



**Article history:**

Submitted: 25-06-2024

Received: 20-02-2026

Revised: 01-03-2026

Accepted: 01-03-2026

## **Analisis Pengambilan Keputusan Penggunaan Kendaraan Operasional Tambang dengan Metode *Bow Tie Analysis* dan *Analitycal Hierarchy Process* (AHP)**

**Fatimah Dewi Firdausy, Tranggono, Rizqi Novita Sari**

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Correspondence: [20032010184@student.upnjatim.ac.id](mailto:20032010184@student.upnjatim.ac.id), [tranggono.ti@upnjatim.ac.id](mailto:tranggono.ti@upnjatim.ac.id),  
[rizqi.novita.ti@upnjatim.ac.id](mailto:rizqi.novita.ti@upnjatim.ac.id)

### **ABSTRAK**

Tujuan penelitian ini adalah menentukan moda transportasi terbaik diantara moda transportasi kendaraan operasional tambang berbahan bakar konvensional dan kendaraan operasional tambang berbahan bakar listrik berdasarkan analisis risiko. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Bow Tie Analysis* digunakan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi dan mengelola resiko dengan memperlihatkan hubungan sebab dan akibat dari suatu resiko dan langkah mitigasi yang tepat pada kendaraan operasional tambang berbahan bakar konvensional dan kendaraan operasional tambang berbahan bakar listrik dan *Analytic Hierarchy Process* (AHP) digunakan untuk dapat memilih moda terbaik serta meminimalisir permasalahan atau risiko yang dapat terjadi pada aktivitas perusahaan, metode. Hasil dari kalkulasi seluruh level menggunakan *software expert choice 11* diperoleh hasil perhitungan akhir pemilihan penggunaan kendaraan operasional tambang terpilih diperoleh ranking vektor prioritas tertinggi yaitu alternatif kendaraan operasional tambang berbahan bakar listrik dengan persentase 55.0%. Risiko Ketidaknyamanan Pada Masyarakat menjadi jenis risiko dengan ranking tertinggi dengan persentase 42,7% artinya risiko ketidaknyamanan pada masyarakat menjadi pertimbangan terbesar PT X

**Kata kunci:** Risiko, Manajemen Risiko, *Bow Tie Analysis*, *Analytic Hierarchy Process* (AHP), Pengambilan Keputusan

### **ABSTRACT**

*The aim of this research is to determine the best mode of transportation between conventional fueled mining operational vehicles and electric fueled mining operational vehicles based on risk analysis. This research was conducted using the Bow Tie Analysis method which is used to identify, evaluate and manage risks by showing the cause and effect relationship of a risk and appropriate mitigation measures in conventional fueled mining operational vehicles and electric fueled mining operational vehicles and the Analytic Hierarchy Process (AHP) is used to be able to choose the best mode and minimize problems or risks that can occur in company activities and methods. The results of calculations at all levels using expert choice 11 software showed that the final calculation results for selecting the use of selected mining operational vehicles obtained the highest priority vector ranking, namely alternative electric mining operational vehicles with a percentage of 55.0%. Risk of Discomfort to the Community is the type of risk with the highest ranking with a percentage of 42.7%, meaning that the risk of discomfort to the community is the biggest consideration for PT X*

**Keywords:** Risk, Risk Management, *Bow Tie Analysis*, *Analytic Hierarchy Process* (AHP), Decision-making

### **PENDAHULUAN**

Pertambangan merupakan salah satu sektor bisnis di Indonesia yang dikategorikan sebagai industri dengan potensi bahaya tinggi di lingkungan kerjanya. Karakteristik pertambangan adalah padat modal dan teknologi, membutuhkan peralatan atau kompetensi khusus, dan memiliki bahaya serta resiko yang dinamis. Upaya pengelolaan keselamatan dapat dilakukan salah satunya dengan manajemen risiko. Manajemen risiko merupakan proses berkelanjutan untuk mengenal bahaya pada setiap kegiatan, memprediksi setiap kejadian, dan menentukan tindakan pengendalian risiko yang berdampak terhadap

kinerja keselamatan pertambangan. Fungsi dari manajemen risiko adalah mengatur alur kegiatan, menjadi panduan pelaksanaan kegiatan, mendorong keterlibatan *stakeholder*, dan memotivasi perbaikan berkelanjutan.

PT X merupakan perusahaan BUMN Holding Industri Pertambangan yang terdiversifikasi dan terintegrasi secara vertikal yang berorientasi ekspor, Selain itu juga sebuah industri pertambangan batubara yang juga memiliki risiko yang tinggi terhadap kecelakaan mulai yang bersifat ringan sampai fatal (meninggal). PT X tercatat terjadi kecelakaan sebanyak 114 kali (Januari-Desember 2017) mulai dari kecelakaan ringan sampai berat dan tidak ada kejadian fatal pada tahun 2017. Dalam sejarahnya, Industri batu bara merupakan suatu kegiatan usaha yang dipandang memiliki risiko kecelakaan yang sangat tinggi. Jika dirata-ratakan maka di PT X terjadi kecelakaan sebanyak 10 kali setiap bulan, artinya hampir setiap hari terjadi kecelakaan. Dan tercatat 14 kali kecelakaan karena manusia, sehingga jika dirata-ratakan kecelakaan karena *human error* bisa terjadi 1 sampai 2 kali dalam sebulan. Dengan pernyataan tersebut PT X saat ini beralih menerapkan praktik pertambangan yang baik (*Good Mining Practice*) untuk mengurangi emisi dan angka kecelakaan. Langkah tersebut tercermin dari program-program dekarbonisasi, seperti *Eco Mechanized Mining*, yakni mengganti peralatan pertambangan yang menggunakan bahan bakar fosil menjadi elektrik. Untuk melakukan visi dan misi tersebut PT X bekerja sama dengan konsultan terpilih yaitu PT INKA Multi Solusi Consulting (PT IMSC).

PT IMSC merupakan afiliasi dari PT Industri Kereta Api (Persero) anak perusahaan dari PT INKA Multi Solusi yang didirikan pada tanggal 22 Maret 2017 yang bergerak dalam bidang jasa konsultasi, rancang bangun, perekayasaan, distributor dan pemeliharaan atau perbaikan berteknologi tinggi di bidang perkeretaapian dan transportasi darat lainnya. PT INKA Multi Solusi Consulting (PT IMSC), perusahaan yang bergerak di bidang jasa konsultasi ditetapkan sebagai pemenang tender untuk melaksanakan pekerjaan konsultan dalam menentukan moda transportasi mana yang optimal. Keputusan tersebut diambil dengan cara membandingkan kemungkinan risiko terendah yang akan terjadi diantara moda terpilih yaitu kendaraan operasional tambang berbahan bakar konvensional dan kendaraan operasional tambang yang berbahan bakar listrik.

Hal ini sesuai dengan penelitian Hendra & Basuki (2022) yang meneliti tentang penerapan *international ship and port facility security (ISPS) code* pada pelabuhan tanjung emas berbasis *bow tie risk assessment* dengan hasil risiko tertinggi bersumber dari penerapan aturan standar keamanan pelabuhan dengan nilai kemungkinan (*Likelihood Index*) sebesar 100% pada level risiko 4 (*Extremely High*) dan nilai keparahan (*Severity Index*) mencapai 50% pada level risiko 3 (*High*) dengan kategori matriks pada tingkat resiko ekstrim (E), dan penelitian Ardiprawiro & Maharani (2020) meneliti tentang analisis keputusan kelompok berbasis *analytic hierarchy process* dalam pemilihan aplikasi jasa transportasi daring dengan hasil gojek menjadi prioritas dalam memilih aplikasi jasa transportasi daring dengan nilai bobot sebesar 0,58 atau 58% dan Grab sebesar 0,42 atau 42%. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model penelitian dengan mengintegrasikan kedua metode tersebut untuk mengambil keputusan yang tepat dalam pemilihan penggunaan kendaraan operasional tambang

## **METODE**

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian deskriptif. Data yang digunakan pada penelitian deskriptif dikumpulkan dengan teknik wawancara dan *brainstorming* langsung dengan didukung penggunaan kuesioner yang disebarakan kepada para responden (Sinulingga, 2017). Metode yang digunakan untuk analisa data yaitu metode *Bow Tie Analysis* dan *Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Metode *Bow Tie Analysis* digunakan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi dan mengelola resiko dengan memperlihatkan hubungan sebab dan akibat dari suatu resiko. Sedangkan *Analytical Hierarchy Process (AHP)* digunakan untuk dapat memilih moda terbaik serta meminimalisir permasalahan atau risiko yang dapat terjadi pada aktivitas perusahaan, metode yang digunakan adalah AHP. Metode AHP metode yang digunakan untuk mengambil keputusan yang bersifat komprehensif dengan cara melakukan perbandingan alternatif satu dan lainnya serta memperhitungkan hal-hal yang bersifat kualitatif dan kuantitatif.

