

Penerapan Metode *Bowtie* dan SCAT untuk Analisis Kecelakaan *Dump Truck* Terguling di Pertambangan Batubara

Habib Nor Rais¹, Dewi Kurniasih², Mochamad Yusuf Santoso³

^{1,3}) Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, ²) Program Studi Teknik Keselamatan dan Resiko, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo,
Surabaya, Jawa Timur 60111

Email: habibnor@student.ppns.ac.id¹, dewi.kurniasih@ppns.ac.id², yusuf.santoso@ppns.ac.id³

ABSTRAK

Perusahaan yang menjadi objek penelitian mencatat 25 kasus *property damage* di jalur *hauling* pada tahun 2023-2024 yang melibatkan unit *dump truck* dan 8 kasus diantaranya mengalami rebah/terguling. Penelitian dilakukan pada 2 kasus *property damage* menggunakan metode *Barrier-based SCAT* yaitu kombinasi metode *Bowtie* dan *Systematic Cause Analysis Technique* (SCAT). Hasil analisis menunjukkan *top event* berupa unit *dump truck* rebah/terguling dipengaruhi oleh *threat* operator gagal mengoperasikan unit dan operator mengalami *microsleep*. Dari total 14 *barrier* yang dianalisis, sebanyak 35,7% dinilai efektif dan 64,3% belum efektif. Hasil analisis SCAT menunjukkan kegagalan *barrier* didominasi tindakan tidak aman sebesar 77,8% dan kondisi tidak aman sebesar 22,2%, sedangkan seluruh penyebab dasar didominasi oleh faktor pekerjaan. Rekomendasi pengendalian difokuskan pada penguatan pengendalian administratif sebesar 72,7% dan rekayasa teknik sebesar 27,3% melalui peningkatan sistem pelatihan, implementasi prosedur, pengendalian *fatigue*, pengawasan operasional, dan kesiapsiagaan keadaan darurat untuk mencegah terulangnya kecelakaan serupa.

Kata kunci: SCAT, *bowtie*, kecelakaan kerja, *dump truck*, *property damage*

ABSTRACT

The company under study recorded 25 *property damage* cases involving *dump trucks* on the *hauling* road during 2023–2024, with 8 cases resulting in *dump truck* rollovers. This study analyzed 2 *property damage* cases using the *Barrier-Based SCAT* method, which combines the *Bowtie* method and the *Systematic Cause Analysis Technique* (SCAT). The analysis results showed that the *top event*, namely *dump truck* rollover, was influenced by two main threats: operator failure in operating the unit and operator *microsleep*. Of the 14 analyzed *barriers*, 35.7% were considered effective, while 64.3% were ineffective. The SCAT analysis indicated that *barrier* failures were dominated by unsafe acts at 77.8% and unsafe conditions at 22.2%, while all basic causes were dominated by job factors. The proposed control recommendations focused on strengthening administrative controls by 72.7% and engineering controls by 27.3% through improvements in training systems, procedure implementation, fatigue management, operational supervision, and emergency preparedness to prevent similar accidents in the future.

Keywords: SCAT, *bowtie*, occupational accident, *dump truck*, *property damage*

Pendahuluan

Industri pertambangan batubara merupakan sektor yang memberikan kontribusi yang signifikan terhadap penerimaan negara (Kamaludin, 2021). Namun demikian, pertambangan batubara juga dikenal sebagai sektor berisiko tinggi secara karena memiliki potensi risiko kesehatan dan keselamatan kerja yang besar bagi para pekerjanya (Adenan & Djunaidi, 2025). Perusahaan jasa pertambangan yang digunakan sebagai objek penelitian adalah perusahaan yang bergerak di bidang pengangkutan batubara. Pengangkutan menurut (Undang-Undang RI Nomor 3 Tahun 2020 Tentang Pertambangan Mineral Dan Batubara) yaitu “bagian dari kegiatan usaha pertambangan guna memindahkan mineral dan/atau batubara dari daerah tambang dan/atau tempat pengolahan dan/atau pemurnian sampai tempat penyerahan (Sinaga, 2025). Pengangkutan batubara dari area *Run-of-Mine* (ROM) ke CPP (*Coal Processing Plant*) merupakan tahapan produksi yang bersifat kritis dan memiliki tingkat risiko tinggi (Paseru et al., 2025). Oleh karena itu penerapan K3 sangat diutamakan guna memastikan keselamatan dan kesehatan seluruh tenaga kerja di operasional perusahaan.

Perusahaan yang menjadi objek penelitian telah menerapkan sistem manajemen keselamatan pertambangan (SMKP), namun data perusahaan menunjukkan pada tahun 2023 tercatat sebanyak 37 kecelakaan dan sedikit menurun pada tahun 2024 menjadi 34 kecelakaan. Meskipun sedikit menurun, tingkat kecelakaan kerja masih berada di atas *plan threshold* sebesar 23 kasus setiap tahunnya. Kecelakaan terbanyak terjadi di jalur *hauling* sebanyak 46 kasus dengan dominasi jenis kecelakaan berupa *property damage* dengan jumlah 25 kasus dan 8 kasus diantaranya merupakan kasus unit *dump truck* rebah dan terparah ditinjau dari total biaya perbaikannya. Analisis kecelakaan perlu dilakukan secara lebih mendalam, khususnya pada kejadian dengan risiko tinggi atau konsekuensi signifikan, guna mengidentifikasi akar penyebab kecelakaan sebagai dasar dalam menentukan pengendalian yang efektif (Albaharits, 2026), dengan menggunakan metode *Barrier-Based SCAT* yang merupakan kombinasi dari dua metode yaitu *Bowtie* dan SCAT. Studi Su, (2025) menunjukkan metode *Bowtie* dapat digunakan untuk memetakan berbagai faktor risiko keselamatan tambang batubara. Walaupun metode *Bowtie* mampu menggambarkan secara jelas hubungan antara *hazard*, *top event*, *threat*, *prevention barrier*, *consequences* dan *mitigation barriers* yang tersedia, metode ini masih memiliki keterbatasan. *Bowtie* belum menyediakan metodologi standar yang sistematis untuk mengidentifikasi seluruh elemen secara mendalam, khususnya dalam menjelaskan alasan terjadinya kegagalan pada setiap *barrier* (Aust & Pons, 2020).

