

# RANCANGAN DASAR SISTEM KENDALI UMPAN MAJU PADA SISTEM KEMUDI EMPAT RODA BERDASARKAN MODEL KENDARAAN PENUH

B. Sampurno<sup>1)</sup>, H.A. Tjokronegoro<sup>2)</sup>, Farida I.M<sup>2)</sup> dan W. Arismunandar<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS Surabaya, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya  
e-mail: sampurno@tf.itb.ac.id.

<sup>2)</sup>Departemen Teknik Fisika - FTI ITB, Jalan Ganesha 10, Bandung.

<sup>3)</sup>Departemen Teknik Mesin - FTI ITB, Jl. Ganesha 10, Bandung.

## Ringkasan

Dalam makalah ini dibahas mengenai rancangan dasar sistem kendali umpan maju pada kendaraan dengan sistem kemudi empat roda (4WS). Sistem kendali tersebut digunakan untuk mengatur semua roda kendaraan agar menghasilkan gerakan belok optimum dari kendaraan yang bersangkutan. Pengendalian terhadap masing-masing roda dilakukan untuk memperoleh sudut samping masing-masing roda ( $\beta_i$ ), yang besarnya dihitung berdasarkan estimasi masing-masing sudut slip roda ( $\alpha_i$ ). Estimasi sudut slip dilakukan berdasarkan model kendaraan penuh, dengan memperhatikan gaya-gaya yang bekerja pada masing-masing roda.

## Abstract

This paper describes a basic design of feed forward controller on a four wheel steering (4WS) vehicle. The controller directs all wheels to get an optimal maneuver. Controlling the wheels is done by controlling each sideslip angles ( $\beta_i$ ). The sideslip angles are computed by estimating slip angles ( $\alpha_i$ ). Estimation of slips angles are done by sideslip angles based on full car model. The mathematical model is computed based on all forces that work on each wheels.

**Key Words :** 4WS, feed forward controller, sideslip angle, slip angle and estimation.

## 1. PENDAHULUAN

Penggunaan sistem kemudi empat roda (4WS) pada kendaraan bermotor dimaksudkan untuk meningkatkan kemampuan manuver pada kecepatan rendah-menengah (< 35 km/jam) dan meningkatkan stabilitas kendaraan pada kecepatan menengah ke atas (>35 km/jam). Namun peningkatan kemampuan tersebut juga diikuti beberapa kelemahan, yaitu antara lain cenderung *oversteer* pada kecepatan rendah-menengah dan cenderung *understeer* pada kecepatan menengah ke atas [1,2]. Hal ini terjadi karena arah masing-masing roda kendaraan tidak sesuai dengan kebutuhan manuver pada saat itu. Disamping itu, variabel masukan yang diberikan kepada kendaraan tidak sama dengan kebutuhan sistem 4WS. Variabel masukan kendaraan adalah kecepatan longitudinal ( $U_0$ ) dan sudut kemudi ( $\delta_{sw}$ ).

Untuk mengatasi kelemahan sistem 4WS tersebut beberapa solusi telah ditawarkan. Diantaranya pada kecepatan rendah-menengah, arah sudut roda belakang selain dikendalikan dengan kecepatan longitudinal dan sudut kemudi juga dikoreksi dengan gerak ujung depan kendaraan [3]. Sedangkan pada kecepatan menengah ke atas, arah sudut roda belakang selain dikendalikan dengan kecepatan longitudinal dan sudut kemudi juga dikoreksi oleh

laju putar (*yaw rate*) kendaraan [4,5]. Solusi-solusi tersebut direalisasikan dengan konstruksi sistem loop tertutup, dimana dibutuhkan pengukuran langsung pada keluaran. Di samping itu solusi-solusi tersebut dianalisis berdasarkan model kendaraan setengah (*half car model*), dimana analisis gaya-gaya yang terjadi hanya dilakukan pada roda depan dan belakang tanpa memperhitungkan gaya-gaya yang terjadi pada roda kiri dan kanan. Beberapa solusi lainnya menggunakan model kendaraan penuh [6], namun memisahkan antara kecepatan rendah-menengah dan menengah ke atas. Sementara itu, model matematik yang ditawarkan [7,8,9] tidak memisahkan antara kecepatan rendah-menengah dan menengah ke atas, namun masih diasumsikan roda kiri dan kanan memiliki gerakan yang sama.