Penelitian dilakukan di PT INKA Multi Solusi Consulting (PT IMSC) yang merupakan afiliasi anak perusahaan PT Industri Kereta Api (PT INKA) (Persero) lingkup pekerjaannya bergerak dalam bidang jasa konsultasi, rancang bangun, perekayasaan, distributor dan pemeliharaan atau perbaikan berteknologi tinggi di bidang perkeretaapian, transportasi darat lainnya, dan bangunan yang berlokasi di Jl. Salak I No. 23, Taman, Kec. Taman, Kota Madiun, Jawa Timur 63131. Proses pengumpulan data

dilakukan dengan melakukan wawancara langsung, dokumen perusahaan dan juga melakukan penyebaran kuisioner. Wawancara dilakukan dengan melakukan sesi tanya jawab dan diskusi dengan *expert judgement* yang ada di perusahaan sesuai dengan kebutuhan penelitian sejumlah 3 orang. Responden pada penelitian ini dibagi menjadi dua sesi yaitu penyebaran kuisioner *Bow Tie Analysis* dan berikutnya dilanjutkan dengan penyebaran kuisioner AHP. Responden kuisioner *Bow Tie Analysis* berjumlah satu orang yang *expert* yaitu *General Manager* Riset dan Pengembangan PT INKA Multi Solusi Consulting yang terlibat secara langsung dengan proyek PT X. Sedangkan, responden kuisioner *Analytical Hierarchy Process (AHP)* berjumlah dua orang yang *expert* yaitu *General Manager* Riset dan Pengembangan PT INKA Multi Solusi Consulting dan *staff* ahli Operasional Angkutan Tambang.

## HASIL

**Tabel 1**  
**Perhitungan Risk Priority Number (RPN) Moda Transportasi Kendaraan operasional tambang berbahan bakar konvensional**

Risk ID	Jenis Risiko	Potensi efek kegagalan risiko	S	O	RPN	Rank
1	Teknis	Kegagalan mesin dapat mengganggu operasi dan menyebabkan kendaraan menjadi tidak dapat digunakan	7	7	49	13
2		Kegagalan sistem bahan bakar dapat mengakibatkan kendaraan mati mendadak atau bahkan kebakaran	9	6	54	11
3		Kecelakaan terjadi kendaraan menabrak pembatas jalan atau keluar dari jalan	9	8	72	3
4		Kendaraan terjadi kecelakaan karena ban kempes	6	9	54	11
5		Kegagalan sistem rem dapat menyebabkan kecelakaan serius, kerusakan kendaraan, dan bahaya bagi pengemudi dan pekerja tambang lainnya	9	5	45	17
6		Proses pengangkutan terganggu akibat genangan air	4	7	28	21
7		Kecelakaan kendaraan operasional di jalur tikungan	8	6	48	15
8		Kegagalan sistem transmisi dapat mengganggu operasi dan menyebabkan kendaraan menjadi tidak dapat digunakan	5	5	25	17
9		Hilangnya kendali atas kendaraan, terutama saat melakukan manuver atau mengatasi rintangan di jalan, dan membuat pengemudi tidak nyaman	4	4	16	23
10		Kecelakaan kerja terhadap operator kendaraan saat <i>Change Shift Area (CSA)</i>	4	3	12	24
11		Kecelakaan kerja terhadap mekanik karena tidak ada APD dan minimnya alat kerja	6	5	30	20
12		Mengganggu kendaraan dalam beroperasi dengan aman, terutama pada kondisi cahaya rendah atau malam hari	8	6	48	15
13		Terjadi kecelakaan karena jalur bergelombang	7	6	42	19
14		Kecelakaan karena jalur licin (tergelincir)	9	9	81	1
15		Dapat menyebabkan kerusakan mesin hingga mengakibatkan kecelakaan	7	7	49	13
16	Sosial	<i>Airbag</i> yang tidak berfungsi berpotensi mengakibatkan cedera atau bahkan kematian dalam kecelakaan	9	5	45	17
17		Risiko kematian yang lebih tinggi	9	7	63	8
18		Keterbatasan dalam mengendalikan kebakaran	8	8	64	6
19		Kendaraan tidak dapat beroperasi dengan baik	8	9	72	3
20	Lingkungan	Paparan terhadap polusi udara dapat menyebabkan gangguan kesehatan seperti gangguan pernapasan, iritasi mata dan tenggorokan, atau penyakit pernapasan pada warga sekitar	8	9	72	3
21		Mengganggu warga sekitar saat terjadi polusi di udara	9	7	63	8
22		Masyarakat sekitar terganggu dengan kebisingan yang ditimbulkan oleh kendaraan di area tambang	9	9	81	1
23		Dapat menyebabkan kerusakan tanah yang serius, termasuk erosi, penurunan kesuburan, dan degradasi tanah	9	7	63	8
24	Pencemaran lingkungan dapat memiliki dampak negatif pada lingkungan seperti merusak tanaman, mengurangi kualitas air dan tanah, dan mengganggu ekosistem	8	8	64	6	

Total = 1240

Rata-Rata = 51.67

Sumber: data olahan

Tabel 1 menjelaskan perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) kendaraan operasional berbahan bakar konvensional, didapatkan total perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) pada kendaraan operasional berbahan bakar konvensional berjumlah 1240 dan rata-rata 51,67. Sedangkan Tabel 2 menjelaskan perhitungan *Risk Priority Number* moda kendaraan operasional tambang berbasis listrik, didapatkan total perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) pada Kendaraan operasional berbahan bakar listrik berjumlah 1130 dan rata-rata 51,36.

**Tabel 2**  
**Perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) Moda Transportasi Kendaraan operasional tambang berbahan bakar listrik**

Risk ID	Jenis Risiko	Potensi efek kegagalan risiko	S	O	RPN	Rank
1	Teknis	Kegagalan baterai. Baterai yang rusak atau bermasalah dapat mengurangi daya tahan kendaraan sehingga kendaraan tidak bisa digunakan	7	6	42	15
2		Kendaraan listrik jika tidak dapat diisi daya secara efektif dapat mengganggu operasi tambang	8	6	48	13
3		Kecelakaan dapat terjadi dan membahayakan pengemudi dan material tambang yang diangkut	9	7	63	4
4		Kegagalan komponen elektrik dapat menyebabkan kerusakan pada kendaraan atau infrastruktur tambang, memerlukan waktu dan biaya untuk perbaikan dan mengganggu jadwal operasional	6	6	36	19
5		Kegagalan sistem kendali dapat menyebabkan kendaraan menjadi tidak stabil atau sulit untuk dikendalikan	9	7	63	4
6		Kegagalan sistem kelistrikan tambahan dapat mempengaruhi kinerja operasional dan keamanan kendaraan operasional tambang	6	7	42	15
7		Kecelakaan kerja mekanik karena peralatan bengkel dan APD tidak memadai	7	5	35	20
8		Kegagalan sistem rem regeneratif dapat menurunkan kemampuan kendaraan untuk menghasilkan energi kembali saat pengereman, meningkatkan konsumsi energi	9	5	45	14
9		Mengganggu operasi tambang dan membutuhkan waktu untuk pemulihan	9	6	54	11
10		Proses muat terganggu karena permasalahan listrik	7	4	28	22
11		Kegagalan sistem navigasi dapat meningkatkan risiko kecelakaan	7	5	35	20
12		Mengganggu kendaraan dalam beroperasi dengan aman, terutama pada kondisi cahaya rendah atau malam hari	8	6	48	15
13		Terjadi kecelakaan karena jalur bergelombang	7	6	42	19
14		Kecelakaan karena jalur licin (tergelincir)	9	9	81	1
15		Dapat menyebabkan kerusakan mesin hingga mengakibatkan kecelakaan	7	7	49	13
16		<i>Airbag</i> yang tidak berfungsi berpotensi mengakibatkan cedera atau bahkan kematian dalam kecelakaan	9	5	45	17
17		Risiko kematian yang lebih tinggi	9	7	63	8
18		Keterbatasan dalam mengendalikan kebakaran	8	8	64	6
19		Kendaraan tidak dapat beroperasi dengan baik	8	9	72	3
20	Sosial	Dapat mengganggu kesejahteraan dan kualitas hidup masyarakat di sekitarnya akibat pencemaran air atau tanah	9	9	81	1
21		Kerusakan jalan akibat lalu lintas kendaraan tambang dapat merusak infrastruktur lokal dan mengganggu mobilitas masyarakat	8	8	64	2
22		Ketidakpuasan masyarakat terhadap dampak negatif tambang bisa menimbulkan konflik antara perusahaan tambang dan penduduk lokal	7	9	63	4
23	Lingkungan	Pembuangan limbah dari proses dapat mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik	7	8	56	8
24		Penggunaan bahan kimia dalam proses penambangan dan pengolahan mineral dapat menyebabkan pencemaran tanah	7	9	63	4

