

## Pemodelan Estimasi Biaya Kontingensi Pada Proyek Konstruksi Jalan Raya Berbasis Metode Analisis Risiko

Andy Sutikno<sup>1,\*</sup> dan Mohammad Arif Rohman<sup>1</sup>

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya<sup>1</sup>

Koresponden\*, Email: [andysutiknoits@gmail.com](mailto:andysutiknoits@gmail.com)

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	15 Agustus 2022	<i>The uncertainty of risk in highway construction projects encourages contingency cost estimates in traditional estimates based on subjective assessments such as 5-10% of the estimated cost by considering similar projects that have been done. The method is scientifically unacceptable and difficult to maintain its accuracy. This study proposes a method of developing a contingency cost model from the perspective of the project owner that can accommodate subjective assessments based on risks. The identification of risk variables was obtained from preliminary surveys, interviews, questionnaires and literature studies, while the calculation of contingency cost modeling uses the Monte Carlo simulation. The results showed that the average contingency cost estimate was 8.92% of the project budget plan. The error rate of the model test is 0.21% of the allowable error limit and the validation results show that the predictive analysis value is within 20% accuracy compared to the actual contingency cost.</i>
Diperbaiki	31 Agustus 2022	
Disetujui	31 Agustus 2022	

*Keywords: project risk, risk assessment monte carlo simulation, contingency cost*

### Abstrak

Ketidakpastian risiko pada proyek konstruksi jalan raya mendorong perkiraan biaya kontingensi di estimasi secara tradisional berdasarkan penilaian subyektif seperti 5-10% dari biaya yang diperkirakan dengan mempertimbangkan proyek sejenis yang pernah dikerjakan. Metode tersebut secara ilmiah tidak bisa diterima dan sulit untuk dipertahankan keakurasiannya. Studi ini mengusulkan metode pengembangan model biaya kontingensi dari perspektif pemilik proyek yang dapat mengakomodasi penilaian subyektif berdasarkan risiko. Identifikasi variabel risiko diperoleh dari survei pendahuluan, wawancara, penyebaran kuesioner dan studi literatur, sedangkan perhitungan pemodelan biaya kontingensi menggunakan simulasi Monte Carlo. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perkiraan biaya kontingensi rata-rata adalah 8,92% dari rencana anggaran proyek. Tingkat kesalahan pengujian model adalah 0,21% dari batas kesalahan yang diijinkan dan hasil validasi menunjukkan bahwa nilai analisis prediktif berada dalam akurasi 20% dibandingkan dengan biaya kontingensi yang sebenarnya.

Kata kunci: risiko proyek, penilaian risiko, simulasi monte carlo, biaya kontingensi

### 1. Pendahuluan

Investasi di bidang infrastruktur merupakan beban yang cukup besar pada produk domestik bruto (PDB) suatu negara. Dalam konteks negara berkembang, investasi pembangunan jalan dapat meningkatkan pertumbuhan ekonomi secara keseluruhan, karena jalan baru akan meningkatkan aksesibilitas yang mengarah pada pengurangan biaya produksi dan transportasi sehingga lebih banyak produksi dan biaya akan lebih rendah [1]. Bagi pemilik proyek, biaya merupakan hal penting yang membentuk nilai kontingensi proyek. Fenomena praktek sebagian besar pemilik proyek dalam menentukan besaran kontingensi biaya yang sebenarnya adalah dengan menetapkan nilai persentase subyektif sebesar 5-10% dari perkiraan total biaya proyek. Namun, besarnya kontingensi ini seringkali gagal menangani ketidakpastian yang terjadi selama siklus proyek. Penelitian ini mengeksplorasi estimasi biaya kontingensi proyek pembangunan jalan raya berbasis risiko dari perspektif pemilik. Setelah

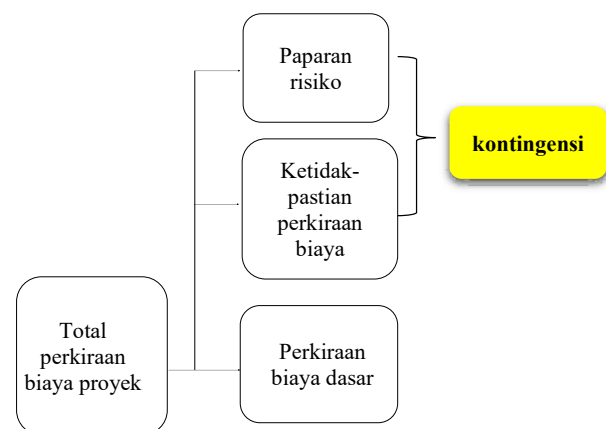
proyek berjalan, analisis cadangan kontingensi termasuk penggunaan rasio cakupan kontingensi dapat meningkatkan kepastian dan kinerja proyek. Analisis dana cadangan dapat digunakan untuk alokasi risiko, menginformasikan anggaran alokasi modal dan memberikan pandangan subyektif para pemangku kepentingan tentang kepastian proyek, seberapa besar kemungkinan program atau portofolio tetap sesuai anggaran. Dalam literatur, terkait mengenai kontingensi sering dihitung sebagai tambahan persentase keseluruhan untuk perkiraan dasar, biasanya berasal dari intuisi, pengalaman masa lalu dan data historis. Metode estimasi ini bersifat arbitrer dan sulit untuk dibenarkan atau dipertahankan [2]. Ini adalah pendekatan yang tidak ilmiah dan alasan mengapa begitu banyak proyek melebihi anggaran [3]. Penambahan persentase menghasilkan prediksi satu titik dari perkiraan biaya yang menyiratkan tingkat kepastian yang tidak dapat dibenarkan [4]. Kelemahan pendekatan penjumlahan persentase tradisional untuk menghitung kontingensi telah

