

TINJAUAN TERHADAP SISTEM KEMUDI EMPAT RODA UNTUK MENENTUKAN PARAMETER SUDUT BELOK RODA BELAKANG

Wibowo¹

ABSTRACT : *Four wheel steering (4 WS) system is a wheel steering system that can control the four wheels, it is used to control the vehicle easily. By the four wheel steering, it will gain the angle of the back wheels (δ_r) which the size of the angle depends on the angle of the front wheels (δ_f) or it can be said that the steer angle of the back wheels are as a function from the angle steer of the front wheels. From the schematic model of the vehicle, it is arranged a mathematic model formula with the first data (design parameter), so that it gets the kinematics and dynamic analysis theoretically which is as the correlation between the angle steer of the front wheels and the angle steer of the back wheels. The dynamic theoretical analysis of the vehicle on more than medium speed to get the correlation from the parameter to the other parameter, so that the vehicle can walk stabile. By the geometric analysis, it can be decided the influence of each parameter analysis.*

Key words : *Two Wheel Steering, Four Wheel Steering, Steer Angle of the Front Wheel, Steer Angle of the Back Wheel, Speed, Slip Angle*

PENDAHULUAN

Inovasi dibidang otomotif terus berkembang sejalan dengan banyaknya penemuan-penemuan baru yang beredar dipasaran seperti Rem Antilock (ABS), pegas suspensi, transmisi otomatis dan penggunaan engine berbahan bakar solar telah digunakan pada sedan mewah dengan perubahan teknologi yang cukup berarti.

Salah satu faktor penting untuk mendapat perhatian di dunia otomotif adalah sejauh mana mobil yang semakin canggih tersebut mempunyai standar keamanan yang memadai, khususnya dalam hal stabilitas sehingga pabrik mobil yang berlomba menciptakan kreasi dituntut agar tetap mengikutkan faktor keselamatan bagi penumpang dan pengendara.

Bentuk pengamanan pasif yang telah dikembangkan antara lain berupa penggunaan sabuk pengaman tiga titik, pembuatan kantong udara yang dapat mengembang jika terjadi benturan serta sistem ABS yang merupakan kelengkapan mobil dan sudah banyak dipakai.

Faktor stabilitas kendaraan saat ini sedang dikembangkan dengan pesat, sehingga dimungkinkan kendaraan dapat dioperasikan pada kecepatan tinggi dengan respon yang masih tetap dapat dikuasai dan dikendalikan secara baik oleh pengemudi.

Akibat gaya sentrifugal yang lebih besar dan tidak sesuai dengan keinginan, dapat menimbulkan respon Understeer dan respon Oversteer. Untuk mengurangi efek akibat gaya sentrifugal diatas, dibuatlah sistem Four Wheel Steering (4WS) yaitu dengan membelokkan keempat roda sesuai yang dikehendaki.

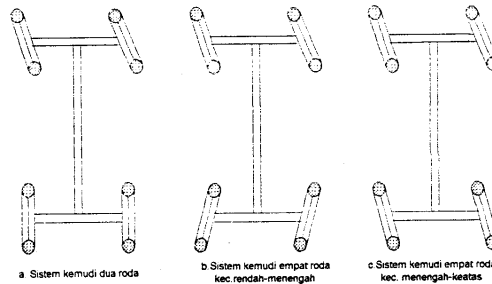
LATAR BELAKANG

Bertambahnya jumlah kendaraan bermotor khususnya kendaraan roda empat yang tidak sebanding dengan penambahan ruas jalan, mengakibatkan kepadatan lalu lintas

¹ staf pengajar jurusan Teknik Mesin FT UNS

sangat tinggi sehingga kendaraan sulit melakukan manuver. Oleh karena itu diperlukan penambahan mekanisme pada kendaraan bermotor sehingga dapat mengantisipasi kesulitan melakukan manuver tersebut. Salah satunya adalah menggunakan sistem kemudi empat roda (4 WS).