Laporan DNV GL, (2020), menyebutkan bahwa metode *Barrier-Based SCAT* (BSCAT) dapat digunakan untuk mengungkap akar penyebab kegagalan *barrier* dalam suatu kecelakaan kerja. Metode ini mengintegrasikan pendekatan *Bowtie* dengan *Systematic Cause Analysis Technique* (SCAT), yaitu metode yang dikembangkan oleh *International Loss Control Institute* (ILCI) untuk menganalisis penyebab langsung (*immediate causes*), penyebab dasar (*basic causes*), serta sistem pengendalian yang diperlukan (*lack of control*) (Maghfiroh Izzani Hakim, 2022). Dalam penerapannya, analisis SCAT dilakukan pada setiap *prevention barrier* dan

mitigation barrier yang telah diidentifikasi melalui diagram *Bowtie*, sehingga proses investigasi tidak hanya berfokus pada kejadian kecelakaan, tetapi juga pada penyebab kegagalan masing-masing *barrier*. Integrasi kedua metode tersebut menjadikan BSCAT sebagai pengembangan dari SCAT konvensional melalui penerapan konsep *barrier theory* dalam analisis kecelakaan. Pendekatan ini dinilai mampu memberikan keterkaitan yang lebih jelas dengan sistem manajemen risiko modern serta menghasilkan analisis yang lebih sistematis, mendalam, dan aplikatif dalam penyusunan rekomendasi pengendalian (Pitblado et al., 2015).

Berdasarkan keunggulan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kecelakaan unit *dump truck* rebah/terguling pada aktivitas *hauling* di perusahaan pertambangan menggunakan metode BSCAT. Analisis dilakukan untuk mengidentifikasi *hazard*, *top event*, *threat*, *prevention barrier*, *consequences* dan *mitigation barriers*, serta faktor penyebab kegagalan *barrier* berdasarkan aspek *immediate causes*, *basic causes*, dan *lack of control*.

Metode Penelitian

Penelitian ini menganalisis kecelakaan unit *dump truck* rebah/terguling pada perusahaan jasa pengangkutan batubara dengan kategori *property damage* di jalur *hauling* pada periode 2023–2024 menggunakan metode *Barrier-Based SCAT*, yaitu kombinasi metode *Bowtie* dan SCAT. Penelitian difokuskan pada dua kasus kecelakaan dari total delapan kasus kecelakaan *property damage* unit rebah/terguling di jalur *hauling*, yang dipilih berdasarkan nilai total biaya perbaikan tertinggi sehingga dianggap mewakili kasus dengan tingkat kerugian paling besar. Data penelitian dikumpulkan melalui studi pustaka, observasi lapangan, dokumentasi perusahaan, *review* Laporan Penyelidikan Insiden (LPI), serta wawancara dengan departemen SHE, pengawas, dan operator terkait. Menurut Deliani & Wirawan, (2022) analisis kecelakaan menggunakan metode *Bowtie* dapat diterapkan pada beberapa kronologi kasus kecelakaan dengan jenis kasus yang sama secara simultan dan disajikan dalam satu diagram *Bowtie*. Penggunaan metode pada penelitian ini mengacu pada konsep *barrier-based SCAT* (DNV GL, 2020) dengan tahapan identifikasi *hazard*, *top event*, *threat*, *prevention barrier*, *consequences* dan *mitigation barriers*. Selanjutnya, *barrier* yang dinilai gagal dianalisis menggunakan metode SCAT berdasarkan tabel SCAT DNV untuk mengidentifikasi penyebab langsung, penyebab dasar, kelemahan sistem pengendalian dan rekomendasi pengendalian yang mengacu pada prinsip hirarki pengendalian risiko serta berdasarkan regulasi yang berlaku.

Hasil dan Pembahasan

Pembahasan pada penelitian ini memaparkan hasil analisis dua kasus kecelakaan unit *dump truck* rebah/terguling, yaitu kasus DT 043 dan DT 725, menggunakan metode *Bowtie* dan SCAT. Pembahasan diawali dengan hasil analisis *Bowtie* untuk mengidentifikasi *hazard*, *top event*, *threat*, *consequences*, serta efektivitas *prevention barrier* dan *mitigation barrier* pada kedua kasus kecelakaan. Selanjutnya, *barrier* yang dinilai gagal dianalisis lebih lanjut menggunakan metode SCAT untuk mengidentifikasi penyebab langsung, penyebab dasar dan kelemahan sistem pengendalian. Berdasarkan hasil analisis tersebut, selanjutnya disusun

rekomendasi pengendalian yang mengacu pada prinsip hirarki pengendalian risiko guna mencegah terulangnya kecelakaan serupa pada aktivitas *hauling* di perusahaan pertambangan.

Kronologi Kasus 1 (DT 043)

Kecelakaan terjadi saat unit *dump truck* melintas dari area jalur *hauling* KM 27. Pada kondisi jalan menanjak, pengemudi mengoperasikan unit menggunakan gigi 3 *low* yang mana tidak sesuai dengan rambu penggunaan *gear*. Ketika unit mencapai puncak tanjakan, tenaga mesin tiba-tiba hilang sehingga unit bergerak mundur dan kehilangan kestabilan hingga akhirnya rebah ke sisi kiri.

