

REAL TIME PARAMETER SUDUT ROLL, YAW RATE DAN SLIP RATIO ANTARA TRUK TERHADAP TRAILERNYA SEBAGAI RESPON PENDETEKSI STABILITAS GERAK BELOKNYA BERBASIS SOFTWARE ARCSIM 3-AXLE TRUCK-3-AXLE TRAILER

Ian Hardianto Siahaan⁽¹⁾, Hariyanto Gunawan⁽²⁾, Willyanto Anggono⁽³⁾

Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri-Universitas Kristen Petra
Product Innovation and Development Centre Petra Christian University^(1,2,3)

Jl. Siwalankerto 142-144, Surabaya 60236

Email: ian@peter.petra.ac.id⁽¹⁾, hariyanto@peter.petra.ac.id⁽²⁾,
willy@peter.petra.ac.id⁽³⁾

Abstrak

Gerakan membelok adalah gerakan kendaraan paling kritis pada kendaraan, karena gerakan tersebut dapat menunjukkan kualitas kestabilan dari kendaraan tersebut. Pada gerakan belok dengan adanya gaya sentrifugal pada kendaraan akan dapat menimbulkan gaya-gaya dan momen pada roda sehingga terjadi sudut slip pada ban. Pada kondisi dimana sudut slip pada ban cukup besar maka arah belok dari kendaraan dipengaruhi oleh sudut slip. Besarnya pengaruh sudut slip ban menentukan kualitas dari stabilitas gerakan kendaraan. Umumnya makin besar pengaruh sudut slip makin terganggu stabilitas kendaraan. Selain parameter slip parameter yang paling penting dalam pertimbangan kestabilan adalah gerakan sumbu guling (roll axis) dari suatu kendaraan, dimana kondisi terjadinya bila salah satu roda depan atau belakang terangkat^[1].

Penelitian ini menggunakan model mobil truck-semitrailer (truk-gandeng) berbasis software ArcSim 3 Axle Truck-3 Axle Trailer untuk melihat respon real time simulation parameter slip ratio dan sudut roll serta yawrate yang terjadi pada truck terhadap trailernya pada saat melakukan gerakan belok. Kendaraan berbelok diuji pada V_x awal konstan sudah mencapai 100 Mph, kemudian melakukan gerak belok setelah waktu tertentu masing-masing dengan variasi sudut belok (δ_f) yang berbeda: 15°, 20°, 25°.

Hasil penelitian ditampilkan respon real time longitudinal slip ratio keseluruhan roda truck dan trailer (roda depan kiri-kanan, roda belakang kiri-kanan), sudut roll, longitudinal velocity (V_x), dan lateral velocity (V_y) serta yaw rate-nya.

Kesimpulan menunjukkan bahwa sudut roll trailer selalu lebih besar dari sudut roll trucknya, ini menunjukkan bahwa kondisi saat guling terjadi lebih dahulu pada trailernya dibanding trucknya atau penggerakannya selain itu terjadi perbedaan yang significant antara longitudinal velocity (V_x) dan lateral velocity (V_y) pada truck terhadap trailernya, namun masih dalam batas kestabilan karena sudut rollnya $\leq 5^\circ$. Kendaraan stabil bila slip ratio masih berada pada kisaran $\leq 0,20$ dan besarnya sudut rollnya tidak melampaui 5° supaya kendaraan tersebut tidak terguling. Suatu kondisi dimana slip mencapai 100% selama sudut rollnya masih $\leq 5^\circ$, tidak akan terguling kendaraan tersebut. Kendaraan truck-semitrailer yang diuji dengan variasi sudut belok seperti tersebut di atas, mulai terguling pada pengujian yang dilakukan bila steer angle semakin ditingkatkan $\geq 26^\circ$.