Total = 1130

Rata-Rata = 51,36

Sumber: data olahan

Berdasarkan hasil wawancara dan diskusi dengan manager dan staff ahli PT IMSC, risiko teknis, risiko sosial, dan risiko lingkungan kemudian dilakukan klasifikasi risiko yang menjadi pertimbangan PT X dalam memilih moda transportasi tambang terbaik berdasarkan risiko yaitu: (1) risiko kegagalan

sistem operasional; (2) risiko kecelakaan kerja pada operator; (3) risiko ketidaknyamanan masyarakat sekitar; dan (3) risiko kerusakan lingkungan. Berikut merupakan perangkingan RPN pada masing-masing moda transportasi beserta klasifikasi risiko yang sesuai dengan pertimbangan PT X sebagai berikut:

1. Perangkingan *Risk Priority Number* (RPN) pada transportasi kendaraan operasional tambang berbahan bakar konvensional. Berdasarkan hasil perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) kendaraan operasional tambang berbahan bakar konvensional diperoleh hasil rata-rata RPN adalah 51,67 dan total RPN adalah 1240. Nilai RPN tertinggi kendaraan operasional tambang berbahan bakar konvensional diperoleh oleh potensial risiko kecelakaan terjadi karena jalur licin (tergelincir) (ID Risk 14) dan potensial risiko sosial yaitu masyarakat sekitar terganggu dengan kebisingan yang ditimbulkan oleh kendaraan di area tambang (ID Risk 22).
2. Perangkingan *Risk Priority Number* (RPN) pada transportasi kendaraan operasional tambang berbahan bakar listrik. Berdasarkan hasil perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) kendaraan operasional tambang berbasis listrik diperoleh hasil rata-rata RPN adalah 51,36 dan total RPN adalah 1130. Nilai RPN tertinggi kendaraan operasional tambang berbahan bakar listrik diperoleh oleh dapat mengganggu kesejahteraan dan kualitas hidup masyarakat di sekitarnya, terutama jika ada gangguan seperti pencemaran yang terkait dengan operasi kendaraan tersebut (ID Risk 18).

#### *Analisis Penentuan Risiko Berdasarkan Bow Tie Analysis*

Berdasarkan hasil perhitungan *severity* dan *occurrence* kemudian digabungkan dan dihitung *Risk Priority Number* (RPN) diperoleh nilai RPN tertinggi pada risiko pada masing-masing moda transportasi. Berdasarkan hasil perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) kendaraan operasional tambang berbahan bakar konvensional diperoleh hasil rata-rata RPN adalah 51,67 dan total RPN adalah 1240. Nilai RPN tertinggi kendaraan operasional tambang berbahan bakar konvensional diperoleh oleh potensial risiko kecelakaan terjadi karena jalur licin (tergelincir) (ID Risk 14) dan potensial risiko sosial yaitu masyarakat sekitar terganggu dengan kebisingan yang ditimbulkan oleh kendaraan di area tambang (ID Risk 22). Berdasarkan hasil perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) kendaraan operasional tambang berbasis listrik diperoleh hasil rata-rata RPN adalah 51,36 dan total RPN adalah 1130. Nilai RPN tertinggi kendaraan operasional tambang berbahan bakar listrik diperoleh oleh dapat mengganggu kesejahteraan dan kualitas hidup masyarakat di sekitarnya, terutama jika ada gangguan seperti pencemaran yang terkait dengan operasi kendaraan tersebut (ID Risk 18).

**Tabel 3**  
***Risk Priority Number* (RPN) Tertinggi Kendaraan operasional tambang berbahan bakar konvensional dan kendaraan operasional tambang berbahan bakar listrik**

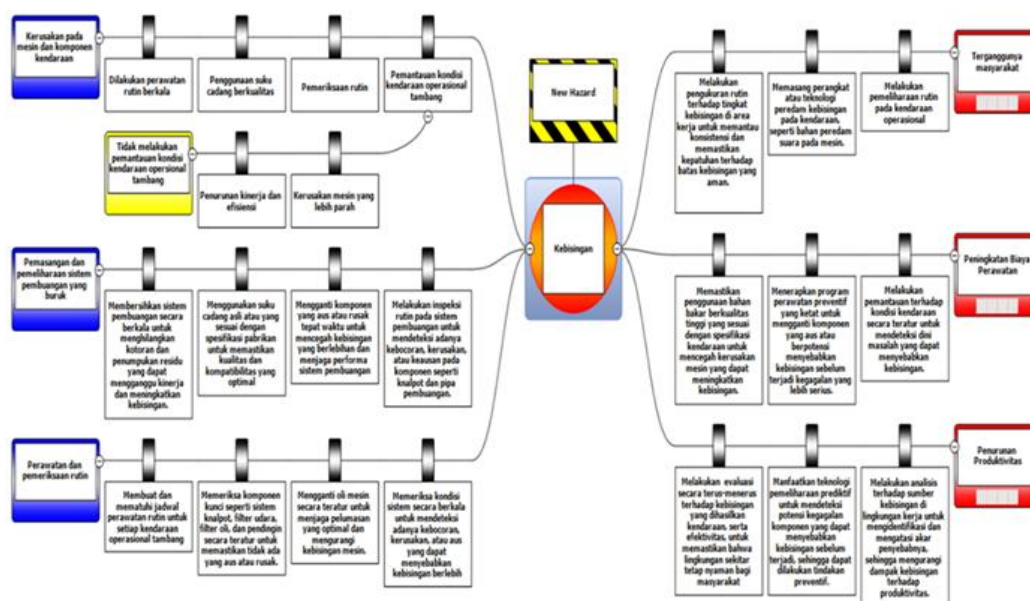
Kendaraan Operasional Tambang Berbahan Bakar Konvensional					Kendaraan Operasional Tambang Berbahan Bakar Listrik			
Risk ID	Jenis Risiko	Potensi Efek	RPN	Rank	Risk ID	Potensi Efek	RPN	Rank
		<b>Kegagalan Risiko</b>				<b>Kegagalan Risiko</b>		
18	Risiko Kegagalan sistem operasional	Keterbatasan dalam mengendalikan kebakaran	64	6	5	Kegagalan sistem kendali dapat menyebabkan kendaraan menjadi tidak stabil atau sulit untuk dikendalikan	63	4
14	Risiko Kecelakaan kerja pada operator	Kecelakaan karena jalur licin (tergelincir)	81	1	3	Kecelakaan dapat terjadi dan membahayakan pengemudi dan material tambang yang diangkut	63	4
22		Masyarakat sekitar terganggu dengan kebisingan yang ditimbulkan oleh kendaraan di area tambang	81	1	18	Dapat mengganggu kesejahteraan dan kualitas hidup masyarakat di sekitarnya akibat pencemaran air dan atau tanah	81	1
20		Paparan terhadap polusi udara dapat	72	3	19	Kerusakan jalan akibat lalu lintas	64	2

		menyebabkan gangguan kesehatan seperti gangguan pernapasan, iritasi mata dan tenggorokan, atau penyakit pernapasan pada warga sekitar				kendaraan tambang dapat merusak infrastruktur lokal dan mengganggu mobilitas masyarakat		
21		Mengganggu warga sekitar saat terjadi polusi di udara	63	8	20	Pengangkutan dan kecelakaan antar kendaraan operasional dan kendaraan di sekitar area pertambangan	63	4
23	Risiko kerusakan Lingkungan	Dapat menyebabkan kerusakan tanah yang serius, termasuk erosi, penurunan kesuburan, dan degradasi tanah	63	8	22	Penggunaan bahan kimia dalam proses penambangan dan pengolahan mineral dapat menyebabkan pencemaran tanah	63	4

Sumber: data olahan

### Bowtie Analysis

Setelah mendapatkan variabel risiko dominan dari hasil indentifikasi dan penilaian risiko maka selanjutnya dilakukan analisis menggunakan metode bowtie untuk mengetahui penyebab, dampak dan kontrol pada setiap risiko dominan yang terjadi.

