

Simulation Characteristics Continuous Variable Transmission of Motor Cycle using Torque Control Based Fuzzy Logic

Ary Subagia¹, Adi Atmika¹

Abstract — CVT is gear less transmission that was implemented on the motor cycle, it is purpose to increase handling of vehicle. In this case, gear less transmission developed by traction control using the fuzzy logic controller from the Mat-Lab soft wear. It modelled by simulation with gear ratio, speed, and traction toward acceleration (a), time (t), distance (s), and grade ability (G). The conclusion, the characteristic of torque control on gear less transmission of vehicle was increase handling toward acceleration (a), time (t), distance (s), and grade ability (G).

Keywords — Simulation, CVT, Motor cycle, Torque, Logic fuzzy

PENDAHULUAN

Inovasi teknologi otomotif khususnya sepeda motor tidak pernah berhenti dilakukan, untuk menciptakan kendaraan yang smart yaitu stabil, nyaman, dan mudah dalam pengendalian. Salah satu peningkatan kualitas pengendalian kendaraan roda dua dilakukan dengan mengaplikasikan sistem transmisi tanpa gigi (*gear less*). Sistem ini dikenal dengan *Continuous Variable Transmission* (CVT). Kemajuan teknologi telah banyak dilakukan perbaikan terhadap kinerja pengendalian kendaraan dengan CVT. Dengan kemajuan teknologi pada saat sekarang ini, dalam peningkatan pengendalian kendaraan sistem transmisi CVT telah dilengkapi dengan komponen pengatur torsi, guna mengendalikan dan meminimalisasi slip yang terjadi pada roda. Penambahan komponen tersebut telah memberikan peningkatan kinerja traksi kendaraan.

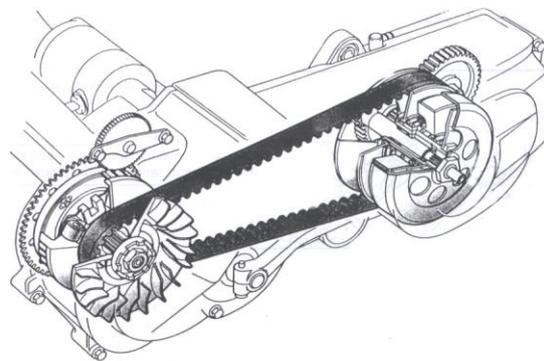
Secara teoritik dan eksperimental pengendalian traksi dengan mempergunakan sistem transmisi gear less didasarkan pada tingkat dan ratio transmisi terhadap kulitas dan jenis hambatan yang harus dilawan oleh gaya dorong kendaraan. Pengembangan dan peningkatan kinerja traksi saat sekarang ini belum dilakukan secara simultan terintegrasi terhadap komponen – komponen hambatan yang ada, dan masih dilakukan secara parsial, antara satu variable.

Didasari atas hal tersebut di atas, sepeda motor kenyataannya menggunakan roda belakang sebagai penggerak. Sehingga untuk dapat menjelaskan karakteristik sistem transmisi gear less dengan kontrol

traksi, menggunakan metode simulasi dengan pengendali logic fuzzy yang tersedia pada perangkat lunak mat-lab dalam pemodelan pengendalian traksi. Pengujian dilakukan dengan variasi gaya normal roda yang dipengaruhi oleh dinamika kendaraan, dan kecepatan akselerasi kendaraan. Penentuan karakteristik sistem transmisi gearless dengan kontrol traksi ditentukan terhadap percepatan (a), waktu (t), jarak (S) dan kemampuan tanjakan (*Gradability*).

METODE PENELITIAN

Sistem dan Model Transmisi Otomatis CVT. Sistem transmisi otomatis ini banyak digunakan pada sepeda motor jenis scooter dan dikenal dengan nama CVT (*continuously variable transmission*) yang merupakan sistem transmisi baru tanpa gigi. Bentuk dan konstruksi dari sistem transmisi kendaraan ini sangat kompak dan sederhana dibandingkan dengan sistem transmisi lainnya, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. transmisi CVT sepeda motor

