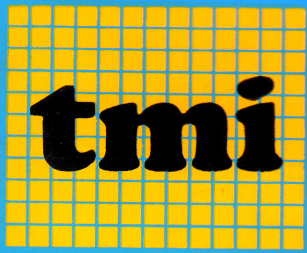


ISSN: 1693-6694



Jurnal

**teknologi dan
manajemen
informatika**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MERDEKA MALANG**

**TERAKREDITASI
SK Dirjen DIKTI No. 55/DIKTI/Kep/2005**

Volume 4, Nomor 2, Agustus 2006

**JURNAL
TEKNOLOGI DAN MANAJEMEN INFORMATIKA**

Diterbitkan
Fakultas Teknologi Informasi
Universitas Merdeka Malang

Terakreditasi
SK Dirjen DIKTI No: 55/DIKTI/Kep/2005
Tanggal 17 Nopember 2005

Pelindung
Rektor Universitas Merdeka Malang

Penanggung Jawab
Ir. Heris Pamuntjar, M.T. (Dekan Fakultas Teknologi Informasi)

Ketua Penyunting
Fikri Amrulloh, M.Comp.

Penyunting Pelaksana
Ir. Made Yudha, M.T.
Abd. Rabbi, M.Kom.
Bambang Nurdewanto, M.Kom

Penyunting Ahli
Ir. Respati Wikantioso, PhD
Ir. Nur Subiyakto, M.Sc., PhD
Ir. Tutut Subodyo, M.Si.

Mitra Bestari
Des. Supriyanto, M.M. (FE - Universitas Negeri Malang)
Prof. Supramono, MBA, PhD (Pasca Sarjana Univ. Satya Wacana Salatiga)

Alamat Sekretariat Penyunting
Fakultas Teknologi Informasi
Universitas Merdeka Malang
Jl. Terusan Dieng 62 - 64 Malang

Jurnal Teknologi dan Manajemen Informatika
Terbit Tiga Kali Setahun (April, Agustus, dan Desember)
Berisi Tentang Gagasan Konseptual dan Hasil Penelitian
Tentang Teknologi dan Manajemen Informatika.

JURNAL T

*Topan Priha
Da*

*Sutrisno
R
Hendro Cal*

292 Prapti

Jan Sa

*Prihatini
Nuranda*

*Dani Yuni
Taufik*

F. A. Widi

*Sugeng Har
Mar
Anda*

JURNAL TEKNOLOGI DAN MANAJEMEN INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MERDEKA MALANG
Volume 4, Nomor 2, Agustus 2006

DAFTAR ISI

- Topan Prihantoro* Pengaruh Perubahan Arus dan Pengelasan Ulang
Daryono *Track Roller Bulldozer* terhadap Kekerasan Permukaan, 311
- Sutrisno Idris* Pembuatan Model Instalasi Pengolahan Air Bergerak
Rusadi (Mobile) dengan Bahan Baku Air Gambut, 322
Hendro Cahyono
- Praptining S.* Dampak Sektor Ekonomi Pasca Luapan Lumpur di Sidoarjo Jawa Timur, 330
- Jun Surjanti* Perbedaan Motif Pembelian Produk Bordir Hasil Sentra Industri Kecil (SIK) Sidoarjo pada Segmentasi Wanita, 338
- Bekti* Kajian Transpor Zat Pencemar dalam Tanah Satu
Prihatiningsih Dimensi, 352
Nurandani H.
- Dani Yuniawan* Penerapan Analisis Keandalan untuk Menentukan Waktu Interval Perawatan Mesin *Crane* di PT. BBI Pasuruan, 367
Taufik Tri A.
- Darto* Rancang Bangun Aplikasi Perangkat Lunak
F. A. Widiarsa Pengukuran Terpadu Mesin Perkakas CNC Berbasis Laser Interferometer, 387
- Sugeng Haryanto* Penerapan Total Quality Management (TQM) dalam Perguruan Tinggi: Menuju Perguruan Tinggi yang Berkualitas, 396
Mardiana
Andarwati