Keywords: truck, trailer, longitudinal velocity, slip ratio, roll axis

1. PENDAHULUAN

Kendaraan truck-semitrailer sering dijumpai di pabrik-pabrik bahkan di pelabuhan-pelabuhan sebagai sarana/fasilitas pengangkutan produk massal untuk didistribusikan ke daerah-daerah tertentu dan sudah pasti asetnya cukup besar.

Pengangkutan produk-produk tersebut sebelum mencapai tempatnya akan melalui berbagai kondisi yang situasional. Untuk itu sebelum kendaraan laik jalan perlu dilakukan uji termasuk bobot kendaraan, kondisi ban, rem, dll. Kondisi ini sangat penting diuji karena mempengaruhi stabilitas dari kendaraan tersebut. Kadang-kadang

kendaraan tersebut tergelincir bahkan terguling akibat respon kemudi si pengemudi, yang mengakibatkan kerugian yang cukup besar bagi pemiliknya. Contoh situasi ini dapat dilihat ketika kendaraan truck-semitrailer keluar dari lintasan dan menabrak pembatas jalan akibat perbedaan besar yang terjadi pada lateral velocity truck dan trailernya.

Kondisi roda yang spin membuat kendaraan menjadi sulit dipercepat. Pada saat jalan licin atau basah dimana koefisien adhesi ban dan jalan sangat kecil maka roda penggerak kendaraan sering spin pada saat dipercepat sehingga kendaraan sulit dipercepat. Pada jalan licin atau pada kondisi dimana

terjadi gaya traksi atau gaya dorong pada masing-masing roda penggerak berbeda dimana satu *spin* dan satu roda tidak, hal ini akan mengakibatkan terjadinya momen *yaw* pada saat kendaraan dipercepat. Momen *yaw* yang terjadi pada saat percepatan tersebut dapat mengganggu kestabilan kendaraan.

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.

2.KAJIAN PUSTAKA

Menurut Philips (1973) dengan disertasi Dokornya yang berjudul” *Steady State and Dynamics Characteristic of Pneumatic Tyres*” menunjukkan bahwa gaya lateral, normal dan *longitudinal* pada ban akan membuat arah ban tidak searah lagi dengan arah putaran ban. Sudut *slip* inilah yang sangat berpengaruh terhadap stabilitas kendaraan. Belokan roda depan tidak lagi menjadi faktor dominan dalam membelokkan kendaraan. Makin tinggi kecepatan belok kendaraan makin besar dominasi sudut *slip*.

Menurut Bambang Sampurno dalam penelitiannya menguji sudut *slip* terhadap variabel kecepatan *longitudinal* ” Estimasi Sudut *Slip* Roda Kendaraan 4 WS Berdasarkan Model Kendaraan Penuh”. Dari hasil estimasi menunjukkan bahwa sudut *slip* roda bertambah secara *non linier* dengan bertambahnya kecepatan *longitudinal* dan sudut *slip* roda terbesar terjadi pada roda 4 (belakang kiri) dan terkecil pada roda 3 (belakang kanan).

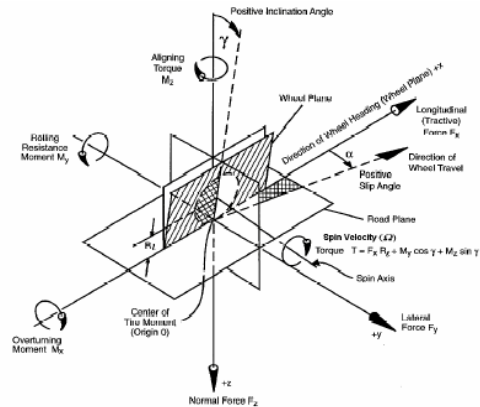
2.1.Turning Velocity (Yaw)