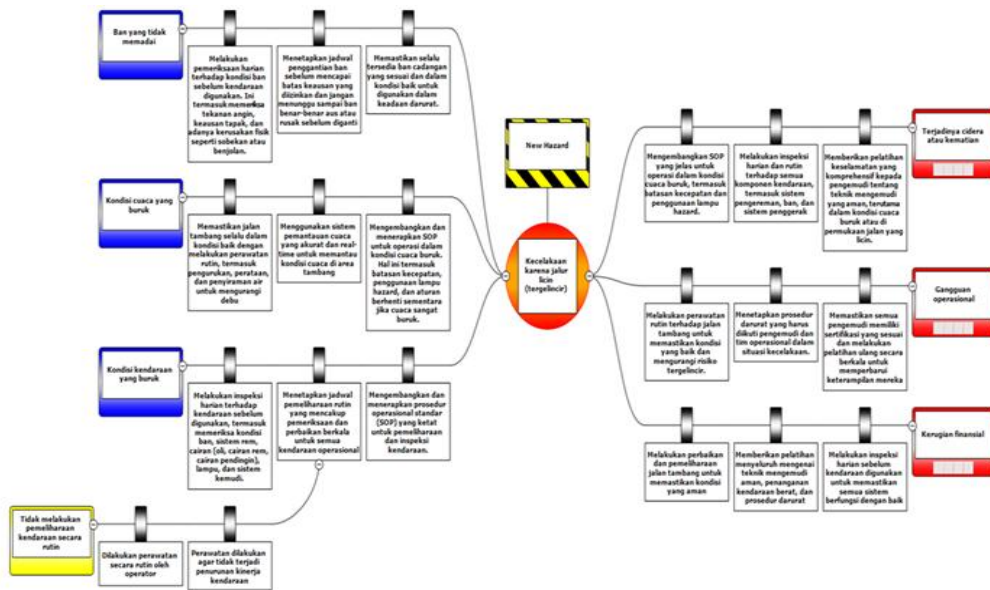


Sumber: data olahan

**Gambar 1**  
**Diagram Bow Tie Analisis kebisingan pada kendaraan operasional tambang berbahan bakar konvensional**

Gambar 1 diagram *bow tie analysis* kebisingan kendaraan operasional tambang berbahan bakar konvensional terdapat 3 ancaman yaitu kerusakan mesin dan komponen kendaraan yang didalamnya terdapat 4 mitigasi dan 1 faktor eskalasi yaitu tidak melakukan pemantauan kondisi kendaraan operasional tambang juga terdapat 2 mitigasi yaitu penurunan kinerja dan efisiensi dan kerusakan mesin yang lebih parah, pemasangan dan pemeliharaan sistem pembuangan yang buruk yang didalamnya terdapat 4 mitigasi, dan perawatan dan pemeriksaan rutin yang didalamnya terdapat 4 mitigasi. Selain

itu terdapat 3 konsekuensi yaitu terganggunya masyarakat, peningkatan biaya perawatan dan penurunan produktivitas yang didalamnya terdapat 3 mitigasi dalam masing-masing konsekuensi.

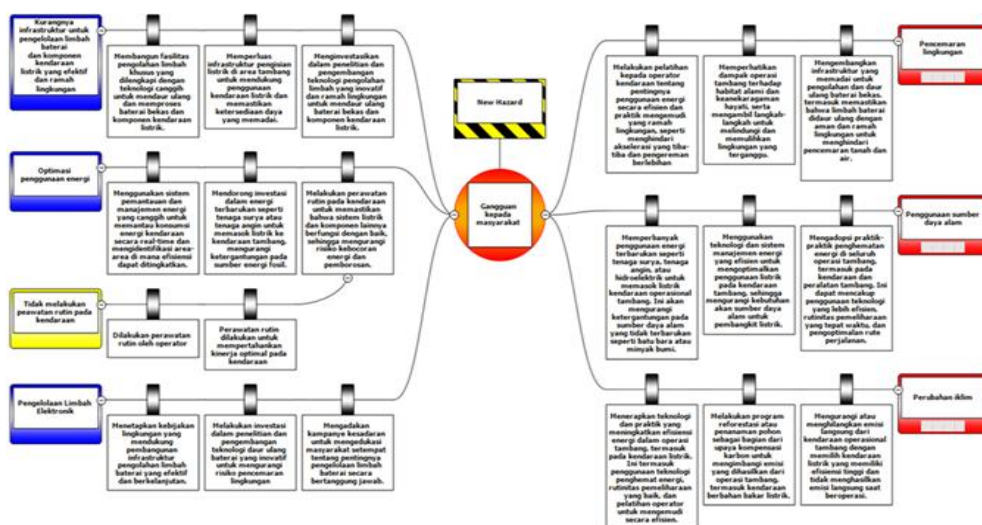


Sumber: data olahan

Gambar 2

**Diagram Bow Tie Analysis kecelakaan karena jalur licin (tergelincir) pada kendaraan operasional tambang berbahan bakar konvensional**

Gambar 2 diagram bow tie analysis kecelakaan karena jalur licin (tergelincir) pada kendaraan operasional tambang berbahan bakar konvensional terdapat 3 ancaman yaitu ban yang tidak memadai yang didalamnya terdapat 3 mitigasi, kondisi cuaca yang buruk yang didalamnya terdapat 3 mitigasi, dan kondisi kendaraan yang buruk yang didalamnya terdapat 3 mitigasi dan 1 faktor eskalasi yaitu tidak melakukan pemeliharaan kendaraan secara rutin yang didalamnya terdapat 2 mitigasi yaitu dilakukan perawatan secara rutin oleh operator dan perawatan dilakukan agar tidak terjadi penurunan kinerja kendaraan. Selain itu terdapat 3 konsekuensi yaitu terjadinya cedera atau kematian, gangguan operasional, dan kerugian finansial yang didalamnya terdapat 3 mitigasi dalam masing-masing konsekuensi.



