

Sistem Pengendalian Keamanan Jarak Heavy Dump Dan Kemiringan Saat Dumping Pada Tambang Batubara Pt Putra Perkasa Abadi

Nina Paramytha¹, M. Yaziedh Fachrezi^{2*)}

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Universitas Bina Darma, Jalan Jenderal Ahmad Yani No. 12, Plaju, Palembang, Sumatera Selatan, 30264

*Penulis Korespondensi, e-mail: reziaanez450@gmail.com

Received: 18/08/2026

Revised: 27/09/2026

Accepted: 30/09/2026

ABSTRAK

Industri pertambangan batubara memiliki tingkat risiko keselamatan yang tinggi, khususnya pada pengoperasian alat berat. Penelitian ini bertujuan mengembangkan prototipe sistem pengendalian keamanan pintar untuk memitigasi risiko tabrakan antarkendaraan dan insiden truk rebah (*unbalanced loading*) saat proses dumping. Sistem dirancang menggunakan miniatur *Remote Control (RC) Heavy Dump Truck (HD)* sebagai representasi unit alat berat dengan skenario pengujian yang mengacu pada kondisi operasional PT Putra Perkasa Abadi di Tanjung Enim. Sistem dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 yang mengintegrasikan sensor LiDAR TF-Luna untuk mendeteksi objek dan sensor MPU-6050 untuk mendeteksi kemiringan. Hasil pengujian menunjukkan sensor LiDAR memiliki akurasi rata-rata 99,18% dengan error rata-rata 0,35 cm dan mampu mengaktifkan pengereman otomatis pada jarak kritis di bawah 30 cm. Sensor MPU-6050 memiliki akurasi pembacaan sudut 98,10% dengan error rata-rata 0,045° dan mampu mengunci mekanisme hidrolik saat kemiringan mencapai $\geq 4^\circ$. Sistem juga mampu beroperasi selama 4,4 jam dengan cadangan daya 20%. Hasil penelitian menunjukkan sistem yang dikembangkan responsif dan efektif sebagai alat bantu keselamatan untuk mengurangi risiko kecelakaan pada operasional Heavy Dump Truck.

Kata Kunci: Heavy Dump Truck, Mikrokontroler ESP 32, Sensor LIDAR TF-Luna, Sensor MPU-6050, Keselamatan Tambang

ABSTRACT

The coal mining industry has a high level of safety risk, particularly in heavy equipment operations. This study aims to develop a smart safety control prototype to mitigate the risk of vehicle collisions and unbalanced loading incidents during the dumping process. The system was designed using a Remote Control (RC) Heavy Dump Truck (HD) miniature as a physical representation of heavy equipment, with testing scenarios based on the operational conditions of PT Putra Perkasa Abadi in Tanjung Enim. The system is controlled by an ESP32 microcontroller integrating a LiDAR TF-Luna sensor for obstacle detection and an MPU-6050 sensor for tilt detection. Test results showed that the LiDAR TF-Luna achieved an average accuracy of 99.18% with an average error of 0.35 cm and successfully activated automatic braking at a critical distance below 30 cm. The MPU-6050 achieved an angular measurement accuracy of 98.10% with an average error of 0.045° and successfully locked the hydraulic mechanism when the tilt angle reached $\geq 4^\circ$. The system also operated for 4.4 hours with a remaining critical power reserve of 20%. The results demonstrate that the developed system is responsive and effective as a safety aid for reducing accident risks in Heavy Dump Truck operations.

Keywords: Heavy Dump Truck, ESP 32 Microcontroller, TF-Luna LIDAR Sensor, MPU-6050 Sensor, Mining Safety



1. PENDAHULUAN

PT Putra Perkasa Abadi (PPA) adalah salah satu kontraktor tambang batubara terbesar di Indonesia yang memiliki peran penting dalam menjaga pasokan energi nasional. Di berbagai wilayah operasionalnya, termasuk di site Tanjung Enim, PT PPA bergerak di bidang jasa penambangan yang terintegrasi. Sebagai perusahaan besar, PT PPA mengutamakan efisiensi kerja dengan menerapkan aturan Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pertambangan (K3 Pertambangan)[1].

Aktivitas operasional di PT PPA sangat bergantung pada penggunaan *Heavy Dump Truck* (HD) untuk kelancaran produksi[2]. Di area tambang PT PPA, kecepatan HD dibatasi antara 25 hingga 40 km/jam saat bermuatan atau berkonvoi untuk menjaga kestabilan[3]. Risiko kecelakaan HD yang krusial juga terjadi saat proses penumpahan material (*dumping*) di area *disposal*. Operator harus memundurkan truk hingga mendekati tepi tebing pembuangan (*edge of dump*) yang memiliki kondisi struktur tanah tidak stabil. Kondisi ini berpotensi menyebabkan unit HD amblas atau terguling akibat beban dinamik dan pergeseran pusat gravitasi saat bak (*vesse*) terangkat. Kesulitan operator dalam memperkirakan jarak aman terhadap tanggul pengaman (*windrow*) serta ketidaksadaran akan kemiringan sasis truk di atas 5 derajat dapat memicu kegagalan tumpuan mekanis[4].