Untuk mempelajari perilaku arah belok dari kendaraan dapat juga dilakukan dengan analisa model dinamik kendaraan menggunakan bantuan komputer. Metode dengan simulasi ini sangat menguntungkan karena dapat juga digunakan untuk perancangan parameter desain kendaraan agar mendapat perilaku arah yang diinginkan. Persamaan matematik yang kinematik dan dinamik dari kendaraan dinamakan matematik model. Matematik model yang baik harus akurat dan cukup sederhana untuk dapat dihitung dan diselesaikan. Dari persamaan kinematika belokan suatu kendaraan, maka persamaan sudut belok roda depan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\delta_f = \frac{L}{R_n}(57,29) + \alpha_f - \alpha_r \quad (2.1)$$

$$\alpha_f - \alpha_r = K_{us} \frac{V^2}{gR_n} \quad (2.2)$$

Mekanisme terbentuk *slip* pada kendaraan dijelaskan berdasarkan analisa gaya dan momen yang terjadi pada sebuah roda kendaraan yang mengalami percepatan (*direction of wheel travel*) akibat *wheel torque* yang membentuk sudut sebesar α dengan sumbu x (*direction of wheel heading*).



Gambar 2.1. *Positive Camber/inclination Angle dan Positive Slip Angle*

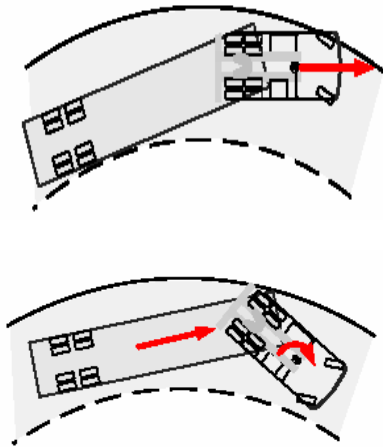
2.1.1.Understeer Condition

Perilaku *understeer* adalah seperti perilaku belok netral yaitu memperhitungkan pengarah dari sudut *slip* rata-rata roda belakang (α_r) dan depan (α_f). Pada kondisi *understeer* sudut *slip* roda belakang (α_r) < sudut *slip* roda depan (α_f). Kendaraan *understeer* adalah kendaraan yang sulit berbelok sehingga umumnya ia memerlukan sudut belok (δ_f) yang lebih besar untuk belokan tertentu.

Sesuai dengan formulasi dinyatakan bahwa kecepatan *yawing understeer* dinyatakan berdasarkan formulasi matematis sebagai berikut:

$$Y_u = \frac{V(\delta_f + \alpha_r - \alpha_f)}{L(57,29)} \quad (2.3)$$

Untuk mengendalikan kendaraan yang mempunyai perilaku *understeer* tidaklah begitu sulit karena pada dasarnya kendaraan ini berbelok sedikit untuk sudut *steer* tertentu. Untuk berbelok lebih besar maka cukup dengan memberi sudut *steer* yang lebih besar.



Gambar 2.2. Ilustrasi Terjadinya Situasi Understeer dan Oversteer

2.1.2. Oversteer Condition

Perilaku *oversteer* menunjukkan kondisi dimana pengaruh *slip* roda depan dan belakang sangat dominan terhadap gerakan belok kendaraan. Pada kendaraan yang mempunyai perilaku *oversteer* pengaruh sudut *slip* mengakibatkan kendaraan sangat responsif pada waktu belok, atau ia dapat berbelok lebih besar dari yang diharapkan. Kendaraan *oversteer* sering lebih sulit dikendalikan oleh pengemudi normal, namun pengemudi trampil atau pembalap sering lebih senang pada kendaraan yang sedikit *oversteer*. Namun kendaraan yang terlalu *oversteer* sangat susah dikendalikan dan sering mengakibatkan "Lost of Control" yang mempunyai perilaku membingungkan dan sangat sering menyebabkan kecelakaan. Kendaraan dengan perilaku *oversteer*, sudut *slip* roda belakang (α_r) lebih besar dari sudut *slip* roda depan (α_f).

2.1.3. Kecepatan Belok Maksimum

Pada saat kendaraan berbelok akibat gaya kesamping pada roda depan dan belakang, maka akan terjadi kemungkinan *skid* pada roda depan atau belakang atau keduanya. 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* tidak akan terjadi jika gaya geseknya masih mampu menahan gaya kesamping yang terjadi.

