi tentang kuantitas dari material yang dipesan sehingga perlu pemesanan ulang material	
	P4	Terjadi kerusakan dan kehilangan material di gudang penyimpanan	

Sumber risiko	Kode risiko	Kejadian / Risk Occurrence	Pustaka
Demand	P5	Penundaan pengiriman material karena gudang penyimpanan tidak memadai	[18], [12], [19]
	D1	Kesulitan dalam mencari material	
	D2	Perubahan pemesanan material karena perubahan spesifikasi atau desain yang mendadak dari owner	
	D3	Penambahan material karena perubahan fungsi ruang	
External (Disaster factor)	D4	Penundaan pengiriman material karena masalah financial yang tidak lancar	[20]
	E1	Cuaca Buruk saat pengiriman barang	
	E2	Kondisi negara (inflasi , politik , budaya)	
	E3	Karakteristik lokasi secara geografis	

Setelah merumuskan daftar identifikasi risiko melalui tinjauan pustaka dan wawancara, selanjutnya dilakukan pengambilan data dengan metode kuisioner. Data yang diperoleh didapatkan dari penilaian dampak dan probabilitas dari 50 responden yang pernah bekerja pada 10 proyek

gedung di Kota Medan dengan jabatan sebagai project manager, site engineer, site manager, staff teknik, quality controll, dan logistic dengan kategori lama bekerja kurang dari 3 tahun, 3-5 tahun, dan lebih dari 5 tahun. Distribusi data responden tersebut dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Distribusi data responden

Responden	Lama Bekerja	Proyek										Total	
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J		
Project Manager (6 orang)	< 3 tahun												0
Site Manager (9 orang)	3 - 5 tahun	2		1							2		5
	< 5tahun								1				1
Site Engineer (5 orang)	< 3 tahun										1		1
	3 - 5 tahun	1	1	1	1		1				1		6
Quality Controll (7 orang)	< 5tahun			1				1					2
	< 3 tahun	1											1
Staff Teknik (13 orang)	3 - 5 tahun			1		1			1		1		4
	< 5tahun												0
Logistic (10 orang)	< 3 tahun						1			1			1
	3 - 5 tahun	2		1	1			1			1		6
Total	< 5tahun												0
	< 3 tahun						1						1
Total	3 - 5 tahun	1	1	1		3	1		3	1			11
	< 5tahun				1								1
Total	< 3 tahun			1								1	2
	3 - 5 tahun	1		2	1	1		1				1	7
Total	< 5tahun											1	1
	Total	8	2	9	4	6	2	3	6	2	8		50

Selanjutnya dilakukan uji validitas untuk mengetahui kevalidan dari kuisioner penelitian yang digunakan. Sebuah kuisioner dikatakan valid apabila mampu mengukur sesuatu yang akan diukur sehingga dapat menjawab pertanyaan pada penelitian tersebut. Pada *output correlation* yang didapatkan dari SPSS dapat dilihat hasil dengan tanda bintang 1 adalah valid pada 1 kali pengujian dengan taraf signifikansi 95% (0,05), Bintang 2 menunjukkan bahwa kuisioner valid pada 2 kali pengujian dengan taraf signifikasnsi 99% (0,01). Kriteria pengujiaannya adalah membandingkan r_{hitung} dengan r_{tabel} ,

kuisioner dikatakan valid apabila $r_{hitung} > r_{tabel}$. Dimana jumlah responden adalah 50 dengan 5 variable maka $n = (50 - 5 = 45)$ selanjutnya nilai r_{tabel} pada n_{45} dapat dilihat sebesar 0,294 untuk taraf signifikansi 95% dan untuk taraf signifikansi 99% adalah 0,380. Rangkuman hasil uji validitas pada variabel tersebut **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil uji validitas

Variabel	r_{hitung} dampak	r_{hitung} probabilitas	r_{tabel}	Keterangan
S1	0,551	0,502	0,380	Valid

Variabel	r_{hitung} dampak	r_{hitung} probabilitas	r_{tabel}	Keterangan
S2	0,434	0,568	0,380	Valid
S3	0,598	0,393	0,380	Valid
S4	0,494	0,431	0,380	Valid
S5	0,714	0,735	0,380	Valid
C1	0,469	0,455	0,380	Valid
C2	0,568	0,689	0,380	Valid
C3	0,718	0,541	0,380	Valid
C4	0,764	0,509	0,380	Valid
C5	0,690	0,594	0,380	Valid
P1	0,447	0,441	0,380	Valid
P2	0,549	0,619	0,380	Valid
P3	0,472	0,517	0,380	Valid
P4	0,697	0,500	0,380	Valid
P5	0,722	0,615	0,380	Valid
D1	0,473	0,450	0,380	Valid
D2	0,626	0,584	0,380	Valid
D3	0,549	0,598	0,380	Valid
D4	0,689	0,556	0,380	Valid
E1	0,616	0,680	0,380	Valid
E2	0,619	0,509	0,380	Valid
E3	0,474	0,305*	0,294	Valid

Dari **Tabel 4** dapat dilihat bahwa $r_{hitung} > r_{tabel}$ sehingga seluruh variable dikatakan valid dan dapat dilanjutkan pengujian reliabilitas.

