

RANCANG BANGUN RAIL INSPECTION BERPENGGERAK MANDIRI MENGUNAKAN MOTOR DC

Hilman Naufal Rafi^{1*}, Alfi Tranggono Agus Salim², Mohammad Erik Echsony³, Sefi Novendra Patrialova⁴, Romal Hadi Setyawan⁵

^{1,2,3}Program Studi Perkeretaapian, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Madiun, ⁴Departemen Teknik Instrumentasi, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, ⁵Departemen Engineering, Divisi Teknologi PT INKA

¹hilmannaufal58@gmail.com, ²alfitranggono@pnm.ac.id, ³erik_sony@pnm.ac.id, ⁴sefi.patrialova@gmail.com, ⁵romal.hadi@inka.co.id

Abstrak

Tingginya lalu lintas perkeretaapian, tidak menutup kemungkinan bahwa jalan rel timbul beberapa masalah akibat penggunaan, seperti rel aus, rel patah, dan balast yang berkurang. PT. KAI melakukan perawatan dan pemeliharaan jalan rel secara terjadwal. Pemeriksaan jalan rel dilakukan secara manual, yakni petugas penilik jalan (PPJ) menyisir jalan rel. Ini menimbulkan permasalahan yakni waktu pemeriksaan menjadi lebih lama yang berdampak pada jadwal lalu lintas kereta api. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, diperlukan sebuah alat ukur yang bergerak mandiri. Alat ukur yang akan dibuat yaitu Rail Inspection dengan penggerak motor DC. Metode penelitian yang dilakukan studi literatur, desain mekanik dan desain kontrol, tahap manufaktur hingga perakitan, dan tahap pengujian. Motor DC dinilai mampu menggerakkan perangkat dengan nilai PWM 50,9 %, 56,9 %, dan 62,7 % yang menghasilkan kecepatan 2,05 km/j hingga 2,99 km/j. Hal ini dipengaruhi oleh berat benda dan koefisien gesek antara roda dengan rel dengan bahan baja. Perangkat dapat menempuh jarak sejauh 5,378 km hingga 5,54 km. Grafik State Of Charge (SOC) relatif linier pada persentase 100 % hingga 20 %. Hal ini disebabkan oleh kapasitas baterai yang rendah untuk mensuplai daya motor yang konstan.

Kata kunci: motor dc, State Of Charge (SOC), jarak tempuh, rail inspection

1. Pendahuluan

Jalan rel adalah kesatuan konstruksi yang terdiri dari baja, beton, atau konstruksi lain yang terletak di permukaan tanah, di bawah tanah, dan diatas tanah beserta peralatnya yang mengarahkan jalannya kereta api, (UU Tahun 2007 No. 23, Bab I, Pasal I, ayat 7). Rel kereta yang telah berusia tua dapat menimbulkan permasalahan seperti rel patah, rel aus, rel mengembang, wesel rusak, bantalan lapuk, dan balast kosong yang mengakibatkan kecelakaan kereta. Pemeriksaan jalan rel dilakukan dengan Petugas Penilik Jalan (PPJ) menyusuri rel dengan mengukur sepanjang jalur rel kereta. Untuk memudahkan tugas Petugas Penilik Jalan (PPJ) diperlukan sebuah perangkat inspeksi rel yang dapat berjalan tanpa perlu campur tangan operator dalam menggerakkan perangkat.

Motor DC 12V digunakan sebagai penggerak perangkat Motor DC 12 V memerlukan suplai tegangan searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik, Yuski et al., (2017). Pengaturan kecepatan menggunakan metode *pulse width modulation (PWM)*. *Pulse Width Modulation (PWM)* dipilih karena karena metode ini sederhana untuk diaplikasikan pada perangkat *Rail Inspection*, Kapadiya et al., (2014).

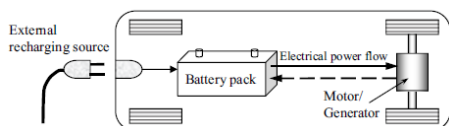
Mikrokontroler yang digunakan yaitu *board NodeMCU ESP8266*. *NodeMCU* ini berbasis chip *ESP8266* dengan kemampuan menjalankan fungsi mikrokontroler dan dapat disambungkan dengan koneksi internet melalui *Wi-Fi*, Dewi et al. (2019).

