Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia
p–ISSN: 2541-0849 e-ISSN: 2548-1398
Vol. 11, No. 11, November 2026

Kajian Risiko terhadap Rencana Pengembangan Jaringan Transmisi dari Perumda Tirtanadi

M. Faiz Al Razzak Halim*, Ahmad Perwira Mulia Tarigan, Gina Cynthia R. Hasibuan
Universitas Sumatera Utara, Indonesia
Email: faizhalim0710@gmail.com*, a.perwira@usu.ac.id, gina.hasibuan@usu.ac.id

Keywords:
Risk Management, FMEA, RPN, 3D Risk Matrix, Risk Mitigation

Abstract
The increasing demand for clean water in the CitraLand GamaCity area, Medan City, has prompted Perumda Tirtanadi to plan the development of a water transmission network. A risk assessment at the planning stage is necessary so that potential problems can be identified early. This study aims to identify, analyze, and evaluate the risks of transmission network development and to formulate mitigation recommendations based on priority levels and estimated financial losses. The ISO 31000:2018 framework is used as the risk management process, while Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) is applied to assess Severity, Occurrence, and Detection to produce the Risk Priority Number (RPN). A three-dimensional risk mapping (3D Risk Matrix) is developed based on the combination of SOD values, and the initial and residual RPN assessments are carried out through expert judgment. The identification results found 40 risks across the pre-construction, construction, operational, and financial stages. Before mitigation, there were 1 very high risk, 6 high, 13 moderate, and 20 low. The highest priority risk is water loss (Non-Revenue Water/NRW) with an initial RPN of 609.26. After mitigation recommendations were considered, all risks experienced an RPN reduction of 67.72%–76.85%, and 39 risks (97.5%) were in the low category. The highest estimated financial loss occurred in the cash flow projection mismatch risk (Rp4,784,427,587), followed by permitting delays (Rp2,227,944,351). Priority based on RPN is not always aligned with the magnitude of financial losses. Therefore, mitigation strategies need to consider both RPN values and estimated financial losses simultaneously so that risk control is more effective and project sustainability is maintained.

Kata Kunci:
Manajemen Risiko, FMEA, RPN, *3D Risk Matrix*, Mitigasi Risiko.

Abstrak
Peningkatan kebutuhan air bersih di kawasan CitraLand GamaCity, Kota Medan, mendorong Perumda Tirtanadi merencanakan pengembangan jaringan transmisi air. Kajian risiko pada tahap perencanaan diperlukan agar potensi permasalahan dapat dikenali lebih awal. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi, menganalisis, dan mengevaluasi risiko pengembangan jaringan transmisi serta menyusun rekomendasi mitigasi berdasarkan tingkat prioritas dan estimasi kerugian finansial. Kerangka ISO 31000:2018 digunakan sebagai proses manajemen risiko, sedangkan *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) digunakan untuk menilai *Severity, Occurrence,* dan *Detection* guna menghasilkan *Risk Priority Number* (RPN). Pemetaan risiko tiga dimensi (*3D Risk Matrix*) disusun berdasarkan kombinasi nilai SOD, dan penilaian RPN awal serta residual dilakukan melalui *expert judgment*. Hasil identifikasi menemukan 40 risiko pada tahap pra-konstruksi, konstruksi,

operasional, dan finansial. Sebelum mitigasi terdapat 1 risiko sangat tinggi, 6 tinggi, 13 sedang, dan 20 rendah. Risiko prioritas tertinggi adalah kehilangan air (*Non-Revenue Water*/NRW) dengan RPN awal 609,26. Setelah rekomendasi mitigasi dipertimbangkan, seluruh risiko mengalami penurunan RPN sebesar 67,72%–76,85%, dan 39 risiko (97,5%) berada pada kategori rendah. Estimasi kerugian finansial tertinggi terjadi pada risiko ketidaksesuaian proyeksi arus kas (Rp4.784.427.587), diikuti keterlambatan perizinan (Rp2.227.944.351). Prioritas berdasarkan RPN tidak selalu sejalan dengan besarnya kerugian finansial. Dengan demikian, strategi mitigasi perlu mempertimbangkan nilai RPN dan estimasi kerugian finansial secara bersamaan agar pengendalian risiko lebih efektif dan keberlanjutan proyek tetap terjaga.

PENDAHULUAN

Penyediaan air bersih merupakan aspek penting dalam mendukung keberlanjutan kawasan permukiman dan perkotaan (Wandari et al., 2023). Pertumbuhan penduduk dan perkembangan kawasan hunian menyebabkan kebutuhan air bersih terus meningkat sehingga diperlukan sistem penyediaan air minum (SPAM) yang andal dari aspek kuantitas, kualitas, tekanan, dan kontinuitas pelayanan. Pengembangan jaringan transmisi air juga memerlukan pertimbangan teknis, finansial, lingkungan, dan kelembagaan karena melibatkan investasi besar serta berbagai potensi risiko (Hidayatno et al., 2015; OECD, 2023).

