

ANALISA MOTOR DC (*DIRECT CURRENT*) SEBAGAI PENGGERAK MOBIL LISTRIK

Nalaprana Nugroho^{1*}, Sri Agustina¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, *Email : nala.prana@gmail.com

Abstrak—Untuk tujuan pengurangan polusi udara dan membantu pemerintah untuk mengurangi subsidi bahan bakar, banyak instansi terkait berusaha untuk mengembangkan produk mobil listrik. Dengan adanya mobil listrik ini, kita bisa mewujudkan dunia yang bebas polusi atau yang biasa disebut *Go Green*. Pada penelitian ini, penulis menganalisa motor dc yang dapat menggerakkan mobil listrik. Analisa yang dilakukan meliputi pemilihan motor dc dan kapasitas motor dc yang digunakan untuk menggerakkan mobil listrik. Pemilihan motor dc yang cocok digunakan pada mobil listrik adalah motor dc seri, karena motor dc seri memiliki karakteristik dengan nilai torsi sebesar kuadrat arus, Dengan karakteristik tersebut, motor dc seri memiliki torsi starting yang baik untuk menggerakkan beban mobil listrik. Dalam analisa ini, daya yang dibutuhkan pada sudut kemiringan 30° adalah sebesar 21,6kW dengan kecepatan gerak 16,3 m/s atau sebanding dengan 59 km/jam dengan berat beban total 270kg. Jika dibandingkan mobil hybrid secara umum yang memiliki kecepatan 50 km/jam, maka analisa ini sudah memenuhi persyaratan. Namun, untuk lintasan yang datar, dengan daya 3,1kW mobil mampu bergerak hingga kecepatan 2,35 m/s atau sebanding dengan 85 km/jam. Dengan kata lain, hanya diperlukan daya 3,1kW untuk menggerakkan mobil listrik dengan kecepatan normal.

Kata Kunci: Pemilihan Motor DC, Mobil listrik, Daya Motor, Kecepatan Mobil.

Abstract—For the purpose of reducing air pollution and supporting the government program in reducing fuel subsidies, many researchers try to develop an electric car. With the electric car, we can realize the world which free of pollution or commonly known as *Go Green*. In this last project, the analysis is done in the selection of direct current motor and capacity of direct current motor for electric car. The ideal direct current motor is series type because the characteristics torque is the square of current. Direct current motor series has a good starting torque to move electric car. In this analysis, energy was generated in angle 30° is 21,6kW with movement speed 16,3 m/s or similar with 59 km/hour and total weight 270kg. If we compare to hybrid cars which has speed 50km/hour. So, this analysis was compiled requirements. However, for a flat track with an energy power 3,1kW, car can move with speed 2,35 m/s or similar with speed 8,5km/hour. In conclusion is direct current motor with energy 3,1kW can move the electric car with normal speed.

Keywords. Selection Motor Direct Current, Electric Car, Power Energy, Movement Speed

I. PENDAHULUAN

Semakin seriusnya permasalahan bahan bakar minyak dan polusi udara membuat orang mulai memikirkan untuk membuat kendaraan yang lebih ekonomis dan mengurangi polusi udara. Mobil LCGC (*Low Cost Green Car*) merupakan mobil dengan menggunakan energy alternatif. Mobil yang dikembangkan untuk mengurangi polusi dan harganya terjangkau untuk kelas menengah. Mobil listrik ini sedang banyak dikembangkan oleh banyak pihak. termasuk mahasiswa unsri jurusan elektro tahun 2012. Penulisan ini merujuk pada rancang bangun mobil listrik yang dilakukan oleh Didit Haryadi, mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dalam Tugas Akhirnya yang berjudul Pemilihan Motor DC dan Kapasitasnya Pada Mobil Listrik. Kekurangan dari rancang bangun mobil listrik ini adalah laju kecepatan mobil masih lambat. Hal ini disebabkan kapasitas motor listrik yang digunakan sebagai penggerak mobil listrik relatif kecil. Dengan data yang ada, penulis mencoba mengkorelasikan

dengan pembuatan mobil listrik *hybrid*. Mobil listrik *hybrid* pada umumnya memiliki kecepatan 50 km/jam atau setara dengan 14 m/s. Dengan asumsi ini, penulis mencoba untuk menganalisa ulang perhitungan dalam rancang bangun mobil listrik ini secara literature, terutama pada pemilihan jenis dan kapasitas motor dc yang akan dikembangkan oleh peneliti selanjutnya.

A. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah :

1. Mengetahui besar kapasitas motor dc yang seharusnya digunakan.
2. Memperoleh pemahaman tentang pemilihan motor yang tepat untuk suatu aplikasi yang dalam hal ini sebagai penggerak mobil listrik.

B. Pembatasan Masalah

Dalam penulisan ini, permasalahan akan dibatasi hanya pada pemilihan jenis motor penggerak mobil listrik dan menentukan kapasitas motor yang diinginkan tersebut.

II. DASAR TEORI

A. Pengertian Dasar Motor DC.^[4]

Motor DC memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Dalam motor dc terdapat dua kumparan yaitu kumparan medan yang berfungsi untuk menghasilkan medan magnet dan kumparan jangkar yang berfungsi sebagai tempat terbentuknya gaya gerak listrik (ggl E). Jika arus dalam kumparan jangkar berinteraksi dengan medan magnet, akan timbul torsi (T) yang akan memutar motor.

B. Motor Arus Searah Berpenguat Sendiri^[4]

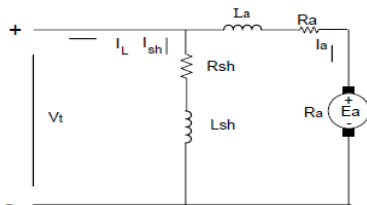
Motor DC dengan penguat sendiri (*self excited*) didefinisikan sebagai motor DC dimana arus kumparan medan diperoleh dari sumber arus DC yang sama dengan arus yang digunakan pada kumparan jangkar.

Berdasarkan cara menghubungkan kumparan medan dan kumparan jangkar, secara umum motor dc diklasifikasi dalam 3 macam, yaitu :

1. Motor Arus Searah berpenguat *shunt* (paralel)
2. Motor arus searah berpenguat seri
3. Motor arus searah berpenguat kompon

1. Motor Arus Searah Berpenguat Shunt^[4,8,9]

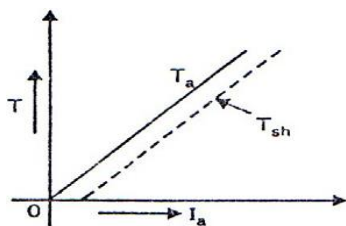
Rangkaian motor DC dimana kumparan medan dan kumparan jangkar terhubung secara paralel. Rangkaian ekuivalen motor dc berpenguat shunt adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Rangkaian ekuivalen motor dc shunt^[4]

a. Karakteristik Motor DC Shunt.^[4,6]

Gambar 2 menunjukkan rangkaian listrik dari suatu motor DC shunt. Arus medan I_{sh} besarnya konstan karena kumparan medan langsung terhubung dengan tegangan sumber V_t yang dianggap konstan. Oleh karena itu fluksi di dalam motor *shunt* hampir dapat dikatakan konstan.



Gambar 2. Kurva Karakteristik T_a/I_a ^[4,6]

i. Karakteristik T_a/I_a

Di dalam motor DC, torsi jangkar T_a dinyatakan sebagai berikut :

$$T_a = \phi I_a \tag{1}$$

karena motor beroperasi dengan tegangan sumber yang konstan, fluksi Φ juga konstan (dengan mengabaikan reaksi jangkar), sehingga persamaan (1) dapat dinyatakan sebagai

$$T_a \approx I_a \tag{2}$$

Dengan demikian, karakteristik T_a/I_a motor DC shunt merupakan garis lurus yang melalui titik asal seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Torsi poros (T_{sh}) lebih kecil dibandingkan T_a dan ditunjukkan oleh garis putus-putus. Jelas terlihat pada kurva bahwa dibutuhkan arus yang cukup besar untuk menstart motor dengan beban yang berat. Oleh karena itu, motor DC shunt tidak boleh distart dalam keadaan berbeban berat.

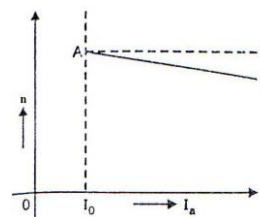
ii. Karakteristik n/I_a

Kecepatan motor DC, n diberikan oleh persamaan berikut :

$$n \approx \frac{E_a}{\phi} \tag{3}$$

Fluksi Φ dan GGL lawan E_a di dalam motor DC shunt hampir konstan di bawah kondisi normal. Dengan demikian, kecepatan motor DC *shunt* selalu konstan walaupun arus jangkar berubah-ubah nilainya.

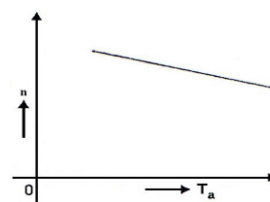
Dengan kata lain, ketika beban bertambah, E_a ($V_t - I_a R_a$) dan Φ berkurang akibat jatuh tegangan pada tahanan jangkar dan reaksi jangkar. E_a berkurang lebih sedikit daripada Φ sehingga kecepatan motor menurun sedikit dengan penambahan beban (garis AC) seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva Karakteristik n/I_a ^[4,6]

iii. Karakteristik n/T_a

Perubahan torsi jangkar, T_a terhadap putaran motor n digambarkan seperti gambar 4



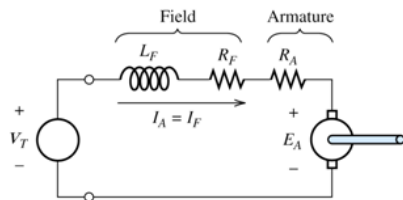
Gambar 4. Kurva Karakteristik n/T_a ^[4,6]

Dari karakteristik di atas, terlihat bahwa

- (i) Terdapat sedikit penurunan kecepatan motor DC *shunt* dari kondisi tanpa beban sampai beban penuh. Dengan demikian, dapat dianggap sebagai motor kecepatan konstan.
- (ii) Torsi *start*-nya tidak tinggi karena $T_a \sim I$

2. Motor Arus Searah Berpenguat Seri^[4,5,6]

Rangkaian ekivalen motor arus searah berpenguat seri, dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 5. Rangkaian ekivalen motor dc seri^[4,5,6]

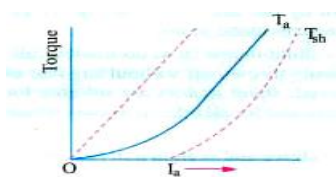
a. Karakteristik Motor DC seri.^[4]

i. Karakteristik T_a/I_a

Kita telah mengetahui bahwa $T_a \approx \phi I_a$. Didalam kasus ini, dalam kumparan medan juga mengalir arus jangkar I_a , sehingga dapat dinyatakan bahwa $\phi \approx I$ dimana $I = I_a = I_f$, sehingga persamaan Torsi di atas dapat ditulis sebagai berikut :

$$T_a \approx I_a^2 \tag{4}$$

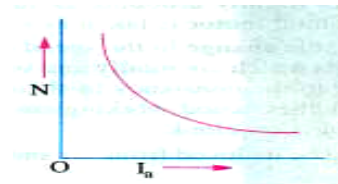
Pada beban yang ringan, I_a dan Φ bernilai kecil. Tetapi T_a akan naik dengan cepat sebanding dengan kuadrat arus, sehingga kurva T_a/I_a memiliki kurva seperti parabola. Torsi jangkar memiliki karakteristik yang sama dengan seperti pada gambar 6 dibawah ini :



Gambar 6. Kurva Karakteristik T_a/I_a ^[4]

ii. Karakteristik N/I_a ^[4]

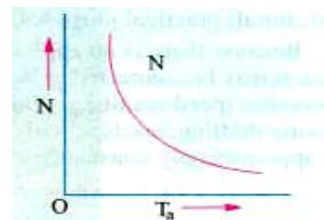
Ketika beban menjadi berat, arus jangkar akan semakin naik. Karena kecepatan melambat (penurunan ggl induksi E_b diikuti arus jangkar yang besar), maka arus beban dan arus jangkar turun dengan nilai yang kecil. Akibatnya, kecepatan menjadi sangat tinggi.



Gambar 7. Karakteristik N/I_a ^[4]

iii. Karakteristik N/T_a atau karakteristik mekanik.

Ketika kecepatan tinggi, torsi menjadi kecil. Ini sangat berhubungan dengan karakteristik N/I_a seperti dilihat pada gambar dibawah ini :



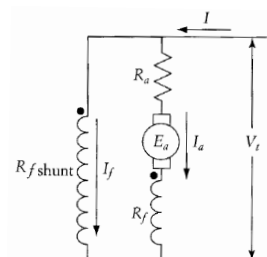
Gambar 8. Kurva Karakteristik N/T_a ^[4]

Point penting yang dapat diambil dari Motor DC Seri^[7]

1. Medan dan jangkar dihubungkan secara seri
2. Supply tegangan konstan
3. Torka berbanding lurus terhadap I^2 , dan $(\frac{V}{N})^2$
4. Pengontrolan kecepatan dapat dilakukan dengan mengatur perubahan $R_a + R_f$
5. Resistansi start ($R_a + R_f$) akan membatasi arus yang sangat besar
6. Kecepatan tanpa beban susah untuk di dapat (karena terlalu tinggi).
7. Kecepatan akan sangat tinggi pada tanpa beban dan motor seri besar tidak perlu dihubungkan pada beban mekanik dengan belt atau mekanik lainnya yang memungkinkan untuk bisa rusak akibat getaran.

3. Motor Arus Searah Berpenguat Kompon^[9]

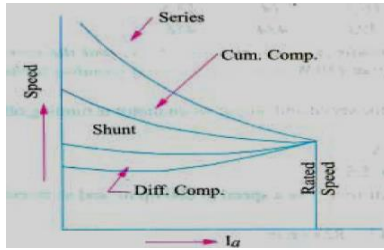
Rangkaian ekivalen motor arus searah berpenguat kompon ,dapat digambarkan pada gambar 9 :



Gambar 9. Rangkaian ekivalen motor dc kompon^[9]

Motor dc kompon memiliki aplikasi beban terbesar, yang membutuhkan torsi starting yang tinggi ataupun beban yang berpulsasi, seperti electric shovel, metal

stamping machines, reciprocating pumps, hoist dan kompresor. Karakteristik kerja motor dc kompon, digambarkan pada gambar 10:



Gambar 10. Kurva kecepatan vs arus jangkar motor dc kompon^[9]

C. Daya Pada Mobil Listrik^[11]

Dasar pemikiran yang penting dalam menentukan kapasitas motor listrik sebagai penggerak kendaraan listrik adalah prediksi kinerja dan jangkauan. Dalam kendaraan listrik, hal yang perlu ditinjau antara lain adalah massa total kendaraan dan daya motor listrik. Dalam perencanaan ini akan ditinjau sejumlah parameter yang sangat mempengaruhi kinerja dan jangkauan.

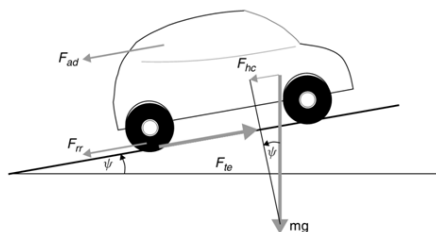
1. Gaya Tarikan (*Tractive Effort*)^[11]

Untuk menentukan kinerja sebuah kendaraan diperlukan sebuah persamaan gaya yang dibutuhkan oleh kendaraan tersebut dengan memperhitungkan gaya gesekan antara roda (ban) dengan permukaan jalan (tanah). Sebuah kendaraan bermassa massa m, melaju dengan kecepatan v, mendaki bukit dengan kemiringan sudut ψ , seperti pada gambar 11.

Gaya dorong kendaraan harus dapat mengatasi hal berikut :

- a. hambatan gelinding;
- b. gesekan udara;
- c. komponen berat kendaraan ketika menuruni bukit/ lereng;
- d. mengendalikan kendaraan ketika kecepatannya tidak konstan

Pada akhirnya kita harus mempertimbangkan hal-hal di atas.



Gambar 11. Diagram gaya pada kendaraan yang bergerak disepanjang bidang miring.^[11]

a. Gaya Hambat (*Rolling Resistance Force, F_{rr}*)^[11]

Gaya hambat ini terutama disebabkan oleh gesekan ban kendaraan terhadap jalan, gesekan di bantalan dan sistem gear (gearing system). Gaya hambat ini nilainya hampir konstan, dan hampir tidak tergantung pada

kecepatan kendaraan. Nilai ini sebanding dengan berat kendaraan^[11]

Gaya gesekan ini dinyatakan dengan persamaan:

$$F_{rr} = \mu_{rr} mg \tag{5}$$

Dimana μ_{rr} adalah koefisien *rolling resistance*. Faktor utama yang mempengaruhi μ_{rr} adalah jenis ban dan tekanan ban. Setiap pengendara sepeda akan sangat mengerti tentang hal ini, kinerja ban sepeda akan lebih baik jika ban dipompa sampai tinggi tekanan, meskipun perjalanan mungkin kurang nyaman. Nilai μ_{rr} dapat dengan mudah diperoleh dengan menggerakkan kendaraan perlahan dan stabil serta mengukur gaya yang dibutuhkan. Nilai-nilai spesifik dari μ_{rr} adalah 0,015 untuk ban radial, dan turun menjadi sekitar 0,005 untuk ban-ban yang dirancang khusus terutama untuk kendaraan listrik.

b. Gaya Gesekan Angin (*Aerodynamic Drag*)^[11]

Rumus untuk komponen ini adalah:

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \rho A C_d v^2 \tag{6}$$

Dimana ρ adalah kerapatan (densitas) udara, A adalah luas bidang frontal, dan v adalah kecepatan. C_d adalah konstanta yang disebut koefisien gesekan (*drag coefficient*).

Koefisien gesekan C_d dapat diperkecil dengan desain kendaraan yang baik. Sebuah nilai khas untuk sebuah mobil sedan adalah 0,3, tetapi beberapa desain kendaraan listrik telah mencapai nilai serendah 0,19. Beberapa kendaraan, seperti sepeda motor dan bus pasti akan memiliki nilai yang jauh lebih besar. C_d sekitar 0,7 dan ini merupakan masalah khusus.

Kepadatan/kerapatan udara sudah tentu bervariasi dengan suhu, ketinggian dan kelembaban. Namun nilai $1,25 \text{ kg.m}^{-3}$ adalah nilai yang masuk akal untuk digunakan dalam banyak kasus. Dengan menggunakan satuan SI (m^2 untuk A, ms^{-1} untuk v) maka nilai F_{ad} dapat dinyatakan dalam Newton.

c. Gaya Daki Bukit^[11]

Gaya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kendaraan menaiki lereng adalah yang paling mudah untuk ditentukan. Dengan resolusi sederhana berdasarkan gambar di atas, diperoleh persamaan:

$$F_{gc} = mg \sin(\psi) \tag{7}$$

d. Gaya Percepatan^[11]

Untuk mengubah kecepatan kendaraan, diperlukan gaya yang mampu mengatasi gaya hambat dan memberi percepatan linear kendaraan. Gaya ini dinyatakan dalam persamaan :

$$F_{la} = ma \tag{8}$$

e. Total *tractive effort*^[11]

Total *tractive effort* adalah jumlah dari semua gaya di atas.

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la} + F_{\omega a} \tag{9}$$

Perlu diingat, bahwa F_{la} dan $F_{\omega a}$ akan negatif jika kendaraan melambat, dan F_{hc} yang akan negatif jika kendaraan tersebut akan menurun.

Laju alir energi dibutuhkan adalah :

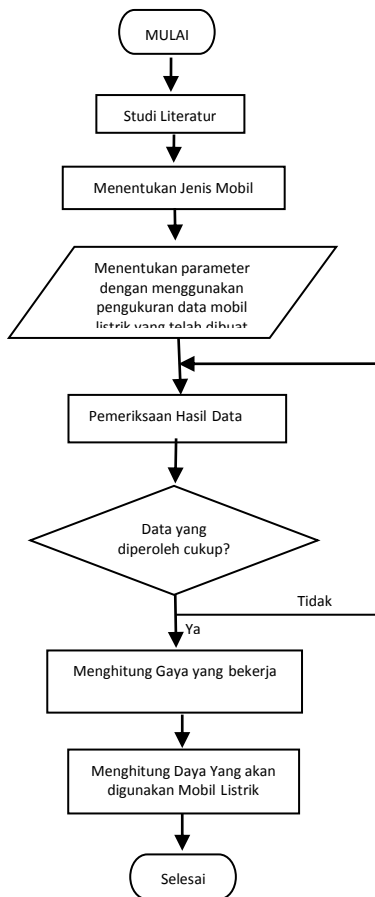
$$P_{te} = F_{te} \times v \tag{10}$$

Dengan mengetahui laju alir energi, akan dapat ditentukan kapasitas motor yang dibutuhkan oleh sebuah mobil listrik.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Diagram Alir (Flowchart)

Langkah kerja perencanaan ini digambarkan dalam bentuk diagram alir pada gambar 12:



Gambar 12. Flowchart Pengukuran dan Perhitungan

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemilihan Motor DC

Dasar pemikiran dalam pemilihan motor listrik sebagai penggerak mobil listrik adalah bahwa motor listrik tersebut harus mampu menghasilkan torsi starting yang tinggi dengan arus yang rendah. Hubungan antara torsi yang dihasilkan, T_a dan arus yang diserap motor dari sistem dapat ditunjukkan dalam tabel 1 berikut :

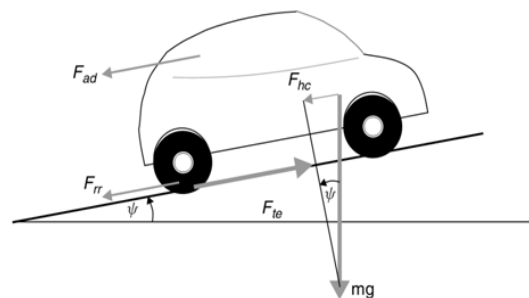
TABEL 1
TORSI VS ARUS JANGKAR PADA MOTOR DC

Jenis Motor DC	Torsi vs Arus Jangkar
Shunt	$T \propto I_a$
Seri	$T \propto I_a^2$
Kompon	$T \propto I_a$

Dari hubungan antara torsi dan arus beban masing-masing jenis motor dc, ternyata yang memenuhi kriteria sebagai penggerak mobil listrik adalah motor dc berpenguat seri. Ditinjau dari karakteristiknya juga, motor dc berpenguat seri yang paling memenuhi. Pada rancang bangun mobil listrik sebelumnya digunakan mobil listrik dengan penggunaan motor dc magnet permanen, sehingga medan magnet yang dihasilkan adalah konstan. Untuk memperoleh torsi yang cukup, diperlukan arus yang cukup besar, sehingga kurang ekonomis ditinjau dari sisi penggunaan energi.

B. Analisa Data

Untuk mengetahui berapa besar daya yang dibutuhkan oleh mobil listrik, kita harus memperhatikan kemampuan mobil tersebut dalam mendaki bukit (tanjakan). Pada perhitungan disini gaya daki maksimum dihitung ketika mobil mendaki bukit dengan kemiringan maksimum sebesar 30°, karena sudut ekstrim yang mampu dilakukan mobil hanya kurang lebih 30°. Pada gambar dibawah ini, sudut daki yang dimaksud adalah F_{hc} .



Gambar 13. Komposisi gaya pada mobil

1. Menghitung Gaya yang Bekerja pada Mobil

Dengan menjumlahkan total gaya yang bekerja, kita bisa mendapatkan daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan mobil listrik tersebut.

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la} \quad (11)$$

Gaya *rolling resistance* :

$$\begin{aligned} F_{rr} &= \mu_{rr} \times mg \\ F_{rr} &= (0,005) \times (150 + 120)(9,8) \\ F_{rr} &= 13,23 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya *aerodynamic* :

$$\begin{aligned} F_{ad} &= \frac{1}{2} \rho A C_d v^2 \\ F_{ad} &= \frac{1}{2} (1,25)(0,75 \times 0,6)(0,19)(14)^2 \\ F_{ad} &= 10,47 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya Daki Bukit :

$$\begin{aligned} F_{hc} &= mg \sin(\theta) \\ F_{hc} &= (150 + 120)(9,8) \sin 30^\circ \\ F_{hc} &= 1323 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya Percepatan :

$$\begin{aligned} F_{la} &= m \times a \\ F_{la} &= (1,05 \times 270) \left(\frac{14}{20}\right) \\ F_{la} &= 198,45 \text{ N} \end{aligned}$$

Total gaya yang dihasilkan :

$$F_{te} = 13,23 + 10,47 + 1323 + 198,45 = 1545,15 \text{ N}$$

Daya yang dibutuhkan :

$$P = F_{te} \times v$$

$$P = 1545,15 \times 14 = 21.632,15225 \approx 21,6 \text{ kW}$$

Pada saat mobil dengan gaya penuh, mobil membutuhkan daya sebesar 21,6 kW.

2. Menghitung kecepatan pada sudut kemiringan tertentu Ketika mobil dibidang Horizontal sudut (0°) :

$$\begin{aligned} F_{hc} &= mg \sin(\theta) \\ F_{hc} &= (150 + 120)(9,8) \sin(0^\circ) \\ F_{hc} &= 0 \text{ N} \end{aligned}$$

Daya total dibidang Horizontal

$$F_{te} = 13,23 + 10,47 + 0 + 198,45 = 222,15 \text{ N}$$

Daya yang dibutuhkan :

$$P = F_{te} \times v$$

$$P = 222,15 \times 14 = 3110 \text{ W} \approx 3,1 \text{ kW}$$

Pada bidang datar, mobil hanya membutuhkan 3,1 kW dengan asumsi percepatan 14 m/s.

Ketika mobil dibidang miring (10°) :

$$\begin{aligned} F_{hc} &= mg \sin(\theta) \\ F_{hc} &= (150 + 120)(9,8) \sin(10^\circ) \\ F_{hc} &= 459,4730781 \text{ N} \end{aligned}$$

Total gaya yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} F_{te} &= 13,23 + 10,47 + 459,4730781 + 198,45 : \\ &= 681,6268281 \text{ N} \end{aligned}$$

Daya yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} P &= F_{te} \times v \\ P &= 681,6268281 \times 14 = 9542,776 \text{ W} \approx 9,5 \text{ kW} \end{aligned}$$

Untuk bidang miring lainnya dapat dilihat dalam tabel berikut.

TABEL 2
BIDANG MIRING

Kemiringan (θ)	F _{total} (N)	P (kW)
10	681,6268	9,5
20	904,9853	15,8
30	1545,15	21,6

Pada saat mobil berada dibidang datar dengan sudut 30°, mobil listrik hanya membutuhkan 21,6 kW dengan asumsi percepatan 14 m/s. Mencari kecepatan yang dibutuhkan jika pada saat mobil berdaya 21,6 kW

$$v = \frac{21632,1525}{1323} = 16,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 59 \text{ km/jam}$$

3. Menghitung Kecepatan Maksimal

Jika kita ingin mendapatkan kecepatan maksimum yang dihasilkan oleh motor dengan daya sebesar 21,6kW , maka kita harus menghitungnya sebagai berikut :

$$F_{te}(30^\circ) - F_{hc}(30^\circ) = F_{te}'$$

$$1545,15 - 1323 = 222,15 \text{ N}$$

$$\frac{P_{min}}{F_{te}'} = v'$$

$$\frac{21632,15}{222,15} = 97 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 350 \text{ km/jam}$$

V. KESIMPULAN

Dari analisa di atas, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Pemilihan motor dc yang cocok adalah motor dc seri karena motor dc seri memiliki karakteristik torsi sebesar I^2 .
2. Daya yang dibutuhkan untuk sudut 30° adalah sebesar 21,6 kW dengan kecepatan yang ditempuh sebesar 16.3 m/s atau 59 km/jam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] http://id.wikibooks.org/wiki/Rumus_RumusFisika_Lengkap/Gaya_dan_tekanan, diakses pada tanggal 27 Desember 2013
- [2] http://id.wikibooks.org/wiki/Rumus-Rumus_Fisika_Lengkap/Dinamika_rotasi, diakses pada tanggal 27 Desember 2013
- [3] <http://www.rumus-fisika.com/2013/01/kelajuan-dan-kecepatan.html>, diakses pada tanggal 27 Desember 2013.
- [4] Gottlieb, Irving, "Practical Electric Motor Handbook". Great Britain: Biddles Ltd., 1997.
- [5] <http://blogs.itb.ac.id/el2244k0112211083igustiagunggede/2013/04/29/4/>, diakses pada tanggal 28 Maret 2014)
- [6] Chen, Ben, "Motor DC" Singapore : National University Singapore, 2003.
- [7] Sronggot. 2008 . "DC MOTOR DRIVES , [pdf], <http://sronggot.files.wordpress.com/2008/06/msword-dc-motor-drives.pdf>, diakses pada tanggal 27 Maret 2014)
- [8] Hughes, Austin, "Electric Motors and Drives" .Great Britain : Elsevier Ltd., 1990.
- [9] El Sharkawi, Mohamed A., "Fundamentals of Electric Drives" . USA: Brooks/Cole Publishing Co., 2000.
- [10] Carryer, Kenny dan Ohline. 2003. "Chapter 19: Permanent Magnet DC Motor Characteristics, [pdf], (<http://ebookbrowse.net/ch19-demotors-pdf-d247198961>), diakses pada tanggal 27 Desember 2013)
- [11] Hathaway, Richard B., "Mechanical Engineering Vehicle Design". Western Michigan University : Lecture Notes.,2000.
- [12] Suparno, Supriyanto. 2007." Komputasi untuk Sains dan Teknik Menggunakan Matlab". Universitas Indonesia: Departemen Fisika-FMIPA.
- [13] Didit Haryadi," Studi Pemilihan Motor DC Dan Kapasitasnya Pada Mobil Listrik". Universitas Sriwijaya, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, 2012.