

Permodelan Kendaraan RWD2WS dan Simulasi Geometri Perbandingan *Track* Serta Pengaruh *Right and Left Spin Ratio* Roda Penggerak Terhadap Terbentuknya Gerakan *Front Steer Angle Uncontrollable*

Ian Hardianto Siahaan⁽¹⁾ dan Willyanto Anggono⁽²⁾

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri-Universitas Kristen Petra^(1,2)
Product Innovation and Development Centre Petra Christian University^(1,2)

Jl.Siwalankerto 142-144, Surabaya 60236

Email: ian@peter.petra.ac.id; willy@peter.petra.ac.id

Abstrak

Hampir semua kendaraan roda empat saat ini masih menggunakan sistem kemudi 2 roda (2WS), yaitu sistem kemudi yang hanya menggunakan dua roda depan sebagai pengendali arah. Kendaraan dengan sistem kemudi 2WS (*2Wheel Steering*) pada saat belok bisa terjadi kondisi *understeer* atau *oversteer*. Permasalahan yang sering terjadi jika berbelok pada kecepatan tinggi adalah roda belakang *skid* kesamping sehingga terjadi gerakan *yawing* yang terlalu besar sehingga pengemudi tidak mampu mengendalikan kendaraannya.

Pada Sistem penggerak 2WD terdiri dari sistem penggerak roda depan (*Forward Wheel Drive*) dan sistem penggerak roda belakang (*Rear Wheel Drive*). Sistem penggerak roda pula, yang menjadi perhatian pabrikan Jepang ketika menciptakan kendaraan yang hemat bahan bakar.

Penelitian menganalisa parameter kestabilan pengaruh panjang *equal track* dan *unequal track* pada sebuah kendaraan RWD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbandingan *track* dengan (belakang/depan=1) lebih mudah melakukan *manuver* dibanding *track* dengan (belakang/depan \neq 1) karena $R_{nyata =1}$ yang dihasilkan $< R_{nyata \neq 1}$ saat melakukan gerakan belok. Tetapi $F_{centrifugal \ track =1} > F_{centrifugal \ track \neq 1}$ menunjukkan untuk *unequal track* lebih stabil dibanding yang *equal track*. *Spin* roda kanan dan kiri sebagai hal paling berpengaruh pada terbentuknya stabilitas arah (*directional stability*) akibat putaran roda kanan dan kiri yang berbeda pada saat melaju pada berbagai kecepatan sehingga terbentuknya *front steer angle uncontrollable* $< 2^\circ$.

Keywords: *Understeer, oversteer, skid, yawing, manuver*

1.Pendahuluan

Hampir semua kendaraan roda empat saat ini masih menggunakan sistem kemudi 2 roda (2WS) yaitu sistem kemudi yang hanya menggunakan dua roda depan sebagai pengendali arah. Kendaraan dengan sistem kemudi 2WS pada saat belok bisa terjadi kondisi *understeer* atau *oversteer*. Permasalahan yang sering terjadi jika berbelok pada kecepatan tinggi adalah roda belakang *skid* ke samping sehingga terjadi gerakan *yawing* yang terlalu besar sehingga pengemudi tidak mampu mengendalikan kendaraannya.

Pada Sistem penggerak 2WD terdiri dari sistem penggerak roda depan (FWD) dan sistem penggerak roda belakang (RWD). Sistem penggerak roda pula, yang menjadi perhatian pabrikan Jepang ketika menciptakan kendaraan yang hemat bahan bakar.

Jepang kemudian mempopulerkan sistem penggerak roda depan atau *front wheel drive* (FWD) ke seluruh dunia, padahal mereka bukanlah penemunya. Sistem FWD terlebih dahulu di kenal di Eropa melalui mobil kecil yang diproduksi tahun 1960-an, *mini copper*. FWD disukai pabrikan dengan tiga alasan, yaitu biaya produksinya rendah, mengurangi berat kendaraan dan desain kabin bisa dirancang lebih lega. Biaya produksi rendah karena semua sistem penggerak bertumpu di bagian roda depan, jadi pabrikan tidak perlu lagi memasang penyalur tenaga ke roda belakang. Ini pula yang membuat berat kendaraan menjadi lebih ringan yang dampaknya pada pemakaian bahan bakar diklaim lebih irit. Yang tidak kalah penting bagi pabrikan Jepang adalah rancang bangun kabin. Meski mobil dari luar tampak kecil, kabin bisa kelihatan lega dan nyaman. Inilah yang menjadi ciri khas mobil Jepang yang ternyata disukai konsumen.