Perumda Tirtanadi sebagai penyedia layanan air minum di Provinsi Sumatera Utara memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan air bersih seiring dengan perkembangan kawasan perkotaan. Salah satu rencana pengembangan yang perlu dikaji adalah pembangunan jaringan transmisi air menuju kawasan CitraLand GamaCity, Kota Medan. Peningkatan kebutuhan air di kawasan tersebut perlu diimbangi dengan sistem penyaluran yang andal. Namun, rencana pengembangan ini berpotensi menghadapi risiko teknis, konstruksi, operasional, finansial, lingkungan, sosial, perizinan, kelembagaan, dan faktor eksternal yang dapat memengaruhi keberhasilan proyek (Gómez-Cabrera et al., 2024; Julca-Varas et al., 2025; Kumar & Kirytopoulos, 2023).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pengembangan sistem penyediaan air minum menghadapi risiko yang beragam. Hidayatno et al. (2015) mengidentifikasi pengaruh risiko investasi, lingkungan, dan kelembagaan terhadap pengembangan SPAM, sedangkan Suriyanto et al. (2022) menggunakan *Fuzzy Failure Mode and Effects Analysis* (Fuzzy FMEA) untuk mengevaluasi risiko operasional PDAM. Putra et al. (2018) menerapkan ISO 31000 dalam pengelolaan risiko perusahaan penyedia air minum. Pada pekerjaan konstruksi, Safruddin dan Hasibuan (2020) menggunakan metode House of Risk untuk menyusun strategi mitigasi risiko pekerjaan perpipaan dan sipil. Sementara itu, Bitty et al. (2024) mengombinasikan FMEA dan *Fault Tree Analysis* (FTA) dalam analisis risiko SPAM perpipaan, sedangkan Rifa'i (2020) menggunakan FMEA untuk menentukan kelayakan sistem penyediaan air minum. Kajian internasional juga mengembangkan berbagai pendekatan penilaian risiko pada sistem penyediaan dan distribusi air, mulai dari tinjauan metode analisis risiko dari sumber hingga keran, model risiko untuk pembaruan jaringan distribusi, integrasi risiko kelistrikan dan otomasi ke dalam water safety plan, hingga perlindungan jaringan terhadap ancaman siber dan fisik (Bosco et al., 2022; Cerroni et al., 2026; Kombo Mpindou et al., 2022; Nunes et al., 2023).

Meskipun penelitian tersebut telah membahas risiko operasional, investasi, dan konstruksi, masih terdapat ruang untuk mengintegrasikan penilaian risiko awal, pemetaan risiko tiga dimensi, penilaian risiko residual, dan estimasi kerugian finansial pada tahap perencanaan jaringan transmisi air bersih. Penelitian ini berfokus pada rencana pengembangan jaringan transmisi air dari Perumda Tirtanadi menuju CitraLand GamaCity sebelum proyek dilaksanakan. Analisis sejak tahap perencanaan diperlukan agar potensi permasalahan dapat dikenali lebih awal dan tindakan pengendalian dapat disusun berdasarkan tingkat prioritas serta konsekuensi finansialnya.

Penelitian ini menggunakan ISO 31000:2018 sebagai kerangka manajemen risiko karena menyediakan proses yang sistematis dan terintegrasi untuk identifikasi, analisis, evaluasi, dan perlakuan risiko. Kerangka ini memungkinkan berbagai kategori risiko dianalisis dalam satu proses yang disesuaikan dengan karakteristik proyek (*International Organization for Standardization* [ISO], 2018). Selanjutnya, metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) digunakan untuk menilai tingkat keparahan (*Severity*), kemungkinan kejadian (Occurrence), dan kemampuan deteksi (*Detection*) setiap risiko. FMEA dipilih karena dapat menguraikan potensi kegagalan berdasarkan karakteristiknya dan menghasilkan nilai *Risk Priority Number* (RPN) sebagai dasar penentuan prioritas penanganan (Agusman et al., 2021; Fadila & Harahap, 2025). Penerapan FMEA pada sistem air juga dibahas dalam kajian risiko sistem penyediaan air oleh para peneliti di bidang tersebut (Gracia et al., 2026; Juan et al., 2023; Li et al., 2022; Narli, 2026).

Untuk memperjelas karakteristik setiap risiko, penelitian ini juga menyusun pemetaan risiko tiga dimensi (3D) berdasarkan kombinasi nilai SOD. Pemetaan tersebut memungkinkan posisi risiko diamati melalui tiga parameter secara bersamaan, sehingga melengkapi informasi yang diperoleh dari nilai RPN. Penilaian RPN awal dan RPN residual dilakukan berdasarkan expert judgment dari responden yang memiliki kompetensi dan pengalaman terkait pengembangan serta pengelolaan sistem penyediaan air minum. RPN awal menggambarkan tingkat risiko sebelum mitigasi, sedangkan RPN residual menunjukkan estimasi tingkat risiko setelah rekomendasi mitigasi dipertimbangkan. Perbandingan kedua nilai tersebut digunakan untuk mengukur estimasi penurunan risiko dan mengevaluasi potensi efektivitas tindakan pengendalian.

Selain penilaian tingkat risiko, penelitian ini mengestimasi kerugian finansial pada risiko berkategori sangat tinggi dan tinggi. Langkah tersebut diperlukan karena nilai RPN menunjukkan prioritas risiko, tetapi tidak secara langsung menggambarkan besarnya kerugian dalam satuan rupiah. Estimasi finansial memberikan informasi tambahan mengenai potensi konsekuensi ekonomi sehingga rekomendasi mitigasi dapat disusun dengan mempertimbangkan tingkat risiko dan besarnya kerugian yang mungkin terjadi.

Dengan mengintegrasikan ISO 31000:2018, FMEA, pemetaan risiko 3D berbasis SOD, penilaian RPN awal dan residual melalui expert judgment, serta estimasi kerugian finansial, penelitian ini menghasilkan analisis risiko yang lebih menyeluruh untuk rencana pengembangan jaringan transmisi air bersih menuju CitraLand GamaCity. Hasilnya menjadi dasar penyusunan rekomendasi mitigasi dan bahan pertimbangan bagi Perumda Tirtanadi dalam menentukan prioritas pengendalian sebelum proyek direalisasikan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan Cintra Land Gama City, Kota Medan, yang direncanakan sebagai area pelayanan transmisi dari SPAM Limau Manis, dengan objek berupa jaringan transmisi sekunder dan tersier yang akan disuplai oleh PDAM Tirtanadi. Data yang digunakan terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh langsung melalui wawancara dan kuesioner kepada pihak Perumda Tirtanadi yang memahami dan terlibat dalam penyediaan air bersih, sedangkan data sekunder diperoleh dari jurnal ilmiah, buku, penelitian terdahulu, standar, dan referensi lain yang relevan dengan manajemen risiko proyek.