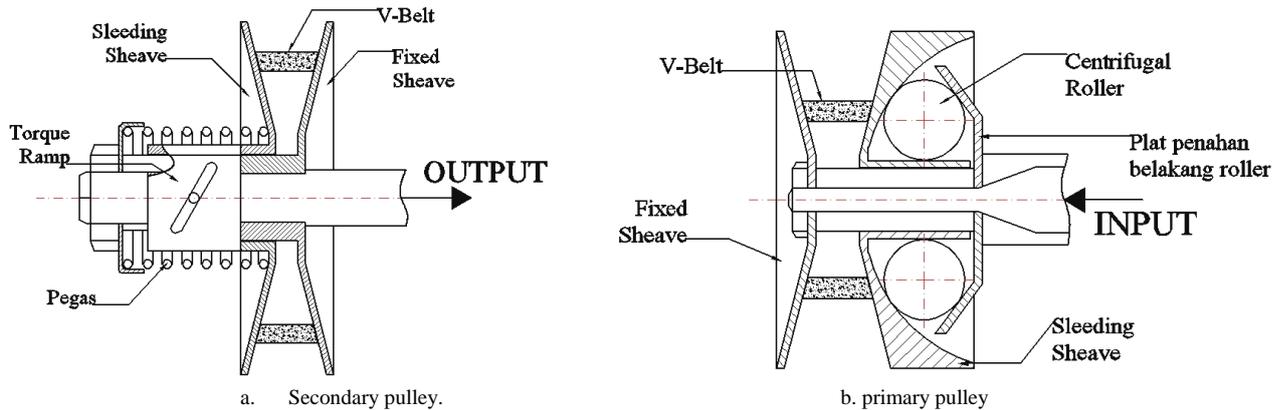
Pada sepeda motor, sistem CVT yang digunakan terdiri dari puli primer (*driver pulley*) dan puli sekunder (*driven Pulley*) yang dihubungkan dengan V-belt. Pada puli primer terdapat *speed governor* yang berperan merubah besar kecilnya diameter dari puli primer, dan dalam *speed governor* ini terdapat 6 buah *roller* sentrifugal yang akan mendapat gaya sentrifugal akibat putaran poros dari *crankshaft* sehingga *roller* sentrifugal akan terlempar keluar dan menekan bagian dalam salah satu sisi puli yang dapat bergeser (*sliding sheave*) ke arah sisi puli tetap (*fixed sheave*) sehingga diameter dari puli semakin besar. Besar kecilnya gaya tekan *roller* sentrifugal terhadap *sliding sheave* ini berbanding lurus dengan berat *roller sentrifugal* dan putaran mesin. Semakin tinggi putaran mesin semakin

Naskah diterima pada tanggal 16 Juli 2007, selesai revisi pada tanggal 29 Januari 2009

¹ Ary Subagia dan Adi Atmika adalah dosen jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bali, INDONESIA
E-mail : arsubmt@me.unud.ac.id

besar pula gaya dorong dari roller sentrifugal terhadap *sliding sheave* sehingga semakin besar juga diameter dari puli primer tersebut. Sedangkan pada puli sekunder pergerakan puli diakibatkan oleh tekanan pe-

gas, puli sekunder ini hanya mengikuti gerakan sebaliknya dari puli primer, jika puli primer membesar maka puli sekunder akan mengecil, begitu sebaliknya seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Pulley primer dan pulley sekunder system CVT

Ketika mesin berputar pada roller sentrifugal bekerja gaya sentrifugal yang menekan *sliding sheave* (F_{cl}) driver puli yang terlihat pada Gambar 3, dirumuskan sebagai berikut :

$$F_{cl} = \frac{m\gamma_m\omega^2}{\left(\frac{\cos \gamma + \mu_c \sin \gamma}{\sin \gamma - \mu_c \cos \gamma}\right) + \left(\frac{\sin \delta + \mu_b \sin \delta}{\cos \delta - \mu_b \sin \delta}\right)} \quad (1)$$

Dimana; F_{cl} = gaya axial pada *sliding sheave* driver puli yang disebabkan oleh roller sentrifugal, m = total massa dari roller sentrifugal (kg), γ_m = jarak antara titik pusat roller dan sumbu poros, ω = kecepatan sudut masukan (rad/s), μ_b = koefisien gesek antara roller dan plat penahan belakang roller, μ_c = koefisien gesek antara roller dengan rumah roller sentrifugal, δ = sudut yang terbentuk antara plat penahan belakang roller dengan garis sumbu poros ($^\circ$), γ = sudut yang terbentuk antara garis axial dan titik singgung antara roller dan rumah ($^\circ$).

