Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Pada Aktivitas Pertambangan Menggunakan Metode FMEA dan FTA serta SIMULASI MONTE CARLO di PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Nama : Dwi Putri Ramadhani
No. Mahasiswa : 21522169

PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang seluruhnya sudah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 18 September 2025



(Dwi Putri Ramadhani)
NIM 21522169

SURAT BUKTI PENELITIAN



SERTIFIKAT
NO:230/604/NHX/2025

External Relation Work Unit Head PT ANTAM Tbk
Unit Bisnis Pertambangan Nikel Kolaka

Menerangkan Bahwa :

MAHASISWA UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Nama : Dwi Putri Ramadhani
NIM : 21522169
Program Studi : Teknik Industri

Telah Melaksanakan Praktek Kerja Lapangan Yang Di Laksanakan Mulai Tanggal ***24 Maret S.d 24 April 2025*** di PT ANTAM Tbk Unit Bisnis Pertambangan Nikel Kolaka Dengan Hasil : **Sangat Baik**

Pomalaa, 28 April 2025

Tadius Raba, S.H.
External Relation Work Unit Head

PT ANTAM Tbk
Kolaka Nickel Mining Business Unit
Jl. Jend. Ahmad Yani No. 5
Pomalaa, Kolaka 93562
Southeast Sulawesi, Indonesia

T 62-405 310 171
F 62-405 310 833
E mis_nickel@antam.com

www.antam.com

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Pada Aktivitas Pertambangan Menggunakan Metode FMEA dan FTA serta SIMULASI MONTE CARLO di PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Dwi Putri Ramadhani
No. Mahasiswa : 21522169

Yogyakarta, 18 September 2025

Dosen Pembimbing



(Putri Dwi Annisa, S.T., M.Sc.)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Pada Aktivitas Pertambangan Menggunakan Metode FMEA dan FTA serta SIMULASI MONTE CARLO di PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Dwi Putri Ramadhani

No. Mahasiswa : 21522169

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Tekonologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 18 September 2025

Tim Penguji

Putri Dwi Annisa, S.T., M.Sc. _____

Ketua

Elanjati Worldailmi, S.T., M.Sc. _____

Anggota I

Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc. _____

Anggota II

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Ir. Muhammad Kholwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah SWT, Alhamdulillahirabbil'alamin, atas limpahan rahmat dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Karya ini penulis persembahkan untuk diri sendiri sebagai wujud penghargaan atas kesabaran dan usaha dalam melalui setiap proses yang ada. Dengan penuh rasa syukur, penulis menyampaikan terima kasih yang mendalam kepada kedua orang tua tercinta, Bapak Junaidi dan Ibu Lili Estiowati, atas doa, kasih sayang, bimbingan, dan dukungan yang tiada henti. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada kakak tercinta, Eko Iswandaru, yang selalu memberikan dorongan dan bantuan dengan tulus. Selain itu, penulis juga ingin menyampaikan apresiasi kepada sahabat dan teman-teman yang senantiasa hadir memberikan semangat hingga akhirnya Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

MOTTO

"Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka janganlah engkau menyerah, karena setiap ujian selalu datang bersama jalan keluar yang telah Allah siapkan."
(QS. Al-Insyirah: 6 - 7)

"Orang yang paling kuat bukanlah yang tak pernah jatuh, tetapi mereka yang mampu bangkit kembali setiap kali terjatuh, dengan sabar, doa, dan usaha yang tidak pernah padam."
(HR. Bukhari & Muslim)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul "Analisis Risiko Kecelakaan Kerja pada Aktivitas Pertambangan Menggunakan *Metode FMEA dan FTA serta Simulasi Monte* Carlo di PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka" ini dengan baik. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Pendidikan Strata-1 pada Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

Terselesaikannya laporan ini tentunya tidak terlepas dari bantuan, doa, dukungan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh kerendahan hati penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Ibu Putri Dwi Annisa, S.T., M.Sc**.** yang dengan penuh kesabaran telah memberikan bimbingan, arahan, dan ilmu sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini.
5. Bapak Ahmad Munandar selaku pembimbing lapangan di PT Aneka Tambang (ANTAM) UBPN Kolaka yang telah memberikan bimbingan, dan dukungan selama penelitian berlangsung.
6. Kedua orang tua penulis tercinta, Bapak Junaidi dan Ibu Lili Estiowati, yang dengan tulus ikhlas telah memberikan kasih sayang, doa, dukungan, serta semangat yang tiada henti. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada kakak tercinta, Eko Iswandaru, atas doa, motivasi, dan bantuan yang diberikan.
7. Andini Pratiwi, Salsabila Azulfa Fauzan Puteri, Fatimah Az-Zahra selaku sahabat yang sudah menemani dari awal hingga akhir, terima kasih atas segala dukungan, semangat, dan kebersamaan yang telah diberikan.
8. Daffanendra Adhiya Wijayasena yang selalu hadir mendampingi setiap proses, memberi semangat, kesabaran, serta keyakinan bahwa setiap usaha akan membuahkan hasil.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat, baik secara akademis maupun praktis, khususnya dalam bidang keselamatan kerja di industri pertambangan. Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh.

Yogyakarta, 18 September 2025



(Dwi Putri Ramadhani)

NIM 21522169

ABSTRAK

Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) merupakan aspek penting dalam aktivitas pertambangan karena tingginya potensi bahaya, khususnya pada penggunaan alat berat grader. Permasalahan yang dihadapi di PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka adalah masih terjadinya kecelakaan kerja pada proses perataan jalan meskipun perusahaan telah menerapkan program K3. Data periode 2018–2024 mencatat insiden berulang seperti grader terguling, tabrakan antar unit, serta kesalahan operator. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi potensi bahaya, menganalisis penyebab utama, serta mengukur efektivitas mitigasi. Metode yang digunakan meliputi *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Fault Tree Analysis* (FTA), dan simulasi Monte Carlo. Hasil FMEA menunjukkan potensi bahaya terbesar terdapat pada rem tidak berfungsi dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) 224 dan kipas radiator tidak berfungsi dengan nilai RPN 192. Melalui FTA teridentifikasi delapan *basic event* pada rem dan empat *basic event* pada kipas sebagai akar penyebab kegagalan. Rencana mitigasi yang disusun mencakup inspeksi rutin, perawatan berkala, pembersihan, serta pelatihan operator. Berdasarkan hasil simulasi Monte Carlo, penerapan mitigasi mampu menurunkan probabilitas kecelakaan hingga 78,15% dibandingkan kondisi awal. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi metode FMEA, FTA, dan Monte Carlo memberikan analisis yang lebih lengkap dan mendukung penyusunan kebijakan K3 yang lebih terukur pada kegiatan pertambangan nikel.

Kata kunci: *risiko kecelakaan kerja, FMEA, FTA, Monte Carlo, grader.*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN ii
SURAT BUKTI PENELITIAN iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI v
HALAMAN PERSEMBAHAN vi
MOTTO vii
KATA PENGANTAR viii
ABSTRAK ix
DAFTAR ISI x
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR GAMBAR xiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 5
1.4 Manfaat Penelitian 5
1.5 Batasan Penelitian 6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Kajian Literatur 7
2.2 Landasan Teori 12
2.2.1 Risiko 12
2.2.2 Manajemen Risiko 13
2.2.3 Kecelakaan Kerja 15
2.2.4 Keselamatan Dan Kesehatan Kerja 16
2.2.5 Efektivitas Mitigasi 17
2.2.6 *Failure Mode And Effect Analysis* 18
2.2.7 *Fault Tree Analysis* 21
2.2.8 Monte Carlo 22
BAB III METODE PENELITIAN 24
3.1 Subjek dan Objek Penelitian 24
3.1.1 Subjek Penelitian 24
3.1.2 Objek Penelitian 24
3.2 Jenis Data 24
3.3 Metode Pengumpulan Data 25
3.4 Alur Penelitian 26
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA 30
4.1 Pengumpulan Data 30
4.1.1 Deskripsi Perusahaan 30
4.1.2 Struktur Organisasi Perusahaan 30
4.1.3 Proses Produksi 31
4.1.4 Produk Yang Dihasilkan 32
4.2 Pengolahan Data 32
4.2.1 Data Kecelakaan Pada Alat Berat Grader 33
4.2.2 Kerusakan Pada Alat Berat Grader 35

4.3 Nilai RPN 38
4.4 Model FTA (*Fault Tree Analysis*) 40
4.5 Rencana Mitigasi 41
4.6 Efektivitas Mitigasi.....45
4.7 Simulasi Monte Carlo 47
4.7.1 Simulasi.....47
4.7.2 Perhitungan Kecelakaan.....52
BAB V PEMBAHASAN 55
5.1 Hasil Analisis FMEA.....55
5.2 Hasil Analisis FTA 58
5.3 Hasil Analisis Simulasi Monte Carlo 59
BAB VI PENUTUP 62
6.1 Kesimpulan.....62
6.2 Saran.....62
DAFTAR PUSTAKA 64
LAMPIRAN 67

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kajian Literatur 25
Tabel 2.2 Skala Penilaian *Severity* (FMEA) 34
Tabel 2.3 Skala Penilaian *Occurrence* (FMEA) 35
Tabel 2.4 Skala Penilaian *Detection* (FMEA) 36
Tabel 2.5 Simbol-Simbol dalam *Fault Tree Analysis* (FTA) 37
Tabel 4.1 Data Kecelakaan pada Grader 47
Tabel 4.2 Jenis Kerusakan pada Grader 48
Tabel 4.3 Perhitungan Nilai RPN 49
Tabel 4.4 perhitungan penyusunan diagram pareto..... ……..... 54
Tabel 4.5 rencana mitigasi..... 56
Tabel 4.6 Efektivitas mitigasi..... 56
Tabel 4.7 Hasil simulasi..... 58
Tabel 4.8 Hasil simulasi……...…59
Tabel 4.9 Total kerusakan muncul……...…61
Table 4.10 Perhitungan kecelakaan ……..…62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Data Kecelakaan pada Grader 17
Gambar 3.1 Alur Penelitian 41
Gambar 4.1 Struktur Organisasi Perusahaan 44
Gambar 4.2 Diagram proses produksi… 46
Gambar 4.3 Diagram Pareto 55
Gambar 4.4 *Fault Tree Analysis* Rem Tidak Berfungsi 55
Gambar 4.5 *Fault Tree Analysis* Kipas radiator rusak 56

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) merupakan hal yang sangat penting, terutama di industri pertambangan yang memiliki banyak potensi bahaya. Aktivitas di tambang biasanya dilakukan di lingkungan yang keras, menggunakan alat berat, serta melibatkan banyak pekerja. Semua faktor ini membuat risiko kecelakaan kerja di sektor pertambangan cukup tinggi. Berdasarkan data dari Kementerian ESDM Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2019), kecelakaan kerja di pertambangan masih sering terjadi, dan hal ini tentu berdampak pada keselamatan pekerja maupun kelancaran operasional perusahaan.

Kecelakaan kerja merupakan kejadian yang tidak dinginkan, karena dapat menimbulkan cedera, kerugian materi, kerusakan peralatan, hingga kematian. Menurut ILO (*International Labour Organization*), sebagian besar kecelakaan di dunia industri biasanya dipicu oleh tiga hal utama: kesalahan manusia (*human error*), kondisi kerja yang tidak aman (*unsafe condition*), dan kegagalan alat (*equipment failure*).

PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) merupakan salah satu perusahaan pertambangan besar di Indonesia yang berdiri sejak tahun 1968 dan sejak tahun 2017 menjadi bagian dari *Holding* BUMN Pertambangan di bawah naungan *Mining Industry Indonesia* (MIND ID). PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) memiliki kegiatan usaha yang terintegrasi mulai dari eksplorasi, penambangan, pengolahan, hingga pemasaran komoditas mineral. Komoditas utama yang dihasilkan meliputi emas, perak, nikel, bauksit, serta produk feronikel yang menjadi salah satu andalan perusahaan.

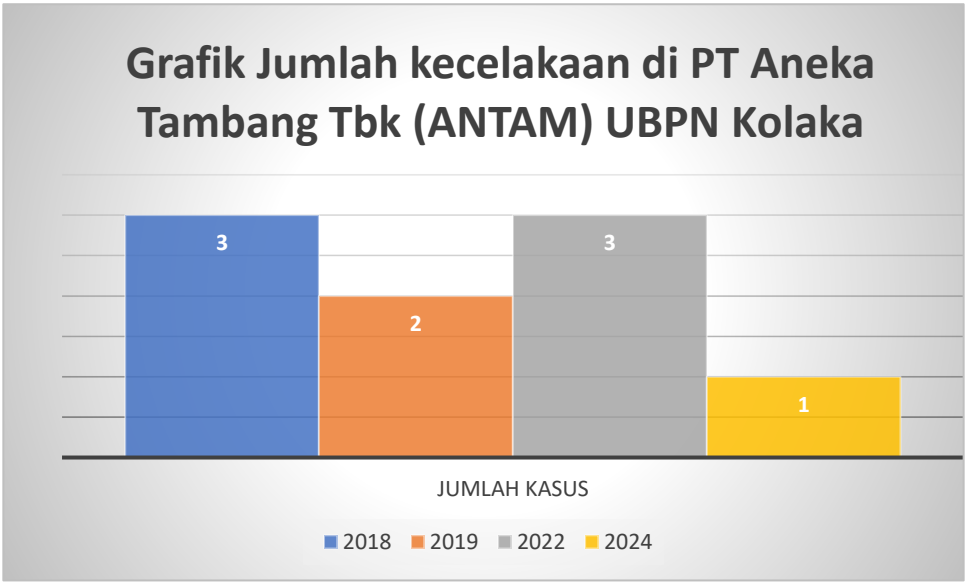
PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) memiliki lima unit bisnis utama, yaitu Unit Bisnis Pertambangan (UBP) Nikel Sulawesi Tenggara, Unit Bisnis Pertambangan (UBP) Nikel Maluku Utara, Unit Bisnis Pertambangan (UBP) Emas, Unit Bisnis Pengolahan dan Pemurnian (UBPP) Logam Mulia, serta Unit Bisnis Pertambangan (UBP) Bauksit Kalimantan Barat. Selain kelima unit bisnis tersebut, PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) juga memiliki Unit Geomin dan *Technology Development* yang berfungsi untuk mendukung kegiatan eksplorasi pertambangan, serta Unit *Learning and Development* yang berperan dalam pengembangan

kompetensi sumber daya manusia. Tidak hanya itu, PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) juga tengah mengembangkan beberapa Proyek Pengembangan Strategis yang ditujukan untuk menciptakan nilai tambah bagi para stakeholder dan memperkuat posisi perusahaan dalam industri pertambangan nasional maupun global.

Dari seluruh bagian unit bisnis yang dimiliki, salah satu bagian unit bisnis nya adalah Unit Bisnis Pertambangan Nikel (UBPN) Kolaka yang berlokasi di Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara. UBPN Kolaka merupakan bagian dari UBP Nikel Sulawesi Tenggara yang memiliki fungsi penting sebagai penyedia bahan baku utama bagi pabrik feronikel di Pomalaa serta sebagai pusat produksi nikel yang berkontribusi signifikan terhadap total produksi nikel PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM).

Perusahaan ini ini bergerak di pertambangan dan pengolahan nikel laterit, yang dilakukan dengan sistem tambang terbuka (*open pit mining*). Bijih nikel yang ditambang kemudian diolah di fasilitas pabrik menjadi feronikel, yaitu campuran besi dan nikel yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan *stainless steel*. Di pertambangan ini, terdapat berbagai aktivitas berisiko tinggi, salah satunya adalah proses perataan jalan menggunakan alat berat grader. Aktivitas ini sangat penting karena jalan yang rata dan aman dibutuhkan untuk mendukung operasional tambang. Namun, dalam pelaksanaan, aktivitas ini juga memiliki potensi bahaya yang cukup besar, seperti alat terguling, kecelakaan antar kendaraan, atau operator yang mengalami cedera karena kesalahan prosedur.

Meskipun perusahaan sudah menerapkan beberapa upaya untuk meningkatkan keselamatan kerja, seperti pelatihan K3, pemasangan rambu, serta pengawasan oleh petugas K3, namun kecelakaan tetap terjadi. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis risiko yang lebih mendalam untuk mengetahui penyebab utama terjadinya kecelakaan dan bagaimana cara mencegahnya.



Gambar 1. 1 Grafik Data Kecelakaan

Berdasarkan grafik di gambar 1.1 tersebut menunjukkan jumlah kecelakaan kerja pada alat berat grader di PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka selama periode 2018 sampai 2024. Dari data yang ada, terlihat bahwa tahun 2018 menjadi tahun dengan jumlah kecelakaan terbanyak, yaitu sebanyak tiga kasus. Sebagian besar kecelakaan di tahun tersebut terjadi karena grader terguling dan tergelincir saat beroperasi di medan yang curam dan licin, yang menunjukkan masih lemahnya pengendalian terhadap risiko lingkungan kerja, terutama di area yang memiliki kemiringan tajam dan rentan licin setelah hujan.Selanjutnya, pada tahun 2019 tercatat dua kecelakaan. Kemudian di tahun 2022 juga terjadi dua insiden dan di tahun 2024, tercatat satu kecelakaan. Setiap kecelakaan bisa menimbulkan dampak yang serius, seperti cedera pada pekerja, kerusakan alat berat dengan biaya perbaikan tinggi, bahkan terhentinya aktivitas tambang. Selain itu, jika tidak ada upaya pencegahan, kecelakaan yang sama bisa terulang kembali dan menimbulkan kerugian yang lebih besar ke depannya Hal ini menunjukkan perlu menganalisis dengan mengidentifikasi risiko dan mencari penyebab terjadinya kecelakaan kerja.

Dalam penelitian sebelumnya, metode yang digunakan seperti HIRA pada penelitian Gwineth (2023) yang permasalahan utama dalam penelitian ini adalah masih banyaknya potensi bahaya dan risiko kecelakaan kerja pada kegiatan *loading, hauling,* dan *dumping* di tambang nikel PT. Manado Karya Anugrah. Faktor penyebab utamanya berasal dari tindakan tidak aman pekerja dan kondisi lingkungan kerja yang tidak aman, seperti jalan licin, berdebu,

bergelombang, maupun operator yang tidak mematuhi prosedur keselamatan. Untuk menganalisis masalah tersebut, penelitian ini hanya menggunakan satu metode, yaitu *Hazard Identification and Risk Assessment* (HIRA).