Kronologi Kasus 2 (DT 725)

Kecelakaan terjadi setelah unit *dump truck* melakukan *dumping* muatan di *Crusher* 03, lalu pengemudi berhenti di area koral-koral untuk beristirahat akibat kelelahan (*fatigue*). Sekitar pukul 00.02 WITA, pengemudi terbangun dan berniat melanjutkan perjalanan menuju pit arah kosong. Pada sekitar pukul 00.18 WITA, saat melintas di KM 06, pengemudi merasakan kantuk berat namun tetap melanjutkan perjalanan dengan tujuan beristirahat di *pit stop* KM 10. Sekitar pukul 00.20 WITA, ketika melintas di pos pantau KM 08 pengemudi mengalami penurunan kesadaran atau *microsleep*. Pengemudi baru tersadar setelah unit menabrak tanggul di KM 08 arah muatan dan akhirnya rebah ke sisi kiri.

Analisis Menggunakan Metode Bowtie

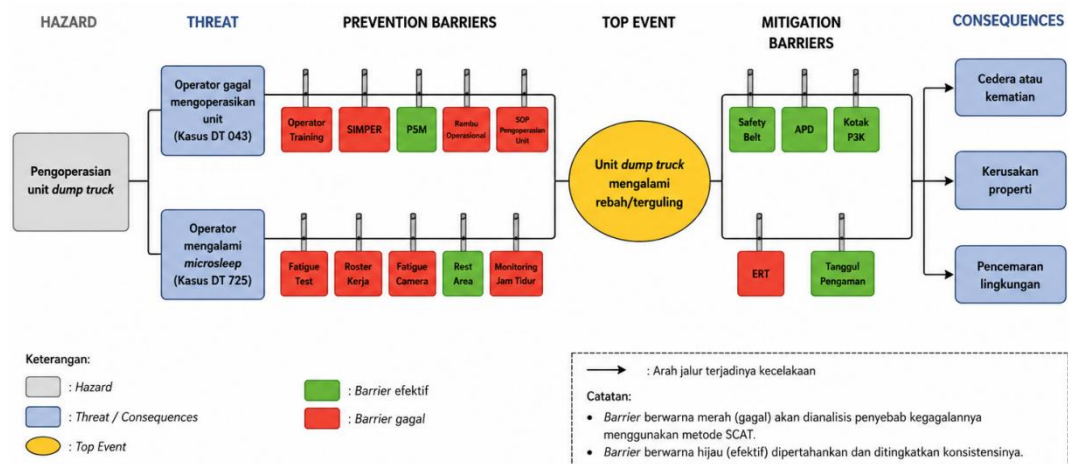
Analisis terhadap kasus kecelakaan DT 043 dan DT 725 menunjukkan bahwa kedua kejadian memiliki karakteristik kecelakaan yang serupa, yaitu unit *dump truck* mengalami rebah/terguling, meskipun dipicu oleh faktor penyebab yang berbeda. Berdasarkan kesamaan karakteristik tersebut, analisis dilakukan secara terintegrasi menggunakan metode *Bowtie* dengan menetapkan *hazard* berupa aktivitas pengoperasian unit *dump truck*. Selanjutnya, berdasarkan hasil analisis data LPI, observasi lapangan, dan wawancara, ditetapkan *top event* berupa unit *dump truck* mengalami rebah/terguling karena seluruh kasus memiliki bentuk kejadian utama yang sama.

Berdasarkan *top event* tersebut, analisis dilanjutkan dengan mengidentifikasi *threat* yang berpotensi menyebabkan terjadinya kecelakaan. Pada kasus DT 043, *threat* yang teridentifikasi adalah operator gagal mengoperasikan unit akibat ketidaksesuaian penggunaan *gear* pada area tanjakan, sehingga unit kehilangan tenaga dan bergerak mundur hingga rebah. Sementara itu, pada kasus DT 725, *threat* yang teridentifikasi adalah operator mengalami *microsleep* akibat kondisi *fatigue* saat mengemudi. Untuk mencegah terjadinya *top event* dari masing-masing *threat* tersebut, perusahaan telah menerapkan beberapa *prevention barriers*.

Threat operator gagal mengoperasikan unit, *prevention barriers* yang diterapkan meliputi *operator training*, kepemilikan SIMPER, P5M, rambu operasional, dan SOP pengoperasian unit. Dari *barrier* tersebut, P5M dinilai efektif karena dilaksanakan secara rutin sebagai media komunikasi keselamatan sebelum bekerja. Namun, *operator training*, SIMPER, rambu operasional, dan SOP pengoperasian unit dinilai belum efektif karena masih ditemukan kelemahan pada implementasi, sosialisasi, maupun evaluasi kompetensi operator. Sementara itu, pada *threat* operator mengalami *microsleep*, perusahaan menerapkan *fatigue test*, pengaturan *roster* kerja, *fatigue camera*, *rest area*, dan monitoring jam tidur sebagai *prevention barriers*. *Barrier rest area* dinilai efektif karena fasilitas istirahat telah

tersedia dan dimanfaatkan operator sebelum kejadian. Akan tetapi, *fatigue test*, pengaturan *roster* kerja, *fatigue camera*, dan monitoring jam tidur dinilai belum efektif karena pelaksanaannya belum optimal serta masih memiliki kelemahan pada aspek pengawasan dan sistem pengendalian *fatigue*.