Uji reliabilitas digunakan untuk mengukur tingkat konsistensi responden terhadap kuisioner yang diisi. Beberapa tes reliabilitas yang dapat digunakan adalah *Test – Retest reliability*, *Parallel form's reliability*, *Inter-Rater reliability*, dan *Indicator Reliability* [21]. Namun menurut Moshood [22], tes reliabilitas yang paling sering digunakan adalah "internal consistency reliability test". Metode ini menilai sejauh mana item-item dalam suatu konstruk tertentu berkumpul dan secara independen mengukur konstruk sebenarnya sekaligus dikorelasikan satu sama lain. Uji *Internal Consistency Reliability* ini dapat menggunakan tes *Cronbach's alpha coefficient* [23][22]. Rata-rata variasi dan reliabilitas komposit melebihi ambang batas yang direkomendasikan. Nilai tingkat keandalan Cronbach Alpha dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Tingkat keandalan Cronbach Alpha

Nilai Cronbach Alpha	Tingkat Keandalan
0.0 - 0.20	Kurang Andal
>0.20 – 0.40	Agak Andal
>0.40 – 0.60	Cukup Andal
>0.60 – 0.80	Andal
>0.80 – 1.00	Sangat Andal

Untuk mengevaluasi reliabilitas ini digunakan *Cronbach's alpha coefficient* dengan menggunakan SPSS 23, jika nilai koefisien diatas 0,60 maka penelitian ini menunjukkan konsistensi yang baik. Setelah dilakukan

pengujian reliabilitas maka akan keluar tabel output seperti gambar dibawah yang menunjukkan bahwa jumlah responden adalah 50 dan semua pertanyaan dijawab 100% oleh responden artinya tidak ada data yang kosong.

Tabel 6. Output sampel tes reliabilitas

	N	%
Cases Valid	50	100,0
Excluded	0	0
Total	50	100,0

Adapun hasil analissa statistik deskriptif instrumen pengukuran dan hasil analisis reliabilitas penelitian ini disajikan pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Hasil analisis reliabilitas data

Reliability Statistics Probabilitas		Reliability Statistics Dampak	
Cronbach's Alpha	N of Items	Cronbach's Alpha	N of Items
0,742	23	0,748	23

Berdasarkan tabel diatas didapatkan nilai Cronbach's Alpha pada kuisioner dampak sebesar 0,742 dan probabilitas sebesar 0,748, dimana nilai ini lebih dari 0,60 yang menunjukkan konsistensi pada penelitian ini sudah baik.

Dari keseluruhan data didapatkan nilai probabilitas dan nilai dampak yang selanjutnya dilakukan simulasi keterlambatan material dengan menggunakan perangkat lunak crystall ball. Simulasi dilakukan sebanyak 20.000 kali percobaan sehingga didapatkan nilai minimum keterlambatan, nilai maksimum keterlambatan dan grafik sensitivitas material. Hasil rentang waktu keterlambatan minimum dan maksimum pada masing masing material dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Perkiraan minimum dan maksimum keterlambatan

Material	Perkiraan minimum keterlambatan (hari)	Perkiraan maksimum keterlambatan (hari)
Besi	2,46 - 3,62	15,19 - 22,15
Baja	3,78 - 4,45	19,80 - 26,40
Bekisting	3,81 - 5,06	25,19 - 32,98
Beton Pracetak	4,20 - 5,70	24,20 - 31,88
Tiang Pancang	2,25 - 3,03	22,65 - 30,45
Semen	2,30 - 3,13	16,38 - 22,85

Berdasarkan **Tabel 8** perkiraan minimum keterlambatan material dalam rantai pasok adalah 2,25–5,70 hari, dan maksimum keterlambatan adalah 15,19–32,98 hari. Pada material besi perkiraan keterlambatan minimum adalah 2,46 hari dan maksimum pada 22,15 hari (**Gambar 1**), dimana risiko dominan yang mempengaruhi keterlambatan ini dapat dilihat dari analisis sensitivitas risiko pada **Gambar 7** yaitu

waktu tunggu yang lama karena material dikirim secara berulang (S5 ; 34,30 %), kendala pada proses di pabrik hingga keterbatasan material pada supplier (S2 ; 33,40%), dan kontraktor hanya berfokus pada satu supplier saja (S4 ; 19,70%). Risiko *controll* seperti keterlambatan pembayaran kontraktor utama ke subkontraktor juga mempengaruhi keterlambatan proyek sebesar 4,40% lebih rendah daripada risiko yang dikirim secara berulang karena material rusak sebesar 4,60%.

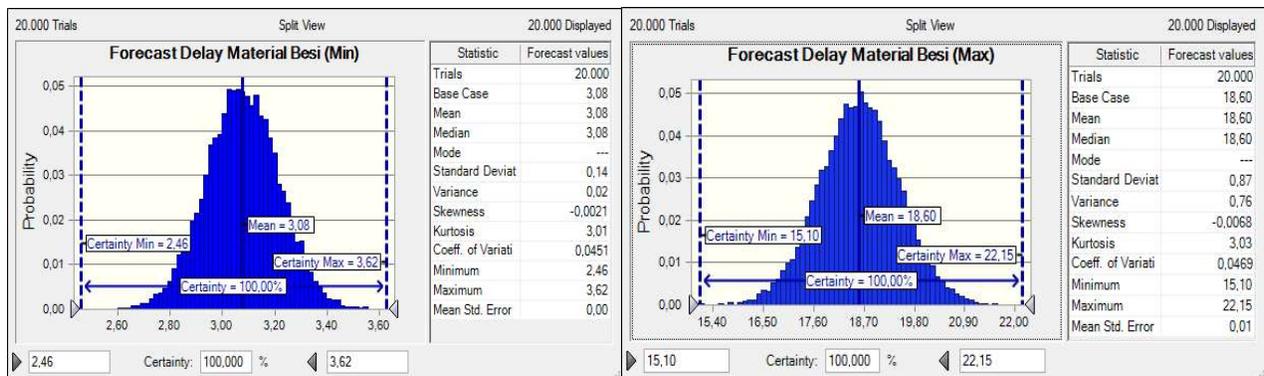
Pada material baja perkiraan keterlambatan minimum adalah 3,78 hari dan maksimum bisa sampai 26,40 hari (**Gambar 2**), hal ini disebabkan dari risiko dominan yang terlihat di **Gambar 8** pada proses *supply* yaitu waktu tunggu yang lama karena material dikirim secara berulang (S5 ; 34,90 %), kontraktor hanya berfokus pada 1 supplier saja (S4 ; 23%), dan risiko dominan ketiga yaitu kendala pada proses di pabrik hingga keterlambatan material pada supplier (S2 ; 17,60%). Risiko dominan kelima yaitu resiko *Demand* seperti penundaan pengiriman material yang dikarenakan masalah finansial tidak lancar juga mempengaruhi keterlambatan material sebesar 10,20% setelah risiko dominan keempat yaitu pengiriman material secara berulang karena tidak sesuai spesifikasi sebesar 10,80%.

