

Analisis Sistem Kontrol Kelistrikan pada Simulator *Rough Terrain Crane* untuk Operasi *Slewing* dan *Lifting*

Rifal Maulani*, Ramdhani, Tatang Permana

Universitas Pendidikan Indonesia
Jl. Dr. Setiabudhi No, 229 Kota Bandung, Jawa Barat
E-mail: rifalmaulana09@upi.edu

Naskah Masuk: 11 Juni 2026; Diterima: 24 Juli 2026; Terbit: 30 September 2026

ABSTRAK

Abstrak - Perkembangan teknologi pembelajaran pada bidang alat berat menuntut tersedianya media praktik yang mampu merepresentasikan sistem kerja peralatan secara aman, ekonomis, dan mudah dipahami. Salah satu sistem yang penting untuk dipelajari adalah sistem kontrol kelistrikan pada *rough terrain crane*, khususnya pada mekanisme *slewing* dan *lifting*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem kontrol kelistrikan pada simulator *rough terrain crane* yang dikembangkan sebagai media pembelajaran. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan pendekatan deskriptif kuantitatif. Sistem yang dianalisis terdiri atas *power supply* 12 VDC, *toggle switch*, relay SRD-12VDC-SL-C, dan motor DC sebagai aktuator. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi, pengukuran tegangan dan arus listrik, serta perhitungan daya listrik pada operasi *slewing* dan *lifting*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem kontrol kelistrikan mampu mengoperasikan simulator sesuai dengan fungsi yang dirancang. Tegangan keluaran sistem berada pada rentang 11,5–11,8 V selama pengujian. Operasi *slewing* memiliki rata-rata konsumsi daya sebesar 1,46 W, sedangkan operasi *lifting* memiliki rata-rata konsumsi daya sebesar 2,17 W. Perbedaan konsumsi daya tersebut menunjukkan bahwa mekanisme *lifting* membutuhkan energi listrik yang lebih besar akibat beban mekanik yang lebih tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem kontrol yang dikembangkan mampu merepresentasikan prinsip kerja dasar sistem kontrol kelistrikan pada *rough terrain crane* dan berpotensi digunakan sebagai media pembelajaran pada bidang teknik alat berat dan sistem kontrol kelistrikan.

Kata kunci: Simulator, *Rough Terrain Crane*, Sistem Kontrol, Motor DC

ABSTRACT

Abstract - The development of learning technology in heavy equipment education requires practical learning media capable of representing equipment operating systems in a safe, economical, and understandable manner. One of the important systems to be studied is the electrical control system of a rough terrain crane, particularly in slewing and lifting operations. This study aims to analyze the electrical control system of a rough terrain crane simulator developed as a learning medium. An experimental method with a quantitative descriptive approach was employed. The analyzed system consisted of a 12 VDC power supply, toggle switches, SRD-12VDC-SL-C relays, and DC motors as actuators. Data were collected through observation, voltage and current measurements, and electrical power calculations during slewing and lifting operations. The results showed that the electrical control system was capable of operating the simulator according to the intended functions. The output voltage remained relatively stable within the range of 11.5–11.8 V during testing. The average power consumption during slewing operation was 1.46 W, while the lifting operation required an average power of 2.17 W. The higher power consumption in the lifting operation indicates greater electrical energy demand due to increased mechanical load. The findings demonstrate that the developed control system successfully represents the fundamental principles of an electrical control system in a rough terrain crane and has potential applications as a learning medium in heavy equipment engineering and electrical control system education.

Keywords: Simulator, *Rough Terrain Crane*, Control System, DC motor

Copyright © 2026 Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri konstruksi dan infrastruktur mendorong peningkatan penggunaan alat berat yang memiliki sistem operasi dan sistem kontrol semakin kompleks. Salah satu alat berat yang banyak digunakan dalam pekerjaan pengangkutan material adalah *rough terrain crane* yang memiliki kemampuan manuver tinggi pada berbagai kondisi medan kerja. Operasi utama pada *rough terrain crane* meliputi gerakan *slewing* untuk memutar struktur atas crane dan *lifting* untuk mengangkat maupun menurunkan beban. Penguasaan sistem operasi dan sistem kontrol crane menjadi kompetensi penting yang harus dimiliki oleh mahasiswa maupun calon operator alat berat. Kendala yang sering dihadapi dalam proses pembelajaran adalah keterbatasan unit praktik, tingginya biaya operasional, biaya perawatan, serta risiko keselamatan apabila praktik dilakukan secara langsung menggunakan unit crane sebenarnya [1], [2]. Data Badan Pusat Statistik (2025) menunjukkan bahwa Produk Domestik Bruto (PDB) sektor konstruksi Indonesia atas dasar harga berlaku mencapai Rp2.445 triliun pada tahun 2024, meningkat dibandingkan tahun sebelumnya. Peningkatan aktivitas konstruksi tersebut berdampak pada meningkatnya kebutuhan tenaga kerja yang memiliki kompetensi dalam pengoperasian alat berat, termasuk *rough terrain crane*. Sektor konstruksi di Indonesia terus mengalami pertumbuhan dalam beberapa tahun terakhir seiring meningkatnya pembangunan infrastruktur nasional. Peningkatan aktivitas tersebut berimplikasi pada bertambahnya kebutuhan operator alat berat yang memiliki kompetensi dalam pengoperasian maupun pemahaman sistem kontrol kelistrikan. Proses pembelajaran pada pendidikan vokasi masih menghadapi berbagai kendala berupa keterbatasan unit praktik, tingginya biaya pengadaan alat berat, besarnya biaya operasional dan perawatan, serta tingginya risiko keselamatan apabila praktik dilakukan secara langsung menggunakan unit sebenarnya. Simulator menjadi salah satu alternatif media pembelajaran yang mampu mengatasi keterbatasan tersebut karena lebih aman, ekonomis, dan mudah diterapkan dalam kegiatan pembelajaran.