menyebabkan pencarian pendekatan yang lebih akurat [5]. Untuk mengisi kesenjangan konseptual ini, biaya perlu dihormati dan diperlakukan sama pentingnya. Dalam penelitian ini, pendekatan yang fleksibel dan rasional menggunakan metode simulasi Monte Carlo diterapkan untuk menetapkan estimasi biaya kontingensi proyek konstruksi jalan raya dari sudut pandang pemilik. metode simulasi Monte Carlo dapat mengkuantifikasi dampak dari risiko dan ketidakpastian yang umum terjadi dalam estimasi biaya proyek. Ada tiga tipe dasar kontingensi dalam proyek, yaitu toleransi dalam spesifikasi, mengambang dalam jadwal dan biaya dalam anggaran [6]. Tidak ada definisi standar kontingensi seperti yang diamati [7], Kontingensi mungkin adalah kata yang paling disalahpahami dan disalahgunakan dalam pelaksanaan proyek. Kontingensi dapat dan memang memiliki arti yang berbeda bagi orang yang berbeda. Didefinisikan sebagai perkiraan jumlah di atas biaya atau waktu yang diperlukan untuk mengurangi risiko melebihi tujuan proyek ke tingkat yang dapat diterima oleh organisasi. Penelitian terdahulu membedakan antara cadangan kontingensi, penyisihan dan pengeluaran. Tunjangan adalah untuk item tertentu, diketahui tetapi tidak ditentukan [8]. Cadangan biaya adalah ketentuan yang dipegang oleh pelaksana proyek untuk kemungkinan perubahan dalam ruang lingkup dan kualitas proyek [9]. Cadangan biaya juga diharapkan dapat memenuhi situasi luar biasa, risiko eksternal yang tidak terduga, misalnya fluktuasi nilai tukar mata uang dan *force majeure* [10].

Konsep kontingensi menggambarkan cadangan biaya atau perkiraan biaya untuk mengantisipasi kondisi yang tidak pasti yang dialokasikan untuk komponen pekerjaan berdasarkan pengalaman dan pelaksanaan proyek sebelumnya dan merupakan biaya integral dari perkiraan biaya proyek [11]. Biaya total suatu proyek sering dipecah menjadi dua bagian, yaitu biaya dasar dan biaya kontingensi [12]. Biaya dasar adalah biaya proyek yang menghilangkan kontingensi. Total biaya tidak hanya terkait dengan jumlah anggaran, tetapi termasuk biaya yang timbul dari variasi, perubahan di tengah periode waktu konstruksi, termasuk dampak dari perubahan harga tenaga kerja, barang awal, konsultan spesialis dan biaya yang dikeluarkan dalam kasus hukum seperti litigasi dan arbitrase. Ini menekankan relevansi biaya atau teknik estimasi yang lebih akurat pada tahap perencanaan proyek untuk memenuhi urgensi proyek atau kejadian tak terduga dari dana cadangan. **Gambar 1.** menunjukkan konsep biaya kontingensi.

Simulasi Monte Carlo sangat efektif digunakan untuk memodelkan prediksi biaya proyek dengan menggunakan bilangan acak dengan bantuan distribusi probabilitas yang dapat diketahui dan ditentukan, pengujian data yang sama

dilakukan secara berulang dengan menggunakan bilangan acak yang berbeda tetapi memiliki keseragaman sehingga hasil keluaran data bisa lebih akurat [13]. Analisis Monte Carlo adalah simulasi probabilitas yang digunakan untuk memahami dampak risiko dan ketidakpastian dari perspektif keuangan yang memperkirakan skenario terbaik dan skenario terburuk. Selama fase perencanaan anggaran proyek, teknik simulasi digunakan untuk memperkirakan nilai kontingensi proyek yang masuk akal berdasarkan paparan risiko yang telah ditentukan. Selama tahap konstruksi, teknik ini dapat digunakan untuk memantau potensi risiko yang telah diidentifikasi. Penilaian sebelumnya tentang kemungkinan dan potensi dampak biaya dapat diperbarui dengan informasi baru ini dan oleh karena itu evaluasi yang diperbarui dapat dilakukan sehingga keputusan yang konsisten dapat dicapai dan memberikan pandangan objektif kepada pemangku kepentingan tentang kepastian proyek sesuai anggaran. Nilai yang dipilih untuk pendekatan probabilitas kepercayaan dapat digunakan untuk menerapkan tingkat risiko dalam hal biaya dan menentukan *cost overrun* atau *underrun*. Secara teoritis, ada kemungkinan nol persen dari pembengkakan biaya jika teknik probabilitas kepercayaan ke-100 digunakan. Serupa dengan ini, ada peluang 50% untuk mencapai *cost underrun* jika teknik probabilitas kepercayaan ke-50 digunakan. Risiko yang wajar dari pembengkakan biaya dinyatakan dalam opsi ini sebagai 50%. Poulter [14] menyarankan menggunakan pendekatan probabilitas pengeluaran ke-90 yang berkorelasi dengan 10% risiko kelebihan biaya yang dapat ditoleransi. Dalam penelitian ini, pendekatan probabilitas pengeluaran ke-90 digunakan untuk kuantifikasi estimasi biaya kontingensi.