Jika gaya dan momen angin diabaikan serta sudut *side slip* = 0° , maka formulasinya kecepatan belok akan menjadi sebagai berikut:

$$V_{\text{belok}} = \sqrt{\mu \cdot R_n \cdot g} \quad (2.4)$$

2.1.4. Slip Ratio

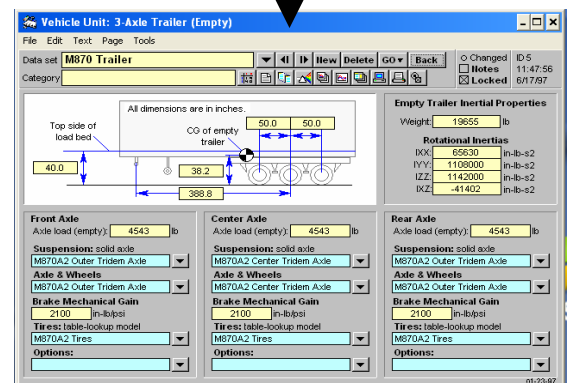
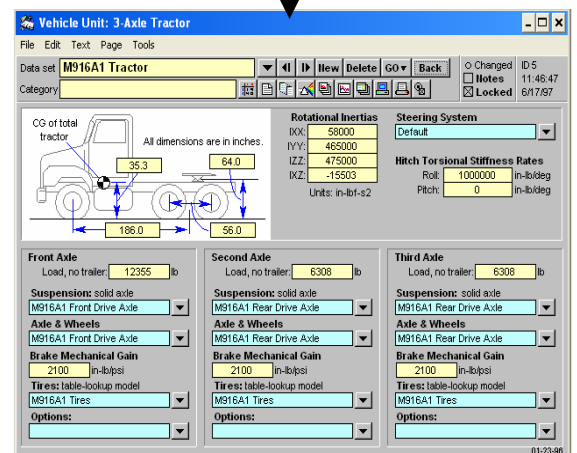
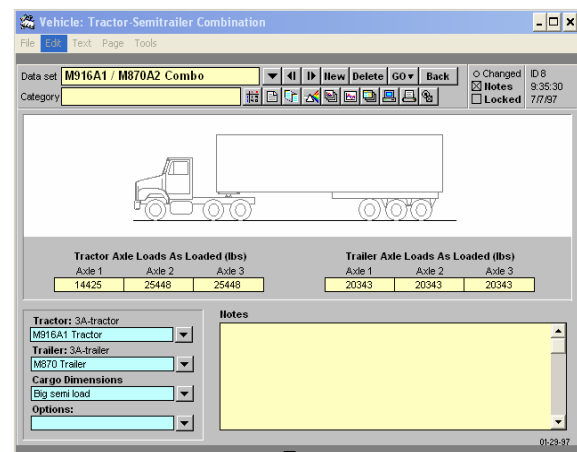
$$\text{Slip Ratio} = \left(\frac{\omega R}{V} - 1 \right)$$

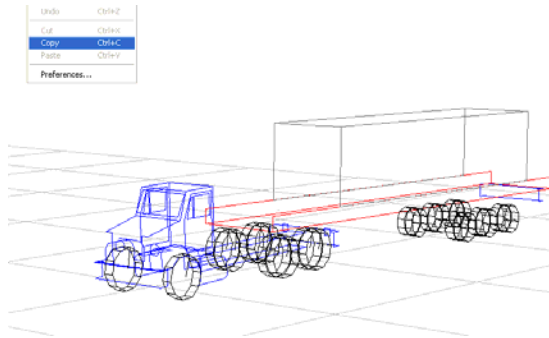
(2.5)