Meski sekarang sistem FWD masih populer dan mendominasi produksi mobil dunia, ada kecenderungan dari pabrikan mobil untuk memproduksi kembali kendaraan dengan sistem penggerak roda belakang (RWD), khususnya pada mobil mewah dan *sport*. Memang tipe mobil seperti itu memerlukan daya dorong atau tenaga yang

besar. Karenanya, perlu mesin yang berkapasitas besar. Memang salah satu keuntungan dari sistem RWD adalah bagian depan kendaraan bisa leluasa untuk mengatur kedudukan mesin, karena komponen penyalur tenaga ditaruh memanjang ke arah belakang.

Sistem *Rear Wheel Drive* atau RWD sendiri dipopulerkan oleh pabrikan mobil AS. Namun, tuntutan zaman karena krisis energi pada tahun 1970-an memaksa AS untuk beralih ke sistem FWD. Untuk penggerak roda depan di Indonesia, lebih cocok untuk transportasi perkotaan dengan syarat tanpa beban berlebih. Berdasarkan rekomendasi pabrikan, jumlah penumpang dan barang yang bisa diangkut harus sesuai dengan buku panduan. Bila tidak, mobil berpenggerak FWD itu akan cepat mengalami kerusakan terutama bagian laher, juga pada as penggerak serta komponen lainnya. Argumentasi mana yang lebih baik antara kedua sistem ini memang sulit diperdebatkan. Alasannya, di kejuaraan reli dunia WRC (*World rally Championship*) justru semua mobil yang berlaga di reli kebanyakan memakai FWD dan mampu melaju dengan cepat di berbagai medan.

Pada kajian ini justru menekankan pengaruh *track* yang terjadi untuk kondisi bersyarat *equal track* dan *unequal track* dengan RWD-2WS (*Rear Wheel Drive-Two Wheel Steering*)

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Geometri RWD2WS

Sebuah sistem dikatakan stabil jika dapat diberikan mencapai kondisi kesetimbangan, dimana kecenderungannya untuk tetap kembali ke kondisi sebelumnya. Bilamana pergerakannya mengikuti kecendrungan ke kondisi sebelumnya tercapai dengan baik, paling sedikit secara *asymptotically* dan pada kenyataannya secara dinamis bisa dikatakan stabil, dan juga bila gerakannya cenderung mencapai kondisi kesetimbangan secara monoton atau melalui *damped oscillation*. Bilamana berlawanan atau pada kondisi tidak tercapai, biasanya dikatakan *divergent oscillation* dan sistem ini biasa dikatakan tidak stabil. Jika sebuah *undamped oscillation* terjadi, dalam kasus *undamped spring mass system*, stabilitas dinamik boleh dikatakan *neutral*.

Perilaku arah kendaraan juga menggambarkan stabilitas arah dari kendaraan dan juga sering disebut karakteristik *handling* dari kendaraan. Makin baik perilaku arah kendaraan maka juga dikatakan kendaraan makin stabil dan makin gampang dikendalikan atau *dihandling*. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa kendaraan dikatakan stabil jika perilaku arah atau arah gerakan kendaraan hanya dipengaruhi oleh arah belok roda kemudi sehingga mudah dikendalikan oleh pengemudi. Pada saat kendaraan berbelok umumnya akan terjadi sudut *slip* pada masing-masing roda sehingga arah gerakan roda sudah berubah. Makin besar sudut *slip* yang terjadi makin besar juga pengaruhnya terhadap arah kendaraan. Jika arah kendaraan lebih banyak dipengaruhi oleh sudut *slip* pada roda dibanding oleh arah roda kemudi maka dikatakan kendaraan tidak stabil atau kendaraan sulit dikendalikan.

Joko Tawekal, menjelaskan bahwa hasil dari analisa perhitungan menunjukkan bahwa akibat dari terjadinya *skid* pada kendaraan menyebabkan posisi kendaraan tidak berada pada *track* yang sebenarnya sehingga keakuratan dari *trajectory* kendaraan berkurang. Dan penentuan *increment* waktu harus disesuaikan dengan kecepatan kendaraan.

