

Manajemen risiko pekerjaan prasarana sarana dan utilitas umum (PSU) jalan menggunakan metode *severity index* dan *root cause analysis* berbasis Python

Cintya Viola Saruni^{1,*}, Fabian Johanes Manoppo², Marthin Dody J Sumayouw¹

¹Magister Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Sulawesi Utara, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Sulawesi Utara, Indonesia

*Corresponding authors: cintyasaruni021@student.unsrat.ac.id

Submitted: 13 January 2025, Revised: 3 May 2025, Accepted: 20 May 2025

ABSTRACT: Infrastructure, Facilities, and Public Utilities (PSU) are physical facilities that play a crucial role in creating a healthy, safe, and affordable residential environment. One of the main aspects of PSU is the construction of neighborhood roads in residential and settlement areas. Risk management is essential to ensuring project success by identifying and mitigating potential risks that may hinder PSU road construction. This study aims to analyze and manage risks in PSU road projects in North Sulawesi using the Severity Index (SI) and Root Cause Analysis (RCA) methods, implementing the analysis with Python, and developing mitigation strategies. Data were collected through interviews and questionnaires with contractors, Commitment Making Officials (PPK), field directors, and project supervisors. To ensure data reliability, each risk variable was tested for relevance before further analysis. The SI method was used to prioritize risks based on their impact, while the RCA method identified the root causes of dominant risks. Python was applied to automate the Severity Index analysis, facilitate the RCA 5 Whys process, and visualize data to enhance efficiency and accuracy. The SI analysis identified 11 dominant risks out of 28, covering natural, material and personnel, cost and time, and environmental risks. Key risks included unpredictable weather, design changes in the field, and project delays. The root causes included a lack of consideration for weather factors, insufficient technical personnel, and ineffective communication. The proposed mitigation strategies include developing contingency plans, increasing technical personnel, and improving coordination among stakeholders. This study helps PSU road construction users and service providers identify, understand, and respond to risks more effectively while also providing Python as a risk management tool to automate risk identification and analysis using the SI and RCA methods for future applications.

KEYWORDS: PSU; Python; RCA; risk; SI.

ABSTRAK: Pekerjaan Prasarana, Sarana, dan Utilitas Umum (PSU) merupakan fasilitas fisik yang berperan penting dalam menciptakan lingkungan perumahan yang sehat, aman, dan terjangkau. Salah satu aspek utama PSU adalah pembangunan jalan lingkungan di kawasan perumahan dan permukiman. Manajemen risiko penting dilaksanakan dalam memastikan keberhasilan proyek dengan mengidentifikasi serta memitigasi potensi risiko yang dapat menghambat kelancaran pekerjaan PSU jalan. Penelitian ini bertujuan menganalisis dan mengelola risiko proyek PSU jalan di Sulawesi Utara menggunakan metode Severity index (SI) dan Root Cause Analysis (RCA), mengimplementasikan analisis dengan Python, serta menghasilkan strategi mitigasi. Data dikumpulkan melalui wawancara dan kuesioner kepada kontraktor, PPK, direksi lapangan, dan pengawas proyek. Untuk memastikan keandalan data, setiap variabel risiko diuji relevansinya sebelum dianalisis lebih lanjut. Metode SI digunakan untuk memprioritaskan risiko berdasarkan dampaknya, sedangkan metode RCA mengidentifikasi akar penyebab risiko dominan. Python diterapkan untuk mengotomatisasi analisis Severity Index, wadah dalam proses RCA 5 whys, dan visualisasi data guna meningkatkan efisiensi dan akurasi. Hasil analisis SI mengidentifikasi 11 risiko dominan dari 28, mencakup risiko alamiah, material dan personil, biaya dan waktu, serta lingkungan. Beberapa risiko utama meliputi cuaca tidak menentu, perubahan desain di lapangan, dan keterlambatan pekerjaan. Akar penyebabnya mencakup kurangnya pertimbangan faktor cuaca, kekurangan personil teknis, dan komunikasi yang tidak efektif. Strategi mitigasi yang diusulkan meliputi penyusunan rencana kontinjensi, penambahan personil teknis, dan perbaikan koordinasi antar pihak. Penelitian ini membantu pengguna dan penyedia jasa konstruksi PSU jalan dalam mengidentifikasi, memahami, dan merespons risiko secara lebih efektif serta menyediakan Python sebagai alat bantu dalam manajemen risiko untuk mengotomatisasi identifikasi dan analisis risiko proyek dengan metode SI dan RCA yang dapat digunakan kedepannya.

KATA KUNCI: PSU; Python; RCA; risiko; SI.

1. PENDAHULUAN

Proyek pembangunan di Provinsi Sulawesi Utara, khususnya dalam pekerjaan Prasarana, Sarana, dan Utilitas Umum (PSU), sangat penting untuk mendukung terciptanya perumahan yang sehat, aman, dan terjangkau. Salah satu jenis pekerjaan PSU yang dilaksanakan adalah pembangunan jalan lingkungan yang tersebar di kabupaten dan kota di wilayah Sulawesi Utara. Pekerjaan ini hampir dilaksanakan setiap tahun oleh Pemerintah Provinsi Sulawesi Utara melalui Dinas Perumahan, Kawasan Permukiman, dan Pertanahan. Permukiman sebagai lingkungan tempat tinggal dengan unit perumahan, infrastruktur, dan fasilitas pendukung. PSU adalah komponen fisik penting untuk menciptakan perumahan yang sehat, aman, dan terjangkau (Pemerintah Republik Indonesia, 2011). Dalam setiap pelaksanaan proyek PSU jalan ini, berbagai risiko seringkali muncul, yang dapat berdampak pada jalannya proyek.

Risiko adalah kejadian tidak pasti yang dapat berdampak positif atau negatif pada tujuan proyek (Project Management Institute, 2021). Dalam proyek konstruksi, risiko memengaruhi biaya, waktu, dan mutu, seperti kurangnya tenaga kerja, rendahnya produktivitas, kenaikan harga material, dan keterlambatan jadwal (Situmorang et al., 2018). Risiko merupakan kombinasi probabilitas dan dampak yang memengaruhi efisiensi proyek (Sopiyah & Salimah, 2020). Faktor risiko yang muncul berpotensi menyebabkan kerugian dan menghambat kelancaran proyek (Ariana et al., 2023).

Manajemen risiko sangat penting dalam menjamin kelancaran dan keberhasilan sebuah proyek, terutama proyek infrastruktur. Manajemen risiko proyek meliputi perencanaan, identifikasi, analisis, respons, dan pemantauan risiko secara sistematis (Project Management Institute, 2017). Pentingnya manajemen risiko terletak pada pengendalian risiko dan pencegahan dampak negatif yang mengganggu proyek. Wedagama & Suryanti (2024) menekankan pentingnya manajemen risiko untuk mengurangi risiko dominan seperti teknis, lingkungan, dan proyek. Risiko dalam proyek PSU jalan di Sulawesi Utara dapat berupa masalah teknis, sumber daya, cuaca, dan banyak faktor lainnya yang dapat memengaruhi hasil akhir proyek.

Untuk mengelola risiko-risiko ini dengan lebih efektif, diperlukan suatu metode analisis risiko yang komprehensif. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah SI yang berguna untuk mengukur dan memprioritaskan risiko berdasarkan dampak potensialnya terhadap proyek. Metode SI ini memprioritaskan risiko signifikan untuk pengelolaan yang lebih efektif (Project Management Institute, 2021). Selain itu, RCA juga sangat penting untuk mengidentifikasi penyebab mendasar dari masalah yang terjadi, sehingga solusi yang lebih efektif dapat ditemukan. RCA membantu menelusuri faktor yang

memengaruhi kinerja, dengan akar penyebab sebagai faktor yang memicu akibat tak diinginkan (Widyastuti, 2014).

Seiring perkembangan teknologi, *Python* semakin populer dalam analisis data dan otomatisasi. Studi oleh (Wijaya et al., 2021) membuktikan efektivitasnya dalam perhitungan konstruksi, seperti estimasi jumlah bata, dengan hasil lebih cepat dan akurat dibandingkan metode manual. *Python* menawarkan berbagai pustaka yang memungkinkan analisis risiko proyek dilakukan dengan lebih cepat dan akurat. Dengan memanfaatkan *Python*, analisis risiko menggunakan metode *Severity Index* dan pelaksanaan RCA dapat diotomatisasi perhitungan nilai SI, meningkatkan efisiensi dan akurasi proses tersebut serta menyediakan wadah dalam proses RCA.

Penelitian terdahulu telah mengidentifikasi risiko dalam berbagai proyek konstruksi menggunakan metode seperti FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*), FTA (*Fault Tree Analysis*), *Severity Index*, dan RCA, tetapi masih dilakukan secara manual sehingga memerlukan waktu lebih lama dalam analisis. Bitty et al. (2024) mengkaji risiko pembangunan SPAM, (Umboh et al., 2021) menganalisis proyek konstruksi di Minahasa, (Sabir, 2021) dan (Situmorang et al., 2018) menerapkan *Severity Index* pada proyek jalan dan konstruksi, sementara (Rizki & Saputra, 2022) menggunakan *Grey FMEA* dan RCA untuk operasional PT Pertamina. Penelitian ini menghadirkan kebaruan dengan mengimplementasikan *Python* dalam manajemen risiko PSU jalan di Sulawesi Utara menggunakan SI dan RCA. Automasi ini mempercepat identifikasi risiko dan strategi mitigasi, menjadikannya lebih efisien dibandingkan metode manual sebelumnya.