Kontrol Prediktif Sistem Kemudi Empat Roda Kendaraan Menggunakan Filter Kalman

Erwin Susanto
Rusdhianto Effendhi
Ali Fatoni

Abstract : Sistem kontrol kemudi pada kendaraan dengan mengaktifkan semua roda depan dan belakang secara simultan yang disebut dengan system kemudi empat roda bertujuan meningkatkan kenyamanan dan keamanan dalam berkendara. Manuver berbelok merupakan kondisi kritis dimana kendaraan dapat berkurang kestabilannya. Pada makalah ini, diusulkan pemanfaatan Filter Kalman untuk memperbaiki kondisi kritis sekaligus mereduksi gangguan acak yang terjadi pada sistem kemudi empat roda seperti gangguan angin, cuaca, noise perangkat elektronik dan permukaan jalan. Roda belakang akan berbelok sesuai dengan besarnya sudut belok roda depan dan kecepatan kendaraan. Supaya kinerja roda belakang dapat mengikuti sudut belok roda depan maka diperlukan mekanisme kontrol prediktif. Hasil estimasi dengan filter Kalman akan dipakai sebagai acuan kontrol prediktif slip samping kendaraan.

Kata kunci: kemudi empat roda, kalman, gangguan, acak, prediktif

Teknologi kemudi empat roda (*four wheel steering* (4 WS)) merupakan teknologi yang relatif baru dan dikembangkan untuk memperbaiki manuver mobil, truk ataupun trailer dalam bergerak. Istilah 4 WS dibedakan dengan system penggerak empat roda (*four wheel drive*, 4 WD) dimana yang dimaksud dengan system 4 WD adalah keempat roda diberi tenaga penggerak. Sedangkan sistem 4 WS dapat dijelaskan sebagai berikut.

Pada system kemudi dua roda (standar), roda belakang (rear) selalu mengarah lurus ke depan meskipun roda depan (front) berbelok arahnya sehingga tidak memainkan peranan penting bagi kontrol pengemudian; berbeda dengan system kemudi empat roda dimana roda belakang dapat bergerak mengarah ke kiri atau kanan sesuai dengan prosedur pengaturannya. Hal ini dimungkinkan karena masing-masing pasangan roda depan dan roda belakang memiliki garda (*axle*) tersendiri.

Teknologi 4 WS pada sedan mulai dikembangkan oleh Honda, Nissan dan Mazda. Pada tahun 1986 Honda memproduksi Prelude yang memiliki sistem 4 WS murni, dimana sudut belok roda belakang dikontrol oleh sudut belok roda depan melalui transmisi roda gigi. Nissan memproduksi Skyline

Erwin S., Rusdhianto E., dan Ali Fatoni adalah dosen Universitas Merdeka Malang

Erwin S. Pa

dengan sistem 4
yang bekerja ad
stepper, kemudia
hun 1987, Mazda
diaktifkan secara
dikontrol oleh su
an.

Pruckner di
dan kecepatan g
ADAMS dan Lue
nerja model sepe
charoensak dkk (2
sentasak model
simulasikan kinerj
kan bahwa kontro
manuver menguba
kan dengan system

Pada makala
dengan filter kalma
ter kalman akan be
sistem sesungguhnya
pada state penguku

FILTER KALMAN

Rudolf Emil
rekursif mengguna
ter Kalman. Kontri
dengan memanfaatkan
oleh para insinyur d
Filter Kalman
diimplementasikan
terestimasi sehingg
pai pada aplikasi oto

dengan sistem 4 WS yang diaktifkan secara elektronik-hidrolik. Mekanisme yang bekerja adalah electronic control unit (ECU) mengaktifkan motor stepper, kemudian motor stepper menggerakkan aktuator hidrolik. Pada tahun 1987, Mazda memproduksi Mazda Capella dengan sistem 4 WS yang diaktifkan secara mekanik-elektronik-hidrolik. Sudut belok roda belakang dikontrol oleh sudut belok roda depan dan kecepatan longitudinal kendaraan.