Selain itu pada penelitian Arif & Silaban (2014) yang mempunyai permasalahan dalam penelitian ini adalah masih tingginya potensi bahaya kerja pada proses *coal chain* di pertambangan batubara PT Mifa Bersaudara Meulaboh. Proses c*oal chain* terdiri dari beberapa tahapan, yaitu *coal getting, coal crushing, coal hauling*, dan *coal barging*, yang semuanya melibatkan alat berat serta prosedur kerja yang berisiko menimbulkan kecelakaan. Untuk menganalisis permasalahan tersebut, penelitian ini hanya menggunakan satu metode, yaitu *Job Safety Analysis (*JSA) yang berfungsi untuk mengidentifikasi potensi bahaya di tiap langkah.

Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan kombinasi FMEA, FTA, dan Simulasi Monte Carlo agar hasil analisis risiko lebih lengkap. Metode FMEA membantu menentukan prioritas risiko berdasarkan nilai RPN, sehingga perusahaan mengetahui kecelakaan yang paling prioritas untuk ditangani. FTA dipakai untuk menelusuri akar penyebab kecelakaan dengan lebih terstruktur. Metode Simulasi Monte Carlo juga digunakan untuk mengetahui penurunan tingkat risiko setelah dilakukan langkah pengendalian. Dengan menjalankan simulasi berulang kali, metode ini mampu menunjukkan bagaimana peluang terjadinya risiko berubah sebelum dan sesudah pengendalian diterapkan. Hasilnya, perusahaan dapat melihat seberapa besar efektivitas strategi pencegahan yang dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, adapun pernyataan rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:.

1. Aktivitas perataan jalan menggunakan alat berat grader di PT Aneka Tambang (ANTAM) UBPN Kolakamasih memiliki potensi kecelakaan kerja yang cukup tinggi, meskipun perusahaan telah melakukan pengendalian K3.
2. Data kecelakaan periode 2018–2024 menunjukkan insiden berulang, seperti rem tidak berfungsi, grader terguling, tabrakan antar unit, dan kesalahan operator.

Pertanyaan penelitian yang dikaji dalam penelitian ini adalah :

1. Apa saja potensi bahaya yang ada pada proses perataan jalan menggunakan mesin grader pada aktivitas pertambangan PT PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka?

2. Faktor-faktor apa saja yang menyebabkan tingginya kecelakaan kerja pada proses tersebut?
3. Berapa besar penurunan tingkat risiko kecelakaan kerja setelah adanya perbaikan pada proses perataan jalan menggunakan mesin grader?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini disusun untuk memberikan arah dalam penyelesaian permasalahan yang telah dirumuskan. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi potensi bahaya yang terdapat pada proses perataan jalan menggunakan mesin grader di aktivitas pertambangan PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka.
2. Menganalisis faktor-faktor penyebab tingginya angka kecelakaan kerja pada proses perataan jalan dengan alat berat grader tersebut.
3. Mengukur besarnya penurunan tingkat risiko kecelakaan kerja setelah dilakukan perbaikan dan usulan penerapan langkah-langkah mitigasi pada proses perataan jalan menggunakan alat berat grader.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat yang dapat diuraikan dibawah ini:

1. Bagi Peneliti

   Penelitian ini menjadi referensi penting untuk peneliti lain yang ingin mengembangkan studi terkait analisis risiko kecelakaan kerja, khususnya di sektor pertambangan. Penggunaan metode FMEA, FTA, dan simulasi Monte Carlo yang terintegrasi dapat menjadi acuan dalam penerapan metodologi serupa.

2. Bagi pengelola

   Hasil penelitian ini bisa digunakan oleh pengelola untuk membuat keputusan yang lebih tepat dalam menjaga keselamatan kerja. Dengan tahu penyebab kecelakaan, pengelola bisa menyusun langkah pencegahan yang lebih efektif.

3. Bagi pembaca

   Penelitian ini memberikan gambaran yang jelas tentang potensi bahaya dan risiko kecelakaan yang mungkin terjadi saat proses perataan jalan menggunakan mesin grader di pertambangan. Selain itu, pembaca dapat memahami penerapan metode analisis

risiko seperti FMEA, FTA, dan simulasi Monte Carlo, sehingga menambah wawasan mengenai cara mengelola dan meminimalkan risiko kecelakaan kerja secara sistematis.

1.5 Batasan Penelitian

Pada penelitian ini ada beberapa hal yang dapat dijadikan batasan dalam melakukan penelitian yaitu :

1. Penelitian ini hanya fokus pada analisis risiko kecelakaan kerja pada proses perataan jalan menggunakan mesin grader di area pertambangan PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka.
2. Risiko yang dianalisis terbatas pada faktor-faktor yang berkaitan langsung dengan operasi grader, seperti kesalahan operator, kondisi medan kerja yang menggunakan metode FMEA, FTA, dan simulasi Monte Carlo untuk mengidentifikasi dan menganalisis risiko.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Penelitian Pangestu, (2023) menganalisis kestabilan lereng pada disposal area menggunakan simulasi *Monte Carlo* untuk mengetahui nilai faktor keamanan (*safety factor*) pada berbagai kemungkinan kondisi geoteknik. Simulasi dilakukan untuk memperhitungkan variabilitas parameter tanah seperti kohesi dan sudut geser dalam konteks ketidakpastian. Hasilnya menunjukkan bahwa ada bagian dari lereng yang memiliki nilai faktor keamanan kurang dari 1,2 (batas aman), sehingga diperlukan redesain lereng untuk menghindari potensi longsor. Simulasi *Monte Carlo* membantu memperkirakan dampaknya secara kuantitatif. Penelitian Imawan & Nuruddin, (2024)menganalisis proyek konstruksi *Forest Cerme*, mengidentifikasi risiko utama seperti cuaca buruk dan keterlambatan material. Setelah dihitung RPN-nya, risiko tersebut dimodelkan secara statistik dengan Monte Carlo untuk memproyeksikan potensi biaya dan waktu. Hasilnya digunakan untuk menyusun strategi mitigasi risiko yang realistis dan terukur. Penelitian Cardozo, (2022)membahas bagaimana metode simulasi Monte Carlo dapat digunakan untuk menganalisis risiko ekonomi dalam proyek pertambangan bawah tanah, khususnya pada tahap konsep dan pra-kelayakan. Dalam studi ini, metode diterapkan pada proyek tambang emas bawah tanah di Brasil dengan metode penambangan *long hole*. Penelitian ini membandingkan evaluasi ekonomi secara deterministik dengan pendekatan probabilistik menggunakan Monte Carlo, untuk mengetahui pengaruh variabilitas input seperti kadar bijih, tonase, harga emas, OPEX, CAPEX, dan tingkat pemulihan tambang terhadap NPV *(Net Present Value).*

Penelitian Afdal & Linarti, (2023)mengevaluasi efektivitas pemeliharaan preventif dengan menggabungkan simulasi Monte Carlo dan FMEA pada sistem filtrasi dalam pabrik asam fosfat. FMEA digunakan untuk mengidentifikasi mode kegagalan yang dominan, sementara Monte Carlo mensimulasikan keandalan dan frekuensi kegagalan. Hasilnya menunjukkan waktu optimal pemeliharaan untuk meminimalkan kerusakan dan biaya operasional. Penelitian Gupta, (2023) membahas tentang pentingnya keandalan (*reliability*) kendaraan listrik (EV) dalam konteks perkembangan teknologi dan adopsi kendaraan ramah lingkungan di India. Studi ini membangun model matematis menggunakan analisis *fault tree* (FTA) dan simulasi Monte Carlo untuk mengevaluasi hubungan logis antar komponen dan bagaimana kegagalan suatu komponen dapat menyebabkan kegagalan sistem secara

keseluruhan. Masalah utama yang diidentifikasi dalam makalah ini adalah rendahnya tingkat keandalan sistem EV akibat kompleksitas sistem elektronik dan kurangnya perhatian terhadap perawatan dan desain yang tepat. Banyak komponen EV, seperti baterai lithium-ion dan pengontrol motor, rentan terhadap kegagalan karena faktor-faktor seperti keausan, kesalahan manufaktur, atau kegagalan termal. Selain itu, pasar EV di India masih tergolong kecil, dan pengembangan teknologi yang handal masih dalam tahap awal.

FMEA merupakan alat analisis sistematis yang membantu dalam mengidentifikasi potensi kegagalan proses dan dampaknya. Dalam penelitian Putri & Maharani, (2023), menganalisis proses produksi batubara menggunakan FMEA untuk mengetahui penyebab penurunan kualitas produk. Ditemukan bahwa kelembaban berlebih dan proses pencampuran material yang tidak tepat berkontribusi terhadap penurunan mutu batubara. Nilai *Risk Priority Number* (RPN) digunakan untuk menentukan prioritas perbaikan. Penelitian Reddy et al, (2021)membahas tentang pentingnya keselamatan kerja dalam operasional tambang terbuka, khususnya terkait penggunaan alat berat berupa dumper. Dumper sering mengalami berbagai kegagalan seperti ban pecah, rem tidak berfungsi, kelalaian operator, serta kondisi tanah yang tidak stabil, yang semuanya dapat menyebabkan kecelakaan serius. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode FMEA *(Failure Mode and Effect Analysis)* untuk mengidentifikasi potensi kegagalan pada dumper, menganalisis dampak dari setiap kegagalan, serta memberikan rekomendasi tindakan pencegahan.

Fakhravar, (2020)membahas penggunaan FMEA dalam tahap awal desain teknik, terutama untuk mengidentifikasi potensi kegagalan yang dapat terjadi selama siklus hidup produk. Dengan menerapkan FMEA, tim desain dapat mengurangi risiko secara proaktif dan memastikan produk akhir yang lebih aman. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi dini terhadap potensi masalah, sehingga perbaikan dapat dilakukan sebelum produk memasuki tahap produksi. Hal ini tidak hanya meningkatkan kualitas produk tetapi juga mengurangi biaya yang terkait dengan perbaikan di tahap akhir. Penelitian. Peneliti Akula & Salehfar (2020)membahas penerapan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) pada sistem energi mikrogrid yang menggabungkan komponen fisik dan siber *(cyber-physical systems).* Dalam sistem mikrogrid modern, banyak digunakan teknologi digital seperti sensor, pengendali, perangkat komunikasi, dan perangkat lunak yang memungkinkan pengumpulan dan analisis data secara real-time. Masalah utama penelitian ini adalah risiko kegagalan komponen siber dalam sistem

mikrogrid, terutama akibat serangan siber yang bisa menyebabkan *blackout*, kerusakan perangkat, hingga kerugian finansial. Oleh karena itu, penulis menggunakan pendekatan klasik FMEA untuk mengidentifikasi potensi mode kegagalan, penyebabnya, serta dampaknya. Setiap mode kegagalan dinilai berdasarkan tiga faktor: *severity* (tingkat keparahan), *occurrence* (kemungkinan terjadi), dan *detection* (kemampuan mendeteksi), yang dikalikan untuk mendapatkan nilai *RPN (Risk Priority Number).*

Sun et al, (2022) membahas penerapan simulasi Monte Carlo dalam analisis risiko menggunakan metode PFMEA *(Process Failure Mode and Effects Analysis)* yang terbaru, khususnya dalam penentuan *Action Priority* (AP). PFMEA digunakan secara luas dalam industri, terutama otomotif dan manufaktur, untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dalam desain atau proses produksi dan mengevaluasi risiko berdasarkan tiga parameter: *Severity (S), Occurrence (O),* dan *Detection (D*). Dalam edisi terbaru FMEA (AIAG-VDA 2019), pendekatan *Risk Priority Number* (RPN) digantikan oleh AP untuk mengatasi kelemahan penilaian RPN yang cenderung subyektif dan tidak selalu mencerminkan prioritas tindakan yang tepat. Masalah utama yang dibahas dalam penelitian ini adalah ketidakpastian dan ketidakkonsistenan dalam penilaian parameter S, O, dan D yang bersifat kualitatif. Penilaian yang terlalu bergantung pada pengalaman dan persepsi individu dapat menyebabkan hasil evaluasi yang bias dan inkonsisten.

FTA *(Fault Tree Analysis)* adalah metode yang digunakan untuk menelusuri akar penyebab suatu kejadian atau kecelakaan, sedangkan FMEA membantu mengidentifikasi potensi kegagalan dan dampaknya sebelum kecelakaan terjadi. Dalam penelitian Jaya et al, (2022), menganalisis kecelakaan kerja di pabrik produksi PT. YYY. Temuan dari FMEA dan FTA menunjukkan bahwa kelalaian operator dan pengawasan prosedur K3 yang lemah menjadi penyebab utama. Peneliti ini menyarankan program pelatihan keselamatan dan perbaikan SOP sebagai solusi preventif terhadap kecelakaan berulang. Penelitian Bujna et al, (2024) menggabungkan FMEA, FTA, dan DEMATEL untuk mengukur tingkat keandalan mesin tipe karusel. FTA digunakan untuk mengidentifikasi jalur logis dari kegagalan sistem, sedangkan FMEA menentukan nilai risiko setiap mode kegagalan. DEMATEL membantu mengevaluasi keterkaitan antar faktor risiko. Integrasi ini memperkuat proses pengambilan keputusan dalam perawatan preventif dan peningkatan sistem. Dengan pendekatan ini, perusahaan dapat mengidentifikasi komponen yang paling rentan terhadap kegagalan dan memahami hubungan

sebab-akibat antara berbagai faktor risiko. Hal ini memungkinkan perencanaan perawatan yang lebih efektif dan peningkatan keandalan sistem secara keseluruhan.

Penelitian Karim et al, (2023)bertujuan untuk mengidentifikasi risiko kecelakaan kerja yang dapat mempengaruhi pekerja di PT. Inti Bangun Mulya. Dengan menggabungkan metode FMEA dan diagram Fishbone, penelitian ini menemukan tujuh kegagalan berisiko dari sebelas kejadian kecelakaan kerja, dengan risiko tertinggi pada perbaikan piston truk yang dapat menyebabkan tangan terjepit. Solusi yang diusulkan termasuk meningkatkan penggunaan alat pelindung diri dan memperhatikan posisi tubuh saat bekerja. card Yolanda et al, (2023) membahas tentang penerapan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk mengidentifikasi dan mencegah kegagalan pada proses produksi di Departemen Interior PT X, sebuah perusahaan karoseri bus dan minibus. Masalah utama yang dihadapi adalah tingginya jumlah produk cacat *(defect)* seperti gelembung udara, cetakan tidak sempurna, *double tape* tidak menempel, robek, padat/tidak padat, dan warna belang. Melalui pendekatan FTA, penyebab utama dari masing-masing jenis cacat dianalisis secara sistematis. Penyebab tersebut berasal dari faktor manusia (misalnya operator kurang teliti), peralatan (matras kotor, tekanan mesin tidak stabil), mesin (tidak adanya jadwal *maintenance*), serta lingkungan (gangguan listrik). Masalah utamanya adalah belum optimalnya kontrol kualitas dan pencegahan kerusakan dalam proses produksi. Akibatnya, banyak produk yang tidak memenuhi standar, yang tentu saja berdampak pada kepuasan pelanggan dan efisiensi produksi. Solusi yang ditawarkan berupa usulan perbaikan seperti pembuatan form checklist untuk kebersihan matras dan pengecekan proses, penyediaan timer, hingga pengadaan genset untuk mencegah gangguan listrik. Kajian literatur dalam penelitian ini disajikan pada tabel 2.1 dibawah ini :

Tabel 2. 1 Kajian Literatur

NO	PENELITI	OBJEK PENELITIAN	FMEA	FTA	MONTE CARLO
1	(Pangestu et al., 2023)	Lereng			√
2	Putri & Maharani, (2023)	Batu bara	√		

NO	PENELITI	OBJEK PENELITIAN	FMEA	FTA	MONTE CARLO
3	Jaya et al, (2022)	pengolahan hasil laut (rajungan)	√	√	
4	Imawan & Nuruddin, (2024)	Proyek kontruksi	√		√
5	(Reddy et al., 2021)	pertambangan	√		
6	(Cardozo et al., 2022)	pertambangan			√
7	(Akula & Salehfar, 2020)	Perusahaan energi dan teknologi	√		
8	(Fakhravar, 2020)	otomotif	√		
9	(Bujna et al., 2024)	Mekanik dan elektrik	√	√	
10	(Afdal & Linarti, 2023)	Pabrik Asam Fosfat	√		√
11	(Karim et al., 2023)	pertambangan	√	√	
12	(Pibisono, 2020)	pertambangan	√	√	
13	(Gupta, 2023)	Produksi kendaraan listrik		√	
14	(Sun et al., 2022)	otomotif			√
15	(Yolanda et al., 2023)	Perusahaan karoseri Bus dan minibus.		√	
16	Ramadhani (2025)	Pertambangan	√	√	√

Pada penelitian Ramadhani, (2025) ini dilakukan untuk menganalisis risiko kecelakaan kerja pada aktivitas perataan jalan menggunakan alat berat grader di PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka. Metode yang dipakai yaitu FMEA, FTA, dan simulasi Monte Carlo. FMEA digunakan untuk mengidentifikasi mode kegagalan dan menentukan prioritas risiko berdasarkan nilai RPN, kemudian FTA dipakai untuk menelusuri akar penyebab kecelakaan secara sistematis, dan Monte Carlo dipakai untuk memprediksi probabilitas risiko serta efektivitas mitigasi yang dilakukan. Perbedaan utama penelitian ini dengan kajian sebelumnya ada pada objek, tujuan, dan integrasi metode. Jika penelitian terdahulu umumnya hanya memakai satu atau dua metode (FMEA, FTA, atau Monte Carlo), penelitian ini lebih spesifik karena menggabungkan ketiga metode sekaligus pada konteks pertambangan nikel. Hasilnya lebih menyeluruh, karena tidak hanya mengidentifikasi bahaya dan penyebab utama kecelakaan, tetapi juga menghitung penurunan risiko secara kuantitatif.

