



Uji Kinerja Motor Stepper dengan ESP32-CAM pada Prototipe Pengaman Alat Berat Pertambangan

Indar Hidayat*, Hidayatus Sufyan, Untung Budi U, Farhananto Ilman M, Adin Nur R, Umi Fadlilah

Jurusan Kesehatan Masyarakat/Fakultas Ilmu Kesehatan – Universitas Muhammadiyah Surakarta
Surakarta, Indonesia

*indarhidayat6@gmail.com

Abstract— One sector that can support increased national economic growth is the sector in the mining industry. Mining activities have a significant impact on economic growth in general. Heavy equipment is essential in projects, especially those involving large-scale mining, building, and other operations. The use of heavy equipment in mining is undoubtedly at risk of causing work accidents if not used correctly and safely. Workplace accidents can occur due to blind spots on heavy equipment. So it is necessary to have a system that can detect and provide security using heavy equipment in the ongoing mining process. In making this prototype, researchers used a stepper motor which is a type of motor that is often used as an actuator. In this study, the researcher first identified the problem and then looked for solutions to solve the problem. This stage is the foundation for the following steps. Prototype test results with ten trials on three sides of the camera showed promising results with an average of 1.127/sec on the suitable side sensor, 0.738/sec on the left side sensor, and 1.042/sec on the back side sensor. The results of this test indicate that the stepper motor can rotate adequately to pull the brake pedal on the prototype. The results of this test suggest that the stepper motor can turn sufficiently to pull the brake pedal on the heavy equipment safety prototype.

Abstrak— Salah satu sektor yang dapat mendukung meningkatnya pertumbuhan ekonomi secara nasional adalah sektor dalam industri pertambangan.. Kegiatan pertambangan berdampak signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi secara umum. Dalam proyek, khususnya yang melibatkan pertambangan skala besar, bangunan, dan operasi lainnya, alat berat merupakan komponen yang sangat penting. Adanya penggunaan alat berat di pertambangan tidak diragukan lagi dapat berisiko menyebabkan timbulnya kecelakaan kerja jika tidak digunakan dengan benar dan aman. Kecelakaan di tempat kerja dapat terjadi akibat adanya blind spot (titik buta) pada alat berat. Sehingga perlu adanya suatu sistem yang dapat mendeteksi dan memberikan keamanan dalam berlangsungnya proses pertambangan menggunakan alat berat. Dalam pembuatan prototipe ini, peneliti menggunakan motor stepper yang merupakan jenis motor yang sering digunakan sebagai actuator. Dalam penelitian ini, peneliti terlebih dahulu melakukan identifikasi masalah dan kemudian mencari solusi untuk memecahkan masalah tersebut. Tahap ini merupakan landasan bagi tahapan-tahapan berikutnya. Hasil pengujian prototipe dengan 10 kali percobaan pada 3 sisi kamera menunjukkan hasil yang baik dengan rata-rata 1,127/detik sensor sisi kanan, 0,738/detik sensor sisi kiri, dan 1,042/detik sensor sisi belakang. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa motor stepper dapat berputar dengan baik untuk menarik pedal rem pada prototipe. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa motor stepper dapat berputar dengan baik untuk menarik pedal rem pada prototipe pengaman alat berat.

Kata Kunci— Alat berat; Blind spot; ESP32-CAM; Motor stepper; Kecelakaan kerja; Prototipe.

I. PENDAHULUAN

SALAH satu sektor yang dapat mendukung meningkatnya pertumbuhan ekonomi secara nasional adalah sektor dalam industri pertambangan. Di Indonesia, penerimaan negara yang cukup besar berasal dari industri pertambangan melalui keuntungan ekspor, pembangunan daerah, pertumbuhan kegiatan ekonomi, penciptaan lapangan kerja, dan sebagai sumber keuangan APBN dan APBD [1, 2]. Kegiatan pertambangan berdampak signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi secara umum. Mengikuti kebutuhan zaman yang me-

nuntut perubahan di semua sektor industri, dipandang sangat penting di era globalisasi saat ini. Operasi pertambangan yang dapat diandalkan, mudah, efektif, dan aman diperlukan untuk memenuhi kebutuhan ini. Praktik kesehatan dan keselamatan kerja yang baik harus diberlakukan untuk mencapai keadaan ini. Berdasarkan hal tersebut, pengawasan terhadap faktor manusia (man), peralatan atau material (materials), mesin-mesin (machines), metode dalam kerja (methods), dan lingkungan diperlukan untuk menjaga keselamatan kerja (environments) [3, 4].

Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) terhadap pekerja menjadi perhatian utama bagi sektor pertambangan. Perusahaan akan berupaya untuk menjaga keselamatan dan kesehatan pekerjanya, yang mencakup

Naskah diterima 14 Desember 2022, revisi 4 Maret 2023, terbit online 23 Maret 2023. *Emitor* merupakan Jurnal Teknik Elektro – Universitas Muhammadiyah Surakarta yang terakreditasi dengan Sinta 3 beralamat di <https://journals2.ums.ac.id/index.php/emitor/index>.

tempat kerja yang bebas dari kecelakaan (*zero accident*) dan penyakit yang berhubungan dengan tempat kerja. Namun demikian, jelas bahwa setiap operasi sektor pertambangan memiliki kemungkinan risiko yang meningkatkan kemungkinan timbulnya kecelakaan kerja yang dapat berpengaruh terhadap keselamatan pekerja [5, 6].

Dalam proyek, khususnya yang melibatkan pertambangan skala besar, bangunan, dan operasi lainnya, alat berat merupakan komponen yang sangat penting. Tujuan penggunaan alat berat adalah untuk mempermudah pekerjaan manusia sehingga hasil yang diinginkan bisa didapatkan dengan lebih cepat dan juga mudah [7, 8]. Penggunaan alat berat sangat umum di industri pertambangan karena tidak hanya menghemat tenaga kerja dan waktu tetapi juga membantu bisnis menjadi lebih produktif. Ada beberapa jenis alat berat yang digunakan di pertambangan, seperti *dump truck*, *excavator*, *granby*, *trolley* dan *wheel loader* [9, 10]. Adanya penggunaan alat berat di pertambangan tidak diragukan lagi dapat berisiko menyebabkan timbulnya kecelakaan kerja jika tidak digunakan dengan benar dan aman, kecelakaan kerja dapat terjadi saat menggunakan sebagian besar alat berat yang digunakan di pertambangan dan industri lainnya. Mayoritas kecelakaan di tempat kerja yang melibatkan alat berat berakhir dengan cedera atau kematian yang disebabkan oleh kesalahan manusia (*human error*), meskipun banyak juga yang disebabkan oleh alat yang rusak atau tidak berfungsi. Kedua faktor ini sering mengakibatkan kecelakaan kerja yang mematikan [11, 12].

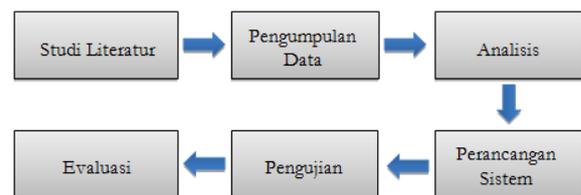
Titik buta adalah salah satu risiko yang terkait dengan penggunaan alat berat. Kecelakaan di tempat kerja dapat terjadi akibat adanya *blind spot* (titik buta) pada alat berat. Hal ini disebabkan operator tidak dapat melihat area tersebut secara langsung maupun tidak langsung melalui kaca spion dalam dan luar saat berada di *blind spot* alat berat. Karena alat berat biasanya memiliki ukuran besar, maka terdapat *blind spot* yang dapat membatasi bidang pandangan operator, sehingga meningkatkan bahaya tertabrak dan terlindas bagi pekerja yang posisinya berada di dekat alat berat. Bagi pekerja lapangan dan pejalan kaki, *blind spot* atau area berbahaya semakin bertambah tinggi seiring dengan bertambah besarnya alat berat.