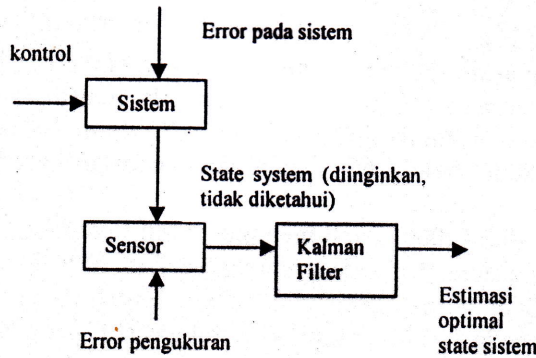
Pruckner dkk (2000) telah mengobservasi kontrol sudut slip samping dan kecepatan geleng kendaraan menggunakan model sepeda (bicycle), ADAMS dan Luenberger observer dimana diperoleh hasil bahwa grafik kinerja model sepeda terlihat memiliki karakteristik yang berbeda. Raksincharoensak dkk (2004) telah memodelkan dinamika 4WS dengan mempresentasikan model sepeda (*bicycle model*) dua derajat kebebasan untuk mensimulasikan kinerja kontrol alur lintasan kendaraan 4WS, dimana didapatkan bahwa kontrol dinamika gerak lateral dan gerak geleng (yaw) selama manuver mengubah alur lintasan pada model 4WS lebih efektif dibandingkan dengan system 2WS.

Pada makalah ini, kontrol sistem kemudi empat roda dimodifikasi dengan filter kalman untuk mendapatkan kondisi kontrol optimal dimana filter kalman akan berfungsi sebagai pemrediksi yang dapat memprediksi state sistem sesungguhnya sekaligus mampu mereduksi noise acak yang muncul pada state pengukuran.

FILTER KALMAN

Rudolf Emil Kalman sekitar 1960 mengembangkan estimasi optimal rekursif menggunakan metode state space yang dikenal dengan sebutan Filter Kalman. Kontribusi R.E Kalman dalam pengembangan teori ini, adalah dengan memanfaatkan metode digital yang pada dekade ini banyak dipakai oleh para insinyur dan ilmuwan. (Brown dan Hwang, 1997).

Filter Kalman merupakan sekumpulan persamaan matematik yang diimplementasikan sebagai estimator yang meminimalkan error kovarian terestimasi sehingga system menjadi optimal. Filter Kalman banyak dijumpai pada aplikasi otomasi dan navigasi (Welch dan Bishop, 2001)

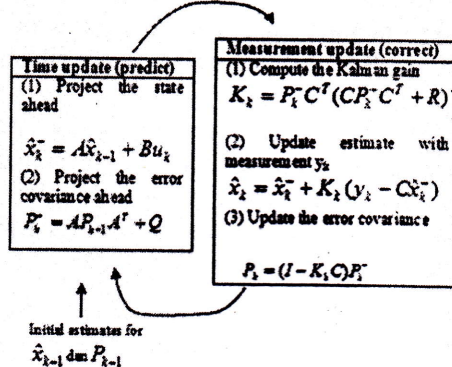


Gambar 1 Aplikasi tipikal kalman filter

Algoritma kalman filter terbagi dua:

- Persamaan *time update* yang bertugas mengestimasi state system dan kovarian error saat sekarang sebagai parameter estimasi sebelumnya (*a priori*) yang akan dipakai pada step berikutnya, disebut juga sebagai pe-mrediksi (*predictor*)
- Persamaan *measurement update* yang bertugas mendapatkan data peng-ukuran baru yang bersama dengan estimasi sebelumnya (*a priori*) memperbaiki estimasi sesudahnya (*a postpriori*), disebut juga pengoreksi (*corrector*)

Siklus kedua persamaan diatas digambarkan dibawah ini:



Gambar 2 Siklus filter kalman estimasi

Erwin S.

