



Implementasi *Collision Avoidance Systems (CAS)* pada *Heavy Dump Truck* di PT Putra Perkasa Abadi Jobsite PT Bukit Asam Tbk

Djoko Prasadjo¹, Muhibbudin Ikhwan²

¹ Departemen Plant, PT Putra Perkasa Abadi

² Departemen Safety, Health and Environment, PT Putra Perkasa Abadi

Email: djoko.pradsojo@ppa.co.id, muhibbudin.ikhwan@ppa.co.id

ABSTRAK

Kata kunci:

kecelakaan kendaraan berkapasitas besar, inovasi, collision avoidance systems, heavy dump truck

Latar Belakang: Sektor pertambangan memiliki risiko tinggi terhadap kecelakaan, terutama terkait kendaraan besar seperti heavy dump truck. Faktor penyebab kecelakaan termasuk kondisi jalan, cuaca, jarak pandang, dan kesalahan operator seperti pelanggaran prosedur dan kelelahan. PT Putra Perkasa Abadi jobsite PT Bukit Asam Tbk (PPA-BA) berupaya meningkatkan keselamatan dengan inovasi teknologi, yaitu sensor anti-tabrakan (*Collision Avoidance Systems/CAS*) pada heavy dump truck. *CAS* bertujuan untuk meningkatkan keselamatan, mengurangi risiko kecelakaan, serta membantu operator lebih waspada dan mengurangi kerusakan.

Tujuan: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui implementasi *Collision Avoidance Systems (CAS)* pada heavy dump truck di PT Putra Perkasa Abadi jobsite PT Bukit Asam Tbk. *CAS* dapat berfungsi untuk mengurangi frekuensi tabrakan antara kendaraan dan kendaraan, kendaraan dan manusia, serta kendaraan dan infrastruktur.

Metode: Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif. Data dikumpulkan melalui observasi, wawancara, dan studi dokumentasi. Analisis data dilakukan secara induktif.

Hasil: Penelitian ini implementasi *CAS* pada heavy dump truck di PT Putra Perkasa Abadi jobsite PT Bukit Asam Tbk bertujuan untuk meningkatkan keselamatan pertambangan dan mengurangi risiko kecelakaan, membantu operator dalam meningkatkan kewaspadaan situasional, serta mengurangi kerusakan material dan non-material.

Kesimpulan: Implementasi *CAS* pada heavy dump truck di PT Putra Perkasa Abadi jobsite PT Bukit Asam Tbk dapat meningkatkan keselamatan pertambangan dan mengurangi risiko kecelakaan. *CAS* membantu operator dalam meningkatkan kewaspadaan situasional dan mengurangi kerusakan material dan non-material.

ABSTRACT

Keywords:

Large Capacity Vehicle Crashes, Innovation, Collision

Background: The mining sector has a high risk of accidents, especially related to large vehicles such as heavy dump trucks. Factors that cause accidents include road conditions, weather, visibility, and operator errors such as procedural violations and fatigue. PT Putra Perkasa Abadi jobsite PT Bukit Asam Tbk (PPA-BA) seeks to improve safety with technological innovations, namely anti-collision sensors (*Collision*

Avoidance Systems, Heavy Dump Truck.

Avoidance Systems / CAS) on heavy dump trucks. CAS aims to improve safety, reduce the risk of accidents, and help operators be more vigilant and reduce damage.

Purpose: *This study aims to determine the implementation of Collision Avoidance Systems (CAS) on heavy dump trucks at PT Putra Perkasa Abadi jobsite PT Bukit Asam Tbk. CAS can function to reduce the frequency of collisions between vehicles and vehicles, vehicles and people, as well as vehicles and infrastructure.*

Methods: *This study uses a qualitative descriptive method. Data were collected through observations, interviews, and documentation studies. Data analysis is carried out inductively.*

Results: *This study implements CAS on heavy dump trucks at PT Putra Perkasa Abadi jobsite PT Bukit Asam Tbk aims to improve mining safety and reduce accident risks, assist operators in increasing situational awareness, and reduce material and non-material damage.*

Conclusion: *The implementation of CAS on heavy dump trucks at PT Putra Perkasa Abadi jobsite PT Bukit Asam Tbk can improve mining safety and reduce the risk of accidents. CAS assists operators in increasing situational awareness and reducing material and non-material damage.*