Berbagai upaya telah dilakukan untuk meningkatkan keselamatan operasional kendaraan HD melalui penerapan teknologi sensor. Salah satu teknologi yang banyak digunakan adalah Light Detection and Ranging (LiDAR) yang mampu mendeteksi jarak objek dengan memanfaatkan pancaran sinar laser. Penelitian yang dilakukan oleh Supriyadi et al. mengembangkan sistem deteksi objek berbasis sensor LiDAR untuk membantu mobilitas penyandang disabilitas netra. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan sensor LiDAR yang dikombinasikan dengan metode Kalman Filter mampu meningkatkan akurasi pembacaan jarak objek di lingkungan sekitar[5]. Selain itu, penelitian oleh Akbar et al. (2024) mengembangkan sistem kendaraan otonom berbasis LiDAR 3D untuk mendeteksi objek di sekitar kendaraan listrik sehingga dapat meningkatkan keselamatan dalam proses navigasi kendaraan[6].

Selain teknologi deteksi jarak, sistem keselamatan kendaraan juga dapat didukung dengan sensor yang mampu mendeteksi kemiringan atau perubahan posisi kendaraan. Salah satu sensor yang banyak digunakan adalah sensor MPU6050, yaitu sensor Inertial Measurement Unit (IMU) yang mampu membaca percepatan serta perubahan orientasi pada sumbu x, y, dan z. Penelitian oleh Fitriandini dkk. (2025) memanfaatkan sensor MPU6050 pada sistem deteksi jatuh berbasis Internet of Things (IoT) untuk memonitor kondisi lansia. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa sensor MPU6050 mampu mendeteksi perubahan posisi secara akurat berdasarkan nilai percepatan dan sudut kemiringan yang dihasilkan oleh sensor[7]. Penelitian lain yang dilakukan oleh Fuady et al. juga menunjukkan bahwa sensor MPU6050 dapat digunakan untuk mendeteksi gerakan dan perubahan orientasi objek dengan tingkat akurasi yang cukup baik[8].

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu tersebut, dapat diketahui bahwa teknologi sensor LiDAR telah banyak dimanfaatkan untuk mendeteksi objek di lingkungan sekitar, sedangkan sensor MPU6050 digunakan untuk mendeteksi perubahan posisi atau kemiringan suatu objek. Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada penggunaan masing-masing sensor secara terpisah dan belum secara spesifik diterapkan pada sistem keselamatan kendaraan operasional di lingkungan pertambangan. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan integrasi sensor LiDAR dan sensor MPU6050 dalam suatu sistem simulasi keselamatan kendaraan berbasis model *remote control Heavy Dump Truck* (RC HD). Sensor LiDAR digunakan untuk mendeteksi jarak objek di depan kendaraan guna mencegah terjadinya tabrakan antar kendaraan[9], sedangkan sensor MPU6050 digunakan untuk mendeteksi sudut kemiringan kendaraan saat proses *dumping* di area *disposal*[10].

Berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem deteksi objek berbasis sensor LiDAR serta sistem deteksi kemiringan berbasis sensor MPU6050 pada model *remote control Heavy Dump Truck* (RC HD) sebagai simulasi kendaraan operasional tambang. Sistem yang dirancang diharapkan mampu memberikan peringatan dini terhadap potensi tabrakan antar kendaraan serta kondisi kemiringan kendaraan yang berpotensi menyebabkan

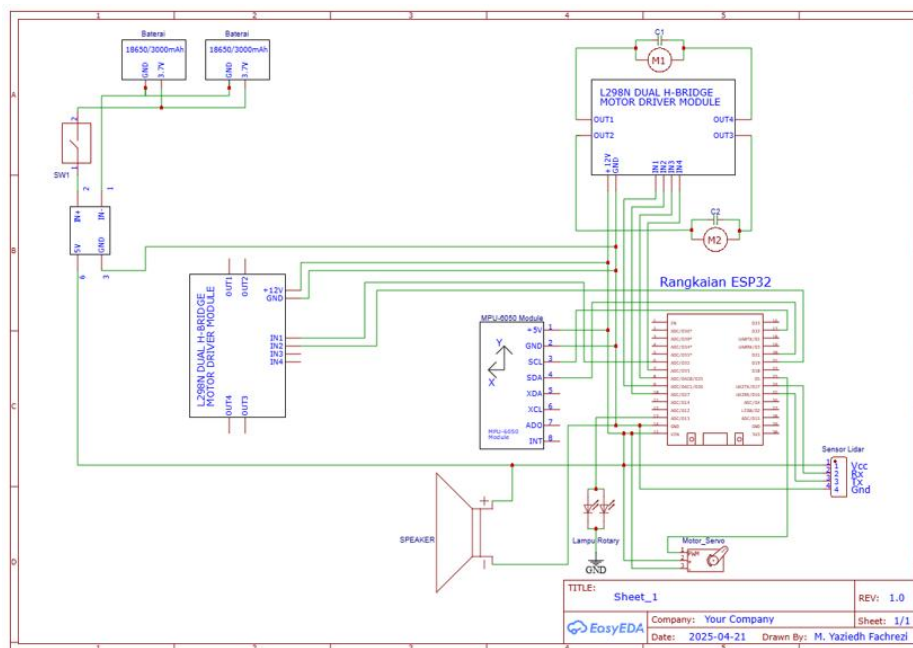


kecelakaan, sehingga dapat menjadi alternatif solusi dalam pengembangan sistem keselamatan kendaraan operasional di PT PPA Tanjung Enim. Langkah ini sejalan dengan komitmen perusahaan dalam menerapkan budaya *Zero Harm* serta menekan risiko kecelakaan pertambangan sesuai regulasi resmi.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Skema Rangkaian