Pemanfaatan simulator menjadi salah satu solusi yang banyak diterapkan untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Penelitian Ramdhan *et al.* menunjukkan bahwa simulator sistem kontrol motor listrik mampu meningkatkan pemahaman peserta didik terhadap prinsip kerja rangkaian kontrol sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap peralatan praktik yang terbatas [1]. Hasil penelitian Dhalmahapatra dkk juga menunjukkan bahwa simulator crane berbasis *virtual reality* dapat meningkatkan pemahaman prosedur operasi dan keselamatan kerja secara signifikan [2]. Penelitian lain mengenai *hardware-in-the-loop simulation* motor DC membuktikan bahwa simulator mampu merepresentasikan karakteristik sistem nyata secara efektif sehingga dapat digunakan sebagai media pembelajaran maupun pengujian sistem kontrol [3]. Temuan tersebut menunjukkan bahwa simulator tidak hanya berfungsi sebagai media pembelajaran, tetapi juga dapat digunakan sebagai sarana analisis performa sistem yang diterapkan pada suatu peralatan.

Sistem kontrol kelistrikan merupakan bagian penting dalam pengoperasian crane karena berfungsi mengendalikan aktuator yang menghasilkan gerakan *slewing* dan *lifting*. Sistem tersebut umumnya terdiri atas sumber daya listrik, *switch*, relay, dan motor DC yang bekerja secara terintegrasi untuk menghasilkan gerakan sesuai perintah operator. Penelitian Ghany *et al.* menunjukkan bahwa performa suatu simulator sangat dipengaruhi oleh karakteristik sistem kontrol motor yang digunakan [4]. Hairuddin dan Yahya menjelaskan bahwa parameter seperti tegangan, arus, respon waktu, dan kestabilan sistem menjadi indikator penting dalam mengevaluasi kinerja sistem kendali pada aplikasi crane [5]. Penelitian mengenai pengembangan *overhead crane* berbasis PLC dan SCADA juga menunjukkan bahwa keberhasilan operasi crane sangat dipengaruhi oleh integrasi sistem kontrol, aktuator, dan motor penggerak yang digunakan [6], [7]. Penelitian Jaber menambahkan bahwa sistem kontrol yang baik mampu meningkatkan keandalan dan efisiensi operasi crane secara keseluruhan [8].

Berbagai penelitian terdahulu telah membahas pengembangan simulator pembelajaran [1], [3] simulator keselamatan operasi crane [2], sistem kontrol motor DC [4], [5], serta implementasi sistem kendali crane berbasis PLC dan SCADA [6], [8]. Penelitian lain juga telah mengkaji strategi pengendalian gerak crane dan simulasi perilaku dinamis crane menggunakan pendekatan pemodelan matematis [9], [10]. Berbagai penelitian terdahulu telah mengembangkan simulator sebagai media pembelajaran, simulator keselamatan operasi crane, sistem kontrol motor DC, serta implementasi sistem kendali berbasis PLC dan SCADA. Sebagian besar penelitian tersebut berfokus pada peningkatan efektivitas pembelajaran, pengembangan perangkat simulator, atau implementasi metode pengendalian pada sistem crane industri. Penelitian mengenai analisis performa sistem kontrol kelistrikan pada simulator *rough terrain crane* masih sangat terbatas. Kajian yang tersedia umumnya belum membahas karakteristik kerja sistem kontrol secara kuantitatif berdasarkan parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, dan konsumsi daya pada mekanisme *slewing* dan *lifting*. Sebagian penelitian lebih menitikberatkan pada aspek desain simulator, sistem kendali berbasis PLC, maupun peningkatan hasil belajar tanpa melakukan evaluasi terhadap performa rangkaian kontrol yang digunakan. Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan menganalisis karakteristik

sistem kontrol kelistrikan pada simulator *rough terrain crane* yang menggunakan *power supply* 12 VDC, *toggle switch*, relay SRD-12VDC-SL-C, dan motor DC sebagai aktuator. Analisis dilakukan melalui pengukuran tegangan, arus, dan konsumsi daya pada operasi *slewing* dan *lifting* untuk memberikan informasi mengenai performa sistem kontrol sebagai dasar pengembangan simulator pembelajaran yang lebih representatif. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan media pembelajaran sistem kontrol kelistrikan pada bidang alat berat.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem kontrol kelistrikan pada simulator *rough terrain crane* yang digunakan untuk operasi *slewing* dan *lifting*. Analisis dilakukan terhadap fungsi kerja rangkaian kontrol, karakteristik tegangan dan arus listrik, konsumsi daya, respon sistem, serta keandalan operasi yang dihasilkan oleh integrasi *power supply*, *switch*, relay, dan motor DC. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai performa sistem kontrol kelistrikan yang diterapkan pada simulator sehingga dapat digunakan sebagai dasar evaluasi dan pengembangan simulator yang lebih representatif. Kontribusi penelitian ini terletak pada penyediaan data teknis mengenai kinerja sistem kontrol kelistrikan pada simulator *rough terrain crane* yang dapat dimanfaatkan sebagai referensi dalam pengembangan media pembelajaran alat berat maupun penelitian sejenis pada bidang sistem kontrol dan otomasi. Kebaruan penelitian ini dibandingkan penelitian sebelumnya terletak pada analisis performa sistem kontrol kelistrikan yang diterapkan pada simulator *rough terrain crane* dengan fokus pada integrasi *power supply*, *switch*, relay, dan motor DC untuk menghasilkan gerakan *slewing* dan *lifting*. Analisis tersebut memberikan gambaran mengenai karakteristik kerja sistem kontrol yang belum banyak dibahas pada penelitian simulator crane sebelumnya.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Sistem Kontrol Kelistrikan

Sistem kontrol kelistrikan berfungsi mengatur aliran energi listrik dari sumber daya menuju beban melalui komponen pengendali sehingga peralatan dapat beroperasi sesuai fungsi yang diinginkan. El-Hawary [11] menjelaskan bahwa suatu sistem tenaga listrik terdiri atas komponen pembangkit, sistem penyaluran energi, dan beban yang saling terintegrasi untuk menghasilkan operasi yang andal dan efisien. Sintesis dari teori tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan suatu sistem kontrol tidak hanya ditentukan oleh aktuator yang digunakan, tetapi juga oleh kestabilan sumber daya dan rangkaian pengendalinya. Analisis sistem kontrol kelistrikan pada simulator *rough terrain crane* perlu dilakukan untuk memastikan seluruh komponen bekerja secara terpadu.