Selain mengidentifikasi *threat* dan *prevention barriers*, analisis *Bowtie* juga menentukan *consequences* yang dapat timbul apabila *top event* terjadi. *Consequences* yang teridentifikasi meliputi cedera pekerja, kerusakan properti, dan pencemaran lingkungan. Kerusakan properti menjadi dampak utama pada seluruh kasus yang dianalisis, sedangkan pencemaran lingkungan terjadi akibat tumpahan material batubara, oli, maupun solar saat unit mengalami rebah. Untuk mengurangi dampak dari *consequences* tersebut, perusahaan telah menerapkan beberapa *mitigation barriers* berupa *safety belt*, APD, kotak P3K, *Emergency Response Team* (ERT), dan tanggul pengaman. *Barrier safety belt*, APD, kotak P3K, dan tanggul pengaman dinilai efektif karena telah tersedia, digunakan, serta dipelihara sesuai ketentuan perusahaan dan regulasi yang berlaku. Sebaliknya, *barrier* ERT dinilai belum efektif karena belum terdapat personel khusus yang *standby*, struktur organisasi yang jelas, serta pelaksanaan latihan tanggap darurat secara berkala. Selanjutnya untuk mempermudah pemahaman hasil analisis *Bowtie*, disajikan Gambar 1 berikut.



Gambar1. Diagram *bowtie*

Gambar 1 menunjukkan hasil analisis *Bowtie* terhadap dua kasus kecelakaan unit *dump truck* rebah/terguling, diperoleh total 14 *barrier* yang terdiri dari 9 *prevention barriers* dan 5 *mitigation barriers*. Dari keseluruhan *barrier* tersebut, sebanyak 5 *barrier* (35,7%) dinilai efektif, sedangkan 9 *barrier* lainnya (64,3%) dinilai belum efektif atau mengalami kegagalan dalam mencegah maupun memitigasi kecelakaan. Sementara itu, *barrier* yang dinilai belum efektif terdiri dari *operator training*, *SIMPER*, rambu operasional, *SOP* pengoperasian unit, *fatigue test*, pengaturan *roster* kerja, *fatigue camera*, monitoring jam tidur, dan *Emergency Response Team* (ERT). Oleh karena itu, seluruh *barrier* yang dinilai gagal selanjutnya dianalisis lebih lanjut menggunakan metode SCAT.

Analisis Kegagalan *Barrier* dengan Metode SCAT

Analisis *Systematic Cause Analysis Technique* (SCAT) pada penelitian ini dilakukan dengan mengacu pada tabel SCAT DNV yang ada pada penelitian Utama, (2020) . Hasil analisis SCAT terhadap masing-masing *barrier* yang mengalami kegagalan selanjutnya disajikan dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Analisis kegagalan *barrier* dengan metode SCAT

Kode SCAT	Keterangan	<i>Barrier: Operator Training</i>
Penyebab Langsung (PL)		
PL.16	Gagal mengikuti prosedur	Tindakan tidak aman (<i>substandard act</i>), berupa operator DT 043 tidak melakukan perpindahan <i>gear</i> sesuai ketentuan saat melewati tanjakan
Penyebab Dasar (PD)		
PD.5.3	Pelatihan awal tidak memadai	- Faktor pekerjaan (<i>job factors</i>), yaitu tidak diberikannya pelatihan teori secara menyeluruh kepada operator berpengalaman yang baru direkrut. - Faktor pekerjaan (<i>job factors</i>), berupa tidak adanya pengukuran pemahaman seperti <i>pre test</i> dan <i>post test</i> setelah pelatihan.
PD.8.7	Instruksi, orientasi dan / atau pelatihan yang tidak layak	Faktor pekerjaan (<i>job factors</i>), yaitu belum seluruh <i>trainer</i> memiliki sertifikasi <i>Training of Trainer</i> (ToT)
Sistem Diperlukan (SD)		
SD.10.3	Kualifikasi Instruktur / Pelatih	Perlu penerapan standar kualifikasi <i>trainer</i> dengan mewajibkan sertifikasi <i>Training of Trainer</i> (ToT) bagi seluruh <i>trainer</i> .
SD.10.4	Sistim Pelatihan	- Dibutuhkan penerapan program pelatihan bagi seluruh operator, termasuk operator berpengalaman yang baru direkrut, yang mencakup materi teori dan prakti. - Perlu dilakukan evaluasi pemahaman melalui <i>pre test</i> dan <i>post test</i>.
Kode SCAT	Keterangan	<i>Barrier: SIMPER</i>
Penyebab Langsung (PL)		
PL.3	Gagal untuk mengamankan	Berupa tindakan tidak aman (<i>substandard act</i>), yaitu kegagalan operator dalam mengamankan unit saat berada di tanjakan.
Penyebab Dasar (PD)		
PD.8.10	Kekurangan pada pengawasan / pengelolaan pengetahuan kerja	- Faktor pekerjaan (<i>job factors</i>), berupa masa berlaku SIMPER yang terlalu lama yaitu 5 tahun. - Faktor pekerjaan (<i>job factors</i>), yaitu tidak adanya evaluasi ulang kompetensi melalui tes teori maupun praktik pada saat perpanjangan SIMPER.
Sistem Diperlukan (SD)		
SD.8.4	Sistim Pengaturan Izin untuk Mengoperasikan	- Perlu diterapkan sistem resertifikasi SIMPER periodik secara lebih pendek misalnya setiap satu tahun - Perlu dilakukan evaluasi teori dan praktik

pengoperasian unit ketika perpanjangan SIMPER

Kode SCAT	Keterangan	Barrier: Rambu-rambu Operasional
Penyebab Langsung (PL)		
PL.21	Sistim peringatan dini tidak layak	Kondisi tidak aman (<i>substandard condition</i>), yaitu sistem peringatan dini yang tidak layak karena rambu terlalu kecil tidak terlihat secara optimal sehingga operator terlambat melakukan perpindahan <i>gear</i> .
Penyebab Dasar (PD)		
PD.5.5	Salah pemahaman karena kurang pengetahuan	Faktor pekerjaan (<i>job factors</i>), yaitu belum dipahaminya standar ukuran, desain, dan pemasangan rambu sesuai SNI 6351:2023 oleh tim <i>safety operation</i> .
Sistem Diperlukan (SD)		
SD.10.2	Analisa Pelatihan / Pendidikan Diperlukan	Dibutuhkan pelatihan bagi tim <i>safety operation</i> terkait standar rambu jalan pertambangan sesuai SNI 6351:2023.

