

***Human Reliability* menggunakan Metode Fuzzy-HEART pada Pekerjaan *Material Handling* Tambang Bawah Tanah**

Okky Aristantiko Putra^{1✉}, Anik Setyo Wahyuningsih¹

¹Program Studi Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kedokteran, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Article Info

Article History:

Submitted 2023-12-19

Revised 2023-12-22

Accepted 2024-01-05

Keywords:

human error, material handling, mining

DOI:

<https://doi.org/10.15294/higeia/v8i2/77854>

Abstrak

Industri pertambangan memiliki potensi bahaya yang tinggi dibandingkan industri lain, dengan potensi kecelakaan yang tingkat keparahannya tinggi. Kecelakaan pertambangan sering disebabkan oleh *human error*, khususnya pada pekerjaan *material handling*, dengan menyumbang hampir 85% dari seluruh kecelakaan pertambangan. Upaya untuk mengurangi *human error* dilakukan melalui analisis keandalan manusia, dengan metode Fuzzy-HEART. Penelitian ini bertujuan untuk menilai keandalan manusia dalam pekerjaan *material handling* tambang bawah tanah, yaitu pada pekerjaan *ground support*, *drilling*, *mucking*, *hauling*, dan *dumping*, dengan menggunakan *mekanikal handling* (*boom truck*, *jumbo drill*, dan *LHD Loader*) dan manual *handling*. Penilaian didasarkan pada justifikasi responden ahli sebanyak 3 responden dari kru K3 menggunakan *teknik purposive sampling*. Nilai akhir yang dihasilkan yaitu nilai *Human Error Probability* (HEP), yang memiliki rentang 0-1. Nilai lebih dari 1 berarti potensi *human error* lebih dari 100%. Nilai HEP tertinggi pada *mekanikal handling* (*boom truck*: aktivitas 3.7 HEP=1.02; *jumbo drill*: aktivitas 4.2 HEP=2.01; *LHD Loader*: *mucking* - aktivitas 6.1 HEP=2.81, *hauling* - aktivitas 7.1 HEP=1.66, *dumping* - aktivitas 8.2 HEP=3.16) dan manual *handling* (aktivitas 2.4 dan 3.2 HEP=2.07).

Abstract

The mining industry poses higher potential hazards than other industries with a high severity of accidents. Human errors, particularly in material handling tasks contributing up to 85% cases. The attempt to minimize human errors is conducted through Human Reliability Analysis (HRA) using the Fuzzy-HEART method. This research aims to analyze human reliability in underground mining material handling tasks, such as ground support, drilling, mucking, hauling, and dumping. Both mechanical handling (boom truck, jumbo drill, and LHD Loader) and manual handling are analyzed. The assessment is based on the expert justification from 3 HSE crew using purposive sampling technique. The final value from the assessment is the Human Error Probability (HEP), within the 0-1 range. Values exceeding 1 indicate a human error potential exceeding 100%. Highest HEP values occur in mechanical tasks (boom truck: subtask 3.7 HEP=1.02; jumbo drill: subtask 4.2 HEP=2.01; LHD Loader: mucking - subtask 6.1 HEP=2.81, hauling - subtask 7.1 HEP=1.66, dumping - subtask 8.2 HEP=3.16) and manual handling (subtask 2.4 and 3.2 HEP=2.07).

© 2024 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:

Jl. Kelud Utara III, Kampus Kedokteran UNNES
Kec. Gajahmungkur, Kota Semarang, 50237
E-mail: okyp@students.unnes.ac.id

p ISSN 1475-362846
e ISSN 1475-222656

PENDAHULUAN

Industri pertambangan menjadi sektor yang memiliki potensi risiko bahaya yang sangat tinggi dibandingkan dengan sektor industri lain (Putra, 2022). Sektor pertambangan dengan tingkat potensi bahaya dan risikonya yang tinggi, akan menimbulkan kecelakaan kerja dengan tingkat keparahan yang tinggi (Kristiawan, 2020). Kecelakaan tambang juga terjadi karena faktor kesalahan manusia (*human error*), lingkungan tidak aman, dan manajemen perusahaan yang kurang optimal (Simanjuntak, 2017). Faktor kesalahan manusia dan kondisi lingkungan menjadi faktor penyumbang kasus terbanyak pada kecelakaan kerja (Huda, 2021). Menurut teori H. W. Heinrich, kecelakaan kerja disebabkan oleh tindakan tidak aman sebesar 88%, kondisi tidak aman sebesar 10%, dan sisanya karena takdir (Huda, 2021). Menurut studi dari *United States Bureau of Mines* (USBM), sebanyak 85% dari seluruh kecelakaan pertambangan disebabkan oleh *human error* (Aliabadi, 2020). *Human error* diklasifikasikan menjadi *slip*, *lapse*, *mistake*, dan *violation* (Wachter, 2013).

Proses pertambangan secara umum dimulai dari proses *drilling*, *charging*, *blasting*, *barring down*, *ground support*, *mucking*, *hauling*, dan *dumping* (Ramadhaniansyah, 2018). Kategori penyebab kecelakaan tambang secara umum disebabkan oleh tertimpa reruntuhan batuan, tertimpa benda jatuh, manual dan mekanikal *material handling* (Onder, 2014). Berdasarkan laporan *Mine Safety and Health Administration* (MSHA), pada tahun 2022 di Amerika Serikat terjadi kasus kecelakaan tambang sebanyak 3.491 kasus *injury* dengan sebanyak 1.125 kasus disebabkan oleh *material handling* (MSHA, 2022). Laporan lain dari *Workplace Safety North* (WSN) menunjukkan bahwa di Kanada pada tahun 2022 terjadi kecelakaan tambang sebanyak 1.317 kasus *injury* dengan sebanyak 119 kasus diakibatkan oleh pekerjaan yang berkaitan dengan proses *material handling* (WSN, 2022).

Pekerjaan *material handling* merupakan pekerjaan yang melibatkan proses mengangkat, memindah, dan menyimpan (Saputra, 2020). Mengangkat yaitu kegiatan menaikkan material dari satu tingkat ke tingkat lain. Memindah yaitu kegiatan memindahkan material dari satu lokasi ke lokasi lain. Menyimpan yaitu kegiatan menyimpan atau menempatkan material di lokasi dan fasilitas penyimpanan yang sudah ditentukan. Kecelakaan pada manual *material handling* dapat dieliminasi dengan mengurangi intensitas pengangkatan langsung oleh pekerja (Mahdevari, 2014) dan menggantikannya dengan alat atau mesin bantu (Sanmiquel, 2015).

Faktor *human error* sebagai penyebab kecelakaan kerja memerlukan upaya pengendalian untuk mencegah kejadian fatal bagi pekerja (Asih, 2019). Upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan melakukan pengukuran realibilitas tenaga kerja dengan metode *Human Reliability Analysis* (HRA) (Widharto, 2018). HRA merupakan metode untuk mengidentifikasi potensi kegagalan yang disebabkan oleh manusia dengan memperkirakan peluang terjadinya peristiwa tersebut. Tujuan HRA yaitu mengidentifikasi area dengan risiko tinggi, mengidentifikasi kegagalan yang disebabkan oleh manusia, dan mengukur keseluruhan risiko (Ratriwardhani, 2021). Penilaian HRA penting dilakukan selain penilaian HIRADC guna mengurangi tingkat kejadian kecelakaan kerja. Perbedaan dari keduanya yaitu HIRADC berfokus pada penilaian risiko bahaya secara umum, sementara HRA berfokus pada penilaian risiko bahaya berdasarkan *human error* (Utami, 2020).

Metode HRA yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode *Fuzzy-Human Error Assessment and Reliability Technique* (Fuzzy-HEART). Metode Fuzzy-HEART dikembangkan oleh Kumar pada tahun 2017 sebagai penyempurnaan metode HEART yang pertama kali dicetuskan oleh Williams tahun 1985 (Kumar, 2017). Metode Fuzzy-HEART adalah metode untuk menilai potensi terjadinya *human error* pada suatu

pekerjaan dengan menggunakan logika fuzzy untuk mengatasi ketidakpastian penilaian risiko *human error*. Metode Fuzzy-HEART dipilih diantara 8 metode HRA lainnya yaitu karena lebih akurat dalam menilai risiko *human error*, lebih mudah digunakan karena terdapat panduan yang runtut, lebih fleksibel digunakan untuk segala jenis aktivitas pekerjaan, dan mengurangi penilaian responden yang subjektif (Safitri, 2017). Metode Fuzzy-HEART telah banyak diimplementasikan dalam berbagai penelitian *human reliability* berbagai sektor, yaitu pada stasiun pengisian bahan bakar (Kumar, 2017), sektor kelistrikan (Aghaei, 2021), dan industri pembangkit listrik (Ogmen, 2022).