Pengumpulan data dilakukan secara bertahap melalui tiga teknik sesuai kebutuhan tiap tahap penelitian. Studi literatur menjadi dasar teori sekaligus sumber untuk menyusun daftar risiko awal dan alternatif tindakan mitigasi. Wawancara semi-terstruktur digunakan pada dua tahap, yaitu untuk mengidentifikasi dan memvalidasi risiko, lalu untuk menggali alternatif mitigasi setelah penilaian risiko. Kuesioner digunakan untuk memperoleh data kuantitatif berupa penilaian setiap risiko berdasarkan *Severity, Occurrence,* dan *Detection*, yang kemudian dihitung menjadi *Risk Priority Number* (RPN) untuk menentukan prioritas risiko.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kuesioner residual resiko

Setelah rekomendasi risk treatment dan rencana mitigasi disusun untuk setiap risiko yang teridentifikasi, tahap selanjutnya adalah melakukan penilaian risiko residual (*residual risk assessment*). Penilaian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat risiko yang diperkirakan masih tersisa setelah tindakan mitigasi direncanakan dan diterapkan. Dalam penelitian pengembangan jaringan transmisi air bersih untuk pemenuhan kebutuhan air kawasan Citraland GamaCity dari Perumda Tirtanadi, penilaian risiko residual dilakukan terhadap 40 risiko yang mencakup tahap pra-konstruksi, konstruksi, operasi dan pemeliharaan, serta finansial.

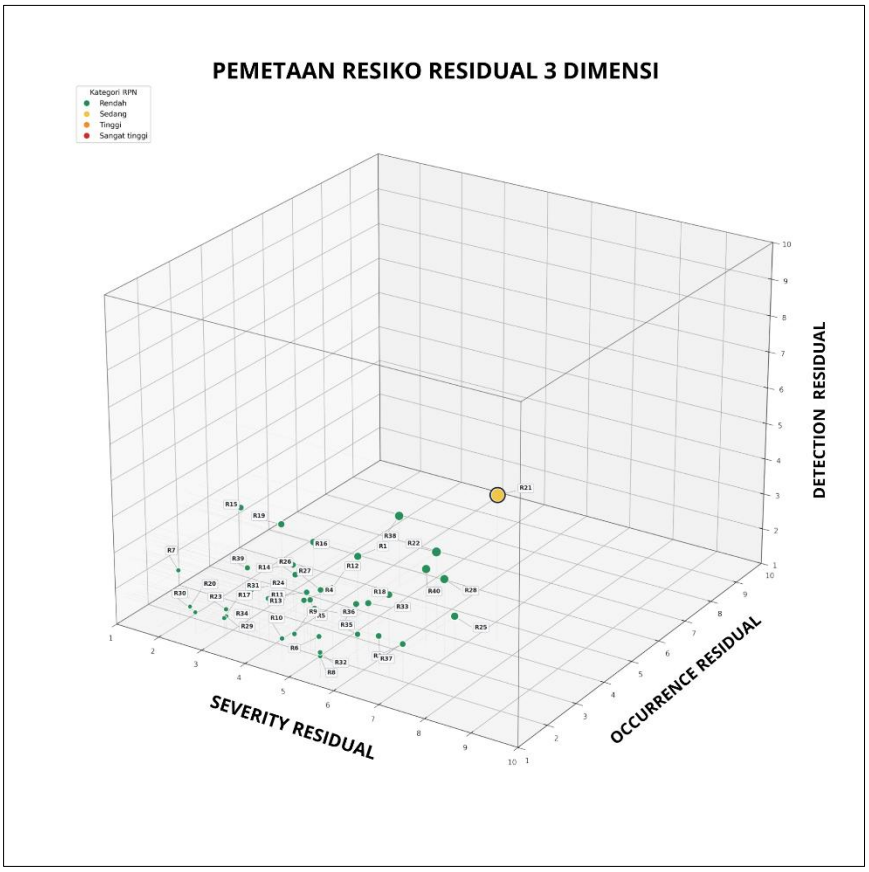
Penilaian risiko residual dilakukan melalui kuesioner yang melibatkan para ahli (*expert*) dengan mempertimbangkan tiga parameter, yaitu *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D). Nilai masing-masing parameter diperoleh dari hasil pengolahan jawaban responden, kemudian digunakan untuk menghitung *Risk Priority Number* (RPN) residual melalui perkalian nilai S, O, dan D. Hasil perhitungan tersebut selanjutnya dibandingkan dengan nilai RPN awal untuk mengetahui perubahan tingkat risiko setelah rencana mitigasi dipertimbangkan.

Perbandingan antara RPN awal dan RPN residual digunakan untuk mengidentifikasi risiko yang mengalami penurunan tingkat prioritas, risiko yang masih memerlukan perhatian, serta kebutuhan terhadap tindakan mitigasi tambahan. Perlu diperhatikan bahwa nilai residual dalam penelitian ini merepresentasikan estimasi tingkat risiko berdasarkan penilaian para ahli terhadap kondisi setelah mitigasi, sehingga tidak secara langsung menunjukkan efektivitas empiris dari tindakan mitigasi yang telah dilaksanakan di lapangan.