Kode SCAT	Keterangan	Barrier: SOP Pengoperasian Unit
Penyebab Langsung (PL)		
PL.16	Gagal mengikuti prosedur	Tindakan tidak aman (<i>substandard act</i>), yaitu kegagalan operator dalam mengikuti prosedur yang sehingga tidak melakukan perpindahan <i>gear</i> sesuai ketentuan saat memasuki tanjakan.
Penyebab Dasar (PD)		
PD.8.4	Memberikan kebijakan, prosedur, pelatihan atau petunjuk yang tidak layak	Faktor pekerjaan (<i>job factors</i>), yaitu belum tersosialisasikannya SOP pengoperasian unit kepada seluruh operator sehingga kurang pemahaman.
Sistem Diperlukan (SD)		
SD.1.14	Sistem Kontrol Dokumen	- Pelaksanaan sosialisasi SOP pengoperasian unit secara menyeluruh melalui pelatihan terstruktur yang dilengkapi dengan uji pemahaman teori dan praktik untuk memastikan pemahaman operator. - Perlu penerapan mekanisme pengendalian dokumen yang memastikan distribusi, pembaruan, serta bukti pemahaman SOP terdokumentasi dengan baik.

Kode SCAT	Keterangan	Barrier: Pengaturan Roster Kerja
Penyebab Langsung (PL)		
PL.16	Gagal mengikuti prosedur	Tindakan tidak aman (<i>substandard act</i>), yaitu kegagalan tim pengatur roster dalam mengikuti peraturan yang telah ditetapkan dengan langsung menjadwalkan operator pasca cuti ke <i>shift</i> malam tanpa melalui <i>shift</i> siang terlebih dahulu.
Penyebab Dasar (PD)		
PD.8.4	Memberikan kebijakan, prosedur, pelatihan atau	Faktor pekerjaan (<i>job factors</i>), ditunjukkan dengan pola kerja yang terlalu lama yaitu enam bulan kerja sebelum cuti yang berpotensi menimbulkan akumulasi kelelahan

petunjuk yang tidak layak	fisik dan mental serta belum mengakomodasi kebutuhan pemulihan kondisi operator secara optimal
---------------------------	--

Sistem Diperlukan (SD)

SD.4.5	Telah diperbaharui prosedur dan petunjuk praktis	- Penerapan pengaturan roster yang mewajibkan operator pasca cuti menjalani <i>shift</i> siang minimal satu siklus sebelum kembali ke <i>shift</i> malam - Penyesuaian pola kerja menjadi durasi yang lebih pendek, misalnya tiga bulan kerja sebelum cuti
--------	--	---

Kode SCAT	Keterangan	Barrier: Fatigue Test
-----------	------------	-----------------------

Penyebab Langsung (PL)

PL.16	Gagal mengikuti prosedur	Tindakan tidak aman (<i>substandard act</i>), yaitu kegagalan operator dalam mengikuti prosedur yang telah ditetapkan dengan tidak melaksanakan <i>fatigue test</i> pada pertengahan jam kerja.
-------	--------------------------	---

Penyebab Dasar (PD)

PD.8.5	Memberikan sasaran, target atau standar yang rancau	- Faktor pekerjaan (<i>job factors</i>), ditunjukkan dengan pelaksanaan <i>fatigue test</i> pada pertengahan jam kerja oleh petugas yang tidak memiliki kompetensi di bidang kesehatan kerja. - Faktor pekerjaan (<i>job factors</i>), adanya tekanan target produksi yang mendorong operator tetap bekerja dalam kondisi lelah.
--------	---	---

Sistem Diperlukan (SD)

SD.4.5	Telah diperbaharui prosedur dan petunjuk praktis	- Penerapan prosedur <i>fatigue test</i> yang mewajibkan pemeriksaan oleh tenaga yang kompeten di bidang kesehatan kerja, seperti paramedic - Penetapan sanksi bagi operator yang tidak melaksanakan <i>fatigue test</i> - Penyesuaian kebijakan target produksi dengan menghilangkan penalti ritase bagi operator yang tidak mencapai target akibat kondisi <i>fatigue</i>
--------	--	---

Kode SCAT	Keterangan	Barrier: Fatigue Camera
-----------	------------	-------------------------

Penyebab Langsung (PL)

PL.21	Sistim peringatan dini tidak layak	Kondisi tidak aman (<i>substandard condition</i>), yaitu <i>fatigue camera</i> tidak mampu memberikan respons secara <i>real-time</i> kepada operator saat terindikasi mengalami <i>fatigue</i> .
-------	------------------------------------	---

Penyebab Dasar (PD)

PD.9.6	Pengontrolan tidak layak / memadai	Faktor pekerjaan (<i>job factors</i>), yaitu pemantauan <i>fatigue camera</i> melalui <i>radio room</i> yang tidak berjalan optimal karena petugas memiliki tugas lain, serta ketergantungan pada pengamatan manual yang berpotensi menghasilkan penilaian yang kurang akurat.
--------	------------------------------------	--