Pada material bekisting perkiraan keterlambatan minimum adalah 3,81 hari dan maksimum bisa sampai 32,98 hari (**Gambar 3**), hal ini disebabkan dari risiko dominan yang didapatkan dari analisis sensitivitas risiko pada **Gambar 9** pada proses *supply* yaitu material yang sering dikirim berulang karena material rusak atau tidak sesuai mutu dengan spesifikasi yang telah ditentukan (S1 ; 30,60 %), dari risiko *demand* yaitu penundaan pengiriman material yang disebabkan karena finansial yang tidak lancar (D4 ; 27,20%), dan kontraktor hanya berfokus pada satu supplier saja (S2 ; 13,03%). Selain risiko Demand dan Supply pada material

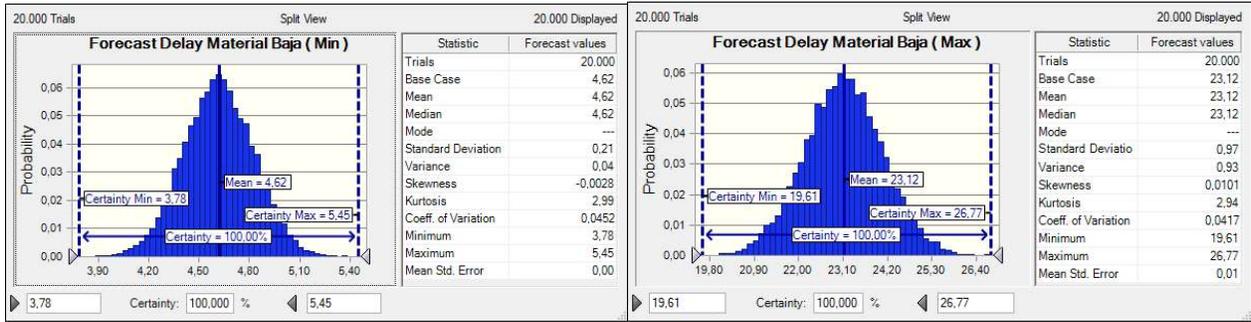
bekisting keterlambatan juga dipengaruhi oleh faktor *controll* (C2) sebesar 7% dan risiko *process* (P1) sebesar 6,30%.

Pada material beton pracetak keterlambatan minimum dan maksimum material beton pracetak adalah 4,20 hari dan 31,88 hari (**Gambar 4**). Hal ini disebabkan oleh risiko dominan yang terlihat pada **Gambar 12**, risiko dominan pertama yaitu keterlambatan pembayaran kontraktor utama ke sub kontraktor sehingga pemesanan material yang terlambat (C4 ; 41,60%), risiko dominan kedua yaitu keterlambatan material karena proses pabrik hingga keterbatasan material yang ada pada supplier (S2;14%) dan risiko dominan ketiga yaitu untuk material beton pracetak hanya berfokus pada satu supplier saja (S4; 12%). Risiko *Demand* (D4) juga mempengaruhi sebesar 8,90% dan risiko *Supply* (S1) sebesar 8,40%.

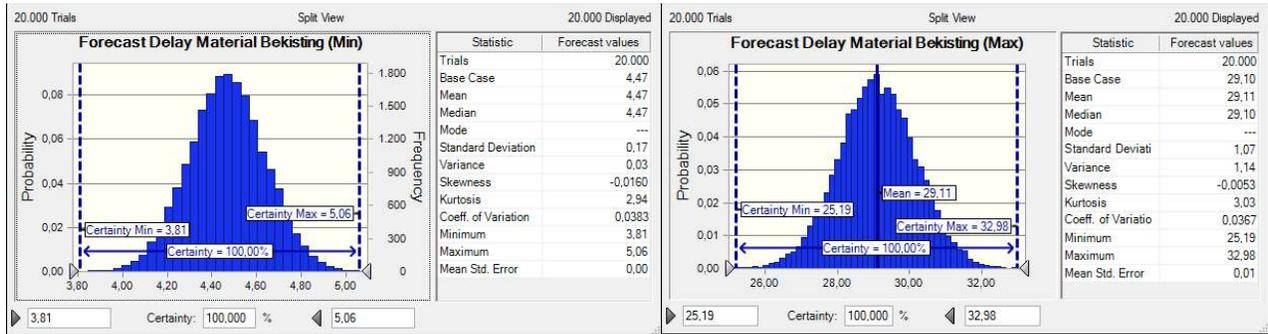
Pada material tiang pancang keterlambatan minimum yaitu 2,25 hari dan maksimum 30,45 hari (**Gambar 5**). Hal ini dapat dilihat dari analisis sensitivitas risiko pada **Gambar 11** yang disebabkan oleh risiko dominan pertama yaitu karena penundaan pengiriman material karena masalah finansial yang tidak lancar (18,80%), risiko dominan kedua yaitu keterlambatan karena permasalahan lalu lintas (P1 ; 17,60%) dan risiko dominan ketiga karena pengiriman material yang dilakukan secara bertahap (S5;16,60%) Pada material semen keterlambatan minimum yaitu 2,30 hari dan maksimum 22,85 hari (**Gambar 6**), hal ini disebabkan oleh risiko dominan pertama yaitu keterlambatan akan pembayaran kontraktor ke subkontraktor karena masalah finansial yang tidak lancar (C4;30,60%), risiko dominan kedua yaitu karena penundaan pengiriman material karena masalah finansial yang tidak lancar (D4;17,10%), dan risiko dominan ketiga adalah cuaca buruk saat pengiriman barang (E1;15,01%) sesuai **Gambar 10**.



