

# Simulasi Model Matematis Kontrol Sistem Kontrol Traksi

Ian Hardianto Siahaan

Dosen Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Mesin - Universitas Kristen Petra

Email: [ian@peter.petra.ac.id](mailto:ian@peter.petra.ac.id)

I Nyoman Sutantra

Dosen Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Mesin - Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

## Abstrak

Sistem kontrol traksi merupakan salah satu produk teknologi yang berkembang saat ini dibidang otomotif dalam hal menjaga stabilitas suatu kendaraan. Penelitian di bidang ini sudah banyak dilakukan oleh peneliti namun permodelan matematisnya masih sangat minim sekali untuk dilakukan. Metodologi penelitian yang dilakukan dengan cara mengintegrasikan penelitian-penelitian dibidang kontrol traksi yang sudah pernah dilakukan peneliti lain, kemudian menganalisis terhadap hasil permodelan yang dilakukan yaitu dengan simulasi *Hybrid PID Fuzzy*. Hasil penelitian dilakukan dengan setting terhadap parameter nilai  $K_p, K_i, K_d$  selanjutnya terhadap pedal rem, pedal gas, dan sudut pengapian untuk memperoleh batasan slip yang diizinkan lebih kecil atau sama dengan 0,20 untuk roda kiri dan roda kanan. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa *Hybrid PID Fuzzy* mampu memperbaiki respon gangguan yang terjadi berupa error dan delta error terhadap setting point.

Kata kunci: sistem kontrol traksi, stabilitas kendaraan, *hybrid PID Fuzzy*.

## Abstract

*Traction Control System is an innovative automotive technology to prevent stability. Research impress to make mathematics control model. Research Methodology is used by using integrated research of the other researcher to analyze model Hybrid PID Fuzzy. The results of the research by setting value of  $K_p, K_i, K_d$ , pedal ravel, pedal throttle, spark advance  $\leq 0,20$  for right and left wheel. Hybrid PID Fuzzy capable to repair error and delta error respond of disturbance.*

Keywords: traction control system, vehicle stability, hybrid fuzzy PID.

## 1. Pendahuluan

Dalam hal untuk memperbaiki stabilitas kendaraan, dan mampu kendali pada permukaan jalan dengan koefisien gesek ( $\mu_L$ ) yang rendah, dilakukan dengan ABS (*Antilock Braking system*) yaitu, untuk mencegah roda lock selama proses pengereman dari lockup ( $\chi = 1$ ). Selama lockup akan mengalami *losses* kontrol kendali dan akibat gaya gesek akan menghentikan kendaraan itu. Sistem kontrol traksi untuk mencegah roda melintir selama percepatan berlangsung. Sistem nantinya akan memperbaiki kinerja percepatan dan mampu kendali kendaraan yang memberikan informasi kepada pengemudi kondisi percepatan. Sistem control traksi ini memakai komponen yang banyak sama dengan sistem ABS sehingga sering dikatakan bahwa sistem kontrol traksi hanya merupakan pengembangan dari ABS.

## 2 Tinjauan Pustaka

Ditinjau dari sistem kontrolnya, sistem kontrol traksi merupakan sistem yang mampu mempertahankan *ratio slip* diantara ban dan permukaan jalan dengan cara mengontrol peralatan-peralatan guna memberikan perlawanan percepatan terhadap perubahan kondisi permukaan jalan. Peralatan itu tersebut, yaitu:

1. Kontrol Torsi *Engine*, berfungsi mempertahankan kondisi *steady state plant*.
2. Kontrol Torsi Pengereman, mencegah keberadaan torsi dengan memberikan gaya gesek yang berbeda di antara kedua roda penggerak.

