

RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI *DRIVER* MOTOR DC MAGNET PERMANEN DENGAN METODE PWM SEBAGAI PENGGERAK MOBIL LISTRIK BERBASIS OP-AMP

Sudiyono¹, Muhammad Suyanto², Samuel Kristiyana³

(1) Mahasiswa, (2) Dosen Pembimbing 1, (3) Dosen Pembimbing 2
Program Sarjana Stara-1 (S-1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri
Institut Sains & Teknologi Akprind Yogyakarta
Kampus 1 Jl. Kalisahak No. 28 Kompleks Balapan Tromol Pos 45-Yogyakarta 55222

E-mail: Sudithata@yahoo.co.id¹ Musyant@gmail.com²

ABSTRACT

The development of electric vehicle technology is now growing faster. Many things led experts to continue to do research or research-based vehicle electrical power. It is unfounded because of limited fossil fuels are diminishing. In this study created a module control system of permanent magnet DC motor driver with PWM method (Pulse Width Modulation) as an environmentally friendly electric car drive-based op-amp. To generate a PWM signal, the op-amp in harness as a comparator reference voltage with the triangular wave voltage. To adjust the speed of a DC motor is done by varying the amount of the duty cycle of the pulse amplitude and pulse frequency fixed, while the amount of duty cycle varies according to the desired speed. The greater the duty cycle of the faster speed of the motor, and conversely the smaller the duty cycle of the motor speed more slowly anyway. Design and research results show that the amplitude of the PWM output of 3.2 volts, the reference voltage of 2.3 volts to 8.4 volts. The maximum voltage of 65.9 volt motor driver with RPM motor rotation 578.81. Maximum mileage of electric cars within one hour of 14.26 km with a capacity of 3,8 hours of battery life.

Keywords: Motor DC, Op-Amp, PWM, duty of cycle

INTISARI

Perkembangan teknologi kendaraan listrik sekarang ini semakin cepat berkembang. Banyak hal menyebabkan para ahli untuk terus melakukan riset atau penelitian kendaraan berbasis tenaga listrik. Hal ini berdasar karena keterbatasan bahan bakar fosil yang semakin berkurang. Pada penelitian ini dibuat sebuah modul sistem kendali *driver* motor DC magnet permanen dengan metode PWM (*Pulse Width Modulation*) sebagai penggerak mobil listrik ramah lingkungan berbasis *op-amp*. Untuk menghasilkan sinyal PWM, *op-amp* di memanfaatkan sebagai *comparator* tegangan referensi dengan tegangan gelombang segitiga. Untuk mengatur kecepatan motor DC dilakukan dengan cara mengubah-ubah besarnya *duty of cycle* pulsa dengan amplitudo dan frekuensi pulsa tetap, sedangkan besarnya *duty of cycle* berubah-ubah sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Semakin besar *duty of cycle* maka semakin cepat pula kecepatan motor, dan sebaliknya semakin kecil *duty of cycle* maka semakin pelan pula kecepatan motor. Hasil perancangan dan penelitian menunjukkan bahwa keluaran amplitudo PWM sebesar 3,2 volt, dengan tegangan referensi 2,3 volt sampai 8,4 volt. Tegangan maksimum *driver* motor sebesar 65,9 volt dengan putaran motor 578,81 RPM. Maksimum jarak tempuh mobil listrik dalam waktu satu jam 14,26 km dengan kapasitas pemakaian baterai 3,8 jam.

Kata kunci: Motor DC, Op-Amp, PWM, duty of cycle

PENDAHULUAN

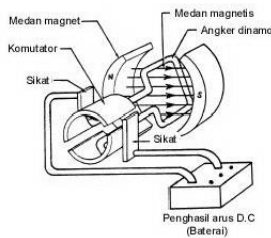
Perkembangan teknologi kendaraan listrik sekarang ini semakin cepat berkembang, mulai dari sepeda listrik, sepeda motor listrik dan mobil listrik. Banyak hal menyebabkan para ahli untuk terus melakukan riset atau penelitian kendaraan berbasis tenaga listrik. Hal ini berdasar karena keterbatasan bahan bakar fosil yang semakin berkurang. Oleh karena itu sangat diperlukan energi alternatif pengganti minyak bumi.