Spark dan Besselink, Blair dan Spark dan Lu, *et al* menjelaskan konsep dasar hubungan secara matematis antara kecepatan *spin* roda penggerak dan sudut kemudi dipengaruhi oleh konfigurasi kendaraan 2 WD dan 4 WD. Untuk 2 WD tipe konfigurasi dengan *track* belakang dan depan yang sama (*equal track*) menggunakan hubungan matematis antara kecepatan *spin* poros penggerak dan sudut kemudi roda yang dijelaskan dengan formulasi sebagai berikut dengan asumsi diameter roda penggerak memiliki diameter sama:

$$\delta_L = \tan^{-1} \left[\frac{b}{t} \left(1 - \frac{\omega_R}{\omega_L} \right) \right] \quad (2.1)$$

$$\delta_R = \tan^{-1} \left[\frac{b}{t} \left(\frac{\omega_L}{\omega_R} - 1 \right) \right] \quad (2.2)$$

$$\delta^f = \frac{\delta_L + \delta_R}{2} \quad (2.3)$$

Dimana:

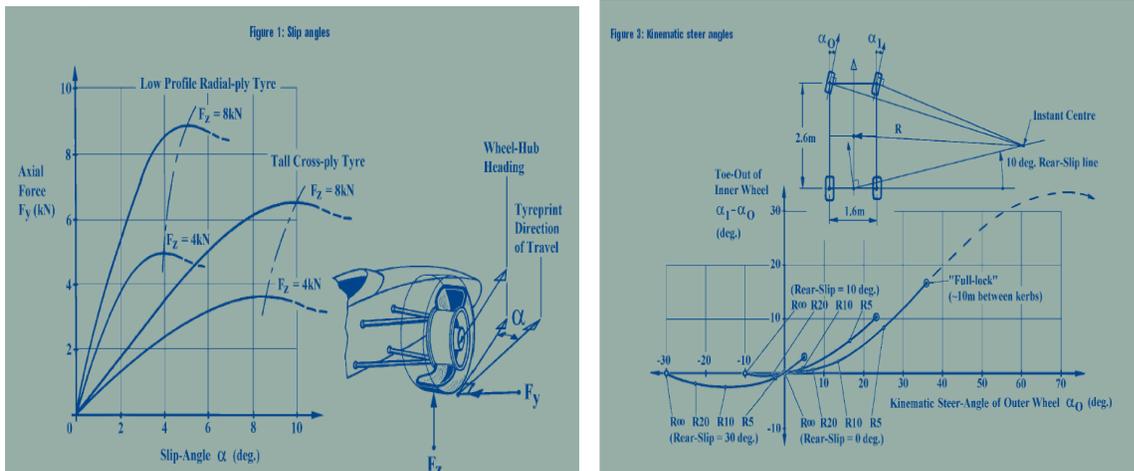
- b = *Wheel base* kendaraan
- t = $t_F = t_B$ = *Track* depan = *Track* belakang
- ω_L = Kecepatan sudut *spin* roda sebelah kiri

ω_R = Kecepatan sudut *spin* roda sebelah kanan

δ_L = *Steer angle* roda sebelah kiri

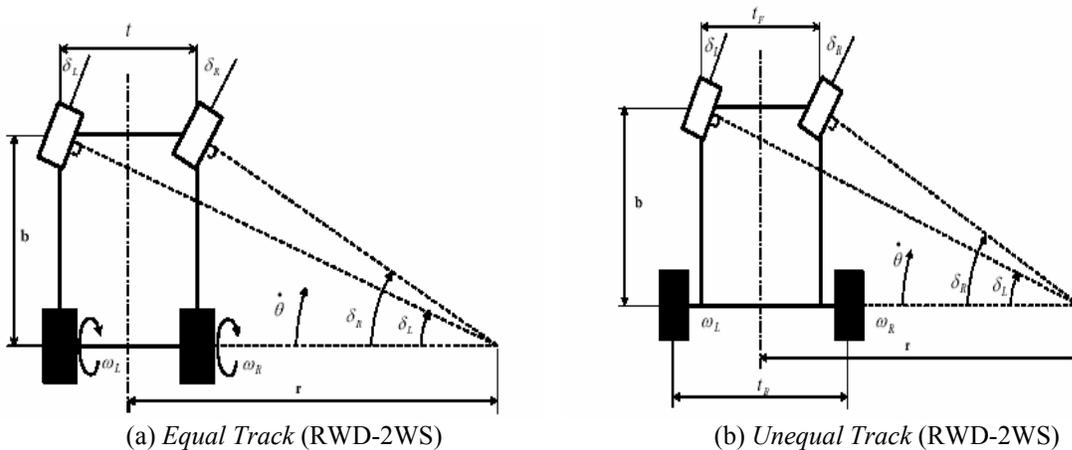
δ_R = *Steer angle* roda sebelah kanan

Hubungan *slip angle* yang terjadi pada kendaraan tergantung kepada parameter F_x (*longitudinal*), F_y (*lateral*), dan F_z (*normal*), sedangkan kondisi rielnya dapat diperoleh hubungan *kinematic steer angle* dengan variasi *rear slip line*.