Fungsi sistem 4 WS adalah meningkatkan kemampuan manuver (maneuverability) pada kecepatan rendah menengah (0 - 35 km/jam) dengan memutar sudut roda belakang berlawanan dengan sudut roda depan, sementara pada kecepatan menengah ke atas (> 35 km/jam) berfungsi meningkatkan stabilitas (stabilability) kendaraan dengan memutar sudut roda belakang searah dengan sudut roda depan. Gambar mengenai gerak roda depan dan roda belakang untuk sistem kemudi dua roda (2 WS), sistem kemudi empat roda (4 WS) untuk kecepatan rendah-menengah dan kecepatan menengah ke atas sebagaimana terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Skema gerak roda kendaraan sistem kemudi dua roda dan empat roda Pada berbagai kecepatan

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Penelitian diharapkan menghasilkan harga sudut steer roda belakang sebagai fungsi dari sudut steer roda depan dan kecepatan, ditulis $\{ \delta_r = f(\delta_f, v) \}$ pada kendaraan dengan sistem kemudi empat roda (4 WS).

Variabel-variabel desain seperti konstruksi ban (ban bias atau ban radial), tekanan ban, letak titik berat bodi dari poros depan dan lain-lain juga dianalisa pengaruhnya terhadap korelasi sudut steer roda depan dan belakang dari kendaraan dengan sistem kemudi empat roda.

Sistem kemudi empat roda ini dirancang agar dapat berperan dalam hal :

Pertama : menjaga kestabilan kendaraan apabila berbelok dengan kecepatan tinggi sehingga menghindari terjadinya kondisi "*confusing*" bagi pengendara.

Kedua : meningkatkan ketajaman dan kemampuan belok pada kecepatan rendah.

Sedangkan perubahan variabel operasi dilakukan terhadap kecepatan kendaraan untuk kecepatan menengah keatas dan perubahan sudut steer depan. Dengan adanya perubahan-perubahan variabel desain serta variabel operasi akan diperoleh variasi dari sudut steer roda belakang dan diharapkan dapat dihasilkan hubungan antara pengaruh parameter desain terhadap sudut steer roda belakang.

Adapun manfaat dari penelitian diharapkan adanya suatu hasil yang dapat memberi efek stabilitas yang lebih baik, terutama pada kondisi perubahan parameter desain. Selain itu diharapkan dapat diperoleh besarnya *sudut steer roda belakang yang lebih tepat* pada kondisi stabil.

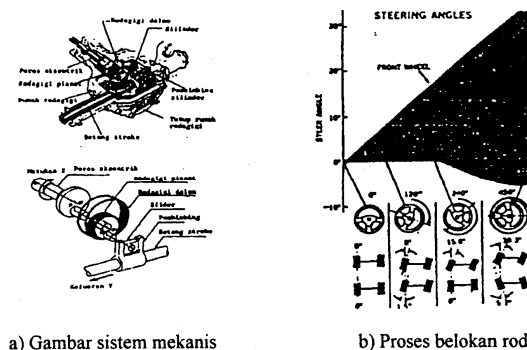
TINJAUAN PUSTAKA

Sistem kemudi 4 roda baik pada Honda maupun Mazda menggunakan model sistem kemudi yang memakai parameter kontrol yaitu :

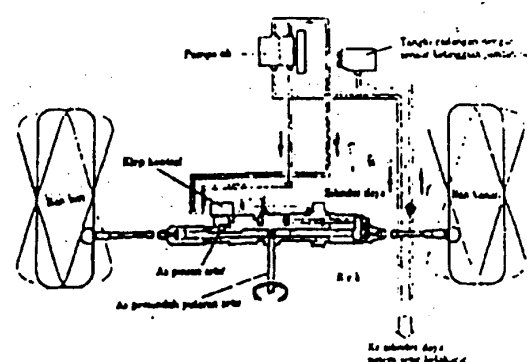
- Honda dengan parameter kontrol sudut belok roda depan
- Mazda dengan kecepatan kendaraan sebagai parameter kontrol.

Gambar 2 menunjukkan sistem mekanisme dari 4 WS yang digunakan Honda, juga menunjukkan proses belokan roda depan dan belakang. Terlihat bahwa belokan roda belakang maksimum $1,5^{\circ}$ searah dengan roda depan terjadi pada saat roda depan berbelok 8° . Sedangkan belokan roda belakang maksimum $5,3^{\circ}$ berlawanan arah dengan roda depan terjadi pada saat roda depan berbelok $30,3^{\circ}$.