KONTROL PI
 Pengaruh
 (Astrom dan W
 diksi.
 Suatu pla
 menurut fungsi

$$H(z) = z^{-d} \frac{(b_0}{1}$$

dimana $d = m - n$
 kontrol tunda.
 Pers.(27) d

$$A(z^{-1})y_k = z^{-d}$$

dimana

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z$$

$$B(z^{-1})y_k = b_0 +$$

Indeks perfo

$$J_k = \left(\sum_{i=0}^{n_p} p_i y_{k+d-i} - \right.$$

Pers.(5) dap

$$J_k = (Py_{k+d} - Qw$$

dengan

$$P(z^{-1}) = 1 + p_1 z^{-1}$$

KONTROL PREDIKTIF

Pengaruh gangguan pada sistem dapat direduksi dengan beberapa cara (Astrom dan Wittenmark, 1997), salah satunya menggunakan kontroler prediksi.

Suatu plant diskrit dengan input u_k dan output y_k dapat dimodelkan menurut fungsi alih sebagai berikut:

$$H(z) = z^{-d} \frac{(b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_m z^{-m})}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n}} \quad (1)$$

dimana $d = m - n$ merupakan derajat relatif numerator dan denominator atau kontrol tunda.

Pers.(27) diatas dapat dituliskan kembali:

$$A(z^{-1})y_k = z^{-d} B(z^{-1})u_k \quad (2)$$

dimana

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n} \quad (3)$$

$$B(z^{-1})y_k = b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_m z^{-m} \quad (4)$$

Indeks performansi yang dipakai (Lewis):

$$J_k = \left(\sum_{i=0}^{np} p_i y_{k+d-i} - \sum_{i=0}^{nQ} q_i w_{k-i} \right)^2 + \left(\sum_{i=0}^{nR} r_i u_{k-i} \right)^2 \quad (5)$$

Pers.(5) dapat dituliskan kembali:

$$J_k = (P y_{k+d} - Q w_k)^2 + (R u_k)^2 \quad (6)$$

dengan

$$P(z^{-1}) = 1 + p_1 z^{-1} + \dots + p_{np} z^{-np} \quad (7)$$

$$Q(z^{-1}) = q_0 + q_1 z^{-1} + \dots + q_{nq} z^{-nq} \quad (8)$$

$$R(z^{-1}) = r_0 + r_1 z^{-1} + \dots + r_{nk} z^{-nk} \quad (9)$$

Berdasarkan persamaan diophantine dapat dirumuskan:

$$1 = AF + z^{-d}G \quad (10)$$

dimana

$$F(z^{-1}) = 1 + f_1 z^{-1} + \dots + f_{d-1} z^{-(d-1)} \quad (11)$$

$$G(z^{-1}) = g_0 + g_1 z^{-1} + \dots + g_{n-1} z^{-(n-1)} \quad (12)$$

Dari pers. Diophantine diatas maka dapat diperoleh:

$$y_{k+d} = \frac{B}{A} u(k) = B(F + z^{-d} \frac{G}{A}) u(k) = BFu(k) + G \frac{B}{A} u_{k-d} \quad (13)$$

$$y_{k+d} = BFu(k) + Gy_k \quad (14)$$

Formulasi ini merupakan bentuk kontrol prediktif

MODEL DINAMIK 4WS

Model dinamik kendaraan dengan enam derajat kebebasan gerak, yakni: gerak lurus sumbu vertical, gerak lurus sumbu lateral, gerak lurus sumbu longitudinal, gerak putar yang berputar yang bertumpu pada sumbu longitudinal (roll), gerak putar yang bertumpu pada sumbu lateral (pitch), dan gerak putar yang bertumpu pada sumbu vertical (yaw) seperti gambar dibawah ini:

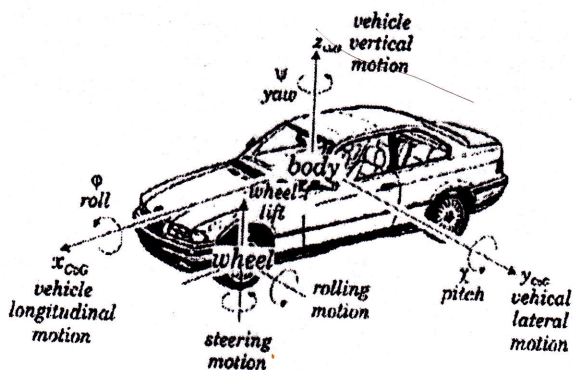
Gambar 3 Beberapa

MODEL SEPEDA

Untuk memo
pasangan roda depa
model sepeda (bicy

Gambar 4 Model S

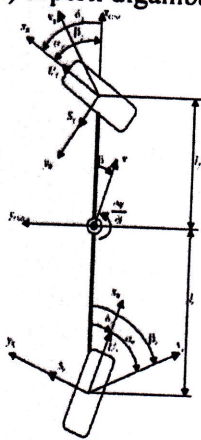
State space ya
sudut slip samping p



Gambar 3 Beberapa derajat kebebasan pada dinamika kendaraan

MODEL SEPEDA (BICYCLE MODEL)

Untuk memodelkan system pengemudian empat roda, masing-masing pasangan roda depan dan pasangan roda belakang dijadikan satu membentuk model sepeda (bicycle model) seperti digambarkan dibawah ini:



Gambar 4 Model Sepeda

State space yang dibentuk terdiri dari laju geleng (yaw rate) $\dot{\psi}$ dan sudut slip samping pada garda belakang β_r sebagai output. Sudut pengemu-

dian roda depan dan belakang (δ_f dan δ_r) sebagai input proses. Input, output dan vector state dari model adalah:

$$u = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \delta_f \\ \delta_r \end{pmatrix} \quad y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \psi \\ \beta_r \end{pmatrix} \quad x = \begin{pmatrix} \psi \\ \beta_r \\ S_f \\ S_r \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{l_f}{I_{zz}} & -\frac{l_r}{I_{zz}} \\ 1 & 0 & 0 & -\frac{l}{l_f m v_x} \\ a \begin{pmatrix} l_f + \frac{I_{zz}}{l_f m} \\ -C_f \frac{v_x}{v_x} \end{pmatrix} & a C_f & -a & 0 \\ a \begin{pmatrix} l_r - \frac{I_{zz}}{l_f m} \\ C_r \frac{v_x}{v_x} \end{pmatrix} & a C_r & 0 & -a \end{pmatrix}$$

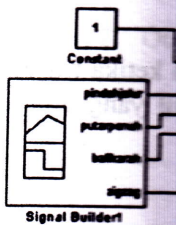
$$B = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ a C_f & 0 \\ 0 & a C_r \end{pmatrix} \quad C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \text{ dan } D = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (15) \text{ Besar dan arah sudut belok}$$

roda belakang terhadap besar dan arah sudut belok depan bervariasi tergantung kecepatan kendaraan. Menurut Lakkad (2004), hubungan rasio sudut kemudi depan dan belakang terhadap kecepatan kendaraan dirumuskan:

$$K_s = \frac{\delta_r}{\delta_f} = \frac{\frac{M L_f}{C_r} v_x^2 - L_r}{\frac{M L_r}{C_f} v_x^2 + L_f} \quad (16)$$