Pada tahap ini peneliti membuat skema rangkaian yang merupakan representasi visual dari susunan dan hubungan antar komponen elektronik dalam sebuah sistem. Skema ini digunakan untuk mempermudah pemahaman alur kerja suatu rangkaian, mulai dari sumber daya, jalur sinyal, hingga koneksi antar komponen seperti resistor, sensor, mikrokontroler, dan aktuator. Dalam skema rangkaian, setiap komponen digambarkan dengan simbol standar internasional dan dihubungkan oleh garis-garis yang menunjukkan aliran arus listrik atau sinyal. Skema ini sangat penting dalam proses perancangan, perakitan, hingga analisis sistem elektronik karena memberikan gambaran menyeluruh mengenai fungsi dan interaksi antar bagian dalam suatu perangkat elektronik.



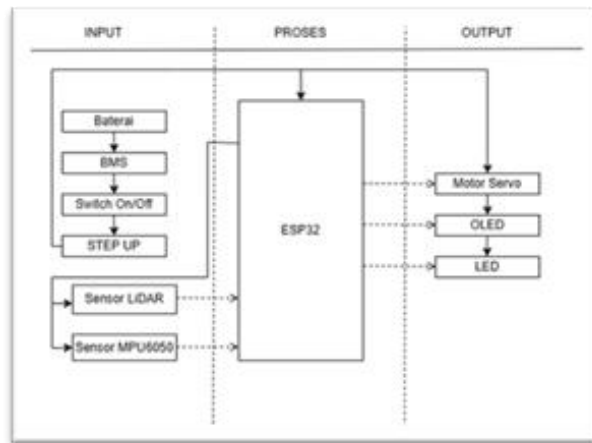
Gambar 1: Skema Rangkaian

Skema rangkaian pada gambar 1 ini menggambarkan sebuah sistem kendali berbasis mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan berbagai sensor, aktuator, dan modul komunikasi. Sumber daya utama berasal dari baterai Li-ion 14500 yang menyuplai tegangan ke seluruh rangkaian. Pada bagian kiri, terdapat modul Receiver RC HD yang mengontrol tiga motor (M1, M2, M3) serta speaker melalui penguat sinyal. Di bagian utama, mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang mengelola input dari sensor seperti MPU-6050 (sensor akselerometer dan giroskop) dan sensor Lidar, serta output berupa motor servo, lampu rotary, dan tampilan data pada layar OLED 0.96 inci berbasis I2C.

2.2 Diagram Blok

Diagram blok pada gambar 2, menggambarkan hubungan antara bagian input, proses, dan output pada sistem pendeteksi jarak dan kemiringan pada Heavy Dump (HD) berbasis mikrokontroler. Pada bagian input, sistem memperoleh sumber daya listrik dari baterai yang dilengkapi dengan Battery Management System (BMS) untuk menjaga kestabilan dan keamanan penggunaan daya. Tegangan dari baterai kemudian dikontrol melalui switch on/off sebagai pengontrol utama sistem, sebelum diteruskan ke modul step-up yang berfungsi untuk menyesuaikan tegangan agar sesuai dengan kebutuhan seluruh komponen elektronik.





Gambar 2 : Diagram Blok

Selain sebagai sumber daya, bagian input juga terdiri dari sensor LiDAR dan sensor MPU6050. Sensor LiDAR digunakan untuk mendeteksi jarak antara Heavy Dump dengan objek di sekitarnya secara akurat, sehingga dapat mencegah terjadinya tabrakan. Sementara itu, sensor MPU6050 berfungsi untuk mendeteksi tingkat kemiringan kendaraan terhadap permukaan tanah, yang sangat penting dalam menjaga stabilitas saat proses operasional, khususnya saat dumping.