Selain itu, hasil analisis dalam penelitian ini akan digunakan untuk menyusun strategi mitigasi risiko yang dapat diterapkan oleh pemerintah daerah dalam proyek PSU jalan. Strategi ini mencakup identifikasi risiko utama, evaluasi tingkat dampaknya, serta rekomendasi tindakan pencegahan dan penanggulangan. Implementasi strategi ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas perencanaan dan pengendalian proyek, meskipun masih terdapat tantangan seperti koordinasi antar pemangku kepentingan, serta kesiapan sumber daya manusia dalam menerapkan teknologi dan metode yang lebih sistematis.

Penelitian ini berfokus pada penerapan metode SI dan RCA untuk menganalisis risiko pada proyek PSU jalan di Sulawesi Utara. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengembangkan aplikasi berbasis *Python* yang dapat membantu dalam proses analisis risiko, sehingga dapat mempercepat pengelolaan risiko pada proyek-proyek serupa di masa depan. Implementasi *Python* dalam analisis risiko ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap efektivitas dan keberhasilan proyek PSU jalan di Sulawesi Utara.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan pada beberapa proyek PSU jalan di Sulawesi Utara, seperti Desa Kolongan, Kelurahan Kamasi, Kelurahan Sagerat, Kelurahan Pangolombian, Kelurahan Wewelen, Desa Kawangoan Baru, Desa Pakuure Tiga, dan Desa Manembo. Sampel yang dipilih mencakup beberapa kabupaten/kota di Sulawesi Utara dan memiliki karakteristik yang serupa, yaitu pekerjaan jalan lingkungan dengan perkerasan *paving block*, sehingga hasil penelitian dapat lebih terfokus dan relevan dalam menganalisis risiko pada jenis proyek yang sama. Penelitian ini berfokus pada analisis risiko dalam pekerjaan jalan lingkungan dengan perkerasan *paving block* di beberapa lokasi di Sulawesi Utara. Ruang lingkup mencakup identifikasi risiko utama, analisis tingkat dampak, serta strategi mitigasi yang dapat diterapkan oleh pemerintah daerah.

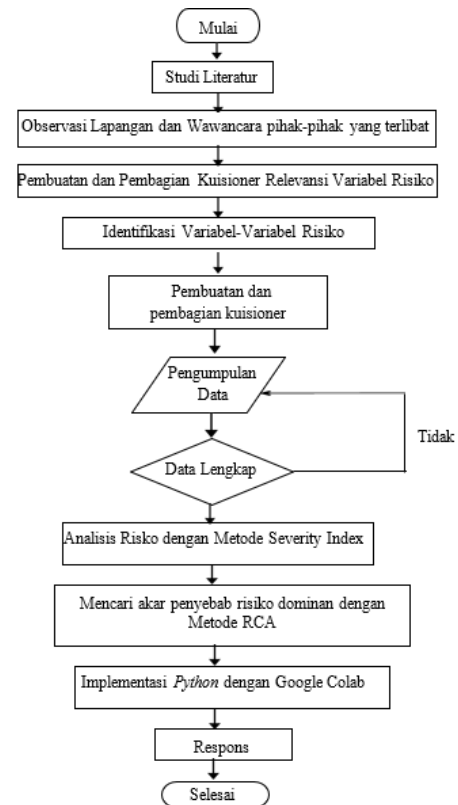
Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui wawancara dan kuesioner yang melibatkan pihak-pihak terkait, seperti kontraktor, PPK, direksi lapangan, dan pengawas lapangan, untuk mengidentifikasi variabel risiko dalam proyek PSU jalan, mengukur tingkat keparahan risiko, serta menelusuri akar penyebab dari risiko dominan melalui wawancara mendalam. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari dokumen proyek, laporan pekerjaan, serta referensi dari studi terdahulu yang berkaitan dengan manajemen risiko proyek jalan.

Teknik pengambilan sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah *purposive sampling*, yaitu pemilihan sampel secara sengaja berdasarkan kriteria tertentu. Teknik ini dipilih karena penelitian ini membutuhkan responden yang memiliki pengalaman dan pemahaman mendalam terhadap proyek PSU jalan, sehingga data yang diperoleh lebih relevan dan dapat mencerminkan kondisi risiko di lapangan.

Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa tahap. Wawancara awal dilakukan untuk mengidentifikasi variabel risiko berdasarkan pengalaman pihak-pihak yang terlibat dalam proyek. Data yang diperoleh dari wawancara ini digunakan untuk menyusun kuesioner pendahuluan, yang bertujuan menguji relevansi variabel risiko sebelum digunakan dalam kuesioner utama. Kuesioner utama kemudian disebar untuk mengukur tingkat keparahan masing-masing risiko pada setiap aspek proyek menggunakan metode SI. Setelah itu, dilakukan wawancara mendalam terhadap risiko dominan yang telah diidentifikasi, guna memahami akar penyebabnya dengan metode RCA.

Data awal yang telah dianalisis digunakan untuk mengembangkan alat berbasis *Python* yang secara otomatis menganalisis risiko menggunakan metode *Severity Index* (SI) dan *Root Cause Analysis* (RCA). Setelah hasil analisis diperoleh, dilakukan respons risiko guna menentukan strategi mitigasi yang tepat

terhadap risiko-risiko dominan yang ditemukan. Strategi mitigasi ini akan menjadi rekomendasi bagi pelaksanaan proyek PSU jalan di tahun-tahun mendatang agar pengelolaan risiko dapat dilakukan dengan lebih sistematis dan efisien. Tahapan penelitian dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan penelitian

Berikut teknik serta langkah yang dilakukan untuk memperoleh data:

1. Variabel-variabel risiko disusun berdasarkan wawancara kepada pihak-pihak yang terlibat dalam pekerjaan PSU jalan yaitu Kontraktor, PPK, Direksi Lapangan, dan Pengawas Lapangan serta berdasarkan jurnal-jurnal dalam penelitian sebelumnya.
2. Setelah peneliti membuat daftar variable-variabel risiko yang mungkin terjadi, selanjutnya dibagikan kuesioner untuk menguji relevansi dari variabel-variabel risiko kepada responden.
3. Setelah didapat hasil uji relevansi, peneliti membuat kuesioner utama terkait kemungkinan (*probability*) dan dampak (*impact*) terhadap risiko-risiko dan dibagikan kepada responden.
4. Menganalisis data risiko berdasarkan hasil kuesioner dengan menggunakan metode *severity index*, sehingga mendapatkan hasil persentase *severity index*, kategori, skala dari kemungkinan dan dampak.
5. Menghitung kategori risiko ($P \times I$) untuk mendapatkan risiko dominan, dan penerimaan risiko.

6. Risiko dominan akan dicari akar penyebab risiko dengan menggunakan metode RCA.
7. Membuat alat bantu manajemen risiko berbasis bahasa pemrograman *Python* yang dibuat pada *Google Colaboratory (Google Colab)* dengan metode *Severity index* dan RCA.
8. Membandingkan hasil dengan alat bantu berbasis bahasa pemrograman *Python* dengan hasil secara analitis.
9. Melakukan respons risiko berdasarkan hasil analisis risiko dominan yang didapatkan.

2.1 Proses Manajemen Risiko

1. Identifikasi Risiko
Proses identifikasi risiko melibatkan pengumpulan informasi dari wawancara, *brainstorming*, analisis dokumen, dan studi lapangan (Project Management Institute, 2021) Risiko dapat berasal dari faktor internal atau eksternal. Wawancara untuk mengumpulkan informasi dari pemangku kepentingan.
2. Analisis Risiko
Risiko dianalisis untuk menilai kemungkinan dan dampaknya (Kerzner, 2017). Analisis Kualitatif yaitu menilai dampak dan kemungkinan untuk menetapkan prioritas.
3. Evaluasi dan Prioritas Risiko
Risiko dievaluasi dan diprioritaskan berdasarkan dampak dan kemungkinan (British Standards Institution, 2018). Fokus diberikan pada risiko dengan dampak tinggi dan kemungkinan besar.
4. Perencanaan Respons Risiko
Strategi respons yang dikembangkan (Soeharto, 1999) meliputi: menghindari risiko, mengurangi risiko, mentransfer risiko dan menerima Risiko.
5. Pemantauan dan Pengendalian Risiko
Pemantauan risiko dilakukan untuk menyesuaikan strategi sesuai perubahan yang terjadi, dengan teknik seperti audit risiko dan tinjauan risiko (Hillson & Simon, 2020).