Sistem kontrol traksi direncanakan untuk mencegah roda melintir dengan gaya akseleratif yang tinggi, dan pemasarannya telah mulai dilakukan sejak tahun 1987. Kraf (1990), Rittmansberger (1998), Kiyotaka (1991), menyatakan bahwa *anti-skid controller* mengatur roda slip dengan torsi pengereman, biasanya pada keempat rodanya. W Shields Neeley (1994), menyatakan bahwa peren-

**Catatan:** Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juli 2005. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 7 Nomor 2 Oktober 2005.

canaan kontrol *slip* dengan *NeuFuz* dapat dilakukan untuk sistem kontrol traksi dan sistem ABS. Armin Czinczel (1991) dalam penelitiannya menyatakan bahwa kebutuhan akan sistem kontrol traksi untuk kendaraan FWD merupakan optimisasi traksi. Oleh karena itu sistem torsi pengereman sangat diperlukan. Tatsuhiko Abe (1996) melakukan penelitian sistem kontrol traksi dengan HTCS (*Hybrid Traction Control System*) yang menawarkan kinerja dalam hal memperbaiki TCS dengan EIB (*Engine Inertia Brake*).

**2.1 Komponen Kontrol Traksi**

1. *Wheel Speed sensor*, sensor yang memberikan informasi kepada ABS untuk ditindak lanjuti.
2. ECU (*Electronic Control Unit*) Input amplifier IC menerima sinyal dari wheel speed sensor, sinyal frekwensi tersebut memberi perintah tentang kecepatan roda penggerak. *Microcontroller*nya akan memproses sinyal-sinyal percepatan dan kecepatan roda penggerak. Data-data ini akhirnya akan menyiapkan basis perhitungan dalam menentukan nilai akhir yang dibutuhkan untuk kendali slip.
3. *Hydraulic Unit*
4. *Electronic throttle control actuator*
5. *Simplified throttle control actuator*
6. *Fuel injection dan ignition control* (Pengurangan tekanan pompa mesin secara perlahan-lahan).

**2.2 Gaya-gaya Permukaan yang tidak merata**

Gaya-gaya yang bekerja pada sebuah roda kendaraan jika terjadi permukaan jalan yang tidak merata. Dapat dihitung gaya propulsi maksimum yang terjadi sebagai berikut:

$$F_P = F_H + F_L = 2F_L + F_B \tag{1}$$

di mana:

- $F_P$  = Total gaya Propulsi
- $F_H$  = Total gaya transmisi untuk jalan dengan  $\mu_H$
- $F_L$  = Total gaya transmisi untuk jalan dengan  $\mu_L$
- $F_B$  = Gaya pengereman
- $\mu_L$  = Koef pengereman rendah
- $\mu_H$  = Koef pengereman tinggi

**2.3 Karakteristik Roda Penggerak**

Gaya gesek yang disebabkan oleh slip yang terjadi diantara roda penggerak dan permukaan jalan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_{fr} = \mu \cdot W_{fr} \tag{2}$$

di mana:

- $F_{fr}$  = Gaya penggerak (*front, rear*)
- $\mu$  = Koef.gesek *rear* dan *front*
- $W_{fr}$  = Berat penggerak (*front, rear*)

Dengan ketentuan slip( $\chi$ ) roda-roda sebagai berikut:

$$\chi = (R\omega - V_B)/V_B \tag{3}$$

di mana:

- $V_B$  = Kecepatan kendaraan
- $\omega$  = Kecepatan angular roda
- $R$  = Jari-jari roda penggerak

**2.4 Torsi Maksimum (*Zero slip*)**

Secara umum untuk torsi juga akan maksimum (*zero slip*), dengan rumusan sebagai berikut:

$$T_{maks} = N \cdot \mu \cdot R \tag{4}$$

di mana:

- $T_{maks}$  = Torsi maksimum
- $N$  = Gaya normal pada roda
- $\mu$  = Koef gesek permukaan

**3. Metodologi Penelitian**

Penulisan ini melakukan simulasi dengan sistem kontrol, yaitu:

1. Sistem controller dengan menggunakan PID (*Proporsional-Integral-Derivative*) konvensional. Pada metode ini model simulasi untuk menentukan *proporsional gain* ( $k_p$ ), *integral gain* ( $k_i$ ) dan *derivative gain* ( $k_d$ ) output dari controller u dan inputnya adalah *error* sesuai hubungan sebagai tertera pada rumus:  $U = k_p \cdot e + k_i \int e dt + k_d \cdot de/dt$ . Dengan kontrol P sistem memiliki *steady state error* yang mengikuti *step input*. Dengan penambahan kontrol I sistem memiliki *steady state error* nol. Konstanta integral menghasilkan *rise time* yang lebih kecil dengan overshoot besar. Dengan penambahan kontrol D respon sistem terhadap perubahan error dan memberikan sinyal kontrol dengan perubahan *error* lebih cepat.
2. Sistem Controller dengan PID *Fuzzy*. Sistem *hybrid* kendali PID *fuzzy*, yaitu sistem kontrol utamanya adalah kendali PID (*Proporsional-Integral-Derivative*), sedangkan logika *fuzzy* berfungsi untuk memperbaiki respon dan *recovery time* terhadap gangguan. Output dari *fuzzy* kontrol unit yang dihasilkan mempunyai beban yang lebih kecil dari kendali PID, artinya *range* daripada *ouput membership function* telah ditetapkan yaitu  $+U_{max}$  dan  $-U_{max}$  dimana harga  $U_{max}$  lebih kecil dari harga kendali/kontrol PID (*Proporsional-Integral- Derivative*).

**3.1 Tahapan Pembuatan Pengontrol Fuzzy**

Tahap I: Menentukan/menetapkan semesta pembicaraannya. Semesta pembicaraannya ditentukan dengan berdasarkan kepada kemungkinan

harga yang muncul. Jadi bila respon berkisar antara 0 km/jam sampai 200 km/jam. Diambil semesta pembicara 0 dan +200.

Tahap II: *Fuzzifikasi*, untuk setiap himpunan bagian ditentukan fungsi distribusinya untuk menentukan derajat keanggotaan. Setiap harga variabel model dicari harga *linguistiknya* beserta derajat keanggotaannya. Harga *fuzzy* yang diperoleh akan menghasilkan satu proporsi sebagai akibat adanya aturan kontrol sebelum dicari harga *linguistiknya*. Setiap masukan terlebih dahulu dikalikan masing-masing dengan suatu parameter  $q_1$  dan  $q_2$ , yaitu  $q_e = q_1 \cdot e$  serta  $q_{ce} = q_2 \cdot ce$  dimana  $e$  dan  $ce$  masing-masing adalah *error* dan *beda error*.

Tahap III: Strategi pengontrolan proses penalaran melalui penyesuaian parameter.

Tahap IV: *Defuzzifikasi*, keluaran dari pengontrol terdiri atas beberapa *linguistik*, masing-masing yaitu dengan derajat keanggotaan tertentu.

### 3.2 Perencanaan Software

Bentuk *membership function* pada logika *fuzzy* dengan tujuan supaya dapat meredam *disturbance* dengan cepat. Sedang *membership* outputnya sama seperti *membership function* pada logika *fuzzy*. *Level* kwantisasi *error* dan *delta error* akan menjelaskan respon struktur pengendali logika *fuzzy* yang direncanakan.

*Rules* untuk kendali *fuzzy* dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. *Rules* Kontrol Fuzzy

Delta error vs Error					
	NB	NS	AZ	PS	PB
NB	NB	NB	NM	NS	AZ
NS	NB	NS	NS	AZ	PS
AZ	NB	NS	AZ	PS	PB
PS	NS	AZ	PS	PS	PB
PB	AZ	AZ	PB	PB	PB

Keterangan:

NB : *Negative Big*

NS : *Negative Small*

PS : *Positive Small*

PB : *Positive Big*

AZ : *Almost Zero*

### 3.3 Perangkat Penelitian

Penelitian dilakukan dengan model simulasi kendaraan, pengolahan data dilakukan dengan Delphi 5 & Matlab R-12. Dengan tersusunnya blok diagram model yang diinginkan dapat diketahui pengaruh *slip* akibat pemakaian sistem kontrol traksi atau tanpa sistem kontrol traksi.