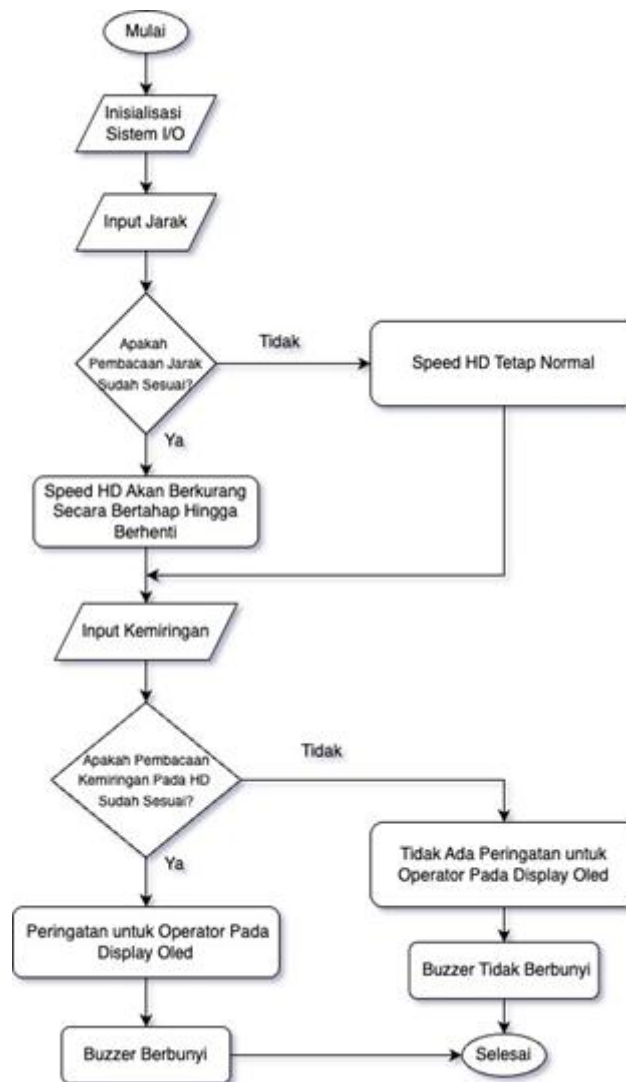
Seluruh data yang diperoleh dari perangkat input tersebut akan diproses oleh mikrokontroler ESP32 yang berperan sebagai pusat kendali sistem. ESP32 bertugas membaca data dari sensor LiDAR dan MPU6050, kemudian mengolah data tersebut berdasarkan parameter yang telah ditentukan, seperti batas jarak aman dan batas kemiringan maksimum. Berdasarkan hasil pengolahan tersebut, mikrokontroler akan menentukan tindakan yang harus dilakukan oleh sistem.

Hasil dari proses pengolahan data kemudian diteruskan ke bagian output yang terdiri dari motor servo, OLED, dan LED. Motor servo digunakan untuk mengendalikan mekanisme dumping pada kapal Heavy Dump, sehingga hanya dapat beroperasi pada kondisi yang aman. OLED berfungsi sebagai media tampilan untuk menampilkan informasi seperti jarak dan kemiringan secara real-time kepada operator. Sedangkan LED digunakan sebagai indikator visual untuk memberikan peringatan apabila terjadi kondisi tidak aman, seperti jarak terlalu dekat atau kemiringan melebihi batas yang ditentukan.

2.3 Diagram Alir (Flowchart)

Sebagai bagian dari Skema Rangkaian alat, dibutuhkan perencanaan alur kerja dalam bentuk diagram alir atau *flowchart*. Diagram alir ini berfungsi untuk memetakan urutan proses kerja dari alat, mulai dari awal hingga akhir. Dengan adanya diagram alir, setiap tahapan dalam sistem dapat dirancang secara lebih sistematis dan logis, sehingga memudahkan proses implementasi dan evaluasi alat. *Flowchart* juga membantu dalam mengidentifikasi kemungkinan hambatan dan memastikan bahwa keseluruhan sistem berjalan sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan.





Gambar 3 : Flowchart Alat

Pada ada Gambar 3, menggambarkan alur kerja sistem monitoring dan pengendalian kecepatan serta posisi Hard Disk (HD) berdasarkan pembacaan jarak dan kemiringan. Proses dimulai dengan menjalankan sistem, kemudian dilakukan inisialisasi sistem I/O untuk memastikan seluruh komponen input dan output dapat digunakan dengan baik. Setelah proses inisialisasi selesai, sistem melakukan input jarak untuk memperoleh data jarak HD terhadap objek atau batas yang telah ditentukan.

Data jarak yang diperoleh selanjutnya diperiksa melalui proses keputusan untuk menentukan apakah pembacaan jarak sudah sesuai dengan batas yang ditentukan. Jika pembacaan jarak belum sesuai, maka kecepatan HD tetap berjalan normal. Sebaliknya, jika pembacaan jarak sudah sesuai dengan kondisi yang ditentukan, maka kecepatan HD akan dikurangi secara bertahap hingga berhenti. Kedua kondisi tersebut kemudian dilanjutkan ke proses pembacaan kemiringan.

Setelah itu, sistem melakukan input kemiringan untuk mendapatkan nilai kemiringan atau posisi HD. Data kemiringan yang diperoleh kemudian dievaluasi melalui keputusan apakah pembacaan kemiringan pada HD sudah sesuai dengan batas yang telah ditentukan. Apabila pembacaan kemiringan belum sesuai, maka sistem tidak memberikan peringatan kepada operator pada display OLED, dan buzzer tidak berbunyi. Sistem kemudian menyelesaikan proses.