2.2 Metode dan Analisis dalam Manajemen Risiko

1. Analisis SWOT
Menganalisis kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman untuk merancang strategi pengelolaan risiko (Hill & Jones, 2008).
2. Analisis Probabilitas dan Dampak
Menilai kemungkinan dan dampak risiko untuk menentukan prioritas dalam manajemen proyek (Project Management Institute, 2013).
3. Analisis *Fault Tree*
Menyusun hubungan sebab-akibat risiko secara grafis untuk memahami dampaknya terhadap sistem (Bitty et al., 2024).
4. Analisis *What-If*
Evaluasi potensi kejadian yang salah dan dampaknya melalui curah pendapat (Sudrajat et al., 2017).
5. Analisis HAZOP
Mengidentifikasi bahaya dan masalah operasional, terutama dalam industri proses (Sulanjari, 2016).

6. Analisis *Cost-Benefit*
Membandingkan biaya dan manfaat pengendalian risiko untuk keputusan yang lebih informatif (Boardman et al., 2006).
7. Metode *Monte Carlo*
Simulasi untuk mengidentifikasi dampak risiko melalui distribusi probabilitas (Project Management Institute, 2021).
8. Analisis RCA
Menemukan akar penyebab masalah atau risiko menggunakan diagram *fishbone* dan *5 Whys* (Rizki & Saputra, 2022).
9. Analisis Risiko Kualitatif dan Kuantitatif
Analisis kualitatif mengevaluasi tingkat risiko, termasuk *Severity Index (SI)*, menggunakan perhitungan numerik untuk mengukur dampak risiko berdasarkan faktor probabilitas dan tingkat keparahan, sehingga memberikan hasil yang lebih objektif dalam menentukan prioritas risiko sedangkan kuantitatif menggunakan data numerik untuk mengukur dampak risiko (Project Management Institute, 2021).
Penelitian ini menggunakan SI untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan risiko pada proyek PSU jalan di Sulawesi Utara. Selanjutnya, RCA dengan teknik *5 Whys* digunakan untuk menemukan akar penyebab risiko dan merancang strategi mitigasi. Kombinasi SI dan RCA memberikan analisis komprehensif guna mendukung pengelolaan risiko yang lebih efektif.

2.3 Analisis SI

Dalam praktiknya, SI sering digunakan untuk mengevaluasi risiko berdasarkan kriteria seperti dampak finansial, jadwal, dan mutu proyek. Metode ini memungkinkan perbandingan antar risiko dan penentuan prioritas dalam pengelolaan risiko (Hillson & Simon, 2020). SI juga berguna dalam mengidentifikasi dan memprioritaskan risiko pada proyek pembangunan gedung, dengan tujuan mengurangi dampak negatif terhadap kelancaran proyek (Rizki & Saputra, 2022). Metode SI merupakan gabungan antara penilaian probabilitas dan dampak risiko terhadap aspek waktu dan biaya dalam sebuah proyek. Rumus perhitungan SI pada Persamaan 1.

$$SI = \frac{\sum a_i \times x_i}{4 \sum x_i} (100) \quad (1)$$

dimana a_i adalah konstanta untuk setiap kategori risiko, sedangkan x_i merupakan frekuensi responden yang mengidentifikasi tingkat kejadiannya dengan nilai $i = 0, 1, 2, 3, 4, \dots, n$. Nilai a_i biasanya ditentukan berdasarkan skala penilaian yang digunakan dalam survei, sedangkan x_i diperoleh dari hasil pengumpulan data responden terhadap risiko yang dianalisis.

Dengan:

- | | |
|-----------|--|
| $a_0 = 0$ | x_0 = untuk jawaban Sangat Jarang (SJ) |
| $a_1 = 1$ | x_1 = untuk jawaban Jarang (J) |
| $a_2 = 2$ | x_2 = untuk jawaban Cukup (C) |
| $a_3 = 3$ | x_3 = untuk jawaban Sering (S) |
| $a_4 = 4$ | x_4 = untuk jawaban Sangat Sering (SS) |

Setelah nilai SI dihitung, hasilnya akan dikonversi dalam skala Penilaian Probabilitas dan Dampak menurut (Majid & McCaffer, 1997) sebagai berikut:

Sangat Jarang/Rendah (SJ/SR)	$= 0.00 \leq SI \leq 12.5$
Jarang/Rendah (J/R)	$= 12.5 \leq SI \leq 37.5$
Cukup/Sedang (C/S)	$= 37.5 \leq SI \leq 62.5$
Sering/Tinggi (S/T)	$= 62.5 \leq SI \leq 87.5$
Sangat Sering/Tinggi (SS/ST)	$= 87.5 \leq SI \leq 100$

Kategori risiko ini akan dikonversikan ke dalam bentuk angka untuk memudahkan perhitungan lebih lanjut. Menurut (Project Management Institute, 2013) kategori risiko dapat diubah menjadi angka sebagai berikut:

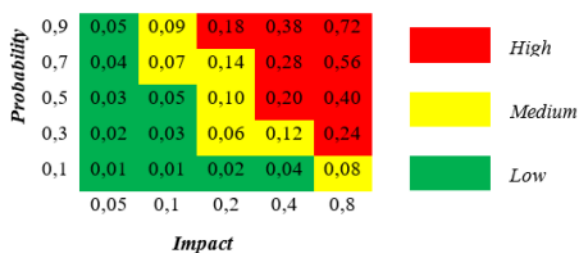
Probabilitas (*probability/P*):

Sangat Jarang (SJ)	= 0.1
Jarang (J)	= 0.3
Cukup (C)	= 0.5
Sering (S)	= 0.7
Sangat Sering (SS)	= 0.9

Dampak (*impact/I*):

Sangat Rendah (SR)	= 0.05
Rendah (R)	= 0.1
Sedang (S)	= 0.2
Tinggi (T)	= 0.4
Sangat Tinggi (ST)	= 0.8

Setelah kategori risiko dikonversi ke dalam angka, analisis risiko dapat dilakukan dengan mengalikan probabilitas dan dampak (PxI). Gambar 2 menggambarkan bagaimana kombinasi antara probabilitas dan dampak menghasilkan tingkat risiko yang berbeda. Dalam matriks probabilitas dan dampak, zona hijau (*low risk*) menunjukkan risiko rendah yang cukup dipantau, zona kuning (*medium risk*) memerlukan mitigasi, dan zona merah (*high risk*) butuh respons cepat untuk mencegah gangguan proyek.



Gambar 2. Matriks probabilitas dan dampak

2.4 Analisis RCA

RCA adalah pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi peristiwa masa lalu dengan tujuan meningkatkan kinerja (Doggett, 2005). RCA mempermudah analisis perbaikan kinerja dengan menelusuri faktor-faktor yang mempengaruhi hasil, dan mengidentifikasi faktor atau kondisi yang berkontribusi terhadap akibat yang tidak diinginkan (Widyastuti, 2014). Metode ini penting untuk memahami "apa yang terjadi" dengan pendekatan kualitatif yang didukung oleh argumen logis dan interpretasi fenomena (Wibowo et al., 2018) Metode 5-Whys adalah teknik sederhana dalam RCA yang mengajukan serangkaian pertanyaan "Mengapa?" untuk

menggali akar penyebab masalah seperti pada Gambar 3. Umumnya, minimal lima pertanyaan "Mengapa?" diajukan hingga penyebab utama teridentifikasi.



Gambar 3. RCA 5 Whys

2.5 Python

Python, yang dikembangkan oleh Guido van Rossum pada tahun 1991, adalah bahasa pemrograman yang digunakan dalam berbagai bidang, seperti pengembangan web, pembuatan aplikasi perangkat lunak, dan analisis data besar. Keunggulan *Python* terletak pada sintaksis yang sederhana, memungkinkan pengembangan yang cepat dan prototipe yang efisien. *Python* juga mendukung berbagai platform seperti *Windows*, *macOS*, dan *Linux* tanpa perubahan signifikan pada kode.

Dalam pemrograman *Python* menurut (Wijaya et al., 2021), *statement* adalah perintah yang dijalankan, dan *string* adalah kumpulan karakter dalam tanda petik. Variabel digunakan untuk menyimpan nilai dan harus dimulai dengan huruf atau garis bawah, tidak boleh menggunakan kata kunci *Python*. Tipe data yang didukung meliputi angka, teks, dan *boolean*. *Python* memiliki berbagai operator, seperti operator aritmatika, perbandingan, penugasan, logika, *bitwise*, dan *ternary*.

Python mendukung struktur percabangan seperti *if*, *if/else*, dan *if/elif/else*, serta perulangan dengan *for* dan *while*. Bahasa ini juga sering digunakan dalam analisis data dan pemodelan matematis, dengan pustaka seperti *Pandas*, *NumPy*, dan *SciPy* untuk mengelola dan menganalisis data besar. Kemampuan lintas platform membuat *Python* ideal untuk pengembangan aplikasi yang dapat dijalankan di berbagai sistem operasi.