Gambar 2.1 *Slip Angle* Terhadap F_y dan *Kinematic Steer Angle of Outer Wheel*

Geometri kendaraan RWD-2WS dapat diperlihatkan menurut analisa dinamika kendaraan berikut ini berdasarkan panjang *track* yang sama (*equal track*) dan panjang *track* yang berbeda (*unequal track*).



Gambar 2.2. Geometri Kendaraan Berbelok RWD-2WS (*Integrated Steering-Drive System Theory*)

Geometri untuk menentukan r pada kondisi *equal track*, dapat dijelaskan dengan formulasi berikut ini,

$$r = \frac{b - t/2 \tan \delta_L}{\tan \delta_L} = \frac{b + t/2 \tan \delta_R}{\tan \delta_R} \quad (2.4)$$

Untuk kasus panjang *track* yang berbeda (*unequal track*) seperti di atas, efek dari *longitudinal slip* dapat dipertimbangkan. Kecepatan *yaw*, poros penggerak terhadap pusat kurva dapat diberikan berdasarkan persamaan berikut:

$$\dot{\theta} = \frac{V_L}{r + \frac{t_B}{2}} = \frac{V_R}{r - \frac{t_B}{2}} \quad (2.5)$$

Dimana:

- t_B = Panjang *track* belakang kendaraan
- V_L = Kecepatan *linear left drive wheel*
- V_R = Kecepatan *linear right drive wheel*
- δ_L = *Steer angle* sebelah kiri
- δ_R = *Steer angle* sebelah kanan

Bila r' adalah *free rolling radius* dari sebuah roda penggerak, dan i adalah *longitudinal slip*, maka formulasi di atas dimanipulasi menjadi:

$$\dot{\theta} = \frac{r' \omega_L (1 - i_L)}{r + \frac{t_B}{2}} = \frac{r' \omega_R (1 - i_R)}{r - \frac{t_B}{2}} \quad (2.6)$$

Perbandingan putaran roda penggerak kanan dan kiri untuk kondisi nyata di lapangan untuk *equal* dan *unequal track* didekati menggunakan persamaan keadaan berikut ini:

$$\frac{\omega_R}{\omega_L} = \frac{1 - i_L}{1 - i_R} \quad (2.7)$$

Dengan menyusun persamaan (2.5) diperoleh persamaan untuk kondisi *unequal track* yang kiri dan kanan menjadi (*Spark dan Besselink*):

$$\delta_L = \tan^{-1} \left[\frac{2b(\omega_L - \omega_R)}{\omega_L(t_B + t_F) + \omega_R(t_B - t_F)} \right] \quad (2.8)$$

$$\delta_R = \tan^{-1} \left[\frac{2b(\omega_L - \omega_R)}{\omega_L(t_B - t_F) + \omega_R(t_B + t_F)} \right] \quad (2.9)$$

Sedangkan geometri untuk menentukan r pada kondisi *unequal track*, dapat dijelaskan dengan formulasi berikut ini,

$$r = \frac{b - t_b / 2 \tan \delta_L}{\tan \delta_L} = \frac{b + t_b / 2 \tan \delta_R}{\tan \delta_R} \quad (2.10)$$

Analisa kestabilan kendaraan dapat diuji dan diperiksa dengan melakukan analisa dinamika kendaraan belok di jalan datar yang meliputi analisa *skid*.

2.2. Analisa *Skid* Kendaraan

Pada saat kendaraan berbelok akibat gaya kesamping pada roda depan dan belakang maka akan terjadi kemungkinan kendaraan *skid* pada roda depan atau roda belakang atau kedua-duanya. Jika pada saat belok, roda depan yang *skid* maka kendaraan akan cenderung *understeer*, dan jika roda belakang yang *skid* maka kendaraan akan cenderung *oversteer*.