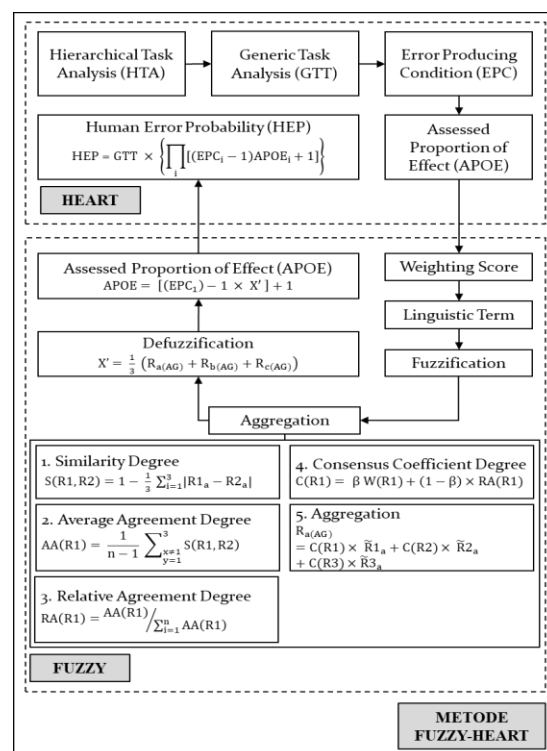
PT X merupakan perusahaan tambang yang beroperasi di Indonesia dengan hasil produk utama berupa tembaga, emas, dan perak. Proses operasional tambang bawah tanah PT X secara umum terdiri dari proses *drilling, charging, blasting, barring down, ground support, mucking, hauling, dan dumping*. Seluruh proses tersebut berisiko tinggi karena beroperasi di tambang bawah tanah serta potensi *human error*. Berdasarkan hasil wawancara dan observasi, diketahui bahwa pekerja mengaku pernah melanggar aturan kerja. Pelanggaran aturan tersebut yaitu tidak mematuhi aturan maupun prosedur kerja, seperti contohnya tidak melakukan urutan kerja dengan baik dan sesuai, serta melakukan *shortcut* untuk mempercepat penyelesaian kerja. Pelanggaran aturan tersebut termasuk *human error* dan berpotensi meningkatkan kecelakaan kerja.

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, peneliti melakukan penelitian terkait analisis *human reliability* menggunakan metode Fuzzy-HEART pada sektor pertambangan. Hal yang membedakan penelitian ini dengan penelitian lainnya yaitu metode yang digunakan dan tempat penelitian. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui hasil analisis *human reliability* dan mengetahui besaran nilai *Human Error Probability* (HEP) pada setiap aktivitas pekerjaan *material handling* pada tambang bawah tanah PT X.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan menggunakan metode *Fuzzy-Human Error Probability and Reduction Technique* (Fuzzy-HEART). Metode Fuzzy-HEART dikembangkan oleh Kumar pada tahun 2017 sebagai penyempurnaan dari metode HEART yang pertama kali dicetuskan oleh Williams tahun 1985 (Kumar, 2017). Metode Fuzzy-HEART adalah metode untuk menilai potensi terjadinya *human error* pada suatu pekerjaan dengan menggunakan logika *fuzzy* untuk mengatasi ketidakpastian penilaian risiko *human error* dan mengurangi penilaian responden yang subjektif (Safitri, 2017).

Hasil akhir dari analisis *human reliability* menggunakan metode Fuzzy-HEART yaitu berupa nilai *Human Error Probability* (HEP). Nilai HEP adalah nilai yang menunjukkan potensi terjadinya *human error* pada suatu aktivitas. Nilai HEP didapatkan dari penilaian risiko *human error* pada setiap aktivitas pekerjaan. Rentang nilai HEP yaitu dari 0 hingga 1, dimana 0 berarti tidak terdapat potensi



Gambar 1. Flowchart Metode Fuzzy-HEART
Sumber: Kumar et al (Kumar, 2017)

human error dan 1 berarti berpotensi tinggi terjadi *human error*. Jika nilai HEP yang dihasilkan lebih 1, berarti potensi terjadinya *human error* lebih besar dari 100% atau *human error* pasti akan terjadi pada aktivitas tersebut (Young, 2010). Nilai HEP lebih dari 1 berarti juga aktivitas tersebut menjadi prioritas untuk dilakukan upaya pengendalian *human error* guna mencegah terjadinya kecelakaan kerja. Semakin tinggi nilai HEP yang dihasilkan, maka semakin tinggi potensi *human error* yang terjadi pada aktivitas tersebut dan semakin tinggi potensi terjadinya kecelakaan kerja (Al-Sharif, 2013).

Penelitian di dilakukan di tambang bawah tanah PT X pada bulan Maret hingga Mei tahun 2023. Penentuan sampel dalam penilaian HEP menggunakan teknik *purposive sampling* yang berjumlah 3 responden ahli dari kru K3. Penilaian dari responden ahli digunakan untuk memberikan keterangan yang sesuai terkait nilai risiko *human error* berdasarkan pengetahuan dan pengalaman mereka. Penilaian hanya didasarkan pada justifikasi responden ahli dan peneliti tidak turun langsung ke lapangan untuk menilai secara langsung kepada narasumber atau pekerja tambang bawah tanah. Responden ahli menilai pekerjaan *ground support*, *drilling*, *dumping*, *hauling*, dan *mucking*. Untuk memfasilitasi proses penghitungan dan analisis, digunakan aplikasi Microsoft Excel 2013.

Penelitian ini sudah mendapatkan persetujuan etik dari Komite Penelitian Kesehatan Universitas Negeri Semarang nomor 442/KEPK/EC/2023.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Klasifikasi pekerjaan *material handling* dibedakan menjadi proses dan metode. Berdasarkan prosesnya, pekerjaan *material handling* dibagi menjadi 3 yaitu mengangkat, memindah, dan menyimpan. Sementara berdasarkan metodenya, pekerjaan *material handling* dibagi menjadi 2 yaitu mekanikal (menggunakan alat bantu) dan manual (menggunakan anggota tubuh).

Berdasarkan *mapping* pada Tabel 1, diketahui bahwa pada pekerjaan *ground support* terdapat proses mengangkat dan memindah secara mekanikal menggunakan *boom truck*, serta proses menyimpan secara manual. Pada pekerjaan *drilling*, hanya terdapat proses mengangkat secara mekanikal menggunakan *jumbo drill* dan manual. Pada pekerjaan *mucking*, *hauling*, dan *dumping*, hanya dilakukan secara mekanikal menggunakan LHD Loader, dimana pekerjaan *mucking* dan *dumping* hanya terlibat proses mengangkat, serta pekerjaan *hauling* terlibat proses memindah.

Berdasarkan *mapping* pada Tabel 1 pula, diketahui bahwa perhitungan *human reliability*

Tabel 1. *Mapping* Lingkup Proses Kerja *Material Handling*

Pekerjaan	Material Handling		
	Proses	Mekanikal	Manual
Ground Support	Mengangkat	Boom Truck	x
	Memindah	Boom Truck	x
	Menyimpan	x	- Menyimpan <i>wire mesh</i> - Menyimpan <i>rock bolt</i>
Drilling	Mengangkat	Jumbo Drill	- Memasang tuas dan mata bor - Memasang selang dan kabel
	Memindah	x	x
	Menyimpan	x	x
Mucking	Mengangkat	LHD Loader	x
	Memindah	x	x
	Menyimpan	x	x
Hauling	Mengangkat	x	x
	Memindah	LHD Loader	x
	Menyimpan	x	x
Dumping	Mengangkat	LHD Loader	x
	Memindah	x	x
	Menyimpan	x	x

pada pekerjaan material handling kemudian didasarkan pada kesamaan alat yang digunakan, yaitu mekanikal *material handling* (*boom truck*, *jumbo drill*, *LHD Loader*) dan manual *material handling*.

Berdasarkan Tabel 2, perhitungan *human reliability* menggunakan metode Fuzzy-HEART pada pekerjaan *material handling* tambang bawah tanah, menunjukkan hasil HEP yang beragam. Dari keempat pekerjaan tersebut, diketahui bahwa rerata HEP pada masing-masing pekerjaan menunjukkan perbedaan. Rerata nilai HEP pada pekerjaan mekanikal *material handling* yaitu *boom truck* (0.53), *jumbo drill* (0.62), dan *LHD Loader* (0.69) dengan reratanya yaitu 0.61. Sementara rerata nilai HEP pada pekerjaan manual *material handling* yaitu 0.89. Hal tersebut menunjukkan bahwa aktivitas pada manual *material handling* menghasilkan rerata nilai HEP yang lebih tinggi dibandingkan mekanikal *material handling*, yaitu $0.89 > 0.61$. Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa pada pekerjaan manual *material handling* tambang bawah tanah, potensi *human error* lebih besar terjadi dibandingkan pekerjaan mekanikal *material handling*. Hal ini berarti semakin tinggi

potensi *human error* pada suatu pekerjaan, semakin tinggi pula potensi terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan tersebut.