Sistem 4 WS untuk Mazda ditunjukkan pada Gambar 3 kemampuan belok roda belakang maksimum 5° , baik searah maupun berlawanan dengan roda depan. Dengan demikian terlihat bahwa kedua sistem tersebut kurang mampu untuk mengurangi radius putar yang cukup terutama untuk proses parkir. Sistem 4 WS Honda yang hanya membelokkan $1,5^{\circ}$ roda belakang searah dengan roda depan masih belum mampu mengatasi oversteer dengan baik.



a) Gambar sistem mekanis b) Proses belokan roda
 Gambar 2. Sistem kemudi empat roda dari Honda



Gambar 3. Sistem kemudi empat roda dari Mazda

Nyoman Sutantra dan Ngurah Kresnawan (1988) mempelajari korelasi sudut steer roda depan dan roda belakang untuk sistem kemudi empat roda. Hasil studi itu menunjukkan bahwa perbandingan sudut belok roda depan dan roda belakang dipengaruhi oleh : sudut belok roda depan, kecepatan kendaraan dan sudut slip roda depan serta roda belakang.

Nyoman Sutantra dan Wahyu Dwiono (1992) telah merancang dan menguji sistem kemudi empat roda dengan sistem elektromekanis. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan mengatur belokan roda belakang dapat menghindari confusing.

Lee A.Y. (1995) dengan ansumsi jalan licin dan rata pada kecepatan menengah keatas dihasilkan dua arah keseimbangan yaitu keseimbangan gaya kearah lateral dan keseimbangan momen kearah putar.

Bambang Sampurno (1997) dalam Tesis Magister melakukan pemodelan dan simulasi kemudi empat roda dan pengontrolannya dengan metode linier kuadratik gaussian.

Nyoman Sutantra dan Ahmad Tazhir (1999) merancang software tentang analisa stabilitas kendaraan pada sistem kemudi empat roda. Dengan memasukkan parameter operasi sebagai input dapat diperoleh respon kendaraan sesuai yang dirancang.

Nyoman Sutantra dan M. Sjahmanto (1999) mempelajari pengaruh parameter operasi terhadap sudut steer roda belakang sistem kemudi empat roda pada kecepatan rendah. Dari analisa ini didapatkan suatu hasil berupa sudut steer yang sangat bermanfaat untuk keperluan parkir kendaraan.

Konsep 4 WS sudah diterapkan oleh beberapa perusahaan pembuat mobil, diantaranya adalah :

1. Sistem 4-WS Mitsubishi.
Sistem kemudi 4 roda hanya bekerja pada kecepatan diatas 50 km/jam, dengan menggunakan sensor kecepatan dan sensor posisi arah (belok) dari roda depan. Sebagai penggerak untuk membelokkan roda belakang digunakan aktuator dari sumber tenaga hidraulik.
2. Sistem 4-WS Honda.
Sistem kemudi 4 roda yang digunakan dengan sistem mekanis, yaitu menggunakan dua bush gear box, dipasang di bagian roda depan dan roda belakang, yang dihubungkan dengan poros transmisi. Pada gear box terdapat susunan roda gigi planet dengan poros eksentrik yang berfungsi untuk mengatur perbandingan posisi roda depan dan belakang.
3. Sistem 4-WS Mazda.
Kemudi roda belakang menggunakan sistem mekanis dengan tenaga hidraulik dan dikendalikan secara elektronik. Roda belakang membelok berlawanan arah dengan roda depan pada kecepatan dibawah 35 km/jam, sedangkan diatas 35 km/jam, roda belakang searah dengan roda depan.
4. Sistem 4-WS Nissan.
Sistem yang digunakan adalah sistem mekanis, yaitu dengan mengendalikan suspensi dari ke empat roda disebut sebagai super HICAS (High Capacity Actively Controlled Suspension). Penggerak roda belakang menggunakan aktuator yang dikontrol oleh mikroprosesor. Jika sistem mengalami gangguan, maka secara otomatis pegas mengembalikan ke kondisi sistem 2-WS.