Jika terjadi *skid* pada saat berbelok maka akan mengakibatkan kendaraan akan menjadi sulit untuk dikendalikan dan sering menjadi penyebab dari suatu kecelakaan lalu lintas. *Skid* pada roda depan akan tidak terjadi jika gaya kesamping pada roda depan lebih kecil atau sama dengan gaya gesek yang mampu didukung oleh roda depan. Begitu juga pada roda belakang, *skid* tidak akan terjadi jika gaya geseknya masih mampu menahan gaya kesamping yang terjadi.

Titik berat merupakan salah satu yang berpengaruh, ini terlihat jelas saat kendaraan berbelok karena pada saat berbelok posisi titik berat akan berubah akibat dari gaya sentrifugal. Besar dan posisi gaya sentrifugal akan mempengaruhi sudut *slip* sehingga akan berpengaruh terhadap performa dari kendaraan tersebut

$$F_{cn} = \frac{W}{g} \left(\frac{V^2}{R} \right) \quad (2.11)$$

Dimana:

W = Berat total kendaraan

V = Kecepatan kendaraan

2.3. Model Kendaraan

Chassis

Suspensi : *Self leveling suspension*

Tipe transmisi : *5 speed*

Transmisi : *Steptronic*

Dimensi – Berat

Kapasitas Bagasi : 465 – 1550

Panjang (mm) : 4667

Lebar (mm) : 1872

Tinggi (mm) : 1707