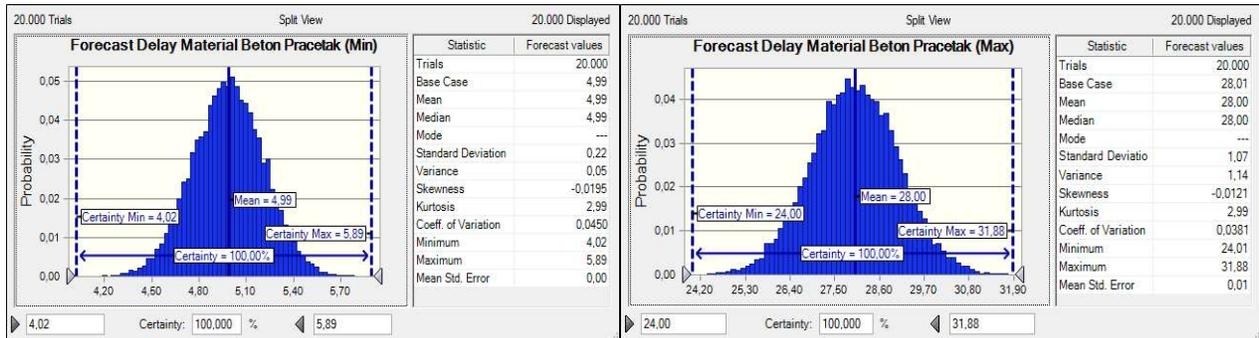
Gambar 1. Forecast Delay pengadaan material besi



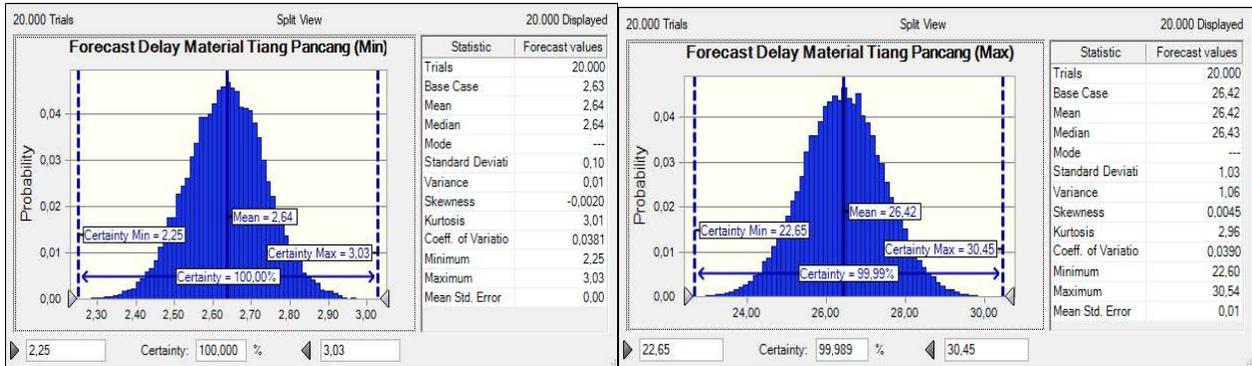
Gambar 2. Forecast Delay pengadaan material baja



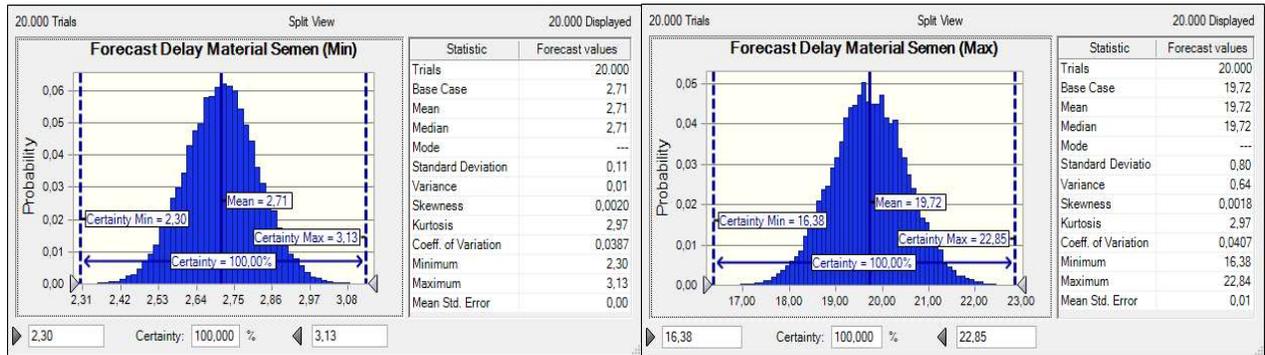
Gambar 3. Forecast Delay pengadaan material bekisting