2.6 Profil responden

Profil Responden penelitian ini terdiri dari Kontraktor, PPK, Direksi Lapangan, dan Pengawas lapangan pada objek penelitian pekerjaan PSU Jalan di Sulawesi Utara seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Profil responden

No.	Pihak Responden	Jumlah Responden (orang)
1.	Kontraktor	7
2.	PPK	6
3.	Direksi lapangan	8
4.	Pengawas lapangan	8
	Jumlah	29

2.7 Variabel Risiko

Daftar variabel-variabel risiko berdasarkan hasil wawancara kepada responden dan berdasarkan literatur penelitian serupa sebelumnya.

Pada Tabel 2 merupakan hasil identifikasi terdapat 28 variabel risiko yang dikelompokkan terdiri dari risiko alamiah, risiko material dan personil, risiko biaya dan waktu, risiko lingkungan, dan risiko pelaksanaan proyek.

Tabel 2. Variabel risiko

Kode Risiko	Variabel Risiko
A.	Risiko alamiah
A1	Cuaca yang tidak menentu (hujan)
B	Risiko material dan personil
B1	Kenaikan harga material
B2	Kerusakan material
B3	Mutu material yang tidak sesuai
B4	Volume material yang dikirim tidak tepat
B5	Pekerja yang tidak hadir dengan berbagai alasan
B6	Pekerja yang tidak terampil
B7	Kurangnya personil pengawas lapangan
B8	Kurangnya personil direksi lapangan
B9	Kurangnya kompetensi pengawas lapangan
B10	Kurangnya kompetensi direksi lapangan
C	Risiko biaya dan waktu
C1	Pelaksanaan Pekerjaan terlambat mulai
C2	Keterlambatan pembayaran kepada sub kontraktor
C3	Kurangnya anggaran monitoring dan evaluasi
C4	Kurangnya modal
C5	Keterlambatan dari jadwal pekerjaan
D	Risiko lingkungan
D1	Lokasi pekerjaan yang jauh
D2	Sulitnya akses mobilisasi alat dan material ke lokasi pekerjaan
D3	Lokasi pekerjaan berada diantara batas tanah pribadi dan pemerintah
D4	Masyarakat yang tidak terlibat memelihara pekerjaan proyek
D5	Kurangnya koordiansi dengan Pemerintah Kelurahan/Desa setempat
E	Risiko proyek
E1	Kurangnya pengawasan pekerjaan
E2	Pekerjaan tidak sesuai gambar rencana
E3	Adanya perubahan desain di lapangan
E4	Metode pelaksanaan yang salah
E5	Mutu pekerjaan tidak sesuai spesifikasi
E6	Kurangnya koordinasi kontraktor dengan PPK/direksi/pengawas selama pelaksanaan pekerjaan
E7	Kesalahan asumsi pada tahap perencanaan

28 risiko ini yang menjadi acuan kuesioner awal yang didistribusikan kepada responden untuk melakukan uji relevansi terhadap variabel-variabel risiko yang telah diidentifikasi. Tujuan dari uji relevansi adalah untuk memastikan, memperjelas, serta

memahami tingkat relevansi variabel risiko yang dihasilkan dari tinjauan literatur dan wawancara terhadap proyek yang diteliti. Survei awal ini memberikan gambaran mengenai relevansi variabel risiko berdasarkan pendapat responden. Peneliti menggunakan skala *Guttman* dalam pengujian relevansi, dengan meminta responden untuk memberikan pernyataan setuju atau tidak setuju terhadap kemungkinan risiko yang berhubungan dengan proyek tersebut.

2.8 Hasil Uji Relevansi Variabel Risiko

Uji relevansi dalam konteks ini bertujuan untuk memastikan bahwa variabel-variabel risiko yang digunakan dalam penelitian benar-benar sesuai dan signifikan terhadap proyek PSU jalan. Metode yang digunakan adalah skala *Guttman*, yang membantu menentukan apakah suatu variabel risiko diterima atau tidak berdasarkan hasil survei responden. Setelah dilakukan uji relevansi terhadap variabel-variabel risiko dengan skala *Guttman* berdasarkan hasil survei, maka teridentifikasi risiko-risiko pada pekerjaan PSU Jalan yang relevan seperti pada Tabel 3. Terdapat 12 risiko pada pekerjaan PSU Jalan pada objek yang diteliti. Hasil identifikasi risiko ini yang dipakai untuk survei utama dalam menganalisa risiko lebih mendalam.

Terdapat 12 risiko pada pekerjaan PSU Jalan pada objek yang diteliti. Hasil identifikasi risiko ini yang dipakai untuk survei utama dalam menganalisa risiko lebih mendalam.

Tabel 3. Hasil identifikasi risiko

Kode Risiko	Variabel Risiko
A.	Risiko alamiah
A1	Cuaca yang tidak menentu (hujan)
B	Risiko material dan personil
B1	Kenaikan harga material
B2	Kerusakan material
B3	Mutu material yang tidak sesuai
B5	Pekerja yang tidak hadir dengan berbagai alasan
B6	Pekerja yang tidak terampil
C	Risiko biaya dan waktu
C1	Pelaksanaan pekerjaan terlambat mulai
C5	Keterlambatan dari jadwal pekerjaan
D	Risiko lingkungan
D2	Sulitnya akses mobilisasi alat dan material ke lokasi pekerjaan
D3	Lokasi pekerjaan berada diantara batas tanah pribadi dan pemerintah
E	Risiko proyek
E2	Pekerjaan tidak sesuai gambar rencana
E3	Adanya perubahan desain di lapangan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Analisa Risiko dengan Metode *Severity Index*

Tabel 4. Hasil penilaian probabilitas variabel risiko dengan SI

Kode risiko	Probabilitas					Si (%)	Kategori	Skala
	SJ	J	C	S	SS			
A.								
A1		14	9	4	2	44.83	Cukup (C)	0.5
B								
B1	6	11	11	1		31.03	Jarang (J)	0.3
B2	3	19	2	5		32.76	Jarang (J)	0.3
B3	9	11	4	5		29.31	Jarang (J)	0.3
B5	7	11	10	1		29.31	Jarang (J)	0.3
B6	7	16	3	1	2	28.45	Jarang (J)	0.3
C								
C1	7	11	4	5	2	36.21	Jarang (J)	0.3
C5	6	14	6	3		30.17	Jarang (J)	0.3
D								
D2	6	11	9	2	1	33.62	Jarang (J)	0.3
D3	4	15	6	3	1	34.48	Jarang (J)	0.3
E								
E2	6	15	4	4		30.17	Jarang (J)	0.3
E3	5	12	8	4		34.48	Jarang (J)	0.3

Tabel 5. Hasil kuesioner utama terhadap dampak risiko

Kode risiko	Dampak					Si (%)	Kategori	Skala
	SR	R	S	T	ST			
A.								
A1		6	17	5	1	50.86	Sedang (S)	0.2
B								
B1	5	10	12	1	1	35.34	Rendah (R)	0.1
B2	1	11	10	1	6	50.00	Sedang (S)	0.2
B3	6	5	8	7	3	46.55	Sedang (S)	0.2
B5	3	8	11	6	1	44.83	Sedang (S)	0.2
B6	3	11	5	8	2	45.69	Sedang (S)	0.2
C								
C1	4	4	11	9	1	49.14	Sedang (S)	0.2
C5	7	7	6	8	1	40.52	Sedang (S)	0.2
D								
D2	3	9	13	2	2	42.24	Sedang (S)	0.2
D3	3	14	6	3	3	40.52	Sedang (S)	0.2
E								
E2	3	6	12	6	2	48.28	Sedang (S)	0.2
E3	3	8	13	4	1	43.10	Sedang (S)	0.2

Proses analisis risiko dimulai dengan mengumpulkan data dari survei utama, di mana responden menilai setiap risiko berdasarkan skala tertentu, mencakup tingkat kemungkinan terjadinya risiko (probabilitas) dan besarnya pengaruh risiko terhadap proyek (dampak).

Data tersebut dianalisis menggunakan metode SI, yang mengintegrasikan penilaian probabilitas dan dampak ke dalam satu nilai kuantitatif untuk memberikan gambaran tingkat risiko secara akurat dapat dilihat pada Tabel 4 untuk penilaian SI terhadap probabilitas dan Tabel 5 untuk hasil penilaian SI terhadap dampak.

Hasil kuesioner dari kemungkinan (probabilitas) dan dampak (*impact*) pada Tabel 4 dan Tabel 5 menunjukkan risiko yang kemungkinannya cukup dan jarang, untuk dampak risiko rendah dan sedang.

