
INOVASI *MOBILE DIGITAL VIDEO RECORDER* (MDVR) MENGURANGI RISIKO KECELAKAAN TAMBANG NIKEL PT PPA

Ashthofi Zainati¹⁾, Rayhan Fadillah²⁾, Fikri Fahmi Amrulloh³⁾, Sukardi Yusuf⁴⁾.

¹PT Putra Perkasa Abadi

email: ashthofi.zainati@ppa.co.id

² PT Putra Perkasa Abadi

email: rayhan.fadillah@amm.id

³ PT Putra Perkasa Abadi

email: fikri.fahmi@ppa.co.id

⁴ PT Putra Perkasa Abadi

email: sukardi.yusuf@ppa.co.id

*Penulis Korespondensi: ashthofi.zainati@ppa.co.id

Abstract

The mining industry faces a high risk of work-related accidents, often caused by fatigue and lack of supervision. PT Putra Perkasa Abadi (PPA), which experienced a fatigue-related incident in 2023, implemented the "Eagle Eyes" program at its MLP Site starting in 2024. This program utilizes Mobile Digital Video Recorder (MDVR) technology integrated with a Driver Monitoring System (DMS) and Advanced Driver Assistance Systems (ADAS). This study aims to analyze the effectiveness of the Eagle Eyes program in reducing accident risk. The method used is descriptive quantitative, monitoring 285 dump truck operators in real-time. The results from the April-July 2025 period show a significant decrease in key risk factors. Eyes Closed (fatigue indicator) findings dropped from 29,353 to 12,613 cases, Yawning dropped from 7,608 to 1,143 cases, and Phone Call Alarm (distraction) dropped from 431 to 87 findings. This study concludes that the Eagle Eyes program successfully reduced fatigue-related incidents and distractions, strengthening the behavior-based safety culture at PT PPA Site MLP.

Keywords: Behavior Based Safety, Driver Monitoring System, Fatigue, MDVR, Mining Safety

Abstrak

Industri pertambangan memiliki risiko kecelakaan kerja yang tinggi, sering kali disebabkan oleh kelelahan (fatigue) dan kurangnya pengawasan. PT Putra Perkasa Abadi (PPA) yang mengalami insiden terkait kelelahan pada tahun 2023, mengimplementasikan program "Eagle Eyes" di Site MLP mulai tahun 2024. Program ini memanfaatkan teknologi Mobile Digital Video Recorder (MDVR) yang terintegrasi dengan Driver Monitoring System (DMS) dan Advanced Driver Assistance Systems (ADAS). Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas program Eagle Eyes dalam mengurangi risiko kecelakaan. Metode yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif, dengan memantau 285 operator dump truck secara real-time. Hasil penelitian periode April-Juli 2025 menunjukkan penurunan signifikan pada faktor risiko utama. Temuan Eyes Closed (indikator kelelahan) turun dari 29.353 menjadi 12.613 kasus, Yawning turun dari 7.608 menjadi 1.143 kasus, dan Phone Call Alarm (distraksi) turun dari 431 menjadi 87 temuan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa program Eagle Eyes berhasil mengurangi insiden terkait kelelahan dan distraksi, serta memperkuat budaya behavior based safety di PT PPA Site MLP.

Kata Kunci: Driver Monitoring System, Kelelahan Kerja, Keselamatan Pertambangan, MDVR, Perilaku Berbasis Keselamatan.

1. PENDAHULUAN

Industri pertambangan merupakan salah satu sektor yang memiliki peran strategis dalam mendorong pertumbuhan ekonomi suatu negara. Namun, di balik kontribusinya yang signifikan, pertambangan merupakan kegiatan dengan risiko tinggi terjadinya suatu kecelakaan. Kegiatan ini membutuhkan perhatian khusus karena melibatkan faktor manusia, peralatan atau mesin, bahan, dan lingkungan kerja (Arianti *et al*, 2021). Keselamatan Pertambangan adalah segala kegiatan yang meliputi pengelolaan keselamatan dan kesehatan kerja pertambangan dan keselamatan operasional pertambangan (Widijanto *et al*, 2024).

Penerapan keselamatan pertambangan sangat penting dalam kegiatan pertambangan karena bertujuan untuk mengurangi faktor-faktor penyebab kecelakaan kerja. Dua faktor yang sering menjadi sorotan dalam kecelakaan kerja di sektor pertambangan adalah Kelelahan Bekerja (*Fatigue*) dan Kurangnya pengawasan (*Lack of supervision*). Kelelahan kerja merupakan masalah serius di lingkungan pertambangan yang menuntut fisik dan mental pekerja. Di Amerika Serikat, misalnya, 21% dari kecelakaan fatal dapat dikaitkan dengan kantuk/kelelahan pengemudi dan jika dibandingkan dengan di Peru, secara spesifik, 93,9% kecelakaan disebabkan oleh pengemudi, dan Kementerian Kesehatan di sana menunjukkan bahwa 30% kecelakaan terkait dengan kelelahan dan kantuk di depan kemudi (Kundinger *et al*, 2020).