PENDAHULUAN

Peraturan Pemerintah RI Nomor 50 Tahun 2012, sektor pertambangan, minyak, dan gas bumi merupakan sektor yang memiliki bahaya tinggi, sehingga pekerja berisiko terhadap kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja, relevan apa yang disampaikan oleh (Khamidullina et al., 2017) bahwa frekuensi kecelakaan kerja di pertambangan batubara merupakan salah satu penyebab utama kematian, sehingga risiko terjadinya kecelakaan kerja di pertambangan batubara sangat tinggi. Salah satu penyebabnya adalah faktor lingkungan kerja yang tidak memenuhi persyaratan kesehatan dan keselamatan kerja, proses kerja yang tidak aman serta sistem kerja yang semakin kompleks dan modern dapat menimbulkan ancaman terhadap keselamatan dan kesehatan pekerja (Abdullah, 2009; Nurdianti et al., 2022; Tarwaka, 2008).

Risiko kecelakaan kendaraan kapasitas besar juga terus menjadi masalah keselamatan bagi industri pertambangan, setiap tahunnya berkontribusi terhadap 50% kecelakaan pada operasi pertambangan (Almberg et al., 2018; Bellanca et al., 2021). Pada tahun 2018 kecelakaan yang melibatkan truk pengangkut adalah yang paling sering terjadi yaitu 6 dari 27 berakibat pada kecelakaan fatal (Almberg et al., 2018). Beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya kecelakaan unit operasional penambangan yaitu kondisi jalan, perilaku operator, kondisi pengoperasian, jarak pandang yang kurang dan kondisi cuaca (Sudiyanto & Susilowati, 2018). Pernyataan senada juga dikemukakan oleh (Santos et al., 2010) bahwa penyebab kecelakaan yang banyak dilaporkan adalah terkait kesalahan operator seperti pelanggaran prosedur dan kelelahan.

Akibat dari kecelakaan kerja yaitu dapat menimbulkan kerugian baik bagi pihak yang terkena dampak maupun bagi perusahaan pertambangan (Abdullah, 2009) (Prasodjo & Ikhwan, 2023). Adapun dampak yang diterima pekerja seperti luka ringan, luka berat, sampai kematian, sedangkan dampak yang diterima perusahaan yaitu terganggunya

kegiatan operasional, kerugian materil, sampai pada hancurnya reputasi perusahaan. Atas dasar akibat yang ditimbulkan tersebut maka penerapan keselamatan kerja penting untuk dilakukan, keselamatan kerja merupakan serangkaian tindakan untuk menciptakan tempat kerja yang aman dan nyaman bagi karyawan suatu perusahaan (Haidi & Abdullah, 2020; Juliandi et al., 2018) Pengelolaan keselamatan kerja perlu dilakukan dengan serius oleh perusahaan, salah satu upaya pengelolaan yang bisa dilakukan adalah melalui tindakan preventif, untuk mewujudkan upaya tersebut, perusahaan mengoptimalkan penggunaan teknologi dalam mendukung inovasi. Kemajuan teknologi saat ini khususnya pada bidang industri sangat membantu untuk menunjang kegiatan industri, kemajuan teknologi juga dirasakan pada sektor industri pertambangan yang ditandai dengan modernisasi proses mekanisasi, elektrifikasi, dan transformasi digital (Puspitasari, 2014). Salah satu kemajuan teknologi yang ada saat ini adalah kemajuan teknologi pada alat berat dan kendaraan berkapasitas besar. Teknologi yang ada di kendaraan berkapasitas besar sangat membantu untuk menunjang aspek keselamatan, selain itu inovasi teknologi digital pada industri pertambangan juga dapat meningkatkan produktivitas sehingga berdampak pada arus kas perusahaan (Sari, 2020).