Tabel 6. Perhitungan probabilitas x dampak risiko

Kode Risiko	P	I	P x I	Kategori
A.				
A1	0.5	0.2	0.1	<i>Medium</i>
B				
B1	0.3	0.1	0.03	<i>Low</i>
B2	0.3	0.2	0.06	<i>Medium</i>
B3	0.3	0.2	0.06	<i>Medium</i>
B5	0.3	0.2	0.06	<i>Medium</i>
B6	0.3	0.2	0.06	<i>Medium</i>
C				
C1	0.3	0.2	0.06	<i>Medium</i>
C5	0.3	0.2	0.06	<i>Medium</i>
D				
D2	0.3	0.2	0.06	<i>Medium</i>
D3	0.3	0.2	0.06	<i>Medium</i>
E				
E2	0.3	0.2	0.06	<i>Medium</i>
E3	0.3	0.2	0.06	<i>Medium</i>

Tabel 6 menunjukkan hasil probabilitas x dampak dimana risiko-risiko yang ada merupakan risiko berkategori rendah (*low*) dan sedang (*medium*) sesuai dengan matriks probabilitas x dampak risiko pada Gambar 1. Dalam analisa risiko, terdapat beberapa risiko dominan yang perlu diperhatikan dengan cermat. Risiko-risiko ini lebih berpotensi untuk berdampak negatif pada pekerjaan PSU Jalan. Berdasarkan hasil dari Tabel 7, terdapat 11 risiko PSU Jalan yang dominan berkategori medium (sedang). Risiko-risiko ini diprioritaskan untuk dicari akar permasalahannya dengan metode RCA jenis 5 *Whys* agar dapat diketahui sehingga menghasilkan respons risiko yang lebih efektif sebagai upaya perbaikan dan pencegahan risiko-risiko tersebut pada pekerjaan PSU Jalan di tahun mendatang.

Tabel 7. Risiko-risiko dominan

Kode risiko	Variabel risiko	Kategori
A1	Cuaca yang tidak menentu (Hujan)	<i>Medium</i>
B2	Kerusakan material	<i>Medium</i>
B3	Mutu material yang tidak sesuai	<i>Medium</i>
B5	Pekerja yang tidak hadir dengan berbagai alasan	<i>Medium</i>
B6	Pekerja yang tidak terampil	<i>Medium</i>
C1	Pelaksanaan Pekerjaan terlambat mulai	<i>Medium</i>
C5	Keterlambatan dari jadwal pekerjaan	<i>Medium</i>
D2	Sulitnya akses mobilisasi alat dan material ke lokasi pekerjaan	<i>Medium</i>
D3	Lokasi pekerjaan berada diantara batas tanah pribadi dan pemerintah	<i>Medium</i>
E2	Pekerjaan tidak sesuai gambar rencana	<i>Medium</i>
E3	Adanya perubahan desain di lapangan	<i>Medium</i>

3.2 Akar Penyebab Risiko dengan metode RCA 5 Whys

Metode 5 Whys adalah teknik paling sederhana untuk analisis akar penyebab yang terstruktur dalam RCA. Teknik ini menggunakan serangkaian pertanyaan yang diajukan untuk menggali hubungan penyebab di balik suatu masalah. Pada tahap ini, terus mengajukan pertanyaan "Mengapa?" hingga tercapai kesimpulan yang relevan. Hasil dari Analisa dengan RCA 5 Whys dapat dilihat pada Tabel 8.

Akar penyebab risiko menunjukkan bahwa sebagian besar permasalahan terjadi akibat kurangnya perencanaan, komunikasi, serta pengawasan dalam proyek. Misalnya, keterlambatan pekerjaan sering kali disebabkan oleh kurangnya koordinasi antar pihak terkait dan ketidaksiapan dalam pengadaan material. Sementara itu, risiko seperti pekerja yang tidak terampil atau ketidakhadiran pekerja disebabkan oleh rekrutmen yang kurang optimal dan keterbatasan dalam pelatihan tenaga kerja.

Selain itu, faktor eksternal seperti kondisi aksesibilitas dan kepemilikan lahan juga menjadi tantangan, terutama ketika tidak ada anggaran yang dialokasikan untuk perbaikan akses atau ketika batas tanah tidak memiliki patokan fisik yang jelas. Dengan memahami akar penyebab dari setiap risiko, strategi mitigasi dapat dirancang lebih efektif untuk meningkatkan keberhasilan proyek PSU jalan.

Tabel 8. Hasil identifikasi akar penyebab dengan RCA 5 Whys

No.	Variabel Risiko	Akar Penyebab
1.	Cuaca yang tidak menentu (Hujan)	Tidak ada kebijakan atau pertimbangan faktor cuaca dalam perencanaan proyek.
2.	Kerusakan material	Kurangnya prosedur penanganan material yang tepat dan perencanaan yang tidak memperhatikan aspek penanganan material.
3.	Mutu material yang tidak sesuai	Tidak ada inspeksi tambahan dari pihak proyek untuk memastikan mutu semua material sesuai.
4.	Pekerja yang tidak hadir dengan berbagai alasan	Rekrutmen pekerja kurang optimal dan jadwal kerja kurang fleksibel.
5.	Pekerja yang tidak terampil	Pelatihan yang diberikan hanya terbatas pada pekerja tertentu atau pekerja tersebut yang tidak mengikuti pelatihan.
6.	Pelaksanaan Pekerjaan terlambat mulai	Kurangnya komunikasi yang jelas antara pihak-pihak terkait, seperti kontraktor, pengawas, dan pihak terkait lainnya.
7.	Keterlambatan dari jadwal pekerjaan	Kurangnya perencanaan yang matang dalam pengadaan material, yang tidak mempertimbangkan kebutuhan material secara detail, serta kurangnya komunikasi yang efektif antara pemasok dan pelaksana.
8.	Sulitnya akses mobilisasi alat dan material ke lokasi pekerjaan	Karena anggaran untuk survei dan perbaikan akses tidak diusulkan.
9.	Lokasi pekerjaan berada diantara batas tanah pribadi dan pemerintah	Tidak adanya patokan fisik, yang diperparah oleh ketidakhadiran pemilik tanah karena tanah tersebut dibiarkan kosong atau dimiliki oleh pihak yang tidak menetap.
10.	Pekerjaan tidak sesuai gambar rencana	Kurangnya pengarahan teknis kepada pekerja untuk membaca gambar rencana.
11.	Adanya perubahan desain di lapangan	Karena kurangnya personil teknis untuk melakukan survei secara efisien.

3.3 Implementasi pada Python

Implementasi dengan bahasa *Python* dapat dilihat pada Lampiran 3.

1. Input Data Risiko

Dimulai dengan memasukkan data kuesioner hasil survei ke dalam file *Excel* yang dinamakan "RISIKO.xlsx". Data kuesioner terdiri dari beberapa komponen:

- Data kuesioner hasil uji relevansi.
- Data kuesioner dampak risiko.
- Data kuesioner probabilitas risiko.

2. Proses Perhitungan

- Membaca data dari file *excel*
Data kuesioner dibaca langsung dari file "RISIKO.xlsx" menggunakan fungsi *pd.read_excel()*.
- Pendefinisian Skala Probabilitas dan Dampak
Skala penilaian didefinisikan dalam bentuk kamus (*dictionary*), seperti kategori probabilitas (Sangat Jarang hingga Sangat Sering) dan dampak (Sangat Rendah hingga Sangat Tinggi).
- Uji Relevansi
Risiko dianggap relevan jika tingkat persetujuan responden lebih dari 50%. Risiko-risiko yang tidak relevan dihapus dari analisis lebih lanjut.
- Perhitungan Skala Probabilitas dan Dampak
Data probabilitas dan dampak yang telah difilter dihitung untuk menghasilkan SI dalam bentuk persentase. SI diklasifikasikan menjadi beberapa kategori sesuai dengan skala yang telah ditentukan.
- Perhitungan Nilai $P \times I$
Python digunakan untuk menggabungkan hasil perhitungan probabilitas dan dampak, serta menghitung nilai $P \times I$ sebagai dasar untuk mengkategorikan risiko ke dalam *Low Risk*, *Medium Risk*, atau *High Risk*.
- Root Cause Analysis (RCA)*
Risiko-risiko dengan kategori *Medium Risk* dianalisis lebih lanjut dengan metode *5 Whys*. Analisis ini dilakukan secara interaktif dengan meminta masukan pengguna untuk menjawab penyebab mendasar dari risiko.
- Penyimpanan Hasil
Semua hasil analisis (uji relevansi, perhitungan risiko, dan RCA) disimpan kembali dalam file *Excel* dengan beberapa sheet hasil.
- Menampilkan Tabel Hasil
Hasil analisis, ditampilkan dalam format tabel untuk memastikan kejelasan data.

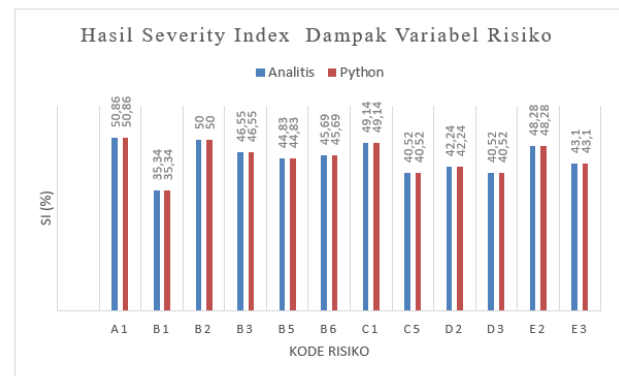
3. Hasil Analisis

Pada Lampiran 1 memperlihatkan hasil analisis risiko dengan menggunakan *Python*, yang melibatkan perhitungan SI. Hasil dari analisis ini

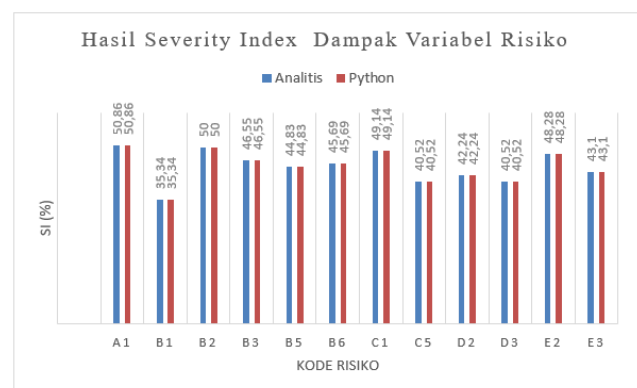
memberikan kategori risiko yang jelas, *Python* sebagai wadah dalam analisis RCA dengan menggunakan metode *5 Whys*. Lampiran 2, dilakukan analisis akar penyebab untuk menemukan faktor-faktor yang mendasari munculnya risiko tersebut.

