Jurnal Vokasi Teknik Mesin dan Fabrikasi Logam
Vol. 4, No. 1, April 2025
e-ISSN: 2985-4547

Perancangan Prototipe Quarry Dump Truck Sistem Knockdown Berbasis Arduino sebagai Media Edukasi Interaktif di Industri Pertambangan

Musakirawati[(1*)], Abdul Tahir[(2)]
[(1,2)] Peraatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Sorowako, Indonesia
Email : [(1)] musakirawati@ats-sorowako.ac.id, [(2)] abdultahir0101@gmail.com

A B S T R A K

Industri pertambangan nikel di Morowali Industrial Park (IMIP) berkembang pesat dengan hadirnya smelter, pabrik baja, dan fasilitas modern. Perkembangan ini meningkatkan kebutuhan alat berat, khususnya dump truck yang berfungsi mengangkut material tambang secara cepat dan efisien. Namun, pemahaman akademik dan masyarakat mengenai teknologi dump truck masih terbatas. Penelitian ini bertujuan merancang dan membuat prototipe quarry dump truck berbasis knockdown dengan kendali jarak jauh menggunakan Arduino. Metode penelitian meliputi studi pustaka, desain, pemilihan material, manufaktur, quality control, perakitan, dan pengujian. Hasil menunjukkan prototipe berhasil diselesaikan sesuai rancangan, mampu mensimulasikan fungsi utama seperti gerak dan pengangkatan bak hingga beban 10 kg. Sistem knockdown terbukti memudahkan perakitan, pemindahan, serta penyimpanan. Prototipe ini dapat digunakan sebagai media pembelajaran interaktif, memperluas wawasan teknologi pertambangan, dan meningkatkan kompetensi sumber daya manusia di bidang teknik mesin. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi praktis maupun akademis bagi pengembangan media edukasi industri.

Kata kunci: Pertambangan, Dumptruck, Prototipe, Edukasi, Teknologi

A B S T R A C T

The nickel mining industry in Morowali Industrial Park (IMIP) has grown rapidly with the establishment of smelters, steel plants, and modern facilities. This growth increases the demand for heavy equipment, particularly dump trucks, which play a key role in transporting mining materials efficiently. However, public and academic understanding of dump truck technology remains limited. This study aims to design and develop a quarry dump truck prototype using a knockdown system with Arduino-based remote control. The methodology includes literature review, design, material selection, manufacturing, quality control, assembly, and testing. The results show that the prototype was successfully developed to simulate main functions such as movement and lifting loads up to 10 kg. The knockdown system facilitates assembly, relocation, and storage. This prototype can serve as an interactive learning medium, broaden mining technology knowledge, and improve human resource competence in mechanical engineering. Thus, this research provides both academic and practical contributions to the development of educational media in the mining industry.

Keywords: *Mining, Dumptruck, Prototype, Education, Technology*

Submit:	Revised:	Accepted:	Available online:
12.01.2025	07.03.2025	02.04.2025	30.04.2025

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

PENDAHULUAN

Industri pertambangan di Indonesia telah mengalami pertumbuhan yang signifikan, khususnya di wilayah Sulawesi. Perhatian utama tertuju pada kawasan industri berskala besar seperti Indonesia Morowali Industrial Park (IMIP) di Morowali, Sulawesi Tengah, yang telah menjadi pusat ekspansi pertambangan nikel nasional. Kawasan ini dilengkapi dengan fasilitas modern seperti smelter nikel, pabrik baja, pelabuhan, dan pembangkit listrik (Nurhaliza & Pratama, 2023). Perkembangan ini tidak hanya mendorong peningkatan aktivitas pertambangan, tetapi juga memunculkan kebutuhan akan alat berat yang mendukung efisiensi operasional. Beberapa studi melaporkan peningkatan permintaan alat berat secara signifikan seiring dengan ekspansi industri tersebut (Siregar & Handoko, 2022). Di samping itu, dampak lingkungan dan sosial yang timbul dari kegiatan pertambangan perlu dikaji secara sistematis melalui penilaian risiko dan langkah-langkah mitigasi untuk memastikan keadilan sosial dan keberlanjutan, tanpa mengabaikan tujuan pertumbuhan ekonomi (Wicaksono et al., 2023).