Oleh karena itu, berkaitan dengan permasalahan di atas, dibutuhkan suatu sistem yang mampu mendeteksi dan memberikan keamanan dalam berlangsungnya proses pertambangan menggunakan alat berat. Jadi, peneliti mengembangkan sebuah prototipe sistem pengaman pada alat berat pertambangan. Dalam pembuatan prototipe ini, peneliti menggunakan motor *stepper* yang merupakan jenis motor yang sering digunakan sebagai

actuator. Motor *stepper* ini akan dikonfigurasi untuk memberikan gerakan berputar yang dihubungkan dengan pedal rem kaki alat berat menggunakan kawat seling untuk mekanisme pengereman otomatis. Metode yang digunakan untuk mengontrol posisi pada motor *stepper* menggunakan *stepper* motor drivers. Sensor kamera ESP32-CAM digunakan sebagai sensor pendeteksi gerakan di area *blind spot* pada alat berat. Slot kartu micro SD, kamera OV2640, dan chip ESP32-S semuanya disertakan dalam modul AI-Thinker ESP32-CAM. Slot dalam kartu micro SD dapat digunakan untuk menyimpan file atau gambar yang diambil oleh kamera. Modul dalam ESP32-CAM bisa digunakan dalam berbagai jenis aplikasi Internet of Things [13, 14]. Kemudian peneliti juga menggunakan pilot lamp sebagai indikator petunjuk bahwa sensor kamera mendeteksi adanya keberadaan manusia.

II. METODE PENELITIAN

Pada tahapan ini akan dijelaskan metode yang dilakukan peneliti dalam melakukan perancangan prototipe sistem pengaman alat berat pertambangan. Dalam penelitian ini, peneliti terlebih dahulu melakukan identifikasi masalah dan kemudian mencari solusi untuk memecahkan masalah tersebut. Tahap ini merupakan landasan bagi tahapan-tahapan berikutnya. Adapun tahapan-tahapan tersebut terdapat dalam kerangka penelitian yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1: Kerangka Penelitian

i. Studi Literatur

Kegiatan studi literatur dalam penelitian ini mengenai antara lain:

1. Kecelakaan kerja pertambangan
2. *blind spot* alat berat
3. Human Image Detection
4. Sistem Perangkat Lunak (Software)
5. Sistem Perangkat Keras (Hardware)
6. Braking system alat berat

ii. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan di perusahaan wilayah sekitar Solo raya yang dalam opera-

sionalnya menggunakan alat berat. Melihat banyaknya tingkat kasus kecelakaan kerja yang terjadi di perusahaan pertambangan Indonesia, maka kegiatan ini dilakukan untuk mengidentifikasi faktor risiko kecelakaan kerja yang disebabkan oleh adanya *blind spot*.

Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan observasi alat berat jenis Grader, Wheel Loader, dan Bulldozer di PT Adhi Persada Beton, PT Jogjasolo Marga Makmur dan PT Indo Acidatama Tbk. Data yang di observasi berkaitan dengan bentuk pedal rem alat berat, luas kabin rem operator, kelistrikan alat berat, dan *blind spot* alat berat.

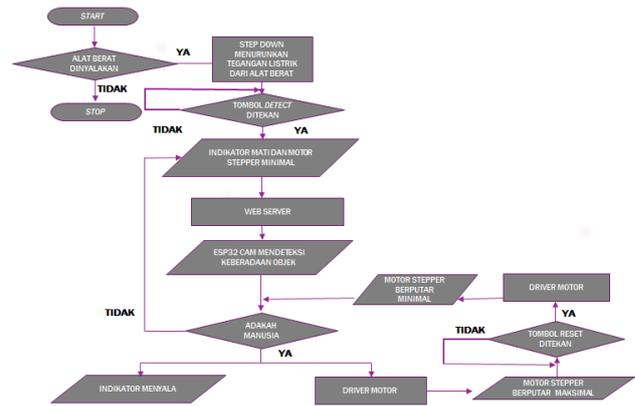
iii. Analisis

Analisis dalam penelitian ini dilakukan dalam upaya menentukan prioritas masalah yang akan diteliti secara mendalam dan juga mencari solusi untuk mengatasi permasalahan yang terjadi. Faktor yang dianalisis berdasarkan pengumpulan data setelah observasi alat berat jenis *Grader*, *Wheel Loader*, dan *Bulldozer* yaitu antara lain:

1. Pedal rem jenis hidrolik
2. Luas kabin rem operator
3. Kelistrikan alat berat 24 V
4. Penempatan ESP32-CAM di 3 *blind spot* yaitu bagian kanan, kiri, dan belakang

iv. Perancangan Sistem

Seperti terlihat pada Gambar 2. Pada saat prototipe ini dinyalakan, maka sistem akan berkerja. Jika alat berat tidak dinyalakan, maka prototipe dan alat berat juga tidak on. Selanjutnya jika alat berat dihidupkan, maka step down menurunkan aliran tegangan listrik yang bersumber dari alat berat tersebut. Bila tombol detect tidak ditekan, maka akan mengulangi perintah untuk menekan. Jika sudah ditekan, maka indikator mati sehingga motor stepper dalam keadaan minimal. Hal tersebut dapat menghidupkan web server, lalu ESP32-CAM mendeteksi keberadaan objek. Jika tidak terdeteksi adanya manusia, maka indikator akan mati lagi. Namun, jika mendeteksi adanya manusia, maka indikator menyala dan motor stepper berputar menarik pedal direm dengan kawat seling, sehingga alat berat berhenti dan tidak menabrak objek manusia. Setelah alat berat berhenti dan tombol reset ditekan, maka driver motor akan memprogram motor stepper untuk berputar minimal, lalu proses mendeteksi manusia lagi. Akan tetapi, jika tombol reset tidak ditekan, maka akan mengulangi perintah untuk menekan tombol reset kembali. Proses ini berulang untuk mengamankan sekeliling alat berat agar tidak terjadi kecelakaan kerja.



Gambar 2: Flowchart sistem prototipe

Perangkat yang digunakan untuk pembuatan prototipe ini adalah: Software yang dibutuhkan:

1. Arduino IDE
2. Solid Works

Hardware yang dibutuhkan:

1. Laptop Lenovo Ideapad Slim AMD Ryzen 7
2. ESP32-CAM
3. Motor Stepper
4. Driver Motor
5. Lampu RC
6. Step Down
7. Kabel Pita
8. Kabel biasa
9. USB to TTL
10. Socket IC
11. IC SN 74 RS 32
12. ESP32-CAM Housing
13. Resistor 330 Ohm

v. Pengujian

Prototipe akan di uji untuk mengetahui tingkat efektivitas kerja sistem. Tahap pengujian ini juga dilakukan dengan tujuan untuk melihat seberapa tinggi tingkat keberhasilan dan juga kendala yang akan terjadi saat prototipe dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan menggunakan 3 kamera ESP32-CAM yang diletakkan di 3 sisi prototipe bagian kanan, kiri, dan belakang.

vi. Evaluasi

Langkah terakhir adalah proses evaluasi keseluruhan yang dilakukan setelah tahap pengujian selesai. Tahap ini dilakukan untuk menarik kesimpulan berdasarkan data dan hasil percobaan di lapangan. Tahap evaluasi juga dilakukan agar prototipe dapat berfungsi dengan sempurna dan dapat ditingkatkan di masa mendatang, upaya evaluasi ini diharapkan dapat mengatasi semua kekurangannya.

III. HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

Prototipe pengaman alat berat pertambangan ini dirancang untuk dapat mengidentifikasi objek pada area sekitar *blind spot* yang terdapat pada alat berat pertambangan dan mampu memberhentikan alat berat tersebut secara otomatis ketika ada perilaku atau keadaan berisiko yang dapat menyebabkan kecelakaan kerja. Motor yang digunakan pada prototipe ini adalah motor stepper nema 34 dengan torsi yang besar. Stepper motor drivers digunakan untuk mengontrol sistem motor yang ada dalam prototipe ini. Pada alat ini juga digunakan ESP32-CAM yang digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi keberadaan manusia.