Atas dasar tersebut PT Putra Perkasa Abadi jobsite PT Bukit Asam Tbk (PPA-BA) terus melakukan inovasi terutama pada bidang teknologi, untuk membantu perusahaan dalam meningkatkan keselamatan kerja dan meningkatkan produktifitas. Salah satu inovasi dibidang teknologi yang diciptakan adalah sensor anti tabrakan heavy dump truck yang disebut Collision Avoidance Systems (CAS). Penggunaan CAS sangat penting untuk mengurangi frekuensi tabrakan. Sistem ini membantu operator meningkatkan kesadaran situasional. CAS adalah sensor yang memicu sinyal khusus ke depan (Steven et al., 2020). Ketika sinyal dipantulkan kembali, perangkat mengetahui ada objek di depan, sehingga dapat mengerem secara otomatis. Secara khusus, CAS secara efektif mengurangi frekuensi tabrakan antara kendaraan dan manusia, kendaraan dan kendaraan, serta kendaraan dan infrastruktur (getransportation.com). Tujuan pemasangan pada unit heavy dump truck PPA-BA adalah untuk meningkatkan keselamatan pertambangan dan mengurangi risiko terjadinya insiden heavy dump truck sehingga mencegah dampak negatif yang ditimbulkan, membantu operator heavy dump truck untuk meningkatkan kesadaran situasional, dan menekan kerugian materil dan non materil yang diakibatkan oleh insiden tabrakan heavy dump truck. Studi ini akan membahas mengenai implementasi pemasangan CAS yang dilakukan pada unit heavy dump truck PPA-BA.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif, penelitian kualitatif merupakan golongan penelitian yang menghasilkan hasil yang tidak bisa diperoleh dengan menggunakan metode statistik atau pengukuran lainnya (Moleong, 2021), dengan pendekatan penelitian lapangan, yaitu. suatu kajian sistematis untuk mengumpulkan informasi tentang lapangan (Arikunto, 2006) (Ratnaningtyas et al., 2023). Sumber data yang digunakan dalam penelitian adalah data primer, yaitu data yang diperoleh dari pribadi atau individu, seperti hasil wawancara atau kuesioner. Metode pengumpulan data yang digunakan adalah metode observasi, yaitu metode pengumpulan data yang dilakukan

dengan cara observasi yaitu mencatat objek atau beberapa parameter pada unit heavy dump truck PT Putra Perkasa Abadi jobsite Bukit Asam yaitu Komatsu HD 785 dan CAT UHT 777. Analisis yang digunakan menggunakan pendekatan induktif, yaitu jenis analisis yang dilakukan terhadap data yang diperoleh, sehingga dapat dikembangkan pada pola hubungan tertentu. Langkah pertama dalam analisis ini adalah reduksi data, penyajian data, dan verifikasi (Nasution, 2023).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Selama proses pemasangan CAS yang dilakukan di unit heavy dump truck di PPA-BA terdapat proses percobaan selama 4 kali, proses percobaan tersebut dialami karena terdapat proses pembuatan dan pemasangan alat yang menyesuaikan kondisi di lapangan, adapun peralatan yang digunakan pada CAS antara lain sensor ultrasonik/radar, modul controller, lampu signal, dan buzzer. Pada percobaan pertama sensor ultrasonik dipasang ditengah front cross section setinggi 1,4 meter dan 2,4 meter, hasil dari percobaan tersebut ditemukan bahwa respon sensor pada posisi 1 dan 2 masih terpengaruh oleh kondisi undulating. Semakin tinggi undulating, respon sensor semakin lambat (terjadi delay). Saat unit trial didahului unit lain sensor sempat merespon tetapi tidak sampai mengaktifkan solenoid (diluar range aktivasi), selain itu objek dengan permukaan tidak beraturan sensor tidak dapat merespon dengan cepat, lihat Gambar 1.