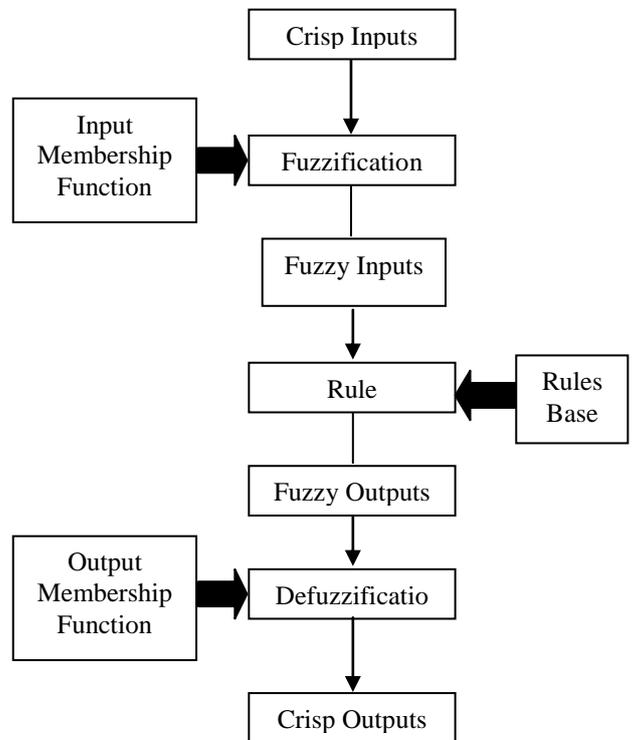
Pengendali Logika Fuzzy. Pada teori himpunan fuzzy memungkinkan derajat keanggotaan (*member of degree*) suatu objek dalam suatu himpunan dinyatakan dalam interval antara “0” dan “1” atau [0 1]. Himpunan fuzzy F dalam semesta X biasanya dinyatakan sebagai pasangan berurutan dari elemen x dan mempunyai derajat keanggotaan [1]:

$$F = \{(x, \mu_F(x)) \mid x \in X\} \quad (2)$$

dengan F : notasi himpunan fuzzy, X : semesta pembicaraan, x : elemen generik dari X, dan $\mu_F(x)$: derajat keanggotaan dari x. Fungsi keanggotaan (*membership function*) dari himpunan fuzzy dapat disajikan dalam bentuk gabungan derajat keanggotaan tiap-tiap elemen pada semesta pembicaraan.

$$F = \sum \mu_F(u_i) / u_i \quad (3)$$

Secara terstruktur ditunjukkan dalam diagram blok seperti Gambar 3.



Gambar 3. Diagram blok pengendali kontrol fuzzy

Fuzzifikasi merupakan suatu proses untuk mengubah suatu peubah masukan dari bentuk tegas (*crisp*) menjadi peubah fuzzy (*variable linguistik*) yang biasanya disajikan dalam bentuk himpunan himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaannya masing-masing.

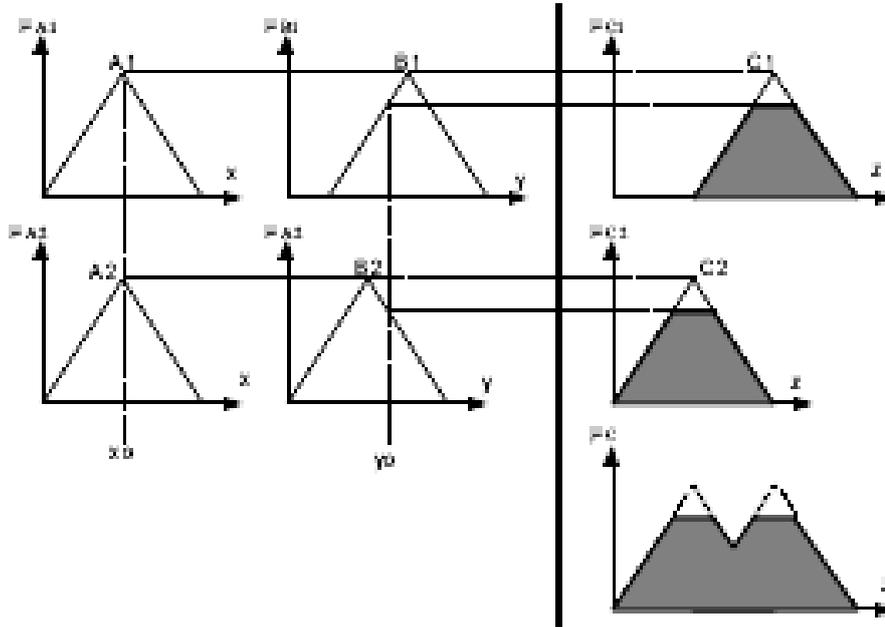
Evaluasi aturan merupakan proses pengambilan keputusan (*inference*) yang berdasarkan aturan-aturan yang ditetapkan pada basis aturan (*rules base*) untuk menghubungkan antar peubah-peubah fuzzy masukan dan peubah fuzzy keluaran. Aturan-aturan ini berbentuk jika ... maka (*IF ... THEN*).