Penulis dalam penelitian ini membatasi permasalahan pada rangkaian *driver* motor DC PWM dengan penguat sebuah mosfet yang dikendalikan oleh sebuah *op-amp* sebagai pengendali kecepatan-nya.

Tujuan penelitian ini secara umum yaitu dapat menjadi sebuah teknologi ramah lingkungan khususnya dalam bidang transportasi karena tidak menggunakan bahan bakar. Tujuan khusus penelitian ini yaitu untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar sarjana setara-1 (S1) pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta.

Pada penelitian sebelumnya, M. Andri Zumain, (2009) dalam penelitian skripsinya yang berjudul prototype mobil listrik dengan menggunakan motor dc magnet permanen 0,37HP membahas mengenai konsep mobil listrik. Penggunaan mobil listrik dirasa efektif selain tidak menimbulkan polusi udara dan konstruksi mesinnya yang lebih sederhana. [1]

Motor DC (*Direct Current*) adalah mesin yang mengubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanis yang berupa putaran. [2]



Gambar 1 Motor DC sederhana

Pengaturan kecepatan motor DC memegang peranan penting pada motor arus searah. Telah diketahui bahwa motor arus

searah dapat diturunkan persamaan sebagai berikut:

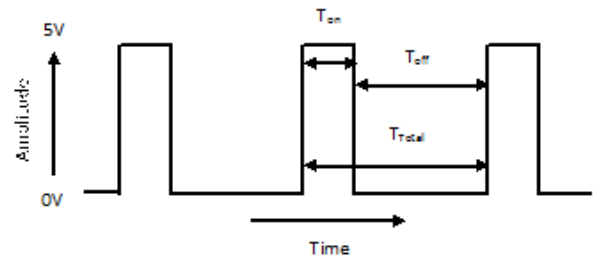
$$n = \frac{V_t - I_a R_a}{C_\phi} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

- n = kecepatan motor
- V_t = tegangan sumber
- I_a = arus jangkar
- R_a = tahanan jangkar
- C_ϕ = fluksi penguatan

Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa untuk mengatur kecepatan (n) dapat diatur dengan mengubah-ubah besaran ϕ , R_a , V_t . [3]

PWM merupakan salah satu cara yang digunakan untuk membangkitkan sinyal keluaran yang periode-nya berulang antara *high* dan *low* dimana kita dapat mengontrol durasi sinyal *high* dan *low* sesuai dengan yang diinginkan. [4]



Gambar 2 Bentuk gelombang kotak

$$T_{total} = T_{on} + T_{off} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

- T_{on} : V_{out} pada kondisi high atau 1.
- T_{off} : V_{out} pada kondisi low atau 0.
- T_{total} : Waktu satu siklus atau periode satu gelombang.

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \dots \dots \dots (3)$$

Tegangan keluaran dapat bervariasi dengan *duty of cycle* dan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_{out} = D \times V_{in} \dots \dots \dots (4)$$

Sehingga,

$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in} \dots \dots \dots (5)$$

Momentum adalah besaran turunan yang muncul karena ada benda ber-massa yang

bergerak. Dalam fisika besaran turunan dilambangkan dengan huruf "P". [5]

$$P = m \cdot V \dots \dots \dots (6)$$

P = momentum (kg.m.s⁻¹)
 m = Massa benda (kg)
 V = kecepatan benda (m.s⁻¹)

Gaya adalah dorongan atau tarikan yang diberikan pada suatu benda.

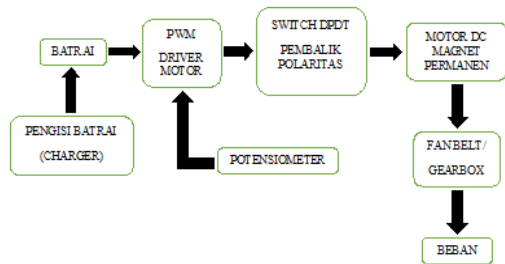
$$F = m \times a \dots \dots \dots (7)$$

F = Gaya (N)
 m = Massa (kg)
 a = percepatan (m/s² atau cm/s²)

METODE

Secara garis besar metode pembuatan alat ini terbagi menjadi beberapa tahap, yaitu:

Metode Perancangan Blok Diagram Mobil Listrik



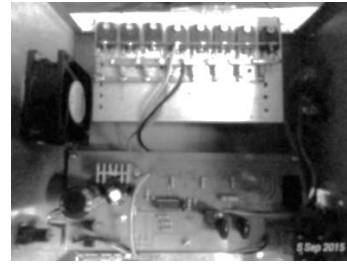
Gambar 3 Blok diagram perancangan mobil listrik

Metode Perancangan Sistem Mekanik

1. Penyediaan alat dan bahan mekanik
2. Proses pengelasan atau persambungan
3. Proses perakitan komponen mekanik

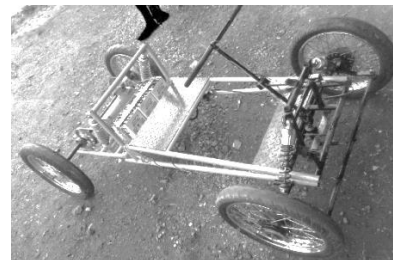
Metode Perancangan Sistem Elektrik

1. Blok diagram sistem kendali driver motor dc
2. Prinsip kerja rangkaian sistem kendali driver motor dc
3. Rangkaian sistem kendali motor dc



Gambar 4 Driver motor magnet permanen

Perakitan alat merupakan tahapan terakhir dimana yang tadinya alat-alat masih berdiri sendiri dan hanya memiliki fungsi masing-masing, kemudian dirangkai sesuai dengan diagram blok alat, sehingga kemudian alat-alat tersebut memiliki fungsi yang baru dan satu sama lain memiliki keterkaitan fungsi.



Gambar 5 Mobil listrik yang penulis rancang

PEMBAHASAN

Pengujian pada sistem mekanik dilakukan pada perangkat gearbox atau pulley untuk mengetahui besar RPM dari motor dc magnet permanen, pulley yang terpasang pada motor dan pulley yang terpasang pada penggerak mobil listrik tersebut. Hasil pengujian sistem mekanik antara lain:

1. Diameter pulley yang terpasang pada motor 5 cm
2. Diameter pulley yang terpasang pada poros penggerak 15 cm
3. Diameter ban 48 cm

Perbandingan RPM motor dengan batang sumbu = $\frac{5 \text{ cm}}{15 \text{ cm}} = \frac{1}{3}$

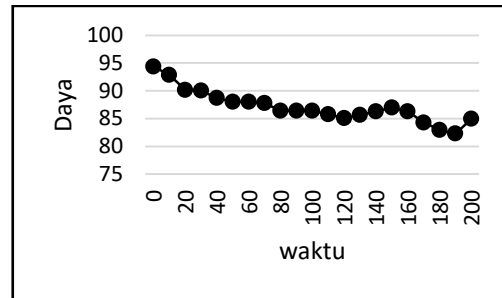
RPM batang sumbu = $\frac{1}{3} \times \text{RPM maks motor}$

Keliling roda ban = $\pi \times \text{diameter ban}$

= $3,14 \times 48 \text{ cm} = 151 \text{ cm}$

Artinya satu kali putaran roda, maka jarak yang ditempuh sejauh 1,51 meter.

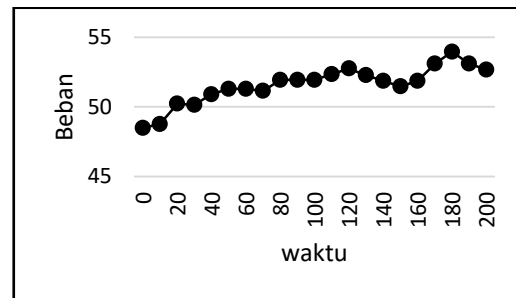
Pengujian output baterai dilakukan untuk mengetahui besarnya tegangan, arus, dan daya yang berasal dari baterai yang digunakan untuk mencatu *driver* motor pada kecepatan maksimum. Baterai yang digunakan memiliki spesifikasi 12 volt dc/5 Ah sebanyak 6 buah yang dihubungkan secara seri.



Grafik 1 Daya keluaran baterai

Tabel 1 Hasil pengujian keluaran baterai

Waktu (t) Detik	Tegangan (V) Volt	Arus (I) Amper	Daya (P)	Beban (R) Ohm
0	67,4	1,39	92,72	48,48
10	67,3	1,38	91,92	48,76
20	67,3	1,34	90,03	50,22
30	67,2	1,34	90,01	50,14
40	67,2	1,32	87,50	50,90
50	67,2	1,31	87,03	51,29
60	67,2	1,31	87,02	51,29
70	67	1,31	87,51	51,14
80	67	1,29	85,33	51,93
90	67	1,29	85,42	51,93
100	67	1,29	85,42	51,93
110	67	1,28	85,65	52,34
120	67	1,27	84,97	52,75
130	66,9	1,28	84,78	52,26
140	66,9	1,29	84,95	51,86
150	66,9	1,30	85,67	51,46
160	66,9	1,29	85,87	51,86
170	66,9	1,26	83,03	53,09
180	66,9	1,24	83,28	53,95
190	66,9	1,26	81,32	53,09
200	66,9	1,27	83,37	52,67



Grafik 2 Beban baterai

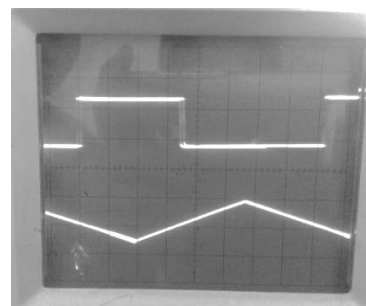
Pengujian *duty of cycle* PWM dilakukan untuk mengetahui besarnya lebar pulsa dan tegangan yang dihasilkan dari keluaran *op-amp* yang digunakan untuk mengatur *gate* dari mosfet. Sehingga dapat dilihat bentuk gelombang kotak yang dihasilkan dari perbandingan antara $V_{referensi}$ dan $V_{segitiga}$.

Hasil pengukuran *duty of cycle* sinyal PWM driver motor dengan *oscilloscope* didapat sebagai berikut:

$$T_{Total} = 20$$

$$V_{out} \text{ PWM} = 3,2 \text{ Volt}$$

$$V_{in} = 67,3 \text{ Volt}$$



Gambar 6 bentuk sinyal PWM yang dihasilkan driver motor

Analisis keluaran baterai pada saat digunakan untuk mencatu *driver* motor pada kecepatan maksimum:

Diketahui:

$$V_{rata-rata} = 67,03 \text{ Volt}$$

$$R_{rata-rata} = 51,59 \text{ Ohm}$$

$$I_{rata-rata} = 67,03/51,59 = 1,3A$$

Daya tahan baterai terhadap waktu pada saat digunakan untuk mencatu *driver*.

$$Q = I_{baterai} \times t = 5 \text{ A} \times 3600 \text{ detik} = 18000 \text{ Coulomb}$$

$$t = Q/I = 18000/1,3 = 13846,1 \text{ detik} = 3,8 \text{ jam}$$

$$P_{baterai} = 67,04 \times 5 = 335,2 \text{ VA}$$

$$P_{beban} = 67,04 \times 1,3 = 87,15 \text{ VA}$$

$$\text{Daya tahan baterai} = 335,2/87,15 = 3,8 \text{ jam}$$

Setelah *duty of cycle* ditentukan sesuai yang dibutuhkan selanjutnya mencari nilai T_{on} (waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi tinggi).

$$T_{on} = \frac{D \times T_{total}}{100\%}$$

Menentukan nilai T_{on} pada driver motor setelah *duty of cycle* ditentukan:

1. $D 5\% : T_{on} = \frac{5\% \times 20}{100\%} = 1$
2. $D 10\% : T_{on} = \frac{10\% \times 20}{100\%} = 2$
3. $D 15\% : T_{on} = \frac{15\% \times 20}{100\%} = 3$

Sampai dengan *duty of cycle* 100 %

Tabel 2 Hasil pengujian lebar pulsa *duty of cycle* pada driver motor

Duty Cycle	V_{ref}	V_{out}	V_{out}	Motor (rpm)
		driver Pengujian	driver Hitungan	
5%	8,4	1,1	3,36	0
10%	8,0	7,4	6,73	66,4
15%	7,7	12,2	10,08	107,5
20%	7,3	18,7	13,44	157,8
25%	6,8	22,1	16,8	207,7
30%	6,5	28,6	20,19	292,0
35%	6,2	32,1	23,52	337,9
40%	5,9	38,1	26,88	384,5
45%	5,6	42,6	30,24	409,6
50%	5,3	48,2	33,6	442,7
55%	5,0	52,3	36,96	495,4
60%	4,8	57,6	40,32	532,0
65%	4,4	62,7	43,68	566,0
70%	4,2	63,8	47,04	586,1
75%	4,0	65,8	50,4	588,1
80%	3,5	65,8	53,76	588,1
85%	3,2	65,9	57,12	588,6
90%	2,8	65,9	60,48	588,6
95%	2,4	65,9	63,84	588,6
100%	2,3	65,9	67,2	588,6

Analisis lebar pulsa *duty of cycle driver* motor DC hasil pengukuran dengan hasil perhitungan sesuai teori yang sudah dipelajari:

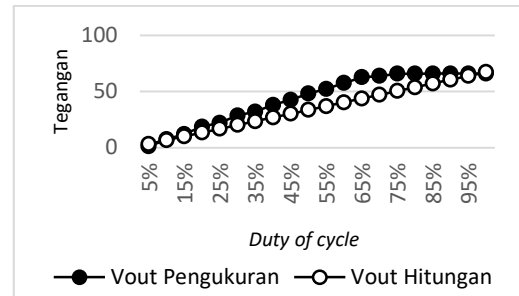
$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in}$$

Hasil hitungan V_{out} driver motor secara teori:

$$V_{out} D 5\% = \frac{1}{20} \times 67,3 \text{ Volt} = 3,36 \text{ Volt}$$

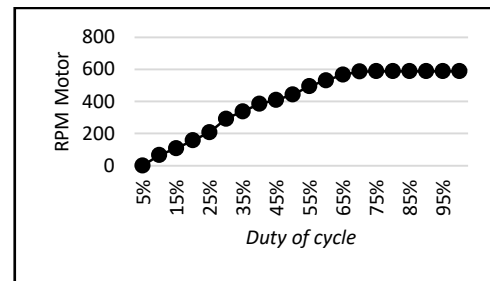
$$V_{out} D 10\% = \frac{2}{20} \times 67,3 \text{ Volt} = 6,73 \text{ Volt}$$

Sampai *duty of cycle* 100%.



Grafik 3 Perbandingan V_{out} driver motor hasil pengujian dengan hasil perhitungan terhadap *duty of cycle*

Dengan melihat bentuk grafik 2 dapat ditarik kesimpulan bahwa V_{out} hasil pengujian pada *duty of cycle* 20% sampai 75% terdapat perbedaan yang cukup jauh dengan hasil penghitungan mencapai 30%.



Grafik 4 RPM motor terhadap *duty of cycle*

Pada grafik 3 membuktikan bahwa semakin besar *duty of cycle* maka semakin besar pula kecepatan motor.

Pengujian output driver bertujuan untuk mengetahui besarnya tegangan, arus, daya dan kecepatan motor pada kecepatan maksimum sebagai penggerak mobil listrik pada kondisi berhenti ataupun berjalan.

Tabel 3 Hasil pengujian driver motor kecepatan maksimum sebagai penggerak mobil listrik kondisi berhenti

Waktu (t) Detik	V_{out} (V) Volt	Arus (I) Amper	Daya (P) Watt	motor (rpm)	R Jangkar Ohm
0	64,6	1,33	85,918	579,6	48,57
10	64,7	1,36	87,992	579,6	47,57
20	64,7	1,34	86,698	579,6	48,28
30	64,6	1,33	86,051	579,6	48,57
40	64,6	1,32	85,272	579,6	48,93
50	64,6	1,31	84,626	579,6	49,31
60	64,5	1,31	84,495	579,5	49,23
70	64,5	1,31	84,895	579,5	49,23
80	64,5	1,30	83,85	579,5	49,61

90	64,4	1,30	83,72	579,5	49,53
100	64,3	1,29	82,947	579,4	49,84
110	64,3	1,29	82,947	579,4	49,84
120	64,2	1,30	83,46	579,3	49,38
130	64,1	1,27	81,407	579,2	50,47
140	64,0	1,25	80	578,4	51,2
150	63,8	1,27	81,026	577,9	50,23
160	63,7	1,26	80,262	577,8	50,55
170	63,6	1,26	80,136	577,2	50,47
180	63,5	1,25	79,375	577,1	50,8
190	63,4	1,23	77,982	576,9	51,54
200	63,3	1,24	78,492	576,9	51,04

40	63,6	2,12	134,832	549,7	30
50	62,6	2,14	133,964	548,6	29,25
60	62,5	2,14	133,75	538,3	29,20
70	62,5	2,14	133,75	538,4	29,20
80	62,5	2,14	133,75	538,3	29,20
90	62,4	2,12	132,288	537,2	29,43
100	62,3	2,09	130,207	537,3	29,80
110	62,3	2,09	130,207	477,4	29,80
120	62,2	2,04	126,888	476,3	30,49
130	62,1	2,02	125,442	476,2	30,74
140	62,0	1,98	122,76	488	31,31
150	61,8	1,97	121,746	479,9	31,37
160	61,7	1,93	119,081	479,8	31,96
170	61,6	1,92	118,272	479,2	32,08
180	61,5	1,91	117,465	479,1	32,19
190	61,4	1,89	116,046	488,2	32,48
200	61,3	1,92	117,696	486,2	31,32

Analisis hasil pengujian output *driver* motor pada kecepatan maksimum sebagai penggerak mobil listrik kondisi berhenti:

$\text{rpm}_{\text{rata-rata}} \text{ tanpa beban} = 578,81 \text{ rpm}$

$\text{rpm batang sumbu} = \frac{1}{3} \times 578,81 = 192,9 \text{ rpm}$

Jarak tempuh setiap menit = 1,51 meter \times 192,9 rpm = 291,3 meter

Kecepatan mobil selama 1 jam tanpa beban = 291,3 \times 60 = 17,48 km

Untuk menghitung hambatan jangkar dapat dicari dengan rumus hukum ohm, yaitu $V = I \times R$, sehingga $R = V/I$

R waktu 0 detik = 64,6/1,33 = 48,57 Ohm

R waktu 10 detik = 64,7/1,36 = 47,57 Ohm

Dan seterusnya sampai R pada waktu 200 detik.

Rugi-rugi motor pada saat mobil berhenti:

Diketahui: Motor DC 800 watt, $R_{\text{rata-rata}}$ Jangkar = 49,72 Ohm, $I_a = 1,29 \text{ A}$

Rugi-rugi pada jangkar = $I_a^2 \times R_a = 1,29^2 \times 49,72 = 82,73 \text{ Watt}$

$$n = \left[1 - \frac{\text{Watt rugi-rugi}}{\text{watt masukan} + \text{watt rugi-rugi}} \right] \times 100\%$$

$$= \left[1 - \frac{82,73}{800 + 82,73} \right] \times 100\% = 90,6 \%$$

Efisiensi Motor = 90,6%

Tabel 4 Hasil pengujian *driver* motor kecepatan maksimum sebagai penggerak mobil listrik kondisi jalan

Waktu (t) Detik	Vout (V) Volt	Arus (I) Amper e	Daya (P) Watt	Motor (RPM)	R Jangkar Ohm
0	54,3	3,39	184,077	0	16,01
10	62,7	2,23	139,821	359,2	28,11
20	62,8	2,24	140,672	409,3	28,03
30	63,6	2,03	129,108	547,6	31,33

Analisis hasil pengujian output *driver* motor pada kecepatan maksimum sebagai penggerak mobil listrik kondisi jalan:

$\text{RPM}_{\text{rata-rata}} \text{ dengan beban} = 472,1$

$\text{RPM}_{\text{batang sumbu}} = \frac{1}{3} \times 472,1 \text{ RPM} = 157,4 \text{ RPM}$

Jarak tempuh setiap menit = 1,51 meter \times 157,4 RPM = 273,6 meter

Jarak tempuh selama 1 jam dengan beban = 273,6 \times 60 = 14,26 km

Diketahui: $V = 14,26 \text{ km/jam} = 14260/3600$

= 3,96 m/s

$m = 129 \text{ kg}$

Maka, momentum dari mobil tersebut adalah: $p = m \times V$

$p = 129 \times 3,96 = 510,9 \text{ kg m/s}^{-1}$

Untuk menghitung hambatan jangkar dapat dicari dengan rumus hukum ohm, yaitu $V = I \times R$, sehingga $R = V/I$

R waktu 0 detik = 54,3/3,39 = 16,01 Ohm

R waktu 10 detik = 62,7/2,23 = 28,11 Ohm

Dan seterusnya sampai R pada waktu 200 detik.

Rugi-rugi motor pada saat digunakan sebagai penggerak mobil listrik dalam kondisi berjalan:

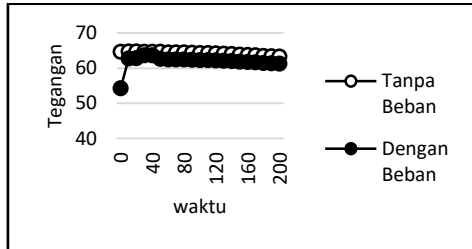
Rugi-rugi pada jangkar = $I_a^2 \times R_a$

= $2,11^2 \times 29,71 = 132,2 \text{ Watt}$

$$\text{Efisiensi} = \left[1 - \frac{\text{Watt rugi-rugi}}{\text{watt masukan} + \text{watt rugi-rugi}} \right] \times 100\%$$

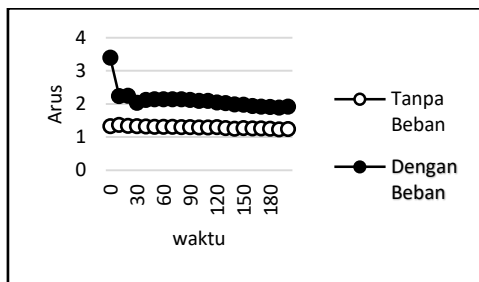
$$= \left[1 - \frac{132,2}{800 + 132,2} \right] \times 100\% = 85,8 \%$$

Efisiensi Motor = 85,8 %



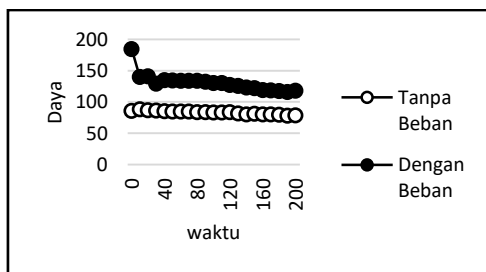
Grafik 5 Tegangan output driver motor

Tegangan driver motor pada saat motor diberi beban atau kondisi berjalan mengalami penurunan yang cukup besar pada saat start up hingga 10 volt dengan penurunan tegangan rata-rata sebesar 2,3 volt.



Grafik 6 Arus output driver motor

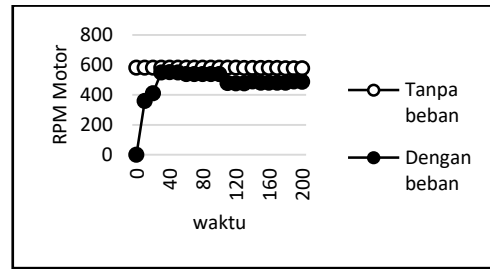
Arus yang mengalir pada saat motor start up mencapai 3,39 ampere pada saat mobil jalan, dengan arus rata-rata 2,1 ampere. Selisih arus motor pada kondisi mobil berjalan dan berhenti sebesar 0,81 ampere.



Grafik 7 Daya output driver motor

Daya yang dihasilkan motor saat digunakan sebagai penggerak mobil listrik kondisi berjalan lebih besar dibanding dengan daya yang dihasilkan pada kondisi berhenti,

dengan kenaikan daya rata-rata sebesar 47,63 watt.



Grafik 8 Kecepatan motor

Analisis momentum dan gaya pada mobil listrik pada saat berjalan.

Untuk menghitung momentum dapat dicari dengan persamaan: $P = m \times v$

Diketahui:

Berat total mobil listrik 83 kg

Berat pengemudi 46 kg

Total massa: 129 kg

Momentum (p) = $129 \times 10,84 \text{ km/jam}$

= $129 \times 3,01 \text{ m/s} = 388,4 \text{ Kg. m/s}$

Menghitung gaya (F) = $m \times a$

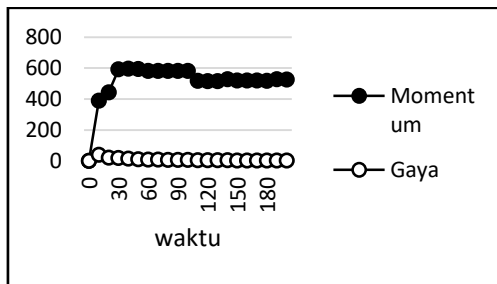
$$a = \frac{10,84 \text{ km/jam} - 0}{10 - 0} = \frac{3,01 - 0}{10 - 0} = 0,301$$

$$F = 129 \times 0,301 = 38,8 \text{ N}$$

Tabel 5 Hasil analisis momentum dan gaya yang dihasilkan mobil listrik

Waktu (t) Detik	kecepatan Mobil Km/jam	Momentum Kg. m/s	Gaya (F) N
0	0	0	0
10	10,84	388,4	38,8
20	12,36	442,9	22,1
30	16,53	592,3	19,7
40	16,60	594,8	14,8
50	16,56	593,4	11,8
60	16,25	582,3	9,7
70	16,25	582,3	8,3
80	16,25	582,3	7,2
90	16,22	581,2	6,4
100	16,22	581,2	5,8
110	14,41	516,4	4,6
120	14,38	515,3	4,2
130	14,38	515,3	3,9
140	14,73	527,8	3,7
150	14,49	519,2	3,4
160	14,48	518,8	3,2
170	14,47	518,5	3,0
180	14,46	518,2	2,8

190	14,74	528,2	2,7
200	14,68	526	2,6



Grafik 9 Momentum dan Gaya yang dihasilkan mobil listrik terhadap waktu

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis pada data hasil pengukuran dan pengujian terhadap sistem kendali driver motor dc magnet permanen sebagai penggerak mobil listrik ramah lingkungan yang telah dirancang, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Kecepatan motor magnet permanen berbanding lurus dengan nilai tegangan yang diberikan pada kumparan jangkar, sehingga semakin tinggi tegangan jangkar, semakin tinggi pula kecepatan motor.
2. Data hasil pengukuran dan pengujian sistem mekanik didapat:
 - Perbandingan kecepatan motor dengan batang sumbu yaitu 1 berbanding 3 (1:3).
 - Setiap roda melakukan satu kali putaran jarak yang ditempuh sejauh 1,51 meter.
3. Daya tahan baterai saat digunakan terhadap waktu yaitu 3,8 jam dengan jarak tempuh maksimum 54,18 km.
4. *Duty of cycle* PWM berbanding lurus dengan *Vout* driver motor dan RPM motor, artinya semakin besar *duty of cycle* maka semakin besar pula nilai *Vout* driver motor dan RPM motor.
5. Kecepatan mobil listrik selama 1 jam tanpa beban mencapai 17,48 km/jam dengan efisiensi motor 90,6 %
6. Jarak tempuh mobil listrik selama 1 jam dengan beban yaitu 14,26 km dengan efisiensi motor 85,8% dan besar momentum $510,9 \text{ kg m/s}^{-1}$
7. Secara keseluruhan momentum yang ditimbulkan pada saat mobil listrik berjalan sebesar $510,7 \text{ kg m/s}^{-1}$ dengan rata-rata gaya sebesar 8,56 N

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zumain, Andri M. (2009), Prototype Mobil Listrik dengan menggunakan Motor DC Magnet Permanen 0,37 HP, Universitas Indonesia.
- [2] Zuhail. 2004 "Prinsip Dasar Elektroteknik" PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- [3] Lister. 1993, "Mesin dan Rangkaian Listrik", edisi keenam, Erlangga, Jakarta
- [4] Malvino, A.P. 1987 "Prinsip-Prinsip Elektronika" edisi ketiga, jilid 1 dan jilid 2, Penerbit Erlangga,
- [5] Wihartono, 2007. Fisika Dasar Universitas Jenderal Soedirman. Purwokerto.