2.2 Power Supply

Power supply merupakan komponen yang berfungsi mengubah sumber tegangan AC menjadi tegangan DC yang digunakan oleh rangkaian kontrol dan aktuator. Hamdani dan Haryudo [12] menyimpulkan bahwa kestabilan tegangan masukan berpengaruh langsung terhadap performa motor DC karena perubahan tegangan akan memengaruhi kecepatan dan daya keluaran motor. Sintesis dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa kualitas *power supply* menjadi faktor penting yang perlu diperhatikan dalam simulator *rough terrain crane* karena menjadi sumber energi utama bagi sistem *slewing* dan *lifting*. Daya listrik yang digunakan sistem dapat dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$P = VI \quad (1)$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa daya listrik merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus. El-Hawary [11] menjelaskan bahwa analisis sistem tenaga listrik lebih banyak dilakukan berdasarkan parameter daya dibandingkan hanya arus atau tegangan karena daya merepresentasikan energi yang digunakan oleh sistem.

2.3 Relay dan Motor DC

Relay merupakan saklar elektromagnetik yang digunakan untuk menghubungkan dan memutus aliran listrik menuju beban. [13] menjelaskan bahwa *relay* memungkinkan sinyal kontrol berarus kecil digunakan untuk mengendalikan beban dengan kebutuhan arus yang lebih besar. Sintesis dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa *relay* berfungsi sebagai pengaman sekaligus penghubung antara rangkaian kontrol dan aktuator pada simulator.

Motor DC merupakan aktuator yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa putaran. [14] menyimpulkan bahwa motor DC memiliki karakteristik pengendalian yang relatif sederhana dan mudah dimodelkan sehingga banyak digunakan dalam pengembangan sistem kontrol. Sintesis dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa motor DC sesuai digunakan sebagai penggerak operasi *slewing* dan *lifting* karena memiliki respon yang mudah dikendalikan.

2.4 Operasi *Slewing* dan *Lifting* pada Simulator *Rough Terrain Crane*

Operasi utama pada *rough terrain crane* meliputi *slewing* dan *lifting*. Gerakan *slewing* merupakan perputaran struktur atas *crane* terhadap sumbu vertikal, sedangkan *lifting* merupakan proses pengangkatan dan penurunan beban. [11] menjelaskan bahwa motor listrik menghasilkan energi mekanik melalui proses konversi energi listrik menjadi torsi dan putaran. Sintesis dari teori tersebut menunjukkan bahwa kualitas sistem kontrol akan memengaruhi kemampuan motor dalam menghasilkan gerakan yang stabil selama proses *slewing* dan *lifting*.

2.5 Penelitian Terdahulu

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Metode	Tujuan	Hasil
1	Ramadhan dkk. (2025)	<i>Research and Development (R&D)</i>	Mengembangkan simulator kontrol motor listrik berbasis <i>Virtual Reality</i> sebagai media pembelajaran di SMK.	Simulator yang dikembangkan dinyatakan layak digunakan dan mampu meningkatkan kompetensi peserta didik pada pembelajaran sistem kontrol motor listrik.
2	Dhalmahapatra dkk. (2021)	Eksperimen	Mengevaluasi efektivitas simulator <i>Virtual Reality</i> pada pelatihan keselamatan operasi <i>overhead crane</i> .	Simulator <i>Virtual Reality</i> terbukti meningkatkan pemahaman operator terhadap prosedur operasi dan keselamatan kerja.
3	Zakiyullah dan Irsyadi (2021)	Eksperimen	Mengembangkan <i>hardware-in-the-loop simulation</i> motor DC sebagai media pembelajaran dan pengujian sistem kontrol.	Simulator mampu merepresentasikan karakteristik motor DC secara efektif sebagai media pembelajaran dan pengujian sistem kontrol.
4	Hairuddin dan Yahya (2022)	Permodelan Matematis	Mengembangkan model matematis motor DC pada prototipe sistem kontrol <i>overhead crane</i> .	Model matematis mampu menggambarkan karakteristik motor DC sehingga dapat digunakan sebagai dasar pengembangan sistem kontrol crane.
5	Prasetyo dkk. (2025)	<i>Research and Development (R&D)</i>	Merancang sistem kontrol <i>overhead crane</i> berbasis PLC dan SCADA.	Sistem PLC dan SCADA mampu mengendalikan operasi crane secara efektif dan meningkatkan kemudahan monitoring sistem.
6	Syufrijal (2017)	Implementasi	Mengembangkan aplikasi PLC berbasis SCADA pada sistem crane.	Implementasi PLC dan SCADA meningkatkan otomatisasi dan mempermudah proses pengendalian crane.
7	Alzubaydy dan Dorohobid (2017)	Eksperimen	Mengembangkan sistem monitoring dan pengendalian <i>smart overhead travelling crane</i> menggunakan PLC dan SCADA.	Sistem mampu melakukan monitoring dan pengendalian crane secara real-time sehingga meningkatkan efisiensi operasi.
8	Matsui dkk. (2021)	Permodelan dan Simulasi	Mengembangkan metode <i>feedforward control</i> pada sistem crane dengan pembatasan sistem penggerak.	Metode <i>feedforward control</i> mampu meningkatkan akurasi gerakan dan mengurangi ayunan beban pada sistem crane.
9	Zhu dkk. (2022)	Simulasi	Mengembangkan simulasi gerakan (<i>motion generation</i>) pada simulator crane menggunakan <i>Streamlined Motion Blending Technology</i> .	Metode yang dikembangkan mampu menghasilkan simulasi gerakan crane yang lebih realistis dan mendekati kondisi operasi sebenarnya.
10	Ghany (2020)	Desain dan Implementasi	Mendesain sistem kontrol putaran motor pada simulator gempal tiga sumbu.	Sistem kontrol motor yang dirancang mampu mengendalikan kecepatan putaran secara stabil sehingga meningkatkan performa simulator.