Namun, apabila pembacaan kemiringan HD sudah sesuai dengan kondisi yang ditentukan, maka sistem akan memberikan peringatan kepada operator melalui display OLED. Selain itu, buzzer akan berbunyi sebagai

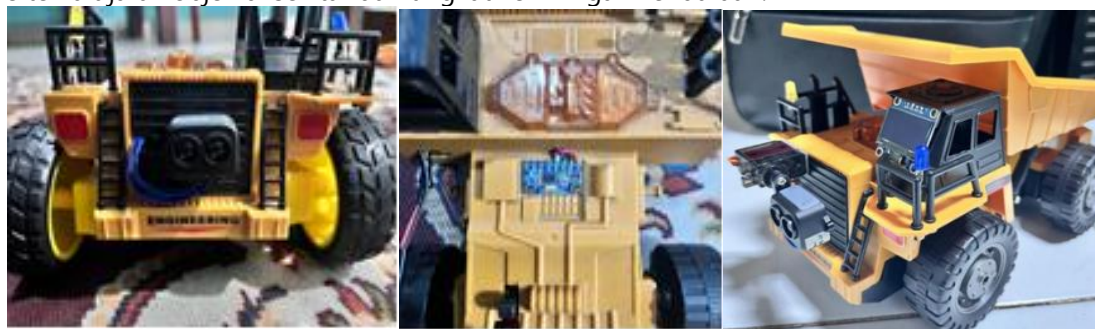


tanda peringatan kepada operator bahwa kondisi kemiringan HD telah mencapai kondisi yang perlu diperhatikan. Setelah pemberian peringatan dan buzzer berbunyi, proses sistem kemudian berakhir pada kondisi selesai.

Dengan demikian, flowchart tersebut menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan memanfaatkan pembacaan jarak dan kemiringan sebagai parameter pengendalian dan monitoring HD. Pembacaan jarak digunakan untuk mengatur kecepatan HD secara bertahap hingga berhenti ketika mencapai kondisi yang ditentukan, sedangkan pembacaan kemiringan digunakan sebagai dasar pemberian peringatan melalui display OLED dan buzzer kepada operator.

2.4 Perancangan Alat

Perancangan Alat bertujuan untuk memastikan seluruh komponen perangkat keras pada sistem pendeteksi jarak dan kemiringan pada heavy dump (hd). Sistem ini dirancang dengan mempertimbangkan aspek keselamatan operasional, kemudahan instalasi, serta kemampuan dalam memberikan informasi secara real-time terkait jarak objek di sekitar dan tingkat kemiringan kendaraan.



Gambar 4 : Realisasi Miniatur

Pada Gambar 4 realisasi alat miniatur pendeteksi jarak dan kemiringan yang dipasang pada miniatur Heavy Dump (HD). Secara mekanis, alat ini dipasang pada bagian depan kendaraan, tepatnya pada area grill depan, sehingga memungkinkan sensor mendeteksi objek secara langsung pada jalur pergerakan HD. Penempatan ini bertujuan agar sistem dapat bekerja secara optimal dalam membaca kondisi lingkungan di depan kendaraan.

Pada sistem ini digunakan sensor LiDAR sebagai perangkat utama untuk mendeteksi jarak objek di sekitar HD. Sensor LiDAR bekerja dengan memancarkan sinar laser ke arah objek dan mengukur waktu pantulan cahaya tersebut untuk menentukan jarak secara akurat. Dibandingkan dengan sensor lainnya, LiDAR memiliki tingkat akurasi dan kecepatan respon yang lebih baik, sehingga sangat sesuai digunakan dalam sistem pemantauan jarak pada alat berat. Data jarak yang diperoleh dari sensor ini akan diproses oleh mikrokontroler untuk mendeteksi potensi hambatan atau risiko tabrakan di area kerja.

Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan sensor MPU6050 yang berfungsi untuk mendeteksi kemiringan atau sudut kemiringan HD. Sensor ini berperan penting dalam menjaga kondisi kestabilan kendaraan, terutama saat beroperasi di medan yang tidak rata atau menanjak. Informasi kemiringan ini digunakan sebagai indikator untuk mencegah kondisi berbahaya seperti risiko terguling.

Selain perangkat sensor, sistem juga dilengkapi dengan beberapa komponen pendukung seperti buzzer yang berfungsi sebagai indikator peringatan suara ketika jarak objek terlalu dekat atau kemiringan melebihi batas aman yang telah ditentukan. Motor DC digunakan sebagai penggerak utama miniatur HD, sedangkan driver motor berfungsi sebagai pengontrol arah serta kecepatan putaran motor berdasarkan perintah dari mikrokontroler.

Untuk menjaga kestabilan tegangan, sistem menggunakan modul step-down (buck converter) yang berfungsi menurunkan tegangan dari sumber daya agar sesuai dengan kebutuhan masing-masing komponen. Selain itu, saklar on/off digunakan sebagai pengontrol utama sistem untuk memudahkan proses pengoperasian. Dengan adanya integrasi antara sensor LiDAR, sensor MPU6050, mikrokontroler, serta

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



perangkat pendukung lainnya, sistem yang dirancang mampu melakukan pemantauan jarak dan kemiringan secara *real-time*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan sebuah sistem pemantauan jarak dan kemiringan pada *Heavy Dump* (HD) berbasis mikrokontroler yang mampu melakukan deteksi kondisi lingkungan dan posisi kendaraan secara otomatis selama proses operasional berlangsung. Temuan utama dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu mendeteksi jarak objek di depan kendaraan serta tingkat kemiringan HD secara *real-time* menggunakan sensor LiDAR dan sensor MPU6050.L

