

PARAMETER SUDUT BELOK RODA PADA KENDARAAN DENGAN SISTEM KEMUDI EMPAT RODA

Wibowo¹

¹ Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

Keywords :

Two wheel steering
 Four wheel steering
 Steer angle of the front wheel
 Steer angle of the back wheel
 Speed
 Slip angle

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.

PENDAHULUAN

Inovasi di bidang 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 mengikatkan 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.

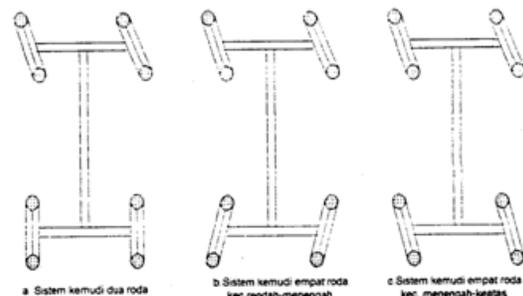
Faktor stabilitas kendaraan saat ini sedang dikembangkan dengan pesat, sehingga dimungkinkan kendaraan dapat dioperasikan pada kecepatan tinggi dengan respon yang masih tetap dapat dikuasai dan dikendalikan secara baik oleh pengemudi.

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.

Bertambahnya jumlah kendaraan bermotor khususnya kendaraan roda empat yang tidak sebanding dengan pertambahan ruas jalan,

mengakibatkan kepadatan lalu lintas 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 (*manuverability*) 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.

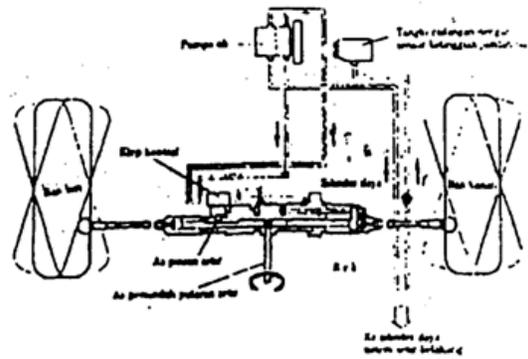


Gambar 1. Skema gerak roda kendaraan sistem kemudi dua roda dan empat roda pada berbagai kecepatan

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.



Gambar 3. Sistem kemudi empat roda dari Mazda

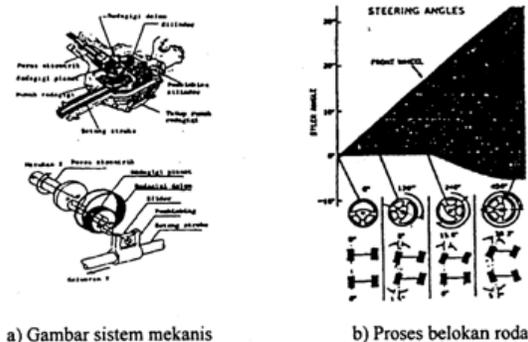
METODOLOGI PENELITIAN

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° searah dengan roda depan terjadi pada saat roda depan berbelok 8°. Sedangkan belokan roda belakang maksimum 5,3° berlawanan arah dengan roda depan terjadi pada saat roda depan berbelok 30,3°.

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° 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

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 analisis 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 analisis 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 hidrolik 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*). Pengerak roda belakang menggunakan aktuator yang dikontrol oleh mikroprosesor. Jika sistem mengalami gangguan, maka secara otomatis pegas mengembalikan ke kondisi sistem 2-WS.

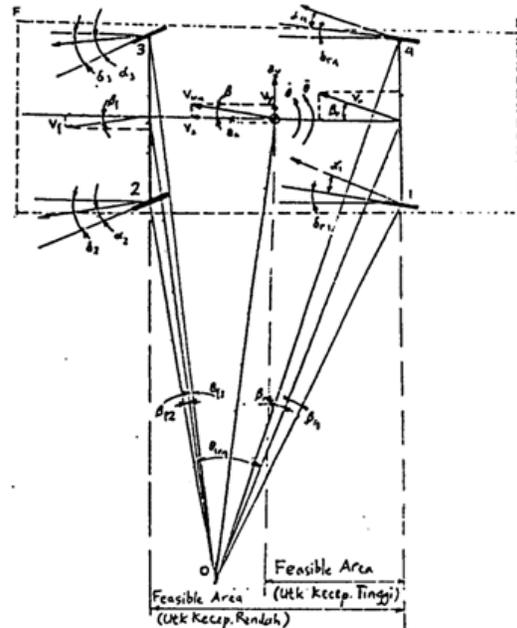
Kebutuhan atau pentingnya sistem kemudi empat roda adalah terutama untuk menjaga kestabilan kendaraan jika kendaraan berbelok pada kecepatan tinggi. Pada kecepatan tinggi sering terjadi kondisi *oversteer* atau "*confusing phenomena*" untuk kendaraan dengan sistem kemudi dua roda. Dalam usaha mengatasi 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 di depan pusat massa kendaraan dan kondisi inilah sebagai penyebab terjadinya *confusing phenomena*. Untuk memperbaiki kondisi ini maka posisi pusat putaran belok kendaraan harus digeser ke belakang dengan membelokkan roda belakang searah dengan roda depan. Dengan demikian maka tidak lagi terjadi kondisi *oversteer*.