Kelelahan pengemudi (*driver fatigue*) adalah kontributor signifikan terhadap kecelakaan di jalan raya di seluruh dunia. Saat pengemudi lelah, mereka menunjukkan karakteristik seperti reaksi yang lebih lambat, kurang perhatian, dan fungsi sensorik yang melemah (Yan *et al*, 2020).

Penelitian Tong R *et al* (2022) menyebutkan risiko kecelakaan hampir empat kali lebih tinggi saat berada dalam kondisi mengantuk.. Kelelahan kerja berpengaruh negatif terhadap perilaku keselamatan, dan pengawasan yang efektif dapat memediasi dampak buruk kelelahan terhadap kecelakaan kerja. Kelelahan kerja terutama untuk pekerja tambang, khususnya operator merupakan salah satu isu utama bagi departemen *Safety, Health,*

and Environment (SHE) yang perlu dikelola (Djamalakus *et al*, 2021).

Kelelahan operator biasanya umumnya diakibatkan dengan aktivitas mengemudi yang melibatkan mental dibanding fisik karena memerlukan koordinasi antara kewaspadaan, perhatian, dan pengambilan keputusan yang kompleks. Fenomena kelelahan kerja dapat memicu kejadian seperti *microsleep* atau tertidur sesaat di balik kemudi alat berat dimana hal ini menjadi ancaman nyata bagi keselamatan operasional tambang (Eiter *et al*, 2014).

Revolusi Industri 4.0 khususnya sektor pertambangan sudah mengadopsi teknologi canggih untuk meningkatkan aspek keselamatan pertambangan yang lebih aman dan efisien salah satunya berkaitan dengan Penelitian perubahan Perilaku Pengemudi dengan menerapkan teknologi pemantauan kendaraan di PTFI signifikan berhasil sebesar 90% dan transformasi perilaku pengemudi dengan menurunnya insiden sebesar 9% (Widijanto *et al*, 2024).

PT Putra Perkasa Abadi merupakan kontraktor pertambangan Mineral dan batu bara, pada september tahun 2023 terjadi satu kejadian kecelakaan tambang yang disebabkan karena *Overspeed* dan Kelelahan Kerja. Hal tersebut menjadi landasan awal PT PPA untuk mengimplementasikan program "*Eagle Eyes*" *Mobile Digital Video Recorder* (MDVR) mulai tahun 2024.

Program "*Eagle Eyes*" ini dinilai menjadi solusi inovatif untuk mengatasi masalah kelelahan kerja di sektor pertambangan. Dengan latar belakang tersebut, jurnal ini bertujuan untuk mendeskripsikan dan mengevaluasi penerapan program "*Eagle Eyes*" (MDVR, *Advanced Driver Assistance Systems* (ADAS), dan *Driver Monitoring System* (DMS)), dengan fokus utama pada analisis manfaat, fitur teknologi, dan dampak positifnya terhadap peningkatan keselamatan operasional.

2. KAJIAN LITERATUR DAN PEGEMBANGAN HIPOTESIS

2.1 Kerangka Teori Penyebab Kecelakaan: Teori Domino.

Penelitian ini menggunakan kerangka kerja Teori Domino yang dikemukakan oleh Frank Bird untuk memahami akar

penyebab kecelakaan. Dalam model ini, dijelaskan bahwa penyebab kecelakaan dibagi menjadi penyebab langsung (*Immediate Cause*) dan penyebab dasar (*Basic Cause*). Penyebab langsung adalah tindakan tidak aman (*unsafe acts*) dan kondisi tidak aman (*unsafe conditions*). Sedangkan penyebab dasar adalah faktor-faktor personal dan pekerjaan yang memicu terjadinya penyebab langsung. Intervensi dalam penelitian ini difokuskan untuk mengidentifikasi dan mengoreksi *unsafe acts* (seperti kelelahan dan distraksi) secara *real-time* untuk mencegah terjadinya insiden.