Berdasarkan Tabel 3, diketahui bahwa pada pekerjaan mekanikal *material handling* (*boom truck*), nilai HEP yang lebih dari 1 terdapat pada aktivitas 3.7 (HEP=1.02). Aktivitas yang mendapat nilai HEP lebih dari 1 berarti potensi terjadinya *human error* pada aktivitas tersebut lebih besar dari 100%, sehingga *human error* pasti akan terjadi dan berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja. Maka dari itu, aktivitas tersebut kemudian menjadi prioritas utama pengendalian *human error* untuk mencegah kecelakaan kerja. Pada aktivitas tersebut, proses *material handling* yang terlibat yaitu proses mengangkat dan memindah.

Aktivitas 3.7 “Menggerakkan *boom* secara perlahan selama pemanjangan dan jangan diayun” menghasilkan nilai HEP sebesar 1.02. Hal itu berarti bahwa pada aktivitas tersebut berpotensi terjadi *human error* jika saat proses pemanjangan dan pergerakan *boom* tidak dilakukan dengan perlahan. Saat pemanjangan *boom*, operator yang tidak fokus

Tabel 2. Distribusi Nilai HEP pada Setiap Aktivitas Pekerjaan

Mekanikal Material Handling						Manual Material Handling	
Boom Truck		Jumbo Drill		LHD Loader			
Aktivitas	HEP	Aktivitas	HEP	Aktivitas	HEP	Aktivitas	HEP
1.1	0.7	1.1	0.5	1.1	0.2	1.1	0
1.2	0.53	1.2	0.13	1.2	1.51	2.1	1.71
1.3	0.1	2.1	1.15	2.1	0.4	2.2	1.28
2.1	0.53	3.1	0.82	2.2	1.74	2.3	0.79
3.1	0.32	3.2	0.52	3.1	0.09	2.4	2.07
3.2	0.5	3.3	0.21	3.2	0.16	2.5	0.14
3.3	0.93	3.4	0.77	3.3	0.18	2.6	0.15
3.4	0.35	3.5	1.14	3.4	0.01	3.1	0.15
3.5	0.66	3.6	0.21	4.1	0.2	3.2	2.07
3.6	0.47	3.7	0.19	4.2	0.17	4.1	0.14
3.7	1.02	4.1	0.14	5.1	0.17	4.2	1.8
4.1	0.98	4.2	2.01	5.2	0.18	4.3	1.11
4.2	0.26	4.3	1.48	5.3	0.14	4.4	0.12
4.3	0.32	4.4	0.23	5.4	0.19		
4.4	0.28	4.5	0.26	6.1	2.81		
		4.6	0.14	7.1	1.66		
				7.2	0		
				7.3	0.18		
				7.4	0.04		
				8.1	0.07		
				8.2	3.16		
				8.3	1.78		
				8.4	0.24		
Rerata	0.53	Rerata	0.62	Rerata	0.69	Rerata	0.89

terhadap perintah *spotter* dapat menyebabkan ayunan *boom* terlalu kencang dan mengenai sisi *tunnel* sehingga berpotensi merusak *boom* ataupun *tunnel*. Kasus kecelakaan akibat *crane* atau *boom* juga banyak ditemukan di Amerika Serikat selama tahun 2000-2012 yang menunjukkan bahwa pergerakan *crane* atau *boom* yang tidak sesuai menjadi faktor utama kecelakaan kerja (D'Ambrosio, 2014).

Ayunan *crane* atau *boom* yang ditimbulkan saat pengangkatan juga dapat diakibatkan oleh beban material yang diangkat. Pengangkatan material yang melebihi kapasitas dapat menyebabkan *crane* atau *boom* berayun. Ayunan *crane* atau *boom* tersebut bisa besar jika diberikan kecepatan awal yang besar pula. Hal ini dapat terjadi karena beban material yang diangkat menghasilkan gaya dorong pada tali,

sehingga tercipta gaya ayun tersebut. Ayunan *crane* atau *boom* yang besar juga dapat menyebabkan tegangan meningkat sehingga berpotensi terjatuhnya material dan mengenai pekerja atau objek lain (O'Connor, 2016).

Pengangkatan dengan *crane* atau *boom* yang berayun dikarenakan pengangkatan yang melebihi beban juga dapat menyebabkan *boom* patah hingga unit kehilangan keseimbangan sehingga berpotensi kecelakaan berupa unit terbalik, unit terperosok, unit mengenai unit lain, unit membentur bagian *tunnel*, dan lainnya (Kelvin, 2020). Selain berdampak pada pekerja, pengoperasian *crane* atau *boom* yang tidak sesuai juga dapat berdampak pada kerusakan unit maupun fasilitas tambang. Maka dari itu, memastikan beban material tidak melebihi batas maksimal harus dilakukan untuk mengurangi

Tabel 3. Aktivitas dengan Nilai HEP Lebih dari 1 (HEP>1)

Aktivitas	Urutan Kerja	HEP
Mekanikal Material Handling (Boom Truck)		
3.7	Menggerakkan <i>boom</i> secara perlahan selama pemanjangan dan jangan diayun	1.02
Mekanikal Material Handling (Jumbo Drill)		
2.1	Memeriksa unit sebelum pengoperasian, meliputi <i>boom</i> dalam posisi paling bawah, <i>feed</i> dalam posisi paling belakang, dan <i>jack</i> dalam posisi ke atas. Memastikan sudut kemiringan unit maksimum saat <i>trammig</i> yaitu 15°	1.15
3.5	Memasang selang air ke jaringan pipa dan kabel ke kotak sambungan listrik (<i>jumbo box</i>). Memastikan kabel dan selang menggantung di sepanjang dinding dan tidak menyentuh tanah	1.14
4.2	Memastikan <i>offsider</i> di belakang unit <i>drill</i> saat <i>drilling</i>	2.01
4.3	Majukan <i>feed</i> hingga <i>drill bit</i> menyentuh permukaan batu. Lalu menjalankan fungsi <i>hammer</i> , <i>rotary</i> , dan <i>flushing</i> pada tuas <i>drill</i> dengan sudut kemiringan maksimum adalah 5°	1.48
Mekanikal Material Handling (LHD Loader)		
1.2	Menerapkan tiga titik kontak saat operator naik turun ke unit	1.51
2.2	Mewaspada persimpangan jalan dan titik buta (<i>blind spot</i>)	1.74
6.1	Mengisi <i>bucket</i> dengan teknik <i>mucking</i> yang benar, yaitu tidak melebihi beban maksimal sesuai jenis <i>loader</i> (1.7 ton), tidak mengangkat <i>bucket</i> terlalu ke atas guna menghindari penyemprot air dan kabel jaringan rusak, dan tidak meletakkan bagian belakang <i>bucket</i> melewati <i>lintel</i>	2.81
7.1	Mengemudikan <i>loader</i> menuju ke <i>dumping point</i> dengan tidak melebihi batas kecepatan 10 km/jam pada akses terbatas dan 15 km/jam pada akses besar	1.66
8.2	Menaikkan <i>bucket</i> secara perlahan setelah sampai di area lubang <i>grizzly</i>	3.16
8.3	Menuang <i>muck</i> ke dalam lubang <i>grizzly</i> secara perlahan tanpa menabrak pemecah batu dengan <i>bucket</i> maupun melewati alat pemecah batuan	1.78
Manual Material Handling		
2.1	Mengangkat beban perlahan ke atas sampai ke pinggang. Jangan mengangkat beban melebihi jangkauan tangan	1.71
2.4	Memastikan terdapat komando jika pengangkatan dilakukan oleh lebih dari 1 orang	2.07
3.2	Menempatkan tangan pada area bebas titik jepit saat meletakkan beban	2.07
4.2	Memastikan tumpukan maksimal 2 meter dan pasang pengganjal agar mudah diangkat kembali. Memastikan rak penyimpanan terpasang kuat jika material disimpan didalamnya	1.8
4.3	Khusus saat pekerjaan <i>ground support</i> , <i>wire mesh</i> ditempatkan di dinding maksimal 2 lembar dan diikat supaya aman dan stabil	1.01

potensi terjadinya kecelakaan (Bikatofani, 2015).