Jamsidi Mochamad, dkk [2], Teknik pengambilan keputusan yang digunakan adalah metode max-min. Pada metode max-min, pengambilan keputusan didasarkan pada aturan operasi menurut Mamdani. Keputusan yang diambil berdasarkan aturan ke i dapat di-

nyatakan dengan $\mu_C(z)$, sehingga keanggotaan C adalah titik yang diberikan oleh:

$$\mu_C(z) = (\mu_1 \cup \mu_2) \cup \dots \cup \mu_n(z) \text{ atau } \mu_C(z) = \max\{\min(\mu_1(z), \mu_2(z)), \dots, \min(\mu_n(z))\}.$$

keputusan MAX-MIN dapat dilukiskan seperti pada Gambar 4. Defuzzifikasi merupakan proses perubahan besaran fuzzy yang disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan fuzzy keluaran dengan fungsi keanggotaannya untuk mendapatkan kembali bentuk tegasnya.



Gambar 4. Metode Max-Min

Metode penelitian menggunakan simulasi komputer fuzzy logic – Mamdani dari perangkat lunak Mat-Lab 7.0, yang blok diagramnya ditunjukkan seperti Gambar 3. Pemodelan simulasi ditunjukkan dengan aturan sebagai berikut;

If x is A and y is B Then Z is C (4)

dimana; pengendali input-1 (x), variabel pengendali input-2 (y), variabel pengendali output (z). variabel ukur input 1 (A), variabel ukur input 2 (B), variabel ukur output (C). Blok diagram simulasi ditunjukkan seperti Gambar 3.

Blok Simulasi. Pemodelan simulasi ditunjukkan dengan aturan sebagai berikut;

If (Gear ratio is rendah) and (kecepatan is lambat) Then (Traksi is besar)

If (Gear ratio is menengah) and (kecepatan is tinggi) Then (Traksi is sedang)

If (Gear ratio is terhubung langsung) and (kecepatan is sangat tinggi) Then (Traksi is kecil)

Blok diagram simulasi ditunjukkan seperti Gambar 5.

Pemodelan CVT. Untuk memindahkan daya dari putaran mesin ke roda diperlukan mekanisme sistem transmisi. Dengan didasarkan pada model sistem transmisi yang ditunjukkan pada Gambar 6.

Matematik Model. Rumus yang menjelaskan terhadap Rasio gear less;

$$i_t = \frac{r_o - x_i}{\tan \alpha} \quad (5)$$

$$r_i + \frac{x_i}{\tan \alpha}$$

dimana; i_t : Transmissi rasio, x_i : longitudinal displacement of pulley, r_o : Base radius of out put pulley, α : Groove angle of pulley, r_i : Base radius of in put pulley

Gaya dorong pada roda yang ditransmisikan dari torsi mesin kendaraan dirumuskan :

$$F_i = \frac{M_{e(n)} \cdot i_t \cdot i_d}{r} \eta_t \quad (6)$$

dimana; $M_{e(n)}$:Torsi mesin sebagai fungsi kecepatan, i_d : perbandingan differensial, r : radius roda, η_t : efisiensi transmisi

Pengendalian perpindahan pulley (x_i) secara bertingkat

$$X_i = \left(\frac{r_o - i_t \cdot r_i}{i_t + 1} \right) \tan \alpha \quad (7)$$

Karakteristik CVT; diperhitungkan

$$F_i(V) = 0.3768 \frac{M_{e(v)} \cdot n_e \cdot (1-s)}{V \cdot i_d} \eta_t, \quad (8)$$

$$i_t(V) = 0.3768 \frac{n_e \cdot r \cdot (1-s)}{V \cdot i_d}, \quad (9)$$

$$X_i(V) = \frac{r_o \cdot V \cdot i_d - 0.3768 \cdot n_e \cdot r \cdot (1-s) \cdot r_i}{0.3768 \cdot n_e \cdot r \cdot (1-s) + V \cdot i_d} \quad (10)$$

harga aerodinamik resistance dan rolling resistance yang diterima sistem:

$$R_a = 0,5 \cdot \rho \cdot C_D \cdot A_f \cdot V_a^2 \quad (11)$$

Sutantra [3], mendefinisikan bahwa parameter karakteristik transmisi untuk menaikkan tingkat transmisi terhadap kecepatan kendaraan digunakan persamaan matematik sebagai berikut;