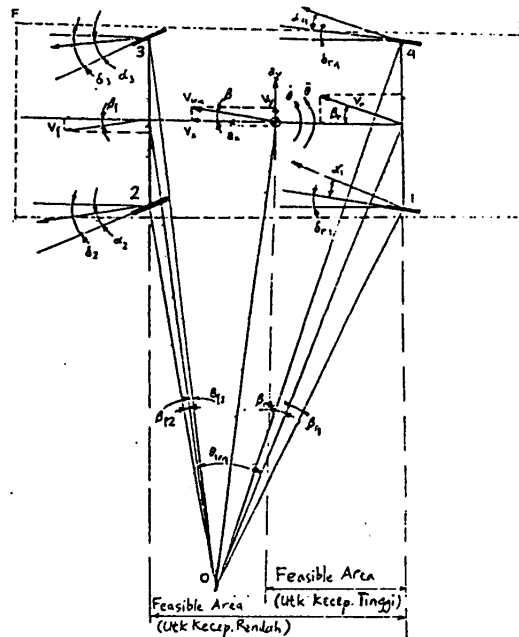
Aspek Teknis

Kebutuhan atau pentingnya sistem kemudi empat roda adalah terutama untuk menjaga kestabilan kendaraan jika kendaraan berbelok pada kecepatan tinggi. Pada kecepatan tinggi sering terjadi kondisi oversteer atau "confusing phenomena" untuk kendaraan dengan sistem kemudi dua roda. Dalam usaha mengatasi kondisi tersebut maka roda belakang diperankan sebagai stabilisator yaitu dengan memfungsikan roda belakang yang dapat membelok searah dengan roda depan.

Pada kondisi oversteer terlihat bahwa titik pusat putaran belok kendaraan berada didepan pusat massa kendaraan dan kondisi inilah sebagai penyebab terjadinya confusing phenomena. Untuk memperbaiki kondisi ini maka posisi pusat putaran belok kendaraan harus digeser kebelakang dengan membelokkan roda belakang searah dengan roda depan. Dengan demikian maka tidak lagi terjadi kondisi oversteer.

Dengan uraian diatas, maka konsep dasar serta indikator yang dipakai dalam merancang sistem kemudi empat roda adalah :

- a. Pada kecepatan tinggi, untuk menghindari oversteer pada saat kendaraan berbelok, maka belokan roda belakang harus sedemikian agar pusat putaran belok kendaraan berada antara pusat massa dan poros belakang kendaraan (lihat gambar 4).
- b. Pada kecepatan rendah, untuk menghasilkan radius belok kendaraan kecil maka roda belakang harus dibelokkan sedemikian agar pusat putaran belok kendaraan berada antara poros depan dan poros belakang kendaraan (lihat gambar 5.).
- c. Indikator dan kriteria stabilitas yang akan dipakai adalah :
 - Understeer index yang besarnya tergantung pada perbedaan sudut slip ban depan (α_f) dan sudut slip ban belakang (α_r).
 - Trayektori index yaitu besarnya gerak lateral kendaraan.
 - Body angle index yaitu besar belokan bodi kendaraan.
 - Side slip index yaitu besar sudut side slip pada massa kendaraan.

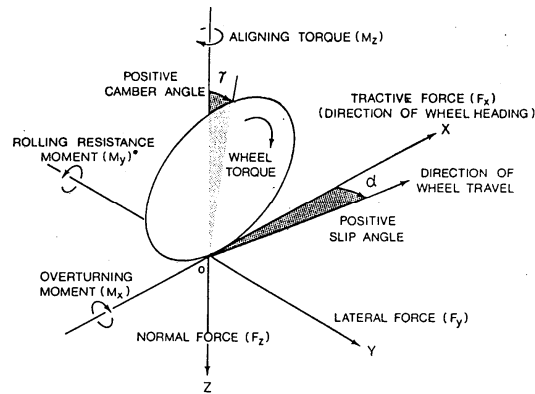


Gambar 4. Gerakan nyata kendaraan 4 WS

Teori Karakteristik Ban

Pengetahuan tentang karakteristik ban yang meliputi sifat dan kemampuan ban, sangat bermanfaat khususnya didalam membuat simulasi gerak kendaraan.