2.2 Faktor Manusia dalam Kecelakaan Tambang: Kelelahan (*Fatigue*) dan Distraksi.

Kajian literatur secara konsisten mengidentifikasi faktor manusia sebagai kontributor dominan dalam kecelakaan industri, khususnya di pertambangan. Dua faktor yang paling sering disorot adalah:

a. Kelelahan Kerja (*Fatigue*):

Kelelahan merupakan isu serius di operasional tambang yang menuntut kewaspadaan tinggi. Kelelahan mental, yang diakibatkan oleh aktivitas mengemudi monoton dan tuntutan pengambilan keputusan, sering kali lebih dominan daripada kelelahan fisik. Kondisi ini dapat berujung pada *microsleep*, yang secara langsung meningkatkan risiko kecelakaan.

b. Kurangnya Pengawasan dan Distraksi:

Selain kelelahan, perilaku distraksi seperti penggunaan telepon genggam saat mengemudi dan kegagalan dalam kepatuhan prosedural merupakan *unsafe acts* yang umum. Literatur menunjukkan bahwa pengawasan yang efektif dapat memediasi dampak buruk kelelahan dan distraksi terhadap terjadinya kecelakaan.

2.3 Intervensi Teknologi sebagai Solusi

Sejalan dengan Revolusi Industri 4.0, sektor pertambangan mulai mengadopsi teknologi canggih untuk memitigasi risiko faktor manusia. Driver Monitoring System (DMS) dan ADAS adalah Teknologi seperti *Mobile Digital Video Recorder* (MDVR) yang terintegrasi

dengan *Advanced Driver Assistance Systems* (ADAS) dan *Driver Monitoring System* (DMS) menjadi solusi inovatif. Sistem ini dirancang untuk memantau perilaku pengemudi secara proaktif, mendeteksi indikator kelelahan (misalnya, *Eye Close*, *Yawning*) dan distraksi (misalnya, *Using Phone*).

2.4 Pengembangan Hipotesis

Berdasarkan kerangka Teori Domino, kelelahan (*fatigue*) dan distraksi (*using phone*) adalah *unsafe acts* (penyebab langsung). Penyebab dasarnya mencakup faktor pribadi (motivasi tidak memadai) dan faktor pekerjaan (kepengawasan yang kurang).

Program "Eagle Eyes" berfungsi sebagai bentuk intervensi pengawasan berbasis teknologi yang bertujuan mengoreksi *unsafe acts* secara *real-time*. Oleh karena itu, penelitian ini diajukan dengan hipotesis (proposisi) sebagai berikut:

H1: Implementasi program "Eagle Eyes" (MDVR, ADAS, dan DMS) secara efektif mengurangi frekuensi *unsafe acts* yang terkait dengan kelelahan (diukur dari *Eye Closed* dan *Yawning*) dan distraksi (diukur dari *Phone Call Alarm*).

H2: Pengurangan *unsafe acts* melalui intervensi "Eagle Eyes" berkontribusi positif terhadap peningkatan budaya *Behavior Based Safety* di lingkungan kerja PT PPA Site MLP.

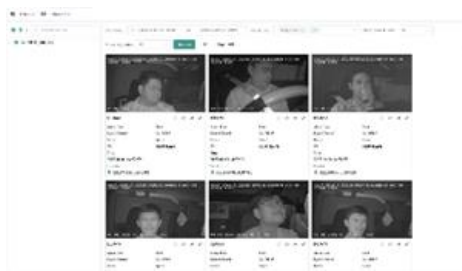
Hipotesis pertama (H1) akan diuji menggunakan data kuantitatif tren temuan DMS. Hipotesis kedua (H2) didukung oleh keberhasilan program dalam menekan perilaku berisiko dan meningkatkan kepatuhan operator.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif untuk mengevaluasi efektivitas implementasi Program *Eagle Eyes* berbasis sistem pemantauan MDVR yang terintegrasi dengan *Advanced Driver Assistance Systems* (ADAS) dan *Driver Monitoring System* (DMS) dalam meningkatkan keselamatan serta efisiensi operasional di area pertambangan. Populasi penelitian mencakup seluruh operator *Dump Truck* dan *Articulated Dump Truck* (ADT)

sebanyak 285 orang, sehingga teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah *total sampling*. Penelitian di lakukan pada bulan April – Oktober 2025 di PT Putra Perkasa Abadi.

Data penelitian terdiri atas data primer yang diperoleh dari hasil pemantauan MDVR secara *real-time*, serta data sekunder berupa catatan kecelakaan kerja dan performa pemantauan MDVR sebelum dan sesudah penerapan program. Meskipun seluruh populasi dijadikan subjek penelitian, proses pemantauan dan analisis data primer difokuskan pada lokasi-lokasi yang dikategorikan sebagai high risk area, yaitu *waste dump, hauling road, dan front loading area* dengan menggunakan pendekatan *purposive sampling* berdasarkan tingkat risiko operasional.