Berdasarkan Tabel 1, penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pengembangan simulator dan sistem kontrol telah dilakukan dengan berbagai pendekatan, seperti *Virtual Reality*, *hardware-in-the-loop simulation*, pemodelan matematis, serta implementasi PLC dan SCADA. Penelitian-penelitian tersebut berfokus pada peningkatan efektivitas pembelajaran, keselamatan kerja, simulasi gerakan, maupun pengembangan sistem kendali. Meskipun demikian, belum terdapat penelitian yang secara khusus menganalisis karakteristik sistem kontrol kelistrikan pada simulator *rough terrain crane* berdasarkan parameter tegangan, arus, dan konsumsi daya pada operasi *slewing* dan *lifting*. Penelitian ini dilakukan untuk mengisi kesenjangan tersebut melalui analisis performa sistem kontrol kelistrikan

pada simulator *rough terrain crane* sehingga dapat menjadi referensi dalam pengembangan media pembelajaran alat berat.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan deskriptif kuantitatif. Metode eksperimen digunakan untuk menganalisis kinerja sistem kontrol kelistrikan pada simulator *rough terrain crane* yang meliputi komponen *power supply*, *switch*, *relay*, dan motor DC pada operasi *slewing* dan *lifting*. Pengujian dilakukan dengan memberikan kondisi operasi tertentu kemudian mengamati respon sistem melalui pengukuran parameter kelistrikan yang dihasilkan.

3.1 Objek Penelitian

Objek penelitian adalah sistem kontrol kelistrikan pada simulator *rough terrain crane*. Sistem tersebut terdiri atas sumber listrik PLN 220 VAC, *power supply*, *switch*, *relay*, dan motor DC sebagai aktuator penggerak gerakan *slewing* dan *lifting*.

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Data penelitian diperoleh melalui metode observasi dan pengukuran.

1. Observasi

Observasi dilakukan untuk mengamati prinsip kerja sistem kontrol kelistrikan pada simulator selama proses operasi *slewing* dan *lifting*

2. Pengukuran

Pengukuran dilakukan menggunakan multimeter untuk memperoleh data:

- a. Tegangan keluaran *power supply* (V)
- b. Arus kerja motor DC (A)
- c. Daya Listrik system (W)
- d. Kondisi operasi relay
- e. Keberhasilan Gerakan *slewing*
- f. Keberhasilan Gerakan *lifting*

3.3 Prosedur Penelitian

Tahap penelitian dilakukan sebagai berikut:

1. Merancang dan merakit simulator *rough terrain crane*.
2. Memasang sistem kontrol kelistrikan yang terdiri atas *power supply*, *switch*, *relay*, dan motor DC.
3. Memastikan seluruh komponen berfungsi dengan baik.
4. Melakukan pengujian operasi *slewing*.
5. Melakukan pengujian operasi *lifting*.
6. Mengukur tegangan dan arus selama pengujian.
7. Menghitung daya listrik yang digunakan sistem.
8. Kecepatan putaran (RPM)
9. Konsumsi energi
10. Menganalisis hasil pengukuran.
11. Menarik kesimpulan penelitian.

3.4 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif berdasarkan hasil pengukuran tegangan dan arus pada sistem kontrol kelistrikan. Daya listrik dihitung menggunakan Persamaan (1). Torsi motor dihitung berdasarkan hubungan antara gaya dan jari-jari drum menggunakan persamaan:

$$T = F \times r \quad (2)$$

dengan:

T = torsi (N.m)

F = Gaya (N)

R = jari-jari drum (m)

Apabila beban diketahui $F = m \times g$

Energi dihitung menggunakan persamaan:

$$E = P \times t \quad (3)$$

dengan:

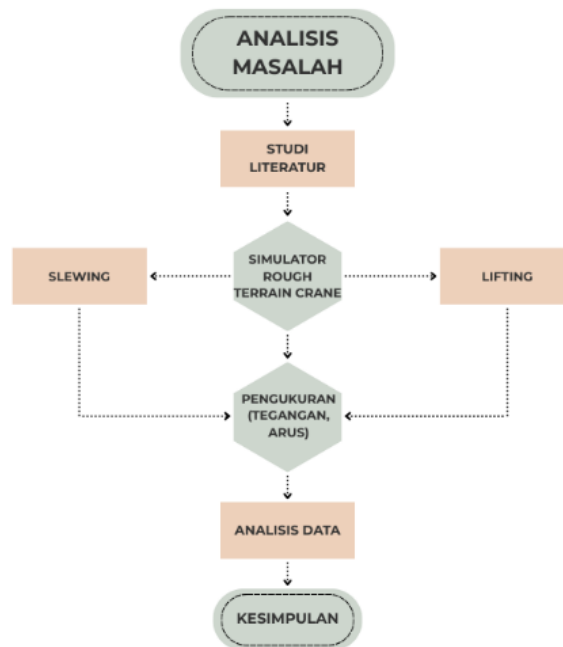
E = Energi (J)

P = Daya (W)

T = Waktu (s)

Data hasil pengukuran kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mengetahui karakteristik sistem kontrol kelistrikan pada simulator rough terrain crane. Hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi kinerja power supply, relay, dan motor DC dalam menghasilkan operasi slewing dan lifting yang stabil.