**Gambar 1.** Konsep Kontingensi

## 2. Metode

Jenis penelitian ini adalah deskriptif eksploratif yang bertujuan untuk menggambarkan keadaan suatu fenomena proyek konstruksi jalan raya dan tidak dimaksudkan untuk menguji hipotesis tertentu, hanya menggambarkan kondisi sebenarnya suatu risiko, dampak dan biaya kontingensi. Analisis kualitatif dipergunakan untuk menafsirkan, memahami realitas kompleks dari situasi proyek, implikasi dari data dan mengeksplorasi faktor risiko yang berbeda disesuaikan dengan obyek penelitian. Analisis kuantitatif dipergunakan untuk menjelaskan fenomena dengan mengumpulkan data numerik dengan pendekatan metode matematis berbasis analisis risiko.

Model dikembangkan dengan pendekatan yang rasional dan mengakomodasi penilaian subjektif berdasar simulasi Monte carlo seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2**. Pada fase *input* data deterministik, identifikasi variabel risiko diperoleh dari studi literatur, survei pendahuluan, penyebaran kuesioner dan wawancara dengan responden ahli (*project manager, site engineer manager dan operations manager*). Tidak semua variabel risiko yang diidentifikasi dipergunakan dalam analisis model, tetapi hanya variabel risiko yang relevan. Jumlah variabel risiko kemudian dikurangi untuk mempermudah proses wawancara dan aplikasi model yang didasarkan pada skor tengah (mean=2.50) dan tingkatan risiko diurutkan berdasarkan nilai statistik dari standar deviasi (SD). Variabel risiko yang relevan pada tahapan survei pendahuluan dijadikan data penyebaran survei utama terhadap 15 responden yang merupakan praktisi pada proyek konstruksi jalan raya. *Severity Index* (SI) dipergunakan untuk analisis semi kualitatif seperti yang ditunjukkan pada persamaan 1.

$$SI = \frac{\sum_{i=0}^4 a_i x_i}{4 \sum_{i=0}^4 x_i} (100\%) \tag{1}$$

dimana:

- ai = Konstanta penilaian
- xi = Probabilitas responden
- i = 0, 1, 2, 3, 4,.....n
- X0, X1, X2, X3, X4 adalah probabilitas responden
- a0=0, a1=1, a2=2, a3=3, a4=4
- X0 = Probabilitas responden “sangat rendah”
- X1 = Probabilitas responden “rendah”
- X2 = Probabilitas responden “ sedang/cukup”
- X3 = Probabilitas responden “tinggi”
- X4 = Probabilitas responden “sangat tinggi”

*Probability Impact Matrix* (PIM) seperti yang ditunjukkan **Gambar 3**. dipergunakan untuk memetakan tingkat risiko-rendah, moderat dan tinggi, yang telah dianalisis pada survei utama untuk mendapatkan risiko yang signifikan (*high risk*).

Cost Overruns					
Probability					
5	5	16	15	20	25
4	4	8	12	16	20
3	3	6	9	12	15
2	2	4	6	8	10
1	1	2	3	4	5
	1	2	3	4	5
	Impact				

Legend	
Skor	Risiko
1 - 5	Rendah
8 - 16	Moderat
15 - 25	Tinggi

**Gambar 3.** *Probability Impact Matrix*

Risiko hasil pemetaan PIM dikumpulkan ke dalam berbagai kategori risiko utama berdasarkan sifatnya. Untuk membuat jenis faktor risiko baru, faktor risiko serupa digabungkan atau dikelompokkan. *Subjective judgement* dari responden ahli dipergunakan untuk menilai bobot paparan risiko terhadap kemungkinan terjadinya *cost overruns* pada struktur rencana anggaran proyek. Pada fase simulasi model, asumsi *cost overruns* dianalisis dengan metode simulasi Monte Carlo, yaitu simulasi probabilitas yang digunakan untuk memperkirakan skenario terbaik dan terburuk untuk mengevaluasi dampak anggaran proyek dari risiko dan ketidakpastian dengan pendekatan distribusi probabilitas *triangular* dan iterasi model 1000x. Distribusi ini akan mencakup setiap situasi yang mungkin dihadapi proyek selama prosedur estimasi biaya aktual. Tingkat kepercayaan 0-100% dibuat oleh simulasi Monte Carlo menggunakan perkiraan biaya yang diproyeksikan. *Cumulative distribution function* (CDF) pada probabilitas 90% digunakan secara holistik untuk menentukan besaran estimasi biaya kontingensi. Pada fase hasil akhir, uji model dilakukan dengan pendekatan statistik seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.

$$\text{Absolute Error } (\epsilon) = \frac{3\sigma}{\sqrt{N}} \tag{2}$$

dimana:

- ε = Error
- σ = Standard deviasi dari nilai random
- N = Jumlah iterasi
- % (ε) = < 2 %

Model perlu divalidasi dengan menerapkan terhadap proyek sejenis yang pernah dikerjakan, hal ini untuk memberikan gambaran bahwa pendekatan model dapat diterima seperti yang ditunjukkan pada persamaan 3.

$$\% \text{ Error } (\epsilon) = \frac{\text{Prediksi CC} - \text{Aktual CC}}{\text{Aktual CC}} \times 100\% \tag{3}$$

dimana:

$\epsilon$	=	Error
CC	=	Biaya kontingensi
%	=	< 20 %
Error		

### 3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menggunakan studi kasus proyek yang sedang berjalan dengan durasi 3 tahun (2022-2025) yaitu pengalihan jalan raya simpang perdao dari perspektif pemilik proyek di provinsi Kalimantan Timur, Indonesia. Panjang jalan yang dialihkan 12,76 km dengan kondisi 93% panjang alinyemen melewati hutan dan daerah rawa yang tidak ada masyarakatnya, sedangkan sisanya 7% di ujung alinyemen jalan berinteraksi dengan aktivitas masyarakat. Anggaran untuk proyek diproyeksikan sebesar Rp. 362,9 Milyar termasuk biaya tenaga kerja. Anggaran dibagi menjadi 6 komponen utama seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Komponen Utama Anggaran Proyek