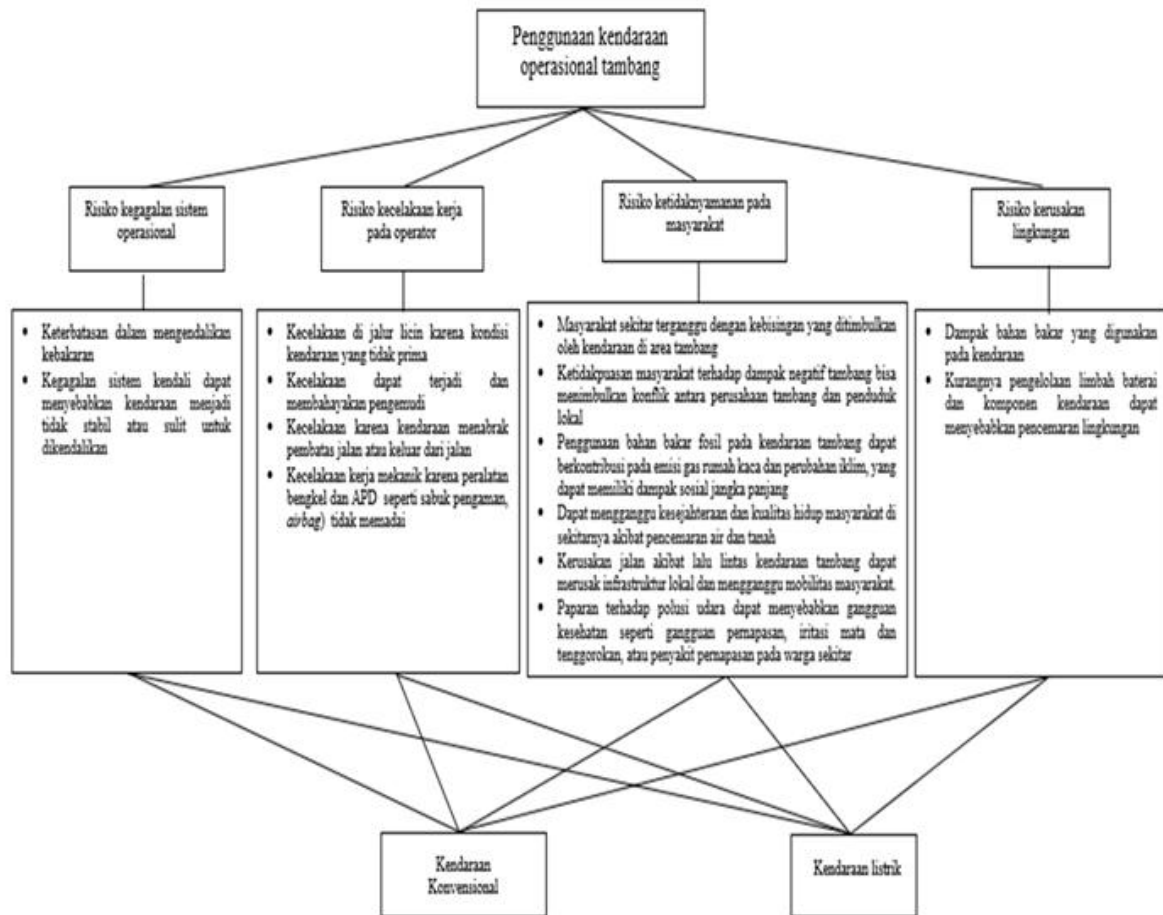
Sumber: data olahan

Gambar 3

**Diagram Bow Tie Analysis gangguan kepada masyarakat kendaraan operasional tambang berbahan bakar listrik**

Gambar 3 diagram *bow tie analysis* gangguan kepada masyarakat kendaraan operasional tambang berbahan bakar listrik terdapat 3 ancaman yaitu kurangnya infrastruktur untuk pengelolaan limbah baterai dan komponen kendaraan listrik yang efektif dan ramah lingkungan yang didalamnya terdapat 3 mitigasi, optimasi penggunaan energi yang didalamnya terdapat 3 mitigasi dan 1 faktor eskalasi yaitu tidak melakukan perawatan rutin pada kendaraan yang didalamnya terdapat 2 mitigasi yaitu dilakukan perawatan secara rutin oleh operator dan perawatan rutin dilakukan untuk mempertahankan kinerja optimal pada kendaraan, dan pengelolaan limbah elektronik yang didalamnya terdapat 3 mitigasi. Selain itu terdapat 3 konsekuensi yaitu pencemaran lingkungan, penggunaan sumber data alam, perubahan iklim yang didalamnya terdapat 3 mitigasi dalam masing-masing konsekuensi

Perhitungan Analytic Hierarchy Process (AHP)



Sumber: data olahan

**Gambar 4**  
**Struktur Hirarki AHP Kendaraan Operasional Tambang**

*Rekapitulasi Hasil Kuisisioner Analytic Hierarchy Process (AHP)*

Rekapitulasi hasil kuisisioner *Analytic Hierarchy Process* (AHP) diperoleh dari hasil penilaian responden yang *expert* berdasarkan kriteria dan sub kriteria yang diperoleh dari nilai RPN tertinggi. Berikut merupakan hasil rekapitulasi hasil kuisisioner *Analytic Hierarchy Process* (AHP)

a. Kuisisioner Level 2. Matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) pada pemilihan penggunaan kendaraan operasional tambang dengan risiko terendah dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4**  
**Matriks Perbandingan Antar Risiko**

<b>Responden 1</b>	Risiko Kegagalan Sistem Operasional	Risiko Kecelakaan Kerja Pada Operator	Risiko Ketidaknyamanan Masyarakat Sekitar	Risiko Kerusakan Lingkungan
Risiko Kegagalan Sistem Operasional	1,00	0,20	0,33	3,00
Risiko Kecelakaan Kerja Pada Operator	5,00	1,00	3,00	3,00
Risiko Ketidaknyamanan Masyarakat Sekitar	3,00	0,33	1,00	5,00
Risiko Kerusakan Lingkungan	0,33	0,33	0,20	1,00

<b>Responden 2</b>	Risiko Kegagalan Sistem Operasional	Risiko Kecelakaan Kerja Pada Operator	Risiko Ketidaknyamanan Masyarakat Sekitar	Risiko Kerusakan Lingkungan
Risiko Kegagalan Sistem Operasional	1,00	3,00	0,20	0,33
Risiko Kecelakaan Kerja Pada Operator	0,33	1,00	0,33	3,00
Risiko Ketidaknyamanan Masyarakat Sekitar	5,00	3,00	1,00	3,00
Risiko Kerusakan Lingkungan	3,00	0,33	0,33	1,00

Sumber: data olahan

b. Kuisioner Level 3 (Sub-Risiko)

1. Matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) dari Risiko Kegagalan Sistem Operasional

**Tabel 5**  
**Matriks Perbandingan Antar Elemen Risiko Kegagalan Sistem Operasional**

<b>Responden 1</b>		
	FAIL 1	FAIL 2
FAIL 1	1,00	0,33
FAIL 2	3,00	1,00

<b>Responden 2</b>		
	FAIL 1	FAIL 2
FAIL 1	1,00	0,20
FAIL 2	5,00	1,00

Sumber: data olahan

2. Matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) dari Risiko Kecelakaan Kerja pada Operator

**Tabel 6**  
**Matriks Perbandingan Antar Elemen Risiko Kecelakaan Kerja Pada Operator**

<b>Responden 1</b>				
	KEC 1	KEC 2	KEC 3	KEC 4
KEC 1	1,00	3,00	3,00	3,00
KEC 2	0,33	1,00	0,33	3,00
KEC 3	0,33	3,00	1,00	3,00
KEC 4	0,33	0,33	0,33	1,00

<b>Responden 2</b>				
	KEC 1	KEC 2	KEC 3	KEC 4
KEC 1	1,00	3,00	1,00	3,00
KEC 2	0,33	1,00	0,33	3,00
KEC 3	1,00	3,00	1,00	3,00
KEC 4	0,33	0,33	0,33	1,00

Sumber: data olahan

3. Matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) dari Risiko Ketidaknyamanan Masyarakat Sekitar

**Tabel 7**  
**Matriks Perbandingan Antar Elemen Risiko Ketidaknyamanan Masyarakat Sekitar**

Responden 1						
	SOS 1	SOS 2	SOS 3	SOS 4	SOS 5	SOS 6
SOS 1	1,00	5,00	0,33	0,33	5,00	0,33
SOS 2	0,20	1,00	0,33	0,14	0,20	0,33
SOS 3	3,00	3,00	1,00	0,33	0,33	0,33
SOS 4	3,00	7,00	3,00	1,00	3,00	0,33
SOS 5	0,20	5,00	3,00	0,33	1,00	0,33
SOS 6	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1,00
Responden 2						
	SOS 1	SOS 2	SOS 3	SOS 4	SOS 5	SOS 6
SOS 1	1,00	3,00	5,00	0,33	0,20	3,00
SOS 2	0,33	1,00	0,33	0,20	0,20	0,20
SOS 3	0,20	3,00	1,00	0,20	0,33	0,33
SOS 4	3,00	5,00	5,00	1,00	3,00	0,33
SOS 5	5,00	5,00	3,00	0,33	1,00	0,33
SOS 6	0,33	5,00	3,00	3,00	3,00	1,00

Sumber: data olahan

4. Matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) dari Risiko Kerusakan Lingkungan

**Tabel 8**  
**Matriks Perbandingan Antar Elemen Risiko Kerusakan Lingkungan**

Responden 1		
	FAIL 1	FAIL 2
FAIL 1	1,00	0,20
FAIL 2	5,00	1,00
Responden 1		
	FAIL 1	FAIL 2
FAIL 1	1,00	3,00
FAIL 2	0,33	1,00

Sumber: data olahan

*Pengolahan Data Analytical Hierarchy Process (AHP)*

- a. Pembobotan Level 2 (Risiko). Perhitungan bobot pada Level 2 (Risiko) yaitu dengan cara melakukan perbandingan berpasangan antara satu risiko dengan risiko lainnya. Pada level ini, proses yang dibandingkan yaitu risiko terhambatnya proses pengiriman bauksit, risiko kecelakaan kerja pada operator, risiko kenyamanan masyarakat sekitar, dan risiko kerusakan lingkungan. Langkah-langkahnya yaitu sebagai berikut.