For free rolling, $S = 0$

For full lock up, $S = 1$

2.1.5. Model Kendaraan Truck-SemiTrailer ArcSim 3 Axle Truck-3 Axle Trailer





Gambar 2.3. Model Kendaraan *Truck-Semi Trailer (Truck-Gandeng)*

Truck Axle Loads as Loaded (lbs) dan Trailer Axle Loads as Loaded (lbs) :

Data <i>Truck</i>	Spesifikasi	Data <i>Trailer</i>	Spesifikasi
<i>Truck Axle 1</i> :	14425 lbs	<i>Trailer Axle 1</i> :	20343 lbs
<i>Truck Axle 2</i> :	25448 lbs	<i>Trailer Axle 2</i> :	20343 lbs
<i>Truck Axle 3</i> :	25448 lbs	<i>Trailer Axle 3</i> :	20343 lbs
<i>CG of Truck</i> :	35,3 in	<i>CG of Trailer</i> :	38,2 in
Jarak Sumbu Roda:	(158+56) in	Jarak sumbu trailer :	(50+50) in
Tinggi dudukan trailer pada truck :	64 in	Top Side of load bed :	40 in
I_{xx} in-lbf-s ² :	58000	I_{xx} in-lbf-s ² :	65630
I_{yy} in-lbf-s ² :	465000	I_{yy} in-lbf-s ² :	1108000
I_{zz} in-lbf-s ² :	475000	I_{zz} in-lbf-s ² :	1142000
I_{xz} in-lbf-s ² :	-15503	I_{xz} in-lbf-s ² :	-41402

3.METODOLOGI PENELITIAN

Adapun langkah-langkah penelitian yang dilakukan terhadap respon parameter *real time* kestabilan adalah sebagai berikut:

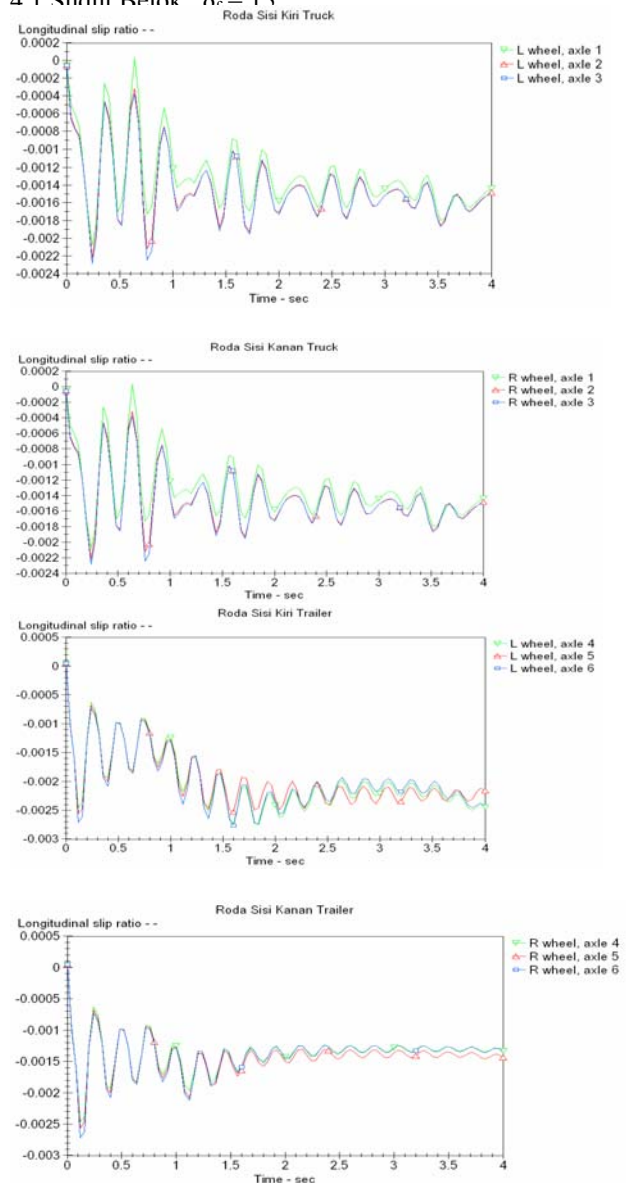
1. Menggunakan model kendaraan *truck-semitrailer* dengan 3-*axle truck* dan 3-*axle* untuk *trailernya* ArcSim.
2. Pemilihan lintasan pada permukaan jalan yang mendatar.
3. Kendaraan diuji di jalan lurus pada kecepatan telah mencapai konstan 100 Mph melalui lintasan konstan yang telah ditentukan.
4. Setelah V_x konstan = 100 Mph tercapai, selanjutnya setelah mencapai selang waktu 0,55 *Second* dibelokkan dan dipertahankan selang waktu 2.8 *Second* dan kembali ke posisi semula,