Percepatan :

$$a = \frac{F - R_a - R_r}{\gamma_m \cdot m}, \gamma_m = 1,04 + 0,0025(i_0)^2 \quad (12)$$

Waktu :

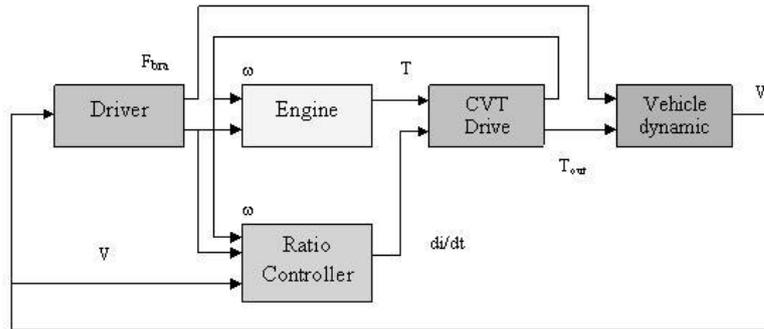
$$F - R_a - R_r = \gamma_m \cdot m \cdot a = \gamma_m \cdot \frac{dV}{dt}, t = \gamma_m \cdot m \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{F_{net}(V)} \quad (13)$$

Gradability :

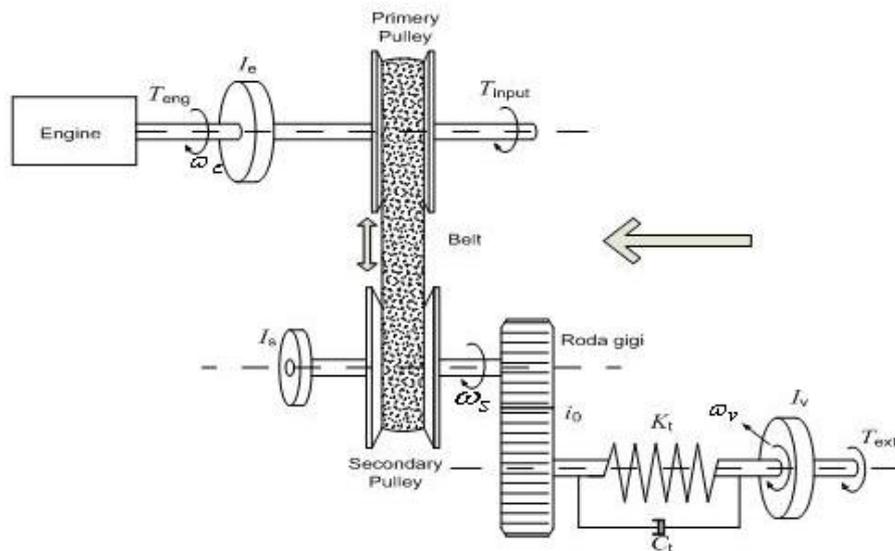
$$G = \frac{F - R_a - R_r}{m \cdot g} = \frac{m \cdot g \cdot \sin\theta_s}{m \cdot g} = \sin\theta_s \quad (14)$$

Dimana; m = massa total kendaraan, R_a = hambatan aerodinamis, R_r = hambatan rolling pada roda, $\gamma_m = 1,04 + (0,0025 \cdot i_0)$, i_0 = Perbandingan putaran roda penggerak.

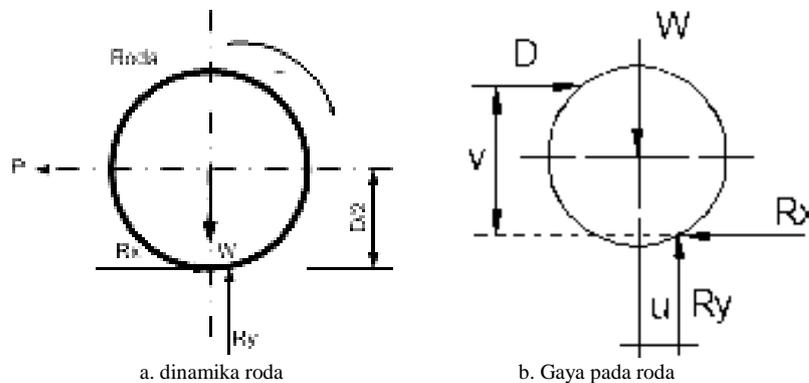
Gaya-Gaya pada Roda Penggerak. Gaya aksi dan reaksi pada roda, hanya akan bergerak jika momen dapat mengatasi semua momen yang melawan gerakannya. Gaya P di roda akan bergerak dengan titik gelinding di A ditunjukkan seperti Gambar 7.