- 1) Dilakukan penyusunan matriks perbandingan berpasangan antar risiko
- 2) Dilakukan perhitungan dengan menggunakan rata-rata geometrik dari penilaian yang diberikan oleh responden. Rumus rata-rata geometrik adalah sebagai berikut

$$\sqrt[n]{X_1 \times X_2 \times X_3 \times \dots \times X_n}$$

Keterangan: Responden n: Xn

Contoh perhitungan rata-rata geometrik untuk elemen level 2 antara risiko ketidaknyamanan masyarakat sekitar adalah sebagai berikut:

Responden 1 : 0,33; Responden 2 : 0,20; Maka, rata-rata geometrik =  $\sqrt{0,33 \times 0,20} = 0,26$

**Tabel 9**  
**Rekapitulasi Hasil Perhitungan Rata-rata Geometrik Risiko (Level 2)**

	Risiko Kegagalan Sistem Operasional	Risiko Kecelakaan Kerja Pada Operator	Risiko Ketidaknyamanan Masyarakat Sekitar	Risiko Kerusakan Lingkungan
Risiko Kegagalan Sistem Operasional	1,00	0,77	0,26	1,00
Risiko Kecelakaan Kerja Pada Operator	1,29	1,00	1,00	3,00
Risiko Ketidaknyamanan Masyarakat Sekitar	3,87	1,00	1,00	3,87
Risiko Kerusakan Lingkungan	1,00	0,33	0,26	1,00
Jumlah	7,16	3,11	2,52	8,87

Sumber: data olahan

- 3) Dilakukan normalisasi antar risiko pada matriks perbandingan. berikut rumus menghitung nilai matriks pembagian tiap elemen kolom sebagai berikut:

$$\frac{\text{Rata - rata geometrik unsur}}{\text{Jumlah rata - rata geometrik}}$$

$$\frac{0,26}{2,52} = 0,10$$

Contoh perhitungan pada perbandingan risiko kegagalan sistem operasional dengan risiko kecelakaan kerja pada operator adalah sebagai berikut:

- 4) Perhitungan *vektor eigen* yang dinormalkan. Perhitungan dihasilkan melalui rata-rata hasil pembagian tiap unsur. Contoh pada unsur risiko ketidaknyamanan masyarakat sekitar adalah sebagai berikut:  $\frac{0,54+0,32+0,40+0,44}{4} = 0,42$

Berdasarkan perhitungan pada contoh diatas, maka hasil normalisasi antar risiko dan hasil *vektor eigen* yang dinormalkan dapat dilihat pada Tabel 10.

**Tabel 10**  
**Rekapitulasi Hasil Normalisasi Antar Risiko dan Vektor Eigen Risiko (Level 2)**

	Risiko Kegagalan Sistem Operasional	Risiko Kecelakaan Kerja Pada Operator	Risiko Ketidaknyamanan Masyarakat Sekitar	Risiko Kerusakan Lingkungan	Vektor Eigen
Risiko Kegagalan Sistem Operasional	0,14	0,25	0,10	0,11	0,15
Risiko Kecelakaan Kerja Pada Operator	0,18	0,32	0,40	0,34	0,31
Risiko Ketidaknyamanan Masyarakat Sekitar	0,54	0,32	0,40	0,44	0,42
Risiko Kerusakan Lingkungan	0,14	0,11	0,10	0,11	0,12
Jumlah	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Sumber: data olahan

- 5) Dilakukan perhitungan Konsistensi Vektor (*Consistency Vector*)

Konsistensi vektor = (*weighted sum vector* / vektor eigen)

Risiko Kegagalan Sistem Operasional =  $0,62/0,15 = 4,08$ ; Risiko Kecelakaan Kerja pada Operator =  $1,28/0,31 = 4,12$ ; Risiko Ketidaknyamanan Masyarakat Sekitar =  $1,77/0,42 = 4,16$ ; Risiko Kerusakan Lingkungan =  $0,48/0,12 = 4,15$ .

**Tabel 11**  
**Rekapitulasi Hasil Consistency Vector (Level 2)**

	Vektor Eigen	Weighted Sum Vector	Consistency Vector
Risiko Kegagalan Sistem Operasional	0,15	0,62	4,08
Risiko Kecelakaan Kerja Pada Operator	0,31	1,28	4,12
Risiko Ketidaknyamanan Masyarakat	0,42	1,77	4,16
Risiko Kerusakan Lingkungan	0,12	0,48	4,15

Sumber: data olahan

- 6) Dilakukan perhitungan  $\lambda$  maksimum

$$\lambda \text{ maks} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Konsistensi Vektor}}{n} = \frac{4,08+4,12+4,16+4,15}{4} = 4,13$$

- 7) Dilakukan Dilakukan perhitungan *Consistency Index* (CI)

$$CI = \frac{\lambda \text{ maks} - n}{n-1} = \frac{4,13-4}{4-1} = 0,042$$

- 8) Dilakukan perhitungan *Consistency Ratio* (CR)

$$CR = \frac{CI}{RI}, RI = \text{Random Index}$$

Nilai random indeks (RI) untuk  $n=4$  adalah 0,90, maka diperoleh nilai *consistency ratio* sebagai berikut:

$$CR = \frac{0,042}{0,90} = 0,05 = 5\%, CR < 10\% \text{ maka data yang digunakan sudah konsisten dan hasil perhitungan dinyatakan sudah benar.}$$

**Tabel 12**  
**Rekapitulasi Perhitungan Konsistensi Rasio**

Level	Unsur	Nilai CR	Keterangan
2	Jenis Risiko	0,05	Responden Konsisten
3	Risiko Ketidaknyamanan Masyarakat	0,09	Responden Konsisten
	Risiko Kecelakaan kerja pada operator	0,07	Responden Konsisten
	Risiko Kegagalan Sistem Operasional	0,00	Responden Konsisten
	Risiko Kerusakan lingkungan	0,00	Responden Konsisten

Sumber: data olahan

#### *Perangkingan Menggunakan Software Expert Choice*

Hasil dari pengolahan sebelumnya kemudian dibuktikan dan dilanjutkan dengan pengolahan data menggunakan *software expert choice II* untuk menentukan perangkingan final pemilihan penggunaan kendaraan operasional tambang terpilih dengan risiko terendah. Hasil dari penilaian kuesioner yang diisi oleh dua responden akan dikombinasikan sehingga menghasilkan penilaian akhir pemilihan penggunaan kendaraan operasional tambang terpilih. Berikut merupakan pengolahan data menggunakan *software expert choice II* dapat dilihat sebagai berikut.

- a. Level 2 (Risiko)

**Tabel 13**  
**Presentase Vektor Prioritas Level 2**

Risiko	Presentase
Risiko Ketidaknyamanan pada masyarakat	42,7%
Risiko Kecelakaan kerja pada operator	30,9%
Risiko Kegagalan Sistem Operasional	14,9%
Risiko Kerusakan Lingkungan	11,6%

Sumber: data olahan

Berdasarkan Tabel 13 dapat dijelaskan bahwasanya persentase vektor prioritas yang tertinggi dalam pengambilan keputusan penggunaan kendaraan operasional tambang terpilih yaitu risiko ketidaknyamanan pada masyarakat dengan persentase 42,7%. Jadi risiko yang paling berpengaruh dalam pengambilan keputusan penggunaan kendaraan operasional tambang terpilih adalah risiko ketidaknyamanan pada masyarakat, dengan nilai konsistensi dari yaitu  $CR: 0,05 \leq 0,1$  sehingga data dapat diterima.