Sistem Diperlukan (SD)

SD.14.4	Kontrol operasi dan proses kerja	- Penerapan sistem deteksi <i>fatigue</i> otomatis pada <i>fatigue camera</i> seperti <i>eye closure detection</i> dan deteksi frekuensi menguap yang bekerja secara <i>real-time</i> .
---------	----------------------------------	---

		- Diperlukan integrasi sistem dengan peringatan langsung seperti alarm suara atau getaran kursi secara <i>real-time</i>
Kode SCAT	Keterangan	Barrier: Monitoring Jam Tidur
Penyebab Langsung (PL)		
PL.16	Gagal mengikuti prosedur	Tindakan tidak aman (<i>substandard act</i>), yaitu kegagalan operator dalam mengikuti prosedur jujur saat pengisian formulir <i>fit to work</i> sehingga tetap bekerja dalam kondisi waktu tidur hanya 4,5 jam sedangkan seharusnya minimal 6 jam.
Penyebab Dasar (PD)		
PD.9.6	Pengontrolan tidak layak / memadai	Faktor pekerjaan (<i>job factors</i>), yaitu ditunjukkan dengan penggunaan metode <i>self-reporting</i> melalui formulir <i>fit to work</i> yang rentan terhadap manipulasi dan tidak mencerminkan kondisi aktual operator secara objektif.
Sistem Diperlukan (SD)		
SD.14.4	Kontrol operasi dan proses kerja	Penerapan sistem pemantauan jam tidur berbasis perangkat digital seperti <i>smartwatch</i> yang terintegrasi dengan sistem perusahaan untuk merekam durasi dan kualitas tidur operator secara otomatis.
SD.20.2	Pembelajaran keselamatan di luar jam kerja	Diperlukan pelaksanaan sosialisasi kepada keluarga operator terkait pentingnya pemenuhan waktu istirahat.
Kode SCAT	Keterangan	Barrier: Emergency Response Team (ERT)
Penyebab Langsung (PL)		
PL.16	Gagal mengikuti prosedur	Tindakan tidak aman (<i>substandard act</i>), yaitu kegagalan operator dalam mengikuti prosedur pelaporan keadaan darurat sehingga tidak melakukan pelaporan secara cepat dan tepat saat kejadian berlangsung
Penyebab Dasar (PD)		
PD.8.6	Perencanaan kerja atau program yang tidak layak	- Faktor pekerjaan (<i>job factors</i>), yaitu belum adanya sistem <i>Emergency Response Team</i> (ERT) yang terstruktur termasuk tidak tersedianya personel khusus yang <i>dedicated</i>. - Faktor pekerjaan (<i>job factors</i>), tidak dilaksanakannya pelatihan dan simulasi tanggap darurat secara rutin. - Faktor pekerjaan (<i>job factors</i>), peralatan ERT yang masih terbatas.
Sistem Diperlukan (SD)		
SD.7.7	Regu / tim keadaan darurat	Pembentukan tim <i>Emergency Response Team</i> (ERT) yang <i>dedicated</i> dengan penetapan struktur organisasi resmi.
SD.7.8	Sistim pembelajaran dari kejadian	Pelaksanaan pelatihan dan simulasi (<i>drill</i>) secara berkala serta penyusunan dan penerapan prosedur tanggap darurat yang mengacu pada Kepdirjen Minerba Nomor 185 Tahun 2019
SD.7.6	Sistem Proteksi dan Penyelamatan	Pengadaan untuk melengkapi sarana dan prasarana tanggap darurat sesuai standar yang berlaku.

Tabel 1. hasil analisis SCAT terhadap 9 *barrier* yang dinilai gagal menunjukkan bahwa penyebab kegagalan didominasi oleh aspek tindakan tidak aman (*substandard act*) dibandingkan kondisi tidak aman (*substandard condition*). Dari seluruh *barrier* yang dianalisis, sebanyak 7 *barrier* (77,8%) disebabkan oleh tindakan tidak aman seperti kegagalan mengikuti prosedur, tidak dilaksanakannya pengendalian *fatigue* secara konsisten, serta lemahnya pelaksanaan pengawasan. Sementara itu, sebanyak 2 *barrier* (22,2%) dipengaruhi oleh kondisi tidak aman, seperti sistem peringatan dini yang tidak memadai pada rambu operasional dan *fatigue camera*. Pada tingkat penyebab dasar (*basic causes*), seluruh temuan didominasi oleh faktor pekerjaan (*job factors*) sebesar 100%, yang meliputi kelemahan sistem pelatihan, prosedur yang belum tersosialisasi, pengawasan yang kurang optimal, perencanaan kerja yang tidak memadai, serta lemahnya pengendalian manajemen. Dominasi faktor pekerjaan menunjukkan bahwa kecelakaan tidak hanya dipengaruhi oleh kesalahan individu operator, tetapi berkaitan erat dengan kelemahan sistem organisasi dalam mengelola risiko kerja. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian (DNV GL, 2020) yang menyatakan bahwa pendekatan *Barrier-Based* SCAT mampu menunjukkan keterkaitan antara kegagalan *barrier* dengan kelemahan sistem manajemen keselamatan. Temuan ini juga sejalan dengan penelitian (Hamid F, 2025) yang menunjukkan bahwa faktor pekerjaan dan lemahnya pengendalian manajemen merupakan penyebab dominan dalam kegagalan implementasi *barrier* keselamatan kerja.