Gambar 1. Percobaan Pertama Menggunakan Sensor Ultrasonik

Tabel 1. Hasil Percobaan Pertama Menggunakan Sensor Ultrasonik

| <i>Logic</i> | <i>Posisi Sensor Ultrasonik (Meter)</i> | <i>Kec Unit (km/jam)</i> | <i>Lokasi</i> | <i>Buzzer Indicator (Meter)</i> | <i>Brake (Meter)</i> | <i>Sisa Jarak Unit dari Objek (Meter)</i> | <i>Result (Technical Instructur Operator)</i> |
|--------------|---|--------------------------|-----------------|---------------------------------|----------------------|---|--|
| 1 | 1,4 | 5 - 10 | <i>Workshop</i> | - | - | - | <ul style="list-style-type: none"> • Respon sensor masih terpengaruh kondisi jalan <i>undulating</i> • Ketika unit <i>trial</i> didahului unit lain sensor merespon namun tidak mengaktifkan <i>solenoid</i> • Pada objek dengan permukaan tidak beraturan sensor tidak dapat merespon dengan cepat |
| 2 | 2,4 | 5 - 10 | <i>Workshop</i> | - | - | - | <ul style="list-style-type: none"> • Respon sensor masih terpengaruh kondisi jalan <i>undulating</i> • Ketika unit <i>trial</i> didahului unit lain sensor merespon namun tidak mengaktifkan <i>solenoid</i> • Pada objek dengan permukaan tidak beraturan sensor tidak dapat merespon dengan cepat |

Kesimpulan dari percobaan pertama dapat dilihat pada Tabel 1, percobaan pertama kurang efektif karena sensor dan media harus sejajar sehingga unit berpotensi menabrak tanggul dan sensor tidak membaca permukaan yang tidak rata.

Percobaan kedua menggunakan sensor radar dengan jarak aktif 10 meter dan lebar kecepatan radar 4 x 1.3 meter. Hasil dari percobaan kedua, pada kecepatan 10 km/jam di area front. Obyek (exca dan tebing) terdeteksi pada jarak yang diharapkan. Buzzer dan

brake aktif sesuai jarak aktivasi. Pada kecepatan 20 km/jam di Haul Road, objek (tanggul) terdeteksi pada jarak yang diharapkan dan buzzer serta retarder brake aktif sesuai jarak aktivasi dan unit langsung berhenti. Pada kecepatan 25 km/jam dengan objek drum, unit berhenti di jarak <5 M dari objek, lihat Gambar 2.



Gambar 2. Percobaan Kedua Menggunakan Sensor Radar dengan Jarak Aktif 10 Meter

Tabel 2. Hasil Percobaan Kedua Menggunakan Sensor Radar (Length 10 meter)

| <i>Logic</i> | Jarak Radar (Meter) | Kec Unit (km/jam) | Lokasi | <i>Buzzer Indicator (Meter)</i> | <i>Brake (Meter)</i> | Sisa Jarak Unit dari Objek (Meter) | <i>Result (Technical Instructur Operator)</i> |
|--------------|----------------------------|--------------------------|------------------|---------------------------------|----------------------|---|---|
| 1 | 10 | 25 | <i>Workshop</i> | - | - | <5 | Unit berhenti di jarak -5 M dari objek |
| 2 | 10 | 30 | <i>Haul Road</i> | - | - | +1 | Unit berhenti +1 M dari objek Objek tertabrak Unit |
| 3 | 10 | 20 | <i>Haul Road</i> | - | - | ±5 | Obyek (tanggul) terdeteksi pada jarak yang diharapkan |
| 4 | 10 | 10 | <i>Front</i> | - | - | ±5 | Obyek (tanggul) terdeteksi pada jarak yang diharapkan |

Kesimpulan dari percobaan kedua dapat dilihat pada Tabel 2, percobaan kedua yaitu sensor radar dengan jarak aktif 10 meter kurang efektif dikarenakan jarak jangkauan sensor, sehingga dengan kecepatan tertentu, unit masih menabrak objek walaupun retarder brake sudah aktif. Brake otomatis berfungsi, sehingga unit berhenti secara tiba-tiba ketika mendeteksi benda, sehingga dapat mengganggu operasional. Pada kondisi jalan undulating, retarder brake sering aktif dan pembacaan sensor lebih bagus dibandingkan dengan sensor ultrasonik.

Atas dasar hasil kesimpulan dari percobaan pertama dan kedua, selanjutnya dilakukan percobaan ketiga yaitu menggunakan sensor radar V1 dengan jarak aktif 50 meter, pada percobaan ketiga sensor radar V1 diubah dengan jangkauan 50 meter, posisi

pemasangan sensor juga dinaikan 10 cm dari ketinggian sebelumnya, dan penambahan logic pada controller CAS, lihat Gambar 3.