Gambar 4. Forecast Delay pengadaan material beton pracetak



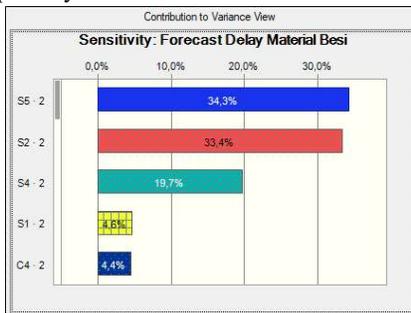
Gambar 5. Forecast Delay pengadaan material tiang pancang



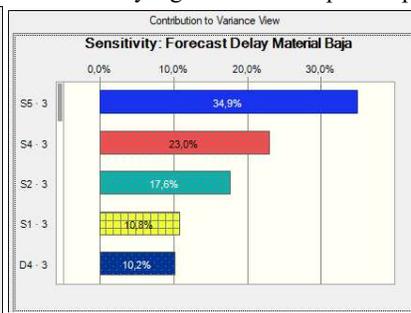
Gambar 6. Forecast Delay pengadaan material semen

Untuk bobot risiko dilakukan analisis *sensitivity value* yang ditampilkan pada gambar dibawah ini, berdasarkan analisis tersebut tiga risiko yang paling terbesar adalah pada material beton pracetak, baja, dan besi sebesar 41,60%, 34,90%, dan 33,40%. Risiko tersebut adalah keterlambatan pembayaran kontraktor utama ke sub kontraktor yang

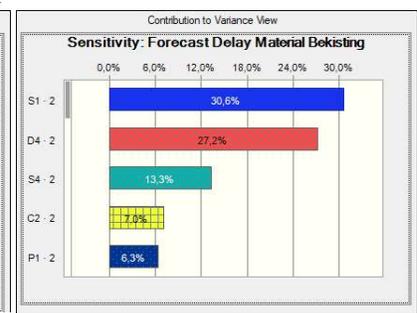
menyebabkan pemesanan material menjadi terlambat, risiko dominan kedua adalah waktu tunggu yang lama karena pengiriman material yang dilakukan secara bertahap, dan risiko dominan ketiga adalah keterlambatan material karena terjadi kendala pada proses pabrik hingga keterbatasan material pada supplier



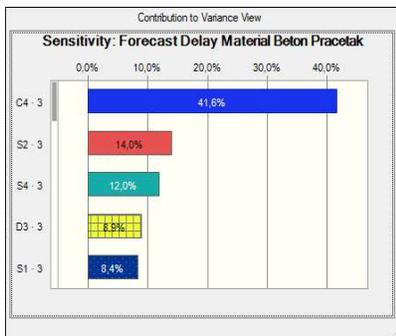
Gambar 7. Sensitivitas risiko pengadaan material besi



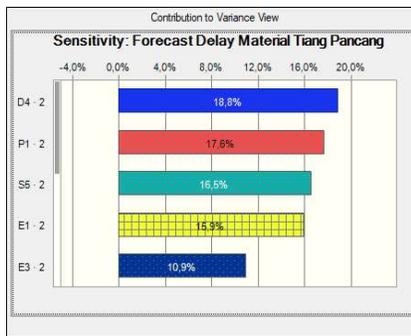
Gambar 8. Sensitivitas risiko pengadaan material baja



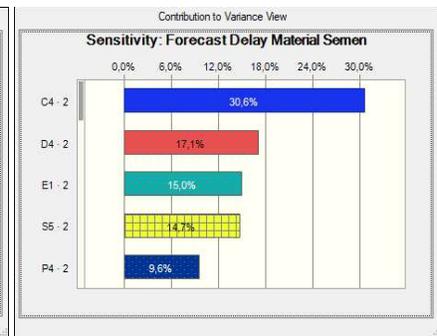
Gambar 9. Sensitivitas risiko pengadaan material bekisting



Gambar 12. Sensitivitas risiko pengadaan material beton pracetak



Gambar 11. Sensitivitas risiko pengadaan material tiang pancang



Gambar 10. Sensitivitas risiko pengadaan material semen

Peringkat risiko berdasarkan bobot sensitivitas pada gambar diatas ditabulasikan dalam bentuk Tabel 9. Bobot ini dapat digunakan untuk sebagai dasar untuk melakukan tindakan risiko, penerimaan atau pengalokasian risiko sehingga dapat dikendalikan secara optimal [24]. Peringkat

faktor risiko pada kategori material juga berbeda-beda dimana pada satu material tidak semua faktor (*supply, controll, demand, process, dan eksternal*) yang mempengaruhi kejadian risiko material tersebut dan beberapa hal bisa saja dikarenakan oleh lebih faktor