Aktivitas Proyek		Biaya (Rp)	Persentase Total Biaya
100	Persiapan	3.950.777.600	1,09%
200	Alinyemen	85.795.785.460	23,64%
300	Tanah dasar	97.093.114.160	26,75%
400	Drainase	24.781.936.760	6,83%
500	Aspal	150.284.542.520	41,40%
600	Minor	1.065.964.480	0,29%
<b>Total RAP</b>		<b>362.972.120.980</b>	<b>100%</b>

Tinjauan studi kasus mengidentifikasi 27 variabel risiko yang dikelompokkan sesuai pendekatan risiko utama. Survei pendahuluan dengan teknik wawancara dan penyebaran kuesioner dilakukan kepada responden ahli yang berpengalaman dalam konstruksi jalan raya, memiliki spesialisasi dalam manajemen konstruksi, memiliki pengalaman 20 tahun di berbagai proyek dan sejarah panjang proyek yang sukses. Survei ini untuk memastikan bahwa hanya variabel risiko yang relevan saja yang akan dipergunakan. *Cut off* terhadap variabel risiko didasarkan pada skor tengah (mean=2,50) sehingga tersisa 24 variabel risiko yang nilainya diatas skor tengah diasumsikan relevan seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Survei utama dilakukan dengan cara penyebaran kuesioner kepada 15 responden yang merupakan praktisi proyek. Formulir kuesioner survei utama berisikan data pribadi responden, seperti: nama, pendidikan, pengalaman, jabatan dan jumlah proyek yang pernah ditangani. Responden diharuskan mengisi formulir survei dengan basis penilaian skala *likert* dari sudut pandang pemilik terhadap 24 variabel risiko yang relevan. Formulir survei yang sudah diisi

kemudian dikembalikan ke peneliti dalam bentuk *soft* dokumen melalui email yang tercantum dalam formulir. Beberapa pertanyaan yang dianggap bias oleh responden, difasilitasi dalam bentuk pertanyaan terbuka dan bertanya secara langsung guna memastikan bahwa data yang diisikan adalah valid. Pengumpulan data dari responden menunjukkan semuanya kembali (100%), sehingga tidak ada data *error* atau dihilangkan dalam analisis semi kualitatif. Karakteristik responden pada survei utama seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 3**.

**Tabel 2.** Variabel Risiko

Variabel Risiko	Mean	SD	
R1	Status lahan	5,00	1,342
R2	Perijinan	4,67	0,894
R3	Kontraktual	4,67	0,894
R4	HSE	4,33	0,894
R5	Rework	4,33	0,894
R6	Metode kerja	4,00	1,342
R7	Kecelakaan kerja	4,00	0,548
R8	Standar desain	4,00	0,548
R9	Force majeure	3,67	0,894
R10	Perubahan scope	3,67	0,894
R11	Material	3,67	0,548
R12	Desain error	3,33	0,894
R13	Pemogokan	3,00	0,548
R14	Jadwal proyek	3,00	0,548
R15	Demo masyarakat	3,00	0,548
R16	AMDAL	3,00	1,342
R17	Pendanaan	3,00	0,548
R18	Pajak	3,00	0,548
R19	Lingkungan	3,00	0,548
R20	Dampak sosial	3,00	0,548
R21	Perubahan harga	3,00	0,548
R22	Jadwal proyek	2,67	0,894
R23	Intervensi	2,67	0,548
R24	Pandemi global	2,67	0,548
R25	Resesi global	<b>2,33</b>	0,894
R26	Inflasi	<b>2,33</b>	0,894
R27	Nilai tukar	<b>2,00</b>	1,342

Analisis semi kualitatif pada data survei utama menggunakan pendekatan matematis *Severity Index* dengan contoh perhitungan (SI) untuk "Status lahan" dihitung memakai persamaan 1.

$$SI = \frac{\sum_{i=0}^4 a_i x_i}{4 \sum_{i=0}^4 x_i} \times 100\%$$

$$SI = \frac{(0 \times 0) + (1 \times 0) + (2 \times 7) + (3 \times 6) + (4 \times 2)}{4 \times 15} \times 100\%$$

$$SI = \frac{(0) + (0) + (14) + (18) + (8)}{60} \times 100\%$$

$$SI = \frac{40}{60} \times 100\%$$

$$SI = 67\%$$

Perhitungan (SI) untuk variabel risiko yang lain mengikuti tahapan seperti yang sudah ditunjukkan diatas. **Tabel 4.** menunjukkan perhitungan (SI) untuk 24 variabel risiko terhadap penilaian probabilitas dan dampak terhadap total biaya.