Dalam kebutuhan serta pengoperasian perangkat *Rail Inspection 2.0*, tentu memerlukan daya listrik yang disuplai oleh baterai *lithium-ion* jenis 18650 yang dirakit sesuai dengan kebutuhan. Baterai *lithium-ion* memiliki kelebihan antara lain siklus hidup yang panjang, rentang suhu operasional yang panjang, umur penyimpanan yang lama, serta kemampuan pengisian yang cepat, Linden & Reddy (2002).

2. Dasar Teori

2.1. Sistem *Powertrain*

Powertrain merupakan sebuah sistem yang terdiri dari komponen yang bekerja secara bersamaan untuk menyalurkan tenaga dari suplai daya menuju komponen penggerak. Sistem ini berperan dalam menggerakkan perangkat dari keadaan awal diam hingga keadaan bergerak, Zainuri & Syuriadi (2021).



Gambar 1. *Plug-In Electric Vehicle*
 Sumber: (Mashadi & Crolla, 2011)

Untuk menghitung torsi yang diperlukan menggunakan rumus (1).

$$T = r \times F \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

- T : torsi (Nm)
- r : diameter roda (m)
- F : gaya (N)

Ricky (2013)

Dalam pengoperasiannya dibutuhkan daya listrik untuk menggerakkan perangkat menggunakan rumus (2).

$$P = T \times \omega \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

- P : daya (Watt)
- T : torsi (Nm)
- ω : rad/s

Ricky (2013)

Karena pada rumus menggunakan satuan newton (N), perlu dilakukan konversi satuan menggunakan rumus (3).

$$w = m \times g \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

- w : massa (N)
- m : massa (kg)
- g : gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

Suyanto & Kristiyana (2015)

Kontak antara roda dengan jalan menimbulkan koefisien gesek yang mempengaruhi gaya maksimal yang mampu ditahan. Semakin besar koefisien gesek antara kedua objek semakin besar gaya yang mampu ditahan, I.K.A.Atmika (2017).

2.2. NodeMCU ESP8266

NodeMCU salah satu board yang umum digunakan untuk keperluan IoT. ESP8266 adalah modul wifi yang rendah daya, Khaerul et al., (2020). Istilah "NodeMCU" mengacu pada *firmware DevKit*, Riswandi (2019).



Gambar 2 . Mikrokontroler NodeMCU ESP8266

2.3. Motor DC

Motor DC adalah komponen yang berfungsi untuk merubah energi listrik berupa arus DC menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran, Bagia & Parsa (2018).



Gambar 3. Motor DC
 Sumber: Bagia & Parsa (2018)

Untuk menghitung besar torsi yang dihasilkan menggunakan rumus (4).

$$T = \frac{5250 \cdot HP}{n} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

- HP : Daya (HP)
- T : Torsi (Nm)
- n : Putaran (Rpm)
- 5250 : Konstanta motor DC

Bagia & Parsa (2018)

Untuk menghitung kecepatan menggunakan rumus (5).

$$v = \frac{s}{t} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan:

- v : jarak (m)
- s : kecepatan (m/s)
- t : waktu (s)

Ricky (2013)

Agar didapat satuan km/jam dilakukan konversi satuan kecepatan dengan mengubah satuan waktu ke jam dan mengubah jarak dalam satuan ke kilometer. Untuk merubah satuan jarak menggunakan rumus (6).

$$1 \text{ m} = \frac{1}{1000} \text{ km} \dots \dots \dots (6)$$

Untuk merubah satuan sekon ke jam menggunakan rumus (7).

$$1 \text{ sekon} = \frac{1}{3600} \text{ jam} \dots \dots \dots (7)$$

Abdullah, (2016)

Kemudian rumus konversi jarak dibagi dengan rumus konversi waktu menjadi persamaan (8).

$$= \frac{1 \text{ km}}{1 \text{ s}} \dots \dots \dots (8)$$

Nilai daya yang dibutuhkan dihitung menggunakan rumus (9).

$$P = F_{\text{pull}} \times v \dots \dots \dots (9)$$

Keterangan:

- P : daya (watt)

F_{pull} : gaya tarik (N)
 v : kecepatan (m/s)

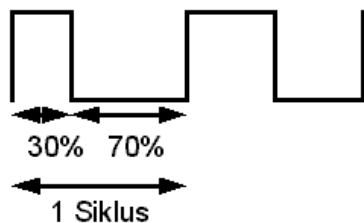
Karena menggunakan *gear reduction*, maka rumus perhitungan *gear reduction* menggunakan rumus (10).