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

- 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 (Gambar 4).
- 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 (Gambar 6.).
- 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.



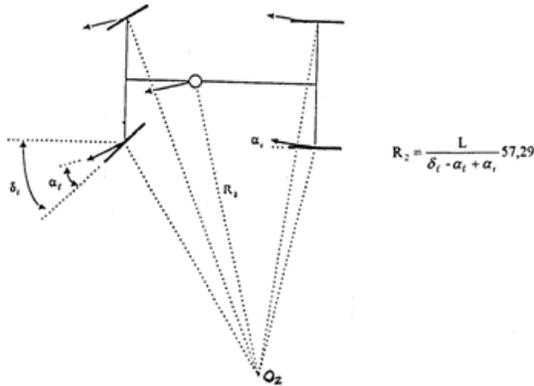
Gambar 4. Gerakan nyata kendaraan 4 WS

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

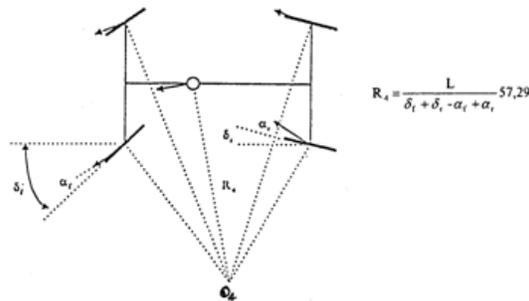
Multi fungsi yang dimaksudkan adalah sistem kemudi empat roda dapat meningkatkan stabilitas arah kendaraan pada gerakan belok dengan kecepatan tinggi, dapat membelokkan kendaraan dengan tajam pada kecepatan rendah, sehingga dengan mudah melakukan gerak parkir pada ruang yang lebih sempit.

Multi parameter yang dimaksudkan adalah 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 di atas. 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 5 dan Gambar 6).



Gambar 5. Belokan kendaraan dengan kemudi 2 roda



Gambar 6. 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 ke belakang sehingga kendaraan lebih mudah dikendalikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari percobaan yang telah dilakukan dengan menggunakan :

Model adalah mobil sedan TOYOTA DX dengan data sebagai berikut :

- Berat bodi kendaraan (W_{10}) = 10104,3 N
 - Jarak CG bodi dari poros depan (a_{10}) = 1,161 m
 - Tinggi titik berat bodi (h_{10}) = 0,620 m
 - Berat beban (W_1) = 981 N
 - Posisi beban dari poros depan (a_1) = 1,2 m
 - Tinggi titik berat beban (h_1) = 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 hasilnya 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_f (deg)	δ_f (deg)	δ_f (deg)	δ_f (deg)	δ_f (deg)	δ_f (deg)	δ_f (deg)	δ_f (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	5,360	9,438	13,606	18,775	24,080	29,501	35,873
80	2,958	7,005	13,373	19,102	25,112	31,850	38,803	46,096

KESIMPULAN

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

1. Pada kecepatan rendah, dibawah 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, sesuatu 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. Dalam hal ini sudut belok roda depan hampir tidak pernah lebih dari 25° , karena kendaraan bisa mengalami *rolling*.
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., 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., 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 SI*, Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITS, Surabaya.

Reppich A. and Willig R., 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 SI*, Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITS, Surabaya.

Sutantra, Nyoman, 1999, *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 SI*, Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITS, Surabaya.

Tazhir, A., 1999, *Software Analyse Stability of Vehicle with Four Wheel Steering System*, *Tugas Akhir SI*, Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITS, Surabaya.