**Tabel 3.** Karakteristik Responden

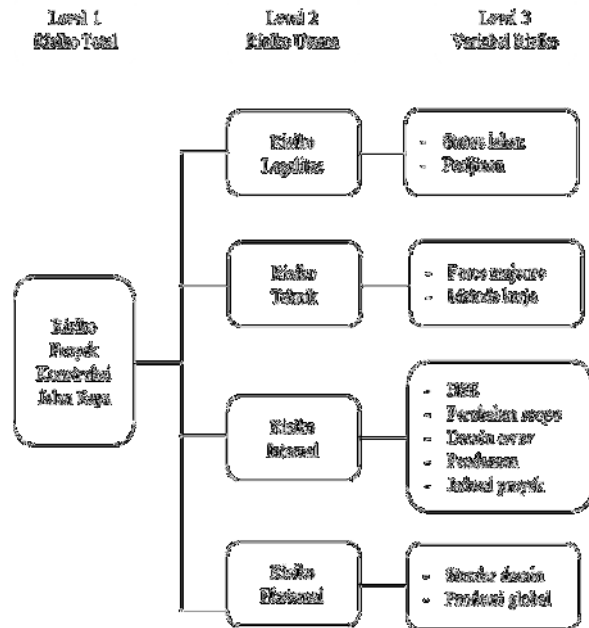
Responden	Jumlah	%
<b>Pendidikan Responden</b>		
S2	3	20%
S1	11	73%
D4	1	7%
<b>Pengalaman Responden</b>		
< 5 tahun	1	7%
6 – 10 tahun	5	33%
11 – 15 tahun	5	33%
16 – 20 tahun	1	7%
> 20 tahun	3	20%
<b>Jabatan Responden</b>		
Manager	1	7%
Superintendent	2	13%
Senior Engineer	8	53%
Engineer	4	27%
<b>Jumlah Proyek Sejenis Yang Ditangani</b>		
< 5 proyek	3	20%
6 – 10 proyek	4	27%
11 – 15 proyek	3	20%
16 – 20 proyek	2	13%
> 20 proyek	3	20%

Berdasarkan tingkat keparahannya dan pemetaan dalam (PMI) jumlah variabel risiko diturunkan dan akhirnya didapatkan 11 faktor risiko signifikan. Untuk memberikan gambaran yang jelas tentang hubungan antara elemen risiko signifikan dan kontingensi biaya proyek maka 11 faktor risiko hasil pemetaan kemudian dikategorikan dan dibangun ke dalam hierarki risiko proyek konstruksi jalan raya seperti yang digambarkan pada **Gambar 4.**

Analisis kuantitatif menggunakan pendekatan simulasi Monte Carlo dengan pemilihan distribusi *triangular*. Distribusi ini akan mencakup setiap situasi yang mungkin dihadapi proyek selama prosedur estimasi biaya aktual. Data *input* Monte Carlo yang meliputi nilai minimum, *most likely* dan maksimum akan memperkirakan biaya yang diharapkan dari setiap komponen aktivitas proyek yang didapatkan dari wawancara responden ahli. Nilai kenaikan biaya minimum untuk contoh aktivitas pekerjaan “persiapan” sebagai berikut:  $Min = 8,23\% \times RAP$

$$Min = 8,23\% \times Rp. 3.950.777.600$$

$$Min = Rp. 325.148.996$$



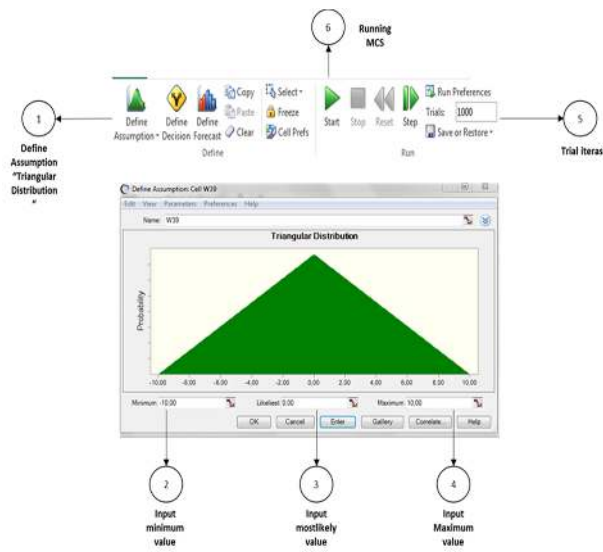
**Gambar 4.** Hierarki Risiko

Langkah yang sama untuk perhitungan asumsi biaya kontingensi *most likely* dan maksimum ditunjukkan pada **Tabel 5.** Asumsi biaya kontingensi pada komponen aktivitas proyek akan menjadi basis data input deterministik simulasi model dalam menghitung forecast value yang ditunjukkan pada **Gambar 5** dengan tahapan:

1. Menentukan distribusi *triangular*
2. *Input* minimum value
3. *Input* mostlikely value
4. *Input* maksimum value
5. *Input* iterasi (1000x)
6. *Running* simulasi

**Tabel 5.** Biaya Kontingensi

Aktivitas Proyek	Kenaikan Biaya (Rp)		
	Min	ML	Mak
Persiapan	325.148.996 (8,23%)	367.290.624 (9,30%)	438.141.236 (11,09%)
Alinyemen	6.983.776.936 (8,14%)	7.990.447.486 (9,31%)	8.691.113.067 (10,13%)
	Tanah Dasar	7.019.832.154 (7,23%)	9.023.186.743 (9,29%)
Drainase	1.866.079.838 (7,53%)	2.114.725.270 (8,53%)	2.433.586.190 (9,82%)
	Aspal	10.895.629.333 (7,25%)	11.982.687.524 (7,97%)
Minor	74.937.303 (7,03%)	84.779.708 (7,95%)	89.754.209 (8,42%)



Gambar 5. Urutan Perhitungan Forecast Value

Iterasi terhadap random number akan menghasilkan keluaran dalam bentuk *cumulative distribution function* (CDF) yang ditunjukkan pada Gambar 6. Sumbu horizontal (x) adalah domain yang diizinkan untuk fungsi probabilitas yang diberikan dan sumbu vertikal (y) adalah probabilitas. Nilai *forecast value* hasil *output* CDF menggambarkan tingkat probabilitas dari 0-100% dan hasil statistik yang ditunjukkan seperti pada Gambar 7.