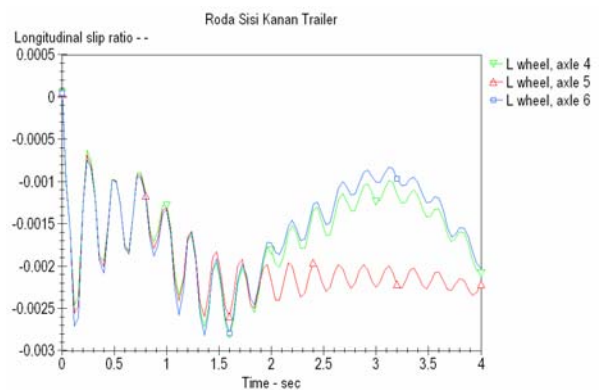
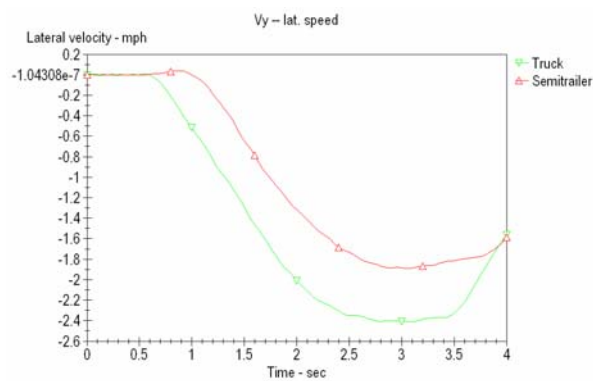
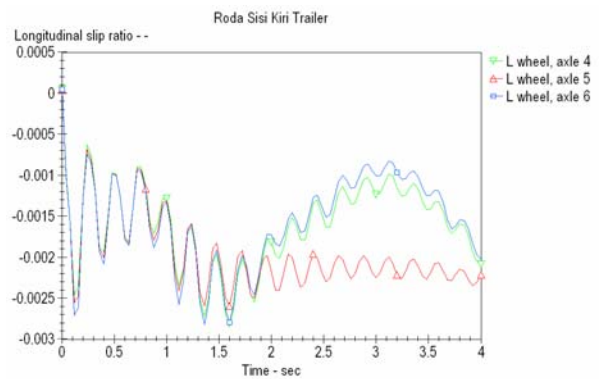
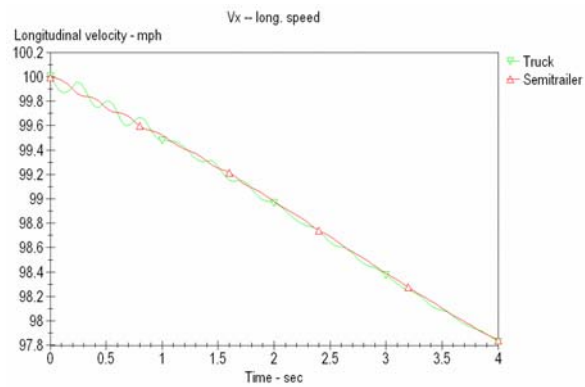
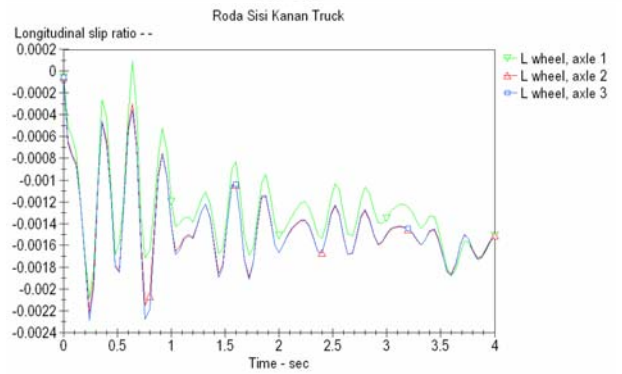
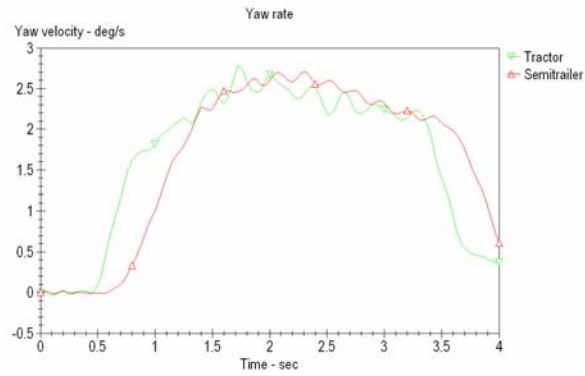