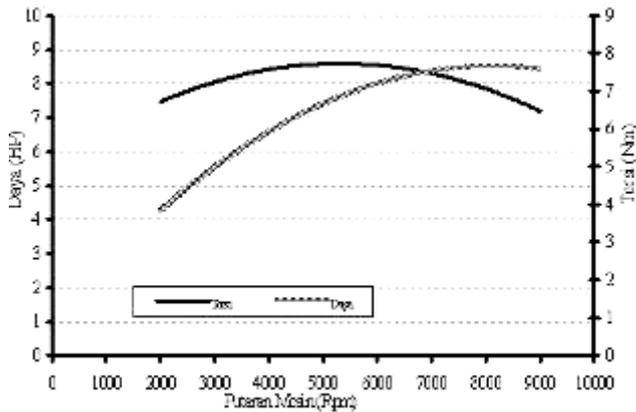
Gambar 5. Blok diagram simulasi



Gambar 6. Mekanisme system CVT



Gambar 7. Skematik dinamika dan traksi roda



Gambar 8. Karakteristik daya mesin sepeda motor.

Dimana; W adalah gaya berat total pada roda, R_x dan R_y ; komponen gaya reaksi jalan.

Maka keseimbangan pada kondisi bergerak dinyatakan dengan persamaan:

$$\sum M_A = 0 \quad (15)$$

$$\frac{P \cdot D}{2} + W \cdot u = T = \frac{Q \cdot D}{2}$$

$$P = Q - W \cdot \frac{2u}{D}$$

$$\sum F_y = W - R_y = 0$$

$$\sum F_x = P - R_x = 0$$

$$\sum M_A = P \cdot v - W \cdot u$$

PEMBAHASAN

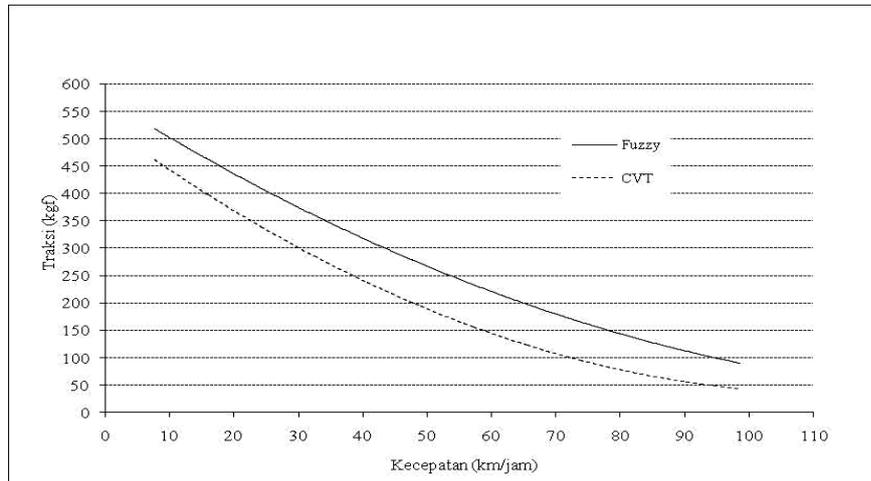
Secara umum kinerja kendaraan adalah ditentukan berdasarkan pada kinerja traksi yang dimiliki oleh setiap kendaraan baik pada kondisi tanpa beban dan dengan beban, dan atau pada kondisi jalan datar dan menanjak. Sebagaimana di jelaskan oleh sutantra [3], dalam kajiannya menyatakan bahwa kemampuan kendaraan untuk melakukan serta mengangkut beban pada dasarnya adalah kemampuan kendaraan dalam melawan setiap hambatan yang terjadi disekitarnya. Kemampuan tersebut sangat dipengaruhi oleh kemampuan mesin kendaraan, pemilihan tingkat dan rasio transmisi, serta jenis transmisi. Dari hasil kajian yang dilakukan oleh peneliti dalam hal ini merujuk pada karakteristik torsi yang dihasilkan oleh mesin maka gaya dorong yang diperlukan oleh kendaraan, menurut karakteristik engine hasil pengujian chasis dynamometer ditunjukkan pada Gambar 8. Adapun hasil yang didapatkan daya mesin terendah kendaraan model adalah sebesar 4,4 Hp dan torsi minimum sebesar 6.8 Nm. Sedangkan daya maksimum adalah sebesar 8.9 Hp dengan torsi maksimum sebesar 7.8 Nm, yang terjadi pada putaran sebesar 7000 rpm.