Untuk menggambarkan karakteristik ban dan gaya serta momen yang bekerja pada ban, perlu didefinisikan sebuah sistem sumbu yang dijadikan sebagai referensi untuk mendefinisikan berbagai parameter yang mempengaruhi sifat dari ban itu sendiri. Salah satu sistem sumbu yang umum digunakan dan yang disarankan oleh SAE (Society of Automotive Engineers), seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 5. Karakteristik Ban

Sistem sumbu ini menggambarkan bidang kontak antara ban dengan jalan. Sumbu x adalah perpotongan antara bidang ban dengan jalan dengan arah depan (x positif). Sumbu z adalah bidang yang tegak lurus bidang jalan yang mengarah kebawah (z positif). Sumbu y adalah bidang jalan, arahnya dipilih sedemikian rupa sehingga sistem sumbu ortogonal dengan kaidah tangan kanan didapatkan harga y positif.

Dari gambar tersebut terlihat ada tiga gaya dan tiga momen yang bekerja pada ban akibat kontak dengan jalan, yaitu :

- Tractive force (F_x) merupakan resultan komponen gaya kearah x yang bekerja pada ban.
- Lateral force (F_y) adalah resultan komponen gaya kearah sumbu y.
- Normal force (F_z) adalah resultan gaya kearah sumbu z yang bekerja pada ban yang tegak lurus bidang permukaan jalan.

Sedangkan ketiga momen yang bekerja adalah :

- Overturning Moment (M_x) adalah komponen momen yang bekerja pada sumbu x.
- Rolling Resistance Moment (M_y) adalah komponen momen pada sumbu y.
- Aligning Torque (M_z) adalah momen yang bekerja pada arah sumbu z pada ban yang tegak lurus bidang jalan.

Disamping gaya dan momen tersebut diatas, perlu diketahui juga ada dua sudut yang dibentuk oleh ban pada saat berputar, yaitu :

- Sudut slip (Slip angle), α .
- Sudut chamber (Chamber angle), γ .

Kedua sudut tersebut (α, γ) akan mempengaruhi gaya lateral (gaya kearah sumbu y) yang bekerja pada ban.

METODOLOGI PENELITIAN

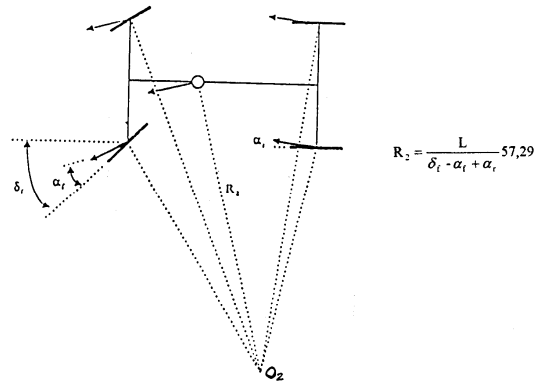
Dalam penelitian ada 4 hal utama yang perlu dikaji agar menghasilkan kinerja sistem kemudi empat roda yang multi fungsi dan multi parameter.

Multi fungsi dimaksudkan adalah bahwa sistem kemudi empat roda dapat meningkatkan stabilitas arah kendaraan pada gerakan belok dengan kecepatan tinggi, dapat membelokkan kendaraan dengan tajam pada kecepatan rendah, sehingga dengan mudah melakukan gerak parkir pada ruang yang lebih sempit.

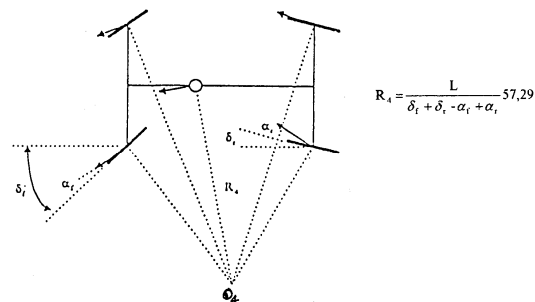
Multi parameter dimaksudkan adalah bahwa sistem ini dapat mengakomodasi pengaruh lebih dari satu parameter utama dalam melakukan pengendalian arah dan besar belokan roda belakang agar mampu berperan multi fungsi seperti diatas. Dengan demikian secara umum metode pendekatannya adalah bahwa untuk mempertajam belokan atau memperkecil radius putar maka roda belakang dibelokkan berlawanan arah dengan roda depan, hal ini dapat terjadi pada kecepatan rendah. Sedangkan besarnya sudut belok roda belakang ditentukan oleh parameter desain

kendaraan, yaitu posisi pusat massa, panjang wheel base serta parameter operasi kendaraan, diantaranya belokan roda depan, dan kecepatan kendaraan.