Gambar 1. Tampilan Web Pemantauan MDVR

Dalam penelitian ini, perangkat MDVR dipasang pada kendaraan operasional (*Dump Truck & Articulate Dump Truck*) untuk pemantauan perilaku pengemudi. Untuk mendukung proses analisis data secara komprehensif dan real-time, sistem MDVR ini diintegrasikan dengan *software* dari TransTRACK. TransTRACK digunakan karena mendukung fitur *Driver Monitoring System* (DMS) yang mampu mendeteksi perilaku berisiko seperti *fatigue, Using Phone while driving, Smoking*, dan distraksi lainnya melalui kamera *Artificial Intelligence* (AI) pada MDVR. Sistem ini dapat memberikan peringatan secara *real-time* kepada pengemudi dan notifikasi kepada *fleet management*.

Tabel 1. Parameter DMS

Type	Threshold (km/h)	Interval (s)	Alarm Pre-record (s)	Alarm Trigger hold time (s)
Using Phone	30	180	5	2
Eyes Closed	10	120	5	0.5
Yawning	30	120	5	2
Distracted Driving	30	120	5	8
Seat Belt not fastened	15	60	5	0.5
Camera Cover	10	300	5	5

Berdasarkan Tabel 1, digunakan 6 parameter dalam penelitian ini diantaranya *Using Phone, Eyes Closed, Yawning, Distracted Driving, Seat Belt not fastened*, dan *Camera Cover*. Sistem MDVR (DMS) yang digunakan dalam penelitian ini memiliki konfigurasi alarm dengan parameter sebagai berikut;

- Threshold* : Alarm hanya akan aktif jika kendaraan melaju di atas kecepatan yang ditentukan.
- Interval* : Sistem akan memeriksa perilaku sesuai dengan durasi threshold.
- Alarm pre-record* : Sistem akan merekam 5 detik sebelum alarm aktif untuk dokumentasi insiden.
- Alarm Trigger hold time* : Alarm akan aktif jika perilaku terdeteksi selama durasi settingan alarm yang berlaku.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Manfaat dan keunggulan Program "Eagle Eyes"

Program "Eagle Eyes" memberikan manfaat yang nyata dalam mengubah cara operator berperilaku serta memperkuat "Behavior Based Safety" di tempat kerja. Manfaat utamanya bukan hanya dari pengumpulan data, tetapi dari hasil tindakan perbaikan yang dilakukan secara aktif berkat adanya sistem pemantauan ini.

Penurunan Insiden Terkait Kelelahan

Program "Eagle Eyes" terbukti efektif mengurangi frekuensi temuan yang terkait langsung dengan kelelahan operator. Observasi yang dilakukan secara continue melalui platform "Web Transtrack" menunjukkan penurunan yang jelas dan berkelanjutan pada perilaku operator yang terindikasi kantuk dan mendeteksi kejadian *microsleep*. Hal ini mengindikasikan bahwa intervensi real-time yang dilakukan berhasil meningkatkan kesadaran operator akan kondisi fisik mereka, mendorong mereka untuk mengambil Preventive Action sebelum terjadi insiden.

Peningkatan Kepatuhan Prosedural dan Penurunan Distraksi

Manfaat signifikan lainnya adalah peningkatan kepatuhan operator terhadap prosedur keselamatan kerja. Program ini berhasil menekan perilaku distraksi yang

disengaja. Secara khusus, perilaku berisiko tinggi seperti penggunaan telepon genggam saat mengoperasikan unit menunjukkan tren penurunan yang sangat nyata. Ini membuktikan bahwa kehadiran sistem pemantauan aktif berhasil mendorong kedisiplinan dan kepatuhan operator.

4.2 Fitur-Fitur Teknologi yang digunakan.

Teknologi yang terintegrasi di dalam perangkat AI MDVR menjadi salah satu faktor penting dalam pemantauan ini. Teknologi ini didasarkan pada dua pilar fungsional utama yaitu *Driver Monitoring System* (DMS) dan *Advanced Driver Assistance Systems* (ADAS). Fitur DMS merupakan sistem pemantauan perilaku pengemudi berbasis AI. Sistem ini secara proaktif mengidentifikasi berbagai deviasi perilaku yang berpotensi menimbulkan risiko kecelakaan. Deteksi yang dilakukan oleh sistem mencakup:

Indikator Kelelahan

Sistem secara spesifik mendeteksi tindakan operator yang mengindikasikan kelelahan, seperti "Eye Close" dan "Yawning".

Indikator Distraksi

Sistem mampu mengidentifikasi perilaku distraksi yang dilakukan operator, meliputi "Smoking" dan "Using Phone".