3.5 Alur Penelitian



Gambar 1. Alur Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

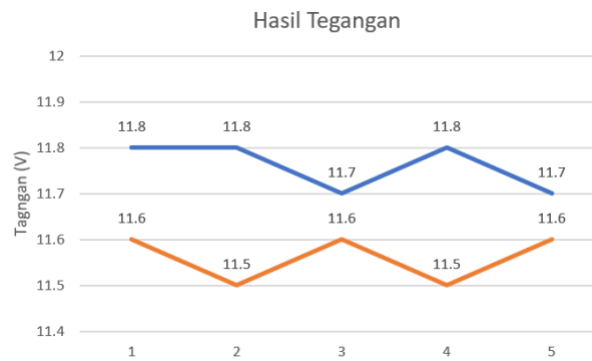
Penelitian ini menghasilkan sistem kontrol kelistrikan pada simulator *rough terrain crane* yang terdiri atas *power supply* 12 VDC, *toggle switch*, relay SRD-12VDC-SL-C, dan motor DC sebagai aktuator penggerak. Sistem kontrol dirancang untuk mengoperasikan dua fungsi utama simulator, yaitu *slewing* dan *lifting*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik kelistrikan sistem melalui pengukuran tegangan, arus, dan daya listrik pada masing-masing operasi. Hasil pengukuran operasi *slewing* dan *lifting* disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 2. Hasil pengukuran operasi *slewing*

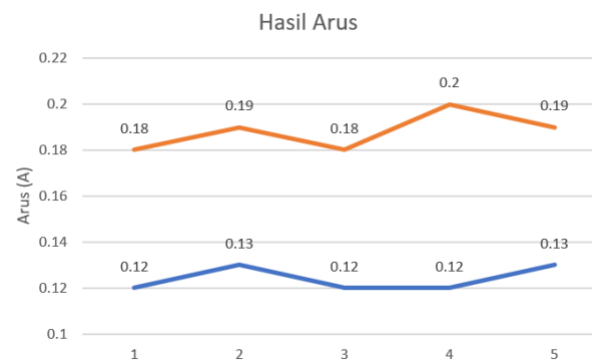
Pengujian	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1	11,8	0,12	1,42
2	11,8	0,13	1,53
3	11,7	0,12	1,40
4	11,8	0,12	1,42
5	11,7	0,13	1,52
Rata-rata	11,76	0,124	1,46

Tabel 3. Hasil pengukuran operasi *lifting*

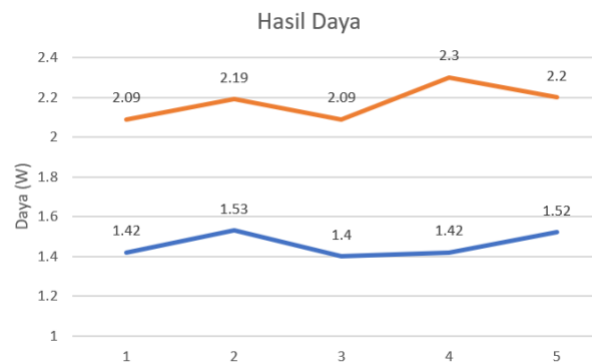
Pengujian	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1	11,6	0,18	2,09
2	11,5	0,19	2,19
3	11,6	0,18	2,09
4	11,5	0,20	2,30
5	11,6	0,19	2,20
Rata-rata	11,56	0,188	2,17



Gambar 2. Grafik Tegangan



Gambar 3. Grafik Arus

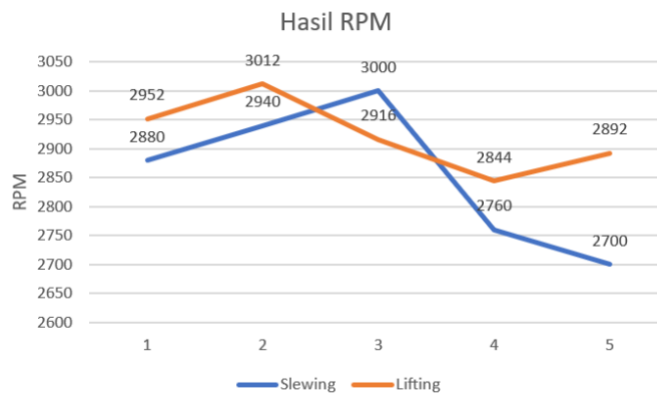


Gambar 4. Grafik Daya

Daya listrik pada setiap pengujian dihitung menggunakan Persamaan (1), yaitu hasil perkalian antara tegangan dan arus yang mengalir pada sistem. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa operasi *lifting* memerlukan daya listrik yang lebih besar dibandingkan operasi *slewing*. Rata-rata daya pada operasi *slewing* sebesar 1,46 W, sedangkan rata-rata daya pada operasi *lifting* mencapai 2,17 W.

Tabel 4. Hasil Pengukuran RPM

Pengujian	Slewing (RPM)	Lifting (RPM)
1	2880	2952
2	2940	3012
3	3000	2916
4	2760	2844
5	2700	2892
Rata-rata	2856	2923,2