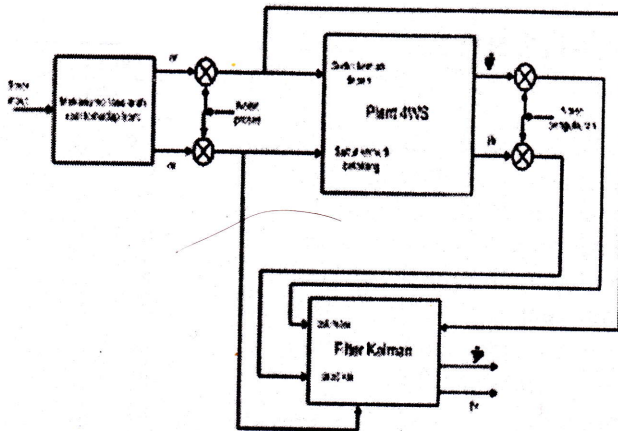
Secara keseluruhan model 4WS dengan noise yang diestimasi dengan filter kalman digambarkan berikut:

Gambar 5 Esti

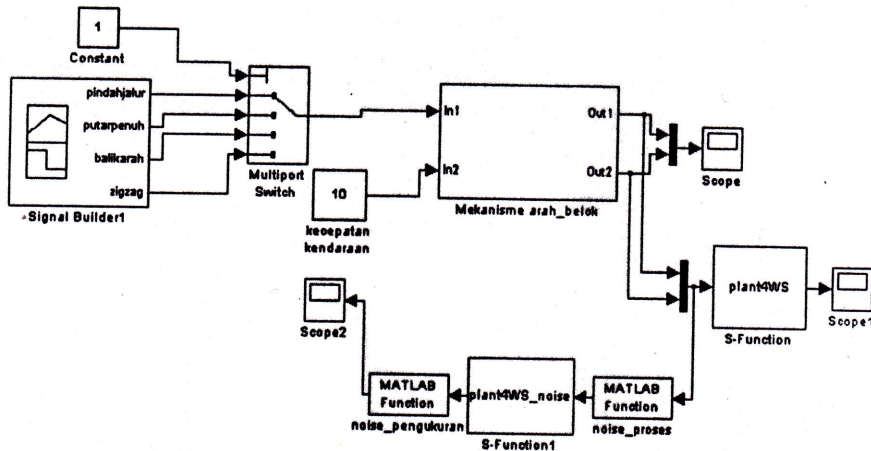


Gambar 6 Mod

HASIL SIMULA
Sistem ken
dilinierisasi berd
yang dipakai ada
steering pada rod
trohydrolic, sebag



Gambar 5 Estimasi sistem dengan filter Kalman



Gambar 6 Model Simulink 4WS

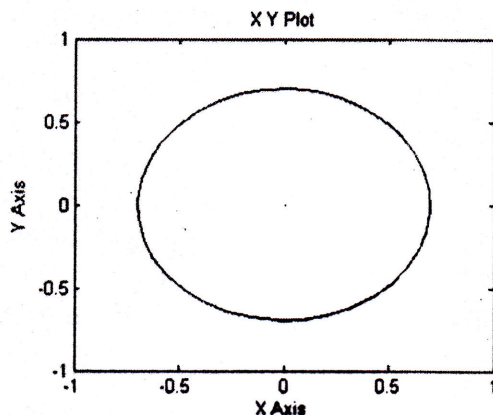
HASIL SIMULASI

Sistem kemudi empat roda (4WS) merupakan sistem non linier yang dilinierisasi berdasarkan model bicycle. Data-data parameter kendaraan yang dipakai adalah S-class, Techno W220 yang memiliki electrohydraulic steering pada roda depan dan belakang, suspensi aktif, dan empat rem electrohydraulic, sebagai berikut:

Tabel 1 Data fisik kendaraan

No	Parameter	Notasi	Nilai
(1)	(2)	(3)	(4)
1	Kekakuan ban depan (N/rad)	C_f	144000
2	Kekakuan ban belakang (N/rad)	C_r	283000
3	Konstanta elastisitas (N/rad)	C_L	10000
4	Kaster roda depan arah lateral (m)	n_s	0.55
5	Sudut kemudi roda depan (rad)	δ_f	-40 s/d 40
6	Sudut kemudi roda belakang (rad)	δ_r	-5 s/d 5
7	Momen inersia kendaraan (kgm^2)	I_{zz}	500
8	Massa kendaraan (kg)	m	2364
9	Jarak titik berat ke garda depan (m)	L_f	1.673
10	Jarak titik berat ke garda belakang (m)	L_r	1.412

Pengujian model 4WS meliputi manuver kendaraan ketika berpindah jalur, memutar, berbalik arah dan gerakan zig-zag. Hasil yang diperoleh untuk uji manuver berputar berikut ini:

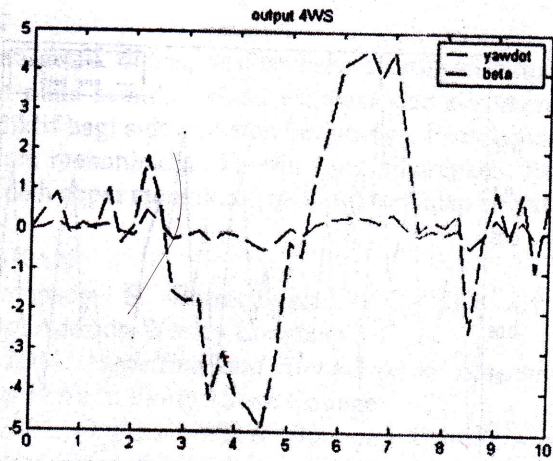


Gambar 7 Trayektori manuver berputar

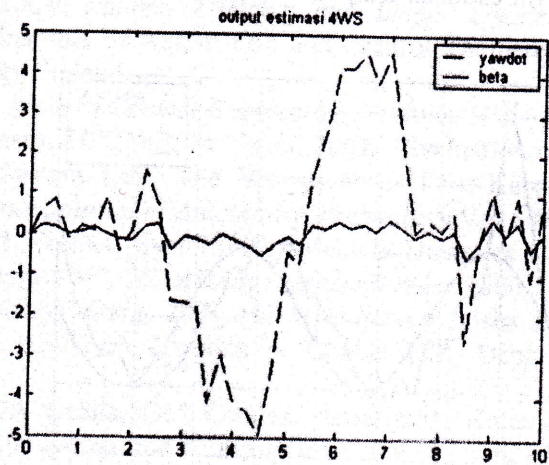
Sedangkan grafik output plant 4WS (laju geleng dan side slip), estimasi output plant dan error estimasi dapat digambarkan pada gambar 8, 9 dan 10 berikut ini:

Gambar 8 Ou

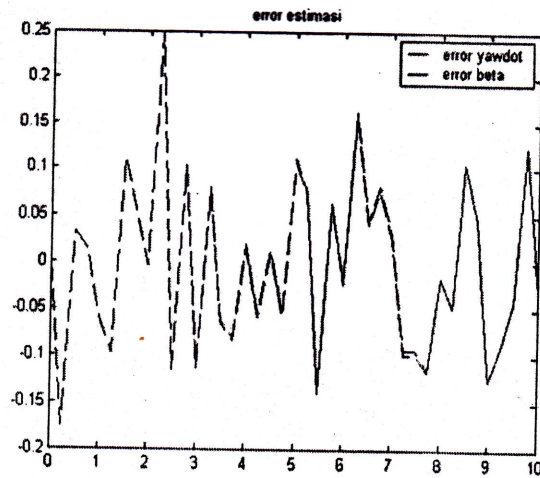
Gambar 9 Estimasi



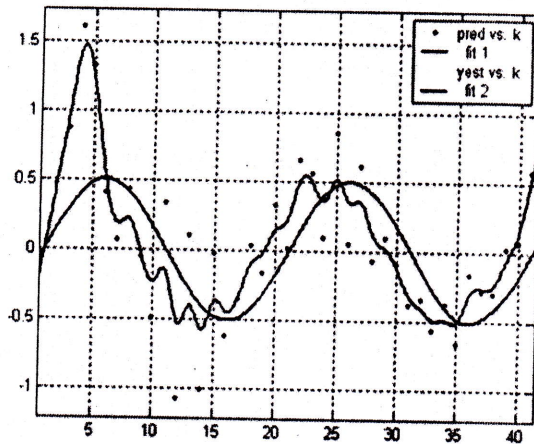
Gambar 8 Output Plant 4WS



Gambar 9 Estimasi Output Plant 4WS



Gambar 10 Error estimasi Output Plant 4WS



Gambar 11 Hasil prediksi side slip

Pada gambar 11. diatas, sinyal prediksi mengikuti acuan side slip yang telah diestimasi dengan filter Kalman.

Erwin S. A.

KESIMPULAN

Berdasarkan mengikuti output untuk kontrol prediktif berdasar output prediktif

DAFTAR RUJUKAN

Dutton, K. The Engineering of Autonomous Vehicles. Angle Control. Lund Institute of Technology. Lewis, FL. Symposium on Control. In Ogata, K. 1990. Modern Control Engineering. P. Raksincharoensri. Steering System. International Journal of Pruckner, Alfred. WS Prototyping. Welch, Greg. Business University of Science. WJ Manning, DA. "System" Simulation and Technology. Yih, P. Ryu, J. Characterization of University of Science. Yih, P. Ryu, J. Geometric Torque. Department of

KESIMPULAN

Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa estimasi output 4WS dapat mengikuti output plant semula. Hasil estimasi side slip merupakan acuan bagi kontrol prediktif bagi side slip step berikutnya. Pada kondisi awal, kontrol prediktif belum menunjukkan kinerja yang diharapkan. Pada step ke-6, output prediktif telah dapat mengikut (tracking) terhadap sinyal acuan.

DAFTAR RUJUKAN

- Dutton, K. Thompson, S. Barraclough. 1997. *The Art of Control Engineering*. Addison Wesley Longman
- Lakad, Sailesh. 2004. *Modelling and Simulation of Steering System for Autonomous Vehicle*. Florida State College
- Lazic, Nenand. 2002. *Optimal Vehicle Dynamics-Yaw Rate and Side slip Angle Control Using 4 Wheel Steering*. Dep. Of Automatic Control, Lund Institute of Technology
- Lewis, FL. Syrmos, VL. 2005. *Optimal Control*. John Wiley & Sons
- Makila, P.M. 2004. *Kalman Filtering and Linear Quadratic Gaussian Control*. Institute of Automation and Control Tampere University of Technology Finland
- Ogata, K. 1990. *Modern Control Engineering*. Prentice Hall
- P.Raksincharoensak. H Mouri. M Nagai. 2004. "Evaluation of Four Wheel Steering System from The Viewpoint of Lane-Keeping Control". *International Journal of Automotive Technology* Vol 5 No 2
- Pruckner, Alfred. Fischer, Sven. 2000. "Vehicle Dynamics Control for a 4 WS Prototype Car". *15th ADAM user Conference*.2000
- Welch, Greg. Bishop, Garg. 2001. *An Introduction to the Kalman Filter*. University of North Carolina at Chapel Hill. Dept of Computer Science
- WJ Manning, DA Crolla, OM Carsten. "Intelligent Automotive Control System" Simulation and Control Group, Department of Engineering and Technology, Manchester Metropolitan University
- Yih, P. Ryu, J. Gerdes, GC. 2004. *Modification of Vehicle Handling Characteristic via Steer by wire*. Dept of Mechanical Eng., Stanford University
- Yih, P. Ryu, J. Gerdes, GC. 2004. *Vehicle State Estimation Using Steering Torque*. Dept of Mechanical Eng., Stanford University