Berdasarkan kondisi di lapangan, potensi *human error* pada aktivitas tersebut dapat terjadi karena komunikasi yang tidak efektif dan terbatas antara operator dan *spotter*. Komunikasi yang terbatas berkaitan dengan kondisi tambang bawah tanah mengharuskan *spotter* memahami dan menguasai pemberian instruksi yang jelas kepada operator. Peran *spotter* sangat penting karena memberi arahan kepada operator selama pekerjaan berlangsung. Maka dari itu, upaya memastikan *spotter* telah mengikuti pelatihan dan paham cara memberi instruksi yang jelas dalam segala kondisi di tambang bawah tanah. Kebijakan pemberian pelatihan sudah disiapkan dan dijadwalkan oleh perusahaan bagi seluruh pekerja, sehingga pekerja harus mengikuti pelatihan tersebut sesuai materi dan jadwal masing-masing (Nembhard, 2019).

Berdasarkan Tabel 3, diketahui bahwa pada pekerjaan mekanikal *material handling (jumbo drill)*, nilai HEP yang lebih dari 1 terdapat pada 4 aktivitas. Urutan aktivitas dengan nilai HEP tertinggi, yaitu pada aktivitas 4.2 (HEP=2.01), aktivitas 4.3 (HEP=1.48), aktivitas 2.1 (HEP=1.15), dan aktivitas 3.5 (HEP=1.14). Aktivitas yang mendapat nilai HEP lebih dari 1 berarti potensi terjadinya *human error* pada aktivitas tersebut lebih besar dari 100%, sehingga *human error* pasti akan terjadi dan berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja. Maka dari itu, aktivitas tersebut kemudian menjadi prioritas utama pengendalian *human error* untuk mencegah kecelakaan kerja, proses *material handling* yang terlibat yaitu proses mengangkut.

Aktivitas 4.2 “Memastikan *offsider* di belakang unit *drill* saat *drilling*” menghasilkan nilai HEP sebesar 2.01. Hal itu berarti bahwa pada aktivitas tersebut berpotensi terjadi *human error* jika *offsider* tidak berada di belakang unit *drill* atau berada di posisi yang aman saat pelaksanaan *drilling*. Posisi *offsider* sebagai pembantu operator dalam memberi arahan saat pelaksanaan *drilling* penting diperhatikan. Saat *drilling*, terdapat potensi terjadinya lentingan batuan hasil *drilling* dan berpotensi mengenai

offsider. Dampak terkena lentingan batuan dapat mengakibatkan cedera serius hingga kematian. Lentingan batuan hasil *drilling* dapat terjadi dipengaruhi oleh faktor jenis batuan, kondisi batuan, kecepatan rotasi mata bor, dan tekanan hidrolik. Jenis batuan yang keras dan rapuh serta kondisi batuan yang terdapat patahan, menyebabkan batuan dapat mudah pecah dan terlepas saat *drilling*. Terlebih dengan kecepatan rotasi mata bor, juga menyebabkan daya lempar batuan saat *drilling* semakin keras dan cepat. Hal ini menyebabkan lentingan batuan dapat terlempar dalam radius jarak yang sangat jauh (El-Said, 2022).

Aktivitas 4.3 “Majukan *feed* hingga *drill bit* menyentuh permukaan batu. Lalu menjalankan fungsi *hammer*, *rotary*, dan *flushing* pada tuas *drill* dengan sudut kemiringan maksimum adalah 5°” menghasilkan nilai HEP sebesar 1.48. Hal itu berarti bahwa pada aktivitas tersebut berpotensi terjadi *human error* jika pelaksanaan *drilling* tidak dilakukan dengan teknis prosedur yang benar. Pelaksanaan *drilling* harus diidentifikasi dengan baik sebelum dikeluarkan *job order*. Penyusunan *job order* saat *drilling* disesuaikan dengan lokasi kerja, jenis batuan, dan kondisi batuan yang akan dilakukan *drilling*. Jenis batuan yang akan dilakukan *drilling* menentukan juga kedalaman dan sudut *drilling*, serta mata bor yang digunakan. Sementara itu, lokasi kerja menentukan unit *drill* yang digunakan untuk disesuaikan dengan akses dan luas area kerja. Maka dari itu, pemahaman terkait *job order* oleh operator harus benar-benar dimengerti. Selain itu, peran *offsider* sebagai pembantu operator saat pelaksanaan *drilling*, juga harus memahami *job order* untuk dapat memberikan arahan yang baik dan sesuai saat pelaksanaan *drilling* (Mariana, 2013).

Jika *drilling* dilakukan melebihi batas kedalaman dan miring, akan menyebabkan kekuatan mata bor berkurang dan akan menyebabkan mata bor patah dan rusak. Hal ini karena mata bor memiliki batas kedalaman tertentu. Selain itu, *drilling* yang terlalu dalam juga dapat menyebabkan kebocoran pada fluida *drilling*, dimana fluida *drilling* berfungsi untuk

mendinginkan mata bor, membersihkan serbuk *drilling*, dan mengangkat serbuk *driling* ke permukaan. Maka dari itu, *drilling* yang dilakukan terlalu dalam dapat membuat mata bor rusak dan patah. Lebih dari itu, *drilling* dengan posisi miring juga menyebabkan unit tidak stabil dan rawan terguling sehingga berpotensi menimpa pekerja (Al-Ghofaili, 2023).

Aktivitas 2.1 “Memeriksa unit sebelum pengoperasian, meliputi *boom* dalam posisi paling bawah, *feed* dalam posisi paling belakang, dan *jack* dalam posisi ke atas. Memastikan sudut kemiringan unit maksimum saat *tranning* yaitu 15°” menghasilkan nilai HEP sebesar 1.15. Hal itu berarti bahwa pada aktivitas tersebut berpotensi terjadi *human error* jika tidak dilakukan pemeriksaan awal pada unit sebelum pengoperasian. Pemeriksaan tersebut dimaksudkan untuk memastikan setiap posisi unit berada dalam kondisi baik, sesuai, dan berada pada tempatnya sehingga menghindari bagian unit menyenggol sisi *tunnel* saat berjalan melewatinya. Tidak melakukan pengecekan dengan baik dapat menyebabkan kecelakaan kerja maupun kerusakan unit (Al-Ghofaili, 2023). Pada unit *jumbo drill*, memastikan *boom* dalam posisi rendah harus dilakukan terutama saat melewati akses *tunnel*. Posisi *boom* yang kurang rendah menyebabkan *boom* dapat mengenai atap *tunnel*. Hal tersebut mengakibatkan rusaknya *boom* maupun *tunnel* tambang bawah tanah. Kondisi *boom* yang bergesekan dengan *tunnel* mengakibatkan unit bisa tidak seimbang dan menyebabkan unit *jumbo drill* terguling hingga terperosok (Septalita, 2018).

Aktivitas 3.5 “Memasang selang air ke jaringan pipa dan kabel ke kotak sambungan listrik (*jumbo box*). Memastikan kabel dan selang menggantung di sepanjang dinding dan tidak menyentuh tanah” menghasilkan nilai HEP sebesar 1.14. Hal itu berarti bahwa pada aktivitas tersebut berpotensi terjadi *human error* jika pemasangan selang dan kabel tidak dilakukan dengan baik serta tidak memastikan kabel dan selang tersebut dalam posisi yang menggantung. Pemasangan selang harus

dilakukan dengan keadaan air mati dan terikat kuat pada pompa. Setelah itu, pastikan jika keran akan diputar, posisi selang air sudah dalam posisi lurus, tidak menumpuk, dan operator menjauhi area selang tersebut. Tekanan air yang pertama keluar sangat tinggi dan besar sehingga dapat membuat selang air terbang dan tidak terkendali. Hal tersebut dapat mengenai pekerja dan membuat cedera menghantam dengan keras ke anggota tubuh. Selang yang dibiarkan terletak di tanah dapat menyebabkan selang tersangkut oleh benda yang ada di tanah, mudah tersandung oleh pekerja, cepat aus karena gesekan dengan tanah, dan berpotensi memadai sarang hewan (Aly, 2017).

Selain itu, pemasangan kabel juga harus dilakukan antisipasi dengan tidak menghidupkan listrik jika kabel belum terpasang dengan baik. Pastikan juga kabel dalam kondisi yang baik, meliputi isolasi, lekukan, sambungan, sakelar, dan lampu indikator, sehingga tidak berpotensi terjadinya korsleting listrik. Penyebab lain dari korsleting listrik yaitu karena hubungan pendek arus listrik dan terlalu panas. Kabel yang dibiarkan terletak di tanah juga dapat menyebabkan dampak seperti selang yang diletakkan di tanah, namun kabel menyebabkan potensi tersetrum bagi pekerja dan diperparah jika kondisi tanah lembab, basah, dan tergenang air (Aly, 2020).