Permasalahan mendasar bagi sistem 4WS adalah oleh karena gaya-gaya yang bekerja pada roda maka sudut yang diminta oleh kemudi ( $\delta$ ) tidak dapat diperoleh. Hal ini disebabkan oleh kehadiran sudut slip roda ( $\alpha_i$ ) akibat gaya-gaya yang bekerja pada roda tersebut. Sehingga pada roda kendaraan yang terjadi adalah sudut samping roda ( $\beta_i$ ) yang besarnya adalah sudut roda yang diminta kemudi dikoreksi dengan sudut slip.

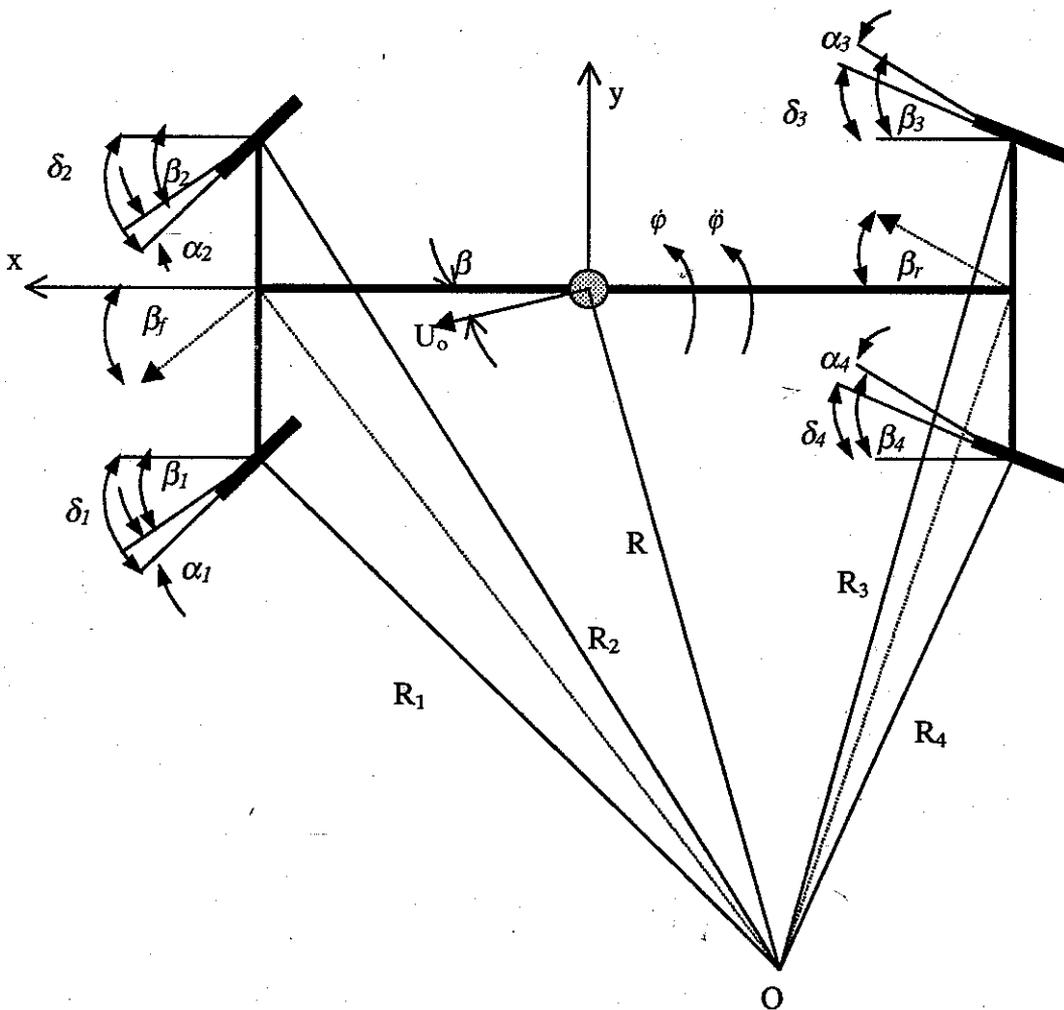
Untuk itu, dalam makalah ini ditawarkan rancangan sistem kendali umpan maju untuk mengatur keempat roda kendaraan agar menghasilkan manuver belok optimum. Sistem kendali tersebut dilakukan dengan mengestimasi sudut slip roda untuk setiap gaya yang bekerja pada roda yang bersangkutan pada saat itu. Sehingga sudut roda yang harus diberikan oleh kemudi dapat dihitung untuk memperoleh sudut samping roda yang sesuai dengan manuver belok yang dikehendaki. Secara konseptual, pada sistem kendali umpan maju ini, sudut roda yang diberikan oleh kemudi dikoreksi menjadi  $\delta_i = \beta_i \pm \hat{\alpha}_i$ , dimana  $\beta_i$  adalah sudut samping roda yang dikehendaki, sedangkan  $\hat{\alpha}_i$  adalah sudut slip yang diperkirakan.