Pelanggaran Prosedur

Sistem juga dapat dilakukan konfigurasi untuk mendeteksi segala bentuk deviasi dalam operasional seperti "Driver Identification Failed" (Absent), "IR-Block Sunglasses" yang menghalangi deteksi mata, serta upaya sabotase "Camera Covered".

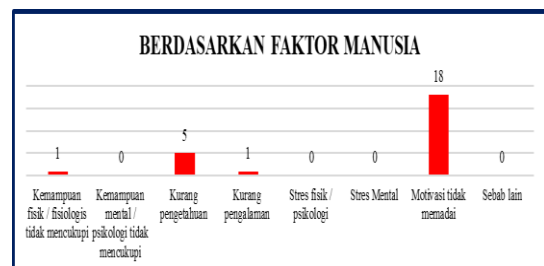
4.3 Teori Perilaku Keselamatan

Dalam dunia keselamatan kerja, terdapat beberapa teori perilaku yang terkait dengan aspek keselamatan. Salah satunya adalah Teori Domino Frank Bird dimana dalam model ini dijelaskan bahwa penyebab kecelakaan dibagi menjadi penyebab langsung (Immediate Cause) dan penyebab dasar (Basic Cause) (Jatmiko *et al*, 2025). Penyebab langsung adalah suatu keadaan/kondisi yang dapat dilihat dan dirasakan langsung, dan secara umum penyebab langsung dibagi menjadi

dua, yaitu: tindakan tidak aman (unsafe acts) dan kondisi tidak aman (unsafe conditions). Sedangkan penyebab dasar ialah faktor-faktor yang berkontribusi dalam terjadinya suatu kecelakaan yang berperan sebagai pencetus awal terjadinya kecelakaan. Penyebab Dasar dibagi menjadi dua jenis yaitu Faktor Pekerjaan dan juga Faktor manusia. Penyebab utama kecelakaan di Polandia adalah faktor manusia, terutama perilaku yang tidak pantas serta berbahaya dari karyawan (Niciejewska, 2020).



Gambar 2. Data Statistik kecelakaan 2024 berdasarkan faktor pekerjaan



Gambar 3. Data Statistik kecelakaan 2024 berdasarkan faktor Manusia

Berdasarkan hal tersebut maka dan data faktor dasar dari statistik insiden selama tahun 2024 didapatkan bahwa dalam faktor pekerjaan, kepemimpinan atau pengawasan yang kurang memadai merupakan faktor terbanyak penyebab kecelakaan yaitu 35.7% dari total 28 kasus. Sedangkan pada faktor pribadi ditemukan bahwa motivasi tidak memadai adalah faktor terbanyak yaitu sebanyak 64.3% dari total 28 kasus. Pada faktor pribadi, didapati bahwa motivasi tidak memadai di dominasi oleh Motivasi tidak memadai. Dan dari total 28 case penyebab kecelakaan karena kelelahan kerja yaitu sejumlah 28% (8 kasus) Selain itu,

kurangnya pengawasan dan SOP yang memadai memperparah risiko kecelakaan.

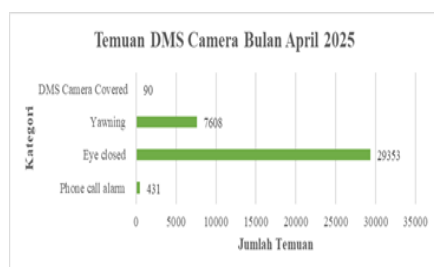
Perilaku aman dibagi menjadi dua kategori yaitu Safety Compliance dan Safety Participation. Safety Compliance adalah perilaku keselamatan yang wajib. Sedangkan Safety Participation adalah tindakan sukarela untuk memajukan keselamatan (Yang *et al*, 2022). MDVR adalah alat teknologi yang dirancang untuk memastikan Safety Compliance dengan secara otomatis memonitor perilaku tidak aman yang tidak disengaja ataupun disengaja.

4.4 Penerapan Program “Eagle Eyes” Penggunaan MDVR

Penggunaan *Mobile Device Video Recorder* pada kali ini di fokuskan kepada tindakan *Overconfident*, Kelelahan Kerja, dan bentuk pelanggaran lain sesuai dengan SOP yang berlaku. Terdapat beberapa parameter yang digunakan pada penggunaan MDVR kali ini yaitu:

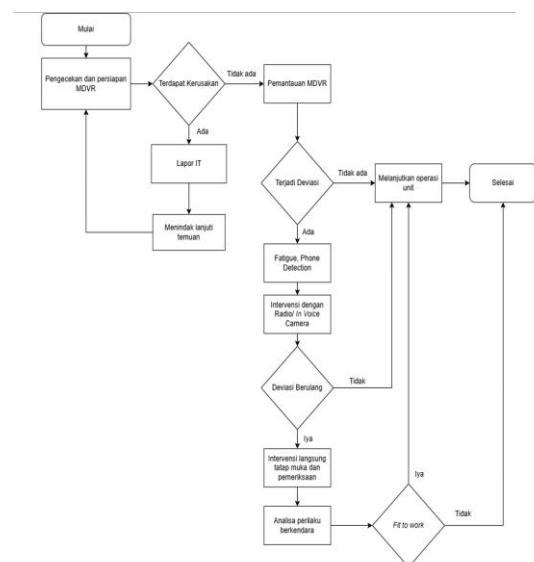
1. *Distracted Driving*,
2. *Camera Covered*,
3. *Yawning*,
4. *Eye Closed*,
5. *Smoking*, dan
6. *Phone Call Alarm (Using Phone while driving)*.

Pemilihan parameter ini didasari karena banyak temuan kasus di mana operator tetap mengoperasikan unit meskipun berada dalam kondisi “*fatigue*” tanpa melakukan penghentian, padahal tindakan masuk dalam pelanggaran dalam peraturan perusahaan yang berisi “Mengalami insiden disebabkan karena kelelahan/fatigue berdasarkan hasil investigasi insiden”. Operator yang mengalami kelelahan diwajibkan untuk segera menghentikan operasi unit guna mencegah risiko kecelakaan kerja.



Gambar 4. Temuan Driver Monitoring System bulan April 2025

Pemantauan menggunakan DMS Camera konsisten dengan hasil analisis statistik terhadap faktor dasar. Salah satu temuan utama adalah kategori “*Phone call alarm*” atau penggunaan telepon genggam saat mengemudi, yang menjadi perhatian khusus karena peningkatan jumlah kasus menunjukkan semakin banyak operator yang menggunakan perangkat tersebut ketika mengoperasikan unit. Selain itu, kategori lain yang masih sering ditemukan adalah “*Eye Closed*”, yang mengindikasikan adanya potensi kelelahan pada operator. Temuan-temuan ini menegaskan pentingnya kepatuhan terhadap prosedur keselamatan kerja serta perlunya pengawasan yang lebih ketat terhadap perilaku operator di lapangan karena pekerja yang berada di bawah pengawasan lebih cenderung berhati-hati dan berperilaku aman setiap saat. Pemantauan MDVR secara prosedur dilakukan berdasarkan diagram alir di bawah ini.



Gambar 5. Diagram alir pemantauan MDVR

Berdasarkan diagram alir diatas, terdapat beberapa langkah dalam pemeriksaan MDVR. Pertama setelah memastikan bahwa peralatan dalam peralatan aman dan digunakan. Dalam melakukan pemantauan admin yang bekerja dilengkapi dengan peralatan seperti Komputer, Meja, Kursi, Headset, dan Radio. Selanjutnya admin MDVR

akan mulai memantau kegiatan dari operator, jika admin MDVR menemukan deviasi dalam kegiatan pengoperasian peralatan maka akan langsung diintervensi menggunakan *Radio In Voice Camera*.



Gambar 6. Pemantauan MDVR

Pada gambar 6 di atas merupakan salah satu contoh operator yang mengalami fatigue dan sedang dilakukan intervensi oleh admin yang bertugas. Jika ditemukan pelanggaran/deteksi fatigue berulang maka admin MDVR akan menghubungi tim lapangan dan mencoba mengintervensi secara langsung kepada operator. Apabila terdapat temuan operator dalam keadaan fatigue maka akan dibawa kepada paramedic untuk mendapat pemeriksaan lanjutan. Berdasarkan hasil pemeriksaan akan muncul keputusan apakah operator bisa melanjutkan pekerjaan atau dipulangkan.

4.5 Evaluasi Penggunaan MDVR

Pada bagian ini disajikan hasil analisis tren selama tiga bulan berturut-turut dari April hingga Juni 2025 menyajikan bukti kuat mengenai efektivitas dan keberlanjutan program intervensi keselamatan yang diterapkan.