Asumsi biaya kontingensi pada komponen aktivitas proyek akan menjadi basis data *input* deterministik simulasi model dalam menghitung *forecast value* yang ditunjukkan pada Gambar 5 dengan tahapan:

1. Menentukan distribusi *triangular*
2. *Input* minimum value
3. *Input* mostlikely value
4. *Input* maksimum value
5. *Input* iterasi (1000x)
6. *Running* simulasi

Pada probabilitas 90% didapatkan perkiraan nilai kontingensi sebesar Rp.32.359.369.710 atau sebesar 8,92% dari total rencana anggaran proyek. Uji matematis dilakukan untuk memastikan apakah model memenuhi persyaratan *error* menggunakan persamaan 2.

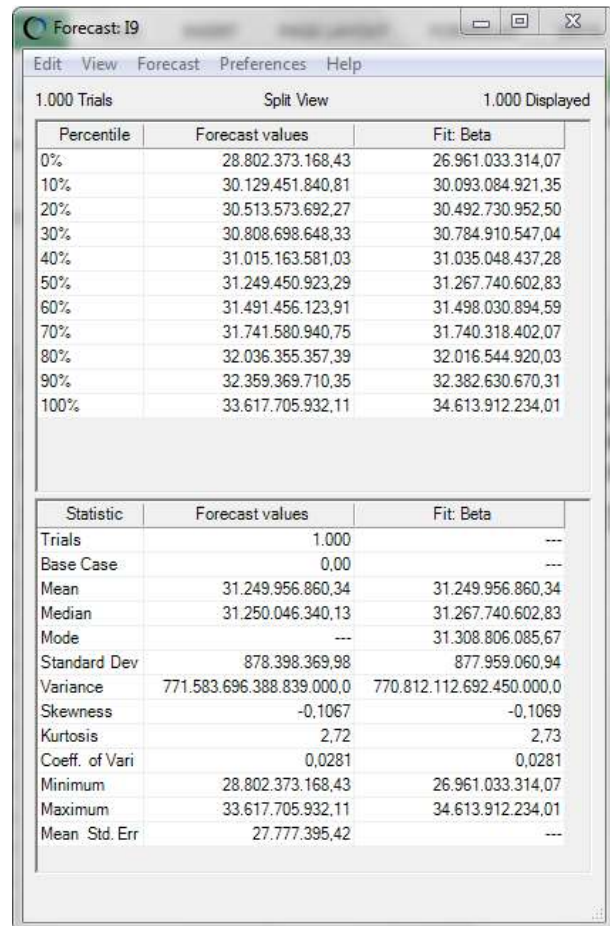
$$\text{Absolute Error } (\epsilon) = \frac{3\sigma}{\sqrt{N}}$$

$$\text{Absolute Error } (\epsilon) = \frac{3 * 878.398.369}{\sqrt{1000}}$$

$$\text{Absolute Error } (\epsilon) = \frac{2.635.195.107}{31,62}$$

$$\text{Absolute Error } (\epsilon) = \text{Rp } 83.339.503$$

$$\text{Relatif Error } (\epsilon) = \frac{\text{Absolute Error}}{\text{Mean}}$$



Gambar 7. Forecast Values

$$\text{Relatif Error } (\epsilon) = \frac{83.339.503}{31.249.956.860}$$

$$\text{Relatif Error } (\epsilon) = 0,0021$$

$$\% \text{ Error } (\epsilon) = \text{Relatif Error} * 100$$

$$\% \text{ Error } (\epsilon) = 0,0021 * 100$$

$$\% \text{ Error } (\epsilon) = 0,21\% < 2\% \dots \text{ok}$$

Uji validasi di implementasikan terhadap 7 proyek sejenis dengan status sudah selesai. Validasi *error* digunakan untuk membandingkan perbedaan antara prediksi dan aktual, didapatkan hasil seperti pada Tabel 6.



**Tabel 6.** Validasi

Parameter		No. Proyek		
		1	2	3
Biaya Kontingensi	Aktual	7,52	7,90	9,60
	Prediksi	8,89	8,37	9,05
<i>Error (%)</i>		18,22	5,95	-5,73
Parameter		No. Proyek		
		4	5	6
Biaya Kontingensi	Aktual	7,70	8,70	9,47
	Prediksi	8,90	9,03	8,36
<i>Error (%)</i>		15,58	3,79	-11,72
Parameter		No. Proyek		
		7		
Biaya Kontingensi	Aktual	9,90		
	Prediksi	8,38		
<i>Error (%)</i>		-15,35		

Hasil validasi menunjukkan hasil minimum *error* pada proyek nomor 3 dengan nilai 5,73% dan maksimum *error* pada proyek nomor 1 dengan nilai 18,22%. Dengan memperhatikan nilai *error* kurang dari 20% sehingga model bisa diterima.

#### 4. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa model akan lebih efektif diaplikasikan pada proyek konstruksi jalan raya dari perspektif pemilik pada situasi normal atau kondusif dan bukan pada situasi yang ketidakpastian risiko memberikan dampak *cost overrun* yang sulit untuk diprediksi seperti: adanya gangguan keamanan, peperangan dan resesi ekonomi.

Metode yang diusulkan mempertimbangkan penilaian subyektif, risiko analisis kualitatif dan risiko analisis kuantitatif dengan menggunakan simulasi Monte Carlo. Selain itu, aplikasi untuk proyek konstruksi jalan raya dieksekusi dengan pemilihan distribusi probabilitas *triangular* yang menyajikan nilai kontingensi sebagai dana cadangan untuk dialokasikan dalam proyek.