Selanjutnya dalam mencapai kinerja traksi yang optimal dari setiap kendaraan khususnya kendaraan roda dua, telah banyak dilakukan kajian terhadap berbagai parameter sebagaimana dilakukan oleh Ary Subagia dan Adi Atmika [4], pada penelitian sebelumnya yang menganalisa tentang karakteristik traksi sepeda motor (110cc, 4 takt) untuk sistem transmisi gear less, diha-

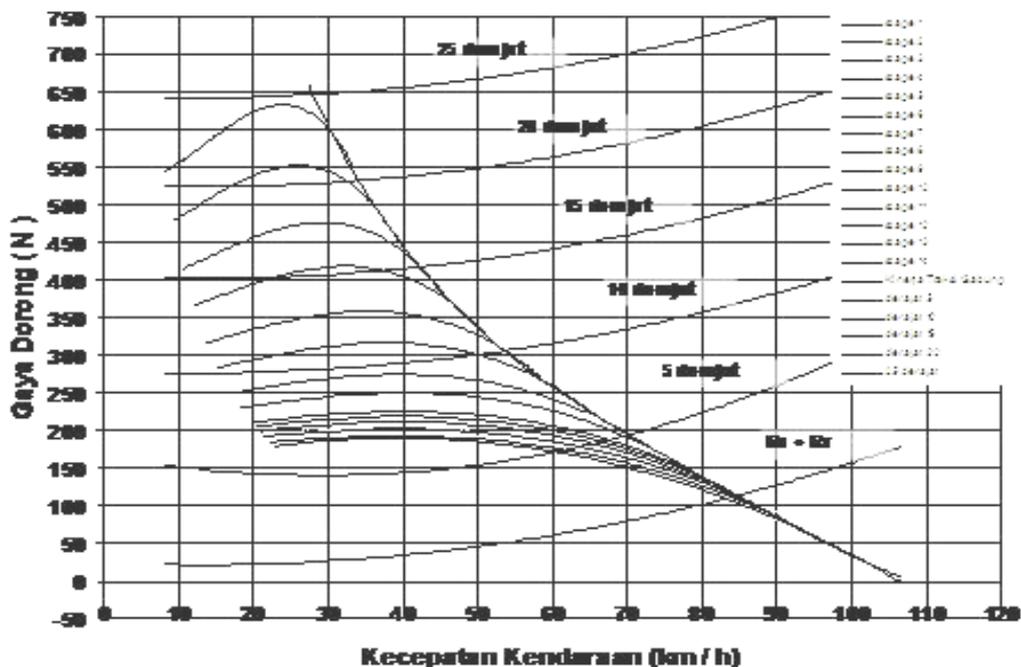
silkan karakteristik traksi roda penggerak berdasarkan rasio transmisi dan tingkat transmisi adalah yang lebih baik dan lebih responsive dibandingkan dengan sistim transmisi manual. Hasil yang dilakukan dibandingkan dengan penelitian diperoleh untuk sistim transmisi CVT dengan kontrol traksi lebih responsif karena tidak terjadi stagnasi daya yang mengakibatkan menurunnya daya kendaraan. Ary Subagia, Adi Atmika, Yus Rosadi [5], melalui penelitian pengaruh berat roller centrifugal terhadap kinerja traksi menyatakan traksi yang dihasilkan kendaraan meningkat secara linier terhadap berat roller, dan meningkatkan akselerasi kendaraan. Hal ini menunjukkan bahwa roll bearing mempengaruhi kinerja traksi dari kendaraan yang menggunakan CVT.

Sebagai hasil penelitian yang dilakukan pada kesempatan ini dihasilkan kinerja traksi dari kendaraan roda dua untuk sistem CVT dengan kontrol traksi pada seperti ditunjukkan pada gambar 9. Dari grafik yang dihasilkan dijelaskan bahwa traksi yang dihasilkan oleh kendaraan roda dua dengan kendali traksi cukup baik, hal ini dibuktikan dengan kemampuan dari pada sistem dalam melawan gaya hambat lebih besar dari CVT standart. Selanjutnya gaya perlawanan terhadap hambatan $R_a + R_r$ untuk sistem CVT dengan kontrol fuzzy masih mampu dilawan hingga pada kecepatan antara $V:60\text{km/jam}$ hingga $V: 80 \text{ km/jam}$, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 10.