Pada saat kecepatan rendah dimana sudut slip pada ban masih kecil kendaraan dengan sistem kemudi 2 roda (2 WS) memiliki radius putar R_2 yang cukup besar sehingga kurang mampu untuk melakukan belokan tajam. Untuk memperkecil R_2 roda belakang harus dibelokkan berlawanan arah dengan roda depan. Radius putar kemudi 4 roda R_4 lebih kecil dari R_2 (lihat Gambar 6.a. dan Gambar 6.b.).



Gambar 6.a. Belokan kendaraan dengan kemudi 2 roda



Gambar 6.b. Belokan kendaraan dengan kemudi 4 roda

Untuk meningkatkan kestabilan pada saat belok dengan kecepatan tinggi, maka arah belok roda belakang dibuat searah dengan roda depan. Hal ini dimaksudkan agar dapat memperkecil gaya sentrifugal dengan memperbesar radius belok kendaraan atau agar dapat menggeser pusat putar kendaraan sedikit kebelakang sehingga kendaraan lebih mudah dikendalikan.

HASIL PERHITUNGAN

Dari percobaan yang telah dilakukan dengan menggunakan :
Model adalah mobil sedan TOYOTA DX dengan data sebagai berikut :

| | |
|---|-------------|
| Berat bodi kendaraan (W_{to}) | = 10104,3 N |
| Jarak CG bodi dari poros depan (a_{to}) | = 1,161 m |
| Tinggi titik berat bodi (h_{to}) | = 0,620 m |
| Berat beban (W_l) | = 981 N |
| Posisi beban dari poros depan (a_l) | = 1,2 m |
| Tinggi titik berat beban (h_l) | = 0,4 m |
| Berat unsprung mass depan (W_{uf}) | = 902,52 N |
| Berat unsprung mass belakang (W_{ur}) | = 1177,2 N |
| Ting ttk brt unsprung mass dpn (h_{uf}) | = 0,290 m |
| Ting ttk brt unsprung mass blk (h_{ur}) | = 0,290 m |
| Panjang wheel base (L) | = 2,669 m |

| | |
|---|-------------|
| Lebar track depan (t_f) | = 1,450 m |
| Lebar track belakang (t_r) | = 1,443 m |
| Tinggi sumbu rolling depan (h_f) | = 0,240 m |
| Tinggi sumbu rolling belakang (h_r) | = 0,280 m |
| Konstanta pegas suspensi dpn (K_{sf}) | = 12850 N/m |
| Konstanta pegas suspensi blk (K_{sr}) | = 14820 N/m |
| Jarak antar suspensi depan (d_f) | = 1,060 m |
| Jarak antar suspensi belakang (d_r) | = 0,970 m |

Hasil dari pengujian kendaraan hasil-nya seperti tertera pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan

| V (km/jam) | $\delta_f = 5^\circ$ | $\delta_f = 10^\circ$ | $\delta_f = 15^\circ$ | $\delta_f = 20^\circ$ | $\delta_f = 25^\circ$ | $\delta_f = 30^\circ$ | $\delta_f = 35^\circ$ | $\delta_f = 40^\circ$ |
|---------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | δ_r (deg) | δ_r (deg) | δ_r (deg) | δ_r (deg) | δ_r (deg) | δ_r (deg) | δ_r (deg) | δ_r (deg) |
| 30 | -1,967 | -3,734 | -5,341 | -6,759 | -7,947 | -8,861 | -9,454 | -9,681 |
| 35 | -1,731 | -3,204 | -4,505 | -5,619 | -6,514 | -7,150 | -7,482 | -7,470 |
| 40 | -1,433 | -2,560 | -3,492 | -4,245 | -4,792 | -5,100 | -5,129 | -4,837 |
| 45 | -1,100 | -1,797 | -2,300 | -2,633 | -2,781 | -2,716 | -2,400 | -1,793 |
| 50 | -0,700 | -0,912 | -0,925 | -0,783 | -0,484 | -0,005 | 0,690 | 1,639 |
| 55 | -0,241 | 0,095 | 0,633 | 1,301 | 2,089 | 3,017 | 4,117 | 5,429 |
| 60 | 0,278 | 1,227 | 2,371 | 3,612 | 4,928 | 6,330 | 7,852 | 9,534 |
| 65 | 0,857 | 2,483 | 4,288 | 6,143 | 8,013 | 9,906 | 11,854 | 13,902 |
| 70 | 1,499 | 3,862 | 6,377 | 8,880 | 11,325 | 13,713 | 16,078 | 18,470 |
| 75 | 2,203 | 14,360 | 23,438 | 31,606 | 38,775 | 46,080 | 54,051 | 60,873 |
| 80 | 7,518 | 18,305 | 29,373 | 40,102 | 50,112 | 58,850 | 66,303 | 74,096 |