Untuk merealisasikan sistem tersebut pada bagian kedua dalam makalah ini dilakukan pemodelan matematik kendaraan 4WS. Melalui model yang diperoleh tersebut dihitung sudut samping dan sudut slip masing-masing roda. Sudut samping roda dihitung berdasarkan acuan roda 1 dan kecepatan

longitudinal. Sementara itu sudut slip roda dihitung berdasarkan gaya-gaya yang bekerja pada masing-masing roda. Gaya-gaya tersebut merupakan fungsi sudut samping roda. Dengan demikian, dipastikan sistem ini adalah non linier. Selanjutnya pada bagian ketiga dibahas sistem kendali umpan maju yang diusulkan. Sedangkan pada bagian keempat akan diberikan kesimpulan dari permasalahan yang telah diuraikan.

## 2. MODEL MATEMATIK KENDARAAN 4WS

Untuk menurunkan model matematik kendaraan 4WS, dilakukan analisis pada masing-masing roda berdasarkan diagram kinematika saat kendaraan berbelok. Dalam diagram kinematika tersebut terlihat dinamika kendaraan dari masing-masing roda sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram kinematika kendaraan 4WS pada kecepatan rendah-menengah

Dari Gambar 1 terlihat bahwa pada saat kendaraan 4WS berbelok dengan kecepatan rendah-menengah, sudut roda belakang ( $\delta_3$  dan  $\delta_4$ ) mempunyai arah berlawanan dengan sudut roda depan ( $\delta_1$  dan  $\delta_2$ ), sehingga pusat kendaraan memiliki radius putar  $R$  sebagai hasil dari perputaran masing-masing roda ( $R_1, R_2, R_3$  dan  $R_4$ ) terhadap pusat putaran  $O$ . Perputaran kendaraan juga menimbulkan gaya sentrifugal ( $F_{cg}$ ) yang besarnya merupakan perkalian antara massa total kendaraan ( $m$ ) dengan percepatan sentrifugal ( $a_{cg}$ ). Akibat adanya gaya sentrifugal dan gaya-gaya lainnya, arah roda kendaraan tidak bergerak sesuai dengan sudut roda masing-masing akan tetapi memiliki selisih yang dinamakan sudut slip [7,10]. Besarnya sudut slip pada masing-masing roda akan berlainan ( $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  dan  $\alpha_4$ ) tergantung dari beban yang diterima masing-masing roda, sehingga besarnya sudut roda kendaraan menjadi  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  dan  $\beta_4$ .

### Menentukan Sudut Samping Roda

Besarnya radius putar dan sudut samping masing-masing roda dapat dihitung dengan acuan pada salah satu roda dan kecepatan longitudinal. Dalam kasus ini yang dijadikan acuan adalah roda 1 yaitu dengan menentukan besarnya  $\beta_1$ . Dari nilai tersebut maka didapatkan radius putar kendaraan  $R$  dan radius putar roda 1  $R_1$  yaitu:

$$R \approx \frac{573L}{\beta_1} + \frac{T_f}{2} \quad (1)$$

$$R_1 \approx \frac{a}{\sin \beta_1} \quad (2)$$

dimana  $L$  adalah jarak antara poros roda depan dan belakang,  $a$  adalah jarak antara poros depan dengan pusat kendaraan dan  $T_f$  adalah lebar track roda depan. Sedangkan radius putar roda 2, 3 dan 4 didapatkan dari hubungan geometri antara  $R_1$  dan  $\beta_1$  sebagai berikut (lihat Gambar 1):