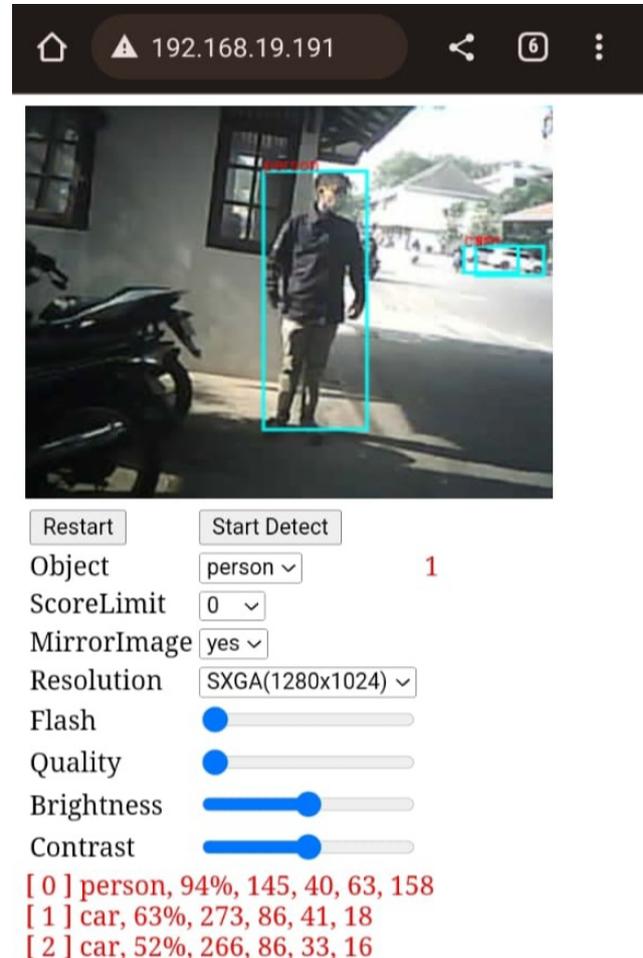
Gambar 3: Prototipe Alat

Seluruh rangkaian sistem prototipe dapat dilihat pada Gambar 3. Dalam rangkaian pada prototipe ini terdapat beberapa komponen utama diantaranya yaitu: Motor Stepper, ESP32-CAM, Driver Motor Stepper, dan kontroler. Sistem pada prototipe ini menggunakan perantara jaringan dengan konsep Internet of Things (IoT).

i. Analisis ESP32-CAM

Prototipe ini menggunakan ESP32-CAM sebagai sensor untuk mendeteksi gerakan manusia seperti yang terlihat pada Gambar 4. Pada Gambar 4 tersebut terlihat hasil dari deteksi objek manusia pada ESP32-CAM yang digunakan sebagai wireless connection dan kamera OV2640 yang ukurannya lebih kecil sebagai sensor atau pendeteksi adanya manusia dengan sistem IoT. Untuk mengetahui kinerja dari sensor ESP32-CAM, maka dilakukan pemrograman terlebih dahulu. Sistem dapat digunakan melalui alamat IP yang diterima dari titik

akses, yang akan ditautkan ke browser web di komputer atau melalui smartphone, dan modul pada kamera OVO2640 akan menampilkan foto di browser web jika ESP32-CAM terhubung ke jalur akses [15, 16], sehingga prototipe bisa dijalankan melalui wireless controller dan dapat mendeteksi gerakan manusia.



Gambar 4: Hasil Deteksi ESP32-CAM

ii. Pengujian dan Analisis Motor Stepper

Pengujian motor stepper dilakukan untuk mengetahui fungsi dan kinerja dari motor stepper, ESP32-CAM sebagai sensor mendeteksi keberadaan manusia. Pengujian ini dilakukan pada manusia yang sedang berjalan sebagai objek yang akan di deteksi oleh ESP32-CAM, kemudian melihat responsibilitas motor stepper. Gambar 5 adalah pengujian dan hasil responsibilitas motor stepper setelah terdeteksi ESP32-CAM.