Tabel 9. Tabulasi risiko berdasarkan bobot sensitivitas risiko

Material	Peringkat risiko	Kode risiko	Risiko Keterlambatan material	Bobot
Besi	1	S5	Waktu tunggu yang lama karena pengiriman material dilakukan secara bertahap	34,30%
	2	S2	Keterlambatan material karena terjadi kendala pada proses pabrik hingga keterbatasan material pada supplier	33,40%
	3	S4	Untuk setiap material hanya berfokus pada 1 supplier saja	19,70%
	4	S1	Material dikirim berulang karena material rusak / tidak sesuai mutu dengan spesifikasi yang ditentukan	4,60%
	5	C4	Keterlambatan pembayaran kontraktor utama ke sub kontraktor sehingga pemesanan material terlambat	4,40%
Baja	1	S5	Waktu tunggu yang lama karena pengiriman material dilakukan secara bertahap	34,90%
	2	S4	Untuk setiap material hanya berfokus pada 1 supplier saja	23,00%
	3	S2	Keterlambatan material karena terjadi kendala pada proses pabrik hingga keterbatasan material pada supplier	17,60%
	4	S1	Material dikirim berulang karena material rusak / tidak sesuai mutu dengan spesifikasi yang ditentukan	10,80%
	5	D4	Penundaan pengiriman material karena masalah financial yang tidak lancar	10,20%
Bekisting	1	S1	Material dikirim berulang karena material rusak / tidak sesuai mutu dengan spesifikasi yang ditentukan	30,60%
	2	D4	Penundaan pengiriman material karena masalah financial yang tidak lancar	27,20%
	3	S4	Untuk setiap material hanya berfokus pada 1 supplier saja	13,30%
	4	C2	Perubahan kebutuhan material karena perubahan jadwal penggunaan material dan jadwal pelaksanaan proyek dari kontraktor	7,00%
	5	P1	Keterlambatan kedatangan material karena permasalahan lalu lintas	6,30%
Beton Pracetak	1	C4	Keterlambatan pembayaran kontraktor utama ke sub kontraktor sehingga pemesanan material terlambat	41,60%
	2	S2	Keterlambatan material karena terjadi kendala pada proses pabrik hingga keterbatasan material pada supplier	14,00%
	3	S4	Untuk setiap material hanya berfokus pada 1 supplier saja	12,00%
	4	D3	Penambahan material karena perubahan fungsi ruang	8,90%
	5	S1	Material dikirim berulang karena material rusak / tidak sesuai mutu dengan spesifikasi yang ditentukan	8,40%
Tiang Pancang	1	D4	Penundaan pengiriman material karena masalah financial yang tidak lancar	18,80%
	2	P1	Keterlambatan kedatangan material karena permasalahan lalu lintas	17,60%
	3	S5	Waktu tunggu yang lama karena pengiriman material dilakukan secara bertahap	16,60%
	4	E1	Cuaca Buruk saat pengiriman barang	15,90%
	5	E3	Karakteristik lokasi secara geografis	10,90%
Semen	1	C4	Keterlambatan pembayaran kontraktor utama ke sub kontraktor sehingga pemesanan material terlambat	30,60%
	2	D4	Penundaan pengiriman material karena masalah financial yang tidak lancar	17,10%
	3	E1	Cuaca Buruk saat pengiriman barang	15,01%
	4	S5	Waktu tunggu yang lama karena pengiriman material dilakukan secara bertahap	14,70%
	5	P4	Terjadi kerusakan dan kehilangan material di gudang penyimpanan	9,60%

Urutan peringkat risiko mulai dari yang dominan berdasarkan hasil analisis sensitivitas value dapat diurutkan sesuai **Tabel 10**.

Tabel 10. Peringkat risiko berdasarkan bobot sensitivitas

No	Risiko Dominan
1	Keterlambatan pembayaran kontraktor utama ke sub kontraktor sehingga pemesanan material terlambat
2	Waktu tunggu yang lama karena pengiriman material dilakukan secara bertahap
3	Keterlambatan material karena terjadi kendala pada proses pabrik hingga keterbatasan material pada supplier
4	Untuk setiap material hanya berfokus pada satu supplier saja
5	Material dikirim berulang karena material rusak / tidak sesuai mutu dengan spesifikasi yang ditentukan

Berdasarkan analisis diatas, jika diasumsikan pekerjaan proyek adalah 300 hari kerja dalam satu tahun, maka keterlambatan minimum (2,25 – 5,70 hari) rantai pasok dari material besi , baja, bekisting, beton pracetak , tiang pancang, dan semen yang digunakan pada pekerjaan proyek tersebut

adalah sebesar 1,9% dari total durasi proyek dan keterlambatan maksimum (15,19- 32,98 hari) adalah 10,93% dari total durasi proyek.

Meskipun didalam pelaksanaan proyek ini, keterlambatan akan dipengaruhi dengan metode dan model penjadwalan proyek, angka keterlambatan ini akan sangat besar jika tidak diantisipasi oleh kontraktor, terlebih jika tidak diantisipasi dari awal pekerjaan. Konsep penanggulangan risiko bermacam-macam tergantung pada sudut pandang, pengalaman, dan sikap kontraktor [25]. Mengelola proyek risiko adalah proses penting untuk menciptakan, melindungi dan mencapai target perusahaan. Antisipasi oleh kontraktor perlu mencermati bobot sensitivitas rantai pasok material yang ditampilkan pada **Tabel 10** dan menyusun mitigasi risiko seperti ketepatan dan komitmen pada pembayaran tepat waktu pada subkontraktor, perencanaan yang matang terkait pengadaan material kepada supplier, merencanakan manajemen material yang sesuai, dan selanjutnya dapat dilihat pada **Tabel 11**. Adapun rekomendasi mitigasi risiko tersebut didapatkan dari wawancara dengan responden yang sejalan dengan kebutuhan penyelesaian keterlambatan material di Kota Medan.