$$N2 = \frac{\text{jumlah gigi 1}}{\text{jumlah gigi 2}} \times N1 \dots \dots \dots (10)$$

Niam, (2011)

2.4. Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan cara memanipulasi lebar sinyal melalui pulsa (*pulse*) dalam satu periode untuk mendapatkan tegangan yang berbeda. Modulasi ini bekerja sebagai *switching power supply* untuk mengontrol *on* dan *off*, S. & Hartono, (2018)



Gambar 4. Satu Siklus *Duty Cycle*
 Sumber: Hidayati, (2016)

2.5. Baterai Lithium-Ion

Baterai *lithium-ion* merupakan jenis baterai yang dapat diisi ulang (*rechargeable Battery*). Ion *lithium* bergerak dari elektroda negatif menuju ke elektroda positif saat dilepaskan dan kembali saat diisi ulang. Baterai *lithium* menggunakan senyawa *lithium* interkalasi sebagai bahan elektrodanya yang membuat baterai jenis ini dapat dilakukan pengisian ulang (Azis, 2020).



Gambar 4. Baterai Tipe 18650

Untuk menghitung kebutuhan daya yang diperlukan menggunakan rumus (11).

$$P = I \times V \dots \dots \dots (11)$$

Keterangan:

P : Daya (W)
 I : Arus Pemakaian (A)
 V : Tegangan (V)

Syafra, et al. (2020)

Untuk menghitung daya yang digunakan berdasarkan lamanya waktu menggunakan rumus (12).

$$W = P \times t \dots \dots \dots (12)$$

Keterangan:

P : Daya (W)
 I : Arus Pemakaian (A)
 V : Tegangan (V)
 W : daya yang digunakan (W)
 t : waktu pemakaian (jam)

Syafra, et al. (2020)

Rumus yang digunakan untuk mencari waktu pemakaian baterai menggunakan rumus (13).

$$T_{\text{pemakaian}} = \frac{\text{Energi baterai}}{\text{daya motor}} \dots \dots \dots (13)$$

Untuk mendapat jarak tempuh yang dihasilkan dari baterai pada kondisi penuh menggunakan rumus (14).

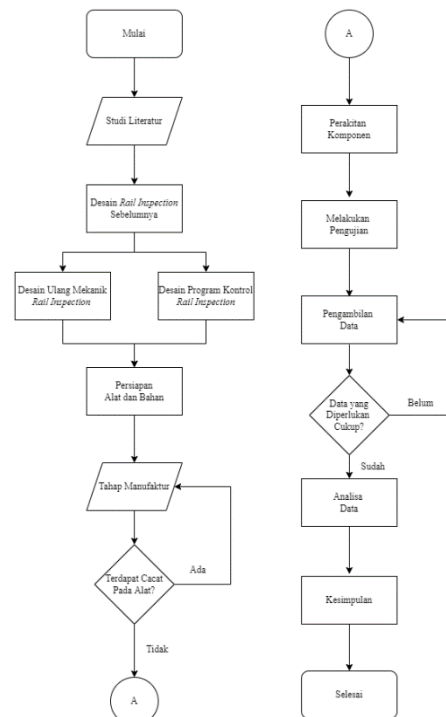
$$s = v \times T_{\text{pemakaian}} \dots \dots \dots (14)$$

Niam (2011)

3. Metode Penelitian

3.1. Diagram Alir

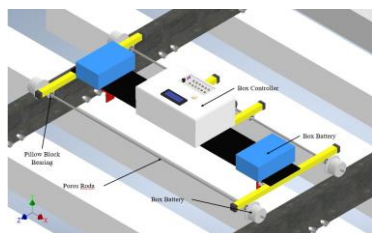
Penelitian ini dilakukan berdasarkan diagram alir berikut.



Gambar 5. Diagram alir penelitian

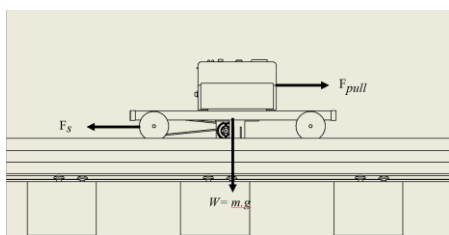
3.2. Desain Ulang Mekanik

Dilakukan desain ulang mekanik yang bertujuan untuk mengoptimalkan desain serta mengakomodasi sistem keseluruhan.