Kinerja traksi dapat ditinjau dari faktor percepatan kendaraan (a): Sistim transmisi dengan kontrol torsi memiliki percepatan yang lebih baik dibanding sistim transmisi CVT, pada setiap kenaikan tingkat transmisi. Pada tingkat transmisi awal 20 km/jam sistim dengan kontrol torsi memiliki percepatan yang lebih tinggi yaitu $a = 9,728 \text{ rpm}$ dengan traksi maksimum sebesar 650 kgf. Dengan tingkat percepatan yang dimiliki memberikan kemampuan akselerasi yang baik saat mendahului maupun menanjak.; Waktu (t) tempuh kenaikan kecepatan: Waktu perpindahan tingkat transmisi CVT terkendali memiliki kemampuan yang sama baiknya dibandingkan transmisi CVT standart ditunjukkan pada gambar 11. Pada transmisi CVT terkendali torsi waktu yang dibutuhkan sangat pendek, dan hampir tidak ada waktu sela dalam perpindahan tingkat transmisi.; Jarak tempuh (S) menaikkan kecepatan: Jarak tempuh untuk menaikkan kecepatan dari ketiga sistim transmisi tersebut relative sama walaupun masih relative baik dalam jarak kenaikan kecepatan. Dengan kondisi ini maka cukup baik dalam manuver menyalip dan menanjak.; Sudut tanjakan (*gradability*): Perlawanan gaya hambat transmisi *gear less* terkendali torsi gaya hambat tanjakan setiap tingkat rasio gigi seperti ditunjukkan pada gambar 11. Kondisi menunjukkan bahwa traksi yang dimiliki oleh kendaraan dengan kontrol traksi mampu memanfaatkan daya dorong maksimal hingga tingkat rasio tertinggi dan dengan hambatan sangat kecil.



Gambar 9. Karakteristik transmisi otomatis antara CVT standart dan Fuzzy control



Gambar 10. Kinerja Traksi untuk kondisi jalan tanjakan

KESIMPULAN

Pengendalian traksi pada roda dua adalah sangat penting sebagai pengontrol kinerja kendaraan baik tanpa, dengan beban dan pada kondisi mendatar maupun menanjak. Penggunaan kontrol traksi pada sistim transmisi gear less memberikan efek yang sangat baik karena pengendalian rasio transmisi menjadi mudah untuk dilakukan, dan tingkat rasio transmisi yang dihasilkan lebih tinggi, serta kemampuan untuk melawan hambatan dapat dilakukan hingga pada kecepatan yang tinggi. Karakteristik sistim transmisi dengan kontrol traksi untuk percepatan (a), waktu (t), jarak (S) dan tanjakan (G) untuk melakukan peningkatan rasio transmisi dari tingkat rendah ke tingkat berikutnya adalah lebih kecil daripada yang dibutuhkan oleh sistim transmisi gear less dengan kontrol traksi dibandingkan transmisi gear less standart.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wahyudi, 2005. Implementasi Fuzzy Logic Controller pada system Pengereman Kereta Api, *Transmisi*, Vol. 10, No. 2, Desember 2005 : 9 – 13.2005.
- [2] Jamsidi Mohammad, Nader Vadiac and Timothy J Ross, 1993. *Fuzzy Logic and Control : Software and Hardware Applications*, Prentice Hall, Inc. New Jersey.
- [3] Sutantra I. N, 2001. *Teknologi Otomotif Teori dan Aplikasinya*. Guna Widya, Sby- Indonesia.
- [4] Ary Subagia, Adi Atmika, 2005. Analisa Karakteristik Traksi Pada sepeda Motor dengan Kontinyu Variabel Transmisi(CVT). 21-22 Nopember (SNTTM.IV) *Proc. ISBN: 979-97158-0-6*.
- [5] Ary Subagia, Adi Atmika, Yus Rosadi Imron, 2006. Pengaruh Berat Roller Centrifugal Pada sistim Transmisi Kontinyu variabel transmission Continously Variabel Transmissi (CVT) Terhadap Kinerja Traksi sepeda Motor. 21-23 Nopember, *Proc. ISBN:979-97726-8-0,SNTTM-V*.