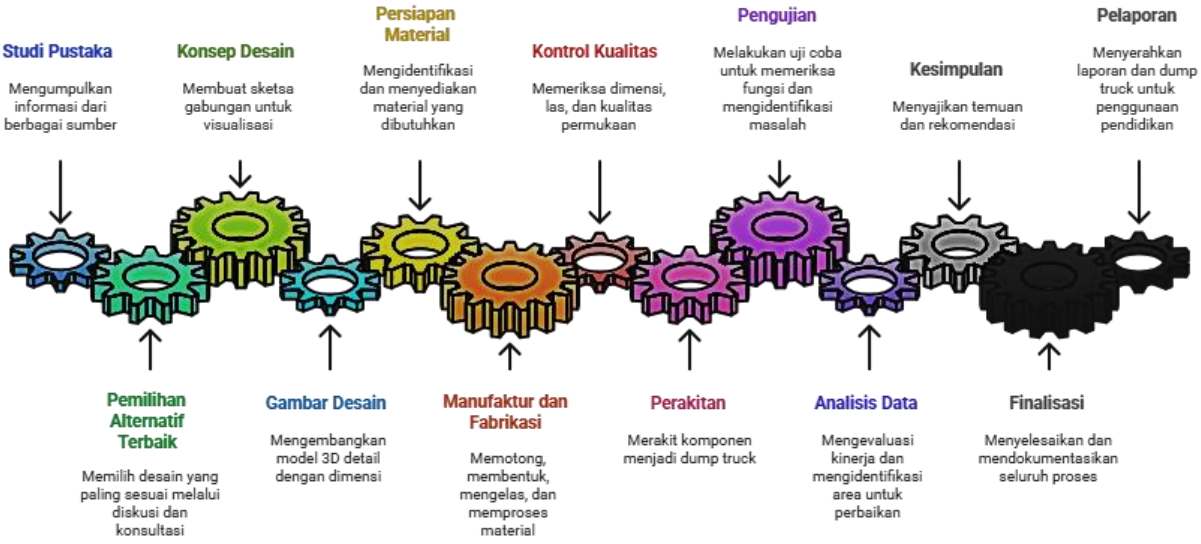
Salah satu alat berat yang berperan vital dalam mendukung proses produksi pertambangan adalah dump truck. Alat ini berfungsi untuk mengangkut material seperti tanah, batu, dan bijih dari lokasi penambangan ke area pemrosesan atau pembuangan. Kemampuannya dalam mengangkut material dalam volume besar secara cepat dan efisien menjadikannya tulang punggung dalam rantai produksi pertambangan. Pemahaman mendalam mengenai fungsi, jenis, dan spesifikasi teknis dump truck sangat diperlukan agar operasi pertambangan dapat berjalan lancar. Pelatihan secara berkala juga diperlukan untuk memastikan bahwa operator dan teknisi dapat bekerja dengan efektif serta meminimalkan risiko kesalahan yang berpotensi menimbulkan kerugian material dan waktu (Haryanto, 2021).

Namun, pengetahuan masyarakat umum dan kalangan akademik mengenai dump truck masih terbatas, sehingga terjadi kesenjangan yang perlu diatasi. Pemahaman yang lebih mendalam tentang teknologi alat berat sangat penting untuk meningkatkan kompetensi sumber daya manusia, khususnya generasi muda yang akan berkarier di industri pertambangan. Event seperti Expo Education & Techno dapat dijadikan sebagai platform strategis untuk memperkenalkan teknologi industri kepada pelajar dan masyarakat luas. Oleh karena itu, pengembangan prototipe quarry dump truck perlu diprioritaskan sebagai media pembelajaran interaktif. Media ini diharapkan dapat menjadi sarana yang efektif dan efisien dalam memperluas wawasan mengenai teknologi pertambangan dan otomotif, sekaligus mempersiapkan calon tenaga kerja untuk menghadapi tantangan di industri yang terus berkembang (Putra & Wijaya, 2022).