Hasil penilaian risiko residual selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel yang memuat nilai S, O, dan D residual, RPN residual, serta klasifikasi tingkat risiko setelah mitigasi. Hasil tersebut menjadi dasar untuk mengevaluasi perubahan profil risiko dan menentukan prioritas pengendalian yang masih diperlukan guna mendukung kelayakan teknis dan finansial pengembangan jaringan transmisi air bersih.

Berdasarkan penilaian terhadap 40 risiko pengembangan jaringan transmisi air bersih menuju Citraland GamaCity, sebanyak 39 risiko (97,5%) diperkirakan berada dalam kategori rendah dan satu risiko (2,5%) dalam kategori sedang setelah tindakan mitigasi dipertimbangkan. Hasil tersebut diperoleh berdasarkan kuesioner dan penilaian para ahli (expert judgment), sehingga menggambarkan estimasi tingkat risiko residual apabila rekomendasi mitigasi diterapkan, bukan hasil pengukuran setelah mitigasi dilaksanakan di lapangan. Dalam konteks penilaian risiko pada sistem penyediaan air minum, penelitian Suriyanto et al. (2022) menggunakan metode *Fuzzy Failure Mode and Effects Analysis* untuk mengidentifikasi dan menentukan prioritas risiko pada PDAM Tirta Kencana. Kedua penelitian memiliki kesamaan dalam penggunaan pendekatan penilaian risiko secara sistematis, meskipun metode dan tujuan analisisnya berbeda.

Risiko dengan RPN residual tertinggi dalam penelitian ini adalah R21, yaitu kehilangan air (Non-Revenue Water/NRW), sebesar 172,50, diikuti R22, yaitu tekanan air tidak stabil, sebesar 88,72. Kedua risiko tersebut berkaitan dengan penelitian Wibowo dan Slamet (2024) serta Nanda et al. (2023), yang membahas pengendalian NRW melalui manajemen tekanan dan perencanaan jaringan perpipaan. Wibowo dan Slamet melaporkan penurunan NRW dari 38,26% menjadi 31,48%, sedangkan Nanda et al. mengkaji pengurangan kehilangan air melalui perencanaan District Meter Area (DMA) dan penerapan metode FAVAD. Berbeda dengan kedua penelitian tersebut, yang mengevaluasi pengendalian kehilangan air secara teknis, penelitian ini memperkirakan tingkat prioritas risiko berdasarkan penilaian ahli.



Gambar 1. Pemetaan risiko residual 3d

Hasil analisis perbandingan sebelum dan sesudah risk treatment

Analisis perbandingan *Risk Priority Number* (RPN) sebelum dan sesudah *risk treatment* dilakukan untuk mengevaluasi perubahan tingkat risiko pada pengembangan jaringan transmisi air bersih. Analisis ini menggunakan hasil penilaian risiko awal dan risiko residual terhadap 40 risiko yang telah diidentifikasi. Penilaian dilakukan berdasarkan tiga parameter, yaitu *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D), yang dikombinasikan untuk menghasilkan nilai RPN.

Perbandingan RPN bertujuan untuk mengetahui perubahan nilai risiko setelah direncanakan tindakan perlakuan risiko, mengidentifikasi perubahan kategori risiko, serta menentukan risiko residual yang masih memerlukan perhatian lebih lanjut. Persentase penurunan RPN dihitung berdasarkan selisih antara RPN awal dan RPN residual dibandingkan dengan RPN awal.

Sementara itu, persentase penurunan RPN dihitung menggunakan persamaan berikut.

"Penurunan RPN" (%)=(RPN_"awal" -RPN_"residual")/(RPN_"awal")×100%

Nilai persentase yang positif menunjukkan penurunan skor RPN, sedangkan nilai negatif menunjukkan peningkatan skor risiko setelah perlakuan. Hasil perbandingan selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi perubahan prioritas risiko dan menentukan kebutuhan pengendalian lanjutan.

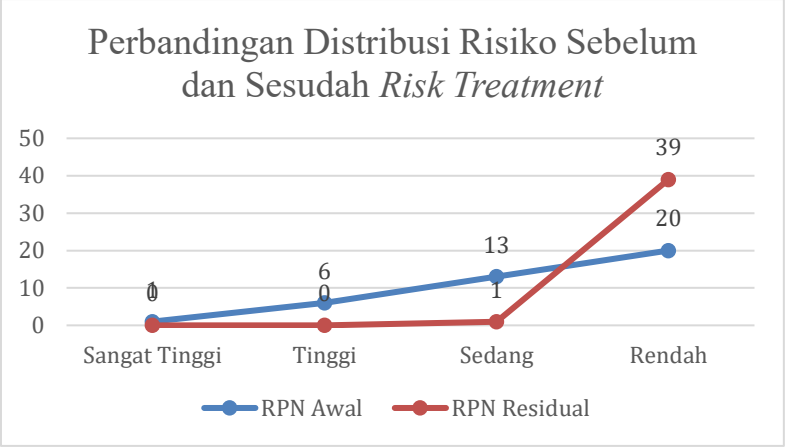
Perbandingan Kategori Risiko Sebelum dan Sesudah Risk Treatment

Berdasarkan hasil penilaian risiko awal dan residual, distribusi risiko menurut kategori dapat disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 1. Distribusi Kategori Risiko Sebelum dan Sesudah Risk Treatment

No.	Kategori Risiko	RPN Awal	RPN Residual	Perubahan Jumlah
1	Sangat Tinggi	1	0	-1
2	Tinggi	6	0	-6
3	Sedang	13	1	-12
4	Rendah	20	39	19
	Total	**40**	**40**	**0**

Berdasarkan Tabel sebelum perlakuan risiko terdapat satu risiko dalam kategori sangat tinggi, enam risiko dalam kategori tinggi, 13 risiko dalam kategori sedang, dan 20 risiko dalam kategori rendah. Setelah dilakukan penilaian risiko residual, distribusi kategori berubah menjadi satu risiko dalam kategori sedang dan 39 risiko dalam kategori rendah. Temuan ini memperlihatkan pentingnya tindakan mitigasi dalam mengendalikan tingkat risiko. Namun, risiko residual yang masih memiliki nilai relatif tinggi tetap memerlukan pemantauan dan pengendalian berkelanjutan sesuai dampaknya terhadap aspek teknis, operasional, dan finansial proyek. Agar lebih jelas berikut visualisai grafik dari tabel.