3.4 Perbandingan secara Analitis dengan Python

Persentase pada kedua metode di setiap kode risiko terlihat identik, yang mencerminkan bahwa pendekatan berbasis *Python* mampu mereplikasi hasil dari metode analitis secara akurat. Hal ini mengindikasikan bahwa *Python* dapat diandalkan untuk mengotomatisasi proses perhitungan risiko tanpa mengurangi validitas data. Setiap kode risiko menunjukkan nilai persentase yang identik, misalnya, kode risiko A1 dengan nilai SI probabilitas 44.83% di kedua metode, serta kode risiko A1 dengan nilai SI dampak 50.86%. Pada Gambar 4 dan Gambar 5 perbandingan hasil analisis risiko secara analitis dan *Python* untuk perhitungan SI probabilitas dan dampak menggambarkan keselarasan yang sempurna antara kedua metode tersebut.



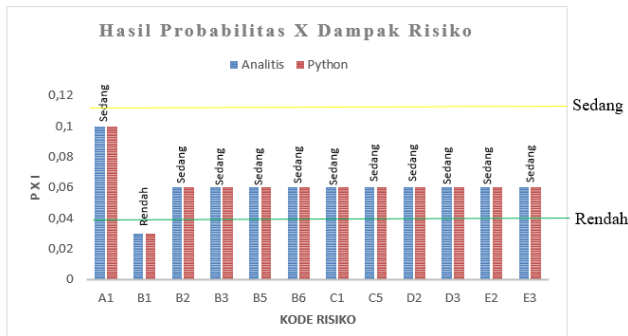
Gambar 4. Hasil *severity index* probabilitas variabel risiko



Gambar 5. Hasil *severity index* dampak variabel risiko

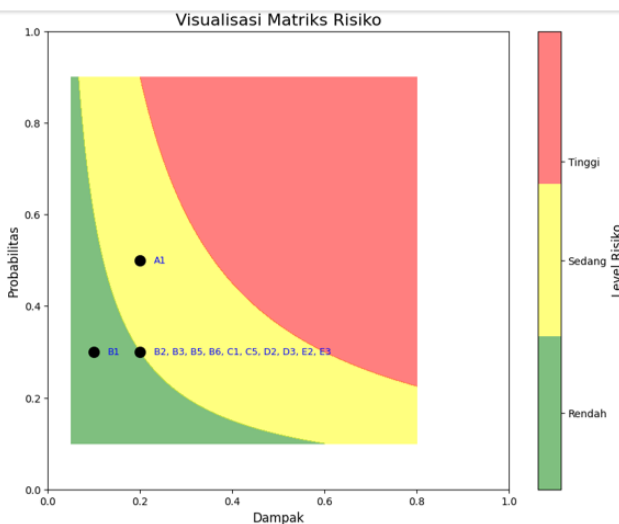
Terdapat total 12 kode risiko yang terbagi dalam dua kategori, yaitu rendah (*low*) dan sedang (*medium*). Semua nilai yang diperoleh dengan metode analitis

sepenuhnya konsisten dengan hasil perhitungan menggunakan *Python*. Pada Gambar 6 sebagian besar kode risiko, yaitu sebanyak 11 kode (garis berwarna hijau menunjukkan risiko ‘rendah’ sedangkan garis berwarna hijau menunjukkan risiko ‘sedang’), termasuk dalam kategori sedang (medium) dengan nilai SI sebesar 0.06.



Gambar 6. Hasil probabilitas x dampak risiko

Pada Gambar 7 matriks dampak dan risiko yang dihasilkan dengan *Python* mampu secara langsung mengelompokkan risiko berdasarkan tingkat keparahannya (rendah, sedang, tinggi) dengan warna yang merepresentasikan masing-masing kategori. Hal ini tidak hanya membantu mengidentifikasi risiko secara lebih jelas tetapi juga mempercepat proses pengambilan keputusan.



Gambar 7. Hasil matriks risiko dengan *Python*

3.5 Respons Risiko

Penting untuk dipahami bahwa setiap risiko dalam proyek memiliki potensi dampak yang bervariasi. Oleh karena itu, pengelolaan risiko yang tepat diperlukan untuk meminimalkan dampak negatif dan memaksimalkan peluang. Tabel 9 menyajikan respons risiko yang dirancang untuk mengatasi berbagai risiko dengan fokus pada akar penyebab yang telah dianalisis.

Tabel 9. Respons risiko berdasarkan akar penyebab

No.	Variabel Risiko	Respons Risiko
1.	Cuaca yang tidak menentu (Hujan)	Menyusun rencana kontinjensi terkait cuaca, memperkirakan kondisi cuaca dan menyesuaikan jadwal kerja.
2.	Kerusakan material	Meningkatkan prosedur penyimpanan dan penanganan material, serta memastikan pengawasan yang ketat terhadap material.
3.	Mutu material yang tidak sesuai	Menambah inspeksi material secara berkala dan memastikan seluruh material memenuhi standar yang ditentukan.
4.	Pekerja yang tidak hadir dengan berbagai alasan	Meningkatkan rekrutmen pekerja dan merencanakan rotasi serta jadwal yang fleksibel untuk meminimalisir ketidakhadiran.
5.	Pekerja yang tidak terampil	Mengadakan pelatihan keterampilan untuk pekerja sebelum dimulainya pekerjaan dan memastikan jadwal yang memungkinkan.
6.	Pelaksanaan Pekerjaan terlambat mulai	Meningkatkan koordinasi dan komunikasi antara semua pihak terkait untuk memastikan pekerjaan dimulai tepat waktu.
7.	Keterlambatan dari jadwal pekerjaan	Menyusun jadwal pengadaan material yang lebih detail dan memperbaiki komunikasi antara pemasok dan pelaksana untuk menghindari keterlambatan.
8.	Sulitnya akses mobilisasi alat dan material ke lokasi pekerjaan	Mengajukan anggaran untuk survei akses dan perbaikan jalan menuju lokasi proyek guna memastikan kelancaran mobilisasi.
9.	Lokasi pekerjaan berada diantara batas tanah pribadi dan pemerintah	Melakukan klarifikasi batas tanah dan meminta pihak berwenang menetapkan patokan fisik yang jelas di lokasi proyek.
10.	Pekerjaan tidak sesuai gambar rencana	Memberikan pengarahan teknis dan pelatihan bagi pekerja agar mereka memahami gambar rencana dengan baik sebelum memulai pekerjaan.
11.	Adanya perubahan desain di lapangan	Menambah jumlah personil teknis yang kompeten dan memastikan survei desain dilakukan secara efisien dan tepat waktu.

Dengan penerapan langkah-langkah ini, diharapkan organisasi lebih siap menghadapi tantangan dan meminimalkan potensi kerugian. Strategi respons

dirumuskan berdasarkan analisis mendalam terhadap faktor-faktor penyebab risiko, sehingga setiap langkah dapat disesuaikan dengan karakteristik dan tingkat urgensi risiko. Respons risiko dalam proyek PSU jalan perlu ditangani secara proaktif berdasarkan akar penyebab setiap risiko. Misalnya, risiko cuaca tidak menentu akibat kurangnya kebijakan terkait cuaca dalam perencanaan dapat diatasi dengan rencana kontinjensi, seperti penyesuaian jadwal atau alternatif pekerjaan saat cuaca buruk. Risiko kerusakan material karena prosedur penyimpanan yang kurang memadai dapat diminimalkan dengan meningkatkan pengawasan dan penyimpanan material. Masalah mutu material yang tidak sesuai sering terjadi akibat kurangnya inspeksi. Solusinya adalah melakukan inspeksi rutin untuk memastikan kualitas material.