Penelitian ini difokuskan pada perancangan dan pembuatan prototipe quarry dump truck dengan sistem knockdown. Tujuan utamanya adalah untuk memperkenalkan teknologi alat berat kepada generasi muda serta menyediakan media pembelajaran berbasis teknologi terkini, khususnya sistem pengendalian jarak jauh yang menggunakan Arduino. Hasil penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan kontribusi akademis, tetapi juga memberikan dampak nyata dalam pengembangan media edukasi. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat mempromosikan teknologi pertambangan yang relevan serta mendukung peningkatan kualitas sumber daya manusia di bidang teknik mesin dan pertambangan. Aspek praktis dari temuan ini juga menjadi perhatian penting agar dapat diimplementasikan secara nyata dalam konteks pembelajaran dan pengembangan teknologi industri.

METODE PENELITIAN

Berikut ini adalah gambar diagram tahap tahap penelitian yang dilakukan dalam penyelesaian penelitian ini



Gambar 1 diagram tahap-tahap penelitian

Penjelasan diagram

Metodologi ini mencakup studi pustaka, pemilihan alternatif desain, pembuatan gambar rancangan, persiapan material, proses manufaktur dan fabrikasi, *quality control*, perakitan (*assembly*), pengujian, analisis data, penarikan kesimpulan, finalisasi, dan pelaporan. Tujuan dari metodologi ini adalah untuk menghasilkan sebuah *quarry dump truck* yang fungsional dan dapat digunakan sebagai media pembelajaran.

1. Studi pustaka

Tahap awal dalam penelitian ini adalah melaksanakan **studi pustaka secara komprehensif**. Kegiatan ini dilakukan untuk mengumpulkan data dan informasi yang relevan dari berbagai sumber literatur terpercaya. Tujuan dari studi pustaka adalah untuk membangun landasan teoritis yang kuat yang akan digunakan sebagai acuan dalam proses perancangan dan pembuatan prototipe. Sumber-sumber literatur yang dikaji meliputi:

- **Buku-buku Teknik Mesin**, yang membahas prinsip-prinsip dasar perancangan mesin, pemilihan material teknik, analisis kekuatan material, serta teori mengenai elemen mesin yang aplikatif untuk kendaraan berat seperti dump truck (Norton, 2019; Shigley, 2015).
- **Jurnal Ilmiah**, yang menyajikan hasil-hasil penelitian terkini mengenai desain, analisis struktural, kinerja operasional, dan pengujian dump truck atau alat berat sejenis. Kajian jurnal bertujuan untuk mengadopsi perkembangan teknologi dan inovasi terbaru dalam bidang ini (Ristiano & Pastore, 2020; Zhang et al., 2021).
- **Artikel Online dari Sumber Terpercaya**, seperti publikasi dari institusi teknik, situs web manufacturer alat berat, dan platform akademik, yang membahas spesifikasi teknis, sistem kerja, dan komponen-komponen mekanik pada quarry dump truck.

Informasi yang diperoleh dari studi pustaka ini selanjutnya akan menjadi **dasar teoritis dan acuan fundamental** bagi seluruh tahapan penelitian, mulai dari konseptualisasi desain hingga proses fabrikasi prototipe *quarry dump truck*.