Output hasil pengujian ini adalah ESP32-CAM mendeteksi objek manusia dan motor stepper menarik pedal rem. Hasil pengujian prototipe dengan 10 kali percobaan pada 3 sisi kamera menunjukkan hasil yang baik dengan rata-rata hasil responsibilitas 1,127/detik sensor sisi kanan, 0,738/detik sensor sisi kiri, 1,042/de-



Gambar 5: Pengujian Prototipe

Tabel 1: Hasil Pengujian

Sisi ESP32- CAM	Hasil Pengujian		Respons
	Berhasil	Gagal	
Kanan	10 Kali	0	1,127
Kiri	10 Kali	0	0,738
Belakang	10 Kali	0	1,042

tik sensor sisi belakang dan tingkat kegagalan sebesar 0 (tidak ada). Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa motor stepper dapat berputar dengan baik untuk menarik pedal rem pada prototipe. Adapun data hasil pengujian dalam 10 kali percobaan ditabulasikan dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 2: Data responsibilitas deteksi objek dalam satuan detik dengan simbol S untuk mengacu pada kata sensor

No	S kiri	S kanan	S belakang
1	0,46	0,49	0,29
2	0,24	0,89	0,52
3	0,55	1,00	1,55
4	0,89	0,82	0,47
5	0,54	0,86	0,39
6	1,22	1,35	2,98
7	1,27	0,77	1,01
8	0,54	0,69	1,67
9	0,72	1,43	0,87
10	0,95	2,97	0,67
Rata-rata	0,738	1,127	1,042

Motor stepper adalah jenis perangkat elektromekanis yang dapat mengubah sebuah gerakan mekanis diskrit dari pulsa listrik. Motor stepper dapat bergerak sebagai respons terhadap pulsa yang dikirim ke motor. Oleh karena itu, diperlukan suatu pengontrol yang bisa menghasilkan pulsa periodik untuk mengoperasikan motor stepper. Jika dibandingkan dengan

menggunakan jenis motor DC biasa, menggunakan motor stepper memberikan sejumlah keuntungan [17, 18]. Dalam sistem ini, motor stepper akan dikendalikan oleh Driver Motor DM 542. DM 542 adalah drive stepper digital sepenuhnya yang dikembangkan dengan kontrol DSP canggih algoritma berdasarkan teknologi kontrol gerak terbaru. Identifikasi dan parameter otomatis motornya fitur konfigurasi otomatis menawarkan pengaturan cepat ke mode optimal dengan motor yang berbeda [19, 20].

Pada prototipe ini juga terpasang Pilot Lamp yang digunakan sebagai indikator yang menunjukkan adanya manusia ketika ESP32-CAM mendeteksi manusia. Pilot lamp akan menyala ketika sensor mendeteksi manusia dan akan mati ketika sensor sudah tidak mendeteksi manusia. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pilot lamp dapat menyala ketika ESP32-CAM mendeteksi manusia dan motor stepper berputar.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian keseluruhan alat, dapat disimpulkan bahwa motor stepper dapat bekerja dengan baik, dengan rata-rata responsibilitas 1,127/detik sensor sisi kanan, 0,738/detik sensor sisi kiri, 1,042/detik sensor sisi belakang dan tingkat kegagalan sebesar 0 (tidak ada). Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa motor stepper dapat berputar dengan baik untuk menarik pedal rem pada prototipe pengaman alat berat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Buntarto, "Panduan praktis keselamatan dan kesehatan kerja," *Pustaka Baru Pres*, 2015.
- [2] B. B. P. P. Keselamatan, "Kesehatan kerja," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 3, no. 5, 2015.
- [3] R. Kristiawan dan R. Abdullah, "Faktor penyebab terjadinya kecelakaan kerja pada area penambangan batu kapur unit alat berat pt. semen padang," *Bina Tambang*, vol. 5, no. 2, pp. 11–21, 2020.
- [4] I. Yufahmi dan R. HAR, "Analisis risiko bahaya dan upaya pengendalian kecelakaan kerja dengan metode hirarki pengendalian bahaya pada area penambangan batu gamping bukit karang putih di pt. semen padang, sumatera barat," *Bina Tambang*, vol. 6, no. 4, pp. 186–195, 2021.
- [5] F. Fikrie, L. Ariani, dan E. Jannatuna'im, "Studi kasus kecelakaan kerja pada operator tambang batu bara pt x di kalimantan selatan," *Psycho Holistic*, vol. 1, no. 2, pp. 101–107, 2019.
- [6] B. R. PRATOMO dan N. B. PUSPITASARI, "Analisis penyebab kelelahan operator haul dumptruck (hd)(studi kasus di pt x rantau angka kalimantan selatan)," *Industrial Engineering Online Journal*, vol. 3, no. 2, 2014.
- [7] A. Kaprina, S. Winarto, dan Y. C. S. Purnomo, "Analisa produktifitas alat berat pada proyek pembangunan gedung fakultas syariah dan ilmu hukum iain tulungagung," *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2018.