### 3.4 Data Kendaraan

Dimensi kendaraan yang dipakai menggunakan kendaraan BMW X5:

#### Dimensi:

Wheel base : 2820 mm

$W_{fr}$  : 1230/1460 kg

#### Engine:

Torsi maksimum: 440 Nm/3700 rpm

#### Transmission:

Transmission I : 1:3,57

Transmission II : 1:2,20

Transmission III : 1:1,51

Transmission IV : 1:1,00

Transmission V : 1:1,51

Transmission VI : -

Final drive ratio : 1:3,64

### 3.4.1 Model Matematis Kontrol

Adapun parameter yang digunakan untuk menstabilkan kendaraan dengan model matematis kontrol tersebut adalah:

1. Untuk *throttle opening angle* dimodelkan dengan persamaan matematis sebagai berikut:

$$\theta = \text{Cos}^{-1}(\beta) - \tan^{-1}(\gamma) \quad (5)$$

$$\beta = 1 - ((A/\pi R^2)) \quad (6)$$

$$\gamma = \tan \alpha - ((\pi \cdot t)/(2R \cos \alpha)) \quad (7)$$

2. Torsi *Engine* dimodelkan dengan persamaan matematis sebagai berikut:

$$T_e = -39,22 + 3250024/120N_e \{0,0005968N_e - 0,1336P_m + 0,00000175N_e P_m^2\} - 0,0112\delta^2 + 0,000675\delta N_e(2\pi/60) + 0,635\delta + 0,0216N_e(2\pi/60) - 0,000102 N_e^2(2\pi/60)^2 \quad (8)$$

3. Torsi Pengereman dimodelkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_{lrhs} - T_{flrb} - T_{flrt} = (I_{lrhs} + I_{FLR}) d\omega_{FLR}/dt \quad (9)$$

$$T_{flrb} = P_{mc} \cdot A_{wc} \cdot E \cdot R_b \quad (10)$$

4. Kecepatan kendaraan dimodelkan dengan persamaan:

$$dV_B/dt + (N_w \cdot F_t - F_v)/M_B \quad (11)$$

5. Torsi Transmisi dimodelkan dengan persamaan berikut:

$$T_{lrhs} = T_{conv} \cdot r_{fd} \quad (12)$$

$$\omega_{lrhs} = \omega_{conv}(1/r_{fd}) \quad (13)$$

6. *Spark Advance*

$$\text{Variasi } 10^\circ < \delta < 45^\circ \quad (14)$$

### 3.5 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Merumuskan latar belakang permasalahan.
2. Merumuskan permasalahan, menyusun pembatasan masalah.
3. Menentukan manfaat dan tujuan penelitian.
4. Membuat model simulasi (*Traction Control System*).

5. Pembuatan diagram blok sistem yang direncanakan.
6. Melakukan analisis simulasi dari model yang direncanakan.
7. Menyusun *software* untuk menampilkan simulasi berdasarkan model matematis yang telah disusun.
8. Melakukan proses data
9. Penampilan dari hasil simulasi model kontrol traksi.
10. Melakukan evaluasi hasil simulasi dengan hasil pengujian kendaraan .
11. Melakukan validasi dari hasil yang diperoleh untuk mengetahui kinerja hasil simulasi dengan hasil pengujian kendaraan.
12. Menarik kesimpulan.

#### 4. Hasil Penelitian

Dengan menggunakan aplikasi software tersebut dengan cara memasukkan input data akan diperoleh parameter yang diinginkan untuk outputnya, antara lain:

1. Hubungan *slip* terhadap waktu.
2. Hubungan kecepatan roda terhadap waktu.
3. Hubungan kecepatan roda penggerak terhadap waktu setelah tuning PID.

##### 4.1 Analisa Hasil Simulasi

###### A. Hasil Simulasi Model

Dari analisa yang dilakukan dengan cara kontrol torsi pengereman dan torsi *engine*. Hasil dari respon motor tersebut ditala/dituning dengan PID *digital* dan PID *Fuzzy* agar respon *output* dapat kembali pada *setting-point*nya. Hasil simulasi yang ditunjukkan bahwa sistem bekerja dengan baik karena respon berada pada *setting-point*nya. Parameter-parameter yang dituning yaitu  $K_p$ ,  $K_d$  dan  $K_i$ . Pada sistem kontrol ini faktor yang paling menentukan adalah  $K_i$  disebabkan nilai-nilai lainnya adalah nol. Nilai nol bukan berarti nilai mesti nol, nilai tersebut masih bisa ditala/dituning dengan variabel nilai yang lain tergantung hasil iterasi yang diinginkan.