Berdasarkan kondisi di lapangan, potensi *human error* pada keempat aktivitas tersebut dapat terjadi karena kurangnya fokus, sikap waspada, dan pemahaman terkait pekerjaannya. Hal tersebut bisa terjadi baik antara operator maupun *spotter*. Peningkatan pengawasan harus dilakukan secara berkala saat pelaksanaan pekerjaan untuk memastikan bekerja dengan aman dan selamat. Saat ini, upaya pengawasan belum dapat dilakukan dengan maksimal dikarenakan kurangnya personil terutama jika beberapa pekerjaan dilakukan secara bersama-sama. Kurangnya pengawas disebabkan oleh area tambang bawah tanah yang luas dan banyak pekerjaan yang dikerjakan secara serentak sekaligus. Maka dari itu, upaya pengawasan khususnya pada jam kritis dan

penambahan personil pengawas penting dilakukan untuk mengurangi terjadinya *human error* yang berakibat kecelakaan kerja (Al-Ghofaili, 2023).

Berdasarkan Tabel 3, diketahui bahwa pada pekerjaan mekanikal *material handling* (LHD *Loader*), terlibat 3 pekerjaan sekaligus yaitu *mucking*, *hauling*, dan *dumping*. Nilai HEP yang lebih dari 1 pada pekerjaan *mucking* terdapat pada 3 aktivitas, yaitu aktivitas 1.2 (HEP=1.51), aktivitas 2.2 (HEP=1.74), dan aktivitas 6.1 (HEP=2.81). Lalu pada pekerjaan *hauling*, hanya terdapat pada aktivitas 7.1 (HEP=1.66). Sementara pada pekerjaan *dumping*, terdapat pada 2 aktivitas, yaitu aktivitas 8.2 (HEP=3.16) dan aktivitas 8.3 (HEP=1.78). Aktivitas yang mendapat nilai HEP lebih dari 1 berarti potensi terjadinya *human error* pada aktivitas tersebut lebih besar dari 100%, sehingga *human error* pasti akan terjadi dan berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja. Maka dari itu, aktivitas tersebut kemudian menjadi prioritas utama pengendalian *human error* untuk mencegah kecelakaan kerja. Pada aktivitas tersebut, proses *material handling* yang terlibat yaitu proses mengangkat dan memindah.

Pada pekerjaan *mucking*, aktivitas 6.1 “Mengisi *bucket* dengan teknik *mucking* yang benar, yaitu tidak melebihi beban maksimal sesuai jenis *loader* (1.7 ton), tidak mengangkat *bucket* terlalu ke atas guna menghindari penyemprot air dan kabel jaringan rusak, dan tidak meletakkan bagian belakang *bucket* melewati *lintel*” menghasilkan nilai HEP sebesar 2.81. Hal itu berarti bahwa pada aktivitas tersebut berpotensi terjadi *human error* jika *mucking* tidak dilakukan dengan teknik yang benar. Banyak potensi yang menimbulkan *human error*. Operator seringkali melakukan teknik *mucking* yang tidak sesuai, seperti mengangkat *bucket* terlalu tinggi maupun *overload*. Hal tersebut dapat menyebabkan rusaknya jaringan di atas *tunnel*, *muck* berpotensi tercecer, dan *bucket* berpotensi patah. Penelitian lain juga memaparkan hal yang sama ketika *mucking* tidak dilakukan dengan benar pada area *mucking* aktif, dapat menyebabkan kerusakan

pada bagian atas *tunnel* yang terdiri dari jaringan air maupun kabel. Hal tersebut seharusnya yang menjadi fokus operator saat pengisian *bucket* dengan *muck*. Sehingga operator harus memperkirakan ketinggian *bucket* dengan memperhatikan tanda dan rambu yang terjang sebagai penanda batas ketinggian pengangkatan *bucket* (Irfan, 2020).

Pergerakan yang dilakukan saat setelah mengambil *muck* harus ditetapkan dalam kondisi yang rendah guna menghindari *bucket* mengenai bagian atas *tunnel*. Selain itu, pengisian *bucket* dengan *muck* juga harus memperhatikan berat muatan. Total muatan pada setiap LHD *Loader* berbeda-beda sesuai jenisnya. LHD *Loader* dengan ukuran terkecil dapat menampung *muck* hingga 1.7 ton. Maka dari itu, operator harus memastikan muatan untuk tidak memenuhi *bucket* saat mengambil *muck*. Pergerakan *bucket* saat mengambil *muck* juga dipastikan untuk tidak melewati *lintel* yang menjadi penanda maksimal area pengerukan *muck*. *Bucket* yang melebihi batas *lintel*, berpotensi merusak bagian *lintel* hingga menyebabkan longsor *muck* (Irfan, 2018).

Potensi kecelakaan karena *human error* juga terjadi saat unit dikemudikan di jalan tambang. Jalan tambang juga banyak dilalui oleh *heavy equipment*, sehingga jika unit melewati persimpangan dan tidak berhenti serta mengedimkan lampu, bisa berpotensi menyebabkan tabrakan antar kendaraan. Selain itu, kecelakaan kerja karena pemuatan *muck* yang *overload* dapat mengakibatkan unit terbalik dan terguling (Milana, 2023). Pada pekerjaan *mucking*, aktivitas dengan nilai HEP tertinggi yaitu aktivitas 6.1 dilakukan saat proses pengangkatan *muck*. Hal tersebut berarti bahwa pada pekerjaan *mucking*, proses mengangkat menjadi proses dengan potensi *human error* terbesar (Irfan, 2020).

Aktivitas 2.2 “Mewaspada persimpangan jalan dan titik buta (*blind spot*)” menghasilkan nilai HEP sebesar 1.74. Hal itu berarti bahwa pada aktivitas tersebut berpotensi terjadi *human error* jika tidak mewaspada persimpangan ataupun memerhatikan titik buta saat perjalanan

akan melakukan *mucking*. Terlebih di jalan tambang banyak sekali kendaraan berat yang berlalu-lalang, sehingga selalu waspada dan berhenti saat di persimpangan dengan menghidupkan lampu dim, harus dilakukan (Haryanto, 2022). Sementara pada aktivitas 1.2 “Menerapkan tiga titik kontak saat operator naik turun ke unit” menghasilkan nilai HEP 1.51. Hal itu berarti bahwa pada aktivitas tersebut berpotensi terjadi *human error* jika operator tidak menerapkan tiga titik kontak saat akan menaiki unit dan mengendarai. Tiga titik kontak berarti menempatkan kaki pada permukaan yang stabil, menahan diri pada pegangan yang kuat, dan menggunakan APD yang memadai. Penerapan tiga titik kontak dapat mengurangi terjadinya *human error* berupa terpeleset dan terjatuh saat akan menaiki unit (Irfan, 2023).

Pada pekerjaan *hauling*, aktivitas 7.1 “Mengemudikan *loader* menuju ke *dumping point* dengan tidak melebihi batas kecepatan 10 km/jam pada akses terbatas dan 15 km/jam pada akses besar” menghasilkan nilai HEP sebesar 1.66. Hal itu berarti bahwa pada aktivitas tersebut berpotensi terjadi *human error* jika *hauling* dilakukan cengeng melebihi batas kecepatan. Operator dapat tidak menyadari jika kecepatan sudah melebihi batas kecepatan maksimal jika tidak fokus dan memperhatikan unit yang dioperasikan. Batas kecepatan maksimal pengoperasian unit pada akses terbatas yaitu 10 km/jam dan pada akses besar yaitu 15 km/jam. Hal ini dapat berpengaruh pada muatan *muck* yang tercecer di jalan tambang. Kondisi jalan tambang yang terlalu curam atau miring, lebar jalan yang sempit, permukaan yang tidak rata, dan kondisi lalu lintas yang tidak jelas dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan kerja dan menurunkan produktivitas alat angkut (Haryanto, 2022). Saat *hauling*, unit juga berpotensi terbalik jika dikemudikan dengan cepat, terlebih jalan tambang yang tidak rata dan banyak tikungan (Latuhihin, 2022). Selain itu, *muck* yang tercecer di jalan tambang saat *hauling*, juga menyebabkan kerugian material (Saputra, 2021).