2.2 Landasan Teori

Penelitian ini didukung oleh landasan teori yang dijelaskan pada uraian dibawah ini :

2.2.1 Risiko

Risiko merupakan kemungkinan terjadinya suatu kerugian yang tidak di duga atau tidak di inginkan.Jadi ketidakpastian atau kemungkinan terjadinya sesuatu yang apabila terjadi mengakibatkan kerugian. Manajemen adalah suatu proses yang terdiri dari rangkaian kegiatan, seperti perencanaan, pengorganisasiian, penggerakan dan pengendalian atau pengawasan, yang dilakukan untuk menentukan dan mencapai tujuan yang telah ditetapkan melalui pemanfaatan sumber daya manusia dan sumber daya lainnya husaini, (2023). Menurut (Mudrika Berliana As Sajjad, 2020) risiko terbagi menjadi beberapa yaitu risiko produk, risiko pasar, dan risiko keuangan

1. Risiko Keuangan

   Risiko Keuangan *(Leverage)* merupakan risiko yang khususnya memengaruhi pendapatan suatu usaha. Risiko keuangan berkaitan dengan permodalan, pendapatan, kerugian suatu usaha. Pada UMKM risiko keuangan merupakan risiko yang sering terjadi. Permasalahan keuangan sering kali dihadapi. Kurangnya modal untuk mengembangkan usaha contohnya dapat menghambat laju pertumbuhan dan perkembangan UMKM. Keuangan yang baik danstabil merupakan kunci keberhasilan UMKM.

2. Risiko Produk

   Risiko produk merupakan Risiko yang meyatu dengan dengan Risiko Operasional, namun letak perbedaan nya pada Output Produk (Barang Jadi) yang telah dihasilkan oleh suatu perusahaan. Yang memiliki hubungan erat langsung dengan konsumen *(Customer).* Tentunya Dalam sebuah bisnis dari sektor apapun pasti memiliki sebuah risiko yang perlu diantisipasi dan perlu dikelola kembali dan dievaluasi agar risiko tersebut dapat diminimalisir dampaknya dan tidak merugikan perusahaan, bahkan mempengaruhi reputasi perusahaan tersebut.

3. Risiko Pasar

   Risiko: kejadian buruk yang berpotensi terjadi dan diketahui berapa peluang kejadian tersebut akanbenar-benar terjadi dan sebesar apa dampaknya kalau kejadian tersebut benar-benar terjadi.Pemasaran adalah semua kegiatan usaha yang bertalian dengan arus penyerahan barang dan jasa-jasa dari produsen ke konsumen. Dalam kegiatan pemasaran, dikenal konsep 4P yaitu: *Product, Price, Placement, and Promotion.*Pada dasarnya risiko pasar ini tergantung dari ada dilingkungan mana perusahaan tersebut beroperasi, banyak sekali pesaing atau harga bahan baku, dan promosi melewati media social.Tergantung bagaimana perusahaan tersebut bisa berntindak inovatif terhadap risiko pemasaran tersebut agar menjadi nilai tambah bagi perusahaan.

2.2.2 Manajemen Risiko

Manajemen Risiko merupakan sebuah metode yag sistematik dan logis yang berguna untuk mengidentifikasi, monitor, menetapkan solusi, dan melaporkan risiko yang terjadi pada setiap aktivitas atau dalam sebuah proses Risnaeni, (2019). Fokus dari manajemen risiko yang baik adalah identifikasi dan cara mengatasi risiko. Sasarannya untuk menambah nilai maksimum berkesinambungan (*sustainable*) organisasi. Manajemen risiko seharusnya bersifat berkelanjutan dan mengembangkan proses yang bekerja dalam keseluruhan strategi organisasi dan strategi dalam mengimplementasikan. Manajemen risiko seharusnya ditujukan untuk menanggulangi suatu permasalahan sesuai dengan metode yang digunakan dalam melaksanakan aktivitas dalam suatu organisasi di masa lalu, masa kini dan masa depan Pratama, (2018).

Menurut ISO 31000, terdapat 11 prinsip dalam manajemen risiko yang perlu diikuti oleh organisasi agar manajemen risiko dapat berjalan efektif. adapun prinsip-prinsip yang dimaksud adalah:

1. Manajemen risiko menciptakan nilai tambah. Manajemen risiko berkontribusi terhadap pencapaian nyata tujuan dan peningkatan, antara lain, kesehatan dan keselamatan manusia, kepatuhan terhadap hukum dan peraturan, penerimaan publik, perlindungan lingkungan, kinerja keuangan, kualitas produk, efisiensi operasi, serta tata kelola dan reputasi perusahaan.
2. Manajemen risiko adalah bagian integral proses dalam organisasi. Manajemen risiko adalah bagian tanggung jawab manajemen dan merupakan suatu bagian integral dalam proses normal organisasi seperti juga merupakan bagian dari seluruh proses proyek dan manajemen perubahan. Manajemen risiko bukanlah merupakan aktivitas yang berdiri sendiri yang terpisah dari aktivitas-aktivitas utama dan proses dalam organisasi.
3. Manajemen risiko adalah bagian dari pengambilan Keputusan. Manajemen risiko membantu pengambil keputusan mengambil keputusan dengan informasi yang cukup. Manajemen risiko dapat membantu memprioritaskan tindakan dan membedakan berbagai pilihan alternatif tindakan. Pada akhirnya, manajemen risiko dapat membantu memutuskan apakah suatu risiko dapat diterima atau apakah suatu penyelesaian risiko telah memadai dan efektif.
4. Manajemen risiko secara eksplisit menangani masalah ancaman. Manajemen risiko menangani aspek-aspek pengambilan keputusan, sifat alami dari pengambilan keputusan, dan cara penanganannya.
5. Manajemen risiko bersifat sistematis, terstruktur, dan tepat waktu. Suatu pendekatan sistematis, tepat waktu, dan manajemen terstruktur terhadap risiko memiliki kontribusi terhadap efisiensi dan hasil yang konsisten, dapat dibandingkan, serta andal.
6. Manajemen risiko berdasarkan informasi terbaik yang tersedia. Masukan untuk proses pengelolaan risiko didasarkan pada sumber informasi seperti pengalaman, umpan balik, pengamatan, prakiraan, dan pertimbangan pakar. Meskipun demikian, pengambil keputusan harus terinformasi dan harus mempertimbangkan segala batasan data atau model yang digunakan atau kemungkinan perbedaan pendapat antar pakar.

7. Manajemen risiko dibuat sesuai kebutuhan. Manajemen risiko diselaraskan dengan konteks eksternal dan internal organisasi serta profil risikonya.
8. Manajemen risiko menjelaskan faktor manusia dan budaya. Manajemen risiko organisasi mengakui kapabilitas, persepsi, dan tujuan pihak-pihak eksternal dan internal yang dapat mendukung atau malah menghambat pencapaian tujuan organisasi.
9. Manajemen risiko bersifat transparan dan inklusif. Pelibatan para pemangku kepentingan, terutama pengambil keputusan, dengan sesuai dan tepat waktu pada semua tingkatan organisasi, memastikan manajemen risiko tetap relevan dan mengikuti perkembangan. Pelibatan ini juga memungkinkan pemangku kepentingan untuk cukup terwakili dan menjelaskan sudut pandangnya dalam menentukan kriteria risiko.
10. Manajemen dinamis risiko bersifat, iteratif, dan responsif terhadap perubahan. Seiring dengan timbulnya peristiwa internal dan eksternal, perubahan konteks dan pengetahuan, serta diterapkannya pemantauan dan peninjauan, risiko-risiko baru bermunculan, sedangkan yang ada bisa berubah atau hilang. Oleh karena itu, suatu organisasi harus memastikan bahwa manajemen risiko terus menerus mempertahankan dan mengakui perubahan.
11. Manajemen memfasilitasi risiko perbaikan dan pengembangan organisasi berkelanjutan. Organisasi harus mengembangkan dan mengimplementasikan strategi untuk memperbaiki kematangan manajemen risiko mereka bersama aspek-aspek lain dalam organisasi mereka.

2.2.3 Kecelakaan Kerja

Kecelakaan kerja menurut Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia Nomor KEP150/MEN/1999 tahun 1999 tentang Jaminan Sosial Tenaga Kerja adalah kecelakaan yang berhubungan dengan kerja, termasuk penyakit yang timbul karena hubungan kerja demikian pula kecelakaan yang terjadi dalam perjalanan berangkat dari rumah menuju tempat kerja dan pulang kerumah melalui jalan biasa atau wajar dilalui (Kementrian Tenaga Kerja dan Transmigrasi, 1999). Kecelakaan kerja adalah suatu kejadianyang tidak diinginkan yakni peristiwa yang tidak diinginkan/diharapkan, tidak diduga, tidak disengaja terjadi dalam hubungan kerja yang berdampak pada kerugian berupa cidera pada pekerja, kerusakan barang-barang produksi dan kehilangan waktu selama proses produksi.Mandagi et al, (2022)

Kecelakaan kerja merupakan suatu kejadian yang tidak dikehendaki dan tidak dapat diduga yang dapat menimbulkan kerugian *(loss)* baik secara materi maupun manusia sebagai

korban. Beberapa faktor yang turut mempengaruhi tingginya angka kecelakaan kerja di Indonesia dalam Salami,dkk (2015) antara lain (i) sumber daya manusia (SDM) tidak memiliki keahlian dan keterampilan mengoperasikan mesin-mesin pabrik yang berteknologi tinggi; (ii) status kesehatan kerja dan gizi kerja yang tidak memadai; (iii) banyaknya pengangguran membuat tenaga kerja memilih lebih baik bekerja tanpa memperhitungkan pekerjaan yang berbahaya, yang penting bekerja ketimbang menganggur; (iv) lemahnya pengawasan dari instansi ketenagakerjaan; (v) banyaknya tenaga kerja yang tidak dilindungi program Jamsostek.

2.2.4 Keselamatan Dan Kesehatan Kerja

Keselamatan kerja merupakan keselamatan yang bertalian dengan mesin, pesawat, alat kerja, bahan dan proses pengolahannya, landasan tempat kerja dan lingkungannya serta cara-cara melakukan pekerjaan. Keselamatan kerja juga dapat diartikan sebagai suatu usaha atau kegiatan untuk menciptakan lingkungan kerja yang aman, serta mencegah semua bentuk kecelakaan yang mungkin terjadi. Keselamatan kerja berlaku disegala tempat kerja, baik di darat, di laut, di permukaan air, di dalam air maupun di udara.Tempattempat kerja demikian tersebar pada kegiatan ekonomi, pertanian, industri pertambangan, perhubungan pekerjaan umum, jasa dan lain-lain. Salah satu aspek penting sasaran keselamatan kerja mengingat resiko bahayanya adalah penerapan teknologi, terutama teknologi canggih dan mutakhir. Hal ini akan memacu pekerja untuk meningkatkan motivasi dan produktivitas dari tenaga kerjaTjakra et al, (2013).

K3 merupakaan salah satu aspek penting yang perlu mendapatkan perhatian secara khusus dalam pekerjaan bidang konstruksi, karena apabila K3 di abaikan maka resiko terjadinya kecelakaan kerja pada pekerja akan lebih bersar, dan hal itu berpengaruh pada turunnya kualitas kerja para pekerja, sehingga segala bentuk kegiatan yang di lakukan di proyek akan mengalami gangguanManurung, (2020). Dalam penelitian Manurung, (2020)K3 bertujuan untuk menciptakan suatu sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja dalam ruang lingkup pekerja dengan melibatkan unsur manajemen, tenaga kerja, kondisi, dan lingkungan kerja yang terintregrasi dalam rangka mencegah dan mengurangi kecelakaan dan penyakit akibat kerja, serta terciptanya suasana tempat kerja yang aman dan nyaman, efisien dan produktif.

Menurut Jumhana et al, (2025) , K3 bertujuan untuk mencegah kerugian dalam bentuk kecelakaan kerja, kerusakan alat atau infrastruktur, dan gangguan kesehatan yang dapat memengaruhi produktivitas kerja. Konsep ini melibatkan tiga elemen utama, yaitu: Pencegahan

Kecelakaan Kerja: Kegiatan yang dilakukan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mengendalikan risiko di tempat kerja Pengelolaan Kesehatan Kerja: Fokus pada pencegahan penyakit akibat paparan bahaya di lingkungan kerja, seperti bahan kimia, kebisingan, atau kondisi ergonomis yang buruk. Peningkatan Kesejahteraan Tenaga Kerja: Mengutamakan kenyamanan dan kesehatan fisik serta mental pekerja untuk menciptakan suasana kerja yang kondusif. Dalam penelitianJumhana et al, (2025), Prinsip K3 merupakan landasan yang digunakan untuk memastikan keselamatan dan kesehatan kerja terintegrasi dalam setiap aktivitas organisasi. Prinsip-prinsip tersebut meliputi identifikasi dan penilaian risiko, pengendalian bahaya, npelatihan dan edukasi, kepatuhan terhadap regulasi, serta monitoring dan evaluasi.

2.2.5 Efektivitas Mitigasi

Efektifitas merupakan gambaran tingkat keberhasilan atau keunggulan dalam mencapai sasaran yang telah ditetapkan dan adanya keterkaitan antara nilai-nilai yang bervariasi. Efektifitas merupakan pusat usaha, sasaran pokok dari semua studi tentang organisasi, yang dilandasi harapan untuk terus menerus meningkatkannya. Dalam pengertian akan istilah efektif, terkandung istilah efisiensi yang maknanya berbeda jika efektivitas dipandang sebagi Tingkat pencapaian tujuan operasi Harsana, (2023).

Mitigasi merupakan tahap awal penanggulangan bencana alam untuk mengurangi dan memperkecil dampak bencana. Mitigasi adalah kegiatan sebelum bencana terjadi. Contoh kegiatannya antara lain membuat peta wilayah rawan bencana, pembuatan bangunan tahan gempa, penanaman pohon bakau, penghijauan hutan, serta memberikan penyuluhan dan meningkatkan kesadaran masyarakat yang tinggal di wilayah rawan. Menurut UU Nomor 24 Tahun 2007, mengatakan bahwa pengertian mitigasi dapat didefinisikan sebagai mitigasi adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapai ancaman bencana.Niode, (2016).

Efektivitas mitigasi Adalah serangkaian upaya, baik struktural maupun non-struktural, yang bertujuan mengurangi dampak buruk suatu ancaman atau bencana. Upaya struktural mencakup pembangunan sarana fisik dan rekayasa teknis, sedangkan upaya non-struktural mencakup penyusunan kebijakan, edukasi, pelatihan, dan perencanaan tata ruang (BNBP, 2012). Dalam penelitianSetiobudi & Heryadi, (2023), mitigasi dinilai efektif jika terdapat

penurunan indikator risiko, seperti tingkat ancaman dan kerentanan, yang diukur sebelum dan sesudah penerapan mitigasi. Semakin besar penurunan indikator risiko tersebut, semakin tinggi efektivitas mitigasi yang dilakukan.

2.2.6 *Failure Mode And Effect Analysis*

Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) merupakan suatu model sistematis untuk mengidentifikasi dan mencegah suatu permasalahan yang ada di suatu sistem. Penggunaan FMEA dilakukan dengan proses diskusi dari divisi yang berbeda pada perusahaan untuk menganalisis penyebab kegagalan terhadap komponen dan subsistem pada suatu proses atau produk. FMEA menggunakan kriteria-kriteria kemungkinan kejadian *(occurrence),* deteksi *(detection),* dan tingkat kerusakan *(severity)* untuk menentukan *risk priority numbers* (RPN) dan *risk score value* (RSV) agar nantinya digunakan untuk menentukan aksi dari risiko yang diprioritaskanSuherman & Cahyana, (2019). Pada tabel dibawah ini adalah tiga kriteria dalam perhitungan FMEA menurut (Nuchpho et al, 2014):

1. *Severity*

   Severity merupakan kriteria dampak keparahan. Dalam memberikan penilaian *severity* perlu adanya diskusi antara *stakeholder* yang terkait berdasarkan kriteria parameter S yang telah disusun. Memiliki ukuran angka penilaian 1-10 (semakin besar nilai semakin parah). Dibawah ini merupakan tabel 2.2 *severity* yaitu:

Tabel 2. 2 *Table Severity*

Rating	Kriteria	Dampak
1	- Tidak ada dampak terhadap sistem produksi atau layanan jasa maupun produk	Tidak ada dampak
2	- Dampak sangat kecil terhadap sistem produksi - Masih ada keluhan hanya dari konsumen tertentu	Sangat kecil
3	- Dampak kecil terhadap sistem produksi - Masih ada keluhan dari beberapa konsumen	Kecil
4	- Kinerja produk menurun tetapi tidak memerlukan	Rendah

Rating	Kriteria	Dampak
	perbaikan	
5	- Kinerja produk menurun tapi masih bisa diperbaiki	Sedang
6	- Kinerja produk menurun karena beberapa fungsi tertentu mungkin tidak beroperasi	Signifikan
7	- Sedikit mengganggu kelancaran proses produksi - Kinerja produk tidak sempurna tetapi masih bisa difungsikan	Mayor
8	- Mengganggu kelancaran sistem produksi - Produk tidak dapat digunakan (100% *scrap*)	Ekstrem
9	- Tidak sesuai dengan peraturan pemerintah - Menghasilkan produk yang membahayakan konsumen	Serius, kegagalan terjadi dengan peringatan
10	- Tidak sesuai dengan peraturan pemerintah - Mengehntikan pengoperasian sistem produksi	Bahaya, Kegagalan terjadi tanpa ada peringatan

2. *Occurrence*

Menentukan kemungkinan terjadinya kegagalan dari setiap modus kegagalan. Dalam memberikan penilaian O maka perlu data yang jelas untuk mendasari penilaian terkait seberapa sering frekuensi kemungkinan kegagalan terjadi. Dibawah ini merupakan tabel 2.3 *occurrence* yaitu :

Tabel 2. 3 Tabel *Occurrence*

Rating	Peluang terjadi kegagalan
1	Hampir tidak mungkin terjadi kegagalan
2	Sangat rendah
3	Rendah

Rating	Peluang terjadi kegagalan
4	Relatif rendah
5	Sedang
6	Sedang cenderung tinggi
7	Relatif tinggi
8	Tinggi kegagalan terus berulanag
9	Sangat tinggi, kegagalan berhubungan dengan proses yang gagal sebelumnya
10	Sangat tinggi dan ekstrem, kegagalan hampir tak terhindarkan