Pada sistem ini kendaraan dicoba tidak mengalami *spin* dengan koefisien gesek yang sama, selanjutnya dengan koefisien gesek yang berbeda juga dilakukan dengan cara yang sama hingga *slip*nya berada kisaran lebih kecil atau sama dengan 0,20. Perubahan itu dilakukan dengan pengaturan kontrol *throttle*, baik pedal gas atau pedal rem. Hasil tuning dengan respon *output* menunjukkan bahwa kendaraan membutuhkan waktu agar kendaraan dapat dituning pada *setting-point*nya.

Langkah-langkah yang dilakukan agar kendaraan tersebut stabil, yaitu:

1. Variasi perubahan pedal gas
2. Variasi perubahan *spark advance*
3. Variasi perubahan pedal rem
4. Variasi Perubahan transmisi

###### B. Komparasi Hasil Simulasi Penelitian lain

###### a. Analisa Simulasi

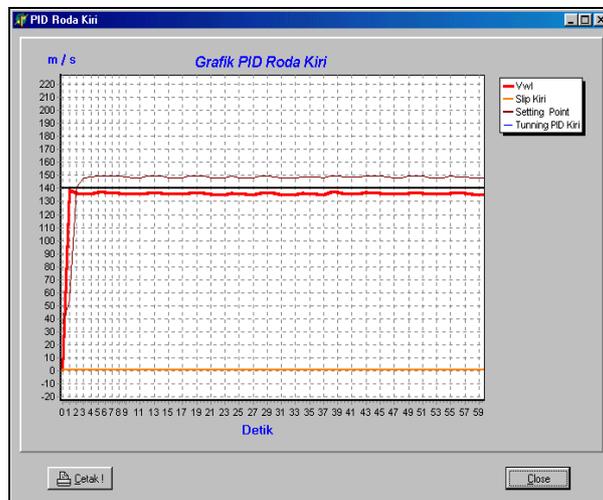
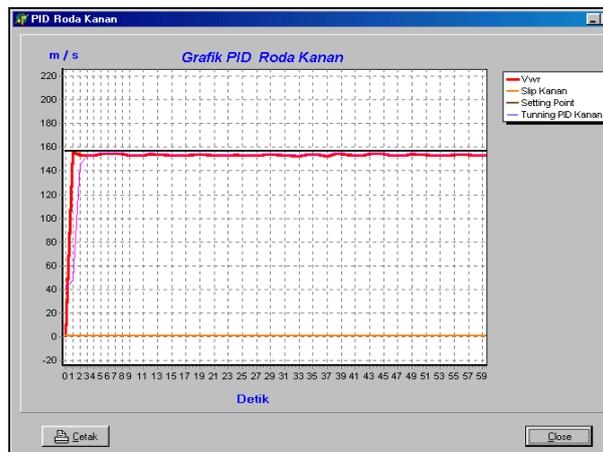
Pada analisa ini roda depan bagian kiri dan bagian kanan cenderung mencapai steady state (TS) pada interval 4 detik dan waktu mulai naik ( $T_r$ ) 1 detik dan terjadi perlambatan respon selang waktu 1 detik dan tidak acak.