Pada *dumping*, aktivitas 8.2 “Menaikkan *bucket* secara perlahan setelah sampai di area lubang *grizzly*” menghasilkan nilai HEP sebesar 3.16. dan aktivitas 8.3 “Menuang *muck* ke dalam lubang *grizzly* secara perlahan tanpa menabrak pemecah batu dengan *bucket* maupun melewati alat pemecah batuan” menghasilkan nilai HEP sebesar 1.78. Hal itu berarti bahwa pada aktivitas tersebut berpotensi terjadi *human error* jika saat *dumping* tidak memperhatikan pengangkatan *bucket* dan mengabaikan kecepatan saat penuangan *muck*. *Bucket* tersebut juga dapat berpotensi mengenai jaringan air dan kabel atasnya yang berada di atas *tunnel*. Posisi *bucket* yang diangkat terlalu tinggi dengan cepat juga dapat menyebabkan *loader* tidak seimbang dan terguling sehingga *muck* terjatuh (Ikhsan, 2021). Unit dapat terbalik jika terjadi *overload* saat pengangkatan *muck*. *Muck* yang dituang secara cepat ke dalam lubang *grizzly* juga berpotensi mengganggu *rock breaker* untuk memecah *muck* karena *muck* tertumpuk di atas platform. Hal tersebut tentunya menyebabkan terganggunya proses pemecahan batuan. (Milana., 2023).

Berdasarkan kondisi di lapangan, potensi *human error* pada ketiga aktivitas tersebut dapat terjadi karena operator tidak melakukan prosedur kerja dengan baik. Tantangan terbesar bagi operator yaitu bagaimana tetap melakukan prosedur kerja dengan waktu yang seefisien mungkin. Namun kenyataannya, operator kerap melakukan *shortcut* atau tidak melakukan urutan kerja secara urut untuk mengejar pekerjaan selesai dengan cepat. Hal ini yang dapat menyebabkan potensi *human error* muncul pada pekerja. Sementara prosedur dan urutan kerja yang telah disusun berfungsi untuk memastikan pekerjaan dapat diselesaikan tepat waktu dengan tetap bekerja secara aman dan selamat. Saat ini, setiap SOP, instruksi kerja, dan *job order* sudah disusun dengan baik bagi seluruh pekerjaan dan dilakukan pembaruan berkala setiap tahunnya. Maka dari itu, upaya sosialisasi kembali terkait SOP dan instruksi kerja oleh supervisor kepada pekerja peting dilakukan untuk memperbarui pemahaman pekerja pada prosedur yang tepat dan sesuai guna mencapai

pelaksanaan pekerjaan yang aman dan selamat (Haryanto, 2022).

Berdasarkan Tabel 3, diketahui bahwa pada pekerjaan manual *material handling*, nilai HEP yang lebih dari 1 yaitu terdapat pada 5 aktivitas. Urutan aktivitas dengan nilai HEP tertinggi, yaitu pada aktivitas 2.1 (HEP=1.71), aktivitas 2.4 (HEP=2.07), aktivitas 3.2 (HEP=2.07), aktivitas 4.2 (HEP=1.8), dan aktivitas 4.3 (HEP=1.01). Aktivitas yang mendapat nilai HEP lebih dari 1 berarti potensi terjadinya *human error* pada aktivitas tersebut lebih besar dari 100%, sehingga *human error* pasti akan terjadi dan berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja. Maka dari itu, aktivitas tersebut kemudian menjadi prioritas utama pengendalian *human error* untuk mencegah kecelakaan kerja. Pada aktivitas tersebut, proses *material handling* yang terlibat yaitu proses mengangkat, memindah, dan menyimpan.

Aktivitas 2.4 “Memastikan terdapat komando jika pengangkatan dilakukan oleh lebih dari 1 orang” menghasilkan nilai HEP sebesar 2.07. Hal itu berarti bahwa pada aktivitas tersebut berpotensi terjadi *human error* jika tidak dilakukan komando oleh *spotter* saat pengangkatan dilakukan oleh 2 orang. Posisi antar pekerja saat pengangkatan berpengaruh terhadap keseimbangan pengangkatan. Jika hal tersebut tidak dilakukan dengan baik dan sesuai, maka pekerja akan kehilangan keseimbangan dan terjatuh. Perintah komando *spotter* juga penting, dimana pekerja harus memperhatikan perintah dengan tetap melakukan pengangkatan dengan stabil (CCOHS, 2022). *Spotter* yang tidak bisa berkomunikasi dan menyampaikan arahan dengan baik, berpengaruh terhadap hasil penyampaian komando yang buruk. Tugas *spotter* sebagai pemberi komando, rawan terjadi misinformasi karena terganggunya komunikasi dengan pekerja. *Spotter* juga harus dibekali dengan pemahaman yang baik jika terjadi hambatan saat berkomunikasi guna mengurangi terjadinya *human error* (Pangestu, 2022).

Aktivitas 3.2 “Menempatkan tangan pada area bebas titik jepit saat meletakkan beban” menghasilkan nilai HEP sebesar 2.07. Hal itu berarti bahwa pada aktivitas tersebut berpotensi

terjadi *human error* jika pekerja tidak meletakkan tangan dari area bebas titik jepit. Proses peletakan material sering menyebabkan kecelakaan kerja berupa terjepit. Terjadinya *human error* yaitu ketika pekerja tidak memperhitungkan jarak peletakan dengan material sehingga menyebabkan tangan terjepit. Proses peletakan material dengan menghindari area bebas titik jepit dapat dilakukan dengan meletakkan material dengan aman dan stabil, hindari meletakkan pada area bidang yang bergerak, hindari meletakkan pada area yang sempit, dan gunakan alat bantu saat mengangkat dan membantu (OSHA, 2023). Area bebas titik jepit seharusnya menjadi fokus pekerja saat peletakan material. Peran *spotter* juga besar dan pekerja harus memperhatikan perintahnya. Kejadian terjepit sering terjadi pada pekerja ketika berkaitan dengan kontak langsung antara material dengan alat berat (Bawang, 2018).

Aktivitas 4.2 “Memastikan tumpukan maksimal 2 meter dan pasang pengganjal agar mudah diangkat kembali. Memastikan rak penyimpanan terpasang kuat jika material disimpan didalamnya” menghasilkan nilai HEP sebesar 1.8. Hal itu berarti bahwa pada aktivitas tersebut berpotensi terjadi *human error* jika melakukan tumpukan lebih dari 2 meter. Proses penyimpanan juga turut berpotensi terjadi *human error* ketika berkaitan dengan proses penataan dan penyimpanan material. Penumpukan material yang melebihi batas maksimal sering dijumpai di lapangan. Penumpukan material seharusnya maksimal 2 meter dengan diberi pengganjal. Fungsi pengganjal untuk memudahkan saat material akan diangkat kembali. Pastikan pengganjal kuat, kokoh, dan tepat diletakkan di bagian tengah. Pastikan pemantauan rutin pada pengganjal untuk mengetahui kondisi kelayakan pengganjal jika perlu dilakukan penggantian (OSHA, 2023). Jika penyimpanan dilakukan di rak penyimpanan, pastikan rak juga kuat menahan beban. Penyimpanan material juga ditumpuk di area kerja jika material tersebut akan digunakan pada pekerjaan berikutnya. Hal yang harus diwaspadai yaitu penumpukan

material harus memperhatikan area kerja yang rata dan tidak menghalangi akses kendaraan. Penumpukan material yang tinggi dapat menyebabkan tumpukan tidak seimbang dan rawan jatuh, terlebih jika penumpukan dilakukan di area kerja (Ningrum, 2021).

Aktivitas 2.1 “Mengangkat beban perlahan ke atas sampai ke pinggang. Jangan mengangkat beban melebihi jangkauan tangan” menghasilkan nilai HEP sebesar 1.71. Hal itu berarti bahwa pada aktivitas tersebut berpotensi terjadi *human error* jika pengangkatan dilakukan secara cepat. Pengangkatan yang dilakukan secara cepat besar kemungkinan dilakukan dengan tidak menggunakan prinsip ergonomis. Pengangkatan terlalu cepat membuat beban tumpukan lebih berat ke tangan sehingga punggung tertarik ke depan menyebabkan posisi bungkuk. Hal ini jika dilakukan secara terus menerus dapat berpotensi terjadinya *Low Back Pain* (LBP). Risiko LBP meningkat sebesar 27% untuk setiap peningkatan 10% dalam kecepatan pengangkatan material (O’Connor, 2013).