2. Pemilihan Alternatif Terbaik

Setelah studi pustaka selesai, langkah selanjutnya adalah memilih alternatif desain terbaik untuk *quarry dump truck*. Proses pemilihan ini melibatkan:

- Diskusi Tim: Melakukan diskusi dengan anggota tim penelitian untuk membahas berbagai alternatif desain yang mungkin.
- Konsultasi dengan Dosen Pembimbing: Berkonsultasi dengan dosen pembimbing untuk mendapatkan masukan dan arahan mengenai alternatif desain yang paling sesuai dengan tujuan penelitian dan sumber daya yang tersedia.
- Pertimbangan Teoritis: Mengevaluasi setiap alternatif desain secara teoritis berdasarkan prinsip-prinsip teknik mesin, kekuatan material, dan efisiensi biaya.
- Pertimbangan Praktis: Memastikan bahwa alternatif desain yang dipilih dapat diaplikasikan secara nyata dan memungkinkan untuk direalisasikan dengan sumber daya dan kemampuan yang ada.

Tujuan dari proses pemilihan ini adalah untuk mendapatkan alternatif desain yang optimal dan realistis untuk *quarry dump truck*.

3. Konsep Rancangan

Setelah alternatif terbaik dipilih, langkah selanjutnya adalah membuat konsep rancangan *quarry dump truck*. Konsep rancangan ini berupa:

- Gambar Sketsa Gabungan: Membuat gambar sketsa yang menggabungkan elemen-elemen terbaik dari alternatif yang telah dipilih. Sketsa ini memberikan gambaran visual mengenai bentuk dan dimensi *quarry dump truck*.

4. Gambar Rancangan

Berdasarkan konsep rancangan, langkah selanjutnya adalah membuat gambar rancangan yang lebih detail. Gambar rancangan ini dibuat menggunakan perangkat lunak desain 3D dan mencakup:

- Gambar 3D: Membuat model 3D *quarry dump truck* yang akurat dan detail.
- Ukuran yang Ditentukan: Menentukan ukuran dan dimensi setiap komponen *quarry dump truck* berdasarkan perhitungan dan pertimbangan teknis.
- Dimensi, Toleransi Ukuran, dan Simbol Pengerjaan: Melengkapi gambar rancangan dengan dimensi, toleransi ukuran, dan simbol pengerjaan yang jelas dan lengkap. Hal ini penting untuk memastikan bahwa proses manufaktur dan fabrikasi dapat dilakukan dengan akurat.

5. Persiapan Material

Setelah gambar rancangan selesai, langkah selanjutnya adalah mempersiapkan material yang dibutuhkan untuk membuat *quarry dump truck*. Persiapan material ini meliputi:

- Identifikasi Material: Mengidentifikasi jenis-jenis material yang akan digunakan untuk setiap komponen *quarry dump truck*.
- Penyediaan Material: Memastikan bahwa semua material yang dibutuhkan tersedia dalam jumlah yang cukup dan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

6. Manufaktur dan Fabrikasi

Setelah semua material terkumpul, langkah selanjutnya adalah melakukan proses manufaktur dan fabrikasi. Proses ini meliputi:

- Pemotongan Material: Memotong material sesuai dengan ukuran dan bentuk yang telah ditentukan dalam gambar rancangan.
- Pembentukan Material: Membentuk material sesuai dengan bentuk yang diinginkan menggunakan berbagai teknik seperti bending, rolling, dan forging.
- Pengelasan: Mengelas komponen-komponen yang berbeda untuk membentuk struktur *quarry dump truck*.
- Pemesinan: Melakukan pemesinan pada komponen-komponen tertentu untuk mencapai toleransi ukuran yang presisi.

7. Quality Control

Setelah proses manufaktur dan fabrikasi selesai, langkah selanjutnya adalah melakukan *quality control*. *Quality control* ini bertujuan untuk:

- Memeriksa Ukuran: Memeriksa apakah ukuran setiap komponen sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan dalam gambar rancangan.
- Memeriksa Kualitas Las: Memeriksa kualitas las untuk memastikan bahwa sambungan las kuat dan tidak cacat.
- Memeriksa Kualitas Permukaan: Memeriksa kualitas permukaan komponen untuk memastikan bahwa tidak ada cacat atau goresan yang dapat mempengaruhi kinerja *quarry dump truck*.