Jarak Poros Roda (mm) : 2820

Berat Kend Kotor (kg) : 2170

Lain-lain

Bahan ban : *Light Alloy*

Ukuran Roda : 9J x 19

Sistem pengemudi : *Power Steering with safety steering column*

Ukuran Ban : 255/50 R 19

Mesin

Jumlah Silinder/Katup : 8/4

Stroke/bore (mm): 82.7/92.0

Model : *Double Vanos*

Output maks. (bhp/rpm) : 286/5400

Torsi Maks. (Nm/rpm) : 440/3600

Isi Silinder (cc) : 4398

Kapasitas Tangki (l) : 93

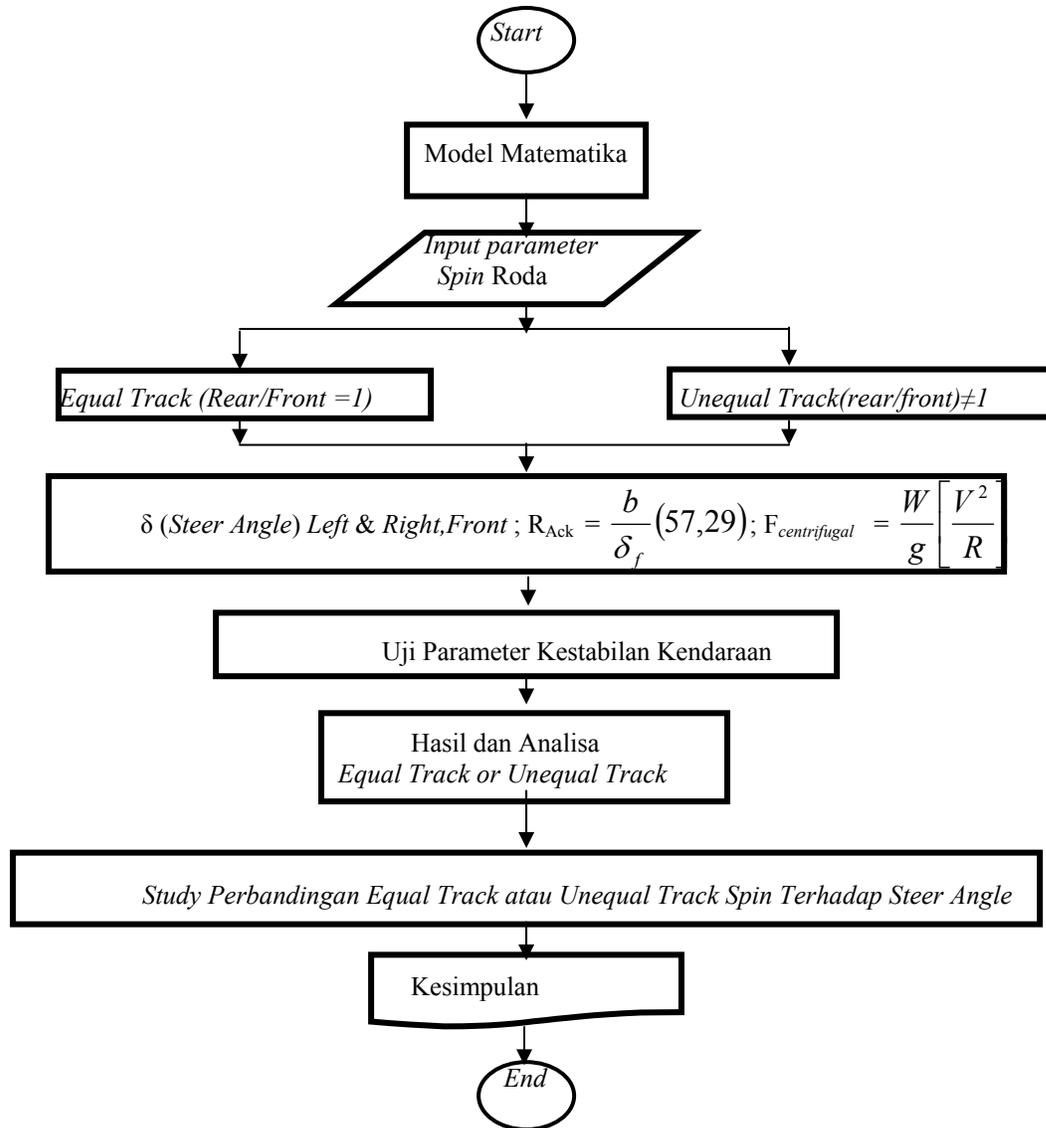
Performa

Kecepatan Maks.(km/h) : 207

Keamanan/*safety* : *Airbag, ABS, ASC+T, CBC*

3. Metodologi Penelitian

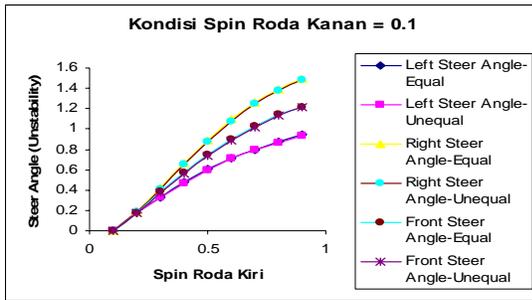
Langkah-langkah/urutan penelitian permodelan kendaraan RWD-2WS dan simulasi geometri perbandingan parameter *track* serta pengaruhnya terhadap faktor kestabilan kendaraan dapat dinyatakan sebagai berikut:



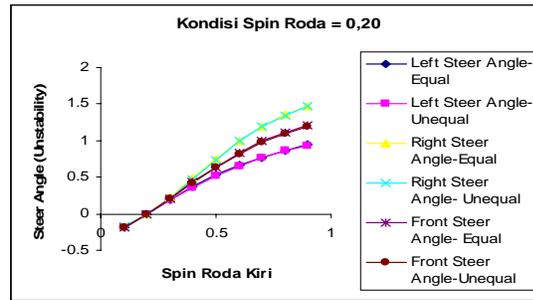
Gambar 3.1. Langkah-langkah/Urutan Penelitian

4. Diskusi dan Pembahasan

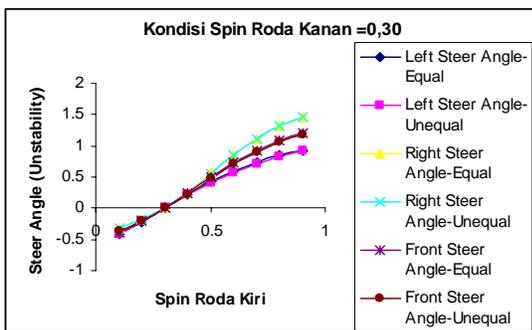
Dari metodologi penelitian yang dilakukan, dapat diperoleh informasi tentang pengaruh parameter *track* terhadap faktor kestabilan kendaraan.