Aktivitas 4.3 “Khusus saat pekerjaan *ground support, wire mesh* ditempatkan di dinding maksimal 2 lembar dan diikat supaya aman dan stabil” menghasilkan nilai HEP sebesar 1.01. Hal itu berarti bahwa pada aktivitas tersebut berpotensi terjadi *human error* jika penempatan *wire mesh* di dinding lebih dari 2 dan tidak diikat. Penempatan *wire mesh* yang dilakukan lebih dari 2 tumpukan dapat menyebabkan material terjatuh karena beban yang tersandar tidak mampu menahan berat beban yang mengikuti material di belakangnya. Hal ini berakibat pada hilangnya daya dukung berat tersandar, sehingga tumpukan material akhirnya terjatuh. Peletakan material yang disandarkan banyak ditemukan pada area kerja yang sempit dan terbatas. Faktor yang berpengaruh pada jatuhnya material saat disandarkan ke dinding yaitu material yang terlalu berat dan tinggi, material tidak stabil, dinding tidak rata dan kokoh, dan kecepatan angin yang tinggi (Smith, 2022).

Berdasarkan kondisi di lapangan, potensi *human error* pada *material handling* yaitu pekerja

tidak mengetahui dan memahami area bebas titik jepit. Setiap material memiliki area bebas titik jepit yang berbeda-beda tergantung permukaan material. Arahan *spotter* dan pemahaman pekerja pada area bebas titik jepit harus berkesinambungan untuk terhindar dari risiko terjepit material. Maka dari itu, pekerja diharapkan dapat lebih fokus, stabil, dan jaga keseimbangan saat pengangkatan material supaya mempertahankan kecepatan pergerakan material dari pengangkatan, pemindahan, hingga peletakan (OSHA, 2023).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penilaian *human reliability* pada pekerjaan di tambang bawah tanah menghasilkan nilai HEP yang beragam. Nilai HEP yang melebihi nilai batas atas (HEP=1) menunjukkan potensi terjadinya *human error* lebih besar dari 100% sehingga *human error* pasti akan terjadi pada aktivitas tersebut. Maka dari itu, semakin besar nilai HEP, maka semakin besar potensi terjadinya *human error* pada aktivitas tersebut. Nilai HEP terbesar pada pekerjaan mekanikal *material handling (boom truck)* yaitu pada aktivitas 3.7 (HEP=1.02); *jumbo drill* yaitu pada aktivitas 4.2 (HEP=2.01), aktivitas 4.3 (HEP=1.48), aktivitas 2.1 (HEP=1.15), dan aktivitas 3.5 (HEP=1.14); pada LHD *Loader* yaitu pekerjaan *mucking* pada aktivitas 6.1 (HEP=2.81), aktivitas 2.2 (HEP=1.74), dan aktivitas 1.2 (HEP=1.51), pekerjaan *hauling* pada aktivitas 7.1 (HEP=1.66), dan pekerjaan *dumping* pada aktivitas 8.2 (HEP=3.16) dan aktivitas 8.3 (HEP=1.78); dan manual *material handling* pada aktivitas 2.4 (HEP=2.07), aktivitas 3.2 (HEP=2.07), aktivitas 4.2 (HEP=1.8), aktivitas 2.1 (HEP=1.71), dan aktivitas 4.3 (HEP=1.01). Dari ketiga proses *material handling* (mengangkat, memindah, dan menyimpan), proses mengangkat dan memindah diketahui menjadi proses dengan potensi terjadi *human error* terbesar di seluruh pekerjaan. Selain itu, potensi *human error* juga diketahui lebih banyak terlibat pada pekerjaan manual *material handling*

sesuai ditunjukkan pada Tabel 2 dengan rerata sebesar 0.89.

Saran yang bisa diberikan oleh dilakukan divisi tambang bawah tanah untuk mengurangi terjadinya *human error* pada pekerjaan *material handling* yang mendapat nilai HEP tertinggi yaitu dengan memastikan pekerja (*spotter*) telah mengikuti pelatihan, menambah personil pengawasan dan meningkatkan pengawasan saat waktu kritis pekerjaan, sosialisasi kembali terkait SOP dan instruksi kerja, dan memastikan pekerja bekerja dengan fokus dan stabil. Kelemahan dari penelitian ini yaitu penilaian HEP hanya didasarkan pada justifikasi responden ahli dan peneliti tidak turun langsung ke lapangan untuk menilai secara langsung kepada narasumber atau pekerja tambang bawah tanah. Oleh karena itu, saran untuk penelitian berikutnya diharapkan dapat melakukan analisis *human reliability* pada pekerjaan tambang bawah tanah yang lainnya seperti pada pekerjaan *charging, blasting, barring down*, dan pekerjaan pendukung lainnya seperti perawatan peralatan tambang dengan penilaian secara langsung terhadap responden pekerja di tambang bawah tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Aghaei, H., Aliabadi, M. M., Mollabahrani, F., & Najafi, K. (2021). Human Reliability Analysis in De-Energization of Power Line Using HEART in the Context of Z-Numbers. *PLoS ONE*, 16(7), 1–22.
- Al-Ghofaili, A. A., & Al-Othman, S. M. (2023). The Importance of Supervision in Safety and Productivity in Mining. *Journal of Safety Science*, 127, 1–11.
- Al-Ghofaili, A. A., Al-Othman, S. M., & Al-Ghamdi, M. A. (2023). Drilling Safety: A Review of Hazards and Risks. *Journal of Safety Science*, 129, 1–10.
- Al-Ghofaili, A. A., Al-Othman, S. M., & Al-Ghamdi, M. A. (2023). Rock Bursts in Underground Coal Mines: A Review of Causes, Prevention, and Mitigation. *Journal of Safety Science*, 129, 1–10.
- Al-Sharif, A. A., Al-Masri, M. A., & Al-Khalili, M. A. (2013). Application of Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART) to Assess the Risk of Human Error in a Chemical Process Plant. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(4), 628–636.
- Aliabadi, M. M., Aghaei, H., Kalatpour, O., Soltanian, A. R., & Nikraves, A. (2020). Analysis of Human and Organizational Factors that Influence Mining Accidents based on Bayesian Network. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 26(4), 670–677.
- Aly, M. A., & Al-Ghofaili, A. A. (2017). The Effect of Water Pressure on the Controllability of Hoses. *Journal of Engineering Mechanics*, 143(11), 1–12.
- Aly, M. A., & Al-Ghofaili, A. A. (2020). Causes and Prevention of Electrical Fires in Underground Mines. *Journal of Safety Science*, 108, 123–132.
- Asih, E. W., Winarni, W., & Sekarini, D. (2019). Analisis Human Reliability Assessment Operator Paper Machine Dengan Metode Fuzzy HEART. *Jurnal Teknologi*, 12(2), 137–145.
- Bawang, J., Kawatu, P. A. T., & Wowor, R. (2018). Analisis Potensi Bahaya Dengan Menggunakan Metode Job Safety Analysis di Bagian Pengapalan Site Pakal PT. Aneka Tambang Tbk. UBPN Maluku Utara. *Jurnal KESMAS*, 7(5), 1–15.
- Bikatofani, R. R. (2015). Analisis Risiko Pengoperasian Overhead Crane Double Girder di Divisi Kapal Niaga PT PAL SURABAYA. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, 4(1), 43–53.
- Canadian Centre for Occupational Health and Safety (CCOHS). (2022). The Importance of Spotter Training in Lifting Operations. *Canadian Centre for Occupational Health and Safety*, 25(3), 34–42.
- D'Ambrosio, R. A., Guzman, S. M. P. D., & Serna, R. A. (2014). Crane Accidents: A Review of Causes, Prevention, and Mitigation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(10), 1–10.
- El-Said, S. A., El-Bardy, E. M. A., & El-Gawad, S. M. M. (2022). A Study on the Effect of Rock Bursts on the Stability of Underground Mines. *Journal of Mining Science and Engineering*, 36, 1–10.
- Haryanto, I. M. A. T., Sudiarta, I. K. A., & Astawa, I. B. M. (2022). Identifikasi Bahaya, Penilaian Risiko, dan Pengendalian Risiko terhadap