Jika ditemukan ketidaksesuaian atau cacat, maka komponen tersebut akan diperbaiki atau diganti.

8. Assembly

Setelah semua komponen diperiksa dan dinyatakan memenuhi standar kualitas, langkah selanjutnya adalah melakukan *assembly*. *Assembly* ini meliputi:

- Merakit Komponen: Merakit setiap komponen yang telah dibuat sehingga menjadi *quarry dump truck* sesuai dengan gambar rancangan.
- Memastikan Kesesuaian: Memastikan bahwa semua komponen terpasang dengan benar dan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

9. Uji Coba

Setelah *assembly* selesai, langkah selanjutnya adalah melakukan uji coba terhadap *quarry dump truck*. Uji coba ini bertujuan untuk:

- Memeriksa Fungsi: Memeriksa fungsi setiap komponen dan sistem *quarry dump truck*.
- Mengidentifikasi Masalah: Mengidentifikasi masalah atau kekurangan yang mungkin terjadi selama pengoperasian *quarry dump truck*.

Jika terdapat masalah pada saat uji coba, maka akan kembali dilakukan *quality control* untuk mencari penyebab masalah dan melakukan perbaikan yang diperlukan.

10. Analisis Data

Setelah uji coba selesai, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis data. Analisis data ini meliputi:

- Pengumpulan Data: Mengumpulkan data mengenai kinerja *quarry dump truck* selama uji coba.
- Analisis Data: Menganalisis data yang telah dikumpulkan untuk mengevaluasi kinerja *quarry dump truck* dan mengidentifikasi area yang perlu ditingkatkan.

11. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data, langkah selanjutnya adalah membuat kesimpulan. Kesimpulan ini berisi:

- Pencapaian Tujuan: Menjelaskan apakah rumusan masalah dan tujuan penelitian telah tercapai atau tidak.
- Temuan Penelitian: Menyajikan temuan-temuan penting yang diperoleh selama penelitian.
- Rekomendasi: Memberikan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya atau pengembangan lebih lanjut dari *quarry dump truck*.

12. Finalisasi

Tahap finalisasi dilakukan secara sistematis dengan mencakup seluruh tahapan kegiatan untuk memberikan gambaran yang utuh dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah atas hasil proyek ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kombinasi dari fungsi bagian yang digunakan

Dalam penelitian ini, setiap komponen pada prototype dirancang untuk saling mendukung agar sistem dapat berfungsi secara optimal. Kombinasi dari fungsi bagian yang digunakan disusun berdasarkan kebutuhan operasional serta keterkaitan antarbagian dalam mendukung kinerja keseluruhan alat. Dengan demikian, integrasi antarbagian menjadi aspek penting agar prototype

quarry dump truck yang dikembangkan mampu bekerja sesuai dengan tujuan penelitian. Berikut disajikan tabel kombinasi fungsi bagian yang digunakan dalam penelitian ini:

No	Fungsi	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
1	Rangka	Rangka Datar	Rangka Miring	
				
2	Motor Penggerak	Motor AC	Motor DC	Motor Bakar
				
3	Aki	Aki Lithium	Aki Basah	Aki Gel
				
4	Actuator	Pneumatic	Elektrik	Hidrolik
				
5	Remote Control			
		Bluetooth	Radio Frequency	InfraRed

Untuk kombinasi bentuk diperlihatkan pada gambar 1 diabwah ini :



Gambar 2. Kombinasi bagian

Keterangan:

1. Rangka
2. Vessel
3. Cabin
4. Handtail
5. Stair
6. Tire
7. Primary Actuator
8. Secondary Actuator

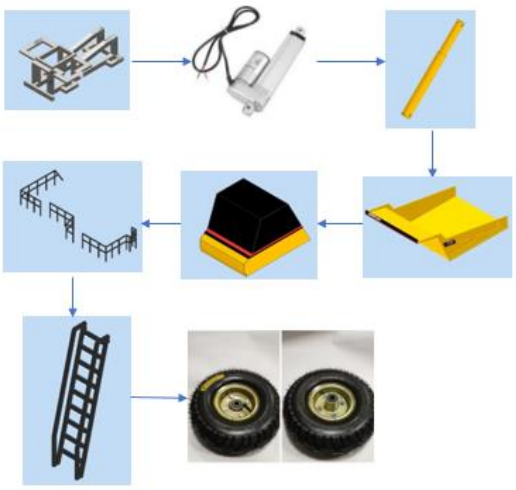
2. Hasil Rancangan

Adapun hasil rancang bangun dari produk yang dihasilkan dari penelitian ini seperti diperlihatkan pada gambar 2 dibawah ini :



Gambar 3 Hasil rancangan

Rancangan ini memiliki beberapa bagian utama sebagaimana yang dijelaskan dibawah ini



Gambar 4. Bagian bagian utama

Fungsi Komponen

1. **Rangka**
   Rangka utama berfungsi sebagai penopang seluruh komponen mesin. Rangka harus dirancang kokoh agar mampu menahan beban dan berat keseluruhan sistem.

2. **Vessel**
   Vessel berfungsi sebagai wadah untuk memuat material hasil tambang maupun sisa tambang. Pada dump truck seri tertentu, kapasitas vessel dapat mencapai hingga 400 ton.

3. **Cabin**
   Cabin merupakan ruang kendali bagi operator dalam mengoperasikan dump truck. Desain cabin dibuat secara ergonomis untuk memberikan kenyamanan saat pengendalian. Selain itu, cabin dilengkapi dengan fasilitas penunjang seperti pendingin udara (air conditioner), sistem navigasi GPS, dan perangkat lainnya.

4. **Handrail**
   Handrail berfungsi sebagai penunjang keselamatan dan kestabilan bagi operator atau pekerja ketika naik, turun, atau berjalan di sekitar dump truck, khususnya pada bagian tangga dan platform akses.

5. **Stair**
   Stair digunakan sebagai sarana akses naik dan turun bagi operator maupun teknisi untuk menuju cabin.

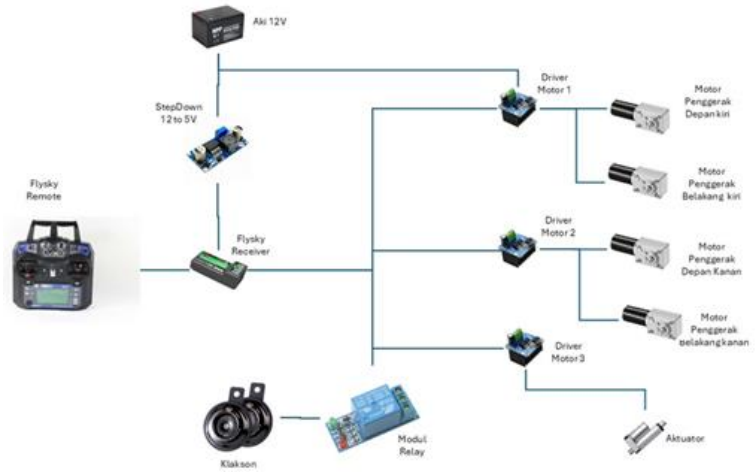
6. **Tire**
   Ban (tire) berfungsi untuk menunjang pergerakan kendaraan, baik maju, mundur, maupun berbelok ke kanan dan ke kiri.

7. **Primary Actuator**
   Primary actuator berfungsi mengubah energi, baik energi listrik, hidraulik, maupun pneumatik, menjadi gerakan atau gaya yang digunakan untuk menggerakkan bagian utama sistem.