3.1 Pengujian Jarak Miniatur RC *Heavy Dump* terhadap Objek

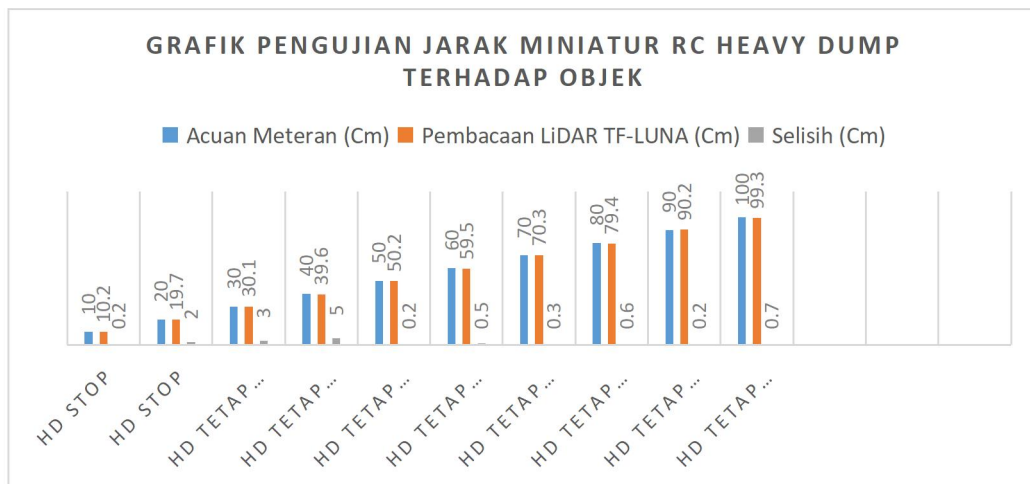
Dalam penelitian ini, sensor LiDAR TF-Luna digunakan untuk mendeteksi jarak antara RC *Heavy Dump* (HD) dengan objek yang berada di sekitarnya. Perangkat ini berperan penting dalam menjaga jarak secara *real-time* sehingga sistem dapat menentukan kondisi aman atau berbahaya selama operasional berlangsung.

Tabel 1 : Pengujian Jarak Miniatur RC *Heavy Dump* Terhadap Objek

No. Uji	Jarak Acuan Meteran (cm)	Pembacaan pada sensor LiDAR TF-Luna (cm)	Selisih (cm)	Akurasi (%)	Status Sistem
1	10	10.2	0.2	98.00	HD Stop
2	20	19.7	0.3	98.50	HD Stop
3	30	30.1	0.1	99.67	HD Stop
4	40	39.6	0.4	99.00	HD Tetap Jalan
5	50	50.2	0.2	99.60	HD Tetap Jalan
6	60	59.5	0.5	99.17	HD Tetap Jalan
7	70	70.3	0.3	99.57	HD Tetap Jalan
8	80	79.4	0.6	99.25	HD Tetap Jalan
9	90	90.2	0.2	99.78	HD Tetap Jalan
10	100	99.3	0.7	99.30	HD Tetap Jalan
R a t a - r a t a			0.35	99,18	

Berdasarkan Tabel 1, hasil pengujian validasi menunjukkan tingkat presisi yang sangat tinggi pada sensor LiDAR TF-Luna. Melalui komparasi langsung dengan alat ukur mistar pada 10 titik uji dari rentang 10 cm hingga 100 cm. Nilai deviasi yang sangat kecil ini membuktikan bahwa sensor LIDAR TF-Luna memiliki keandalan yang valid untuk diterapkan sebagai parameter sistem pengereman otomatis (HD Stop) pada jarak kritis di bawah 30 cm.





Gambar 5 : Grafik Pengujian Jarak Miniatur terhadap Objek

Berdasarkan grafik pengujian jarak miniatur terhadap objek, bahwa hasil pembacaan sensor LiDAR TF-Luna memiliki nilai yang mendekati jarak acuan yang diukur menggunakan meteran. Pengujian dilakukan pada sepuluh variasi jarak, yaitu 10 cm hingga 100 cm, dengan interval pengujian sebesar 10 cm. Grafik tersebut menampilkan perbandingan antara jarak acuan meteran, hasil pembacaan sensor LiDAR TF-Luna, serta selisih pengukuran pada setiap titik pengujian.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa selisih antara jarak acuan dan pembacaan sensor relatif kecil, yaitu berkisar antara 0,1 cm hingga 0,7 cm. Hal ini ditunjukkan oleh tinggi batang grafik jarak acuan dan pembacaan LiDAR yang hampir sama pada setiap titik pengujian. Dengan demikian, sensor LiDAR TF-Luna mampu memberikan hasil pengukuran jarak yang mendekati nilai sebenarnya pada rentang pengujian 10–100 cm.