Ketidakhadiran atau ketidakmampuan tenaga kerja, yang disebabkan oleh rekrutmen dan jadwal kerja yang kurang optimal, dapat diatasi dengan perencanaan jadwal lebih matang, rekrutmen pekerja terampil, dan pelatihan. Keterlambatan pekerjaan akibat perencanaan pengadaan material yang buruk dapat dihindari dengan perbaikan koordinasi dan perencanaan pengadaan tepat waktu. Aksesibilitas lokasi proyek sering terhambat karena kurangnya anggaran untuk perbaikan akses. Usulan anggaran sejak awal proyek dapat menghindari kendala ini. Masalah legalitas di batas tanah proyek dapat diselesaikan dengan penetapan patokan fisik dan administrasi yang jelas. Perubahan desain di lapangan akibat minimnya personil teknis dapat dicegah dengan menambah tenaga teknis yang kompeten. Dengan respons risiko yang tepat, proyek PSU jalan dapat berjalan lancar, meminimalkan gangguan, pemborosan, dan keterlambatan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi risiko dominan dalam proyek PSU jalan di Sulawesi Utara, seperti cuaca tidak menentu, kerusakan dan mutu material, ketidakhadiran serta ketidakmampuan pekerja, keterlambatan jadwal, sulitnya akses mobilisasi, dan masalah desain di lapangan. Metode SI dan RCA 5 *Whys* efektif dalam mengidentifikasi dan menganalisis risiko pada proyek PSU jalan lingkungan di Sulawesi Utara. SI membantu menentukan tingkat keparahan risiko, sementara RCA 5 *Whys* mengidentifikasi akar penyebab utama. Dengan mengotomatisasi proses ini menggunakan *Python*, analisis risiko menjadi lebih cepat, akurat, dan berbasis data. Penelitian ini berkontribusi dalam pengelolaan risiko proyek PSU jalan dengan memberikan rekomendasi mitigasi yang lebih terarah, sehingga dapat membantu pengelola proyek dalam mengurangi risiko berulang dan meningkatkan keberhasilan proyek di masa mendatang.

Agar pengelolaan risiko lebih efektif, disarankan memprioritaskan mitigasi risiko sejak tahap perencanaan dengan strategi yang matang. Koordinasi

antar pihak, terutama dalam pengadaan material dan mobilisasi alat, perlu ditingkatkan untuk mengurangi hambatan dan keterlambatan. Monitoring dan evaluasi risiko secara berkala penting untuk menjaga relevansi strategi mitigasi. Penggunaan teknologi seperti *Python* juga perlu diperluas untuk analisis risiko dan data proyek secara real-time, mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat. Peningkatan kemampuan teknis pengelola proyek dalam teknologi ini akan mengoptimalkan manajemen risiko, sumber daya, dan penjadwalan. Penelitian lanjutan dengan metode serupa disarankan untuk manajemen risiko PSU jalan di tahun berikutnya, dengan tambahan sampel penelitian agar hasil lebih efektif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Disampaikan terima kasih kepada seluruh responden yang sudah membantu dalam ketersediaan data untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariana, I. K. A., Dharmayasa, I. G. N. P., Riana, I. N., & Bendesa, N. B. K. (2023). Identifikasi Faktor-Faktor Risiko Pada Proyek Infrastruktur Dasar Dan Fasilitas Umum Penunjang Pariwisata Di Pelabuhan Benoa, Bali. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 12(1), 114–120. <https://doi.org/10.22225/pd.12.1.6154.114-120>
- Bitty, S. E., Hendratta, L. A., Thambas, A. H., & Malingkas, G. (2024). Manajemen risiko pada sistem penyediaan air minum (SPAM) perpipaan dengan metode failure mode and effect analysis dan fault tree analysis di Kabupaten Minahasa Utara. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 13(2), 138–147. <https://doi.org/10.22225/pd.13.2.10108.138-147>
- Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., & Weimer, D. L. (2006). *Cost Benefit Analysis: Concepts and Practice*. Prentice Hall.
- British Standards Institution. (2018). *ISO 31000 - Risk Management Guidelines*. British Standards Institution.
- Doggett, A. M. (2005). Root Cause Analysis: A Framework for Tool Selection. *Quality Management Journal*, 12(4), 34–45. <https://doi.org/10.1080/10686967.2005.11919269>
- Hill, C. W. L., & Jones, G. R. (2008). *Strategic Management: An Integrated Approach*.
- Hillson, D., & Simon, P. (2020). *Practical Project Risk Management: The ATOM Methodology*.
- Kerzner, H. (2017). *Project Management*. Wiley.
- Majid, M. Z. Abd., & McCaffer, R. (1997). Assessment of Work Performance of Maintenance Contractors in Saudi Arabia. *Journal of Management in Engineering*, 13(5), 91–91. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(1997\)13:5\(91\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(1997)13:5(91))
- Pemerintah Republik Indonesia. (2011). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2011*.
- Project Management Institute. (2013). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*. Project Management Institute.
- Project Management Institute. (2017). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*. Project Management Institute.
- Project Management Institute. (2021). *The standard for project management : A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*. Project Management Institute.

- Rizki, M., & Saputra, A. (2022). Analisa Risiko Supply Chain Management dengan Metode Grey Failure Mode and Effect Analysis dan Root Cause Analysis di PT Pertamina Fuel Terminal Meulaboh. *Jurnal Serambi Engineering*, 7(1). <https://doi.org/10.32672/jse.v7i1.3888>
- Sabir, H. (2021). *Analisis Risiko Pada Proyek Pembangunan Jalan Propinsi Di Propinsi Sumatera Barat* [Tesis]. Universitas Bung Hatta.
- Situmorang, B. E., Arsjad, T. Tj., & Tjakra, J. (2018). Analisis Risiko Pelaksanaan Pembangunan Proyek Konstruksi Bangunan Gedung. *Tekno*, 16(69), 31–36. <https://doi.org/https://doi.org/10.35793/jts.v16i69.20891>
- Soeharto, I. (1999). *Manajemen Proyek*. Erlangga.
- Sopiyah, Y., & Salimah, A. (2020). Analisis Dan Respon Risiko Pada Proyek Konstruksi Gedung. *Construction And Material Journal*, 2(1), 46–58.
- Sudrajat, A., Setiawan, A., Amelia, N., & Novitrie, A. (2017). Analisis Potensi Bahaya Dengan Metode Checklist dan What-If Analysis Pada Saat Commissioning Plant N83 Di PT. Gas Industri. *Proceeding 1stConference on Safety Engineering and Its Application*, 252–258.
- Sulanjari, A. (2016). *Analisis HAZOP (Hazard And Operability Analysis) Dan Manajemen Risiko Pada Steam Drum PLTU Unit 4 Di PT PJB UP Gresik* [Skripsi]. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Umboh, A. H., Malingkas, G. Y., & Rumayar, A. L. e. (2021). Pemodelan Pengelolaan Risiko Proyek Konstruksi Oleh Perusahaan Pelaksana Konstruksi (Studi Kasus Proyek Konstruksi Di Pemerintah Daerah Kabupaten Minahasa). *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 11(2), 145–156.
- Wedagama, D. A. T. A., & Suryanti, I. (2024). Manajemen Risiko Pelaksanaan Proyek Peningkatan Jalan Kota Denpasar Dan Dampaknya Terhadap Lingkungan. *Ranah Research : Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 6(2), 282–287. <https://doi.org/10.38035/rrj.v6i2.830>
- Wibowo, K., Sugiyarto, S., & Setiono, S. (2018). Analisa dan Evaluasi : Akar Penyebab dan Biaya Sisa Material Konstruksi Proyek Pembangunan Kantor Kelurahan di Kota Solo, Sekolah, dan Pasar Menggunakan Root Cause Analysis (RCA) dan Fault Tree Analysis (FTA). *Matriks Teknik Sipil*, 6(2). <https://doi.org/10.20961/mateksi.v6i2.36572>
- Widyastuti, L. N. (2014). Analisis Gangguan Sistem Transmisi Listrik Menggunakan Metode Root Cause Analysis (RCA). *Industrial Engineering Online Journal*, 3(3).
- Wijaya, I. W. S., Wiratmaja, I. G. H., Bintara, I. D. M. A. P. S., & Permana, I. K. G. R. A. (2021). Program Menghitung Banyak Bata pada Ruangan Menggunakan Bahasa Python. *TIERS Information Technology Journal*, 2(1). <https://doi.org/10.38043/tiers.v2i1.2840>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil analisis risiko dengan *Python*