Gambar 6. Tampak keseluruhan desain Rail Inspection 2.0

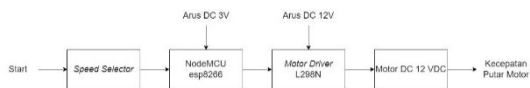
Pada desain gambar 6 didapat *free body diagram* yang tersaji pada gambar 7.



Gambar 7. Free Body Diagram perangkat Rail Inspection 2.0

3.3. Desain Kontrol

Pada penelitian ini kontrol motor dirancang secara *open loop*. Set kecepatan berupa nilai tegangan analog akan diproses oleh *NodeMCU ESP8266* yang akan memberi nilai tegangan digital ke *Motor Driver L298N*.



Gambar 8. Blok diagram kontrol motor DC

4. Analisa dan Pembahasan

4.1. Perangkat Mekanik

Setelah dilakukan proses manufaktur berdasarkan desain yang telah ditetapkan didapat hasil pada gambar berikut.



Gambar 9. Perangkat Rail Inspection 2.0

4.2. Perhitungan Torsi

Dilakukan perhitungan berat keseluruhan. Penghitungan berat bertujuan untuk mengetahui berat perangkat yang bertujuan menghitung torsi yang dibutuhkan. Didapat berat perangkat sebesar 7,95 kg kemudian dilakukan perhitungan sebagai berikut. Serway & Jewett, (2008).

$$w = m \times g \dots\dots\dots(3)$$

$$w = 7,95 \times 9,8$$

$$w = 77,91 \text{ N}$$

Untuk mengetahui nilai torsi yang dibutuhkan dihitung dengan rumus dan perhitungan berikut.

$$T = r \times f \dots\dots\dots(1)$$

$$T = 0,06 \times 77,91$$

$$T = 4,67 \text{ Nm}$$

4.3. Pengujian Statis

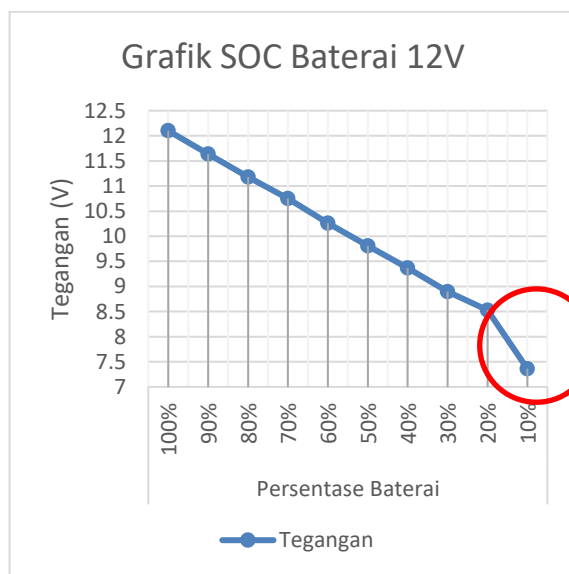
Pengujian statis dilakukan pengambilan data kecepatan putar perangkat dengan satuan rpm yang dilakukan perhitungan torsi yang dihasilkan. Didapat hasil sebagai berikut.

Tabel 1 Pengujian Kecepatan Putar Motor dan Torsi yang Dihasilkan

Speed selector	Nilai PWM (%)	Rata-rata (rpm)	Torsi yang Dihasilkan (Nm)
1	50,9	342,1	29,15
2	56,9	394,4	25,29
3	62,7	439,0	22,72

Besar nilai *pwm* mempengaruhi tegangan *input* untuk motor dan berpengaruh pada kecepatan yang dihasilkan. Akbar, F. K. & Rohman (2020).

Pengujian statis juga dilakukan pengujian ketahanan baterai dalam mensuplai daya listrik untuk motor DC pada persentase baterai 100 % hingga persentase baterai 0 %. Didapat hasil sebagai berikut.



Gambar 10. Grafik SOC Baterai Lithium-Ion

Lingkaran merah pada grafik pada gambar 10 menunjukkan penurunan tegangan yang signifikan. Pada persentase 20 % hingga 10 % mengalami drop tegangan sebesar 1,1 V, Otong et al., (2019) akibat kebutuhan suplai motor yang konstan tidak diimbangi

dengan kecukupan baterai dalam mensuplai daya listrik.

4.4. Pengujian Dinamis

Pengujian dinamis dilakukan untuk mengetahui kecepatan yang dihasilkan. Kecepatan yang dihasilkan terdapat pada tabel berikut.