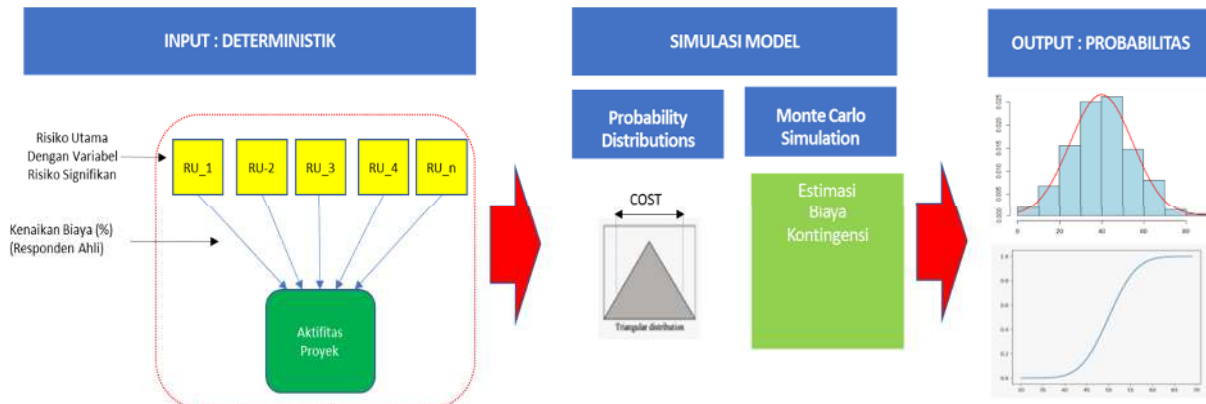
Aplikasi model menunjukkan hasil yang akurat, rasional dan logis karena dapat memperkirakan nilai kontingensi untuk menutupi semua kemungkinan risiko yang terjadi sebesar 8,92% dari total anggaran proyek dengan hasil uji kesalahan model sebesar 0,21% lebih kecil dari batas *error* dan validasi dibawah 20%.

Perkembangan terkini di bidang *artificial intelligence* memungkinkan pengembangan model yang lebih komprehensif dalam proses pengumpulan data dan analisis risiko sebagai kelanjutan dari penelitian ini sehingga estimasi biaya kontingensi pada proyek sejenis akan lebih sempurna.

#### Daftar Pustaka

- [1] S. Akintoye and M. J. MacLeod, "Risk analysis and management in construction," *International Journal of Project Management*, vol. 15, no. 1, pp. 31–38, 1997, doi: 10.1016/S0263-7863(96)00035-X.
- [2] S. Mak, J. Wong, and D. Picken, "The effect on contingency allowances of using risk analysis in capital cost estimating: A Hong Kong case study," *Construction Management and Economics*, vol. 16, no. 6, pp. 615–619, 1998, doi: 10.1080/014461998371917.
- [3] D. Baccarini, "Estimating Project Cost Contingency - A Model and Exploration of Research," 20th Annual ARCOM Conference, vol. 1, no. September, pp. 105–13, 2004.
- [4] A. Idrus, M. Fadhil Nuruddin, and M. A. Rohman, "Development of project cost contingency estimation model using risk analysis and fuzzy expert system," *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no. 3, pp. 1501–1508, 2011, doi: 10.1016/j.eswa.2010.07.061.
- [5] J. F. Al-Bahar and K. C. Crandall, "Systematic risk management approach for construction projects By Jamal F. Al-Bahar 1 and Keith C. Crandall, 2 Member, ASCE," *Engineering*, vol. 116, no. 3, pp. 533–546, 1991.
- [6] K. W. Chau, "The validity of the triangular distribution assumption in Monte Carlo simulation of construction costs: Empirical evidence from Hong Kong," *Construction Management and Economics*, vol. 13, no. 1, pp. 15–21, 1995, doi: 10.1080/01446199500000003.
- [7] P. Bakhshi and A. Touran, "An overview of budget contingency calculation methods in construction industry," *Procedia Engineering*, vol. 85, pp. 52–60, 2014, doi: 10.1016/j.proeng.2014.10.528.
- [8] J. I. Ortiz-González, E. Pellicer, and G. Howell, "Contingency management in construction projects: A survey of spanish contractors," 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Understanding and Improving Project Based Production, IGLC 2014, pp. 195–206, 2014.
- [9] S.-H. Jan and S. P. Ho, "Construction Project Buffer Management in Scheduling Planning and Control," *Proceedings of the 23rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, no. October 2006, 2017, doi: 10.22260/isarc2006/0158.
- [10] L. Para-González, C. Mascaraque-Ramírez, and A. E. Madrid, "Obtaining the budget contingency reserve through the monte carlo method: Study of a ferry

- construction project,” Brodogradnja, vol. 69, no. 3, pp. 79–95, 2018, doi: 10.21278/brod69305.
- [11] R. E. Adaurhere, I. Musonda, and C. S. Okoro, “Construction contingency determination: A review of processes and techniques,” International Conference on Construction in the 21st Century, pp. 1–11, 2019.
- [12] S. Theodoridis and S. Theodoridis, “Chapter 14 – Monte Carlo Methods,” Machine Learning, pp. 707–744, 2015.
- [13] B. A. Traynor and M. Mahmoodian, “Time and cost contingency management using Monte Carlo simulation,” Australian Journal of Civil Engineering, vol. 17, no. 1, pp. 11–18, 2019, doi: 10.1080/14488353.2019.1606499.
- [14] S.Poulter, “Monte Carlo Simulation in Environmental Risk Assessment--Science, Policy and Legal Issues,” RISK: Health, Safety & Environment (1990-2002), vol. 9, no. 1, p. 4, 1998.