Gambar 5. Grafik RPM

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 4, rata-rata kecepatan putar motor DC RS-385 pada operasi *slewing* sebesar 2856 RPM, sedangkan pada operasi *lifting* sebesar 2923,2 RPM. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kecepatan putar motor pada kedua operasi masih berada di bawah kecepatan nominal motor sebesar 3500 RPM pada tegangan 12 V. Penurunan kecepatan putar ini disebabkan oleh adanya beban mekanis yang diterima motor saat menggerakkan mekanisme simulator *rough terrain crane*, sehingga putaran motor tidak mencapai kecepatan tanpa beban (*no-load speed*). Pada operasi *slewing*, nilai RPM cenderung stabil dengan rata-rata 2856 RPM. Perbedaan nilai RPM pada setiap pengujian relatif kecil, yaitu berkisar antara 2700–3000 RPM. Hal tersebut menunjukkan bahwa sistem kontrol kelistrikan mampu mempertahankan putaran motor secara konsisten selama proses pergerakan horizontal (*slewing*). Stabilitasnya putaran motor juga didukung oleh hasil pengukuran tegangan yang relatif konstan dengan rata-rata 11,76 V, sehingga perubahan kecepatan putar tidak terjadi secara signifikan. Pada operasi *lifting* diperoleh rata-rata kecepatan putar sebesar 2923,2 RPM, dengan rentang hasil pengukuran antara 2844–3012 RPM. Nilai tersebut menunjukkan bahwa motor tetap mampu bekerja secara stabil selama proses pengangkatan. Meskipun operasi *lifting* memiliki konsumsi arus rata-rata yang lebih tinggi (0,188 A) dan daya rata-rata sebesar 2,17 W dibandingkan operasi *slewing*, sistem kontrol masih mampu mempertahankan kecepatan putar motor pada kisaran yang relatif konstan. Hal ini menunjukkan bahwa suplai tegangan dari *power supply* dan rangkaian kontrol yang terdiri atas relay serta *toggle switch* mampu memberikan kinerja yang stabil pada kedua mode operasi simulator.

Tabel 5. Hasil Pengujian Torsi

Pengujian	Beban	Torsi
1	200g	0,0196 N.m
2	500g	0,0491 N.m
3	1000g	0,0981 N.m



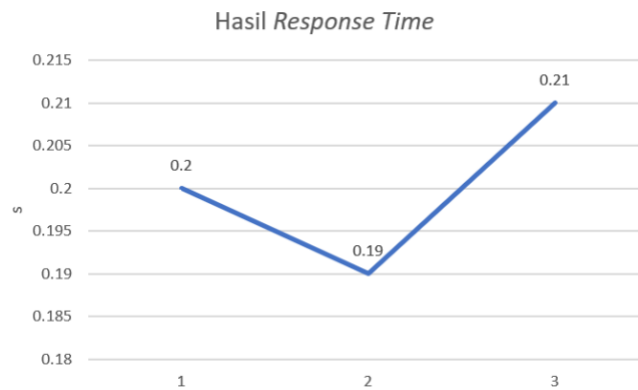
Gambar 6. Grafik Torsi

Berdasarkan Tabel 5, nilai torsi meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan pada mekanisme *lifting*. Pada beban 200 g, diperoleh torsi sebesar 0,0196 N·m. Ketika beban ditingkatkan

menjadi 500 g, nilai torsi meningkat menjadi 0,0491 N·m. Pengujian dengan beban 1000 g menghasilkan torsi terbesar, yaitu 0,0981 N·m.

Tabel 6. Hasil Pengujian *Response Time*

Pengujian	<i>Response Time</i> (s)
1	0,20
2	0,19
3	0,21
Rata-rata	0,20

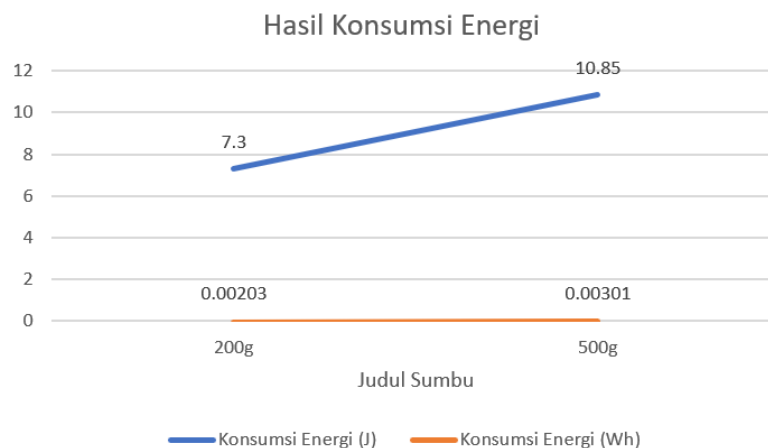


Gambar 7. Grafik *Response Time*

Berdasarkan Tabel 6, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kontrol kelistrikan pada simulator rough terrain crane memiliki waktu respons (*response time*) yang relatif konsisten pada setiap pengujian. Nilai *response time* yang diperoleh pada pengujian pertama sebesar 0,20 detik, pengujian kedua sebesar 0,19 detik, dan pengujian ketiga sebesar 0,21 detik, dengan rata-rata waktu respons sebesar 0,20 detik.

Tabel 7. Hasil Pengujian Konsumsi Energi

Pengujian	Mode Operasi	Daya (W)	Waktu (s)	Konsumsi Energi (J)	Konsumsi Energi (Wh)
1	200g	0,0196 N.m	5	7,30	0,00203
2	500g	0,0491 N.m	5	10,85	0,00301



Gambar 8. Grafik Konsumsi Energi

Berdasarkan Tabel 7, konsumsi energi dihitung berdasarkan hasil pengukuran daya listrik dan waktu operasi selama 5 detik menggunakan persamaan (3). Pada mode slewing, daya rata-rata sebesar 1,46 W menghasilkan konsumsi energi sebesar 7,30 Joule atau 0,00203 Wh. Sementara itu, pada mode lifting, daya rata-rata sebesar 2,17 W menghasilkan konsumsi energi sebesar 10,85 Joule atau 0,00301 Wh.

4.2 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem kontrol kelistrikan yang terdiri atas *power supply*,

toggle switch, relay, dan motor DC mampu mengoperasikan simulator *rough terrain crane* sesuai dengan fungsi yang dirancang. Ketika *toggle switch* diaktifkan, relay merespons dengan menghubungkan sumber tegangan menuju motor DC sehingga gerakan *slewing* maupun *lifting* dapat dilakukan dengan baik. Hasil ini menunjukkan bahwa rangkaian kontrol mampu meneruskan perintah operator menjadi gerakan mekanik secara efektif.