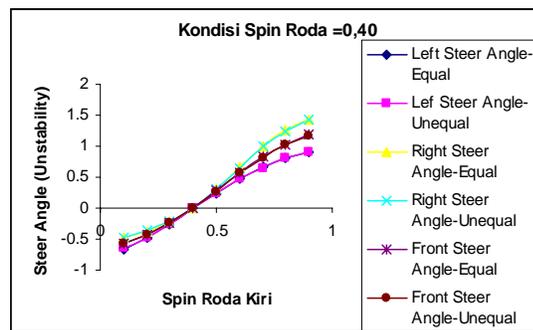
Gbr 4.1. Hubungan *spin* roda vs *steer angle* Pada saat *spin* roda kanan = 0,10



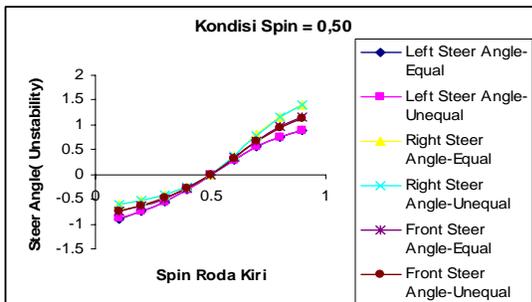
Gbr 4.2. Hubungan *spin* roda vs *steer angle* Pada saat *spin* roda kanan = 0,20



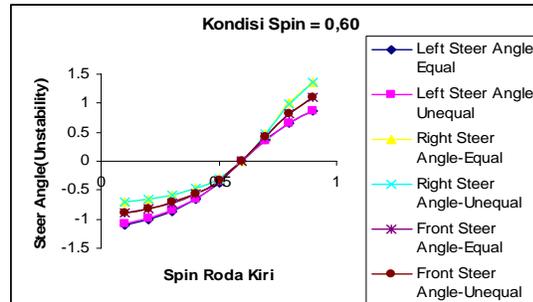
Gbr 4.3. Hubungan *spin* roda vs *steer angle* Pada saat *spin* roda kanan = 0,30



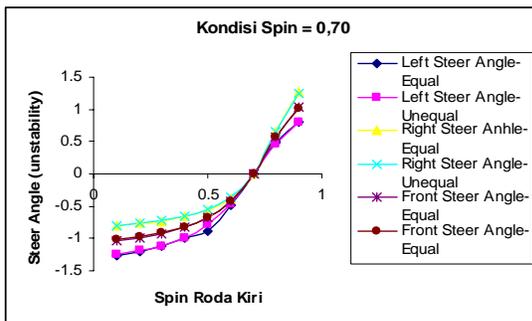
Gbr 4.4. Hubungan *spin* roda vs *steer angle* Pada saat *spin* roda kanan = 0,40



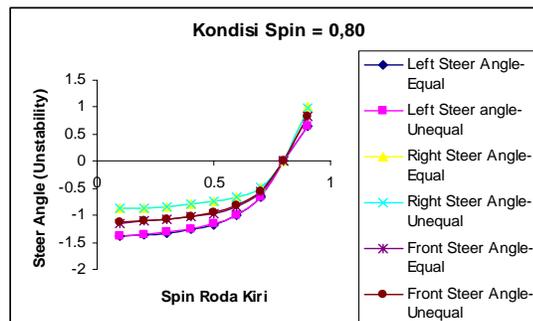
Gbr 4.5. Hubungan *spin* roda vs *steer angle* Pada saat *spin* roda kanan = 0,50



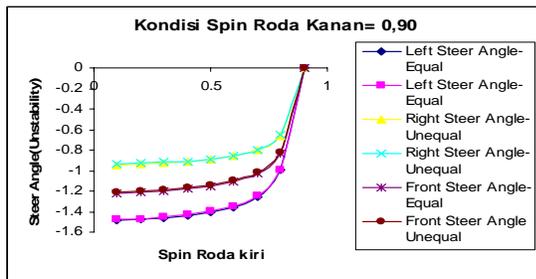
Gbr 4.6. Hubungan *spin* roda vs *steer angle* Pada saat *spin* roda kanan = 0,60



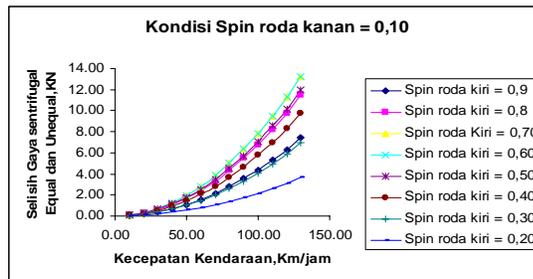
Gbr 4.7. Hubungan *spin* roda vs *steer angle* Pada saat *spin* roda kanan = 0,70