Gambar 2. Perbandingan distribusi kelas risiko

Perubahan tersebut menunjukkan bahwa berdasarkan estimasi nilai residual, jumlah risiko dalam kategori rendah meningkat dari 20 menjadi 39 risiko. Sebaliknya, risiko dalam kategori sangat tinggi, tinggi, dan sedang mengalami penurunan jumlah. Kondisi ini menunjukkan adanya penurunan tingkat prioritas risiko berdasarkan hasil penilaian setelah perlakuan risiko.

Meskipun demikian, perubahan kategori tidak berarti seluruh risiko dapat diabaikan. Risiko dengan nilai residual relatif tinggi tetap memerlukan pengawasan dan pengendalian sesuai dengan karakteristik dampaknya terhadap aspek teknis, operasional, dan finansial pengembangan jaringan transmisi air bersih.

Perbandingan Nilai RPN Awal dan RPN Residual

Untuk mengetahui perubahan tingkat risiko secara lebih terperinci, dilakukan perbandingan antara nilai *Risk Priority Number* (RPN) awal dan RPN residual pada seluruh risiko yang telah diidentifikasi dalam pengembangan jaringan transmisi air bersih. Perbandingan ini merupakan tahapan lanjutan setelah analisis distribusi kategori risiko sebelum dan sesudah risk treatment. Jika analisis kategori memberikan gambaran mengenai perubahan distribusi tingkat risiko secara keseluruhan, analisis nilai RPN memberikan informasi yang lebih terperinci mengenai besarnya perubahan skor pada setiap risiko.

Nilai RPN awal menggambarkan tingkat prioritas risiko sebelum mempertimbangkan tindakan perlakuan risiko, sedangkan RPN residual menggambarkan tingkat risiko yang diperkirakan masih tersisa setelah mempertimbangkan rekomendasi pengendalian. Kedua nilai tersebut dihitung berdasarkan tiga parameter penilaian risiko, yaitu *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D). *Parameter Severity* menunjukkan tingkat keparahan dampak yang ditimbulkan oleh risiko, *Occurrence* menggambarkan kemungkinan atau frekuensi terjadinya risiko, sedangkan *Detection* menunjukkan tingkat kesulitan dalam mendeteksi risiko sebelum menimbulkan konsekuensi yang lebih besar. Ketiga parameter tersebut dikalikan untuk memperoleh nilai RPN yang digunakan dalam menentukan prioritas penanganan risiko.

Perbandingan dilakukan dengan memperhatikan nilai RPN awal, nilai RPN residual, perubahan kategori risiko, dan persentase penurunan RPN. Selisih antara RPN awal dan RPN residual digunakan untuk mengetahui besarnya penurunan skor risiko, sedangkan persentase penurunan digunakan untuk menggambarkan proporsi penurunan terhadap nilai awal. Nilai persentase penurunan yang semakin besar menunjukkan bahwa skor RPN residual semakin

rendah dibandingkan dengan skor awal. Namun, interpretasi hasil tidak hanya didasarkan pada persentase penurunan, tetapi juga mempertimbangkan nilai RPN residual dan perubahan kategori risiko. Hal ini penting karena suatu risiko dapat mengalami penurunan persentase yang cukup besar, tetapi tetap memiliki nilai residual yang relatif tinggi sehingga masih memerlukan perhatian dalam pelaksanaan pengendalian.

Melalui perbandingan tersebut, setiap risiko dapat dievaluasi berdasarkan perubahan tingkat prioritasnya. Risiko yang mengalami penurunan kategori menunjukkan bahwa nilai RPN residual telah berpindah ke kelompok risiko yang lebih rendah berdasarkan batas klasifikasi yang digunakan dalam penelitian. Sementara itu, risiko yang tetap berada dalam kategori yang sama masih dapat mengalami penurunan skor RPN, meskipun perubahan tersebut belum cukup untuk mengubah kategorinya. Oleh karena itu, penilaian terhadap perubahan skor dan kategori perlu dilakukan secara bersamaan agar hasil evaluasi risiko memberikan gambaran yang lebih komprehensif.

Hasil perbandingan nilai RPN awal dan RPN residual untuk 40 risiko disajikan pada Tabel 4.xx. Tabel tersebut memuat kode dan uraian risiko, parameter S, O, dan D sebelum serta sesudah perlakuan risiko, nilai RPN awal dan residual, kategori risiko, serta persentase penurunan RPN. Penyajian ini dimaksudkan untuk memperlihatkan perubahan tingkat risiko secara individual sekaligus mengidentifikasi risiko yang masih memerlukan prioritas penanganan berdasarkan nilai residualnya.

Hasil analisis selanjutnya digunakan untuk menentukan prioritas pengendalian lanjutan pada risiko yang masih memiliki nilai RPN residual relatif tinggi. Risiko dengan nilai residual tertinggi perlu mendapatkan perhatian lebih besar karena menunjukkan bahwa, berdasarkan penilaian yang dilakukan, risiko tersebut masih memiliki prioritas penanganan yang lebih tinggi dibandingkan dengan risiko lainnya. Di sisi lain, risiko dengan nilai residual rendah tetap memerlukan pemantauan dan pengendalian sesuai dengan karakteristik serta potensi dampaknya terhadap aspek teknis, operasional, dan finansial pengembangan jaringan transmisi air bersih.