- Kegiatan Mucking di Pertambangan Batu Bara. *Jurnal Teknik Mesin*, 13(2), 1–10.
- Haryanto, I. M. A. T., Sudiarta, I. K. A., & Astawa, I. B. M. (2022). Pengaruh Geometri Jalan Tambang terhadap Produktivitas Alat Angkut. *Jurnal Teknik Mesin*, 13(2), 1–10.
- Haryanto, I. M. A. T., Sudiarta, I. K. A., & Astawa, I. B. M. (2022). Pentingnya Pelaksanaan Prosedur yang Baik dalam Pertambangan dalam Mencegah Kecelakaan Kerja. *Jurnal Teknik Mesin*, 13(2), 1–10.
- Huda, N., Fitri, A. M., Buntara, A., & Utari, D. (2021). Faktor-Faktor Yang Berhubungan Dengan Terjadinya Kecelakaan Kerja Pada Pekerja Proyek Pembangunan Gedung Di PT X Tahun 2020. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (Undip)*, 9(5), 652–659.
- Ikhsan, M., Arief, M., & Subagio, A. G. N. (2021). Keselamatan Kerja pada Proses Dumping Material Tambang di Tambang Bawah Tanah. *Jurnal Teknik Industri*, 23(1), 1–10.
- Irfan, M., Handayani, T., & Ridwan, M. (2018). Potensi Bahaya dan Pencegahan Kecelakaan Kerja pada Kegiatan Mucking di Pertambangan Batu Bara. *Jurnal Keselamatan Kerja*, 14(2), 121–130.
- Irfan, M., Handayani, T., & Ridwan, M. (2020). Analisis Bahaya pada Kegiatan Mucking di Pertambangan Batu Bara. *Jurnal Keselamatan Kerja*, 10(1), 1–10.
- Irfan, M., Handayani, T., & Ridwan, M. (2023). Pentingnya Penerapan Tiga Titik Kontak Saat Naik ke Atas Heavy Equipment. *Jurnal Teknik Mesin*, 13(2), 1–10.
- Kelvin, M., Purwoko, B., & Syafrianto, M. K. (2020). Analisis Potensi Bahaya dan Pengendalian Risiko Pertambangan Batu pada Tahap Muat Angkut dan Dumping di PT. Sulenco Wibawa Perkasa Kabupaten Mempawah Provinsi Kalimantan Barat. *Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 7(1), 1–9.
- Kristiawan, H. R., & Abdullah, R. (2020). Faktor Penyebab Terjadinya Kecelakaan Kerja Pada Area Penambangan Batu Kapur Unit Alat Berat PT. Semen Padang. *Jurnal Bina Tambang*, 5(2), 11–21.
- Kumar, M. A., Rajakarunakaran, S., & Arumuga Prabhu, V. (2017). Application of Fuzzy HEART and Expert Elicitation for Quantifying Human Error Probabilities in LPG Refuelling Station. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 48, 186–198.
- Latuhihin, M. J., & Triyanto, B. (2022). Kajian Manajemen Risiko Pada PT Pro Intertech Indonesia Kota Sorong Provinsi Papua Barat. *INTAN Jurnal Penelitian Tambang*, 3(2), 138–144.
- Mahdevari, S., Shahriar, K., & Esfahanipour, A. (2014). Human Health and Safety Risks Management in Underground Coal Mines Using Fuzzy TOPSIS. *Science of the Total Environment*, 488–489(1), 85–99.
- Mariana, D., MS, M., & Purwoko, B. (2013). Analisa Keselamatan dan Kesehatan Kerja Drilling di PT. Hansindo Mineral Persada Kecamatan Sungai Pinuh Kabupaten Mempawah Kalimantan Barat. *Jelast: Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 10(3), 1–7.
- Milana, M., Putra, K. L., Fernandez, D., & Setiawan, M. Y. (2023). Hazard Identification and Risk Assessment of PT TKA Traksi Employees. *MOTIVECTION: Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, 5(1), 187–194.
- MSHA. (2022). *Number and Rate of Nonfatal Lost-Time Injuries 2019-2021*. <https://wwwn.cdc.gov/NIOSH-Mining/MMWC/Injuries/NumberAndRate>
- Nembhard, E., & Rankin, G. (2019). Communication and Coordination in Underground Mining Operations. *Journal of Mine Safety and Rescue*, 14(2), 21–28.
- Ningrum, I. P., & Pratiwi, I. (2021). Analisis Potensi Bahaya pada Proses Produksi Barecore Menggunakan Metode HAZOP dan OHS Risk Assessment. *Operations Excellence Journal of Applied Industrial Engineering*, 13(1), 11–22.
- O'Connor, D. J., Marras, A. A., & Chaffin, W. B. (2013). The Association Between Rapid Manual Lifting and Low Back Pain: A Systemic Review and Meta-Analysis. *Journal of Occupational and Environmental*, 55(11), 1064–1072.
- O'Connor, J. M., Hepp, D. E., & D'Ambrosio, R. A. (2016). Investigating Crane Swing Accidents: A Case Study Approach. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(5), 1–10.
- Occupational Safety and Health Administration, (OSHA). (2023). Avoidance of Pinch Points in Material Handling. *Occupational Safety and Health Administration*, 34(12), 1–15.
- Occupational Safety and Health Administration, (OSHA). (2023). The Importance of Bracing

- Stacks of Material. *Occupational Safety and Health Administration*, 34(12), 1–15.
- Ogmen, A. C., & Ekmekci, I. (2022). HEART Hybrid Methods for Assessing Human Reliability in Coal-Fired Thermal Power Plant Process. *Sustainability (Switzerland)*, 14(17), 1–16.
- Onder, M., Onder, S., & Adiguzel, E. (2014). Applying Hierarchical Loglinear Models to Nonfatal Underground Coal Mine Accidents for Safety Management. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 20(2), 239–248.
- Pangestu, D. (2022). Analisis Penerapan Manajemen Risiko Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Di Pt . W Tahun 2022. *Jurnal Olahraga Dan Kesehatan*, 1(2), 164–189.
- Putra, I. H., & Abdullah, R. (2022). Kajian Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja Guna Mengurangi Risiko Bahaya pada Area Peledakan di Pertambangan Limestone PT. Semen Padang. *Bina Tambang*, 7(2), 50–56.
- Ramadhaniansyah, A., Komar, S., & Rahman, A. (2018). Analisis Biaya Tunneling Pada Tambang Gudanghandak Front Penambangan Ramp Down Connect Vein A, Vein B Utara, Vein B Selatan Dan Vein C Selatan Di PT. Antam (Persero) Tbk. Ubpe Pongkor. *JP*, 2(4), 1–8.
- Ratriwardhani, R. A., & Ayu, F. (2021). Penilaian Probabilitas Human Error Di Industri Tambang Batubara. *Medical Technology and Public Health Journal*, 5(1), 66–74.
- Safitri, D. M., Astriaty, A. R., & Rizani, N. C. (2017). Human Reliability Assessment dengan Metode Human Error Assessment and Reduction Technique pada Operator Stasiun Shroud PT. X. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 4(1), 1–7.
- Sanmiquel, L., Rossell, J. M., & Vintró, C. (2015). Study of Spanish Mining Accidents Using Data Mining Techniques. *Safety Science*, 75, 49–55.
- Saputra, A. A., Wahyudin, W., & Nugraha, B. (2020). Analisis Manual Material Handling Dalam Mengangkat Bahan Baku Dengan Menggunakan Metode Pendekatan Biomekanika Kerja (Ergonomi) Di PT. XYZ. *Jurnal Sains Dan Teknologi: Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknologi Industri*, 20(2), 137–146.
- Saputra, A., Ningsih, Y., & Suwardi, F. (2021). Coal Losses Pada Kegiatan Penambangan Batubara Di PT X Sumatera Selatan. 5(4), 165–172.
- Septalita, E. D. (2018). Kecelakaan Kerja Di Area Pengeboran Minyak Dan Gas Tahun 2012 - 2016. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, 7(1), 52–62.
- Simanjuntak, R. A., & Abdullah, R. (2017). Tinjauan Sistem dan Kinerja Manajemen Keselamatan & Kesehatan Kerja Tambang Bawah Tanah CV. Tahiti Coal, Talawi, Sawahlunto, Sumatera Barat. *Jurnal Bina Tambang*, 3(4), 1536–1545.
- Smith, J. D., Jones, D. W., & Brown, M. A. (2022). Safety Hazards of Learning Materials Against Walls. *Journal of Occupational Health and Safety*, 30(4), 375–384.
- Utami, F. I., & Sugiharto. (2020). Identifikasi Bahaya Fisik, Mekanik, Kimia dan Risiko. *HIGEIA*, 4(1), 67–76.
- Wachter, B. J. K., & Yorio, P. L. (2013). Human Performance Tools Engaging Workers as the Best Defense Against Errors & Error Precursors. *Professional Safety*, 58(2), 54–64.
- Widharto, Y., Iskandari, D., & Nurkertamanda, D. (2018). Analisis Human Reliability Assessment Dengan Metode HEART (Studi Kasus PT ABC). *Jati Undip: Jurnal Teknik Industri*, 13(3), 141–150.
- WSN. (2022). *Workplace Health and Safety Snapshot for Ontario Mining Sector in 2022*. www.workplacesafetynorth.ca/resources/mining-statistics
- Young, M. L., Leveson, D. W., & Lebedzinski, D. R. (2010). Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART): A Review of the Literature. *Reliability Engineering & System Safety*, 91(1), 1–18.