3. *Detection*

Detection berfungsi Untuk menilai dan mengukur seberapa efektif mengendalikan mode kegagalan Nuchpho et al, (2014). Deteksi adalah proses mengidentifikasi seberapa besar masalah yang terjadi dan menilai kemampuan untuk mengendalikan atau mengatur kegagalan. Dibawah ini merupakan tabel 2.4 penjelasan *detection* yaitu :

Tabel 2. 4 Tabel *Detection*

Rating	Klasifikasi	
1	Hampir pasti	Pasti terdeteksi
2	Sangat tinggi	Terdeteksi sangat mudah
3	Tinggi	Mudah terdeteksi
4	Agak tinggi	Dapat teerdeteksi
5	Sedang	Terdeteksi cukup mudah
6	Rendah	Relatif jarannng terdeteksi
7	Sangat rendah	Sangat jarang terdeteksi
8	Kecil	Relatif sulit terdeteksi
9	Sangat kecil	Sulit terdeteksi
10	Hampir mustahil	Tidak dapat terdeteksi

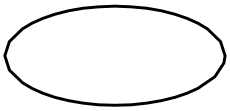
2.2.7 *Fault Tree Analysis*

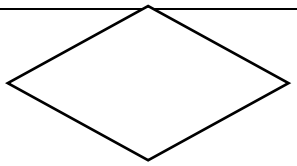
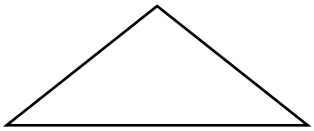
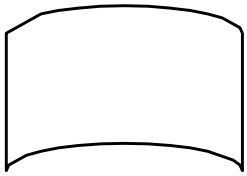
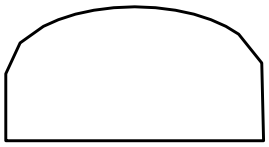
Fault Tree Analysis (FTA) adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi risiko yang berperan terhadap terjadinya kegagalan. FTA mengidentifikasi hubungan antara faktor penyebab dan ditampilkan dalam bentuk pohon kesalahan. Analisis pohon kesalahan *(Fault Tree Analysis*) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menganalisa akar penyebab kegagalan kerja. Metode ini dilakukan dengan pendekatan yang bersifat (*top down*), yang diawali dengan asumsi kegagalan dari kejadian puncak (*top event*) kemudian merinci sebab-sebab suatu top event sampai pada suatu kegagalan dasar (*root cause*)Iraz, (2023). Menurut Priyanta (2000) dalam Anugrah et al, (2015), ada 5 tahapan melakukan analisa *Fault Tree Analysis*:

1. Mendefinisikan masalah dan batasan kondisi sistem yang sedang dianalisis
2. Menggambar model grafis *fault tree*
3. Mencari minimal cut set yaitu menentukan *basic event* dari analisa *fault tree*
4. Melakukan analisa kualitatif dari *fault tree*
5. Analisa kuantitatif dari *fault tree*

Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) memastikan bahwa suatu kerugian atau kejadian tidak diinginkan tidak semata-mata disebabkan oleh satu sumber kegagalan saja. Oleh karena itu, metode ini efektif digunakan untuk menelusuri dan mengidentifikasi akar penyebab dari permasalahan secara menyeluruh. Adapun simbol simbol FTA pada tabel 2.5 dibawah ini :

Tabel 2. 5 Simbol FTA

Simbol	Keterangan
	*Top Event*
	*Basic Event*

Simbol	Keterangan
	*Undevelop Event*
	*Transferred Event*
	*Logic Event OR*
	*Logic Event AND*

2.2.8 Monte Carlo

Simulasi Monte Carlo merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengevaluasi suatu model deterministik yang melibatkan bilangan acak sebagai salah satu input. Bilangan acak yang digunakan yaitu bilangan acak berdistribusi normal baku. Tujuan simulasi adalah pelatihan (*training*), studi perilaku sistem *(behaviour),* hiburan atau permainan (*game*)Alfikrizal, (2021). Dalam penelitian Alfikrizal, (2021), Monte Carlo dapat meniru suatu situasi dan keadaan secara sistematis sehingga dapat digunakan untuk proses pengambilan keputusan. Metode Monte Carlo menggunakan *generate* probabilitas distribusi bilangan acak yang diolah, kemudian divalidasi dengan data fakta untuk memastikan kondisi simulasi relatif sama kondisi sebenarnya.

Simulasi Monte Carlo dapat menghilangkan ketidakpastian di dalam pemodelan realibilitas, hal ini dikarenakan simulasi Monte Carlo dapat mensimulasikan proses dan prilaku dari system. Prediksi atau peramalan merupakan aktivitas yang memiliki fungsi bisnis yang dapat memperkirakan penjualan dan penggunaan suatu produk sehingga produk-produk itu dapat

dibuat dengan kuantitas yang diinginkan. Peramalan merupakan dugaan pada permintaan yang akan datang berdasarkan pada beberapa variabel, data yang sering digunakan ialah data deret waktu historis. Dalam penelitian (Rantika & Pani, 2025) simulasi Monte Carlo membangun suatu model yang merepresentasikan kondisi sistem nyata. Setiap variabel dalam model memiliki probabilitas tersendiri yang digambarkan melalui distribusi probabilitas masing-masing. Pendekatan ini menjalankan replikasi sistem secara berulang sesuai karakteristik sistem yang dianalisis.

Dalam pelaksanaannya, terdapat empat tahap utama yang dilakukan, yaitu:

1. Menyusun distribusi probabilitas untuk setiap variabel dan menghitung nilai kumulatifnya.
2. Menentukan interval bilangan acak bagi tiap variabel.
3. Menghasilkan bilangan acak sesuai dengan interval yang ditetapkan.
4. Melakukan analisis terhadap hasil simulasi yang diperoleh.

Dalam penelitian ini, simulasi Monte Carlo digunakan untuk mengukur sejauh mana penurunan tingkat risiko kecelakaan kerja setelah dilakukan perbaikan pada proses perataan jalan menggunakan mesin grader. Melalui simulasi ini, dapat dianalisis kemungkinan terjadinya kecelakaan dalam skenario, karena Monte Carlo bekerja dengan cara mereplikasi perhitungan secara berulang berdasarkan distribusi probabilitas yang telah ditentukan. Dengan demikian, hasil yang diperoleh lebih sesuai terhadap kondisi nyata di lapangan dan tidak sekadar bersifat estimasi.

Selain itu, penggunaan simulasi Monte Carlo membantu perusahaan dalam membandingkan kondisi sebelum dan sesudah perbaikan dilakukan. Dengan cara ini, perusahaan tidak hanya mengetahui faktor penyebab kecelakaan, tetapi juga melihat dampak nyata dari usulan langkah mitigasi jika diterapkan. Jadi, metode ini tidak hanya berfungsi untuk menganalisis risiko, tetapi juga bisa dipakai sebagai alat evaluasi kebijakan K3 agar lebih terukur dan berkelanjutan.

Secara keseluruhan, penerapan simulasi Monte Carlo dalam penelitian ini diharapkan bisa memberikan manfaat nyata bagi perusahaan, terutama dalam mengurangi angka kecelakaan

kerja, dan mengurangi potensi kerugian material. Dengan dukungan data dan pendekatan berbasis probabilitas, perusahaan juga dapat menyusun kebijakan keselamatan kerja yang lebih tepat, efektif, dan sesuai.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Subjek dan Objek Penelitian

3.1.1 Subjek Penelitian

Subjek penelitian adalah individu atau objek yang dijadikan sumber untuk memperoleh informasi atau keterangan yang berhubungan dengan topik yang diteliti Nashrullah et al, (2023). Subjek dalam penelitian ini adalah petugas K3 dan pengawas lapangan di PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka.

3.1.2 Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka, sebuah perusahaan tambang yang bergerak di bidang pertambangan dan pengolahan nikel. PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka telah beroperasi sejak lama dan berperan penting dalam industri pertambangan. Lokasi perusahaan berada di Kabupaten Kolaka, Kecamatan Pomalaa, Sulawesi Tenggara. Penelitian ini akan berfokus pada analisis risiko kecelakaan kerja pada aktivitas perataan jalan menggunakan alat berat grader, yang merupakan salah satu kegiatan penting dalam mendukung kelancaran operasional pertambangan.

3.2 Jenis Data

Pada penelitian ini terdapat 2 jenis data yang digunakan yaitu data primer dan data sekunder.

1. Data Primer
   Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari lapangan melalui observasi dan wawancara. Dalam penelitian ini, data primer didapatkan melalui

wawancara dengan petugas keselamatan kerja, dan pengawas lapangan, serta hasil pengamatan langsung terhadap aktivitas perataan jalan menggunakan alat berat grader di area pertambangan PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka.

2. Data Sekunder

   Data sekunder merupakan data yang diperoleh secara tidak langsung dan berfungsi untuk mendukung data primer. Data ini diperoleh dari sumber-sumber yang telah tersedia sebelumnya, seperti dokumen perusahaan, buku, jurnal, serta hasil penelitian terdahulu yang relevan. Dalam penelitian ini, data sekunder yang digunakan meliputi catatan kecelakaan kerja, standar operasional prosedur (SOP) penggunaan grader di PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka.

3.3 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan di PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka. Dibawah ini merupakan metode pengumpulan data pada penelitian ini :

1. Observasi

   Observasi dilakukan secara langsung di lokasi penelitian, yaitu area pertambangan PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka. Observasi ini bertujuan untuk melihat secara nyata bagaimana proses perataan jalan menggunakan alat berat grader dilakukan, serta mengidentifikasi potensi bahaya yang mungkin terjadi di lapangan.

2. Wawancara

   Wawancara dilakukan kepada beberapa pihak yang terlibat langsung dalam aktivitas perataan jalan, seperti petugas K3, dan pengawas lapangan. Melalui wawancara ini, peneliti mendapatkan informasi lebih dalam mengenai kondisi kerja, penyebab kecelakaan, serta upaya pencegahan yang telah dilakukan di perusahaan.

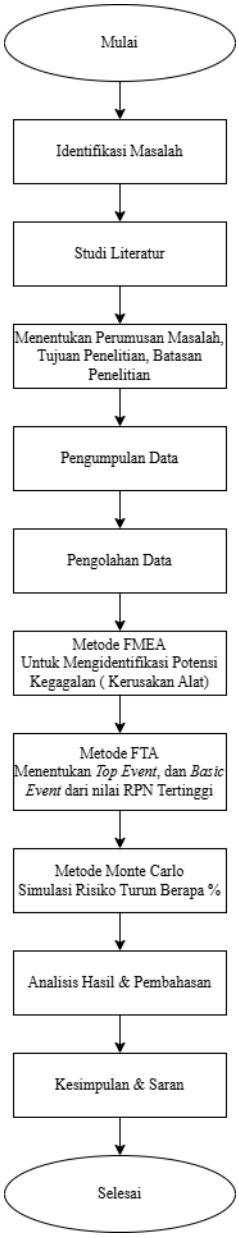
3. Studi Literatur

   Studi literatur dilakukan dengan cara mengumpulkan dan menelaah berbagai sumber tertulis yang relevan dengan topik penelitian, seperti buku, jurnal ilmiah, skripsi, laporan penelitian, dan artikel lainnya. Tujuan dari metode ini adalah untuk memperoleh landasan teori yang kuat, mendukung analisis, serta memperkaya

pemahaman terhadap permasalahan yang diteliti, khususnya terkait risiko kecelakaan kerja pada penggunaan alat berat di lingkungan pertambangan.

3.4 Alur Penelitian

Alur penelitian ini disusun untuk menggambarkan tahapan penelitian secara sistematis, mulai dari identifikasi masalah, kajian literatur, pengumpulan data, analisis, hingga penarikan



kesimpulan dan saran, sehingga memudahkan pembaca memahami proses penelitian secara teratur. Pada gambar 3.1 dibawah ini merupakan alur penelitian.

Gambar 3.1 Alur Penelitian

Berdasarkan alur diatas, dibawah ini adalah penjelasan dari alur penelitian di atas :

1. Identifikasi Masalah
   Tahapan pertama dimulai dengan mengenali permasalahan utama yang terjadi di lapangan, yaitu masih seringnya terjadi kecelakaan kerja saat proses perataan jalan. Data menunjukkan beberapa kasus serius, seperti grader terguling atau ditabrak *dump truck*.
2. Studi Literatur
   Studi literatur berguna memperoleh landasan teori dan metodologis yang relevan. Studi ini mencakup teori tentang keselamatan kerja, manajemen risiko, serta metode analisis risiko seperti FMEA *(Failure Mode and Effect Analysis*), FTA *(Fault Tree Analysis),* dan simulasi Monte Carlo.
3. Menentukan Perumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Batasan Penelitian
   Pada tahap ini, peneliti menyusun rumusan masalah, merumuskan tujuan penelitian, serta menetapkan batasan penelitian berdasarkan permasalahan yang ditemukan. Rumusan masalah merupakan pertanyaan utama yang ingin dijawab dalam penelitian. Perumusan masalah ini berfungsi sebagai dasar untuk menentukan langkah-langkah selanjutnya dan mempermudah proses dalam mencapai tujuan akhir secara lebih terarah. Sementara itu, tujuan penelitian menjelaskan hasil yang ingin dicapai dari penelitian tersebut. Tujuan ini disusun sebagai jawaban terhadap rumusan masalah yang telah ditetapkan, sehingga keduanya saling berkaitan. Adapun batasan penelitian berisi penjelasan mengenai cakupan atau ruang lingkup dari penelitian yang dilakukan. Batasan ini dibuat agar penelitian tetap fokus pada objek tertentu yang diteliti, serta untuk menghindari perluasan bahasan yang dapat mengganggu konsistensi dan kejelasan hasil penelitian
4. Pengumpulan Data
   Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam analisis risiko kecelakaan kerja. Metode yang digunakan meliputi observasi, wawancara, dan dokumentasi. Observasi dilakukan langsung di area pertambangan PT

Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka untuk mengamati aktivitas perataan jalan dengan grader. Wawancara dilakukan dengan pengawas lapangan, dan petugas K3 untuk informasi terkait penyebab dan pencegahan kecelakaan.

5. Pengolahan Data

   Mengolah data yang dikumpulkan menggunakan metode FMEA, FTA, dan simulasi monte carlo

6. Metode FMEA

   Melakukan analisis dengan metode FMEA. Di sini peneliti mengidentifikasi potensi kegagalan *(failure mode)* yang bisa terjadi dalam proses perataan jalan. Setiap risiko dinilai berdasarkan tiga hal: tingkat keparahan *(severity),* kemungkinan terjadi *(occurrence),* dan kemampuan mendeteksi *(detection)*. Nilai dari ketiganya dikalikan untuk mendapatkan *Risk Priority Number* (RPN). Semakin besar RPN nya, berarti risikonya lebih serius dan harus ditangani terdahulu.

7. Metode FTA

   Mencari tahu akar penyebab dari kegagalan yang sudah diidentifikasi menggunakan metode FTA atau *Fault Tree Analysis*. Peneliti menyusun pohon kesalahan yang menggambarkan hubungan antara kejadian puncak *(top event)*, seperti grader terguling, dengan penyebab-penyebab dasarnya. Dengan pendekatan ini, peneliti bisa melihat jalur logis dari setiap kegagalan dan mengidentifikasi penyebab utama yang paling berpengaruh

8. Metode Monte Carlo

   Simulasi menggunakan metode Monte Carlo yang bertujuan untuk memprediksi probabilitas kejadian risiko di masa depan. Simulasi ini menggunakan data numerik dari FMEA dan FTA, lalu diproses secara statistik menggunakan angka acak. Hasil simulasi bisa membantu melihat sejauh mana perbaikan yang dilakukan bisa menurunkan tingkat risiko kecelakaan secara nyata.

9. Analisis Hasil Dan Pembahasan

   Memberikan analisis dari hasil pengolahan data serta memberikan pembahasan secara terperinci.

10. Kesimpulan Dan Saran

Setelah mendapatkan hasil dan pembahasan maka dapat ditarik kesimpulan dari hasil penelitian yang mana menjawab dari tujuan penelitian. Kemudian memberikan saran untuk perusahaan dan penelitian selanjutnya.

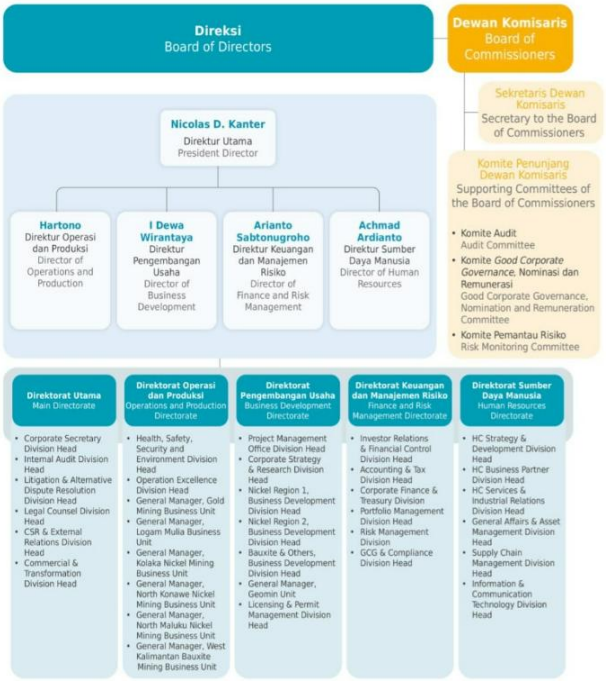
BAB IV
PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

4.1.1 Deskripsi Perusahaan

PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) Unit Bisnis Pertambangan Nikel (UBPN) Kolaka merupakan salah satu unit operasi dari PT Aneka Tambang Tbk yang bergerak di bidang pertambangan dan pengolahan nikel. Perusahaan ini berlokasi di Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara, dan telah berperan penting dalam mendukung sektor industri pertambangan nasional. PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) tergabung dalam holding industri pertambangan yang dikenal sebagai *Mining Industry* Indonesia (MIND ID).