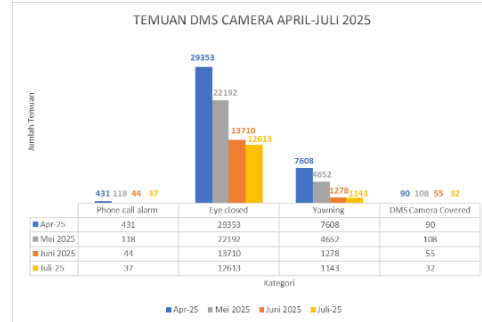


Figure 7. Temuan DMS Camera periode April-Juli 2025

Sebagaimana digambarkan pada grafik, terjadi penurunan yang konsisten dan signifikan pada indikator utama kelelahan (fatigue). Temuan 'Eye closed' menunjukkan tren menurun dari puncaknya di 29.353 pada bulan April, menjadi 22.192 di bulan Mei, dan terus menurun tajam ke 12.613 di bulan Juli. Pola serupa juga divalidasi oleh kategori 'Yawning' yang terus berkurang secara drastis setiap bulannya, dari 7.608 menjadi 1.143. Penurunan berkelanjutan pada dua kategori ini mengindikasikan bahwa dampak dari program pembinaan tidak hanya bersifat sesaat, tetapi berhasil dipertahankan dan bahkan diperkuat seiring berjalannya waktu.

Peningkatan kepatuhan operator terhadap prosedur juga tercermin dari penurunan drastis pada temuan 'Phone call alarm', yang berkurang dari 431 menjadi hanya 37 kejadian dalam periode empat bulan. Temuan ini menunjukkan keberhasilan dalam menekan perilaku distraksi yang disengaja. Penurunan signifikan pada temuan perilaku berisiko ini mengindikasikan keberhasilan program dalam memitigasi faktor risiko utama. Temuan ini sejalan dengan studi kasus oleh Li et al. (2025) di tambang tembaga Myanmar, di mana penerapan sistem pemantauan serupa (GFDMS) terbukti berhasil menurunkan tingkat insiden lalu lintas lebih dari 70% dalam kurun waktu satu tahun. Hal ini memperkuat argumen bahwa intervensi proaktif terhadap perilaku pengemudi, seperti yang dilakukan Program Eagle Eyes, memiliki dampak langsung terhadap pengurangan angka kecelakaan.

Satu-satunya anomali minor terdeteksi pada kategori 'DMS Camera Covered', yang sempat mengalami sedikit kenaikan di bulan Mei sebelum akhirnya turun ke angka terendah di bulan Juni. Hal ini dapat mengindikasikan adanya resistensi awal dari sebagian kecil operator terhadap sistem pemantauan, yang kemudian berhasil diatasi pada periode berikutnya.

Temuan Al Imran et al. (2024) mengidentifikasi bahwa hanya 3 dari 43 penelitian yang mengumpulkan data di *real environment*. Mereka secara eksplisit menyatakan agar penelitian di masa depan "diperluas ke luar laboratorium untuk mengumpulkan data dari situasi kehidupan nyata dan memberikan solusi praktis". Penelitian yang disajikan dalam jurnal ini secara langsung menjawab panggilan tersebut. Dengan menerapkan dan mengevaluasi Program "Eagle Eyes" di lingkungan operasional tambang nikel PT PPA yang sesungguhnya, studi ini memberikan bukti empiris mengenai efektivitas dan kepraktisan sistem deteksi kelelahan di dunia nyata, sebuah area yang menurut Al Imran et al. (2024) masih sangat kurang terwakili.

5. KESIMPULAN

Uraian hasil pengujian pada penelitian ini telah mampu menjawab rumusan masalah masalah mengenai efektivitas Program "Eagle Eyes" sebagai inovasi sekaligus cara pengurangan risiko kecelakaan pada penelitian ini, dan dapat dinyatakan bahwa implementasi tersebut dapat dikatakan berhasil pada PT PPA Site MLP. Data-data kuantitatif periode April-Juli 2025 telah menggambarkan penurunan yang cukup signifikan secara konsisten pada sebagian besar faktor risiko utama, mulai dari indikator kelelahan yang menjadi prioritas kajian penelitian. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan temuan *Eye Closed* dari 29.353 menjadi 12.613 kasus dan *Yawning* dari 7.608 menjadi 1.143 kasus. Lebih jauh, program ini telah berhasil untuk menekan aktivitas distraksi yang sifatnya disengaja yang validasinya jauh turun yaitu *Phone Call Alarm* dari 431 menjadi 87 temuan. Hal tersebut secara keseluruhan menunjukkan peningkatan SDM dalam budaya *behavior based safety* di lingkungan kerja. Implikasi praktis dari penelitian ini adalah konfirmasi bahwa DMS

dan ADAS dapat mengubah DMD yang terintegrasi ke alat keselamatan yang proaktif.

Secara teoritis, penelitian ini memberikan sumbangsih sebagai studi kasus implementasi teknologi berbasis AI yang berhasil memodifikasi perilaku berisiko, serta menawarkan model intervensi high-tech untuk memperkuat elemen "Pemantauan dan Evaluasi" dalam Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3).

