

PERANCANGAN POWERTRAIN PADA SEGWAY

Suyanto Dharma¹⁾, Agustinus Purna Irawan¹⁾ dan Danardono Agus Sumarsono²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Falkutas Teknik Universitas Tarumanagara, Jakarta

Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta

e-mail : Suyantodharma@yahoo.com, Agustinus01@yahoo.com, danardon@eng.ui.ac.id

Abstract: *Segway is a personal vehicle with a battery power source which is driven by an electric motor. In designing the Segway, powertrain system design includes power, resources, transmission, steering, braking system and final drives. In the design and results of field tests performed, it was shown that the powertrain system segway is very good.*

Keywords: *design, segway, powertrain*

PENDAHULUAN

Segway adalah sebuah kendaraan personal yang digerakkan dengan motor listrik dan memiliki dua roda, sistem teknologi *Segway* memakai *computer* untuk menjaga keseimbangan pengendara. Kecepatan *Segway* diatur dari sistem *balancing* atau keseimbangan pengendara. *Segway* tercipta dari kombinasi keseimbangan, sistem kontrol, dan sistem motor. Secara fisik, *segway* terdiri atas empat elemen utama: konstruksi keseimbangan, roda dan motor, sistem sensor, dan sistem kontrol. Oleh karena pembahasan mengenai *segway* sangat luas, maka dalam perancangan *segway* ini hanya difokuskan pada sistem *power train* pada perancangan *segway* [1].

DASAR TEORI

Motor Listrik

Motor listrik adalah sebuah perangkat *elektromagnetis* yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini biasanya digunakan untuk memutar impeller pompa, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan. Keuntungan utama motor DC adalah sebagai pengendali kecepatan yang tidak mempengaruhi kualitas pasokan daya [2]. Rumus umum menghitung daya untuk motor listrik [3]:

$$P = F \cdot v \quad (1)$$

Efisiensi daya motor listrik [4]:

$$Pr = P_{total} / \eta \quad (2)$$

Keterangan :

P : daya (W) v : kecepatan (m/s) Pr : daya sesungguhnya (W)
F : gaya (N) η : efisiensi

Torsi

Torsi roda terdiri dari gaya dikalikan dengan jarak, menghasilkan rotasi pada daya kerja kecepatan motor, hal ini menyebabkan objek untuk memutar. Berikut adalah persamaan untuk menghitung torsi [3]:

$$T = \frac{P \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n} \quad (3)$$

Keterangan :

T : torsi (Nm)
P : daya (W)
n : putaran (r/min)

Poros

Merancang poros yang kuat dan aman harus memperhatikan torsi yang terjadi pada poros yang sudah dihitung sebelumnya, untuk merancang sebuah poros, maka perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut : kekuatan poros, kekakuan poros, putaran kritis, korosi, dan bahan poros [5]. Dari

pemilihan bahan poros untuk merancang diameter poros agar kuat dan aman, perlu ditinjau tegangan tarik maksimum bahan poros dan tegangan geser ijin yang terjadi pada poros, seperti persamaan di bawah ini [5]:

Tegangan tarik ijin:

$$\sigma_i = \frac{\sigma_{max}}{sf} \quad (4)$$

Keterangan :

σ_i : tegangan tarik ijin (N/mm²)

σ_{max} : tegangan tarik maksimum (N/mm²)

sf : *safety factor* dipilih pada tabel tegangan tarik bahan poros

Tegangan geser ijin:

$$\tau_i = \frac{\sigma_i}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

Keterangan :

τ_i : tegangan geser ijin (N/mm²)

σ_i : tegangan tarik maksimum (N/mm²)

Setelah mengoreksi hasil rancangan poros aman, maka dari nilai tegangan geser ijin yang sudah dihitung sebelumnya, diameter poros dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [8]:

$$D_{poros} = \sqrt[3]{\frac{16.T}{\pi.\tau_i}} \quad (6)$$

Keterangan :

D_{poros} : diameter poros *segway* (mm)

T : torsi motor listrik (Nmm)

Bantalan

Bantalan adalah elemen mesin yang berfungsi mendukung bagian lain yang disebut jurnal. Bantalan memungkinkan terjadi gerak relatif antar permukaan saat mendukung beban, karena terjadi kontak permukaan saat terjadi gerak relatif sambil membawa beban akan terjadi gesekan sehingga akan membangkitkan panas dan permukaan akan rusak. Untuk mengurangi efek diatas diberi pelumas yang berfungsi memberi lapisan antar permukaan yang bergerak relatif dan menyalurkan panas yang terbentuk [6].