4.1.2 Struktur Organisasi Perusahaan



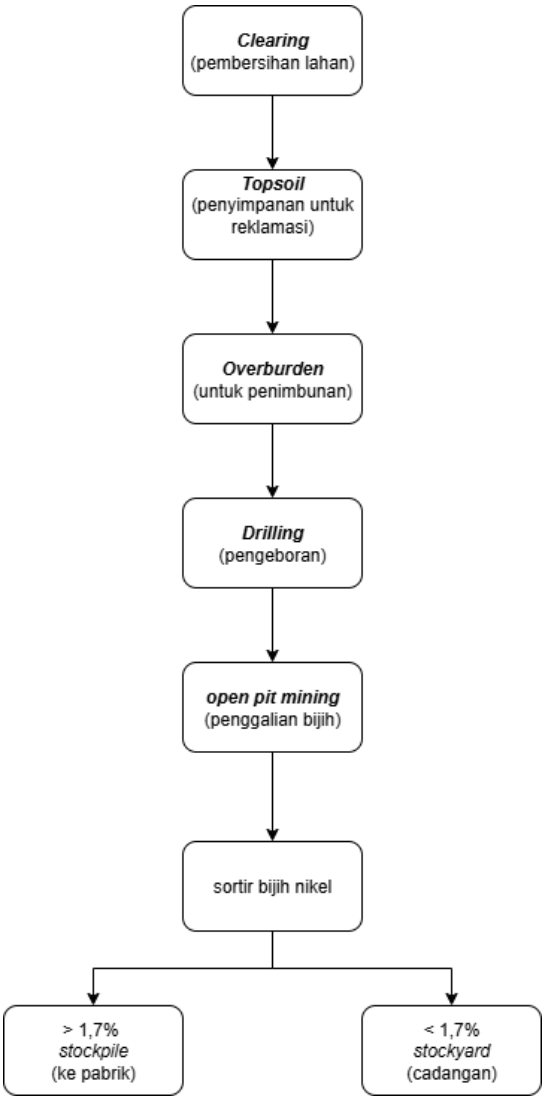
Gambar 4. 1 Struktur Organisasi Perusahaan

Gambar 4.1 menjelaskan bahwa struktur organisasi ini dipimpin oleh Nicolas D. Kanter sebagai Direktur Utama yang membawahi empat direktur, masing-masing menangani bidang strategis perusahaan. Hartono bertanggung jawab atas Direktorat Operasi dan Produksi, I Dewa Wirantaya memimpin Direktorat Pengembangan Usaha, Arianto Sabontoro membawahi

Direktorat Keuangan dan Manajemen Risiko, serta Achmad Ardianto memimpin Direktorat Sumber Daya Manusia. Setiap direktorat memiliki divisi-divisi khusus sesuai fungsi operasionalnya. Di atas direksi, terdapat Dewan Komisaris yang mengawasi jalannya perusahaan, dibantu oleh Sekretaris dan beberapa komite seperti Komite Audit, Komite *Good Corporate Governance*, serta Komite Pemantau Risiko. Struktur ini menunjukkan pembagian tugas yang jelas untuk mendukung efektivitas dan tata kelola perusahaan yang baik.

4.1.3 Proses Produksi

Pada gambar 4.2 merupakan diagram alir pada proses produksi di PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka:



Gambar 4.2 Diagram Proses Produksi

Proses produksi di PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka diawali dengan kegiatan *clearing* atau pembersihan area tambang. Tahap ini mencakup penghilangan vegetasi seperti pohon, rumput, dan material organik lain yang menutupi permukaan tanah agar proses selanjutnya bisa berjalan tanpa hambatan. Setelah pembersihan, dilakukan pengupasan lapisan atas tanah atau *topsoil*, yaitu tanah yang kaya akan unsur organik namun tidak mengandung bijih nikel yang bernilai ekonomis. Topsoil tersebut kemudian disimpan di lokasi khusus agar dapat digunakan kembali saat proses reklamasi dilakukan di akhir masa tambang. Selanjutnya, lapisan tanah penutup atau *overburden* (OB) yang berada di bawah topsoil disingkirkan untuk membuka akses ke lapisan bijih nikel. OB ini kemudian dimanfaatkan untuk menimbun kembali lubang bekas tambang, sebagai langkah awal dari proses pemulihan lingkungan. Setelah lahan diisi kembali dengan OB, lapisan tersebut ditutup lagi menggunakan topsoil yang telah disimpan sebelumnya. Penutupan ini bertujuan untuk mengembalikan struktur tanah agar mendukung pertumbuhan vegetasi baru dan proses pemulihan lingkungan secara alami. Tahap selanjutnya adalah pengeboran atau *drilling* guna mengidentifikasi lokasi dan kadar kandungan bijih nikel. Hasil pengeboran ini menjadi acuan dalam menentukan area yang layak untuk ditambang. Setelah itu, dilakukan penambangan dengan metode terbuka, di mana bijih nikel digali dari permukaan tanah. Bijih yang telah ditambang kemudian disortir berdasarkan kadar nikel. Bijih dengan kadar 1,7% ke atas akan dikirim ke pabrik untuk disimpan di *stockpile* sebelum diproses lebih lanjut. Sementara bijih dengan kadar di bawah 1,7% dikumpulkan di *stock yard* sebagai cadangan untuk kebutuhan di masa mendatang. Seluruh proses ini dijalankan dengan prinsip pertambangan yang baik (*good mining practice*), yang mengedepankan efisiensi operasional, keselamatan kerja, dan kepedulian terhadap lingkungan.

4.1.4 Produk Yang Dihasilkan

Hasil produksi dari PT Aneka Tambang Tbk Unit Bisnis Pertambangan Nikel (UBPN) Kolaka, yang berlokasi di Kecamatan Pomalaa, Sulawesi Tenggara, memproduksi beberapa hasil utama dari kegiatan penambangan dan pengolahan nikel. Produk utama yang dihasilkan adalah feronikel (FeNi), yaitu paduan antara besi dan nikel yang digunakan sebagai bahan baku industri baja tahan karat (*stainless steel*).

4.2 Pengolahan Data

Pada tahap ini, setelah proses pengumpulan data selesai, data diolah untuk mengidentifikasi jenis potensi bahaya yang paling umum terjadi, tingkat risiko kecelakaan kerja pada aktivitas

perataan jalan menggunakan alat berat grader, serta faktor-faktor yang menjadi penyebab utama dari kecelakaan tersebut.

4.2.1 Data Kecelakaan Pada Alat Berat Grader

PT Aneka Tambang (ANTAM) UBPN Kolakamerupakan salah satu perusahaan tambang nikel di Indonesia yang dalam operasionalnya menggunakan berbagai alat berat. Salah satu aktivitas penting yang dilakukan adalah perataan jalan menggunakan alat berat grader. Aktivitas ini sangat dibutuhkan untuk mendukung kelancaran proses tambang, namun jmemiliki risiko kecelakaan kerja yang cukup tinggi. Pada penelitian ini, berfokus untuk analisis pada kecelakaan kerja yang terjadi pada alat berat grader.

Tabel 4.1 Data Kecelakaan Pada Grader

Bulan, Tahun	Jenis Kecelakaan	Deskripsi Kecelakaan
Januari, 2018	Grader terguling masuk jurang	Grader mengalami kecelakaan saat beroperasi di medan curam dan akhirnya terguling ke jurang.
Juni, 2018	Grader tergelincir	Grader tergelincir pada saat beroprasi
Oktober, 2018	Grader tergelincir	Grader tergelincir pada saat beroprasi dengan cuaca setelah hujan
November, 2019	Grader menabrak Bulldozer	Grader menabrak bulldozer, diakibatkan karena rem tidak berfungsi
Desember, 2019	Grader berhenti mendadak pada saat tanjakan	Grader berhenti mendadak di tanjakan diakibatkan oleh kerusakan pada mesin yang mengakibatkan grader mundur dan terguling
Mei, 2022	Grader ditabrak *dump truck*	Saat melakukan perataan jalan, grader ditabrak dari belakang oleh unit *dump truck*.

Agustus, 2022	Ban grader pecah	Ban pecah pada saat beroprasi
September, 2022	Grader menabrak pinggir tebing	Grader menabrak pinggir tebing karena operator tidak fokus
Januari, 2024	Grader dipaksa beroperasi dalam kondisi rusak	Grader dalam kondisi tidak layak pakai tetap dipaksakan bekerja, saat melewati jalan puncak, alat berhenti mendadak lalu terguling.

Berdasarkan data kecelakaan yang telah dijelaskan, dapat diketahui bahwa grader masih sering mengalami permasalahan teknis maupun operasional yang berpotensi menimbulkan insiden kerja. Beberapa kecelakaan tercatat terjadi akibat kondisi medan yang ekstrem, seperti jalan curam dan licin yang menyebabkan unit tergelincir atau bahkan terguling ke jurang. Selain itu, terdapat pula insiden yang disebabkan oleh kegagalan fungsi pada komponen utama, misalnya sistem pengereman yang tidak berfungsi, mesin yang mengalami kerusakan mendadak pada saat berada di tanjakan, hingga pecahnya ban ketika alat sedang beroperasi. Faktor manusia juga menjadi salah satu penyebab dominan, seperti kurangnya konsentrasi operator yang mengakibatkan grader menabrak tebing atau bertabrakan dengan unit lain Secara keseluruhan, data tersebut menunjukkan bahwa kecelakaan yang terjadi bersifat berulang dan dipengaruhi oleh kombinasi faktor teknis, lingkungan kerja, serta human error yang masih menjadi tantangan dalam upaya pengendalian risiko.

4.2.2 Kerusakan Pada Alat Berat Grader

Berdasarkan data kecelakaan yang telah diuraikan, dapat diketahui bahwa sebagian besar insiden disebabkan oleh kerusakan pada komponen utama alat. Untuk memperoleh pemahaman yang lebih terstruktur mengenai permasalahan tersebut, dibawah ini diuraikan pada tabel 4.2 yaitu jenis kerusakan grader yang terjadi di PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka:

Tabel 4. 2 Jenis Kerusakan

	Jenis Kerusakan									
Tahun	Kipas radiator tidak berfungsi	Rem tidak berfungsi	Ban aus	Kerusakan pada bodi grader	Kaca pecah	Sensor tidak berfungsi	Lampu peringatan tidak berfungsi	*Overheating* pada mesin	Jumlah total kerusakan	Presentase kerusakan (persen)
2018	1	1	3	1	1	0	0	0	7	23%
2019	1	2	2	3	1	2	1	1	13	43%
2022	0	0	1	1	0	0	1	0	3	10%
2024	1	1	1	1	1	0	1	1	7	23%
Total	**3**	**4**	**7**	**6**	**3**	**2**	**3**	**2**	**30**	100%

Data kecelakaan kerja pada aktivitas perataan jalan menggunakan grader di PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka selama periode 2018 hingga 2024 menunjukkan total sebanyak 13 jenis cacat atau kerusakan. Data ini diperoleh dari hasil wwawancara kepada petugas K3 di perusahaan PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka. Jenis cacat tersebut mencerminkan berbagai bentuk kegagalan operasional yang terjadi selama aktivitas perataan jalan. Adapun jenis cacat tersebut yaitu:

1. Kipas radiator tidak berfungsi

Pada proses operasional alat berat grader, salah satu cacat yang sering terjadi adalah kipas radiator tidak berfungsi. Cacat ini ditandai dengan kipas yang tidak berputar atau terlepas, sehingga mesin tidak mendapatkan pendinginan yang cukup. Akibatnya, suhu mesin meningkat secara drastis (*overheating*), yang dapat memicu kerusakan lebih lanjut pada komponen mesin. Penyebab utama dari kerusakan ini adalah motor kipas yang rusak, kabel putus, atau dudukan kipas yang aus. Selain itu, minimnya perawatan dan pengecekan rutin juga memperbesar risiko kerusakan. Operasi grader dalam durasi panjang tanpa istirahat, apalagi di cuaca panas, semakin memperparah kondisi.

1. Rem tidak berfungsi

   Pada grader juga di dapatkan cacat yaitu rem yang tidak berfungsi atau bekerja secara tidak optimal. Cacat ini ditandai dengan respon pengereman yang lambat, pedal rem yang terasa dalam saat diinjak, atau bahkan grader tidak bisa berhenti dengan aman. Kondisi ini sangat berbahaya, terutama saat alat digunakan di medan menurun atau berbatu. Penyebab utama dari kerusakan ini biasanya adalah kampas rem yang aus. Selain itu, kurangnya perawatan rutin seperti tidak memeriksa minyak rem atau keausan komponen pengereman juga memperbesar risiko kegagalan rem.
2. Ban Aus

   Pada grader juga ditemukan cacat berupa ban yang aus. Cacat ini ditandai dengan berkurangnya ketebalan tapak ban, permukaan ban yang tidak rata, atau bahkan terlihatnya kawat ban pada bagian tertentu. Ban aus mengurangi daya cengkeram alat terhadap permukaan jalan, sehingga meningkatkan risiko selip, terutama saat grader digunakan di medan yang basah, berbatu, atau menanjak. Kondisi ini dapat membahayakan operator dan memperbesar kemungkinan kecelakaan. Penyebab utama dari keausan ban adalah penggunaan alat secara terus-menerus tanpa penggantian ban secara berkala. Selain itu, tekanan angin yang tidak sesuai, beban kerja berlebih, serta tidak dilakukannya pemerataan penggunaan ban juga turut mempercepat keausan dan memperburuk kondisi ban.
3. Kerusakan pada bodi grader

Salah satu jenis cacat yang terjadi pada grader adalah kerusakan pada bodi grader. Kondisi ini dapat dikenali dari adanya penyok pada rangka, retakan di sambungan bodi, atau bagian pelindung yang terlepas maupun patah.

4. Kaca pecah

   Kerusakan pada kaca kabin. Kondisi ini dapat dikenali dari retaknya permukaan kaca, pecahan di sudut atau seluruh bagian kaca, atau berkurangnya kejernihan akibat keretakan halus. Cacat ini dapat mengganggu visibilitas operator, meningkatkan risiko kecelakaan kerja, serta berpotensi menyebabkan cedera akibat pecahan kaca.

5. Sensor tidak berfungsi

   Permasalahan sensor yang tidak berfungsi merupakan salah satu bentuk cacat yang dapat ditemukan pada unit grader. Cacat ini biasanya ditunjukkan dengan tidak berfungsinya indikator pada panel kontrol, tidak munculnya data operasional, atau hilangnya respons dari sistem monitoring. Kondisi tersebut dapat mengganggu proses kerja alat berat karena operator tidak memperoleh informasi penting terkait kondisi alat, seperti suhu mesin atau tekanan hidrolik.

6. Lampu peringatan tidak berfungsi

   Permasalahan lampu peringatan yang tidak berfungsi merupakan salah satu bentuk cacat yang dapat ditemukan pada unit grader. Cacat ini biasanya ditandai dengan tidak menyala atau tidak aktifnya lampu indikator di panel kontrol saat terjadi kondisi abnormal pada sistem. Akibatnya, operator tidak mendapatkan peringatan visual terkait gangguan atau potensi kerusakan, seperti suhu mesin yang berlebih, tekanan oli yang rendah, atau masalah kelistrikan.

7. *Overheating* pada mesin

   Cacat ini terjadi ketika suhu mesin melebihi batas normal operasi akibat kegagalan sistem pendingin, seperti kipas radiator yang tidak berfungsi atau kekurangan cairan pendingin. Tanda-tanda *overheating* biasanya ditunjukkan melalui peningkatan suhu drastis pada indikator panel kontrol, keluarnya asap dari ruang mesin, atau turunnya performa mesin secara signifikan.

Setelah mengetahui jenis-jenis kerusakan pada grader, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai RPN. Perhitungan ini dilakukan untuk melihat seberapa besar tingkat risiko dari masing-masing kerusakan berdasarkan dampak, frekuensi kejadian, dan kemudahan mendeteksinya.

Kerusakan yang paling berbahaya dapat lebih mudah diprioritaskan untuk dilakukan perbaikan atau pencegahan

4.3 Nilai RPN

Untuk mengetahui tingkat prioritas risiko pada setiap jenis kerusakan, dibawah ini disajikan hasil perhitungan nilai *Risk Priority Number* (RPN) pada tabel 4.3:

Tabel 4.3 Perhitungan Nilai RPN

NO	Jenis Kerusakan	*Severity*	*Occurrence*	*Detection*	RPN
1	Kipas radiator tidak berfungsi	6	4	8	192
2	Rem tidak berfungsi	7	8	4	224
3	Ban aus	4	8	4	128
4	Kerusakan bodi grader	3	9	4	108
5	Kaca pecah	5	4	7	140
6	sensor tidak berfungsi	4	7	5	140
7	Lampu peringatan tidak berfungsi	4	5	4	80
8	*Overheating* pada mesin	7	4	6	168

Hasil wawancara dengan pengawas K3 dan para pekerja kemudian dihitung untuk mengetahui nilai risk priority number (RPN), dengan mengalikan nilai *severity x occurence x detection*. Jenis kejadian rem tidak berfungsi dan kipas radiator tidak berfungsi memiliki nilai RPN tertinggi yaitu 224 dan 192 dibandingkan dengan nilai RPN dari kejadian yang lain. Adapun tabel dibawah ini merupakan perhitungan diagram pareto berdasarkan RPN:

Tabel 4. 4 Perhitungan Penyusunan Diagram Pareto

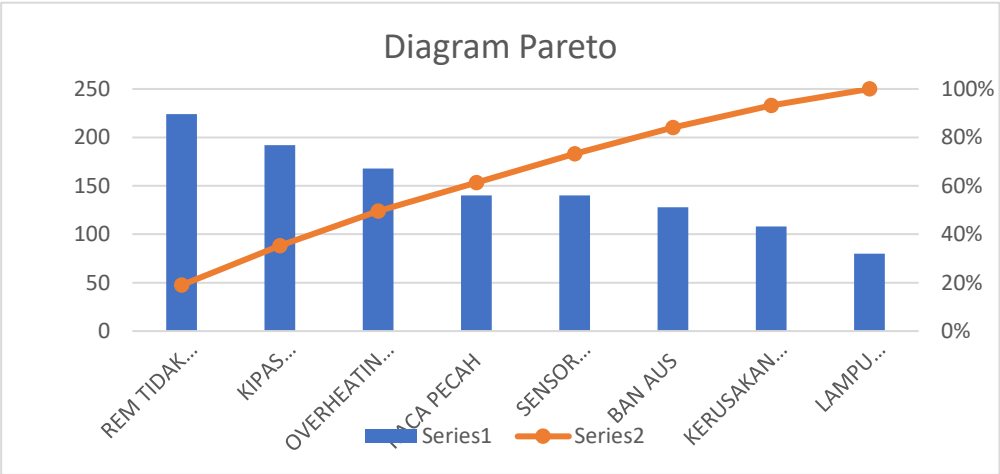
Jenis Kerusakan	RPN	Total RPN	%
Rem Tidak Berfungsi	224	224	19%
Kipas Radiator Tidak Berfungsi	192	416	35%
Overheating Pada Mesin	168	584	49%
Kaca Pecah	140	724	61%

Sensor Tidak Berfungsi	140	864	73%
Ban Aus	128	992	84%
Kerusakan Bodi Grader	108	1100	93%
Lampu Peringatan Tidak Berfungsi	80	1180	100%
Total	1180		

Dari tabel dapat dilihat bahwa jenis kerusakan dengan nilai RPN tertinggi adalah rem tidak berfungsi dengan skor 224 atau sekitar 19% dari total risiko. Setelah itu, terdapat kerusakan pada kipas radiator tidak berfungsi dengan nilai 192 (kumulatif 35%) dan overheating pada mesin dengan nilai 168 (kumulatif 49%). Ketiga kerusakan ini sudah mencakup hampir setengah dari keseluruhan potensi risiko.