Tabel 11. Mitigasi risiko bobot sensitivitas risiko

No	Risiko Dominan	Mitigasi Risiko
1	<i>Supply</i>	<ul style="list-style-type: none"> a) Perlu komitmen yang baik kepada mitra supplier dan sub kontraktor dalam melaksanakan setiap kontrak pekerjaan. b) Perlu adanya perencanaan dan persiapan yang matang terkait supplier material serta dibuat perjanjian kontrak terhadap supplier agar dapat terjamin tersedianya material di lapangan. c) Sudah memesan material sebelum pekerjaan dimulai sehingga supplier dapat mengatur material yang akan dikirim. d) Tidak bertumpu pada 1 Supplier, Pemesanan Material harus di kontrol sebelum digunakan. e) Memastikan volume dan spesifikasi kebutuhan material serta mencari beberapa supplier agar bisa mencari alternatif kalau terkendala oleh salah satu supplier.
.2	<i>Controll</i>	<ul style="list-style-type: none"> a) Perlunya mengikat kerjasama / MOU agar terdapat kesepakatan yang mengunci tentang kualitas, kuantitas dan schedule yang terjaga dan disepakati bersama diiringi dengan manajemen logistic yang handal. b) Membuat rencana pemasokan material yang terukur yang disesuaikan dengan kebutuhan lapangan. c) Ketepatan dan komitmen pada pembayaran tepat waktu pada subkontraktor dan perhitungan material <i>on site</i>. d) Saat pemesanan transparan masalah kualitas dan kuantitas. e) Komunikasi yang lancar antara kontraktor dan pemasok bahan untuk mengurangi keterlambatan penggunaan dan mutu bahan.
3	<i>Process</i>	<ul style="list-style-type: none"> a) Memesan dengan meninjau jarak lokasi proyek dengan supplier. b) Jumlah material sesuai dengan kebutuhan kontrak. c) Cek bahan yang akan dibeli dari beberapa supplier, untuk memastikan bahan yang akan dibeli tersedia dan sesuai volume yang dibutuhkan serta memastikan transportasi juga tersedia. d) Memiliki <i>time schedule material</i> yang bisa dijadikan patokan supplier dalam memasok material
4	<i>Demand</i>	Memiliki dana proyek yang cukup.
5	<i>Disaster</i>	Manfaatkan waktu panas sebelum datang musim penghujan .

4. Simpulan

Penelitian ini mendapatkan perkiraan waktu terlambat dan bobot sensitivitas risiko dari sisi internal (*supply, controll, process, demand*) dan eksternal (*disaster factor*)

1. Prediksi waktu keterlambatan material dari sisi internal (*supply, controll, process, demand*) dan eksternal (*disaster factor*) dengan menggunakan simulasi Monte Carlo adalah 2,25 hari – 5,70 hari untuk waktu minimum dan 15,19 – 32,98 hari untuk waktu maksimum. Pada masing-masing material perkiraan keterlambatan minimum dan maksimum adalah besi memiliki prediksi 2,46-3,62 ;15,19-22,15 hari , baja 3,78 - 4,45 ; 19,80 - 26,40 hari , bekisting 3,81 - 5,06 ; 25,19 - 32,98 hari, beton pracetak 4,20 - 5,70; 24,20 - 31,88 hari, tiang pancang 2,25 - 3,03 ; 22,65 - 30,45, semen 2,30 - 3,13 ; 16,38 - 22,85 hari.
2. Kategori tiga risiko paling dominan pada keterlambatan material dengan menggunakan analisa sensitivitas adalah risiko pada material beton pracetak, baja, dan besi sebesar 41,60%, 34,90%, dan 33,40%. Risiko tersebut adalah keterlambatan pembayaran kontraktor utama ke sub kontraktor yang menyebabkan pemesanan material menjadi terlambat, risiko dominan kedua adalah waktu tunggu yang lama karena pengiriman material yang dilakukan secara bertahap, dan risiko dominan ketiga adalah keterlambatan material karena terjadi kendala pada proses pabrik hingga keterbatasan material pada supplier.
3. Strategi mitigasi risiko untuk mengurangi risiko dominan tersebut adalah ketepatan dan komitmen pada pembayaran tepat waktu pada subkontraktor, perencanaan yang matang terkait pengadaan material kepada supplier, merencanakan manajemen material yang sesuai dengan kebutuhan lapangan

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih atas dukungan finansial yang diberikan oleh DIPA Politeknik Negeri Medan tahun 2024 sesuai dengan kontrak penelitian Nomor: B/159/PL5/PT.01.05/2024.

Daftar Pustaka

- [1] C. Kaliba, M. Muya, and K. Mumba, “Cost escalation and schedule delays in road construction projects in Zambia,” *International Journal of Project Management*, vol. 27, no. 5, pp. 522–531, 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2008.07.003>.
- [2] K. Alrasheed, E. Soliman, and H. Albader, “Systematic review of construction project delays in

Kuwait,” *Journal of Engineering Research*, vol. 11, no. 4, pp. 347–355, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.08.009>.