Gambar 3. Percobaan Ketiga Menggunakan Sensor Radar V1 dengan Jarak Aktif 50 Meter

Hasil pada percobaan ketiga didapatkan bahwa jangkauan sensor radar yang lebih jauh yaitu 50 meter dapat membaca serta membuat respon controller menjadi lebih baik, sensor radar juga dapat mengenali kondisi jalan undulating, semua logic dapat berfungsi dengan baik dan normal, dan jarak unit berhenti dari objek ± 1 meter. Hasil dari percobaan ketiga kemudian dilakukan pencatatan melalui tabel konfigurasi jarak dan kecepatan, lihat Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Percobaan Ketiga Menggunakan Sensor Radar V1 (Length 50 meter)

| <i>Logic</i> | <i>Jarak Radar (Meter)</i> | <i>Kec Unit (km/jam)</i> | <i>Lokasi</i> | <i>Buzzer Indicator (Meter)</i> | <i>Brake (Meter)</i> | <i>Sisa Jarak Unit dari Objek (Meter)</i> | <i>Result (Technical Instructur Operator)</i> |
|--------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------|---|--|
| 1 | 1 - 3 | 2 - 5 | <i>Workshop/ Front Loading</i> | 3 | 3 | - | <i>Groundtest berjalan lancar (no issue) Buzzer aktif ketika melintas di jalan undulating, tanjakan dan tikungan</i> |
| 2 | 1 - 5 | 5 - 10 | <i>Front Loading/ Disposal</i> | 5 | 5 | - | <i>Groundtest berjalan lancar (no issue) Buzzer aktif ketika melintas di jalan undulating, tanjakan dan tikungan</i> |

| <i>Logic</i> | <i>Jarak Radar (Meter)</i> | <i>Kec Unit (km/jam)</i> | <i>Lokasi</i> | <i>Buzzer Indicator (Meter)</i> | <i>Brake (Meter)</i> | <i>Sisa Jarak Unit dari Objek (Meter)</i> | <i>Result (Technical Instructur Operator)</i> |
|--------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------|---|--|
| 3 | 1 - 10 | 10 - 15 | <i>Front Loading/ Disposal</i> | 10 | 9 | - | <i>Groundtest berjalan lancar (no issue) Buzzer aktif ketika melintas di jalan undulating, tanjakan dan tikungan</i> |
| 4 | 1 - 12 | 15 - 20 | Tanjakan & Turunan | 12 | 10 | - | <i>Groundtest berjalan lancar (no issue) Buzzer aktif ketika melintas di jalan undulating dan tikungan</i> |
| 5 | 1 - 14 | 20 - 30 | PIT 2 | 14 | 12 | - | <i>Groundtest berjalan lancar (no issue) Buzzer aktif ketika melintas di jalan undulating dan tikungan</i> |
| 6 | 1 - 20 | 30 - 35 | PIT 2 | 17 | 14 | - | <i>Groundtest berjalan lancar (no issue) Buzzer aktif ketika melintas di jalan undulating dan tikungan</i> |

Berdasarkan Tabel 3, logic pertama diketahui bahwa pada konfigurasi jarak radar 1 – 3 meter dengan kecepatan unit 2 – 5 km/jam serta lokasi percobaan dilakukan di Workshop/ Front Loading, CAS akan mengaktifkan brake pada jarak 3 meter dan buzzer indikator aktif pada jarak 3 meter. Logic kedua diketahui bahwa pada konfigurasi jarak radar 1 – 5 meter dengan kecepatan unit 5 – 10 km/jam serta lokasi percobaan dilakukan di Front Loading/ Disposal, CAS akan mengaktifkan brake pada jarak 5 meter dan buzzer indikator aktif pada jarak 5 meter. Logic ketiga diketahui bahwa pada konfigurasi jarak

radar 1 – 10 meter dengan kecepatan unit 10 – 15 km/jam serta lokasi percobaan dilakukan di Front Loading/ Disposal, CAS akan mengaktifkan brake pada jarak 9 meter dan buzzer indikator aktif pada jarak 10 meter. Logic keempat diketahui bahwa pada konfigurasi jarak radar 1 – 12 meter dengan kecepatan unit 15 – 20 km/jam serta lokasi percobaan dilakukan di tanjakan & turunan, CAS akan mengaktifkan brake pada jarak 10 meter dan buzzer indikator aktif pada jarak 12 meter. Logic kelima diketahui bahwa pada konfigurasi jarak radar 1 – 14 meter dengan kecepatan unit 20 – 30 km/jam serta lokasi percobaan dilakukan di PIT 2, CAS akan mengaktifkan brake pada jarak 12 meter dan buzzer indikator aktif pada jarak 14 meter. Terakhir pada logic keenam diketahui bahwa pada konfigurasi jarak radar 1 – 20 meter dengan kecepatan unit 30 – 35 km/jam serta lokasi percobaan dilakukan di PIT 2, CAS akan mengaktifkan brake pada jarak 14 meter dan buzzer indikator aktif pada jarak 17 meter. Tidak ditemukan masalah pada keenam simulasi yang telah dilakukan dan buzzer aktif ketika melintas di jalan undulating dan tikungan.