Rekomendasi Pengendalian

Rekomendasi pengendalian diberikan secara menyeluruh pada tiap *barrier* yang gagal untuk memperkuat efektivitas *barrier* dengan mengacu pada regulasi keselamatan pertambangan yang berlaku. Selanjutnya, rekomendasi pengendalian disajikan pada Tabel 2 dan dikategorikan berdasarkan prinsip hirarki pengendalian risiko, yaitu eliminasi, substitusi, rekayasa teknik, pengendalian administratif dan alat pelindung diri (APD).

Tabel 2. Rangkuman rekomendasi pengendalian

Rekomendasi Pengendalian	Hirarki Pengendalian	Referensi
<i>Barrier: Operator Training</i>		
Menyusun dan menerapkan <i>Training Need Analysis (TNA)</i> tahunan berbasis risiko pekerjaan untuk mengidentifikasi kebutuhan kompetensi <i>trainer</i> dan operator secara spesifik.	Administratif Kontrol	Kepdirjen Minerba Nomor 185 Tahun 2019 terkait pengelolaan kompetensi tenaga kerja pertambangan dan pelaksanaan pelatihan kerja.
Mengembangkan program <i>training</i> wajib (teori dan praktik) bagi seluruh operator baru maupun mutasi sebelum mulai bekerja.	Administratif Kontrol	
Mewajibkan kualifikasi dan sertifikasi <i>Training of Trainer (ToT)</i> bagi seluruh <i>trainer</i> agar kualitas penyampaian materi pelatihan lebih efektif.	Administratif Kontrol	

Melaksanakan evaluasi kompetensi pasca pelatihan melalui <i>post-test</i> dan <i>on job assessment</i> secara berkala.	Administratif Kontrol	
Barrier: SIMPER		
Menerapkan sistem resertifikasi SIMPER secara berkala dengan memperpendek masa berlaku menjadi lebih singkat.	Administratif Kontrol	Kepdirjen Minerba Nomor 185 Tahun 2019 mengenai pengendalian kompetensi operator alat berat dan kewajiban perusahaan memastikan pekerja memiliki kompetensi sesuai risiko pekerjaan.
Mewajibkan evaluasi ulang berupa tes teori dan praktik pada setiap proses perpanjangan SIMPER.	Administratif Kontrol	
Menyesuaikan materi uji kompetensi dengan kondisi operasional aktual dan perkembangan teknologi unit.	Administratif Kontrol	
Barrier: Rambu Operasional		
Melakukan standarisasi ulang rambu operasional sesuai SNI 6351:2023 dari aspek ukuran, desain, dan penempatan.	Rekayasa Teknik	Kepdirjen Minerba Nomor 185 Tahun 2019 terkait pengelolaan jalan tambang dan pengendalian lalu lintas pertambangan.
Mengganti rambu yang tidak sesuai standar dengan rambu berukuran lebih besar dan reflektif agar mudah terlihat.	Rekayasa Teknik	
Melaksanakan inspeksi dan evaluasi berkala terhadap kondisi rambu untuk memastikan efektivitasnya sebagai sistem peringatan dini.	Administratif Kontrol	SNI 6351:2023 tentang rambu jalan pertambangan.
Barrier: SOP Pengoperasian Unit		
Melaksanakan sosialisasi SOP secara berkala melalui P5M dan <i>toolbox meeting</i> kepada seluruh operator.	Administratif Kontrol	Kepdirjen Minerba Nomor 185 Tahun 2019 terkait pengendalian dokumen SMKP Minerba.
Mewajibkan dokumentasi bukti pemahaman SOP oleh operator misalnya melalui <i>post test</i> .	Administratif Kontrol	
Melakukan audit kepatuhan SOP secara berkala untuk memastikan implementasi di lapangan.	Administratif Kontrol	
Barrier: Fatigue Test		
Menunjuk tenaga paramedis atau personel kompeten sebagai pelaksana <i>fatigue test</i> .	Administratif Kontrol	Kepdirjen Minerba Nomor 185 Tahun 2019 terkait kesehatan kerja dan pengelolaan kelelahan.
Mewajibkan pelaksanaan <i>fatigue test</i> pada awal dan pertengahan shift serta sanksi untuk pelanggaran.	Administratif Kontrol	
Menetapkan kebijakan tanpa sanksi bagi operator yang beristirahat karena <i>fatigue</i> .	Administratif Kontrol	
Barrier: Fatigue Camera		
Mengembangkan sistem <i>fatigue camera</i> berbasis deteksi otomatis menggunakan sensor atau AI.	Rekayasa Teknik	Kepdirjen Minerba Nomor 185 Tahun 2019 terkait penerapan teknologi keselamatan kerja
Mengintegrasikan sistem dengan alarm peringatan langsung di kabin seperti alarm suara atau kursi getar.	Rekayasa Teknik	

Meningkatkan sistem monitoring di <i>radio room</i> untuk memastikan respon cepat terhadap indikasi <i>fatigue</i> .	Administratif Kontrol	dan pengendalian operasional berbasis risiko. Kepdirjen Minerba Nomor 185 Tahun 2019 terkait pemantauan kesiapan kerja.
<i>Barrier: Monitoring Jam Tidur</i>		
Menerapkan penggunaan perangkat <i>wearable</i> seperti <i>smartwatch</i> untuk memantau jam tidur operator secara objektif.	Rekayasa Teknik	
Mengintegrasikan data tidur dengan sistem <i>fit to work</i> perusahaan.	Rekayasa Teknik	
Melakukan sosialisasi kepada operator dan keluarga terkait pentingnya pemenuhan waktu istirahat.	Administratif Kontrol	
<i>Barrier: Roster Kerja</i>		
Merevisi kebijakan roster kerja dengan mempersingkat siklus kerja sebelum cuti.	Administratif Kontrol	PER.15/MEN/VII/2005 tentang Waktu Kerja dan Istirahat pada Sektor Usaha Pertambangan Umum pada Daerah Operasi Tertentu
Menerapkan aturan larangan shift malam pada hari pertama setelah cuti.	Administratif Kontrol	
Melakukan evaluasi berkala terhadap kelelahan kerja operator berbasis data.	Administratif Kontrol	
<i>Barrier: Emergency Response Team (ERT)</i>		
Membentuk struktur organisasi ERT yang resmi dan terdokumentasi.	Administratif Kontrol	Kepdirjen Minerba Nomor 185 Tahun 2019 terkait kesiapsiagaan keadaan darurat.
Menunjuk personel khusus ERT yang bertugas secara penuh dan standby.	Administratif Kontrol	
Melaksanakan pelatihan dan <i>drill</i> tanggap darurat secara berkala.	Administratif Kontrol	
Melengkapi sarana dan prasarana tanggap darurat sesuai standar yang berlaku.	Rekayasa Teknik	