8. **Secondary Actuator**
   Secondary actuator berfungsi mengendalikan bagian-bagian tertentu yang operasionalnya dipengaruhi oleh primary actuator.

3. Diagram sistim kontrol

Beriku ini gambar rangkaian sisitik kendali yang berfungsi mengendalikan produk yang dihasilkan.



Gambar 5. Sistim Kontrol

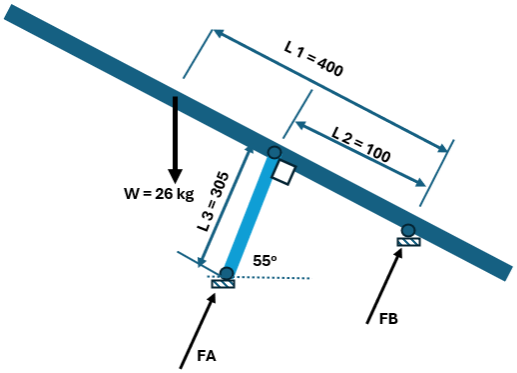
Sistem kendali pada gambar t1 merupakan rancangan **prototipe dump truck** berbasis **remote Flysky** dengan penjelasan sebagai berikut.

1. **Sumber daya** berasal dari aki 12V. Tegangan diturunkan menjadi 5V menggunakan **StepDown** untuk mensuplai **receiver Flysky**.
2. **Flysky remote** mengirim sinyal kontrol ke **receiver**, lalu sinyal ini diteruskan ke masing-masing **driver motor** dan **modul relay**.
3. **Driver Motor 1 & 2** mengendalikan 4 motor penggerak roda (depan kiri, depan kanan, belakang kiri, belakang kanan) untuk pergerakan maju, mundur, dan belok.
4. **Driver Motor 3** mengendalikan **aktuator**, berfungsi untuk mengangkat atau menurunkan bak dump truck.

5. **Modul Relay** mengaktifkan **klakson** sebagai fitur tambahan.

4. Perhitungan kekuatan bahan dan elemen mesin

Perhitungan beban Actuator dan baut engsel. Menghitung kekuatan poros actuator sebagi penopang bak dumtruck merupakan hal yang kritis bak memilki berat makiksimum 16 kg. Poros akan mendapatkan beban maksimum saat mengangkat muatan dengan estimasi maksimal 10 kg. untuk menghitung tegangan tekan pada poros actuator digunakan analsisi statika sebagai berikut :



Perhitungan Reaksi Gaya

Gaya berat:

$$W = 26 \times 9,81 = 254,06\,\text{N}$$

Komponen tegak lurus:

$$W_t = W \cos 35^\circ = 254,06 \times 0,8192 = 208,14\,\text{N}$$

Momen titik A:

$$F_B \cdot 100 = W_t \cdot 300 \quad \Rightarrow \quad F_B = \frac{208,14 \times 300}{100} = 624,42\,\text{N}$$

Persamaan sumbu Y:

$$F_A = W_t - F_B = 208,14 - 624,42 = -416,28\,\text{N}$$

Kesimpulan:

$$F_A = 416,28\,\text{N (berlawanan asumsi awal)}, \quad F_B = 624,42\,\text{N}$$

Perhitungan Kekuatan Baut

Data:

$$F_B = 624,42\,\text{N}, \quad R_m = 370\,\text{N/mm}^2, \quad \tau_{ijin} = 0,85R_m = 314,5\,\text{N/mm}^2$$

$$A_s = 36,6\,\text{mm}^2, \quad n = 4$$

Tegangan geser aktual:

$$\tau = \frac{F}{A \cdot n} = \frac{624,42}{36,6 \times 4} = 4,26\,\text{N/mm}^2$$

Kesimpulan:

$$\tau = 4,26 \ll 314,5\,\text{N/mm}^2$$

Baut dinyatakan **aman** terhadap beban geser.