$$R_2 = \frac{R_1 \cos \beta_1 + T_f / 2}{\cos \beta_2} \quad (3)$$

$$R_3 = \frac{R_1 \cos \beta_1 + T_f / 2}{\cos \beta_3} \quad (4)$$

$$R_4 = \frac{R_1 \cos \beta_1}{\cos \beta_4} \quad (5)$$

dimana  $T_f$  adalah lebar track roda belakang. Dari persamaan-persamaan tersebut diperoleh sudut samping roda 2, 3 dan 4 sebagai :

$$\beta_2 = \arcsin \left[ \frac{a + (R + T_f / 2) \beta}{R_1 \cos \beta_1 + T_f / 2} \right] \quad (6)$$

$$\beta_3 = \arcsin \left[ \frac{b - (R + T_f / 2) \beta}{R_1 \cos \beta_1 + T_f / 2} \right] \quad (7)$$

$$\beta_4 = \arcsin \left[ \frac{b - (R - T_f / 2) \beta}{R_1 \cos \beta_1} \right] \quad (8)$$

dimana  $\beta$  didapatkan dari pendekatan geometri sebagai berikut :

$$\beta \approx \arcsin \left[ \frac{a\phi + U_{o1} \sin(\beta_1)}{U_o} \right] \quad (9)$$

Besarnya laju putar  $\phi$  merupakan hasil bagi kecepatan longitudinal dengan radius putar. Sedangkan kecepatan roda satu  $U_{o1}$  merupakan perkalian antara radius putar roda satu dengan laju putar, dimana besarnya laju putar pada semua bagian kendaraan sama.

### Menentukan Sudut Slip Roda

Besarnya sudut slip sebagai fungsi gaya lateral ( $F_L$ ), gaya vertikal ( $F_v$ ), gaya longitudinal ( $F_{Lg}$ ) dan tekanan ban ( $P$ ) dengan menggunakan jenis ban *bias ply* telah dirumuskan [7] sebagai :

$$\alpha_i = 0,052817(F_{L,i})^{0,90635} - 0,004633(F_{v,i}) + \left[ \frac{F_{L,i} - 0,125403 (F_{Lg,i})}{109,5567} \right]^{1,7042} + \frac{F_{L,i}}{26,4 + 4,32(P) - 0,0674(P)^2}, i=1,4 \quad (10)$$

dimana  $i = 1,4$  menunjukkan roda 1 sampai dengan 4. Persamaan (10) menunjukkan bahwa sudut slip masing-masing roda akan bertambah jika gaya lateral bertambah dan akan berkurang jika gaya vertikal dan gaya longitudinal bertambah. Sementara itu, sudut slip berbanding terbalik secara polinomial dengan bertambahnya tekanan ban. Dalam kasus ini pengaruh besarnya sudut chamber diabaikan karena relatif kecil, serta harga koefisien gesek ditentukan sesuai dengan kondisi jalan.

Gaya lateral, longitudinal dan vertikal pada masing-masing roda telah dirumuskan [7,8,10], dimana gaya lateral adalah :

$$F_{L1,2} = \frac{b}{L} F_{cgy} \cos \beta_{1,2} \mp \frac{F_{cgx}}{4} \sin \beta_{1,2} + \frac{W_{1,2}}{g} a_{y1,2} \cos \beta_{1,2} + \frac{W_{1,2}}{g} a_{x1,2} \sin \beta_{1,2} \quad (11)$$

$$F_{L3,4} = \frac{a}{L} F_{cgy} \cos \beta_{3,4} \pm \frac{F_{cgx}}{4} \sin \beta_{3,4} + \frac{W_{3,4}}{g} a_{ty3,4} \cos \beta_{3,4} - \frac{W_{3,4}}{g} a_{tx3,4} \sin \beta_{3,4} \quad (12)$$