Tegangan keluaran sistem selama pengujian berada pada rentang 11,5–11,8 V. Nilai tersebut menunjukkan bahwa *power supply* mampu menyediakan sumber tegangan yang relatif stabil selama sistem beroperasi. Penurunan tegangan yang terjadi saat motor bekerja disebabkan oleh adanya beban pada aktuator dan rugi-rugi daya pada rangkaian. Meskipun demikian, penurunan tegangan tersebut masih berada dalam batas yang dapat diterima sehingga tidak memengaruhi kinerja sistem secara signifikan.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa arus rata-rata pada operasi *lifting* sebesar 0,188 A lebih besar dibandingkan arus rata-rata pada operasi *slewing* yang hanya sebesar 0,124 A. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa motor DC memerlukan energi listrik yang lebih besar saat melakukan proses pengangkatan dibandingkan saat melakukan gerakan rotasi. Peningkatan kebutuhan arus terjadi karena mekanisme *lifting* membutuhkan torsi yang lebih tinggi untuk mengatasi beban yang diterima motor.

Perhitungan daya listrik menunjukkan bahwa operasi *lifting* memiliki kebutuhan daya rata-rata sebesar 2,17 W, sedangkan operasi *slewing* hanya sebesar 1,46 W. Dengan demikian, kebutuhan daya pada operasi *lifting* sekitar 48,6% lebih besar dibandingkan operasi *slewing*. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa karakteristik beban mekanik memberikan pengaruh langsung terhadap konsumsi energi listrik pada sistem kontrol kelistrikan simulator.

Hasil penelitian ini sejalan dengan Hamdani dan Haryudo [12] yang menyatakan bahwa karakteristik catu daya berpengaruh terhadap performa motor DC, serta mendukung temuan Prakosa dkk. [14] bahwa motor DC memiliki respons yang baik terhadap perubahan masukan listrik sehingga sesuai digunakan pada sistem kontrol sederhana. Temuan penelitian juga menunjukkan bahwa penggunaan relay sebagai penghubung antara rangkaian kontrol dan aktuator mampu meningkatkan keandalan sistem karena arus beban tidak langsung melewati saklar kontrol.

Temuan utama penelitian ini adalah bahwa sistem kontrol kelistrikan sederhana berbasis *power supply* 12 VDC, relay SRD-12VDC-SL-C, dan motor DC mampu merepresentasikan prinsip kerja dasar sistem kontrol pada *rough terrain crane*. Sistem yang dikembangkan memiliki konstruksi yang sederhana, mudah dioperasikan, dan mampu mendukung proses pembelajaran mengenai prinsip kerja sistem kontrol kelistrikan pada alat berat, khususnya pada mekanisme *slewing* dan *lifting*.

Hasil pengujian kecepatan putar motor menunjukkan bahwa mekanisme *slewing* memiliki kecepatan rata-rata sebesar 2856 RPM, sedangkan mekanisme *lifting* sebesar 2923,2 RPM. Kedua nilai tersebut berada di bawah kecepatan nominal motor DC RS-385, yang menunjukkan bahwa motor bekerja pada kondisi berbeban. Kecepatan putar yang relatif stabil pada setiap pengujian menunjukkan bahwa sistem kontrol mampu mempertahankan performa motor selama proses pengoperasian simulator.

Pengujian torsi menunjukkan bahwa peningkatan beban menghasilkan peningkatan nilai torsi yang dibutuhkan oleh sistem. Pada beban 200 gram diperoleh torsi sebesar 0,0196 N·m, kemudian meningkat menjadi 0,0491 N·m pada beban 500 gram, dan mencapai 0,0981 N·m pada beban 1000 gram. Hasil tersebut menunjukkan hubungan yang sebanding antara beban dan torsi, karena dengan jari-jari drum yang tetap, peningkatan gaya akibat bertambahnya massa secara langsung meningkatkan torsi yang diperlukan untuk mengangkat beban. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme *lifting* mampu menghasilkan momen puntir yang sesuai dengan variasi beban yang diberikan selama pengujian.

Selanjutnya, hasil pengujian response time menunjukkan bahwa sistem memiliki waktu respons rata-rata sebesar 0,20 detik, dengan variasi pengujian antara 0,19 detik hingga 0,21 detik. Perbedaan waktu respons yang sangat kecil menunjukkan bahwa sistem kontrol kelistrikan mampu merespons perintah dari *toggle switch* secara konsisten. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa koordinasi antara sumber daya, relay, pengkabelan, dan motor DC berjalan dengan baik sehingga proses aktivasi mekanisme dapat dilakukan dalam waktu yang singkat.

Berdasarkan hasil pengujian konsumsi energi, mekanisme *slewing* mengonsumsi energi sebesar 7,30 Joule atau 0,00203 Wh selama waktu operasi 5 detik, sedangkan mekanisme *lifting* mengonsumsi energi sebesar 10,85 Joule atau 0,00301 Wh. Konsumsi energi yang lebih tinggi pada mekanisme *lifting* disebabkan oleh kebutuhan daya yang lebih besar selama proses pengangkatan beban. Meskipun demikian, konsumsi energi pada kedua mekanisme masih tergolong rendah, sehingga simulator memiliki kebutuhan energi yang efisien untuk digunakan sebagai media pembelajaran praktik pengoperasian *rough terrain crane*.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kontrol kelistrikan yang dikembangkan mampu mengoperasikan mekanisme slewing dan lifting secara stabil. Hal ini ditunjukkan oleh tegangan yang mendekati nilai nominal, arus dan daya yang meningkat sesuai dengan beban kerja, kecepatan putar motor yang stabil, kemampuan menghasilkan torsi sesuai variasi beban, waktu respons yang cepat, serta konsumsi energi yang relatif rendah. Dengan demikian, sistem kontrol kelistrikan pada simulator rough terrain crane telah memenuhi fungsi operasionalnya sebagai media pembelajaran untuk mendukung praktik pengoperasian alat berat di lingkungan pendidikan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis sistem kontrol kelistrikan pada simulator rough terrain crane untuk operasi slewing dan lifting, dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol yang dikembangkan mampu mengoperasikan kedua mekanisme dengan baik dan stabil. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan rata-rata sebesar 11,76 V pada mekanisme *slewing* dan 11,56 V pada mekanisme *lifting* masih mendekati tegangan nominal 12 V, sehingga menunjukkan kinerja daya yang stabil. Arus rata-rata yang dihasilkan sebesar 0,124 A pada *slewing* dan 0,188 A pada *lifting* menghasilkan daya listrik masing-masing sebesar 1,46 W dan 2,17 W, yang menunjukkan bahwa mekanisme *lifting* membutuhkan daya lebih besar karena bekerja mengangkat beban.