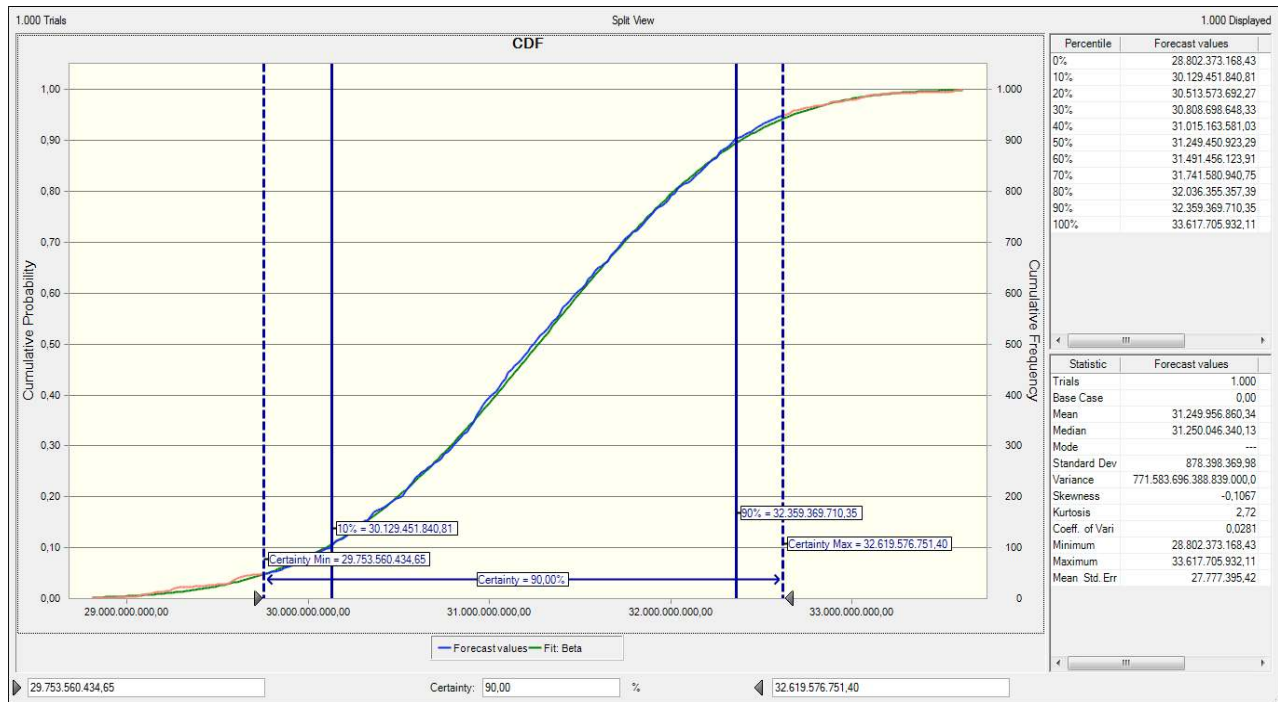


Gambar 2. Urutan Simulasi Dengan Monte Carlo

Tabel 4. Severity Index

Jenis Risiko	Penilaian Probabilitas (P)						Dampak Terhadap Total Biaya (I)					R (P,I)		
	SI					SI								
	SR	R	C	T	ST	SR	R	C	T	ST				
R1	Status lahan	0	0	7	6	2	67%	0	0	7	8	0	63%	T
R2	Perijinan	0	4	6	5	0	52%	0	2	3	9	1	65%	T
R3	Kegagalan kontraktual	0	10	3	2	0	37%	1	4	5	3	2	52%	C
R4	Regulasi HSE	0	0	6	9	0	65%	0	0	4	11	0	68%	T
R5	Rework	0	2	6	7	0	58%	0	3	6	6	0	55%	C
R6	Perubahan metode kerja	6	7	1	1	0	20%	0	1	2	9	3	73%	T
R7	Kecelakaan kerja	2	5	6	1	1	40%	0	4	9	1	1	48%	C
R8	Standar desain	0	5	4	6	0	52%	0	3	1	7	4	70%	T
R9	Force majeure	8	6	0	1	0	15%	0	2	1	7	5	75%	T
R10	Perubahan scope	0	4	9	2	0	47%	0	1	5	7	2	67%	T
R11	material	0	2	8	5	0	55%	0	2	8	5	0	55%	C
R12	Desain error	1	11	3	0	0	28%	0	0	4	10	1	70%	T
R13	Pemogokan karyawan	2	10	2	1	0	28%	1	0	8	6	0	57%	C
R14	Gagalnya komunikasi	0	11	1	3	0	37%	0	0	9	6	0	60%	C
R15	Demo kompensasi usaha	1	11	2	1	0	30%	0	3	9	3	0	50%	C
R16	AMDAL	0	5	9	1	0	43%	1	1	3	10	0	62%	C
R17	Pendanaan	0	0	12	2	1	57%	1	0	1	11	2	72%	T
R18	Pajak	1	11	2	1	0	30%	0	5	2	8	0	55%	C
R19	Dampak lingkungan	0	12	3	0	0	30%	0	4	2	9	0	58%	C
R20	Dampak sosial	0	3	10	1	1	50%	0	3	4	8	0	58%	C
R21	Perubahan harga satuan	0	6	9	0	0	40%	0	5	8	2	0	45%	C
R22	Jadwal proyek	1	7	5	2	0	38%	0	0	4	10	1	70%	T
R23	Intervensi pemerintah	1	5	8	0	1	42%	0	4	7	3	1	52%	C
R24	Pandemi global	6	4	4	0	1	27%	1	1	4	7	2	63%	T





Gambar 6. Cumulative Distribution Function

Halaman ini sengaja dikosongkan