dimana indeks 1, 2, 3 dan 4 menunjukkan roda 1 sampai dengan 4. Persamaan (11) dan (12) menunjukkan bahwa gaya lateral masing-masing roda terjadi akibat transformasi gaya sentrifugal bodi kendaraan arah sumbu y ( $F_{cgy}$ ) dan arah sumbu x ( $F_{cgx}$ ), serta percepatan roda arah sumbu y ( $a_{ty}$ ) dan arah sumbu x ( $a_{tx}$ ). Berat masing-masing roda kendaraan adalah  $W_1, W_2, W_3$  dan  $W_4$ . Sedangkan percepatan bodi kendaraan dihitung sebagai berikut [7,8]:

$$a_{cx,y} = \frac{U_o^2}{R} \sin \beta \pm h_r \phi^2 \sin \theta \quad (13)$$

dimana indeks x, y menunjukkan arah sumbu x dan y,  $h_r$  tinggi pusat guling roda belakang,  $\theta$  sudut guling kendaraan. Sudut guling tersebut dihitung dari kesetimbangan kendaraan kearah guling. Sementara itu percepatan roda dirumuskan pada kondisi kecepatan longitudinal konstan, dimana percepatan masing-masing roda pada arah sumbu y adalah [7,8]:

$$a_{ty1,2} = \frac{U_o^2}{R} \cos \beta \pm \frac{T_r}{2} \phi^2 \quad (14)$$

$$a_{ty3,4} = \frac{U_o^2}{R} \cos \beta \mp \frac{T_r}{2} \phi^2 \quad (15)$$

Sedangkan percepatan masing-masing roda arah sumbu x adalah [7,8]:

$$a_{tx1,2} = \frac{U_o^2}{R} \sin \beta - a \phi^2 \quad (16)$$

$$a_{tx3,4} = \frac{U_o^2}{R} \sin \beta + b \phi^2 \quad (17)$$

Untuk gaya longitudinal telah dianggap tidak ada gaya pengereman dan traksi (percepatan) sehingga dapat ditulis sebagai :

$$F_{Lg1,2} = -\frac{b}{L} F_{cgy} \sin \beta_{1,2} + \frac{F_{cgx}}{4} \cos \beta_{1,2} - \frac{W_{1,2}}{g} a_{ty1,2} \sin \beta_{1,2} + \frac{W_{1,2}}{g} a_{tx1,2} \cos \beta_{1,2} \quad (18)$$

$$F_{Lg3,4} = \frac{a}{L} F_{cgy} \sin \beta_{3,4} + \frac{F_{cgx}}{4} \cos \beta_{3,4} + \frac{W_{3,4}}{g} a_{ty3,4} \sin \beta_{3,4} + \frac{W_{3,4}}{g} a_{tx3,4} \cos \beta_{3,4} \quad (19)$$

Demikian pula gaya vertikal pada masing-masing roda dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F_{v1,2} = \frac{bW_t}{2L} + \frac{R_{tr} \theta_{2f}}{T_r} + K_{tr} Z_{tr} \quad (20)$$

$$F_{v3,4} = \frac{aW_t}{2L} + \frac{R_{tr} \theta_{2r}}{T_r} + K_{tr} Z_{tr} \quad (21)$$

dimana  $W_t$  adalah berat total kendaraan,  $R_{tr}$  dan  $R_{tr}$  masing-masing adalah koefisien kekakuan rolling roda depan dan belakang,  $K_{tr}$  dan  $K_{tr}$  masing-masing adalah koefisien kekakuan vertikal roda depan dan belakang. Selanjutnya  $Z_{tr}$  dan  $Z_{tr}$  adalah jarak antara sumbu longitudinal dengan pusat massa roda depan dan belakang, yang didapatkan dari kesetimbangan momen ke arah anguk. Sedangkan  $\theta_{2f}$  dan  $\theta_{2r}$  adalah sudut guling roda depan dan belakang, yang didapatkan dari kesetimbangan momen ke arah guling.

Perlu dicatat bahwa persamaan (6) - (8) mengenai sudut samping roda juga dapat digunakan untuk menentukan besarnya sudut masing-masing roda, sehingga penentuan besarnya sudut samping roda pada dasarnya adalah penentuan besarnya sudut roda kendaraan, dimana sudut tersebut diperoleh dari sudut kemudi.