###### b. Analisa Penelitian lain

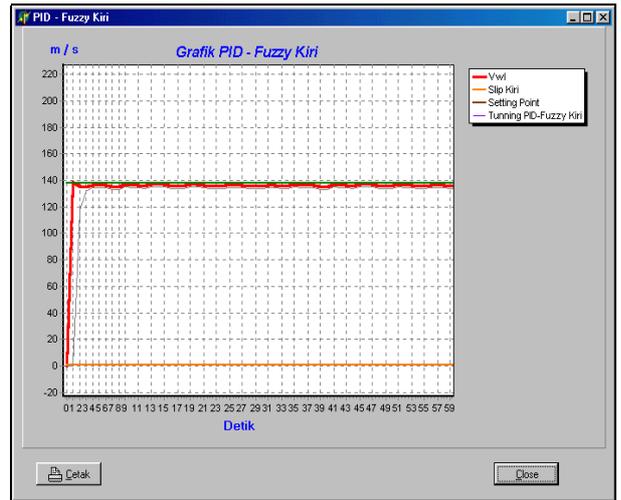
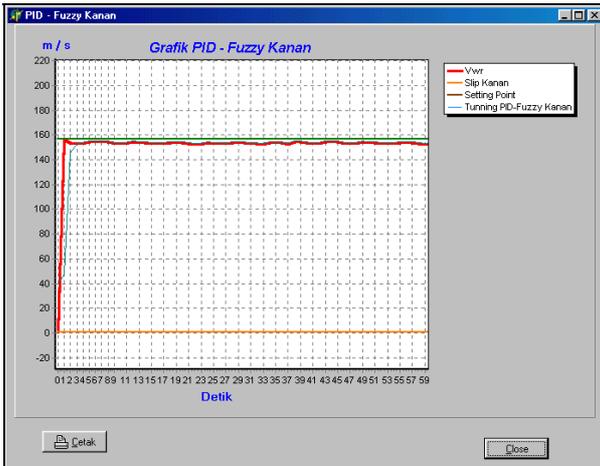
Repon kecepatan outputnya untuk terjadi kondisi steady state lebih besar dari 4 detik dengan time rise yang panjang dan acak.

#### 4.2 Parameter Hasil Simulasi

##### A. Tampilan Simulasi PID Konvensional $\mu = 0,80$ dan $\mu = 0,20$



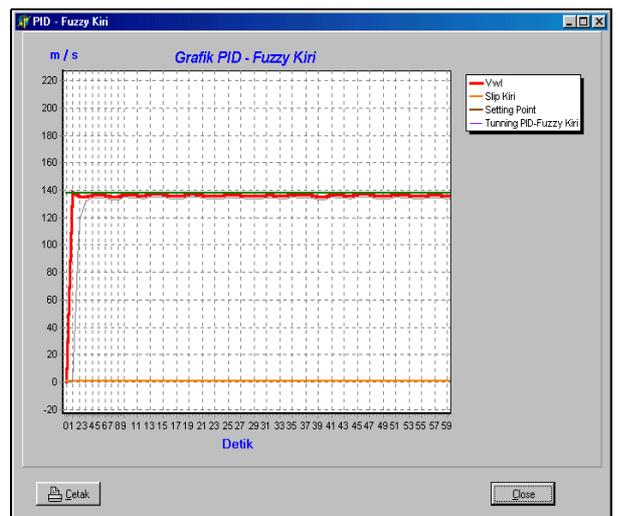
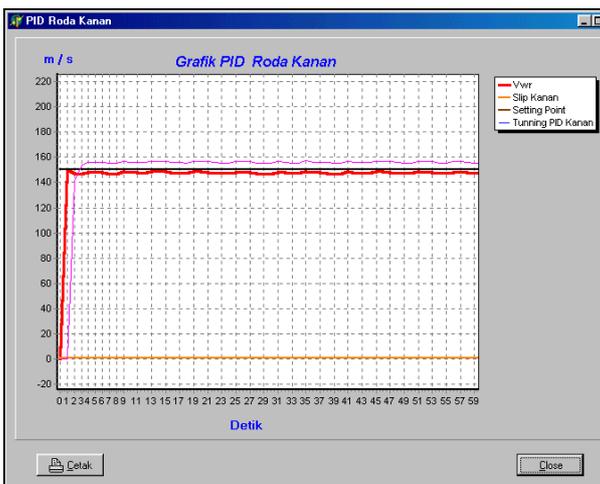
**B. Tampilan Simulasi PID Fuzzy**  
 $\mu = 0,80$  dan  $\mu = 0,20$