Tabel Hasil Analisis Risiko

	Kode Risiko	SI (%)_P	Kategori Probabilitas	SI (%)_I	Kategori Dampak	Skala_P	Skala_I	P x I	Kategori Risiko	Variabel Risiko
0	A1	44.827586	Cukup	50.862069	Sedang	0.5	0.2	0.10	Medium Risk	Cuaca yang tidak menentu (Hujan)
1	B1	31.034483	Jarang	35.344828	Rendah	0.3	0.1	0.03	Low Risk	Kenaikan harga material
2	B2	32.758621	Jarang	50.000000	Sedang	0.3	0.2	0.06	Medium Risk	Kerusakan material
3	B3	29.310345	Jarang	46.551724	Sedang	0.3	0.2	0.06	Medium Risk	Mutu material yang tidak sesuai
4	B5	29.310345	Jarang	44.827586	Sedang	0.3	0.2	0.06	Medium Risk	Pekerja yang tidak hadir dengan berbagai alasan
5	B6	28.448276	Jarang	45.689655	Sedang	0.3	0.2	0.06	Medium Risk	Pekerja yang tidak terampil
6	C1	36.206897	Jarang	49.137931	Sedang	0.3	0.2	0.06	Medium Risk	Pelaksanaan Pekerjaan terlambat mulai
7	C5	30.172414	Jarang	40.517241	Sedang	0.3	0.2	0.06	Medium Risk	Keterlambatan dari jadwal pekerjaan
8	D2	33.620690	Jarang	42.241379	Sedang	0.3	0.2	0.06	Medium Risk	Sulitnya akses mobilisasi alat dan material ke...
9	D3	34.482759	Jarang	40.517241	Sedang	0.3	0.2	0.06	Medium Risk	Lokasi pekerjaan berada diantara batas tanah p...
10	E2	30.172414	Jarang	48.275862	Sedang	0.3	0.2	0.06	Medium Risk	Pekerjaan tidak sesuai gambar rencana
11	E3	34.482759	Jarang	43.103448	Sedang	0.3	0.2	0.06	Medium Risk	Adanya perubahan desain di lapangan

Lampiran 2. Hasil RCA dengan 5 *Whys*

*Tabel Root Cause Analysis (RCA)**

Kode Risiko	Variabel Risiko	why 1	why 2	why 3	why 4	why 5
0	A1 Cuaca yang tidak menentu (Hujan)	Karena sering terjadi hujan selama jadwal kerja.	Karena musim hujan sedang berlangsung	Karena jadwal proyek tidak mempertimbangkan mu...	Karena perencanaan waktu proyek tidak mengguna...	Karena tidak ada kebijakan untuk memperhatikan...
1	B2 Kerusakan material	Karena material paving yang dikirim mengalami ...	Karena material paving tidak ditangani dengan ...	Kurangnya prosedur penanganan material yang te...		
2	B3 Mutu material yang tidak sesuai	Karena sebagian material yang dikirim tidak me...	Karena pemasok tidak melakukan pengecekan mutu...	Karena tidak ada inspeksi tambahan dari pihak ...		
3	B5 Pekerja yang tidak hadir dengan berbagai alasan	Karena ada pekerja yang tidak hadir.	Karena pekerja sakit, ada urusan pribadi, atau...	Karena tidak ada sistem cadangan atau rotasi p...	Karena jadwal kerja tidak fleksibel dan keterb...	Karena rekrutmen pekerja kurang optimal atau h...
4	B6 Pekerja yang tidak terampil	Karena ada pekerja tidak memiliki keterampilan...	Karena tidak ada pelatihan atau pengarahan tek...	Karena pelatihan yang diberikan hanya terbatas...		
5	C1 Pelaksanaan Pekerjaan terlambat mulai	Karena pekerjaan tidak dimulai sesuai jadwal y...	Karena ada penundaan dalam persiapan dan koord...	Karena tidak ada komunikasi yang jelas antara ...		
6	C5 Keterlambatan dari jadwal pekerjaan	Karena pekerjaan tidak diselesaikan sesuai den...	Karena ada hambatan dalam pelaksanaan pekerja...	Karena cuaca buruk terjadi di luar perencanaan...	Karena pengadaan material tidak dilakukan deng...	Karena perencanaan proyek tidak mempertimbangk...
7	D2 Sulitnya akses mobilisasi alat dan material ke...	Karena akses jalan ke lokasi proyek tidak mema...	Jalan menuju lokasi yang menanjak, sempit, ata...	Karena tidak ada survey akses lokasi yang mena...	Karena perencanaan proyek hanya fokus pada pek...	Karena anggaran untuk survey dan perbaikan aks...
8	D3 Lokasi pekerjaan berada diantara batas tanah p...	Karena tidak ada patokan fisik seperti banguna...	Karena pemilik tanah masyarakat tidak ada di l...	Karena tanah tersebut digunakan sebagai tanah ...	Karena tanah tersebut diwariskan atau dimiliki...	Karena tidak ada pengelolaan aktif dari pemili...
9	E2 Pekerjaan tidak sesuai gambar rencana	Karena ada kesalahan dalam pelaksanaan di lapa...	Karena pekerja tidak memahami gambar rencana d...	Karena kurangnya pengarahan atau komunikasi te...		
10	E3 Adanya perubahan desain di lapangan	Karena kondisi di lapangan tidak sesuai dengan...	Karena survei awal kurang detail atau tidak me...	Karena waktu survei terbatas atau metode surve...	Karena banyak lokasi yang harus disurvei per k...	Karena kurangnya personil teknis untuk melakuk...

roses selesai. Semua hasil telah disimpan ke file Excel dan ditampilkan.

Lampiran 3. Bahasa *Python* dengan *Google Colab*

```
import pandas as pd

# 1. Load data dari Excel
uji_relevansi_df = pd.read_excel('RISIKO.xlsx', sheet_name='Uji Relevansi')
probabilitas_df = pd.read_excel('RISIKO.xlsx', sheet_name='Probabilitas')
dampak_df = pd.read_excel('RISIKO.xlsx', sheet_name='Dampak')

# Definisikan skala penilaian untuk probabilitas dan dampak
probabilitas_scores = {'SJ': 0, 'J': 1, 'C': 2, 'S': 3, 'SS': 4} # Sangat Jarang hingga Sangat Sering
dampak_scores = {'SR': 0, 'R': 1, 'S': 2, 'T': 3, 'ST': 4} # Sangat Rendah hingga Sangat Tinggi

# 2. Uji Relevansi
def evaluate_relevancy(df):
    """
    Fungsi untuk menghitung persentase relevansi dan memberikan keterangan.
    """
    df['Total'] = df['SETUJU'] + df['TIDAK']
    df['Percentage'] = (df['SETUJU'] / df['Total']) * 100
    df['Keterangan'] = df['Percentage'].apply(lambda x: '+' if x > 50 else '-')
    return df

# Evaluasi relevansi
uji_relevansi_results = evaluate_relevancy(uji_relevansi_df)

# Filter risiko relevan berdasarkan keterangan '+'
relevant_risks =
uji_relevansi_results[uji_relevansi_results['Keterangan'] == '+']['Kode Risiko']

# Filter data probabilitas dan dampak hanya untuk risiko relevan
probabilitas_df = probabilitas_df[probabilitas_df['Kode Risiko'].isin(relevant_risks)]
dampak_df = dampak_df[dampak_df['Kode Risiko'].isin(relevant_risks)]

# 3. Kuisioner Utama - Perhitungan Probabilitas dan Dampak
def calculate_scale(df, scale_scores, scale_type):
    """
    Fungsi untuk menghitung Severity Index (SI) dalam persen dan mengkategorikan probabilitas atau dampak.
    """
    df['SI (%)'] = df.apply(lambda row:
        (sum(scale_scores.get(cat, 0) *
row.get(cat, 0) for cat in scale_scores)) * 100, axis=1)
    df['Kategori (scale_type)'] = pd.cut(df['SI (%)'],
        bins=[0, 12.5, 37.5, 62.5, 87.5, 100],
        labels=['Sangat Jarang', 'Jarang',
'Sedang', 'Tinggi', 'Sangat Tinggi'],
        right=True)
    return df

# Hitung probabilitas dan dampak
probabilitas_df = calculate_scale(probabilitas_df, probabilitas_scores, 'Probabilitas')
dampak_df = calculate_scale(dampak_df, dampak_scores, 'Dampak')

# 4. Perhitungan Severity Index dan P x I
def calculate_severity_index(prob_df, impact_df):
    """
    Fungsi untuk menghitung nilai P x I dan mengkategorikan risiko.
    """
    # Gabungkan data probabilitas dan dampak berdasarkan Kode Risiko
    risk_data = pd.merge(prob_df[['Kode Risiko', 'SI (%)', 'Kategori Probabilitas']],
        impact_df[['Kode Risiko', 'SI (%)', 'Kategori Dampak']],
        on='Kode Risiko', suffixes=('_P', '_I'))

    # Map kategori ke nilai skala
    scale_map_probabilitas = {'Sangat Jarang': 0.1, 'Jarang': 0.3, 'Cukup': 0.5, 'Sering': 0.7, 'Sangat Sering': 0.9}
    scale_map_dampak = {'Sangat Rendah': 0.05, 'Rendah': 0.1, 'Sedang': 0.2, 'Tinggi': 0.4, 'Sangat Tinggi': 0.8}

    risk_data['Skala_P'] = risk_data['Kategori Probabilitas'].map(scale_map_probabilitas).astype(float)
    risk_data['Skala_I'] = risk_data['Kategori Dampak'].map(scale_map_dampak).astype(float)

    # Hitung P x I
    risk_data['P x I'] = risk_data['Skala_P'] * risk_data['Skala_I']

    # Kategorikan risiko berdasarkan P x I
    def categorize_risk(p_x_i):
        if p_x_i >= 0.18:
            return 'High Risk'
        elif 0.06 <= p_x_i < 0.18:
            return 'Medium Risk'
        else:
            return 'Low Risk'

    risk_data['Kategori Risiko'] = risk_data['P x I'].apply(categorize_risk)
```