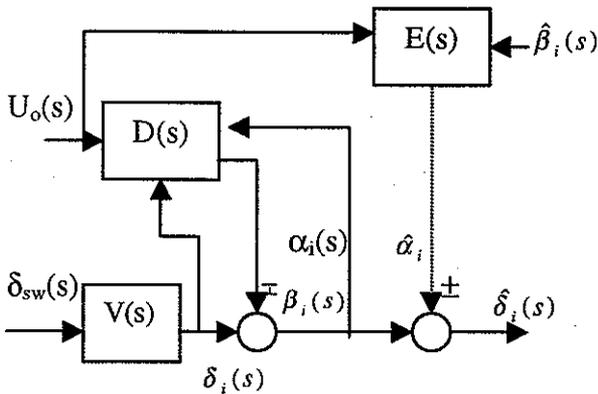
Sementara itu pada kecepatan menengah ke atas, sudut roda belakang diputar searah dengan sudut roda depan. Akibat dari perputaran tersebut sudut slip roda belakang memiliki besar yang berbeda dengan kecepatan rendah-menengah, disamping karena kenaikan kecepatan longitudinal. Namun arah sudut slip roda sama dengan kecepatan rendah-menengah. Sedangkan perhitungan terhadap sudut slip roda tetap menggunakan Persamaan (10) - (21).

Dengan tidak berpengaruhnya arah sudut slip roda kendaraan maka arah sudut samping roda kendaraan juga tidak berpengaruh, sehingga perhitungan parameter sudut samping roda tersebut berlaku untuk semua kecepatan.

### 3. RANCANGAN SISTEM KENDALI

Sebagaimana yang telah diuraikan dalam pendahuluan, sudut roda dan kecepatan longitudinal yang diberikan oleh pengemudi diharapkan menghasilkan sudut roda yang dikehendaki ( $\delta_i$ ). Namun karena adanya sudut slip maka yang timbul adalah sudut samping roda  $\beta_i = \delta_i \mp \alpha_i$ . Sementara itu, sudut slip roda merupakan fungsi beberapa variabel seperti kecepatan longitudinal, massa kendaraan dan sudut samping roda itu sendiri yaitu  $\alpha_i = f(U_o, m, \beta_i)$ . Sehingga sudut samping roda memiliki fungsi sebagai berikut  $\beta_i = g(\alpha_i, \beta_i, \delta_i)$ .

Dengan kondisi sistem 4WS di atas, maka dirancang kendali umpan maju yang mampu mengatur setiap roda untuk memperoleh gerakan optimum. Dalam sistem kendali ini dilakukan estimasi sudut slip yang digunakan untuk koreksi terhadap sudut samping roda untuk menghasilkan sudut samping roda yang dikehendaki. Adapun gambaran mengenai konsep tersebut disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema konsep sistem kendali umpan maju pada kendaraan 4WS.

Dari Gambar 2 terlihat bahwa sudut kemudi  $\delta_{sw}$  memberikan sudut roda sebesar :

$$\delta_i(s) = \delta_{sw} V(s) \quad (22)$$

dimana  $\delta_i(s)$  merupakan sudut roda yang dikehendaki kemudi dan  $V(s)$  adalah model dinamik kendaraan yang menghubungkan sudut kemudi dengan sudut roda. Sedangkan pada sisi yang lain, kecepatan longitudinal kendaraan  $U_o$  dan parameter lainnya menimbulkan sudut slip  $\alpha_i(s)$  sebesar :

$$\alpha_i(s) = U_o(s) D(s) \quad (23)$$

dimana  $D(s)$  adalah model dinamik kendaraan yang menghubungkan kecepatan longitudinal dan sudut roda dengan sudut slip, sehingga pada roda kendaraan yang terjadi adalah sudut samping roda yaitu sebesar :

$$\beta_i(s) = [\delta_{sw}(s) V(s) \mp \alpha_i(s)] \quad (24)$$

Untuk mendapatkan kembali sudut roda kendaraan yang diinginkan oleh kemudi maka sudut samping tersebut dikoreksi oleh sudut slip roda hasil estimasi  $\hat{\alpha}_i(s)$  sehingga menjadi :

$$\begin{aligned} \hat{\delta}_i(s) &= [\delta_{sw}(s) V(s) \mp \alpha_i(s)] \pm \hat{\alpha}_i(s) \\ &= \delta_i(s) \vee \alpha_i(s) = \hat{\alpha}_i(s) \end{aligned} \quad (25)$$

Estimasi sudut slip dilakukan berdasarkan Persamaan (10) sebagai fungsi dari gaya lateral, gaya longitudinal dan gaya vertikal yang berturut-turut diperoleh dari Persamaan 11, 12, 18, 19, 20 dan 21.