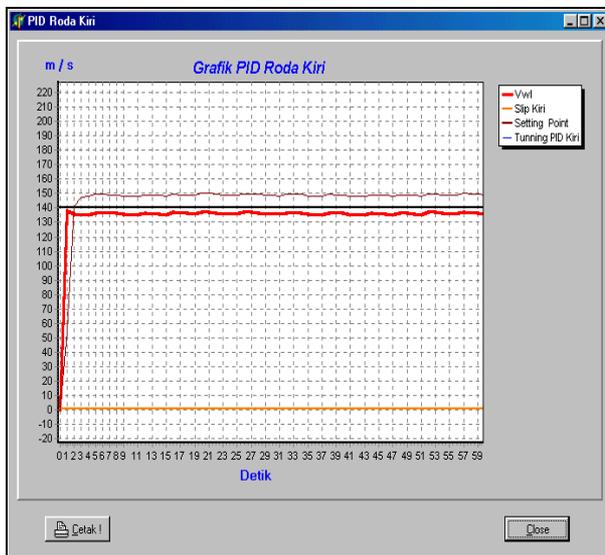
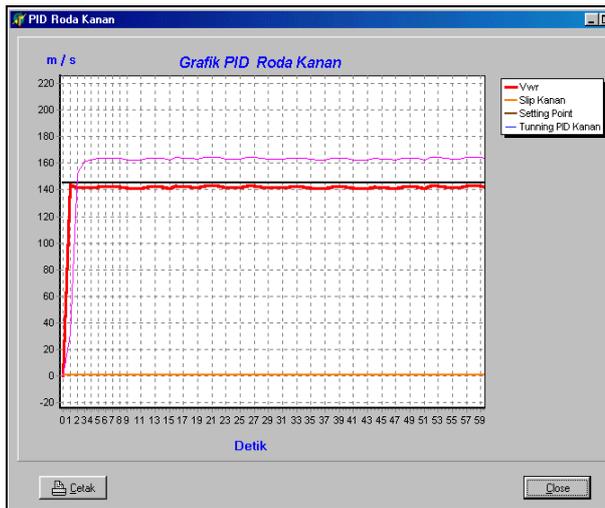
**D. Tampilan Simulasi PID Fuzzy**  
 $\mu = 0,80$  dan  $\mu = 0,40$



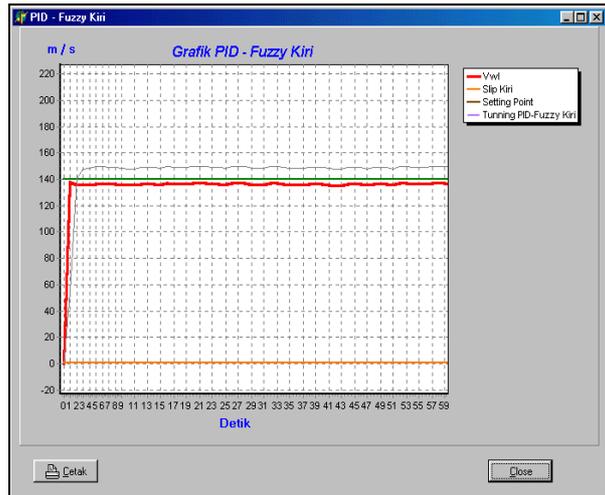
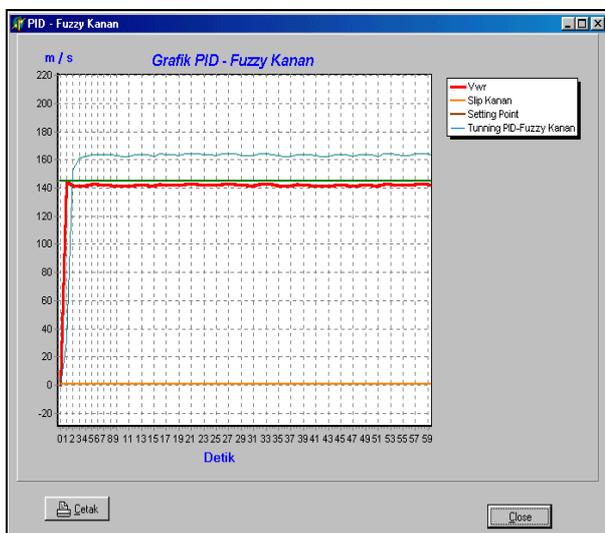
**C. Tampilan Simulasi PID Konvensional**  
 $\mu = 0,80$  dan  $\mu = 0,40$