Tabel 2. Kecepatan yang Dihasilkan

Speed Selector	Nilai PWM	Kecepatan (m/s)	Kecepatan (km/jam)
1	50,9 %	0,57	2,05
2	56,9 %	0,69	2,49
3	62,7 %	0,83	2,99

Besar nilai *pwm* mempengaruhi tegangan *input* untuk motor dan berpengaruh pada kecepatan yang dihasilkan. Akbar, F. K. & Rohman (2020).

4.5. Perhitungan Daya Motor

Perhitungan ini bertujuan untuk mendapatkan nilai daya motor yang dihasilkan dari setiap *speed selector*. Didapat daya sebagai berikut.

Tabel 3. Daya yang Dihasilkan

Speed Selector	Nilai PWM	Daya yang Dihasilkan (watt)
1	50,9 %	44,4
2	56,9 %	53,7
3	62,7 %	64,7

Besar nilai *pwm* mempengaruhi tegangan *input* untuk motor dan berpengaruh pada kecepatan yang dihasilkan. Akbar, F. K. & Rohman (2020).

4.6. Perhitungan Waktu Pemakaian Baterai

Perhitungan waktu pemakaian baterai bertujuan untuk menganalisa baterai digunakan untuk mensuplai motor DC, Niam, (2011). Terlebih dahulu menghitung energi yang dihasilkan dari baterai menjadi:

$$P = I \times V \dots\dots\dots(11)$$

$$P = 10 \text{ Ah} \times 12V$$

$$= 120 \text{ watt hours}$$

Setelah dilakukan perhitungan waktu pemakaian, didapat waktu pemakaian selama:

Tabel 4. Waktu Pemakaian Baterai

Speed Selector	Nilai PWM	Waktu Pemakaian (jam)
1	50,9 %	2,7
2	56,9 %	2,2
3	62,7 %	1,8

4.7. Perhitungan Jarak Tempuh

Jarak tempuh dihitung berdasarkan waktu pemakaian dengan kecepatan yang dihasilkan dari setiap *speed selector*. Didapat jarak tempuh pada tabel 5.

Tabel 5. Jarak Tempuh yang Dihasilkan

Speed Selector	Nilai PWM	Waktu Pemakaian (jam)	Jarak tempuh (m)
1	50,9 %	2,7	5.540
2	56,9 %	2,2	5,465
3	62,7 %	1,8	5,378

Besar nilai *pwm* mempengaruhi tegangan *input* untuk motor dan berpengaruh pada waktu pemakaian baterai serta jarak tempuh dihasilkan. Akbar, F. K. & Rohman (2020).

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapat kesimpulan antara lain:

1. Perangkat *Rail Inspection 2.0* membutuhkan torsi minimal sebesar 4,67 Nm dan torsi yang dihasilkan dari ketiga *speed selector* sebagai berikut.

Tabel 6. Torsi dan Kecepatan yang Dihasilkan

PWM (%)	Torsi (Nm)	Kecepatan (km/jam)
50,9 %	29,15 Nm	2,05 km/j
56,9 %	25,29 Nm	2,49 km/j
62,7 %	22,72 Nm	2,99 km/j

Kenaikan kecepatan bertahap mulai dari $v = 0$ hingga mencapai kecepatan maksimal dari nilai *PWM* tersebut. Hal ini dipengaruhi oleh berat perangkat dan koefisien gesek yang timbul antara roda dengan rel berbahan baja.

2. Perangkat mampu menempuh jarak dengan rentang 5.378 m sampai 5.540 m dengan baterai berkapasitas 10 Ah. *State Of Charge* (SOC) pada kapasitas 20 % menuju 10 % menunjukkan *drop* tegangan yang lebih besar yang disebabkan kapasitas baterai yang sedikit untuk kebutuhan daya motor yang konstan.

5.2. Saran

Didapat saran yang bertujuan pengembangan lebih lanjut, antara lain:

1. Dapat dilakukan perhitungan percepatan yang dialami pada *speed selector*.
2. Untuk mendapat jarak tempuh yang lebih jauh dapat dilakukan penambahan kapasitas baterai dan pengurangan berat pada perangkat yang berpengaruh pada jarak tempuh yang dihasilkan.