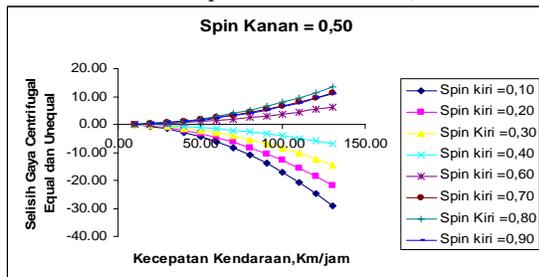
Gbr 4.8. Hubungan *spin* roda vs *steer angle* Pada saat *spin* roda kanan = 0,80



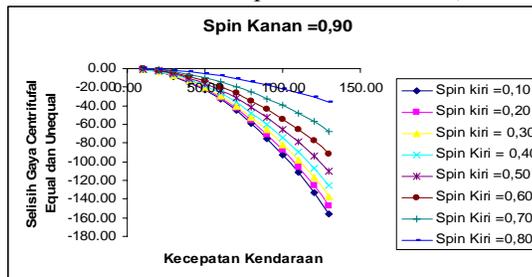
Gbr 4.9. Hubungan *spin* roda vs *steer angle* Pada saat *spin* roda kanan = 0,90



Gbr 4.10. Hubungan Kecepatan vs $F_{centrifugal}$ Pada saat *spin* roda kanan = 0,10



Gbr 4.11. Hubungan *spin* roda vs *steer angle* Pada saat *spin* roda kanan = 0,50



Gbr 4.12. Hubungan Kecepatan vs $F_{centrifugal}$ Pada saat *spin* roda kanan = 0,90

5. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini pengaruh parameter *track* tersebut adalah sebagai berikut:

1. Jika kendaraan berjalan lurus dan pada saat itu kondisi *spin* roda kiri dan kanan memiliki nilai *spin ratio* yang sama untuk berbagai kondisi tidak akan terbentuk gerakan *front steer angle*, tetapi pada saat berbelok terbentuk gerakan *front steer angle*.
2. Besarnya nilai *front steer angle* yang terbentuk akibat pengaruh *spin* roda kiri dan kanan relative kecil, karena merupakan kondisi yang tidak dikendalikan atau dibelokkan dengan sengaja tetapi terjadi akibat perbedaan putaran roda kanan dan kiri (*unstability*). Sudut *front steer angle uncontrolable* < dari 2° untuk variasi kondisi *spin ratio* yang ada.
3. Gaya sentrifugal *equal* > Gaya sentrifugal *unequal* ini menunjukkan bahwa kecenderungan stabilnya kendaraan *unequal*. Kecelakaan timbul akibat $F_{centrifugal}$ yang besar (Momen Guling).
4. *Front steer angle* bernilai positif seluruhnya pada kondisi *spin* kanan = 0,10, dan bernilai *negative* seluruhnya pada kondisi *spin* kanan 0,90, ini menunjukkan semakin meningkat *spin* roda kanan menunjukkan *front steer angle* bernilai negatif.
5. *Spin* roda kanan > *spin* roda kiri *steer angle* yang terbentuk negatif, sebaliknya positif jika lebih kecil *spin* roda kanan < *spin* roda kiri.
6. Gaya sentrifugal *negative* (-) karena nilai *left dan right steer angle negative* menunjukkan arah yang berlawanan (ke kiri) terhadap arah yang nilai *left dan right steer angle positive* (ke kanan).

6. Daftar Pustaka

- [1] Ary Subagya, ID.G dan Berata, Wajan (2004), "Permodelan Simulasi Berbasis Fuzzy Controller Terhadap Perilaku Yaw Rate dengan Pengendalian Sudut Steer Roda Belakang (4WS)", Jurnal Teknik Mesin Vol 6/2.
- [2] Sutantra, I Nyoman (2001), "Teknologi Otomotif, Teori dan Aplikasinya", Surabaya, Penerbit Guna Widya.
- [3] Daniel A. Fittanto, M.S.M.E., P.E. and Adam Senalik, M.S.G.E., P.E (2004), "Passenger Vehicle Steady State Directional Stability Analysis Utilizing EDVSM and SIMON", Engineering Dynamics Corporation. Ruhl Forensic, Inc.
- [4] Wong, J Y (1978), "Theory of Ground Vehicle (2nd ed)", Ottawa, John Willey & Sons.
- [5] Kadek Rihendra Dantes (2005), "Analisa Stabilitas Arah Belok Kendaraan Tossa Hercules," Undergraduate Theses dari JIPTITS / 2005-08-17 10:12:14 .