Sementara itu, kerusakan lain seperti ban aus, kerusakan bodi grader, hingga lampu peringatan tidak berfungsi memiliki nilai RPN yang lebih kecil, namun tetap tidak boleh diabaikan karena berpotensi memicu kecelakaan jika dibiarkan. Secara total, nilai RPN yang dihitung adalah 1180, dengan distribusi risiko yang berbeda-beda pada setiap kerusakan. Hasil perhitungan tersebut divisualisasikan dalam diagram Pareto pada tabel 4.2 untuk memperjelas prioritas risiko pada setiap jenis kerusakan dibawah ini:

Berdasarkan gambar 4.2 diagram pareto, dapat disimpulkan bahwa terdapat dua jenis

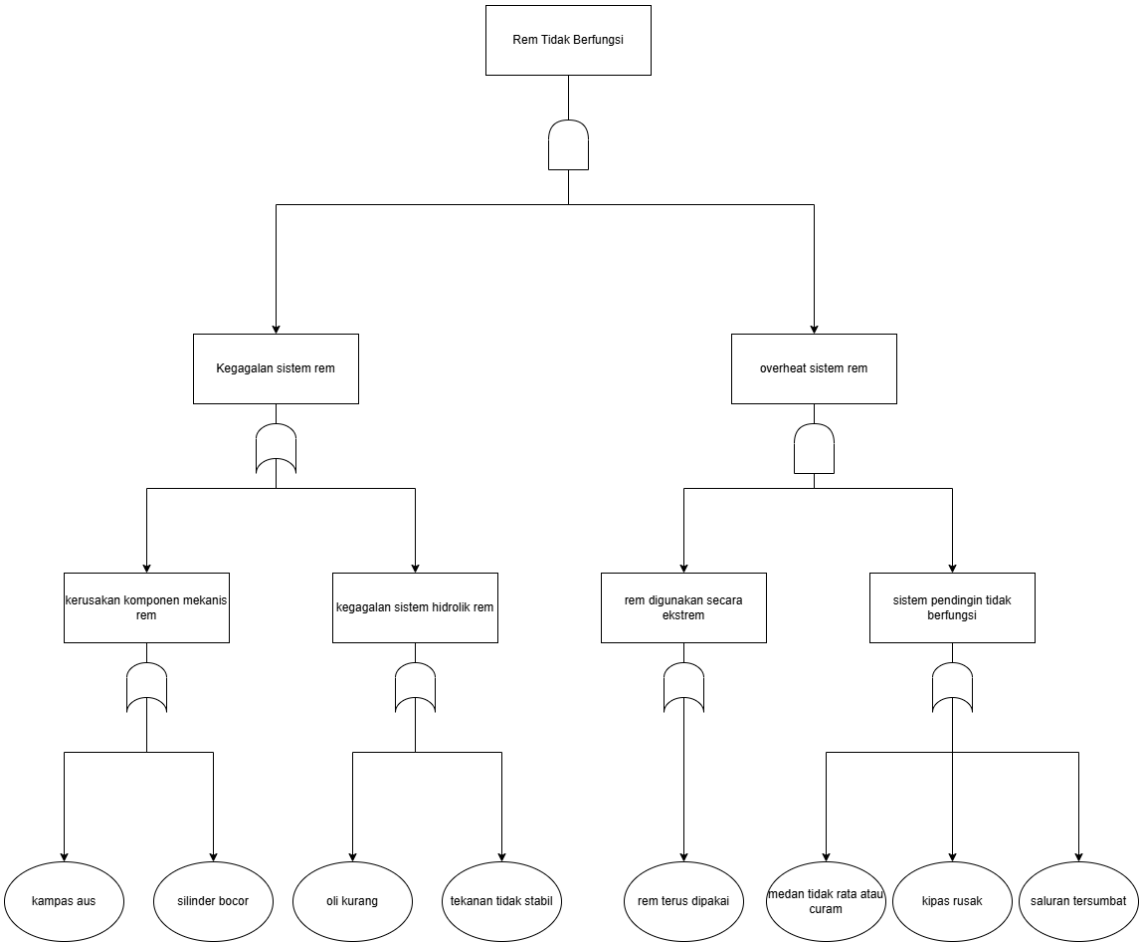


Gambar 4. 2 Diagram Pareto

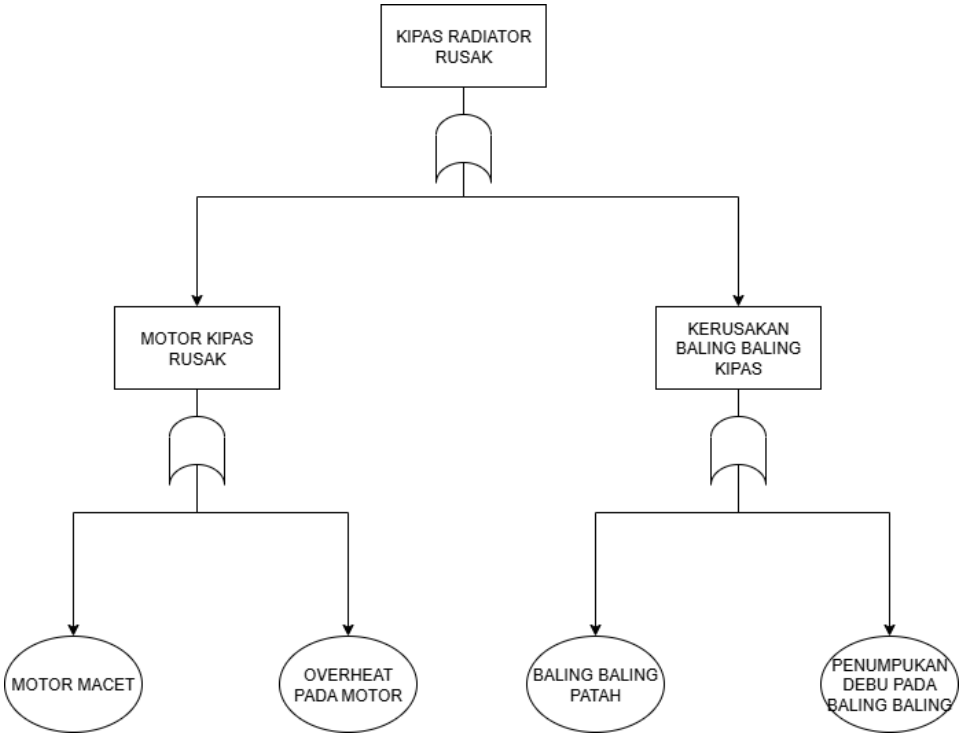
kerusakan yang perlu diprioritaskan, yaitu rem tidak berfungsi dan kipas radiator rusak. Kedua kerusakan tersebut menempati posisi tertinggi dalam frekuensi kejadian sehingga memberikan kontribusi paling besar terhadap total kerusakan yang terjadi.

4.4 Model FTA (*Fault Tree Analysis*)

Hasil perhitungan FMEA menunjukkan bahwa dua kerusakan dengan nilai RPN tertinggi adalah rem tidak berfungsi (224) dan kipas radiator tidak berfungsi (192). Kerusakan pada rem umumnya disebabkan oleh kebocoran sistem hidrolik, sedangkan kerusakan pada kipas radiator dipicu oleh penumpukan kotoran yang menghambat sirkulasi udara. Kedua kerusakan tersebut menjadi prioritas utama karena berpotensi menimbulkan risiko terhadap keselamatan kerja maupun kelancaran operasional, sehingga perlu dianalisis lebih lanjut dan dilakukan langkah mitigasi yang tepat.



Gambar 4. 3 Menentukan *Basic Event* Rem Tidak Berfungsi



Gambar 4.5 Menentukan *Basic Event* Kipas Radiator Rusak

Dari gambar diatas menunjukkan *basic event* yang ditemukan. FTA ini didapatkan dengan hasil berdiskusi dengan petugas K3 di Perusahaan PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka. Selanjutnya peneliti akan menentukan rencana mitigasi melalui tabel.

4.5 Rencana Mitigasi

Rencana mitigasi dilakukan untuk meminimalkan kemungkinan terjadinya kegagalan serta mencegah dampak yang ditimbulkan apabila risiko tetap terjadi. Dengan adanya rencana ini, perusahaan memiliki acuan yang lebih jelas dalam melaksanakan tindakan pencegahan, perawatan, maupun perbaikan. Adapun rincian rencana mitigasi disajikan pada tabel 4.5 dibawah ini:

Tabel 4. 5 Rencana Mitigasi

Risk Event	*Basic Event*	Rencana Mitigasi
Rem tidak berfungsi	Kampas aus	Untuk mengurangi potensi risiko tersebut, perusahaan

Risk Event	*Basic Event*	Rencana Mitigasi
		melakukan beberapa langkah mitigasi, seperti melakukan inspeksi secara rutin terhadap kondisi kampas rem untuk mengetahui kondisi keausannya.
	Silinder bocor	Perusahaan melakukan pengecekan rutin terhadap kondisi silinder rem, terutama pada bagian karet pelindung dan sambungannya.
	Oli kurang	Perlu melakukan pengecekan oli secara berkala agar mengetahui volume oli apakah berkurang atau tidak.
	Tekanan tidak stabil	Perlu melakukan perawatan berkala agar sistem rem bekerja dengan baik.

Risk Event	*Basic Event*	Rencana Mitigasi
	Rem terpakai terus menerus	Untuk mengurangi risiko, perlu pelatihan pada operator grader mengenai teknik pengereman yang tepat.
	Medan tidak rata atau curam	Perlu pelatihan pada operator agar mengetahui cara kerja yang aman di medan ekstrem seperti menghindari pengereman mendadak.
	Kipas rusak	Perlu pemeriksaan rutin terhadap kondisi kipas sebelum digunakan agar mengurangi risiko.
	Saluran tersumbat	Perlu pembersihan rutin terhadap saluran agar berfungsi dengan baik.
Kipas radiator rusak	Motor macet	Motor macet dapat diminimalkan dengan melakukan

Risk Event	*Basic Event*	Rencana Mitigasi
		inspeksi rutin, memberikan pelumasan secara berkala, serta segera mengganti motor kipas yang mulai aus atau menunjukkan tanda kerusakan.
	Overheat pada motor	*Overheat* pada motor dapat diminimalisir dengan memastikan sistem pendingin berfungsi dengan baik, menghindari beban berlebih pada motor.
	Baling baling patah	Baling-baling patah dapat diantisipasi dengan penggunaan material yang lebih kuat, melakukan inspeksi secara berkala untuk mendeteksi adanya retakan, serta mencegah terjadinya benturan

Risk Event	*Basic Event*	Rencana Mitigasi
		dengan benda asing.
	Penumpukan debu pada baling baling	Penumpukan debu pada baling-baling dapat dikurangi melalui pembersihan rutin, pemasangan pelindung atau filter, serta pelaksanaan perawatan preventif sesuai jadwal kerja mesin

Setelah rencana mitigasi ditentukan, langkah selanjutnya adalah menilai efektivitas mitigasi. Tujuannya agar mengetahui apakah usulan langkah pencegahan atau pengendalian yang sudah disusun dapat mengurangi risiko kecelakaan kerja.

4.6 Efektivitas Mitigasi

Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah menentukan efektivitas mitigasi untuk mengetahui seberapa efektif rencana mitigasi ini. Efektivitas ini dapat dilakukan berdasarkan data,ahli atau literatur. Data yang peneliti gunakan adalah dengan wawancara petugas K3, dibawah ini merupakan tabel 4.6 yaitu data efektivitas mitigasi:

Tabel 4. 6 Efektivitas Mitigasi

No	*Basic event*	Rencana Mitigasi	Efektivitas Mitigasi
1	Kampas aus	Melakukan inspeksi secara rutin terhadap kondisi kampas rem	80%

No	*Basic event*	Rencana Mitigasi	Efektivitas Mitigasi
2	Silinder bocor	Melakukan pengecekan rutin terhadap kondisi silinder rem,	70%
3	Oli kurang	Perlu melakukan pengecekan oli secara berkala	85%
4	Tekanan tidak stabil	Perlu melakukan perawatan berkala	60%
5	Rem terpakai terus menerus	Perlu pelatihan pada operator grader mengenai teknik pengereman yang tepat.	70%
6	Medan tidak rata atau curam	Perlu pelatihan pada operator agar mengetahui cara kerja yang aman	80%
7	Kipas rusak	Perlu pemeriksaan rutin terhadap kondisi kipas sebelum digunakan	85%
8	Saluran tersumbat	Perlu pembersihan rutin terhadap saluran	75%
9	Motor macet	melakukan inspeksi rutin, memberikan pelumasan secara berkala.	80%
10	*Overheat* pada motor	memastikan sistem pendingin berfungsi dengan baik, menghindari beban berlebih pada motor.	75%

No	*Basic event*	Rencana Mitigasi	Efektivitas Mitigasi
11	Baling baling patah	inspeksi secara berkala untuk mendeteksi adanya retakan.	85%
12	Penumpukan debu pada baling baling	pembersihan rutin, pemasangan pelindung atau filter.	70%

Setelah efektivitas mitigasi diketahui, langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi Monte Carlo. Simulasi ini digunakan untuk memperkirakan seberapa besar penurunan risiko yang terjadi setelah usulan mitigasi diterapkan.

4.7 Simulasi Monte Carlo

Setelah ditentukan *basic event* dan *top event* menggunakan metode FTA, diperoleh bahwa *basic event* nya adalah Kampas aus, Silinder bocor, Oli kurang, Tekanan tidak stabil, Rem terpakai terus menerus, Medan tidak rata atau curam, Kipas rusak, dan Saluran tersumbat. Berdasarkan hasil tersebut, perlu di analisis lebih lanjut menggunakan simulasi monte carlo.

4.7.1 Simulasi

Pada tabel 4.7 dibawah ini merupakan data probabilitas dan hasil simulasi yang telah ditentukan untuk mengetahui berapa besar penurunan tingkat risiko kecelakaan kerja setelah adanya usulan perbaikan pada proses perataan jalan.