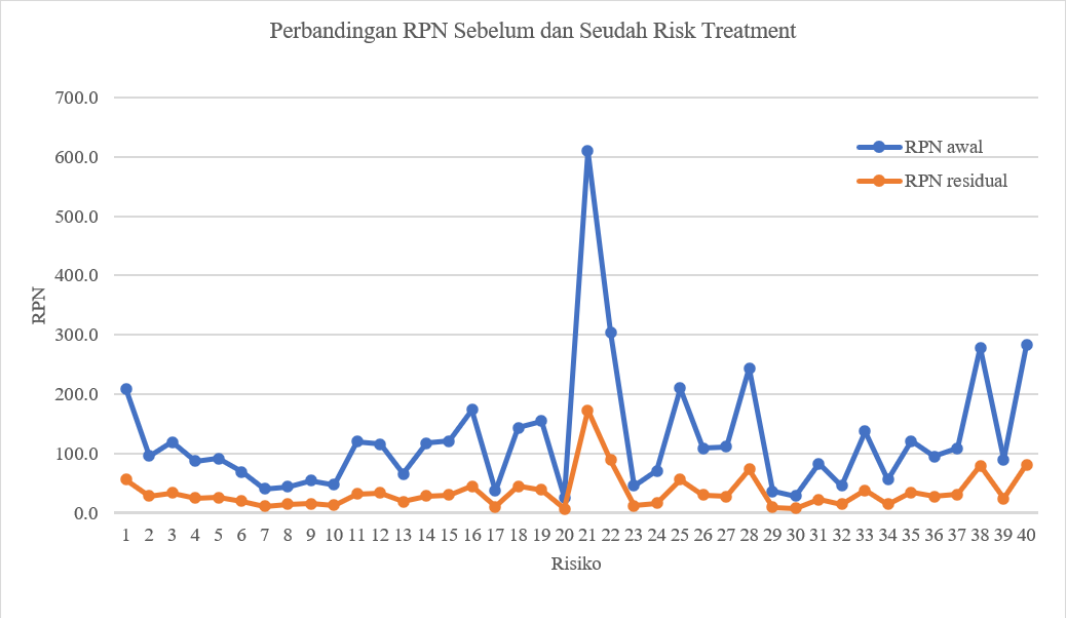
seluruh risiko mengalami penurunan nilai *Risk Priority Number* (RPN) setelah risk treatment dipertimbangkan, dengan persentase penurunan berkisar antara 67,72% hingga 76,85%. Penurunan terbesar diperkirakan terjadi pada R24 (keterbatasan tenaga operator) sebesar 76,85%, sedangkan penurunan terkecil terdapat pada R8 (konflik kepentingan stakeholder) sebesar 67,72%. Hasil tersebut merupakan estimasi berdasarkan penilaian para ahli melalui kuesioner terhadap nilai *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D) setelah rekomendasi mitigasi dipertimbangkan. Dengan demikian, penurunan RPN tersebut belum mencerminkan hasil implementasi mitigasi di lapangan, melainkan menggambarkan tingkat risiko residual yang diperkirakan masih tersisa apabila tindakan pengendalian diterapkan.

Temuan ini dapat dibandingkan dengan penelitian Suriyanto et al. (2022) yang menggunakan metode *Fuzzy Failure Mode and Effects Analysis* untuk mengidentifikasi dan menentukan prioritas risiko pada PDAM Tirta Kencana. Penelitian tersebut mengidentifikasi risiko yang berkaitan dengan ketidaksesuaian produksi dan kebutuhan air, penurunan kualitas air baku, serta gangguan aliran pada jaringan distribusi. Kesamaan kedua penelitian terletak pada penggunaan pendekatan FMEA untuk menentukan prioritas risiko dalam sistem penyediaan air minum. Perbedaannya, penelitian Suriyanto et al. berfokus pada identifikasi dan

penentuan prioritas risiko, sedangkan penelitian ini juga mengestimasi perubahan nilai RPN setelah rekomendasi mitigasi dipertimbangkan berdasarkan penilaian ahli.

Pada risiko kehilangan air (Non-Revenue Water/NRW), R21 mengalami penurunan RPN dari 609,26 menjadi 172,50 atau sebesar 71,70%. Meskipun demikian, risiko ini masih memiliki nilai RPN residual tertinggi dan termasuk kategori sedang. Hasil tersebut relevan dengan penelitian Wibowo dan Slamet (2024) mengenai pengendalian NRW melalui manajemen tekanan pada jaringan distribusi Perumda Air Minum Sumber Sejahtera Kabupaten Bangkalan. Penelitian tersebut melaporkan penurunan NRW dari 38,26% menjadi 31,48% setelah penerapan tindakan pengendalian teknis. Kesamaan kedua penelitian terletak pada perhatian terhadap kehilangan air sebagai permasalahan penting dalam pengelolaan sistem penyediaan air minum. Namun, terdapat perbedaan mendasar dalam pendekatan evaluasinya. Penelitian Wibowo dan Slamet melaporkan perubahan NRW berdasarkan hasil pengendalian, sedangkan penelitian ini memperkirakan penurunan prioritas risiko melalui penilaian residual oleh para ahli. Oleh karena itu, penurunan RPN R21 sebesar 71,70% tidak dapat diartikan sebagai penurunan kehilangan air dengan persentase yang sama.