Dari pemilihan tipe bantalan, kemudian membandingkan beban statis dari tipe bantalan yang dipilih dengan kapasitas dinamik bantalan, apabila beban statis lebih besar dari beban dinamik, maka rancangan aman, maka dapat dilanjutkan dengan melakukan perhitungan umur bantalan dengan menggunakan persamaan [6]:

$$L = 60.N.L_H \quad (7)$$

Keterangan :

L : umur bantalan (putaran)

n : kecepatan roda *segway* (m/s)

L_H : lama pemakaian (h)

Rantai

Rantai digunakan untuk mentransmisikan daya dimana jarak kedua poros yang dikehendaki untuk tidak terjadi slip. Dibandingkan dengan transmisi roda gigi, rantai jauh lebih murah akan tetapi berisik serta kapasitas daya dan kecepatannya lebih kecil. Rantai terdiri dari sejumlah link kaku yang berengsel dan disambung oleh pin untuk memberikan fleksibilitas yang diperlukan.

Perancangan *segway* ini langsung menghubungkan poros rantai dari motor listrik ke roda *segway*, sehingga jumlah gigi untuk sproket kecil T1 langsung ditentukan dari diameter poros

output dari motor listrik, selanjutnya dari perbandingan kecepatan putaran maksimum dari motor listrik dengan kecepatan putaran *segway* yang sudah dihitung sebelumnya akan didapatkan jumlah gigi untuk sproket yang besar T_2 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [5]:

$$T_2 = T_1 \frac{n_1}{n_2} \quad (8)$$

Keterangan :

- n_1 : putaran motor listrik (r/min)
- n_2 : putaran roda *segway* setelah reduksi (r/min)
- T_1 : jumlah gigi rantai sproket kecil
- T_2 : jumlah gigi rantai sproket besar

Jarak antar poros yang diperbolehkan yaitu sebesar 30-50 kali dari besarnya pitch. Setelah jarak antar poros diketahui, maka jumlah link rantai dapat diperoleh dengan persamaan [6]:

$$k = \frac{T_1 + T_2}{2} + \frac{2x}{P} + \left(\frac{T_2 - T_1}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{P}{x} \quad (9)$$

Keterangan :

- P : pitch (mm)
- k : jumlah link rantai
- x : jarak antar poros (mm)

Menghitung panjang rantai dengan menggunakan persamaan [5]:

$$L = k \cdot P \quad (10)$$

Keterangan :

- L : panjang rantai (m)

Menghitung diameter sproket besar dengan menggunakan persamaan [5]:

$$D = \frac{T_2 \cdot P}{\Pi} \quad (11)$$

Keterangan : D = diameter sproket besar

Aki dan Pengecasan

Akumulator (*accu*, aki) adalah sebuah alat yang dapat menyimpan energi (umumnya energi listrik) dalam bentuk energi kimia. Contoh-contoh akumulator adalah baterai dan kapasitor. Kata akumulator dapat mengacu kepada baterai, kapasitor, kompulsator. Untuk menghitung lama pemakaian aki langkah awal adalah menghitung arus yang dibutuhkan motor listrik dengan menggunakan persamaan [4]:

$$I_m = \frac{P}{V} \quad (12)$$

Keterangan :

- I_m : arus yang dibutuhkan motor listrik (A)
- P : daya motor listrik (W)
- V : tegangan (V)

Selanjutnya untuk menghitung lama pemakaian aki dapat menggunakan persamaan [4]:

$$t = \frac{I_a}{I_m} \quad (13)$$

Keterangan :

- t : lama pemakaian aki (h)
- I_a : ampere (Ah)

Steering

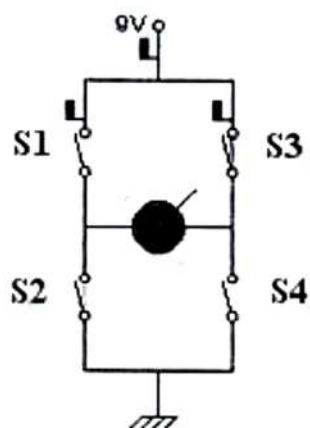
Power steering pada *segway* adalah menggunakan sistem elektrik yang dinamakan teknologi *electric power steering* (EPS). Pada EPS, mekanisme *hidraulis* pada mobil berganti menjadi gerakan motor listrik yang mengandalkan arus listrik. *Electric power steering* adalah sistem perubahan proses kerja *power steering* yang mengalihkan sistem hidrolis ke sistem elektris.

Cara kerja sistem *electric power steering* adalah ketika *Segway* dinyalakan, *control module* memperoleh arus listrik untuk kondisi *standby*, bersamaan indikator EPS pada panel instrumen akan nyala. Saat mesin hidup, *noise suppressor* akan menginformasikan pada *control module* untuk mengaktifkan motor listrik dan *clutch* akan menghubungkan motor dengan batang setir. Salah satu sensor yang terletak pada *steering rack* bertugas memberi informasi pada *control module* ketika setir mulai dimiringkan yang dinamakan *torque sensor*, alat ini akan memberikan informasi kepada *control module* sejauh mana setir dimiringkan dan seberapa cepat putarannya. Dengan informasi tersebut *control module* akan mengirimkan arus listrik sesuai kebutuhan motor listrik untuk mengatur kecepatan dan arah putaran motor [8].