- b. Level 3 (Sub-Risiko)

**Tabel 14**  
**Presentase Vektor Prioritas Level 3**

Risiko	Sub Risiko	Presentase	Rank
Risiko Kegagalan Sistem Operasional	Kegagalan sistem kendali dapat menyebabkan kendaraan menjadi tidak stabil atau sulit untuk dikendalikan	79,5%	1
	Keterbatasan dalam mengendalikan kebakaran	20,5%	2

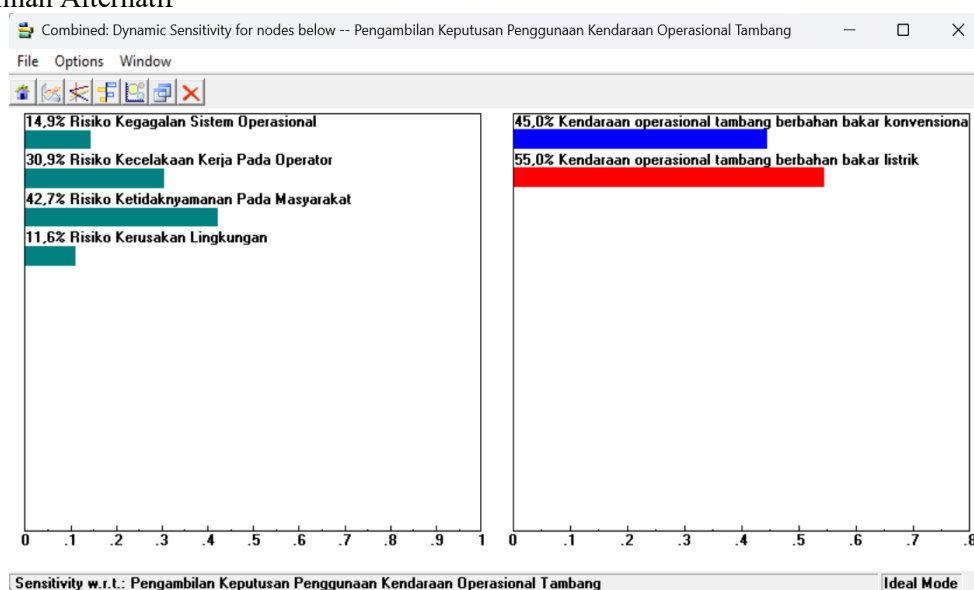
**Fatimah Dewi Firdausy, Tranggono, Rizqi Novita Sari: Analisis Pengambilan Keputusan Penggunaan Kendaraan Operasional Tambang dengan Metode Bow Tie Analysis dan Analytical Hierarchy Process (AHP)**

Risiko Kecelakaan kerja Pada Operator	Kecelakaan di jalur licin karena kondisi kendaraan yang tidak prima	41,9%	1
	Kecelakaan dapat terjadi dan membahayakan pengemudi dan materia tambang yang diangkut	16,6%	3
	Kecelakaan terjadi kendaraan menabrak pembatas jalan atau keluar dari jalan	32,1%	2
	Kecelakaan kerja mekanik karena peralatan bengkel dan APD seperti sabuk pengaman, <i>airbag</i> ) tidak memadai	9,5%	4
Risiko Ketidaknyamanan Pada masyarakat	Masyarakat sekitar terganggu akibat kebisingan	14,5%	3
	Ketidakpuasan masyarakat terhadap dampak negatif tambang bisa menimbulkan konflik antara perusahaan tambang dan penduduk lokal	4,0%	6
	Penggunaan bahan bakar fosil pada kendaraan dapat berkontribusi pada emisi gas rumah kaca	8,2%	5
	Dapat mengganggu kesejahteraan dan kualitas hidup masyarakat di sekitarnya akibat pencemaran air atau tanah	27,2%	2
	Kerusakan jalan akibat lalu lintas kendaraan tambang dapat merusak infrastruktur lokal dan mengganggu mobilitas masyarakat	14,1%	4
	Paparan terhadap polusi udara dapat menyebabkan gangguan pernapasan, iritasi mata, atau penyakit pernapasan pada warga sekitar	32,0%	1
Risiko Kerusakan Lingkungan	Dampak bahan bakar yang digunakan pada kendaraan	43,6%	2
	Pencemaran lingkungan dapat memiliki dampak negatif pada lingkungan seperti merusak tanaman, mengurangi kualitas air dan tanah, dan mengganggu ekosistem	56,4%	1

Sumber: data olahan

Berdasarkan Gambar 5 dapat dijelaskan bahwasanya persentase vektor prioritas yang tertinggi pada sub-risiko kegagalan sistem operasional dalam pemilihan penggunaan kendaraan operasional tambang terpilih yaitu kegagalan sistem kendali dapat menyebabkan kendaraan menjadi tidak stabil atau sulit untuk dikendalikan dengan persentase 79,5%. Persentase vektor prioritas yang tertinggi pada sub-risiko kecelakaan kerja pada operator dalam pemilihan penggunaan kendaraan operasional tambang terpilih yaitu kecelakaan karena jalur licin (tergelicir) dengan persentase 41,9%. Persentase vektor prioritas yang tertinggi pada sub-risiko ketidaknyamanan masyarakat sekitar dalam pemilihan penggunaan kendaraan operasional tambang terpilih yaitu kriteria paparan terhadap polusi udara dapat menyebabkan gangguan pernapasan, iritasi mata atau penyakit pernapasan pada warga sekitar dengan persentase 32,0%. Persentase vektor prioritas yang tertinggi pada sub-risiko risiko kerusakan lingkungan dalam pemilihan penggunaan kendaraan operasional tambang terpilih yaitu kriteria pencemaran lingkungan dapat memiliki dampak negatif pada lingkungan seperti merusak tanaman, mengurangi kualitas air dan tanah, dan mengganggu ekosistem dengan persentase 56,4%.

c). Pemilihan Alternatif



Sumber: data olahan

**Gambar 5**  
**Kalkulasi Vektor Prioritas pada Setiap Risiko, Sub-Risiko, dan Alternatif**

Ranking vektor prioritas tertinggi yaitu alternatif kendaraan operasional tambang berbahan bakar listrik dengan persentase 55,0%. Jadi alternatif yang lebih baik untuk dipilih dalam pemilihan penggunaan kendaraan operasional tambang terpilih adalah kendaraan operasional tambang berbahan bakar listrik.