Selain menguji ketepatan pembacaan jarak, grafik tersebut juga memperlihatkan respons sistem terhadap jarak objek di sekitar miniatur Heavy Dump (HD). Pada jarak 10 cm, 20 cm, dan 30 cm, sistem memberikan status HD Stop, sedangkan pada jarak 40 cm hingga 100 cm, sistem memberikan status HD Tetap Jalan. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem dirancang untuk menghentikan pergerakan HD ketika objek terdeteksi pada jarak kritis 30 cm atau kurang, sementara HD tetap dapat bergerak ketika jarak objek berada di atas batas tersebut.



Gambar 6 : Simulasi Jarak Miniatur RC Heavy Dump Terhadap objek didepan RC

3.2 Pengujian Tingkat Kemiringan Miniatur RC Heavy Dump

Dalam penelitian ini, sensor MPU6050 digunakan untuk mendeteksi tingkat kemiringan tanah pada area operasional Miniatur RC *Heavy Dump* (HD). Perangkat ini berperan penting dalam menjaga kondisi kemiringan secara *real-time* sehingga sistem dapat menentukan apakah proses dumping dapat dilakukan dengan aman atau tidak.

Tabel 2 : Pengujian Tingkat Kemiringan Miniatur *Heavy Dump*

No. Uji	Sudut Acuan menggunakan Busur (°)	Pembacaan pada Sensor MPU-6050 (°)	Selisih (°)	Tingkat Akurasi (%)	Kondisi Vessel HD
1	0.50	0.48	0.02	96.00%	Vessel HD Dumping
2	1.00	1.03	0.03	97.00%	Vessel HD Dumping
3	1.50	1.47	0.03	98.00%	Vessel HD Dumping
4	2.00	2.04	0.04	98.00%	Vessel HD Dumping
5	2.50	2.46	0.04	98.40%	Vessel HD Dumping
6	3.00	3.05	0.05	98.33%	Vessel HD Dumping
7	3.50	3.44	0.06	98.29%	Vessel HD Dumping
8	4.00	4.05	0.05	98.75%	Vessel HD Tidak Bisa Dumping
9	4.50	4.43	0.07	98.44%	Vessel HD Tidak Bisa Dumping
10	5.00	5.06	0.06	98.80%	Vessel HD Tidak Bisa Dumping
Rata-rata			0.045	98.10%	

Berdasarkan data pada Tabel 2, pengujian validasi sensor kemiringan menunjukkan performa pembacaan sudut yang sangat linear. Melalui pengujian komparatif menggunakan busur derajat mekanis, sensor MPU-6050 menghasilkan nilai rata-rata error yang sangat minim, yaitu sebesar 0.045° dengan nilai akurasi rata-rata sebesar 98.10%. Sedikit deviasi desimal pada pembacaan sensor ini dinilai wajar karena pengaruh sensitivitas noise getaran mekanis pada unit prototype, namun hasil tersebut secara keseluruhan membuktikan sistem kendali safety limit bekerja dengan sangat akurat dalam mengunci fungsi vessel saat kemiringan menyentuh batas ambang aman $\geq 4^\circ$.



Gambar 7 : Simulasi Kemiringan Miniatur RC *Heavy Dump*

3.3 Pengujian Daya Tahan Baterai pada Miniatur RC *Heavy Dump*



Kapasitas baterai yang digunakan yaitu 3000 mAh dengan arus yang terukur sebesar 1,27A, maka dilakukan pengujian ketahanan baterai pada Miniatur RC Heavy Dump ini.

Tabel 3 : Pengujian Daya Tahan Baterai pada Miniatur RC Heavy Dump

Kondisi Baterai (%)	Kapasitas Baterai (mAh)	Sisa Waktu Operasional Alat	Durasi Pengisian Ulang (<i>Charging</i>)	Keterangan Sistem
100%	3000	± 4,4 Jam (264 Menit)	-	Baterai Penuh (Sistem Maksimal)
20%	600	± 53 Menit	2 Jam 53 Menit	Batas Kritis (<i>Low Battery Alert</i>)
0%	0	0 Menit	3 Jam 36 Menit	Batas Kosong (Sistem Mati Total)

Berdasarkan tabel 3 pengukuran daya tahan baterai, pengujian dilakukan untuk mengetahui kapasitas baterai, estimasi sisa waktu operasional alat, durasi pengisian ulang (*charging*), serta respons sistem terhadap perubahan kondisi baterai. Pengujian dilakukan pada tiga kondisi kapasitas baterai, yaitu 100%, 20%, dan 0%, untuk mengetahui kemampuan baterai dalam menyuplai daya selama sistem beroperasi.

Pada kondisi baterai 100% dengan kapasitas 3000 mAh, sistem memiliki estimasi sisa waktu operasional sekitar 4 jam 24 menit atau 264 menit. Kondisi ini menunjukkan bahwa baterai berada dalam keadaan penuh dan mampu menyuplai daya untuk mendukung operasional sistem secara maksimal. Pada kondisi tersebut, belum diperlukan pengisian ulang sehingga kolom durasi *charging* ditandai dengan tanda strip (-).

Ketika kapasitas baterai menurun hingga 20% atau setara dengan 600 mAh, estimasi sisa waktu operasional menjadi sekitar 53 menit. Pada kondisi ini, sistem memasuki batas kritis dan memberikan peringatan *Low Battery Alert* sebagai indikasi bahwa daya yang tersedia mulai terbatas. Berdasarkan hasil pengujian, waktu pengisian ulang yang tercatat hingga kondisi baterai kembali siap digunakan adalah 2 jam 53 menit. Peringatan tersebut berfungsi sebagai informasi bagi pengguna agar segera melakukan pengisian ulang sebelum baterai kehabisan daya.