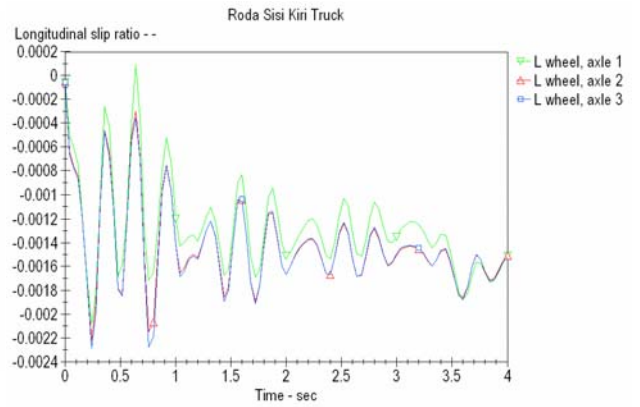
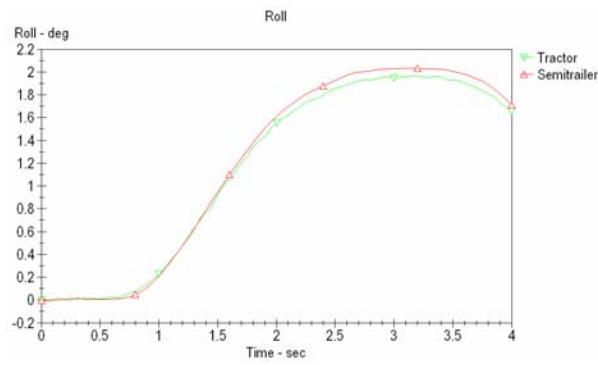
dengan kondisi yang sama dari waktu referensi kendaraan dibelokkan masing-masing pada sudut belok:15°, diulangi percobaan yang sama untuk sudut 20°, 25° .