Secara keseluruhan, perbandingan dengan penelitian terdahulu memperkuat relevansi penggunaan metode penilaian risiko untuk menentukan prioritas pengendalian pada sistem penyediaan air minum. Kontribusi penelitian ini terletak pada estimasi perubahan tingkat risiko yang mencakup tahap pra-konstruksi, konstruksi, operasi, dan aspek finansial pengembangan jaringan transmisi air bersih menuju Citraland GamaCity. Meskipun seluruh risiko diperkirakan mengalami penurunan RPN setelah risk treatment dipertimbangkan, hasil tersebut belum dapat dijadikan bukti bahwa mitigasi telah berhasil menurunkan risiko secara aktual. Verifikasi tetap diperlukan melalui pemantauan dan evaluasi setelah tindakan pengendalian dilaksanakan, terutama terhadap risiko NRW (R21) yang masih menjadi prioritas utama, serta risiko teknis dan finansial lain yang dapat memengaruhi keberlanjutan proyek. Agar lebih jelas berikut disajikan Gambar 3. grafik perbandingan RPN sesudah dan sebelum Risk Treatment



Gambar 3. Perbandingan RPN sebelum dan sesudah risk treatment

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil wawancara, studi literatur, dan analisis risiko, teridentifikasi 40 risiko pada pengembangan jaringan transmisi air bersih dari Perumda Tirtanadi menuju CitraLand GamaCity yang dikelompokkan dalam tahap pra-konstruksi, konstruksi, operasional, dan finansial. Berdasarkan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), terdapat 1 risiko (2,50%) berkategori sangat tinggi, 6 risiko (15,00%) tinggi, 13 risiko (32,50%) sedang, dan 20 risiko (50,00%) rendah. Risiko prioritas tertinggi adalah R21, yaitu kehilangan air (*Non-Revenue Water*/NRW). Pemetaan menggunakan *3D Risk Matrix* berdasarkan *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D), dengan RPN sebagai dasar penentuan prioritas, menunjukkan bahwa risiko dengan nilai RPN tertinggi perlu diutamakan dalam strategi mitigasi untuk mendukung keberlanjutan pengembangan jaringan transmisi air bersih.

Berdasarkan hasil estimasi pada skenario optimis, risiko ketidaksesuaian proyeksi arus kas (R40) menghasilkan kerugian finansial tertinggi sebesar Rp4.784.427.587, diikuti risiko keterlambatan perizinan (R1) sebesar Rp2.227.944.351, gangguan kualitas air (R28) sebesar Rp2.126.412.261, dan tidak tercapainya proyeksi pendapatan (R25) sebesar Rp2.017.259.760. Sementara itu, risiko kehilangan air (R21) memiliki estimasi kerugian hingga Rp191.016.876. Hasil ini menunjukkan bahwa prioritas berdasarkan nilai RPN tidak selalu sejalan dengan besarnya kerugian finansial. Rekomendasi mitigasi difokuskan pada pengendalian kehilangan air dan tekanan jaringan, pengawasan arus kas dan biaya operasional, pemantauan kualitas air, peningkatan efektivitas penagihan, pencapaian target pendapatan, serta percepatan perizinan. Dengan demikian, strategi mitigasi perlu mempertimbangkan nilai RPN dan estimasi kerugian finansial secara bersamaan agar pengendalian risiko lebih efektif dan keberlanjutan proyek tetap terjaga.

Berdasarkan hasil penilaian *expert judgment* setelah rekomendasi mitigasi dipertimbangkan, tingkat risiko mengalami penurunan yang signifikan. Jumlah risiko kategori sangat tinggi menurun dari 1 menjadi 0, kategori tinggi dari 6 menjadi 0, kategori sedang dari 11 menjadi 1, sedangkan kategori rendah meningkat dari 22 menjadi 39. Perubahan ini menunjukkan bahwa 39 dari 40 risiko berada pada kategori rendah dan hanya 1 risiko masih berkategori sedang. Perbandingan RPN awal dan RPN residual pada tujuh risiko prioritas juga menunjukkan penurunan RPN sebesar 70,11%–73,53%. Meskipun demikian, hasil tersebut masih merupakan estimasi berdasarkan penilaian expert judgment terhadap rekomendasi mitigasi yang diusulkan, bukan hasil pengukuran setelah mitigasi diterapkan secara langsung di lapangan. Dengan demikian, rekomendasi mitigasi diperkirakan dapat menurunkan tingkat risiko pengembangan jaringan transmisi air bersih menuju CitraLand GamaCity, namun efektivitas aktualnya tetap perlu dievaluasi melalui penerapan mitigasi, pemantauan, dan pengendalian risiko secara berkelanjutan.

PERNYATAAN KONTRIBUSI PENULIS

Penulis menyatakan bahwa tidak menggunakan kecerdasan artifisial generatif dalam penyusunan artikel ini.

REFERENSI

Agusman, A., Prasetya, H. B., & Purba, H. H. (2021). Tinjauan dan analisis risiko dalam proyek konstruksi bangunan: Studi literatur. *Jurnal Teknologi dan Manajemen, 19*(2), 41–52. https://doi.org/10.52330/jtm.v19i2.29

Bitty, S. E., Liany Amelia, H., Arthur Haris, T., & Grace, M. (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

Bosco, C., Raspati, G. S., Tefera, K., Rishovd, H., & Ugarelli, R. (2022). Protection of water distribution networks against cyber and physical threats: The STOP-IT approach demonstrated in a case study. *Water, 14*(23), Article 3895. https://doi.org/10.3390/w14233895

Cerroni, M., Sette, C., Passoni, M., Longato, A., & Scroccaro, R. (2026). Integrating electrical and automation risks into water safety plans: A semi-quantitative framework and application to the Negrisiola drinking water supply system. *Journal of Water and Health, 24*(6), 784–799. https://doi.org/10.2166/wh.2026.227