5. Hasil rancang bagun

Mesin simulasi Quarry Dump Truck telah berhasil dirancang dan direalisasikan dengan sistem kendali berbasis remote control, memungkinkan pengguna untuk mengoperasikan fungsi utama seperti penggerak roda serta mekanisme angkat-turun bak secara nirkabel. Media simulasi yang di buat seperti ditunjukan pada gambar berikut :



Gambar 6 hasil Rancangan

KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. **Rancang Bangun Prototype**
   Prototype interaktif *Quarry Dump Truck* berhasil dirancang dan dibangun sebagai media edukasi berbasis *remote control*. Prototype ini mampu mensimulasikan fungsi utama dump truck, meliputi gerakan maju, mundur, berbelok, serta mekanisme pengangkatan bak (*dumping*) menggunakan aktuator elektrik yang dikendalikan melalui sistem Arduino dan *remote control*.

2. **Efektivitas Sistem Knockdown**
   Penerapan sistem *knockdown* pada prototype memudahkan proses perakitan, pemindahan, dan penyimpanan, sehingga mendukung tujuan peningkatan efisiensi penggunaan sebagai media edukasi.

3. **Kinerja Alat**
   Hasil pengujian menunjukkan bahwa aktuator mampu mengangkat bak dengan beban maksimal 10 kg, dan seluruh komponen (rangka, motor DC, serta sistem kontrol) berfungsi sesuai dengan rancangan. Perhitungan kekuatan material seperti baut engsel dan poros aktuator juga membuktikan bahwa konstruksi aman terhadap beban yang diberikan.

Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan hal-hal berikut:

1. **Penggunaan Material yang Lebih Ringan**
   Mengganti material rangka dengan bahan yang lebih ringan namun tetap kuat (misalnya aluminium atau komposit) untuk mengurangi berat total prototype tanpa mengurangi kekuatan struktural.

2. **Pengembangan Fitur Tambahan**
   Menambahkan sensor atau sistem *feedback* (misalnya sensor beban atau sensor sudut bak) untuk memberikan informasi secara real-time kepada pengguna, sehingga meningkatkan nilai edukasi dan interaktivitas prototype.

REFERENSI

1. Haryanto, B. (2021). *Manajemen alat berat dalam industri pertambangan*. Jakarta: Penerbit Teknindo.
2. Nurhaliza, S., & Pratama, D. (2023). Ekspansi industri nikel dan dampaknya terhadap pertumbuhan ekonomi regional di Indonesia. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara, 19*(2), 45–60.
3. Putra, A., & Wijaya, T. (2022). Inovasi media pembelajaran teknologi alat berat untuk meningkatkan kompetensi siswa SMK. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Teknik Mesin*, 112–125.
4. Siregar, R., & Handoko, B. (2022). Analisis kebutuhan alat berat pada kawasan industri pertambangan: Studi kasus di IMIP. *Jurnal Rekayasa Mesin dan Pertambangan, 8*(1), 30–42.
5. Wicaksono, A., Setiawan, D., Rahmawati, L., & Kusuma, H. (2023). Dampak lingkungan dan sosial industri pertambangan: Tinjauan atas kebijakan dan praktik mitigasi. *Jurnal Lingkungan dan Pembangunan Berkelanjutan, 12*(3), 88–102.
6. Norton, R. L. (2019). *Machine design: An integrated approach* (6th ed.). Pearson.
7. Ristiano, G., & Pastore, R. (2020). Theoretical and experimental analysis of a dump truck frame. *Journal of Mechanical Engineering and Automotive Technology, 4*(1), 12–24.
8. Shigley, J. E., Mischke, C. R., Budynas, R. G., & Nisbett, K. (2015). *Shigley's mechanical engineering design* (10th ed.). McGraw-Hill Education.
9. Zhang, Y., Wang, L., & Zhao, H. (2021). Dynamic load analysis and structural optimization of heavy-duty dump truck chassis. *Engineering Failure Analysis, 129,* 105707.