Rangkuman rekomendasi pengendalian pada Tabel 2, pengendalian yang paling dominan direkomendasikan adalah pengendalian administratif (*administrative control*) sebesar 72,7%, sedangkan pengendalian rekayasa teknik (*engineering control*) sebesar 27,3%.

Simpulan

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *Bowtie* dan SCAT, diperoleh bahwa *top event* pada kasus kecelakaan yang dianalisis adalah unit *dump truck* mengalami rebah/terguling dengan *hazard* berupa aktivitas pengoperasian unit *dump truck*. Analisis *Bowtie* menunjukkan terdapat dua *threat* utama yang memicu terjadinya kecelakaan, yaitu operator gagal mengoperasikan unit dan operator mengalami *microsleep*. Selain itu, teridentifikasi beberapa *consequences* yang berpotensi terjadi, meliputi cedera pekerja, kerusakan properti, dan pencemaran lingkungan. Dari total 14 *barrier* yang dianalisis, sebanyak 35,7% dinilai efektif, sedangkan 64,3% lainnya dinilai belum efektif atau mengalami kegagalan sehingga memerlukan analisis lanjutan menggunakan metode SCAT.

Hasil analisis SCAT menunjukkan bahwa kegagalan *barrier* didominasi oleh tindakan tidak aman (*substandard act*) sebesar 77,8% dan kondisi tidak aman (*substandard condition*) sebesar 22,2%, sedangkan pada tingkat penyebab dasar seluruh temuan didominasi oleh faktor pekerjaan (*job factors*). urut sesuai regulasi keselamatan pertambangan yang berlaku.

Daftar Pustaka

- Adenan, A., & Djunaidi, Z. (2025). Analysis Of Risk Factors And Prevention Strategy In Accidents Among Coal Hauling Trucks: A Scoping Review. *International Journal Of Public Health Science (IJPHS)*, 14(1), 183. <https://doi.org/10.11591/ijphs.V14i1.24795>
- Albaharits. (2026). *HIRARC Risk Control In Agricultural Machinery Production (Case Study: PT. XYZ): Pengendalian Risiko HIRARC Dalam Produksi Mesin Pertanian (Studi Kasus: PT. XYZ)*.
- Aust, J., & Pons, D. (2020). A Systematic Methodology For Developing Bowtie In Risk Assessment: Application To Borescope Inspection. *Aerospace*, 7(7). <https://doi.org/10.3390/AEROSPACE7070086>
- Deliani, F. F., & Wirawan, M. (2022). Analisis Insiden Alat Angkut Material Pada Area Hauling Dengan Menggunakan Metode Bowtie Di PT. XYZ Periode 2018-2020. *National Journal Of Occupational Health And Safety*, 2(2). <https://doi.org/10.59230/Njohs.V2i2.5832>
- DNV GL. (2020). *Root Cause Failure Analysis Investigation Report*.
- Hamid F. (2025). *Analisis Kecelakaan Kendaraan Tambang Menggunakan Metode Fishbone Diagram Dan SCAT Di PT.X*. 18(2), 2025.
- Kamaludin. (2021). Analisis Faktor Penyebab Kecelakaan Kerja Pada Pekerja Pertambangan. *Artikel*, 02(1). <http://jk3l.fkm.unand.ac.id/>
- Maghfiroh Izzani Hakim, K. D. Y. S. M. (2022). *Analisis Kecelakaan Pada Proses Handling Rubber Tyred Gantry (RTG) Menggunakan Metode Fishbone Dan SCAT*.
- Paseru, A. T., Yudoko, G., Sanusi, D. A., Ardiansyah, P. Z., & Limowa, A. (2025). Performance Optimization Of Coal Hauling Operations Through DMAIC Framework: A Case Study At PT Berau Coal. *Journal Integration Of Management Studies*, 3(2), 261–273. <https://doi.org/10.58229/Jims.V3i2.360>
- Pitblado, R., Potts, T., Fisher, M., & Greenfield, S. (2015). A Method For Barrier-Based Incident Investigation. *Process Safety Progress*, 34(4), 328–334. <https://doi.org/10.1002/Prs.11738>
- Sinaga. (2025). *Efektivitas Dan Efisiensi Sistem Manajemen Hauling Teman Indobara Dalam Kerangka Pengembangan Dan Pemberdayaan Masyarakat Pada PT. XYZ*. 14, 2025. <https://journalmab.ulm.ac.id/index.php/jbp>
- Su, G. (2025). Research On Cause Analysis And Management Of Coal Mine Safety Risk Based On Social Network And Bow-Tie Model. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-025-15638-W>
- Utama, W. T. (2020). *Winda Trijayanthi Utama L Systematic Cause Analysis Technique JK Unila | Volume 4 | Nomor 2 | Oktober*.