Variabel penting dari gaya-gaya tersebut adalah kecepatan longitudinal dan sudut samping roda. Jika variabel tersebut dapat diukur, maka harga sudut slip dapat diestimasi.

Dalam rancangan sistem kendali umpan maju dipastikan akan terdapat keterlambatan dalam melakukan koreksi terhadap variabel yang terkontrol. Untuk itu, dalam penerapan konsep tersebut harus diperhatikan pengaruh tersebut.

#### 4. KESIMPULAN

Telah dibahas rancangan kendali umpan maju pada kendaraan 4WS. Dari uraian diatas dapat diketahui bahwa :

1. Sudut slip masing-masing roda tidak sama akibat perbedaan perpindahan gaya yang terjadi pada masing-masing roda.
2. Dengan model di atas dapat ditunjukkan bahwa persamaan sudut samping roda kendaraan berlaku untuk segala kecepatan.
3. Sistem tidak memerlukan umpan balik. Namun membutuhkan estimator sudut slip sebagai fungsi dari kecepatan longitudinal, sudut samping roda dan parameter kendaraan lainnya.
4. Sistem mengantisipasi ketidaksesuaian antara kebutuhan sudut roda yang dikehendaki dengan kondisi sebenarnya.
5. Untuk merealisasikan sistem tersebut diperlukan validasi model matematik, estimator sudut slip dan kompensator yang mampu mengatasi keterlambatan dalam melakukan koreksi.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Sampurno B dan Tjokronegoro H. A , " Koefisien Understeer Sebagai Indikator Kendali Kendaraan Dengan Sistem 4WS ", Prosiding PPI - KIM '99, Serpong, 16-17 Nopember 1999.
2. Sampurno B, Tjokronegoro H. A, M. I. Farida, and Arismunandar W , " Estimator of Understeer Coefficient Based on Full Car Model at Four Wheel Steering , " Asia/Pacific International Congress on Engineering Computational and Signal Processing (ECM&SP'99), Bandung, November 22-24, 1999.
3. Adachi, K, Ito K and Fujishiro T , " Study on a New Four Wheel Steering Control Method at Low Speed - Front end Path Memorizing Method, " 8<sup>th</sup> International Conference on Automotive Electronic, London 1991.
4. Tran V. T, " Handling Control with Additional Rear Wheel Steering, " Paper 925050, XXIII FISITA Congress, London-England, 1992.

5. Lee A. Y," Performance of Four Wheel Steering Vehicles in Lane Change Maneuvers," SAE 950316, February 1995.
6. Sampurno B, Tjokronegoro H. A, M. I. Farida and Arismunandar W ," Application of Feed Forward Controller on a Four Wheel Steering :The Concept ", Seoul 2000 FISITA World Automotive Congress, Seoul, Korea June 12 - 15, 2000.
7. Sutantra I. N, Suwarso, Sampurno B dan Arifin S ," Rancang Bangun Sistem Kemudi 4 Roda untuk Meningkatkan Stabilitas Arah, Kemampuan Belok dan Kemampuan Parkir Kendaraan", Hibah Bersaing Dirjen Dikti, Jakarta 1998-2000.
8. Syahmanto M," Pengaruh Parameter Disain Dan Operasi Terhadap Sudut Steer Roda Belakang Sistem 4WS Pada Kecepatan Rendah ", Tugas Akhir S<sub>1</sub> Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya, 1999.
9. Triwinarno Y," Pengaruh Parameter Disain Terhadap Kebutuhan Sudut Belok Roda Belakang pada Sistem 4WS untuk Kecepatan Tinggi ", Tugas Akhir S<sub>2</sub> Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya, 1999.
10. Gillespie T. D ," Fundamentals of Vehicle Dynamics ," SAE. Inc. 400 Warrandale, USA, 1992.