Setelah percobaan ketiga dilakukan selanjutnya untuk penyempurnaan dilakukan percobaan keempat. Pada percobaan keempat, CAS menggunakan modul micro controller, sensor radar V2 dengan jarak aktif 50 meter, dan logic pada controller. Tujuan dilakukan pemasangan modul micro controller agar respon dari sensor radar dapat ditangkap dengan cepat oleh micro controller sehingga trigger terhadap brake menjadi lebih cepat, yaitu sisa jarak dari unit terhadap objek menjadi > 1 meter. Selanjutnya pemasangan sensor radar V2 dapat meningkatkan responsifitas dan posisi pemasangan sensor tetap pada ketinggian 1,8 meter dari permukaan.



Gambar 4. Percobaan Keempat Menggunakan Sensor Radar V2 dengan Jarak Aktif 50 Meter

Hasil pada percobaan keempat didapatkan bahwa responsivitas sensor radar V2 lebih baik. Setelah dilakukan upgrade dengan micro controller, trigger terhadap brake menjadi lebih cepat jika dibandingkan dengan percobaan yang dilakukan sebelumnya. Selain itu sensor dapat mengenali jalan dengan kondisi undulating. Pada percobaan keempat juga diketahui semua logic dapat berfungsi dengan baik dan normal.

Tabel 4. Hasil Percobaan Keempat Menggunakan Sensor Radar V2 (Length 50 meter)

| <i>Logic</i> | <i>Jarak Radar (Meter)</i> | <i>Kec Unit (km/jam)</i> | <i>Lokasi</i> | <i>Buzzer Indicator (Meter)</i> | <i>Brake (Meter)</i> | <i>Sisa Jarak Unit dari Objek (Meter)</i> | <i>Result (Technical Instructur Operator)</i> |
|--------------|----------------------------|--------------------------|---------------|---------------------------------|----------------------|---|---|
| 1 | 1-2 | - | - | - | - | - | <i>LED sensor nn jika jarak lebih dari 2m menandakan sensor dalam posisi aktif</i> |
| 2 | 1-3 | N | - | 3 | 3 | - | <i>Untukantisipasi unit mengelundung posisi netral berfungsi dengan bagus</i> |
| 3 | 1-25 | 35-40 | JL. Asamuh | 25 | 20 | 4.8 | <i>Groundtest menggunakan objek drum berjalan lancar (no issue)</i> |
| 4 | 1-30 | 40-45 | JL. Asamuh | 30 | 25 | 5.6 | <i>Groundtest menggunakan objek drum berjalan lancar (no issue)</i> |
| 5 | 1-50 | 45-50 | JL. Asamuh | 50 | 50 | 9.3 | <i>Groundtest menggunakan objek drum berjalan lancar (no issue)</i> |
| 6 | - | 55 up | JL. Asamuh | 55 | - | - | <i>Groundtest berjalan lancar (no issue) Buzzer aktif ketika kecepatan > 50 km/jam</i> |
| 7 | 1-50 | 55 up | JL. Asamuh | 50 | 50 | ± 3 | <i>Menabrak drum</i> |