Selanjutnya, pada kondisi baterai 0% dengan kapasitas tersisa 0 mAh, sisa waktu operasional tercatat 0 menit dan sistem berada dalam kondisi mati total. Durasi pengisian ulang yang tercatat pada kondisi ini adalah 3 jam 36 menit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ketika kapasitas baterai telah habis, baterai perlu diisi kembali sebelum sistem dapat dioperasikan secara normal.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa penurunan kapasitas baterai berpengaruh terhadap berkurangnya estimasi waktu operasional sistem. Penerapan peringatan *Low Battery Alert* pada kapasitas 20% menjadi salah satu mekanisme penting untuk memberikan informasi dini kepada pengguna mengenai kondisi daya. Dengan demikian, pemantauan kapasitas baterai dapat membantu pengguna merencanakan pengisian ulang dan mengurangi risiko terhentinya operasional sistem akibat kehabisan daya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian sistem pendeteksi jarak dan kemiringan pada Miniatur RC Heavy Dump (HD), dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan telah mampu bekerja secara optimal dan sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem catu daya yang terdiri dari baterai dan modul step-down mampu memberikan tegangan yang stabil untuk seluruh komponen, sehingga mendukung kinerja mikrokontroler ESP32, sensor, serta aktuator secara keseluruhan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor LiDAR TF-Luna mampu mendeteksi jarak objek dengan baik pada jarak 0 hingga lebih dari 100 cm, dengan batas aman yang ditetapkan pada jarak 50 cm sebagai



kondisi untuk menghentikan pergerakan HD guna mencegah terjadinya tabrakan. Selain itu, sensor MPU6050 juga menunjukkan kinerja yang baik dalam deteksi kemiringan pada jarak 0 hingga lebih dari 10 derajat. Sistem mampu mengklasifikasikan kondisi aman pada kemiringan 0–4 derajat sehingga proses dumping dapat dilakukan, sedangkan pada kemiringan di atas 4 derajat sistem mencegah dumping untuk menghindari risiko terjadinya insiden rebah.

Secara keseluruhan, integrasi antara sensor jarak, sensor kemiringan, dan sistem kendali berbasis ESP32 mampu meningkatkan aspek keselamatan operasional Heavy Dump, sehingga sistem ini layak digunakan sebagai solusi pendukung dalam meminimalkan risiko kecelakaan di lingkungan kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Sastradi and A. Kurniawan, "Perkuatan Daya Dukung Tanah dengan Geotextile pada Jalan Tambang," vol. 3, pp. 10871–10879, 2023.
- [2] A. F. Prylukhin *et al.*, "Simulation Modeling of Energy Efficiency of Electric Dump Truck Use Depending on the Operating Cycle," 2025.
- [3] J. I. Multidisiplin, "Analisis Perhitungan Produktivitas Alat Berat Gali-Muat," vol. 4, no. 1, 2025.
- [4] A. Chadarisman and G. Rakasiwi, "High Pressure Pump , Eliminasi Risiko K3 Trucking System pada Pengangkutan Lumpur di Pertambangan Batubara," vol. 3, no. 4, pp. 3501–3510, 2025.
- [5] T. Supriyadi, R. Solihin, T. B. Utomo, S. Yahya, and B. Setiadi, "Implementasi tapis Kalman pada tongkat adaptif untuk deteksi objek disabilitas netra berbasis LiDAR," vol. 3, no. 3, pp. 255–264, 2023.
- [6] F. Akbar *et al.*, "Pengembangan Sistem Kombinasi Kerja Rem, Steer, Dan Traksi Berbasis LiDAR 3D Untuk Kendaraan Listrik Otonom Roda Tiga," vol. 11, no. 3, 2024, doi: 10.25126/jtiik.938134.
- [7] L. Fitriandini and K. Sari, "Fall Detector pada Lansia berbasis IoT Menggunakan Sensor MPU-6050 dan Sensor GPS Neo 6M Fall Detector for Elderly based on IoT using MPU-6050 Sensor and GPS Neo 6M Sensor," vol. 8275, pp. 10–22, 2025.
- [8] M. S. N. F. D. Syauqy, and W. Kurniawan, "Deteksi Gerakan Pemanasan Kepala Atlet Pemula Berbasis Sensor MPU6050 Dengan Metode Support Vector Machine," vol. 9, no. 7, pp. 1–8, 2025.
- [9] M. Muntaza and R. Islamadina, "Rancang Bangun Prototipe Sistem Navigasi Tunanetra Menggunakan Sensor LiDAR TF-Luna Berbasis Arduino Mega," vol. 9, no. 1, pp. 374–384, 2026.
- [10] J. Mohd, N. Huda, M. Azuani, S. Zuraidah, and A. Yusop, "Analysis of Inertial Measurement Accuracy using Complementary Filter for MPU 6050 Sensor," vol. 34, no. 5, pp. 959–964, 2022.