Pengereman

Sistem pengereman *Segway* diatur sama putaran motor DC dengan sensor, untuk berhenti pengendara berdiri tegak tanpa condong ke depan atau ke belakang dan kendaraan akan mempertahankan posisinya.

Prinsip dasar yang digunakan sensor untuk mengatur arah putaran motor adalah metode *H-Bridge*. Jembatan *H-Bridge* terdiri dari empat saklar yang terhubung secara topologi membentuk huruf H dan terminal motor terletak pada garis horizontal huruf H, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 1 [9].



Gambar 1 Rangkaian jembatan H [9]

METODE PENELITIAN DAN PERANCANGAN

- Studi pustaka: untuk mendapatkan informasi yang berkaitan dengan perancangan *Segway* melalui jurnal, artikel ilmiah, penelitian, dan bahan-bahan referensi.
- Studi lapangan: untuk mengamati dan mendapatkan informasi di lapangan yang berkaitan dengan *Segway* yang sudah ada.
- Perancangan: melakukan perancangan dan pembuatan *prototype* dari *Segway*.
- Pengujian: pengujian jalan terhadap *Segway*, untuk mengamati karakteristik dan performa yang terjadi saat dioperasikan.

Setiap teori dasar yang sudah dibahas akan dirancang satu per satu sesuai urutan perancangan dan hasil perancangan akan diimplementasikan setiap komponen-komponen yang dirancang, kemudian dilakukan pemasangan komponen, baru diprogramkan *Segway*nya dan uji jalan lapangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan daya motor listrik untuk *Segway*, dengan berat total *segway* yang akan dirancang adalah 20 kg, berat maksimum untuk pengendara yang diijinkan untuk mengendarai *Segway* dibatasi sampai 80 kg, kecepatan maksimum *segway* dibatasi sebesar 20 km/jam. Didapatkan hasil perancangan sesuai Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Spesifikasi motor DC

No	Nama	Keterangan
1	Jumlah	2
2	Model No	MY1012
3	<i>Operating Speed</i>	<i>High Speed</i>
4	Motor DC	Tipe <i>Brush Jx</i>
5	Daya	250 W (1 motor)
6	Arus	7 Ah
7	Putaran max	2650 r/min
8	Torsi	0,9 Nm
9	<i>Efficiency</i>	78 %

Bahan-bahan yang digunakan untuk poros dipilih baja karbon S45C dengan kekuatan tarik maksimum sebesar 570 MPa. Dari hasil perhitungan diameter poros *Segway* yang didapat adalah sebesar 11,42 mm dan dibulatkan menjadi 12 mm.

Langkah awal dari perhitungan umur bantalan adalah menentukan tipe bantalan dari diameter poros yang sudah dihitung sebelumnya dan dipilih bantalan tipe 6001 *Deep Groove Ball Bearing FBJ series* dengan *inner* diameter 12 mm yang sesuai dengan diameter poros yang sudah dirancang. Menghitung umur bantalan, asumsi lama operasi bantalan 30 min per hari dengan hari kerja selama 1 tahun adalah 365 hari. Direncanakan umur pakai bantalan adalah 2 tahun, maka waktu pemakaian bantalan LH dapat diperoleh dari 30 min jam kerja dikali 2 tahun diperoleh 365 h. Untuk melakukan perhitungan umur bantalan dapat menggunakan persamaan 2.16, diketahui putaran $n = 256$ r/min dan waktu pemakaian bantalan 365 h akan didapatkan umur bantalan $5,6 \times 10^6$ putaran.

Jumlah gigi untuk sproket kecil T_1 langsung ditentukan dari diameter poros output dari motor listrik sebesar 12 mm sehingga dapat untuk memuat gigi sebanyak 11 gigi untuk sproket kecil. *Pitch* rantai sebesar 6 mm dengan dari kecepatan motor, jarak antar poros $pitch \times 40$ adalah sebesar 40×6 mm = 240 mm. Menghitung panjang rantai dengan menggunakan persamaan 10, diketahui jumlah *link* rantai 131,4 dan besarnya *pitch* 6 mm akan diperoleh panjang rantai L sebesar 788,4 mm atau 0,788 m.

Tabel 2. Spesifikasi sproket dan rantai

No	Nama	Keterangan
1	Jumlah Gigi Sproket Kecil	11 gigi
2	Jumlah Gigi Sproket Besar	86 gigi
3	Diameter Sproket Kecil	21 mm
4	Diameter Sproket Besar	153 mm
5	<i>Pitch Rantai</i>	6 mm
6	Jarak Antar Poros	238 mm
7	Panjang Rantai	0,788 m

Untuk menghitung lama pemakaian aki diperlukan data-data seperti arus pada aki dan arus yang diperlukan oleh motor listrik untuk menjalankan *segway* tersebut, dengan jumlah aki 2, voltase aki 12 V dan arus 6 A, didapatkan lama pemakaian aki 35 menit.

Kerja sistem *electric power steering* adalah ketika *segway* dinyalakan, *control module* memperoleh arus listrik untuk kondisi *standby*, bersamaan indikator EPS pada panel instrumen akan nyala. Saat mesin hidup, *noise suppressor* akan menginformasikan pada *control module* untuk mengaktifkan motor listrik dan *clutch* akan menghubungkan motor dengan batang setir. Salah satu sensor yang terletak pada *steering rack* bertugas memberi informasi pada *control module* ketika setir mulai dimiringkan yang dinamakan *torque sensor*, alat ini akan memberikan informasi kepada *control module* sejauh mana setir dimiringkan dan seberapa cepat putarannya. Dengan informasi tersebut *control module* akan mengirimkan arus listrik sesuai kebutuhan motor listrik untuk mengatur kecepatan dan arah putaran motor [11].

Sistem Pengereman pada *segway* adalah menggunakan sistem *electrical brake* yaitu pengereman dengan menggunakan kekuatan motor DC, dengan pendekatan metode H-Bridge untuk mengatur kutub positif dan kutub negatif putaran motor DC sehingga putaran motor akan berubah arah ketika sistem pengereman terjadi. Dari hasil pengujian statis tanpa beban penumpang, ketika *segway* maju dengan sudut kemiringan maksimum 5° , akan menghasilkan putaran pada kedua roda sekitar 360 r/min. Dan ketika *segway* mundur dengan sudut kemiringan maksimum 12° akan menghasilkan putaran pada kedua roda 170 r/min

KESIMPULAN

Dari hasil perancangan telah dihasilkan sistem *powertrain* pada *segway* dengan sumber tenaga aki kering dengan tegangan 24 V dan ampere 12 Ah, untuk menggerakkan motor DC tipe *brush* yang menghasilkan daya sebesar 500 W dan torsi 24 Nm. Bahan poros yang digunakan adalah S45C dengan diameter poros 12 mm, bantalan yang digunakan adalah tipe *Deep Groove Ball Bearing* dengan umur bantalan yang diperhitungkan 2 tahun atau setara dengan $5,6 \times 10^6$ putaran.

Sistem transmisi *segway* adalah menggunakan elemen mesin rantai dengan diameter sproket kecil 21 mm, diameter sproket besar 153 mm, *pitch* rantai 6 mm, jarak antar poros 238 mm dan panjang rantai 0,788 m. Sistem *steering* menggunakan *electrical steering* dan sistem pengereman menggunakan *electrical break* dengan mengadu kedua daya dan torsi motor DC dengan mengatur kutub positif dan kutub negatif sehingga terjadi sistem pengereman.

Dari hasil uji lapangan, lama pemakaian aki akan habis dengan kecepatan maksimum selama 55 menit dengan *segway* dijalankan secara terus menerus tanpa beban penumpang. Kecepatan motor dan sinkronisasi antara *steering* dan pengereman sudah berhasil

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Aldy, Reynaldi, "Cara Kerja Segway," 10 oktober 2012, <http://aldebian.blogspot.com/2011/04/cara-kerja-segway.html>
- [2]. Yefri, "Pengertian Motor Listrik," 13 september 2012, <http://yefrichan.wordpress.com/2011/03/26/pengertian-motor-listrik/>.
- [3]. Dahmir Dahlan (2012), Elemen Mesin. Jakarta: Harta Prima.
- [4]. Frederick J. Bueche dan Eugene Hecht (2006), Schaum's Outlines Teori dan Soal-Soal *Fisika Universitas* Edisi Kesepuluh. Jakarta : PT. Gelora Aksara Pratama
- [5]. Khurmi, R.S.dan Gupta,JK (2004), *A text book of Machine Design. S.I Units*. New Delhi: Eurasia Publishing House (Pvt) LTD.
- [6]. Sularso (2000), *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- [7]. Zakir, "Teori Aki dan Pengecasan," 13 oktober 2012, <http://mitrabaterai.blogspot.com/2012/05/teknik-mengecas-aki.html>.
- [8]. Agung Ribowo, "Electric Power Steering System," 1 Nopember 2012, <http://agungribowo-otomotif.blogspot.com/2012/05/electric-power-steering-system-eps.html>
- [9]. N. S. Muhammad, "Prinsip Kerja H-Bridge". 1 Nopember 2012, <http://inirobot.blogspot.com/2011/10/pengenalan-h-bridge.html>