Berdasarkan Tabel 4 pada logic pertama, diketahui bahwa pada konfigurasi jarak radar 1 – 2 meter, hasilnya LED sensor nn ketika jarak lebih dari 2 meter yang menandakan sensor dalam posisi aktif. Pada logic kedua diketahui bahwa pada konfigurasi jarak radar 1 – 3 meter, dengan kecepatan unit N km/jam, hasilnya adalah buzzer indikator dan brake aktif pada jarak 3 meter. Pada logic ketiga, diketahui bahwa pada konfigurasi jarak radar 1 – 25 meter dengan kecepatan unit 35 – 40 km/jam, hasilnya adalah buzzer indikator aktif pada jarak 25 meter dan brake aktif pada jarak 20 meter dengan sisa jarak unit dari objek yaitu 4,8 meter. Pada logic keempat, digunakan konfigurasi jarak radar 1 – 30 meter dengan kecepatan unit 40 – 45 km/jam, hasilnya adalah buzzer indikator aktif pada jarak 30 meter

dan brake aktif pada jarak 25 meter dengan sisa jarak unit dari objek yaitu 5,6 meter. Pada logic kelima, digunakan konfigurasi jarak radar 1 – 50 meter dengan kecepatan unit 45 – 50 km/jam, hasilnya adalah buzzer indikator aktif pada jarak 50 meter dan brake aktif pada jarak 50 meter dengan sisa jarak unit dari objek yaitu 9,3 meter. Pada logic keenam, dengan kecepatan unit melebihi 55 km/jam, buzzer indikator aktif pada jarak 55 meter. Terakhir pada logic ketujuh, digunakan konfigurasi jarak radar 1 – 50 meter dengan kecepatan unit melebihi 55 km/jam, hasilnya adalah buzzer indikator aktif pada jarak 50 meter dan brake aktif pada jarak 50 meter namun unit menabrak objek yang ada didepannya yaitu drum.

Hasil pada percobaan keempat berjalan dengan baik, adapun hasil yang diketahui selama percobaan tersebut yang pertama adalah batas maksimum kecepatan unit agar tidak menabrak objek adalah 50 km/jam dengan syarat kondisi jalan kering dan datar. Kedua yaitu ketika operator mengoperasikan unit melebihi 55 km/jam dengan tanpa objek didepan, maka buzzer akan aktif dan indikator untuk menurunkan kecepatan akan menyala. Terakhir adalah diperlukan penambahan distance monitor agar operator mengetahui jarak objek yang ada di depan unit.