- [8] S. Winoto, J. Agustina *et al.*, “Faktor-faktor penghambat penggunaan alat berat pada proyek konstruksi lrt,” *SKRIPSI-2018*, 2018.
- [9] N. N. Sari, “Gambaran pelaksanaan inspeksi terencana pada pengoperasian wheel loader di area tambang pt. aneka tambang tbk. unit bisnis pertambangan emas pongkor,” 2010.
- [10] U. H. Pravika, “Implementasi hiperkes dan keselamatan kerja serta lingkungan di pt antam tbk. ubpe pongkor,” 2019.
- [11] D. Yusra, “Persepsi operator thd penerapan sistem safety dlm operasional alat berat pd pelaksanaan proyek konstruksi,” Ph.D. dissertation, Universitas Mercu Buana, 2008.
- [12] M. A. Puteri, H. Harianto, T. J. Saputra, M. A. Simanjuntak, E. Randalangi, A. Salsabila, dan A. H. V. Al Farisi, “Analisis keselamatan kerja pada sistem pengoperasian forklift dan crane guna mencegah kecelakaan kerja,” *Zona Laut: Journal of Ocean Science and Technology Innovation*, pp. 32–37, 2022.
- [13] A. Choudhry, “How to use esp32 camera module for video streaming and face recognition,” 4 november, 2019.
- [14] J. Wen, J. Liu, F. Xu, X. Duan, dan J. Huang, “Face recognition system design based on esp32,” in *2022 International Seminar on Computer Science and Engineering Technology (SCSET)*. IEEE, 2022, pp. 114–116.
- [15] S. N. Utama, O. V. Putra *et al.*, “Rancang bangun robot pemotong rumput otomatis menggunakan wireless kontroler modul esp32-cam berbasis internet of things (iot),” *Jurnal Teknoinfo*, vol. 15, no. 1, pp. 45–55, 2021.
- [16] M. F. FADLI dan N. Syafitri, “Perancangan robot drainage sebagai sistem monitoring gorong-gorong berbasis modul esp32-cam ov2640,” *FTI*, 2022.
- [17] N. Soedjarwanto, G. F. Nama, dan R. A. Nugroho, “Prototipe smart door lock menggunakan motor stepper berbasis iot (internet of things),” *Electrician*, vol. 15, no. 2, pp. 73–82, 2021.
- [18] B. Eryawan, A. E. Jayati, dan S. Heranurweni, “Rancang bangun prototype smart home dengan konsep internet of things (iot) menggunakan raspberry pi berbasis web,” *Elektrika*, vol. 11, no. 2, pp. 1–5, 2019.
- [19] A. S. Dandgawhal, D. Sudhakar, dan B. T. Patil, “Automated gas cutting machine using open cnc,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 810, no. 1. IOP Publishing, 2020, p. 012012.
- [20] Q. Yuanfei, X. Juliang, dan W. Gang, “The open architecture cnc system based on 6-axis flame pipe cutting machine,” in *2011 Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, vol. 3. IEEE, 2011, pp. 878–881.