Fadila, N., & Harahap, D. S. (2025). Analisis manajemen risiko biaya dalam pelaksanaan proyek konstruksi gedung bertingkat dengan metode failure mode and effect analysis (FMEA) pada proyek pembangunan laboratorium pengujian produk dan pemeriksaan penyakit hewan. *Jurnal Teknik Sipil, 4*(2). https://doi.org/10.30743/jtsip.v4i2.12834

Gómez-Cabrera, A., Gutierrez-Bucheli, L., & Muñoz, S. (2024). Causes of time and cost overruns in construction projects: A scoping review. *International Journal of Construction Management, 24*(10), 1107–1125. https://doi.org/10.1080/15623599.2023.2252288

Gracia, M. D., Mar-Ortiz, J., Luna-Domínguez, C. R., & Pancardo, J. (2026). A methodological approach for risk assessment of municipal water supply projects. *Mathematics, 14*(5), 1–19. https://doi.org/10.3390/math14050890

Hidayatno, A., Moeis, A. O., Sutrisno, A., & Maulidiah, W. (2015). Risk impact analysis on the investment of drinking water supply system development using project risk management. *International Journal of Technology, 6*(5), 894–904. https://doi.org/10.14716/ijtech.v6i5.1764

International Organization for Standardization. (2018). *Risk management—Guidelines* (ISO 31000:2018). ISO.

Juan, Y.-K., Sheu, U.-Y., & Chen, K.-S. (2023). Application of statistical data and methods to establish RPN ratings of FMEA method for construction projects. *Journal of Civil Engineering and Management, 29*(7), 662–668. https://doi.org/10.3846/jcem.2023.19942

Julca-Varas, C., García-Segura, T., Torres-Machi, C., & Montalbán-Domingo, L. (2025). Primary risks for delays and cost overruns in the construction of drinking water supply and sanitation projects in Peru. *Journal of Management in Engineering, 41*(3). https://doi.org/10.1061/JMENEA.MEENG-6496

Kombo Mpindou, G. O. M., Escuder Bueno, I., & Chordà Ramón, E. (2022). Risk analysis methods of water supply systems: Comprehensive review from source to tap. *Applied Water Science, 12*(4), Article 56. https://doi.org/10.1007/s13201-022-01586-7

Kumar, S., & Kirytopoulos, K. (2023). Investigating risks in the delivery of water and wastewater infrastructure projects in Australia. *International Journal of Risk Assessment and Management, 25*(3–4), 151–178. https://doi.org/10.1504/IJRAM.2022.130522

Li, H., Liang, M., & Ma, Y. (2022). Operational safety risk assessment of water diversion infrastructure based on FMEA with fuzzy inference system. *Water Supply, 22*(10), 7513–7531. https://doi.org/10.2166/ws.2022.322

Nanda, F. A., Masduqi, A., Ahyar, A., & Rachman, A. S. (2023). Analysis of non-revenue water reduction using the FAVAD method in DMA planning: Case study in Palangka Raya drinking water supply system. *Sustinere: Journal of Environment and Sustainability, 7*(3), 248–265. https://doi.org/10.22515/sustinere.jes.v7i3.364

Narli, M. (2026). A dynamic approach to FMEA-RPN risk classification: Comparing with the classical FMEA method. *Medycyna Pracy, 77*(2), 89–99. https://doi.org/10.13075/mp.5893.01678

Nunes, R., Arraut, E., & Pimentel, M. (2023). Risk assessment model for the renewal of water distribution networks: A practical approach. *Water, 15*(8), Article 1509. https://doi.org/10.3390/w15081509

OECD. (2023). *Water financing and disaster risk reduction in Indonesia: Highlights of a national dialogue on water*. OECD Publishing. https://www.oecd.org/en/publications/water-financing-and-disaster-risk-reduction-in-indonesia_3205b20a-en.html

Putra, Z., Chan, S., & Iha, M. (2018). Desain manajemen risiko berbasis ISO 31000 pada PDAM Tirta Meulaboh. *Jurnal Kebangsaan, 7*(13).

Rifa'i, M. M. (2020). *Kajian analisis risiko investasi untuk penyusunan kelayakan sistem penyediaan air minum dengan metode failure mode and effect analysis (FMEA) (Studi kasus: Di Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik)* [Tesis magister, Institut Teknologi Sepuluh Nopember]. https://repository.its.ac.id/78995/

Safruddin, M. J., & Hasibuan, S. (2020). Strategi mitigasi risiko proyek konstruksi utilitas piping dan sipil: Studi kasus PDAM Jakarta. *Operations Excellence: Journal of Applied Industrial Engineering, 12*(1), 74. https://doi.org/10.22441/oe.2020.v12.i1.007

Suriyanto, Profita, A., & Saptaningtyas, W. W. E. (2022). Penilaian risiko pada PDAM Tirta Kencana dengan metode fuzzy failure mode and effects analysis. *Journal of Industrial and Manufacture Engineering, 6*(2).

Wandari, M. P. A., Jati, E. G. D., Holeng, V. A., Ma'ruf, S. A. Q., Rahmawati, D., Jabbar, A., & Ridho Fariz, T. (2023). Keberlanjutan sistem penyediaan air bersih berbasis masyarakat di Kota Semarang. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, *11*(2), 408–416.

Wibowo, A. K., & Slamet, A. (2024). Pengendalian non-revenue water menggunakan manajemen tekanan pada zona pelayanan pompa Junok di Perumda Air Minum Sumber Sejahtera Kabupaten Bangkalan. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah, 12*(1). https://doi.org/10.26418/jtllb.v12i1.74304