KESIMPULAN

Collision Avoidance Systems (CAS) bekerja berdasarkan 2 inputan, yaitu jarak dan kecepatan. Jarak didapatkan dari sensor yang terpasang di bagian depan unit, dan kecepatan didapatkan dari transmission output sensor. Jika kombinasi dari kecepatan dan jarak telah memenuhi syarat untuk melakukan perlambatan, maka signal dari kedua sensor tersebut akan mengaktifkan solenoid retarder brake, sehingga oli akan mengalir menuju retarder control valve dan diteruskan menuju piston brake. Sehingga unit akan mulai melakukan pengereman. Ketika CAS aktif, maka buzzer yang berada di kabin akan berbunyi sebagai alert, dan juga lampu signal akan menyala. Hasil yang dilakukan pada percobaan pertama menunjukkan bahwa dari percobaan pertama yaitu kurang efektif karena sensor dan media harus sejajar sehingga unit berpotensi menabrak tanggul dan sensor tidak membaca permukaan yang tidak rata. Hasil pada percobaan kedua menunjukkan sensor radar dengan jarak aktif 10 meter, kurang efektif dikarenakan jarak jangkauan sensor, sehingga dengan kecepatan tertentu, unit masih menabrak objek walaupun retarder brake sudah aktif. Brake otomatis berhenti secara tiba – tiba ketika mendeteksi benda, sehingga mengganggu operasional. Pada kondisi jalan undulating, retarder brake sering aktif dan pembacaan sensor lebih bagus dibandingkan dengan sensor ultrasonik. Hasil percobaan ketiga didapatkan bahwa jangkauan sensor radar yang lebih jauh yaitu 50 meter dapat membaca serta membuat respon controller menjadi lebih baik, sensor radar juga dapat mengenali kondisi jalan undulating, semua logic dapat berfungsi dengan baik dan normal, dan jarak unit berhenti dari objek ± 1 meter. Hasil pada percobaan keempat berjalan dengan baik, adapun hasil yang diketahui selama percobaan tersebut yang pertama adalah batas maksimum kecepatan unit agar tidak menabrak objek adalah 50 km/jam dengan syarat kondisi jalan kering dan datar. Kedua yaitu ketika operator mengoperasikan unit melebihi 55 km/jam dengan tanpa objek didepan, maka buzzer akan aktif dan indikator untuk menurunkan kecepatan akan menyala. Terakhir adalah diperlukan penambahan distance monitor agar operator mengetahui jarak objek yang ada di depan unit. Sehingga dapat disimpulkan bahwa CAS dapat bekerja di unit heavy dump truck PT Putra Perkasa Abadi jobsite Bukit Asam, CAS juga diciptakan dengan aman pada kecepatan < 50 km/jam, dan CAS dapat mencegah kecelakaan heavy dump truck yang dikarenakan hilangnya kontrol operator.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, R. (2009). Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Pertambangan Batubara Bawah Tanah. *Padang: UNP Press Padang*.
- Almberg, K. S., Friedman, L. S., Swedler, D., & Cohen, R. A. (2018). Mine Safety and Health Administration's Part 50 program does not fully capture chronic disease and injury in the Illinois mining industry. *American Journal of Industrial Medicine*, 61(5), 436–443.
- Arikunto, S. (2006). Metode penelitian kualitatif. *Jakarta: Bumi Aksara*, 168.
- Bellanca, J. L., Ryan, M. E., Orr, T. J., & Burgess-Limerick, R. J. (2021). Why do haul truck fatal accidents keep occurring? *Mining, Metallurgy & Exploration*, 38(2), 1019–1029.
- Haidi, H., & Abdullah, R. (2020). Upaya Meminimalisir Kecelakaan Kerja di Area Penambangan PT. Adaro Services Job Site Binungan, Berau Provinsi Kalimantan Timur. *Journals Mining Engineering: Bina Tambang*, 5(2), 77–87.
- Juliandi, R., Abdullah, R., & Murad, M. (2018). Analisis Kinerja Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja untuk Mengetahui Penyebab Meningkatnya Kecelakaan Property Damage di PT. Cakra Bumi Pertiwi Site Bengkulu Utara Provinsi Bengkulu. *Journals Mining Engineering: Bina Tambang*, 3(1), 646–655.
- Khamidullina, E. A., Timofeeva, S. S., & Smirnov, G. I. (2017). Accidents in coal mining from perspective of risk theory. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 262(1), 12210.
- Moleong, L. J. (2021). *Metodologi penelitian kualitatif edisi revisi*.
- Nurdianti, E. P., Rukmana, C. A., Utami, A. R. H. D. D., & Wena, M. (2022). Analisis Tingkat Kesadaran Pekerja Bangunan Dalam Penerapan K3 Di Proyek Bangunan Tinggi Kota Malang. *Proceedings of Life and Applied Sciences*, 2.
- Prasodjo, D., & Ikhwan, M. (2023). Efektifitas Penggunaan Collision Avoidance Systems pada Haul Dump Truck untuk Mengurangi Insiden Tabrakan. *Jurnal Sosial Teknologi*, 3(7), 542–547.
- Puspitasari, N. B. (2014). Analisis Traffic Accident di Industri Tambang Batu Bara dengan Metode Human Factor Analysis And Classification System-mining Industry (Hfacs-mi)(Studi Kasus di PT X Rantau Distrik Kcemb). *Industrial Engineering Online Journal*, 3(4).
- Ratnaningtyas, E. M., Saputra, E., Suliwati, D., Nugroho, B. T. A., Aminy, M. H., Saputra, N., & Jahja, A. S. (2023). Metodologi Penelitian Kualitatif. *No. Januari. Aceh: Yayasan Penerbit Muhammad Zaini*.
- Santos, B. R., Porter, W. L., & Mayton, A. G. (2010). An analysis of injuries to haul truck operators in the US mining industry. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 54(21), 1870–1874.
- Steven, S., Sari, F. A., Anggraeni, W., & Nasrullah, M. I. (2020). Manajemen Risiko Kegagalan Lereng Pada Tambang Emas Menggunakan Teknologi Slope Stability Radar. *Prosiding Temu Profesi Tahunan Perhapi*, 85–94.
- Sudiyanto, J., & Susilowati, I. H. (2018). Causes of fatal accidents involving coal hauling trucks at a coal mining company in Indonesia. *KnE Life Sciences*, 59–70.

Tarwaka, M. (2008). *Implementasi K3 di Tempat Kerja, Surakarta*. Harapan Press.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).