Daftar Pustaka:

Abdullah, M. (2016). *Fisika Dasar I*. Institut Teknologi Bandung.
 Azis, P. F. A. (2020). L298N Melalui Mpu-6050 Sebagai Kendali Gestur L298N Melalui Mpu-6050 Sebagai Kendali Gestur. *Tugas Akhir*,

- Universitas Sumatera Utara*, 1–72.
- Bagia, I. N., & Parsa, I. M. (2018). *MOTOR-MOTOR LISTRIK* (Issue April). CV. Rasi Terbit.
- Dewi, N. H. L., Rohmah, M. F., & Zahara, S. (2019). Prototype Smart Home Dengan Modul Nodemcu Esp8266 Berbasis Internet of Things (Iot). *Jurnal Teknik Informatika*, 3.
- Febriansyah Kumaraning, & Rohman, F. (2020). Analisis Variasi Nilai Duty Cycle pada PWM Terhadap Durasi Pengisian Baterai Lithium-Ion dan Lithium-Polymer. 2(1), 1–10.
- Hidayati, Q. (2016). Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Menggunakan Mikrokontroler Berbasis Fuzzy-PID. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 4(1), 1–5. <https://doi.org/10.32487/jtt.v4i1.123>
- I.K.A.Atmika. (2017). *Konstruksi dan Stabilitas Kendaraan. April*.
- Kapadiya, P. A., Shah, I. R., & Mehta, N. D. (2014). Study and Implementation of Dc Drive Using Pic16F877a Microcontroller. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 03(05), 621–625. <https://doi.org/10.15623/ijret.2014.0305114>
- Khaerul, M., Mastita, R., & Janah, N. (2020). *Smart Garden Orchidaceae Menggunakan NodeMCU ESP8266 Berbasis IoT*.
- Linden, D., & Reddy, T. B. (2002). Handbook of Battery Third Edition. In D. Linden & T. B. Reddy (Eds.), *Neutrons in Soft Matter* (Third Edit). <https://doi.org/10.1002/9780470933886.ch1>
- Mashadi, B., & Crolla, D. (2011). Vehicle Powertrain Systems. In *Vehicle Powertrain Systems*. <https://doi.org/10.1002/9781119958376>
- Niam, C. (2011). *Perancangan Dan Pembuatan Prototipe Robot Inspeksi Rel Kereta Api*.
- Otong, M., Ariwibowo, D., & Wahyudi, R. (2019). Perancangan Modular Baterai Lithium Ion (Li-Ion) untuk Beban Lampu LED. *Setrum : Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, 8(2), 260. <https://doi.org/10.36055/setrum.v8i2.6808>
- Ricky. (2013). *PERENCANAAN DAN PEMBUATAN KENDARAAN MINI KART BERTENAGA LISTRIK. Vol 2*.
- Riswandi. (2019). *SISTEM KONTROL VERTICAL GARDEN MENGGUNAKAN NODEMCU ESP8266 BERBASIS ANDROID*. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.126.1.78>
- S., R. I., & Hartono, H. (2018). Rancang Bangun Pulse Width Modulation (PWM) Sebagai Pengatur Kecepatan Motor DC Berbasis Mikrokontroler Arduino. *Jurnal Penelitian*, 3(1), 50–58. <https://doi.org/10.46491/jp.v3e1.31.50-58>
- Serway, R. a., & Jewett, J. W. (2008). Physics for Scientists and Engineers with Modern Physic, 7 ed. In *Brooks/cole: Vol. Cengage Le*. <http://books.google.com/books?id=XgweHqlvt>
- Suyanto, M., & Kristiyana, S. (2015). Rancang Bangun Sistem Kendali Driver Motor Dc Magnet Permanen Dengan Metode Pwm Sebagai Penggerak Mobil Listrik Berbasis Op-Amp. *Jurnal Elektrikal*, 2(2), 62–69. <https://ejournal.akprind.ac.id/index.php/elektrikal/article/view/2531>
- Syafra, K. W. F., & Arwizet, H. (2020). Power Consumption Analysis of a BLDC 24V 250W Electric Bike on An Assembled Lithium-ion Battery Pack Analisis Konsumsi Daya Baterai Lithium-ion Rakitan oleh Sepeda Listrik Berpenggerak Motor BLDC 24V 250W. *Motivection*, 1–10.
- Yuski, M. N., Hadi, W., & Saleh, A. (2017). Rancang Bangun Jangkar Motor DC (The Rotor of DC Motor Design). *Berkala Sainstek*, 5(2), 98–103.
- Zainuri, F., & Syuriadi, A. (2021). *Fundamental Powertrain Untuk Alat Berat* (N. Martina & D. Handaya (eds.)). PNJ Press.