Selain itu faktor pendukung keberhasilan Program 'Eagle Eyes' di PT PPA, yang ditunjukkan oleh penurunan temuan perilaku berisiko, sejalan dengan penelitian teknis di bidang ini. Sebagai contoh, sebuah sistem deteksi berbasis OpenCV yang serupa dilaporkan oleh Kaushik et al. (2024) mampu mencapai akurasi 93% dan terbukti andal dalam berbagai kondisi pencahayaan. Hal ini memperkuat kesimpulan kami bahwa sistem MDVR/DMS adalah alat yang akurat dan efektif, serta 'cocok untuk operasi di dunia nyata' seperti di lingkungan tambang yang dinamis.

6. REFERENSI

- Al Imran MA, Nasirzadeh F, Karmakar C. Designing a practical fatigue detection system: A review on recent developments and challenges. *Journal of Safety Research*. 2024 Jun;90:100-114
- Aryanti VS, Ramli M, Purwanto, Ilyas A, Rini NST, Amalia R, Arjan A. Inisiasi Penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pada Kegiatan Pertambangan Material Konstruksi Di PT Harfia Graha Perkasa, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. *Jurnal Teknologi Terapan Untuk Pengabdian Masyarakat*. 2021 Des 29;4(2):137-150.
- Djamalus H, Utomo B, Djaja IM, Nasri SM. Mental Fatigue and Its Associated Factors among Coal Mining Workers after One Year of the COVID-19 Pandemic in Indonesia. *Kesmas: Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional (National Public Health Journal)*. 2021 Dec 29;16(4):228-33.
- Eiter BM, Steiner L, Kelhart A. Application of fatigue management systems: Small mines and low technology solutions. *Minerals Engineering*. 2014 Sep;66 (4):69-75.

- Florez R, Palomino-Quispe F, Alvarez AB, Coaquira-Castillo RJ, Herrera-Levano JC. A Real-Time Embedded System for Driver Drowsiness Detection Based on Visual Analysis of the Eyes and Mouth Using Convolutional Neural Network and Mouth Aspect Ratio. *Sensors*. 2024;24:6261
- Jatmiko F, Mauliku NE, Budiman, Suhat, Susanto A. Evaluasi Pencapaian Kinerja Keselamatan Pertambangan di PT X Lahat Sumatera Selatan. *Journal of Industrial Hygiene and Occupational Health*. 2025 Apr;9(2):150-61.
- Kaushik P, Gopika BS, Yadav K, Kumar N, Sincija C, Kaushik MM. Deep Learning for Driver Vigilance and Road Safety. 2024 4th International Conference on Advancement in Electronics & Communication Engineering (AECE). 2024 Nov:285-290.
- Kundinger T, Sofra N, Riener A. Assessment of the Potential of Wrist-Worn Wearable Sensors for Driver Drowsiness Detection. *Sensors*. 2020 Feb 14;20(4):1-21
- Li T, Chang B, Sun Y, Zhou Y, Zhou B, Zhang L. Development and Application of a Generalized Fatigue Driving Monitoring System for Open-Pit Mining Vehicles: A Case Study in a Myanmar Copper Mine. *Results in Engineering*. 2025 May;26:105206.
- Niciejewska M, Obrecht M. Impact of Behavioral Safety (Behavioural-Based Safety - BBS) on the Modification of Dangerous Behaviors in Enterprises. *CzOTO*. 2020;2(1):324-332
- Tong R, Wang X, Wang L, Hu X. A dual perspective on work stress and its effect on unsafe behaviors: The mediating role of fatigue and the moderating role of safety climate. *Process Safety and Environmental Protection*. 2022 Sep;165:929-40.
- Widijanto E, Runtuwene H, Periyadi, Kumendong F, Azizi MA. Perubahan Perilaku Pengemudi dengan Penerapan Teknologi Pemantauan Kendaraan – Studi Kasus PT Freeport Indonesia. *Indonesian Mining Professionals Journal*. 2024 Sep 04;6(1):33-40
- Widijanto E, Runtuwene H, Periyadi, Kumendong F, Azizi MA. Perubahan Perilaku Pengemudi dengan Penerapan Teknologi Pemantauan Kendaraan – Studi Kasus PT Freeport Indonesia. *Indonesian Mining Professionals Journal*. 2024;6(1):33-40.
- Yan X, Abas A. Advancements and Perspectives in Fatigue Driving Detection: A Comprehensive Review. *IECE Transactions on Intelligent Unmanned Systems*. 2024;1(1):4-15
- Yang L, Bashiru Danwana S, Issahaku F-Y, Matloob S, Zhu J. Investigating the Effects of Personality on the Safety Behavior of Gold Mine Workers: A Moderated Mediation Approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19:16054.