Kecepatan putar motor yang diperoleh sebesar 2856 RPM pada mekanisme *slewing* dan 2923,2 RPM pada mekanisme *lifting* menunjukkan bahwa motor DC RS-385 mampu bekerja secara stabil selama pengoperasian. Pengujian torsi memperlihatkan adanya peningkatan nilai torsi seiring bertambahnya beban, yaitu 0,0196 N·m pada beban 200 gram, 0,0491 N·m pada beban 500 gram, dan 0,0981 N·m pada beban 1000 gram. Selain itu, sistem memiliki response time rata-rata sebesar 0,20 detik, yang menunjukkan respons cepat terhadap perintah dari *toggle switch*. Konsumsi energi selama waktu operasi 5 detik sebesar 7,30 Joule (0,00203 Wh) pada mekanisme *slewing* dan 10,85 Joule (0,00301 Wh) pada mekanisme *lifting*, yang menunjukkan kebutuhan energi relatif rendah untuk pengoperasian simulator.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kontrol kelistrikan pada simulator rough terrain crane mampu mengoperasikan mekanisme *slewing* dan *lifting* secara efektif, memiliki karakteristik kelistrikan yang stabil, waktu respons yang cepat, serta konsumsi energi yang rendah. Dengan demikian, simulator yang dikembangkan layak digunakan sebagai media pembelajaran praktik pengoperasian *rough terrain crane* pada bidang pendidikan teknik alat berat.

REFERENSI

- [1] R. M. Ramdhan, I. Ismara, A. Ramelan, U. N. Yogyakarta, U. Malaya, and K. Lumpur, "Development of Virtual Reality-Based Electric Motor Control Simulation for Improving Electric Motor Installation Competency in Vocational High Schools," vol. 9, no. 2, pp. 181–192, 2025, doi: 10.21831/jee.v9i2.89226.
- [2] K. Dhalmahapatra, J. Maiti, and O. B. Krishna, "Assessment of virtual reality based safety training simulator for electric overhead crane operations," *Saf. Sci.*, vol. 139, p. 105241, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105241>.
- [3] M. Zakiyullah and F. Irsyadi, "Journal of Mechatronics , Electrical Power , Hardware-in-the-loop simulation of DC motor as an instructional media for control system design and testing," vol. 12, pp. 81–86, 2021doi: 10.14203/j.mev.2021.v12.81-86.
- [4] A. Ghany, "Desain Dan Implementasi Sistem Kontrol Putaran Motor Pada Gerak Simulator Gempa 3 Axis," vol. 3, no. 1, pp. 25–34, 2020, doi: 10.24176/crankshaft.v3i1.4654.
- [5] W. Hairuddin and N. Yahya, "A Mathematical Model of Geared DC Motor Based of Overhead Crane Control System Prototype," *Malaysian J. Appl. Sci.*, vol. 7, pp. 44–51, Apr. 2022, doi: 10.37231/myjas.2022.7.1.299.
- [6] M. R. E. Prasetyo, Z. Abidin, and A. B. Laksono, "Rancang Bangun Overhead Crane Berbasis PLC Outseal Menggunakan Control Scada Haiwell," pp. 80–85, 2025, doi: 10.56795/fortech.v6i2.6103.
- [7] Syufrijal, "Aplikasi PLC Pada Crane Berbasis SCADA," 2017, doi: 10.21009/autocracy.04.2.7.
- [8] A. I. J. Alzubaydy and V. P. Dorohobid, "Monitoring And Controlling Of Smart Overhead Travelling Crane Using PLC and SCADA This," pp. 1–5, 2017.
- [9] K. Matsui, H. Kajiwar, and S. Ishigaki, "Feedforward Control Design Methodology for a Crane System with Restrictions on Drive System," in *2021 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM)*, 2021, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICM46511.2021.9385673.
- [10] Z. Zhu, Y. Luo, H. Xiao, Z. Li, C. Xu, and G. Wang, "Motion Generation for Crane Simulators Using

- Streamlined Motion Blending Technology,” *Appl. Sci.*, vol. 12, p. 8799, Sep. 2022, doi: 10.3390/app12178799.
- [11] M. E. El-Hawary, *Introduction To Electrical Power System*. 2008, doi: 10.1002/9780470411377.
- [12] R. W. Hamdani and S. I. Haryudo, “Studi Literatur Pengaruh Kendali Boost Konverter Menggunakan Kontrol Pid Pada,” vol. 10, no. 01, pp. 271–279, 2021, doi: 10.26740/jte.v10n1.p271-279.
- [13] A. Kalam, *Advances in Electronics , Communication and Computing*. 2016, doi: 10.1007/978-981-10-4765-7.
- [14] A. Prakosa, E. Kurniawan, and H. Adinanta, “Kajian Identifikasi Model Eksperimen pada Kontrol Kecepatan Motor DC,” vol. 13, no. 1, pp. 27–35, 2021, doi: 10.5614/joki.2021.13.1.3.