KESIMPULAN

Berdasarkan tinjauan terhadap hasil rancangan dan pengujian sistem kemudi empat roda untuk menentukan parameter sudut belok roda belakang, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada kecepatan rendah, ambil 35 km/jam sudut belok roda depan jika diputar semakin besar maka sudut belok roda belakang akan berputar berlawanan arah yang juga semakin besar. Hal ini merupakan kondisi yang baik untuk melakukan manuver ketika kendaraan akan berbelok, yang penting ketika sedang parkir.
2. Pada kecepatan 50 km/jam sudut belok roda belakang hampir tidak mengalami perubahan yang cukup berarti meskipun sudut roda depan bertambah besar. Hal ini merupakan kondisi dimana kendaraan menjadi sama dengan 2 wheel steering.
3. Pada kecepatan kendaraan sampai sekitar 70 km/jam :
Berlaku $\{-\beta_{ack} < \beta_{nyata} < 0\}$, yaitu kendaraan dalam kondisi stabil dinamis.
Perlu ada pembatasan besarnya sudut belok roda belakang, sehingga kendaraan tidak mengalami kondisi yang tidak mungkin seperti ditunjukkan pada tabel 1, dimana sudut belok roda belakang menjadi sangat besar sampai melebihi sudut belok roda depan.
4. Sistem 4 WS sangat ideal digunakan, terutama saat kendaraan belok, dengan radius belok diperbesar menjadi 1,5 kali R_{ack}

DAFTAR PUSTAKA

- Benard J.E. and Clover C.L. [Februari 1995], "*Tire Modelling for Low-Speed and High Speed Calculation*", SAE 9503111.
- Gillespe T.D. [1992], "*Fundamentals of Vehicle Dynamic*", SAE, Inc. 400 Warrandale, USA.
- Lee A.Y. [Februari 1995], "*Performance of Four Wheel Steering Vehicles in Lane Change Manuevers*", SAE 950316.
- Kresnawan I. GN [1998], "*Korelasi Sudut Steer Depan dan Belakang dengan Kontrol Side Slip Angle Guna Meningkatkan Stabilitas Arah Kendaraan*", Tugas Akhir S1 Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITS, Surabaya.
- Reppich A. and Willig R. [Februari 1995], "*Yaw rate Sensor for Vehicles Dynamic Control System*", SAE 950537.
- Sampumo Bambang [1997], "*Optimalisasi Sistem Kemudi Empat Roda dengan Umpan Balik Laju Putar (Yaw rate) Kendaraan*", Tesis S2 Instrumentasi dan Kontrol, Fakultas Pascasarjana ITB, Bandung.
- Wong J.Y. [1978], "*Theory of Ground Vehicles*", John Wiley and Sons, New York.
- Wahyu Dwiono [1990], "*4-WS Dengan Sistem Koriolis Pada FIAT UNO 70 SL*", Tugas Akhir S1 Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITS, Surabaya.
- Sutantra, Nyoman [1992], "*Desain dan Karakteristik Sistem Kemudi 4 Roda*", Majalah IPTEK-ITS, Vol. 1.
- Sjahmanto, M. [1999], "*Pengaruh Parameter Operasi terhadap Sudut Steer Roda Belakang Sistem Kemudi Empat Roda Pada Kecepatan Rendah*", Tugas Akhir S I Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITS, Surabaya.
- Tazhir, A. [1999], "*Software Analyse Stability of Vehicle With Four Wheel Steering System*", Tugas Akhir S 1 Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITS, Surabaya.