- [3] P. L. Le, I. Jarroudi, T.-M. Dao, and A. Chaabane, “Integrated construction supply chain: an optimal decision-making model with third-party logistics partnership,” *Construction Management and Economics*, vol. 39, no. 2, pp. 133–155, Feb. 2021, doi: 10.1080/01446193.2020.1831037.
- [4] R. Vrijhoef and L. Koskela, “The four roles of supply chain management in construction,” *European Journal of Purchasing & Supply Management*, vol. 6, no. 3, pp. 169–178, 2000, doi: [https://doi.org/10.1016/S0969-7012\(00\)00013-7](https://doi.org/10.1016/S0969-7012(00)00013-7).
- [5] S. N. Bahagia, “Harmonisasi Konstruksi Indonesia yang Berwawasan Lingkungan,” in *Harmonisasi rantai pasok konstruksi, Konsep, Inovasi, dan Aplikasi di Indonesia*, 2012.
- [6] F. L. Ribeiro and J. Lopes, “Association of Researchers in Construction Management,” 2001.
- [7] W. Z. W. Abdullah and Siti Rashidah Mohd Nasir, “Supply chain integration issues and challenges in industrialised building system (IBS) construction projects in Malaysia,” *Malaysian Construction Research Journal*, vol. 22, no. 2, pp. 73–83, 2017.
- [8] E. M. A. C. Ekanayake, S. G. Q. P, K. M. M, O. E. K, and S. A. B, “Modeling Supply Chain Resilience in Industrialized Construction: A Hong Kong Case,” *J Constr Eng Manag*, vol. 147, no. 11, p. 05021009, Nov. 2021, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002188.
- [9] L. J. Susilo and V. R. Kaho, *Manajemen Risiko Berbasis ISO 31000:2018 ; Panduan untuk Risk Leaders dan Risk Practitioners*. PT. Gramedia Widiasarana Indonesia: PT. Gramedia Widiasarana Indonesia, 2018.
- [10] W. Ho, T. Zheng, H. Yildiz, and S. Talluri, “Supply chain risk management: a literature review,” *Int J Prod Res*, vol. 53, no. 16, pp. 5031–5069, Aug. 2015, doi: 10.1080/00207543.2015.1030467.
- [11] N. Viswanadham and R. S. Gaonkar, “Risk Management in Global Supply Chain Networks,” in *Supply Chain Analysis: A Handbook on the Interaction of Information, System and Optimization*, C. S. Tang, C.-P. Teo, and K.-K. Wei, Eds., Boston, MA: Springer US, 2008, pp. 201–222. doi: 10.1007/978-0-387-75240-2_8.
- [12] D. Aloini, R. Dulmin, V. Mininno, and S. Ponticelli, “Supply chain management: a review of

- implementation risks in the construction industry,” *Business Process Management Journal*, vol. 18, no. 5, pp. 735–761, Jan. 2012, doi: 10.1108/14637151211270135.
- [13] L. Rzepecki, “Optimization of inventory costs management in the construction enterprise,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 603, no. 3, p. 032046, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/603/3/032046.
- [14] N. Čuš-Babič, D. Rebolj, M. Nekrep-Perc, and P. Podbreznik, “Supply-chain transparency within industrialized construction projects,” *Comput Ind*, vol. 65, no. 2, pp. 345–353, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.12.003>.
- [15] X. Meng, “Assessment framework for construction supply chain relationships: Development and evaluation,” *International Journal of Project Management*, vol. 28, no. 7, pp. 695–707, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2009.12.006>.
- [16] R. Vrijhoef and L. Koskela, “The four roles of supply chain management in construction,” *European Journal of Purchasing & Supply Management*, vol. 6, no. 3, pp. 169–178, 2000, doi: [https://doi.org/10.1016/S0969-7012\(00\)00013-7](https://doi.org/10.1016/S0969-7012(00)00013-7).
- [17] H. T. Pham, T. Pham, H. Truong Quang, and C. N. Dang, “Supply chain risk management research in construction: a systematic review,” *International Journal of Construction Management*, vol. 23, no. 11, pp. 1945–1955, Aug. 2023, doi: 10.1080/15623599.2022.2029677.
- [18] W. Ho, T. Zheng, H. Yildiz, and S. Talluri, “Supply chain risk management: a literature review,” *Int J Prod Res*, vol. 53, no. 16, pp. 5031–5069, Aug. 2015, doi: 10.1080/00207543.2015.1030467.
- [19] P. Behera, R. P. Mohanty, and A. Prakash, “Understanding Construction Supply Chain Management,” *Production Planning & Control*, vol. 26, no. 16, pp. 1332–1350, Dec. 2015, doi: 10.1080/09537287.2015.1045953.
- [20] Momin M. H, Mulgund G V, and Kanade G N, “Uncertainty In Supply Chain In Construction Projects – A Case Study,” *International Journal of New Technologies in Science and Engineering*, vol. 2, no. 2, 2015.
- [21] R. Oktavia, Irwandi, Rajibussalim, M. Mentari, and I. S. Mulia, “Assessing the validity and reliability of questionnaires on the implementation of Indonesian curriculum K-13 in STEM education Assessing the validity and reliability of questionnaires on the implementation of Indonesian curriculum K-13 in STEM education,” *Journal of Physics*, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1088/1/012014.
- [22] T. D. Moshood, A. Q. Adeleke, G. Nawanir, and F. Mahmud, “Ranking of human factors affecting contractors’ risk attitudes in the Malaysian construction industry,” *Social Sciences and Humanities Open*, vol. 2, no. 1, p. 100064, 2020, doi: 10.1016/j.ssaho.2020.100064.
- [23] C. P. Malkewitz, S. Philipp, M. Christian, and H. Jochen, “Estimating reliability A comparison of Cronbach’s α McDonald’s ω t and the greatest lower bound,” 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2022.100368>
- [24] L. R. Debatara dkk, A. Suraji, and T. Ophiyandri, “Analisis Risiko Investasi Infrastruktur Berbasis Fuzzy Analytical Hierarchy Process (F-AHP) Fuzzy Analytical Hierarchy Process (F-AHP) For Risk Assesment In Infrastructure Investment,” 2020.
- [25] L. R. Debatara dkk, “Analysis of Human Factors that Influence Contractors’ Risk Management Attitudes in Sumatra Island in Construction Projects,” *Journal of Civil Engineering and Planning*, vol. 4, no. 2, pp. 162–172, Dec. 2023, doi: 10.37253/jcep.v4i2.8575.