**E. Tampilan Simulasi PID Konvensional**  
 $\mu = 0,80$  dan  $\mu = 0,60$



**F. Tampilan Simulasi PID Fuzzy**  
 $\mu = 0,80$  dan  $\mu = 0,60$



**5. Kesimpulan**

Dari hasil perhitungan dan analisa, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. PID, dengan menggunakan PID controller bahwa kendaraan tersebut dapat dituning dengan  $K_p$ ,  $K_d$ ,  $K_i$  yang maksimum dan minimum. Di sini controller utamanya adalah PID konvensional. Dari hasil PID roda kiri dan kanan terlihat bahwa keduanya dapat dituning pada respon output yang sesuai dengan setting point.
2. PID Fuzzy, hasil analisa dengan PID Fuzzy tidak jauh berbeda dengan PID controller karena hasilnya merupakan hasil perbaikan respon controller utama.
3. Dari penelitian yang dilakukan dapat dikembangkan trend peneliti terdahulu untuk analisa performansi controller sistem kontrol traksi tersebut.
4. Dengan bantuan controller PID dan PID Fuzzy sebagai kriteria penentu keputusan yang mengontrol respon output pada daerah steady state error yang diharapkan

**Daftar Pustaka**

1. Crouse, William H., *Automotive Mechanics*, 10 th Edition McGrawHill Inc, Singapore, 1993.
2. Denton Tom, *Automobile Electrical and Electronic System*, Edward Arnold Division, London, 1995.
3. Dixon, John C., *Tyres, Suspension and Handling*, Cambridge University Press, Great Britain, 1991.
4. Hamada, Kiichi, Hashiguchi, masayaki, and Ito, M., *Traction Control System Simulation Analysis of the Control System*, Int J of Vehicle Design, 1991.

5. Jurgen, Ronald K., *Automotive Electronics hand Book*, Mc Graw Hill Inc, New York, 1995.
6. Josef Mack, et al., *Current and Future Development in ABS/TCS and Brake Technology*, SAE Paper-1142, 1996.
7. Nyoman Sutantra, *Teknologi Otomotif-Teori dan Aplikasinya*, 1<sup>st</sup> Edition, Surabaya, 1999.
8. Robertson, Stewart, *Automotive Electrical Maintenance*, Edward Arnold Divison, London, 1994.
9. Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1991.
10. Shiraishi, Shuji, et al., "Traction Control for Improved Vehicle Dynamics", *JSAE Review* Vol.13, No.1., 1992.
11. Unsal, C, Kachroo P., "Sliding mode Measurement Feedback Control for ABS", *IEEE Transactions on Control Sytem Technology*, Vol 7 No.2, 1999.
12. Powel, BK., Bailey, KE., and Cikanek, SR., Dynamic Modelling and Control Hybrid Electric Vehicle Powertrain System, *IEEE*. 1998.
13. Minowi, Toshimichi, et al., "Improvement in Torque Response during Acceleration Obtained By Using a CS with intake manifold", *JSAE Review*, Vol.13/1. 1992.
14. Alles, S., Swick, C., Hoffman, M., Mahmud, S., M.and Lin, F., "A Real Time Hadware-in the Loop Vehicle Simulator for Traction Assist", *Int. J. of Vehicle Design*, Vol.15 No.6, 1994.
15. BMW AG, *Automatic Stability Control + Traction*, Seminar Working Material, Munchen, Germany. 1997.
16. Spasov, Peter, *Microcontroller Technology: The 68HC/Peter Spasov-2nd Ed*, Prentice Hall Int, Inc. 1996.
17. Rohmanudin, Muhammad, *Fuzzy Logic Control System*, Laboratorium Instrumentasi dan Kontrol Jurusan Teknik Fisika ITB, Bandung, 1994.