Tabel 4.7 Simulasi

Basic event	Jumlah kasus	Probabilitas	Probabilitas kumulatif	*Tag number*
Kampas aus	4	0,13333333	0,133333333	00-13
Silinder bocor	2	0,06666667	0,2	14-20
Oli kurang	3	0,1	0,3	21-30
Tekanan tidak stabil	2	0,06666667	0,366666667	31-36

Rem terpakai terus menerus	2	0,06666667	0,433333333	37-43
Medan tidak rata/ curam	3	0,1	0,533333333	44-53
Kipas rusak	2	0,06666667	0,6	54-60
Saluran tersumbat	1	0,03333333	0,633333333	61-63
Motor macet	4	0,13333333	0,766666667	64-76
Overheat pada motor	3	0,1	0,866666667	77-86
Baling baling patah	2	0,06666667	0,933333333	87-93
Penumpukan debu pada baling baling	2	0,06666667	1	94-100
Jumlah	30			

Table 4.8 Hasil Simulasi

No urut	Nilai random	*100	Jumlh kasus	Jenis kerusakan
1	0,392541956	39,2541956	2	Rem terpakai terus
2	0,148970373	14,8970373	2	Silinder bocor
3	0,271303451	27,1303451	3	Oli kurang
4	0,884002054	88,4002054	2	Baling baling patah
5	0,200533667	20,0533667	2	Silinder bocor
6	0,470814278	47,0814278	3	Medan curam
7	0,863689275	86,3689275	3	*Overheat* pada motor
8	0,001635789	0,16357885	4	Kampas aus
9	0,815137922	81,5137922	3	*Overheat* pada motor
10	0,865176236	86,5176236	3	*Overheat* pada motor

No urut	Nilai random	*100	Jumlh kasus	Jenis kerusakan
11	0,347318302	34,7318302	2	Tekanan tidak stabil
12	0,979818933	97,9818933	2	Penumpukan debu baling baling
13	0,962649988	96,2649988	2	Penumpukan debu baling baling
14	0,799773319	79,9773319	3	*Overheat* pada motor
15	0,669637811	66,9637811	4	Motor macet
16	0,537480629	53,7480629	3	Medan curam
17	0,531414568	53,1414568	3	Medan curam
18	0,842831227	84,2831227	3	*Overheat* pada motor
19	0,864213201	86,4213201	3	*Overheat* pada motor
20	0,094052191	9,40521906	4	Kampas aus
21	0,704987938	70,4987938	4	Motor macet
22	0,980842163	98,0842163	2	Penumpukan debu baling baling
23	0,752019519	75,2019519	4	Motor macet
24	0,40326872	40,326872	2	Rem terpakai terus
25	0,46862836	46,862836	3	Medan curam
26	0,962336188	96,2336188	2	Penumpukan debu baling baling
27	0,714922616	71,4922616	4	Motor macet
28	0,255668507	25,5668507	3	Oli kurang
29	0,47891136	47,891136	3	Medan curam
30	0,894464982	89,4464982	2	Baling baling patah
31	0,082922461	8,29224613	4	Kampas aus
32	0,539496012	53,9496012	3	Medan curam
33	0,291755265	29,1755265	3	Oli kurang
34	0,300200682	30,0200682	3	Oli kurang
35	0,909958448	90,9958448	2	Baling baling patah
36	0,896656525	89,6656525	2	Baling baling patah

No urut	Nilai random	*100	Jumlh kasus	Jenis kerusakan
37	0,611976906	61,1976906	1	Saluran tersumbat
38	0,268794217	26,8794217	3	Oli kurang
39	0,678419491	67,8419491	4	Motor macet
40	0,232981659	23,2981659	3	Oli kurang
41	0,16517069	16,517069	2	Silinder bocor
42	0,694041583	69,4041583	4	Motor macet
43	0,985045354	98,5045354	2	Penumpukan debu baling baling
44	0,229175863	22,9175863	3	Oli kurang
45	0,578663398	57,8663398	2	Kipas rusak
46	0,113635213	11,3635213	4	Kampas aus
47	0,489165012	48,9165012	3	Medan curam
48	0,941368693	94,1368693	2	Penumpukan debu baling baling
49	0,530700315	53,0700315	3	Medan curam
50	0,202987475	20,2987475	2	Silinder bocor
51	0,546316402	54,6316402	2	Kipas rusak
52	0,219486565	21,9486565	3	Oli kurang
53	0,374967899	37,4967899	2	Rem terpakai terus
54	0,62600207	62,600207	1	Saluran tersumbat
55	0,376296006	37,6296006	2	Rem terpakai terus
56	0,207145886	20,7145886	2	Silinder bocor
57	0,048520696	4,85206963	4	Kampas aus
58	0,887932503	88,7932503	2	Baling baling patah
59	0,010636336	1,06363363	4	Kampas aus
60	0,462119796	46,2119796	3	Medan curam
61	0,520367695	52,0367695	3	Medan curam
62	0,602588804	60,2588804	2	Kipas rusak
63	0,275781444	27,5781444	3	Oli kurang
64	0,468148442	46,8148442	3	Medan curam

No urut	Nilai random	*100	Jumlh kasus	Jenis kerusakan
65	0,125346145	12,5346145	4	Kampas aus
66	0,903153234	90,3153234	2	Baling baling patah
67	0,737244715	73,7244715	4	Motor macet
68	0,003729329	0,37293291	4	Kampas aus
69	0,838754517	83,8754517	3	*Overheat* pada motor
70	0,918913762	91,8913762	2	Baling baling patah
71	0,326251131	32,6251131	2	Tekanan tidak stabil
72	0,427951412	42,7951412	2	Rem terpakai terus
73	0,923048546	92,3048546	2	Baling baling patah
74	0,336804576	33,6804576	2	Tekanan tidak stabil
75	0,614138447	61,4138447	1	Saluran tersumbat
76	0,12211545	12,211545	4	Kampas aus
77	0,795804962	79,5804962	3	*Overheat* pada motor
78	0,109367738	10,9367738	4	Kampas aus
79	0,917044623	91,7044623	2	Baling baling patah
80	0,481957671	48,1957671	3	Medan curam
81	0,668139563	66,8139563	4	Motor macet
82	0,792103472	79,2103472	3	*Overheat* pada motor
83	0,872899799	87,2899799	2	Baling baling patah
84	0,50881233	50,881233	3	Medan curam
85	0,962310302	96,2310302	2	Penumpukan debu baling baling
86	0,251083085	25,1083085	3	Oli kurang
87	0,160722287	16,0722287	2	Silinder bocor
88	0,543163231	54,3163231	2	Kipas rusak
89	0,535081372	53,5081372	3	Medan curam
90	0,768418944	76,8418944	4	Motor macet
91	0,454771915	45,4771915	3	Medan curam
92	0,917980381	91,7980381	2	Baling baling patah
93	0,123850362	12,3850362	4	Kampas aus

No urut	Nilai random	*100	Jumlh kasus	Jenis kerusakan
94	0,015412734	1,54127338	4	Kampas aus
95	0,426939076	42,6939076	2	Rem terpakai terus
96	0,273025991	27,3025991	3	Oli kurang
97	0,96032339	96,032339	2	Penumpukan debu baling baling
98	0,70828231	70,828231	4	Motor macet
99	0,570264004	57,0264004	2	Kipas rusak
100	0,680253203	68,0253203	4	Motor macet
Jumlah			278	
Rata rata			2,78	

Tabel diatas merupakan tabel simulasi monte carlo. Terlihat dari tabel diatas ada 100 simulasi agar mengetahui seberapa banyak kasus terjadi pada masing masing jenis kerusakan di 100 simulasi tersebut. Jumlah keseluruhan pada kasus tersebut ada 278 denan rata rata 2,78.

4.7.2 Perhitungan Kecelakaan

Setelah mengetahui simulasi diatas selanjutnya adalah menghitung berapa persen kecelakaan masih terjadi dengan kecelakaan berhasil dicegah. Langkah pertama yaitu menghitung berapa banyak kerusakan keruskan yang muncul pada 100 simulasi yang terlihat pada tabel 4.9 yaitu :

Table 4.9 Total Kerusakan Yang Muncul

No	Jenis Kerusakan	Total Kerusakan Muncul
1	Kampas aus	12 Kali
2	Silinder bocor	5 kali
3	Oli kurang	11 kali
4	Tekanan tidak stabil	3 kali
5	Rem terpakai terus menerus	7 kali
6	Medan tidak rata/ curam	15 kali
7	Kipas rusak	5 kali

No	Jenis Kerusakan	Total Kerusakan Muncul
8	Saluran tersumbat	3 kali
9	Motor macet	11 kali
10	*Overheat* pada motor	9 kali
11	Baling baling patah	11 kali
12	Penumpukan debu pada baling baling	8 kali

Dari tabel diatas terlihat bahwa kerusakan yang paling sering muncur di 100 simulasi yaitu, medan curam 15 kali kampas aus 12 kali, oli kurang , motor macet, serta baling baling patah yaitu11 kali. Selanjutnya adalah menghitung berapa persen kecelakaan masih terjadi dan kecelakaan berhasil dicegah pada tabel 4.10 yaitu :

Table 4.10 Perhitungan Kecelakaan Masih Terjadi Dan Berhasil Dicegah

No	Jenis Kerusakan	Jumlah Kerusakan	Presentase	Berhasil	Masih Terjadi
1.	Kampas aus	12	80%	9,6	2,4
2.	Silinder bocor	5	70%	3,5	1,5
3.	Oli kurang	11	85%	9,35	1,65
4.	Tekanan tidak stabil	3	60%	1,8	1,2
5.	Rem terpakai terus	7	70%	4,9	2,1
6.	Medan curam	15	80%	12,0	3,0
7.	Kipas rusak	5	85%	4,25	0,75
8.	Saluran tersumbat	3	75%	2,25	0,75
9.	Motor macet	11	80%	8,8	2,2
10.	*Overheat* pada motor	9	75%	6,75	2,25

No	Jenis Kerusakan	Jumlah Kerusakan	Presentase	Berhasil	Masih Terjadi
11.	Baling baling patah	11	85%	9,35	1,65
12.	Penumpukan debu pada baling baling	8	70%	5,6	2,4
Total		100		78,15%	21,85%

Berdasarkan hasil yang telah dihitung dapat disimpulkan bahwa berbagai usulan tindakan mitigasi yang telah ditentukan secara keseluruhan mampu mencegah sekitar 78,15% dari kemungkinan terjadinya kerusakan, tetapi masih terdapat sekitar 21,85% kerusakan yang tetap tidak bisa dicegah.

BAB V
PEMBAHASAN

5.1 Hasil Analisis FMEA

Setelah dilakukan identifikasi potensi kerusakan pada alat berat grader, selanjutnya dilakukan analisis dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Pemberian rating atau nilai dilakukan berdasarkan tiga kriteria, yaitu tingkat keparahan (*severity*), tingkat kejadian (*occurrence*), dan tingkat deteksi (*detection*). Nilai dari ketiga kriteria tersebut kemudian dikalikan untuk mendapatkan Risk Priority Number (RPN) sebagai dasar penentuan prioritas perbaikan.

Tabel 4.3 hasil perhitungan FMEA menunjukkan bahwa terdapat variasi nilai RPN, mulai dari yang paling rendah yaitu 80 hingga yang paling tinggi yaitu 224. Nilai ini menggambarkan seberapa besar tingkat risiko yang ditimbulkan oleh masing-masing kerusakan.

1. Rem tidak berfungsi (RPN = 224)

   Hasil analisis menunjukkan bahwa mode kegagalan paling berisiko adalah rem tidak berfungsi, dengan nilai RPN tertinggi yaitu 224. Tingginya nilai RPN ini disebabkan oleh skor severity (S) yang tinggi karena kegagalan sistem rem berpotensi langsung menimbulkan kecelakaan fatal, baik bagi operator maupun unit alat berat lainnya. Selain itu, nilai occurrence (O) juga tinggi, mengingat kasus rem tidak berfungsi telah beberapa kali tercatat dalam data kecelakaan lapangan. Kemampuan deteksi (D) pada kasus ini tergolong rendah karena kerusakan rem sering kali baru diketahui setelah unit digunakan, sehingga meningkatkan risiko kecelakaan.

2. Kipas radiator tidak berfungsi (RPN = 192)

   Kerusakan pada kipas radiator memiliki nilai RPN 192. Kegagalan kipas radiator dapat menyebabkan mesin mengalami *overheating*, sehingga berisiko merusak komponen utama alat berat. Meskipun dampaknya tidak langsung menimbulkan kecelakaan operator, namun kondisi ini tetap berbahaya karena *overheating* dapat memicu kerusakan mesin di tengah operasi, yang berpotensi menimbulkan insiden di area tambang.

3. *Overheating* pada mesin (RPN = 168)

   Potensi kegagalan berupa *overheating* mesin memperoleh nilai RPN sebesar 168. Kerusakan ini berhubungan erat dengan kipas radiator yang tidak berfungsi. Dampak utamanya adalah terhentinya operasi alat berat secara tiba-tiba yang dapat membahayakan operator, terutama jika grader sedang beroperasi di jalan menanjak atau area sempit.

4. Kaca pecah (RPN = 140) dan Sensor tidak berfungsi (RPN = 140)

   Dua jenis kerusakan ini memiliki nilai RPN yang sama yaitu 140. Kaca pecah meningkatkan risiko bagi operator karena visibilitas berkurang dan pecahan kaca dapat menyebabkan cedera. Sementara sensor yang tidak berfungsi membuat operator kehilangan informasi penting tentang kondisi alat, seperti suhu mesin atau tekanan hidrolik. Meskipun tidak langsung menyebabkan kecelakaan, kedua kondisi ini menurunkan tingkat keselamatan kerja secara signifikan.

5. Ban aus (RPN = 128)

   Keausan ban menghasilkan nilai RPN sebesar 128. Kondisi ban yang sudah tidak layak pakai meningkatkan risiko grader tergelincir atau kehilangan kendali, terutama pada jalan basah atau berbatu. Walaupun nilai RPN tidak setinggi rem, potensi kecelakaan tetap tinggi jika tidak dilakukan penggantian ban secara berkala.

6. Kerusakan bodi grader (RPN = 108)

   Kerusakan pada bodi grader memperoleh nilai RPN 108. Risiko ini relatif lebih rendah karena dampaknya tidak langsung terhadap keselamatan kerja, namun tetap penting diperhatikan karena kerusakan rangka atau pelindung dapat mengurangi kekuatan struktur alat berat dan berpotensi memperbesar kerugian saat kecelakaan terjadi.

7. Lampu peringatan tidak berfungsi (RPN = 80)

   Mode kegagalan dengan nilai RPN terendah adalah lampu peringatan yang tidak berfungsi. Walaupun nilai risikonya relatif kecil dibandingkan mode kegagalan lain, kondisi ini tetap penting untuk diperhatikan karena lampu peringatan merupakan sistem deteksi dini yang membantu operator mengetahui gangguan pada unit. Jika dibiarkan, kerusakan ini dapat menyebabkan keterlambatan dalam mengenali potensi masalah yang lebih serius.

Berdasarkan hasil analisis FMEA, terlihat bahwa ada dua jenis kerusakan yang menempati posisi teratas dengan nilai RPN paling tinggi, yaitu rem tidak berfungsi (RPN 224) dan kipas radiator tidak berfungsi (RPN 192). Kedua kerusakan ini menjadi prioritas utama karena mempunyai dampak langsung terhadap keselamatan kerja maupun kelancaran operasional grader di lapangan.

Pada kasus rem tidak berfungsi, langkah perawatan preventif harus menjadi prioritas utama perusahaan. Pemeriksaan terhadap kampas rem perlu dilakukan secara rutin dan segera diganti sebelum mencapai batas keausan. Selain itu, kondisi sistem hidrolik, termasuk silinder, harus diperiksa secara berkala untuk memastikan tidak terjadi kebocoran. Oli rem juga wajib dipantau serta diganti sesuai dengan jadwal perawatan yang telah ditetapkan. Di samping itu, operator perlu diberikan pelatihan tambahan agar memiliki kemampuan dalam mengenali tanda-tanda awal penurunan performa rem.

Adapun pada kerusakan kipas radiator tidak berfungsi, perawatan juga harus dilakukan secara intensif karena kerusakan komponen ini dapat menyebabkan *overheating* mesin, yang berpotensi menimbulkan kerusakan parah pada alat maupun membahayakan keselamatan di area operasi tambang. Upaya pencegahan yang dapat dilakukan meliputi menjaga kebersihan kipas radiator agar tidak tersumbat debu atau kotoran, melakukan penggantian kipas yang sudah aus atau rusak sebelum menimbulkan kegagalan total, serta memastikan cairan pendingin berada dalam kondisi baik dan diganti secara teratur. Selain itu, penerapan sistem pemantauan suhu mesin secara *real-time* sangat dianjurkan, sehingga operator dapat segera melakukan tindakan mitigasi apabila suhu melebihi ambang batas yang ditentukan.

Walaupun dua kerusakan dengan nilai RPN tertinggi menjadi prioritas utama dalam upaya mitigasi, jenis kerusakan lain dengan nilai RPN lebih rendah tetap tidak boleh diabaikan. Permasalahan seperti *overheating* mesin, sensor yang mengalami kegagalan fungsi, maupun kaca yang pecah tetap berpotensi menimbulkan risiko tambahan apabila tidak ditangani dengan baik.

5.2 Hasil Analisis FTA

Analisis *Fault Tree Analysis* (FTA) dilakukan untuk mengetahui penyebab utama terjadinya *top event* yaitu rem tidak berfungsi dan kipas radiator tidak berfungsi pada alat berat grader.

Pada rem tidak berfungsi terlihat bahwa *intermediate event* pertama, yaitu kegagalan sistem rem, terdapat dua kelompok penyebab. Kelompok pertama adalah kerusakan komponen mekanis rem yang terdiri dari kampas rem aus dan silinder rem bocor. Kondisi ini biasanya muncul akibat masa pakai komponen yang terlalu lama atau kurangnya penggantian berkala. Kelompok kedua adalah kegagalan sistem hidrolik rem yang dipicu oleh oli rem berkurang dan tekanan hidrolik tidak stabil. Hal ini sering kali terjadi karena pengecekan cairan tidak dilakukan secara rutin atau adanya masalah pada hidrolik. Jika kondisi ini dibiarkan, kemampuan sistem rem akan menurun drastis dan memperbesar risiko terjadinya kecelakaan.

Pada *intermediate event* kedua, yaitu *overheat* sistem rem, penyebabnya terbagi menjadi dua bagian. Pertama adalah kondisi rem digunakan secara ekstrem, yang meliputi rem terus dipakai dalam waktu lama serta penggunaan pada medan tidak rata atau curam. Kedua adalah sistem pendingin tidak berfungsi, yang ditandai dengan kipas pendingin rusak dan saluran tersumbat. Faktor-faktor ini umumnya muncul karena beban kerja grader yang tinggi dan perilaku operator yang cenderung menekan rem terus-menerus tanpa jeda. Ketika pendinginan tidak berjalan baik, suhu pada sistem rem meningkat signifikan sehingga rem kehilangan efektivitasnya.

Selanjutnya pada kipas radiator tidak berfungsi mempunyai *intermediate event* pertama, yaitu motor kipas rusak, penyebabnya dapat ditelusuri hingga ke dua *basic event*, yaitu motor macet dan terjadinya *overheating* pada motor. Kondisi ini biasanya dipicu oleh kurangnya perawatan pada sistem kelistrikan maupun beban kerja yang terlalu tinggi sehingga motor mengalami panas berlebih..

Sementara itu, pada *intermediate event* kedua, yaitu kerusakan baling-baling kipas, terdapat dua *basic event* utama. Penyebab pertama adalah baling-baling patah, yang umumnya terjadi karena usia pakai sudah terlalu lama atau akibat benturan benda asing. Penyebab kedua adalah penumpukan debu pada baling-baling, yang dapat mengganggu kinerja kipas dan menurunkan efektivitas pendinginan. Faktor ini sering muncul di lingkungan tambang yang berdebu apabila tidak dilakukan pembersihan secara rutin.

Secara keseluruhan, analisis FTA menunjukkan bahwa kegagalan sistem rem maupun kipas radiator bukan disebabkan oleh satu faktor, tetapi kombinasi dari berbagai *basic event* yang saling berkaitan. Pada sistem rem, faktor-faktor seperti kampas rem aus, silinder bocor, dan oli berkurang termasuk yang paling sering muncul di lapangan. Sementara itu, pada kipas radiator, kegagalan dapat dipicu oleh kerusakan motor kipas, *overheating* pada motor, baling-baling patah, maupun penumpukan debu pada baling-baling yang menghambat kinerjanya. Oleh karena itu, langkah pengendalian harus difokuskan pada pemeriksaan rutin kondisi rem dan kipas, pencegahan *overheating,* penggantian komponen yang aus atau patah, serta pembersihan secara berkala.