#### *Analisis Pengambilan Keputusan Penggunaan Kendaraan Operasional Tambang Terpilih*

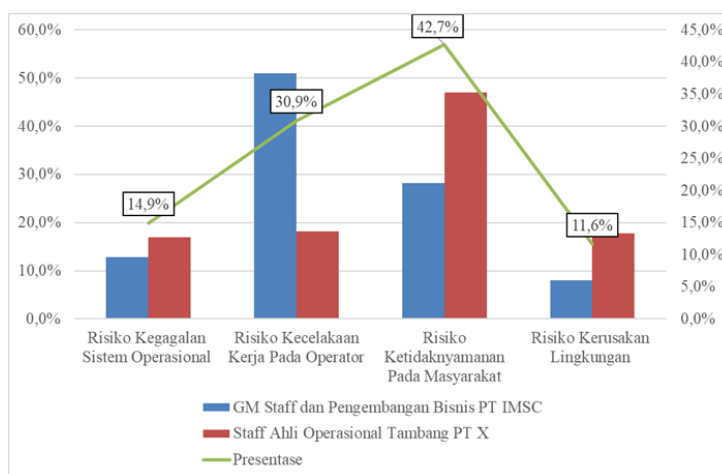
- a. Analisis Perhitungan Konsistensi Rasio Hasil dari Penilaian Kuisisioner. Tahap pertama yang dilakukan pada metode AHP adalah penyebaran kuesioner AHP kepada 2 responden berdasarkan hasil risiko-risiko terpilih hasil dari perhitungan dan dihitung *Risk Priority Number (RPN)*. Selanjutnya dilakukan perhitungan CR (*Consistency Ratio*) untuk melihat konsistensi dari jawaban para pakar. Rekapitulasi hasil dari perhitungan nilai CR dapat dilihat pada Tabel 12. Berdasarkan hasil tersebut seluruh nilai CR dari keseluruhan level lebih kecil dari 0,1 ( $< 10\%$ ) yang artinya bahwa seluruh pakar dalam pengisian kuesioner AHP telah memiliki konsistensi.
- b. Analisis Perangkingan Kendaraan Operasional Tambang Menggunakan Software Expert Choice 11. Analisis Perangkingan dan Pembobotan Masing-masing Kendaraan Operasional Tambang Menggunakan *Software Expert Choice 11* pada setiap level
- c. Perangkingan Level 2 (Risiko). Hasil pengolahan data kombinasi penilaian kuesioner dari dua responden untuk Level 2 dapat dilihat pada Tabel 13. Berdasarkan tabel tersebut dapat dijelaskan bahwasanya persentase vektor prioritas yang tertinggi dalam pemilihan penggunaan kendaraan operasional tambang terpilih yaitu risiko ketidaknyamanan pada masyarakat dengan persentase 42,7%. Jadi risiko yang paling berpengaruh dalam pemilihan pemilihan penggunaan kendaraan operasional tambang terpilih adalah risiko ketidaknyamanan pada masyarakat, dengan nilai konsistensi dari yaitu CR:  $0,05 \leq 0.1$  sehingga data dapat diterima.
- d. Perangkingan Level 3 (Sub Risiko). Hasil pengolahan data penilaian kuesioner dari dua responden untuk Level 3 merupakan hasil kalkulasi hasil penilaian dua responden terhadap sub-risiko yang terjadi pada masing-masing risiko. Berikut merupakan analisis dan pembahasan pada masing-masing sib-risiko.
  - 1) Sub Risiko Kegagalan Sistem Operasional. Hasil perhitungan persentase vektor prioritas Sub-Risiko Kegagalan Sistem Operasional dengan menggunakan *software expert choice 11* dapat dilihat pada Tabel 14. Berdasarkan Tabel 14 tersebut dapat dijelaskan bahwasanya persentase vektor prioritas yang tertinggi pada sub-risiko kegagalan sistem operasional dalam pemilihan penggunaan kendaraan operasional tambang terpilih yaitu kriteria kegagalan sistem kendali dapat menyebabkan kendaraan menjadi tidak stabil atau sulit untuk dikendalikan dengan persentase 79,5%. Jadi kriteria yang paling berpengaruh pada sub-risiko kegagalan sistem operasional dalam pemilihan penggunaan kendaraan operasional tambang terpilih adalah kegagalan sistem kendali dapat menyebabkan kendaraan menjadi tidak stabil atau sulit untuk dikendalikan, dengan nilai konsistensi yaitu CR:  $0, \leq 0.1$  sehingga data dapat diterima.
  - 2) Sub Risiko Kecelakaan Kerja Pada Operator . Hasil perhitungan persentase vektor prioritas Sub-Risiko Kecelakaan Kerja pada Operator dengan menggunakan *software expert choice 11* dapat dilihat pada Tabel 14. Berdasarkan tabel diatas dapat dijelaskan bahwasanya persentase vektor prioritas yang tertinggi pada sub-risiko kecelakaan kerja pada operator dalam pemilihan penggunaan kendaraan operasional tambang terpilih yaitu kecelakaan karena jalur licin (tergelicir) dengan persentase 41,9%. Jadi kriteria yang paling berpengaruh pada sub- risiko kecelakaan kerja pada operator dalam pemilihan penggunaan kendaraan operasional tambang terpilih adalah kecelakaan karena jalur licin (tergelicir), dengan nilai konsistensi yaitu CR:  $0,07 \leq 0.1$  sehingga data dapat diterima.
  - 3) Sub Risiko Ketidaknyamanan Pada Masyarakat Sekitar. Hasil perhitungan persentase vektor prioritas Sub-Risiko Ketidaknyamanan Masyarakat Sekitar dengan menggunakan *software expert choice 11* dapat dilihat pada Tabel 14. Berdasarkan tabel tersebut dapat dijelaskan bahwasanya persentase vektor prioritas yang tertinggi pada sub-risiko ketidaknyamanan masyarakat sekitar dalam pemilihan penggunaan kendaraan operasional tambang terpilih yaitu kriteria paparan terhadap polusi udara dapat menyebabkan gangguan pernapasan, iritasi mata atau penyakit pernapasan pada warga sekitar dengan persentase 32,0%. Jadi kriteria yang paling berpengaruh pada sub-risiko sub-risiko ketidaknyamanan masyarakat sekitar dalam pemilihan

penggunaan kendaraan operasional tambang terpilih adalah paparan terhadap polusi udara dapat menyebabkan gangguan pernapasan, iritasi mata atau penyakit pernapasan pada warga sekitar, dengan nilai konsistensi yaitu CR:  $0,09 \leq 0,1$  sehingga data dapat diterima.

- 4) Sub Risiko Kerusakan lingkungan . Hasil perhitungan persentase vektor prioritas Sub-Risiko Kerusakan Lingkungan dengan menggunakan *software expert choice 11* dapat dilihat pada Tabel 14. Berdasarkan tabel tersebut dapat dijelaskan bahwasanya persentase vektor prioritas yang tertinggi pada sub-risiko risiko kerusakan lingkungan dalam pemilihan penggunaan kendaraan operasional tambang terpilih yaitu kriteria pencemaran lingkungan dapat memiliki dampak negatif pada lingkungan seperti merusak tanaman, mengurangi kualitas air dan tanah, dan mengganggu ekosistem dengan persentase 56,4%. Jadi kriteria yang paling berpengaruh pada sub-risiko sub-risiko sub-risiko risiko kerusakan lingkungan dalam pemilihan kendaraan operasional tambang terpilih adalah pencemaran lingkungan dapat memiliki dampak negatif pada lingkungan seperti merusak tanaman, mengurangi kualitas air dan tanah, dan mengganggu ekosistem dengan persentase 56,4%., dengan nilai konsistensi yaitu CR:  $0 \leq 0,1$  sehingga data dapat diterima.

#### Analisis Pengambilan Keputusan Pemilihan Penggunaan Kendaraan Operasional Tambang Menggunakan Software Expert Choice 11

Analisis Pengambilan Keputusan Moda Transportasi Terpilih Menggunakan *Software Expert Choice 11* hasil dari kalkulasi seluruh level diperoleh hasil perhitungan akhir pemilihan penggunaan kendaraan operasional tambang terpilih diperoleh ranking vektor prioritas tertinggi yaitu alternatif kendaraan operasional tambang berbahan bakar listrik dengan persentase 57,8%. Jadi alternatif yang lebih baik untuk dipilih dalam pemilihan penggunaan kendaraan operasional tambang terpilih adalah kendaraan operasional tambang berbahan bakar listrik.



Sumber: data olahan

**Gambar 6**  
**Diagram Grafik Pemilihan Penggunaan Kendaraan Operasional Tambang Terpilih**

Adapun urutan risiko yang menjadi pertimbangan pada kendaraan operasional tambang berbahan bakar listrik adalah sebagai berikut: (1) risiko ketidaknyamanan pada masyarakat = 42,7%; (2) risiko kecelakaan kerja pada operator = 30,9%; (3) risiko kegagalan sistem operasional = 14,9%; dan (4) risiko kerusakan lingkungan = 11,6%. Risiko Ketidaknyamanan Pada Masyarakat menjadi jenis risiko dengan ranking tertinggi dengan persentase 42,7% artinya risiko ketidaknyamanan pada masyarakat menjadi pertimbangan terbesar PT X. Penelitian tidak meneruskan ke tahap analisa investasi dan finansial sesuai dengan batasan penelitian yaitu hanya berfokus kepada risiko teknis, risiko sosial, dan risiko lingkungan. Sehingga analisa terkait finansial dan investasi dibutuhkan penelitian lebih lanjut.

## **SIMPULAN**

Hasil penelitian ini menemukan bahwa rekapitulasi perhitungan konsistensi rasio penilaian responden diperoleh pada level 2 diperoleh nilai *Consistency Ratio* (CR) =  $0,05 \leq 0,1$  artinya responden konsisten. Pada level 3 seluruh unsur risiko diperoleh nilai *Consistency Ratio*  $\leq 0,1$  artinya responden konsisten Berdasarkan hasil kalkulasi seluruh level dan penilaian alternatif pemilihan diperoleh ranking vektor prioritas tertinggi yaitu alternatif kendaraan operasional tambang berbahan bakar listrik dengan persentase 55,0% dibandingkan kendaraan operasional tambang berbahan bakar konvensional dengan persentase 45,0 %. Jadi alternatif yang lebih baik untuk dipilih dalam pemilihan penggunaan kendaraan operasional tambang terpilih adalah kendaraan operasional tambang berbahan bakar listrik.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Ardiprawiro, Maharani, T., 2020. Analisis Keputusan Kelompok Berbasis Analytical Hierarchy Process dalam Pemilihan Aplikasi Jasa Transportasi Daring. *Jurnal Ilmiah Ekonomi Bisnis*. 25. 249-261
- Hendra, F., Basuki, M., 2022. Penerapan International Ship and Port Facility Security (ISPS) Code Pada Pelabuhan Tanjung Emas Berbasis Bow Tie Risk Assessment. *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan (SEMITAN)*. 1. 162-171.
- Sinulingga, A. M., 2017. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kredit Macet pada Koperasi Pegawai Negeri Guru SD Kecamatan Binjai Barat. *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara