

## Perancangan Sistem Penggerak pada Sepeda Listrik Hasil Modifikasi Sepeda Konvensional

Lovely Son dan Meifal Rusli

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas  
Kampus Limau Manis, Padang 25163, Indonesia  
E-mail: lovelyson@ft.unand.ac.id

### Abstrak

Krisis energi yang terjadi saat ini menyebabkan perlunya penghematan penggunaan bahan bakar minyak (BBM) pada semua aspek kehidupan tidak terkecuali pada sektor transportasi. Sepeda merupakan salah satu alat transportasi alternatif yang dapat digunakan untuk mendukung program penghematan energi ini.

Dewasa ini, penggunaan sepeda sebagai alat transportasi masih belum berkembang dalam masyarakat karena adanya beberapa keterbatasan seperti jarak tempuh yang pendek, kecepatan yang relatif lambat dan belum adanya regulasi pemerintah tentang jalur khusus bagi pengendara sepeda. Meskipun demikian, tidak dapat dipungkiri bahwa isu yang berkembang dewasa ini seperti kemacetan, bahan bakar yang ramah lingkungan dan lain sebagainya menyebabkan penggunaan sepeda sebagai alat transportasi menjadi alternatif yang cukup menjanjikan.

Untuk meningkatkan kecepatan dan jarak tempuh sepeda konvensional diperlukan energi tambahan dari luar yang berasal dari motor listrik. Pada penelitian ini dilakukan modifikasi sepeda konvensional menjadi sepeda listrik dengan cara penambahan komponen penggerak berupa motor listrik dan sistem transmisi tambahan berupa sproket dan rantai yang menghubungkan motor listrik dengan sproket yang terdapat pada pedal sepeda konvensional.

Perancangan motor penggerak dan sistem transmisi sepeda listrik hasil modifikasi ini dilakukan dengan cara menghitung seluruh gaya yang dibutuhkan untuk menggerakkan sepeda seperti gaya akibat beban angin, gaya tahanan roling dan gaya beban gravitasi. Dari perhitungan gaya-gaya tersebut selanjutnya dihitung daya yang dibutuhkan oleh motor listrik untuk menjalankan sepeda pada kecepatan tertentu. Untuk mendapatkan torsi yang cukup besar pada kondisi jalan menanjak maka dibutuhkan suatu sistem transmisi roda gigi yang berfungsi mengurangi kecepatan sepeda dan sekaligus menaikkan torsi penggerak yang dihasilkan motor listrik.

Dari hasil simulasi terlihat bahwa daya yang diperlukan untuk mengatasi beban gravitasi cukup dominan dibandingkan dengan daya lainnya. Lebih jauh lagi, perubahan sudut tanjakan dari  $0^\circ$  menjadi  $5^\circ$  membutuhkan daya tambahan yang digunakan untuk mengatasi beban gravitasi pada kecepatan 5 km/jam sebesar 100 Watt. Pada hasil simulasi juga terlihat bahwa hubungan antara kecepatan sepeda terhadap daya yang digunakan untuk menggerakkan sepeda mengikuti fungsi kubik (polynomial orde-3).

**Keywords:** sepeda listrik, krisis energi, penggerak, motor listrik, transmisi

### Pendahuluan

Krisis BBM yang terjadi di dalam negeri mendorong upaya-upaya pemanfaatan sumber energi lain di luar BBM. Salah satu langkah yang bisa digunakan untuk mendukung program ini adalah dengan penggunaan kendaraan listrik sebagai salah satu alternatif alat transportasi.

Sepeda listrik merupakan kendaraan listrik roda dua

yang digerakkan oleh motor listrik. Beberapa alasan yang mendukung penggunaan sepeda listrik adalah perjalanan lebih efisien dan mobilitas lebih tinggi. Dalam kondisi macet, sepeda listrik dapat lolos dari jebakan macet melalui jalan yang sempit atau lewat di sela-sela kendaraan besar lainnya. Hal ini sangat bertolak belakang jika menggunakan angkutan umum atau kendaraan roda empat lainnya yang akan memakan waktu lebih lama dan konsumsi bahan bakar yang lebih banyak.

Dari segi penggunaan energi, desain sepeda listrik yang tidak menggunakan BBM akan mengurangi biaya konsumsi BBM di dalam negeri. Di samping itu, polusi lingkungan yang disebabkan oleh asap emisi gas buang kendaraan dan kebisingan dari suara knalpot akan dapat dikurangi secara signifikan (Financial Times Information Limited, 1996). Lebih jauh lagi, pada kendaraan ini tidak diperlukan biaya perawatan untuk ganti oli, saringan udara, busi dan tune-up.

Sampai tahun 1998, tercatat sebanyak 49 jenis sepeda dan sepeda motor listrik yang berbeda di seluruh dunia. Produksi sepeda ini meningkat sebesar 35% dari tahun 1993 s/d 2004 (Fairley, P, 2005).

Pada umumnya tenaga penggerak pada sepeda listrik menggunakan listrik dengan kemampuan jelajah terbatas, sekitar 40-60 km untuk setiap pengisian baterai (Johnson, T, 2007). Hal ini sudah mencukupi untuk mendukung aktivitas keseharian masyarakat. Selanjutnya dengan kecepatan terbatas, resiko kecelakaan di jalan raya dapat dikurangi.

Dengan hanya menggunakan baterai berupa aki kering yang dapat diisi kembali saat baterai kosong, sepeda listrik dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan setiap hari. Sama halnya dengan sebuah handphone, daya listrik yang dibutuhkan untuk mengisi ulang baterai pada sepeda listrik sangat kecil.

Dewasa ini, sejumlah pabrik otomotif telah mengembangkan kendaraan berbahan bakar listrik (<http://www.erookit.net/>, BionX website) tak terkecuali sepeda listrik. Kendaraan roda dua bertenaga listrik ini semakin populer di Jepang, China, serta negara-negara di Amerika dan Eropa. Kehadiran sepeda dan sepeda motor listrik pun sudah mulai dirasakan beberapa kalangan masyarakat Indonesia.

Pada penelitian ini, dilakukan perancangan sistem penggerak dan sistem transmisi sepeda listrik hasil modifikasi sepeda konvensional. Dalam hal ini, suatu mekanisme penggerak tambahan menggunakan motor listrik dan sistem transmisi ditambahkan pada sepeda konvensional sehingga sepeda dapat digerakkan menggunakan penggerak motor listrik.

Untuk perancangan sistem penggerak dan sistem transmisi tambahan ini, diperlukan informasi tentang daya serta torsi minimum yang diperlukan untuk menggerakkan sepeda. Hasil perhitungan daya serta torsi ini selanjutnya dapat digunakan sebagai pedoman dalam pemilihan motor penggerak dan sistem transmisi tambahan pada sepeda listrik.

## Perancangan Motor dan Sistem Transmisi

Untuk menentukan daya motor penggerak pada sepeda listrik, dibutuhkan informasi tentang seluruh gaya yang harus diatasi oleh sebuah sepeda selama beroperasi. Gaya-gaya tersebut adalah:

### 1. Tahanan akibat beban angin

Pada saat sepeda melaju dengan kecepatan tertentu, gerak sepeda mengalami perlambatan yang disebabkan oleh gaya aerodinamis yang berasal dari tahanan angin. Secara matematis, harga tahanan angin ini diberikan oleh

$$F_w = \frac{1}{2} AC_w \rho v^2 \quad (1)$$

Dimana  $A$ ,  $C_w$ ,  $\rho$ , dan  $v$  masing masing menyatakan luas penampang depan, koefisien tahanan angin, massa jenis udara dan kecepatan sepeda.

### 2. Tahanan roling

Gaya tahanan yang terjadi pada sepeda akibat gesekan yang terjadi antara roda dengan permukaan jalan dinyatakan oleh gaya tahanan roling

$$F_r = mgC_r \quad (2)$$

Pada Pers.(2) di atas  $m$ ,  $g$  dan  $C_r$  merupakan massa sepeda+penumpang, konstanta gravitasi dan koefisien tahanan rolling.

### 3. Tahanan akibat gaya gravitasi

Dalam kondisi jalan datar, tahanan akibat gaya gravitasi tidak muncul. Akan tetapi dalam kondisi jalan mendaki pada tanjakan, gaya tahanan gravitasi akan muncul dan harganya diberikan oleh

$$F_g = mg \sin \theta \quad (3)$$

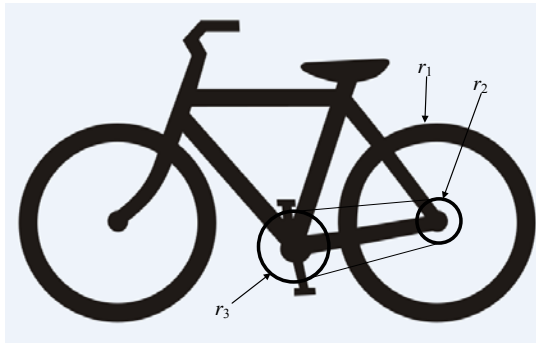
Variabel  $\theta$  pada Pers.(3) merupakan sudut tanjakan pada jalan.

Daya penggerak yang digunakan untuk mengatasi beban angin, beban tahanan rolling dan beban akibat gaya gravitasi merupakan hasil kali antara penjumlahan seluruh gaya yang bekerja pada sepeda dengan kecepatan sepeda yaitu

$$P = (F_w + F_r + F_g)v \quad (4)$$

Sepeda listrik hasil modifikasi dirancang menggunakan rangka sepeda konvensional dengan penambahan motor listrik dan sistem transmisi. Dalam hal ini motor listrik yang ditambahkan berfungsi untuk

memutar pedal sepeda konvensional sehingga sepeda dapat bergerak dari energi yang berasal dari motor listrik. Dalam perancangan rasio reduksi dari sistem transmisi, diperlukan informasi tentang kecepatan putar pedal untuk suatu harga kecepatan sepeda yang diinginkan. Pada Gambar 1 diperlihatkan skema sebuah sepeda konvensional. Harga  $r_1$ ,  $r_2$ , dan  $r_3$  berturut-turut merupakan jari-jari roda belakang, jari-jari sproket belakang dan jari-jari sproket depan.



Gambar 1 Parameter perhitungan kecepatan putar pedal

Dari Gambar 1 terlihat bahwa roda belakang sepeda dan sproket belakang mempunyai sumbu putar yang sama sehingga diperoleh hubungan

$$\omega_1 = \omega_2 \tag{5}$$

atau

$$\frac{v_1}{r_1} = \omega_2 \tag{6}$$

Dari hubungan kecepatan tangensial pada sproket depan dan sproket belakang diperoleh

$$v_2 = v_3$$

$$v_1 \frac{r_2}{r_1} = \omega_3 r_3 \tag{7}$$

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada Pers.(7), kecepatan putar pedal sepeda selanjutnya dihitung dari

$$\omega_3 = \left( \frac{v_1}{r_1} \right) \left( \frac{r_2}{r_3} \right) \tag{8}$$

Selanjutnya kecepatan putar pedal sepeda dalam satuan rpm diberikan oleh

$$n_3 = \frac{60\omega_3}{2\pi} \tag{9}$$

Torsi yang dihasilkan oleh motor digunakan untuk mengatasi seluruh gaya tahanan pada sepeda. Harga torsi yang dihasilkan oleh motor ini diberikan oleh

$$T = \frac{P}{\omega} \tag{10}$$

Torsi pada poros roda belakang selanjutnya dihitung dari daya motor dan kecepatan sudut roda belakang yaitu

$$T_1 = \frac{P}{\omega_1} \tag{11}$$

Dengan cara yang sama dengan Pers.(11), torsi pada poros pedal dihitung berdasarkan rumus berikut

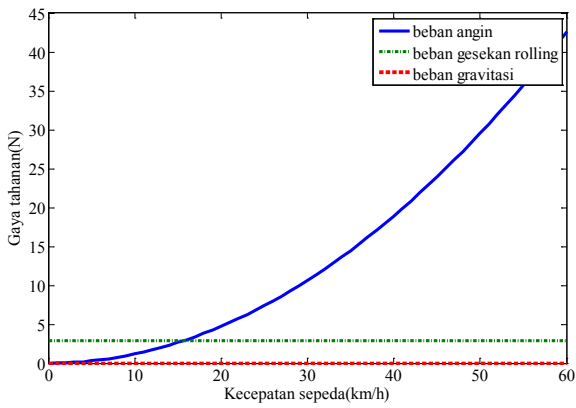
$$T_3 = \frac{P}{\omega_3} \tag{12}$$

**Hasil dan Pembahasan**

Perhitungan daya motor serta kecepatan putar pedal pada sepeda listrik menggunakan data-data seperti ditampilkan pada Tabel 1 berikut:

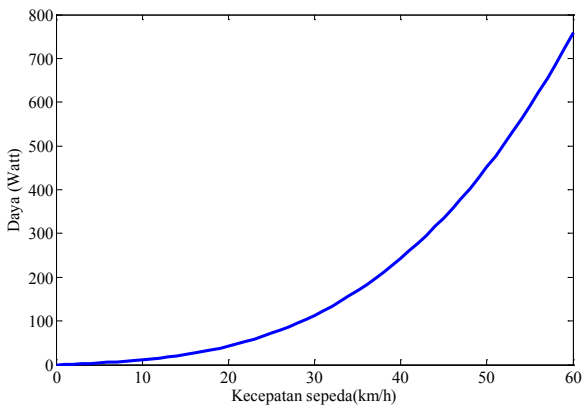
Tabel 1	
Variabel	Harga
Luas penampang depan (A)	0.5 m <sup>2</sup>
Koefisien tahanan angin (C <sub>w</sub> )	0.5
Kerapatan udara(ρ)	1.226 kg/m <sup>3</sup>
Massa pengendara+sepeda(m)	75 kg
Koefisien rolling(C <sub>r</sub> )	0.004
Jari-jari	
r <sub>1</sub>	0.32 m
r <sub>2</sub>	0.05 m
r <sub>3</sub>	0.09m

Hubungan gaya-gaya yang bekerja pada sepeda terhadap kecepatan sepeda pada kondisi sudut tanjakan 0° diperlihatkan pada Gambar 2. Pada Gambar 2 ini terlihat bahwa gaya akibat tahanan angin mengikuti fungsi kuadrat dari kecepatan sepeda sedangkan gaya akibat beban gravitasi dan tahanan roling tidak berubah terhadap perubahan kecepatan sepeda.



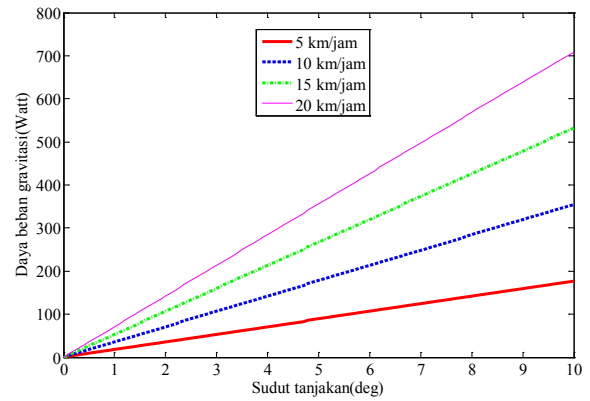
Gambar 2 Gaya-gaya yang bekerja pada sudut tanjakan 0°

Hubungan antara daya dan kecepatan sepeda untuk sudut tanjakan 0° diperlihatkan pada Gambar 2. Dari Gambar 3 ini terlihat bahwa untuk berjalan dengan kecepatan konstan 20 km/jam dibutuhkan daya kurang dari 50 Watt.



Gambar 3 Hubungan daya dan kecepatan sepeda untuk sudut tanjakan 0°

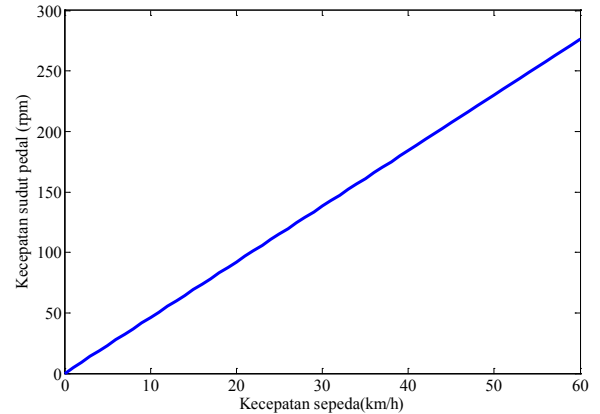
Hubungan antara daya beban gravitasi terhadap sudut tanjakan untuk beberapa kecepatan sepeda ditampilkan pada Gambar 4. Hasil yang diperoleh pada Gambar 4 ini menunjukkan bahwa peningkatan sudut tanjakan sangat dominan mempengaruhi daya motor. Dari grafik yang ditampilkan pada Gambar 4 ini terlihat bahwa hubungan daya beban gravitasi dengan sudut tanjakan mengikuti fungsi linier.



Gambar 4 Hubungan daya beban gravitasi terhadap sudut tanjakan

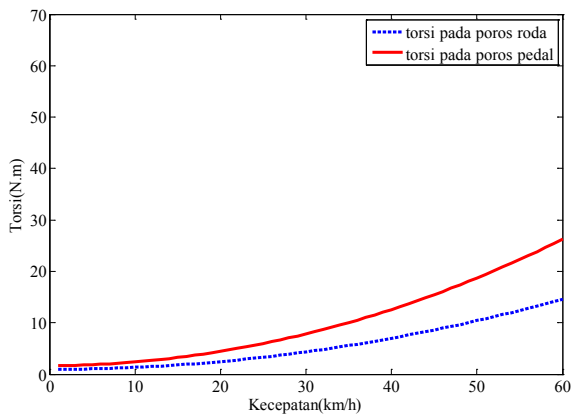
Perbandingan kecepatan putar pedal terhadap kecepatan sepeda ditampilkan pada Gambar 5. Pada Gambar 5 ini dapat dilihat bahwa untuk mendapatkan kecepatan sepeda sebesar 20 km/jam dibutuhkan kecepatan putar pedal sekitar 100 rpm. Jika digunakan motor dengan putaran sebesar 1500 rpm maka rasio reduksi roda gigi yang dibutuhkan dapat dihitung dari:

$$i = \frac{1500}{100} = 15 \tag{13}$$



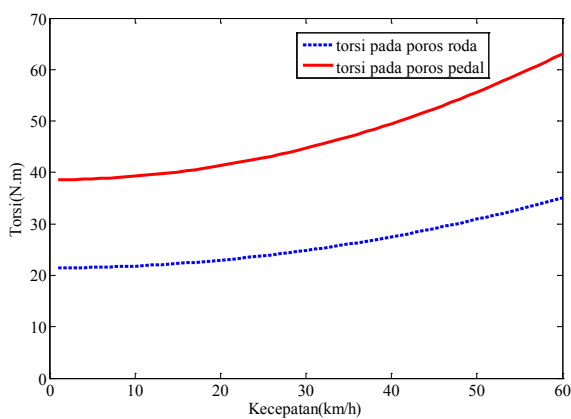
Gambar 5 Hubungan kecepatan sepeda dengan kecepatan sudut pedal

Pada Gambar 6 ditampilkan hubungan antara kecepatan sepeda dan torsi pada kondisi sudut tanjakan 0°. Dari Gambar 6 ini terlihat bahwa torsi pada poros pedal berharga hampir dua kali torsi pada poros roda.



Gambar 6 Hubungan kecepatan sepeda dengan Torsi pada sudut tanjakan  $0^\circ$

Hubungan antara kecepatan dan torsi sepeda pada kondisi sudut tanjakan  $5^\circ$  diperlihatkan pada Gambar 7. Jika dibandingkan dengan hasil pada Gambar 6 maka dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan harga torsi yang cukup besar jika sudut tanjakan berubah dari  $0^\circ$  menjadi  $5^\circ$ .



Gambar 7 Hubungan kecepatan sepeda dengan Torsi pada sudut tanjakan  $5^\circ$

Selanjutnya dari Gambar 7 juga terlihat bahwa untuk mendapatkan kecepatan sepeda sebesar 20 km/jam pada sudut tanjakan  $5^\circ$ , dibutuhkan torsi pada poros pedal sebesar 40 Nm.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Daya yang diperlukan untuk mengatasi beban gravitasi cukup dominan dibandingkan dengan daya lainnya.
2. Daya motor yang dibutuhkan untuk menjalankan sepeda pada sudut tanjakan  $0^\circ$  dengan kecepatan konstan 20 km/jam kurang dari 50 Watt.

3. Daya yang diperlukan untuk menjalankan sepeda pada sudut tanjakan  $5^\circ$  dengan kecepatan 5 km/jam adalah sebesar 100 Watt.
4. Jika digunakan motor listrik dengan kecepatan putar 1500 rpm maka rasio reduksi sistem transmisi yang digunakan untuk menjalankan sepeda pada kecepatan 20 km/jam adalah sebesar  $i = 15$ .
5. Harga torsi statis yang dibutuhkan pada pedal sepeda untuk mengatasi beban gravitasi pada sudut tanjakan  $5^\circ$  adalah sebesar 40 Nm.

## Ucapan Terima kasih

Penelitian ini didanai dari penelitian Mandiri Fakultas Teknik Universitas Andalas tahun 2012. Atas bantuan dana ini penulis mengucapkan terima kasih banyak.

## Nomenklatur

- A Luas penampang depan sepeda+pengendara ( $m^2$ )
- $C_w$  Konstanta tahanan angin
- $F_w$  Gaya tahanan angin (N)
- $m$  Massa sepeda+pengendara (kg)
- $g$  Konstanta gravitasi ( $ms^{-2}$ )
- $C_r$  Koefisien tahanan roling
- $F_r$  Gaya tahanan roling(N)
- $F_g$  Gaya tahanan gravitasi(N)
- $P$  Daya (Watt)
- $v$  Kecepatan sepeda( $m s^{-1}$ )
- $T_1$  Torsi pada poros roda belakang (Nm)
- $T_3$  Torsi pada poros pedal (Nm)
- $i$  Rasio reduksi sistem transmisi
- $r_1$  Jari-jari roda belakang (m)
- $r_2$  Jari-jari sproket belakang(m)
- $r_3$  Jari-jari sproket depan(m)

## Huruf Yunani

- $\rho$  Kerapatan udara ( $kg m^{-3}$ )
- $\omega$  Kecepatan sudut ( $rad s^{-1}$ )
- $\theta$  Sudut tanjakan pada jalan(deg)

## Referensi

- “Exhaustive effort to cut vehicle emissions”, *China Business Information Network*, pg. 1, via Financial Times Information Limited (1996).
- Fairley, P, "China's Cyclists Take Charge", *IEEE Spectrum*(2005)
- Johnson, T, "Cheap and green, electric bikes are the rage in China", *McClatchy Newspapers*(2007).
- "Europe's latest craze electric bikes", *Associated Press*(2008).
- <http://www.erookit.net/> BionX website