Hasil analisis menunjukkan bahwa upaya pengendalian perlu difokuskan pada penerapan pemeliharaan preventif, baik terhadap komponen mekanis maupun sistem hidrolik pada rem, serta pada komponen utama kipas radiator. Pada sistem rem, perusahaan harus memastikan bahwa kampas rem diganti sebelum mencapai batas keausan, melakukan pemeriksaan berkala terhadap silinder dan selang hidrolik untuk mencegah kebocoran, serta menjaga volume dan kualitas oli rem sesuai standar yang ditetapkan. Sementara itu, pada kipas radiator, langkah pengendalian mencakup pemeriksaan kondisi motor kipas untuk mencegah kerusakan maupun *overheating*, penggantian baling-baling yang aus atau patah, serta pembersihan secara rutin untuk menghindari penumpukan debu yang dapat menghambat proses pendinginan.

Selain aspek teknis, perusahaan juga perlu melaksanakan inspeksi berkala guna mendeteksi potensi kerusakan sejak awal dan membuat program pelatihan bagi operator agar mampu mengenali gejala awal penurunan fungsi rem maupun kipas radiator. Dengan penerapan langkah-langkah tersebut secara konsisten, peluang terjadinya *top event* rem tidak berfungsi maupun kipas radiator rusak dapat dicegah sehingga risiko kecelakaan kerja, *overheating* mesin, serta gangguan operasional pada proses perataan jalan menggunakan grader dapat diminimalkan.

5.3 Hasil Analisis Simulasi Monte Carlo

Simulasi Monte Carlo pada penelitian ini digunakan untuk penurunan tingkat risiko kecelakaan kerja setelah adanya perbaikan pada proses perataan jalan menggunakan mesin grader. Pada tahap awal, seluruh *basic event* dari dua *top event* dimasukkan ke dalam model simulasi. Untuk kasus rem tidak berfungsi, *basic event* yang dianalisis antara lain kampas aus, silinder bocor,

oli kurang, tekanan hidrolik tidak stabil, rem digunakan secara terus-menerus, medan kerja curam, kipas pendingin rusak, serta saluran rem tersumbat. Sementara itu, untuk kasus kipas radiator rusak, *basic event* mencakup motor kipas macet, *overheating* pada motor, baling-baling patah, dan penumpukan debu pada baling-baling. Dengan menggabungkan seluruh *basic event* ini, simulasi memberikan gambaran mengenai seberapa besar potensi kerusakan yang dapat muncul baik dari sistem rem maupun dari sistem pendingin.

Simulasi dijalankan sebanyak 100 iterasi, dan dari hasilnya tercatat 100 kejadian kerusakan yang terbagi ke dalam 12 jenis *basic event*. Distribusi kerusakan menunjukkan bahwa medan kerja curam merupakan penyebab dengan frekuensi tertinggi, yaitu 15 kali. Hal ini menandakan bahwa faktor eksternal berupa kondisi lapangan memberikan kontribusi besar terhadap risiko kegagalan. Selain itu, kerusakan lain yang cukup sering muncul adalah kampas aus 12 kali, oli kurang 11 kali, motor kipas macet 11 kali, *overheating* pada motor 9 kali, baling-baling patah 11 kali, dan penumpukan debu pada baling-baling 8 kali. Di sisi lain, kerusakan seperti silinder bocor, kipas rusak, tekanan hidrolik tidak stabil, serta saluran rem tersumbat muncul dengan frekuensi relatif lebih rendah, antara 3 hingga 5 kali.

Setelah mengetahui dominan kerusakan, langkah selanjutnya adalah menghitung efektivitas mitigasi yang telah direncanakan. Mitigasi dilakukan melalui inspeksi rutin, penggantian komponen yang aus, pengecekan dan pengisian oli, perawatan sistem hidrolik, pembersihan radiator, serta pelatihan operator. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dari total 100 kerusakan yang muncul dalam simulasi, sekitar 78,15% dapat dicegah dengan penerapan mitigasi, sementara 21,85% masih berpotensi terjadi. Kerusakan yang paling banyak berhasil dicegah adalah medan curam 12 kasus, kampas aus 9,6 kasus, oli kurang 9,35 kasus, dan baling-baling patah 9,35 kasus. Namun beberapa kerusakan tetap tercatat muncul setelah mitigasi, seperti medan curam 3 kasus, motor macet 2,2 kasus, *overheating* pada motor 2,25 kasus, serta kampas aus 2,4 kasus.

Hasil ini menunjukkan bahwa sebagian besar potensi kerusakan dapat diminimalisasi melalui penerapan strategi teknis yang sistematis. Tetapi, masih terdapat sejumlah kerusakan yang tidak dapat dihilangkan sepenuhnya karena dipengaruhi oleh faktor eksternal, seperti kondisi medan yang curam, maupun faktor manusia, seperti kelelahan operator atau kebiasaan penggunaan rem yang berlebihan. Kondisi ini sejalan dengan prinsip manajemen risiko yang

menegaskan bahwa risiko tidak dapat dihapuskan sepenuhnya, melainkan hanya dapat dicegah hingga berada pada tingkat yang dapat ditoleransi. Secara keseluruhan, upaya mitigasi mampu mencegah tingkat risiko hingga berada pada kondisi yang lebih terkendali. Ini menjadi landasan penting bagi perusahaan dalam merumuskan kebijakan perawatan serta pengawasan alat berat yang lebih terukur dan berfokus pada peningkatan keselamatan kerja.

BAB VI
PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal dibawah ini :

1. Dari hasil analisis FMEA, potensi bahaya paling besar pada aktivitas perataan jalan menggunakan grader di PT Aneka Tambang Tbk (ANTAM) UBPN Kolaka adalah rem tidak berfungsi dengan nilai RPN 224 dan kipas radiator tidak berfungsi dengan nilai RPN 192. Penyebabnya antara lain dari rem tidak berfungsi adalah kampas rem aus, silinder bocor, oli kurang, tekanan rem tidak stabil, penggunaan rem terus menerus, kondisi medan curam/tidak rata, kipas rusak, dan saluran rem yang tersumbat. Selain itu penyebab utama dari kipas radiator tidak berfungsi yaitu motor macet, *overheat* pada motor, baling baling patah serta penumpukan debu pada baling baling.
2. Melalui *Fault Tree Analysis* (FTA), teridentifikasi delapan *basic event* yang menjadi akar masalah dari rem tidak berfungsi dan empat *basic event* pada kipas radiator tidak berfungsi. Hal ini menjadi dasar penyusunan langkah mitigasi seperti inspeksi dan pengecekan rutin, perawatan berkala, pembersihan, serta pelatihan operator terkait teknik pengereman dan prosedur aman di medan ekstrem.
3. Berdasarkan hasil simulasi Monte Carlo, penerapan langkah-langkah mitigasi yang telah direncanakan memberikan dampak signifikan terhadap pencegahan risiko. Probabilitas terjadinya risiko rem tidak berfungsi dan kipas radiator tidak berfungsi dapat dicegah hingga 78,15% dibandingkan kondisi awal sebelum perbaikan dilakukan. Pencapaian ini menunjukkan bahwa kombinasi inspeksi rutin, perawatan berkala, dan pelatihan operator mampu secara efektif meminimalkan potensi kecelakaan kerja. Hasil ini juga terlihat bahwa mitigasi yang diterapkan tidak hanya menurunkan kemungkinan kejadian, tetapi juga meningkatkan keselamatan operasi grader di lingkungan kerja pertambangan yang memiliki tingkat risiko tinggi.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, penulis memberikan beberapa masukan yang diharapkan dapat menjadi acuan bagi pihak terkait dan peneliti selanjutnya yaitu:

1.Saran bagi Perusahaan

PT Aneka Tambang (ANTAM) UBPN Kolakadisarankan untuk melakukan inspeksi rutin pada komponen rem dan kipas radiator secara konsisten sesuai jadwal yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Selain itu, pelatihan berkala bagi operator dan prosedur kerja aman di medan ekstrem juga perlu dilakukan untuk meningkatkan keterampilan dan kesadaran keselamatan kerja.

2.Saran Bagi Peneliti Selanjutnya

Penelitian selanjutnya diharapkan dapat memperluas objek penelitian, tidak hanya terbatas pada proses perataan jalan menggunakan grader, tetapi juga mencakup alat berat lain yang memiliki potensi risiko kecelakaan tinggi. Selain itu, penggunaan data historis yang lebih panjang sangat dianjurkan agar analisis risiko yang dihasilkan lebih kuat. Peneliti juga dapat mempertimbangkan integrasi dengan metode analisis lain.

DAFTAR PUSTAKA

Afdal, Z. A., & Linarti, U. (2023). Preventive Maintenance Analysis Using Monte Carlo Simulation And *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA). *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, *22*(2), 251–262. Https://Doi.Org/10.23917/Jiti.V22i2.21900

Aldi Imawan, M., & Nuruddin, M. (2024). Analisis Resiko Proyek Menggunakan Metode FMEA Dan Simulasi Monte Carlo Forest Cerme. *Jurnal Teknika*, *18*(1), 67–80.

Alfikrizal, K. (2021). Simulasi Monte Carlo Dalam Prediksi Jumlah Penumpang Angkutan Massal Bus Rapid Transit Kota Padang. *Jurnal Informatika Ekonomi Bisnis*, *3*(2), 78–82. Https://Doi.Org/10.37034/Infeb.V3i2.72

Alfons Willyam Sepang Tjakra, B. J., Ch Langi, J. E., & O Walangitan, D. R. (2013). MANAJEMEN RISIKO KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA (K3) PADA PROYEK PEMBANGUNAN RUKO ORLENS FASHION MANADO. *Jurnal Sipil Statik*, *1*(4), 282–288.

Alimul Karim, A., Era Suluhasa, Y., Sukmono, Y., Dianati Fathimahhayati, L., Studi Teknik Industri, P., Teknologi Ka limantan, I., Soekarno-Hatta Km, J., & Joang, K. (2023). Identifikasi Dan Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Di Workshop PT Inti Bangun Mulya. *Jurnal Teknik Industri*, *1*(2).

Anugrah, N. R., Fitria, L., & Desrianty, A. (2015). *Usulan Perbaikan Kualitas Produk Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (Fta) Dan Failure Mode And Effect Analysis (Fmea) Di Pabrik Roti Bariton 1*.

Arif, M., Silaban, G., & Mardhiah Syahri, I. (2014). *Analisa Potensi Bahaya Dengan Menggunakan Metode Job Safety Analysis (Jsa) Pada Proses Coal Chain Di Pertambangan Batubara Pt Mifa Bersaudara Meulaboh Tahun 2014*.

Arif Pibisono, S. R. A. (2020). Analisis Kegagalan Maintenance Unit Produksi Di Pt Saptaindra Sejati. *Jurnal Aplikasi Ilmu Teknik Industri*.

Bujna, M., Prístavka, M., Lee, C. K., Strápeková, Z., Kapela, K., & Malicevic, Z. (2024). *Determining The Reliability Level By Combining* Fmea, Fta And Dematel Tools. *Agricultural Engineering*, *28*(1), 251–276. Https://Doi.Org/10.2478/Agriceng-2024-0016

Cardozo, F. A. C., Petter, C. O., & Albuquerque, N. R. De. (2022). Monte Carlo Simulation Risk Analysis For Underground Mining Projects. *Tecnologia Em Metalurgia, Materiais E Mineração*, *19*(2), 1–8. Https://Doi.Org/10.4322/2176-1523.20222681

Cava Billa Al Husaini. (2023). *Pemahaman Risiko Dan Manajemen Risiko*. *1*(3), 318–325. Https://Doi.Org/10.61132/Nuansa.V1i3%20September.272

Charisma, R., Mandagi, P., Sondakh, R. C., Maddusa, S., Kesehatan, F., Universitas, M., Ratulangi, S., & Abstrak, M. (2022). Hubungan Kelelahan Kerja Dengan Kejadian Kecelakaan Kerja Di PT. Putra Karangetang Desa Popontolen Kabupaten Minahasa Selatan. *Jurnal KESMAS*, *11*(4), 28–34.

Dennis F. Niode, ,Yaulie D. Y. Rindengan.,Stanley D. S. Karouw. (2016). Geographical Information System (GIS) Untuk Mitigasi Bencana Alam Banjir Di Kota Manado. *Journal Teknik Elektro Dan Komputer*, *5*(2), 14–20.

Dewi Rantika, & Irawan Pani, Suhendri. (2025). Penerapan Metode Monte Carlo Untuk Prediksi Penjualan Air Pada Toko Amanah Water. *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, *9*(2), 2089–2093.

Fakhravar, H. (2020). *Application Of Failure Modes And Effects Analysis In The Engineering Design Process*.

Gupta, R. (2023). Fault Tree Analysis Of The Reliability Of Electric Vehicles In India. *Journal Of Applied Mathematics And Physics*, *11*(07), 1930–1944. Https://Doi.Org/10.4236/Jamp.2023.117125

Indra Jaya, M., Sundari, S., & Suharto. (2022). Analisis Kecelakaan Kerja Di Bagian Produksi Pt. Yyy Lampung Plant Dengan Metode Fmea Dan Fta. In *Teknik Industri*.

Iraz, G. Susheno. (2023). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Cookies Cokelat Dengan Menggunakan Fmea (Failure Mode And Effect Analysis) Dan Fta (Fault Tree Analysis) (Studi Kasus: Griya Cokelat Nglanggeran, Gunung Kidul). *Jurnal Riset Ilmiah*, *2*(8), 3242–3250.

Jumhana, E., Fadilah, A., Jiddan Anugrah Novrio, M., & Haki, U. (2025). Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3): Pilar Utama Dalam Produktivitas Dan Keberlanjutan. *Bureaucracy Journal: Indonesia Journal Of Law And Social-Political Governance*, *5*(1), 619–633. Https://Doi.Org/10.53363/Bureau.V5i1.548

Kumar Akula, S., & Salehfar, H. (2020). Risk-Based Classical Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) Of Microgrid Cyber-Physical Energy Systems. In *Electrical Engineering Journal*.

Manurung, E. H. (2020). Perencanaan K3 Pekerjaan Bidang Konstruksi. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil*, *3*(1), 49–54.

Mochamad Nashrullah, O., Okvi Maharani, Sp., Abdul Rohman, Sp., Eni Fariyatul Fahyuni, Sp., Nurdyansyah, I., & Sri Untari Mpd, R. (2023). *Metodologi Penelitian Pendidikan (Prosedur Penelitian, Subyek Penelitian, Dan Pengembangan Teknik Pengumpulan Data) Diterbitkan Oleh Umsida Press* (S. H. , M. Kn. M. Tanzil Multazam, Ed.; Vol. 7). Umsida Press.

Muhammad, O. :, Harsana, T., Studi, P., Negara, I. A., Tinggi, S., & Banten, I. A. (2023). Efektivitas Sistem Perizinan Online Dalam Peningkatan Pelayanan Publik Di Kabupaten Lebak. *Jurnal Ilmiah Niagara*, *15*(2), 139–154. Www.Simpoie2lebakkab.Go.Id,

Nuchpho, P., Nansaarng, S., & AUD Pongpullponsak, A. (2014). Risk Assessment In The Organization By Using FMEA Innovation: A Literature Review. In *International Conference On Educational Reform*. Https://Www.Researchgate.Net/Publication/264116818

Pangestu, I. E., Revia Oktaviani, & Lucia Litha Respati. (2023). Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Probabilistik Simulasi Monte Carlo Pada Disposal PT. XYZ. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, *3*(2), 77–86. Https://Doi.Org/10.29313/Jrtp.V3i2.2212

Putri, G. L., Inung, A. A., Adnyano, A., & Mohamad, M. A. (2023). Identifikasi Resiko Kecelakaan Kerja Dengan Metode Hazard Identification And Risk Assessment (HIRA) Di Area Tambang Nikel Di PT. Manado Karya Anugrah Site Antam Moronopo Kabupaten Halmahera Timur Provinsi Maluku Utara. *Teknik Pertambangan*, *7*(4), 107–115. Http://Journal.Itny.Ac.Id/Index.Php/Retii

Rahmalia Putri, A., & Anjely Keysha Maharani, W. (2024). Analisis Kualitas Batu Bara Menggunakan Metode FMEA Pada PT XYZ. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, *29*(2), 26–36.

Rajasekhar Reddy, G., Shiva, G., Bhanuprathap Reddy, L., & Kumar, A. (2021). Application Of Failure Mode And Effect Analysis For Dumper In Opencast Mines. *International Research Journal Of Engineering And Technology*, *8*(7), 39–60. Www.Irjet.Net

Rheza Pratama. (2018). Penerapan Manajemen Risiko Pada Perbankan Syariah (Studi Kasus Pada Bank Muamalat & Bank Syariah Mandiri Cabang Kota Ternate). *Jurnal Mitra Manajemen*, *2*(6), 597–609.

Setiobudi, A., & Hasyyati Heryadi, F. (2023). Tinjauan Teori Efektivitas Mitigasi Bencana Banjir. In *FTSP Series*.

Suherman, A., & Cahyana, B. J. (2019). Pengendalian Kualitas Dengan Metode Failure Mode Effect And Analysis. *Teknik Industri*, *16*(4), 1–9.

Sun, J. J., Yeh, T. M., & Pai, F. Y. (2022). Application Of Monte Carlo Simulation To Study The Probability Of Confidence Level Under The PFMEA's Action Priority. *Mathematics*, *10*(7), 1–20. Https://Doi.Org/10.3390/Math10152596

Umi Suswati Risnaeni, M. B. R. S. N. R. (2019). Efektivitas Manajemen Risiko Dan Hasil. *Jurnal Akuntansi Dan Keuangan Islam*, *1*(2), 001–012. Http://Ejournal.Iaisyarifuddin.Ac.Id/Index.Php/Muhasabatuna

Yolanda, M., Ekawati, Y., & Noya, S. (2023). Penerapan Metode Fault Tree Analysis Untuk Mencegah Kegagalan Pada Departemen Interior Di PT X. *Jurnal Sains Dan Aplikasi Keilmuan Teknik Industri (SAKTI)*, *3*(1), 49–58. Https://Doi.Org/10.33479/Jtiumc.V3i1.49

LAMPIRAN








KOMATSU


EMERGENCY
EXIT