5. Respon stabilitas *real time* ditampilkan dalam grafik untuk *truck* dan *trailer* menggunakan *Software ToolBook Run Time Package ArcSim* (AU.S.Army Tardec Center of Excellence for Modelling and Simulation of Ground Vehicles at The University Michigan)
6. Menarik kesimpulan dari analisa respon *truck* terhadap *trailer* yang telah dilakukan.

4.HASIL PENELITIAN (VEHICLE DYNAMIC SOLVER PROGRAMS ARCSIM 3- AXLE TRUCK 3- AXLE TRAILER)

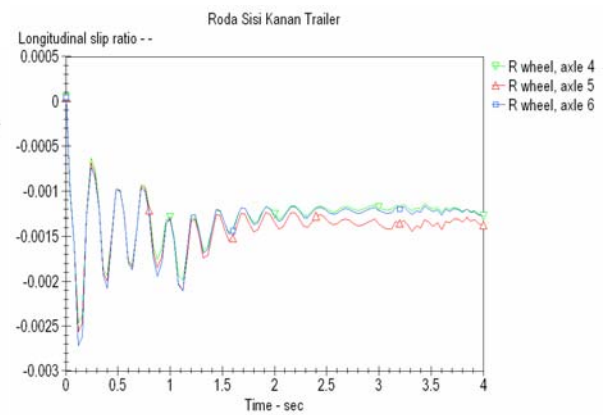
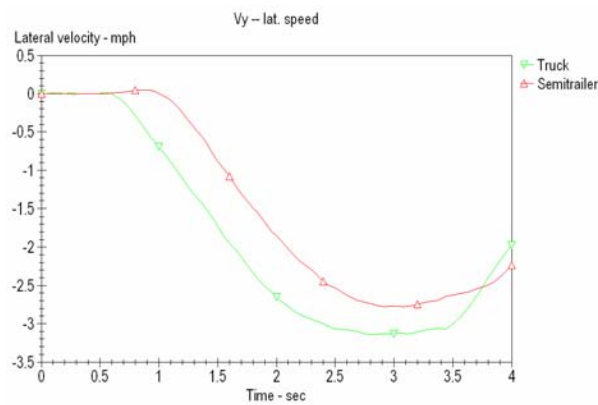
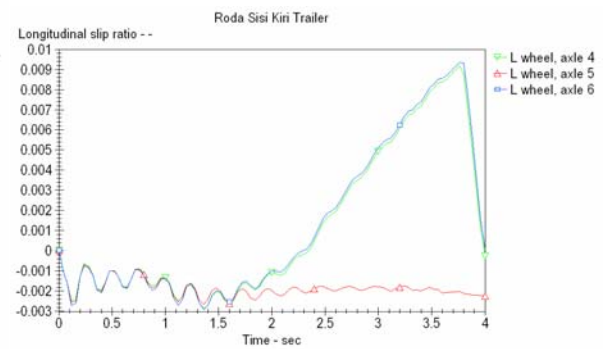
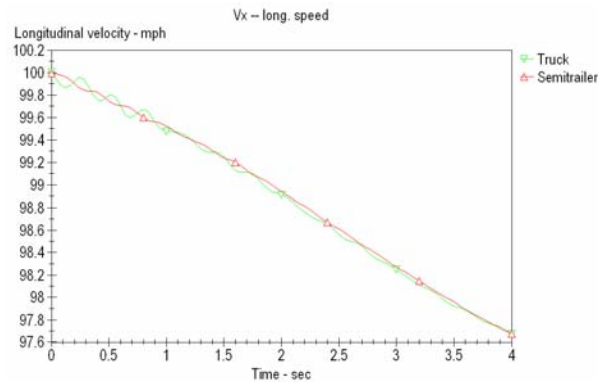
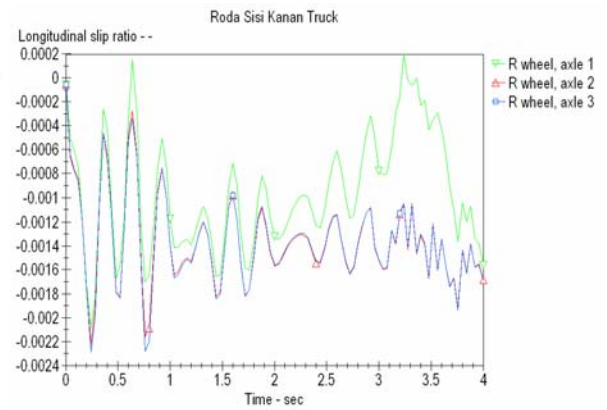
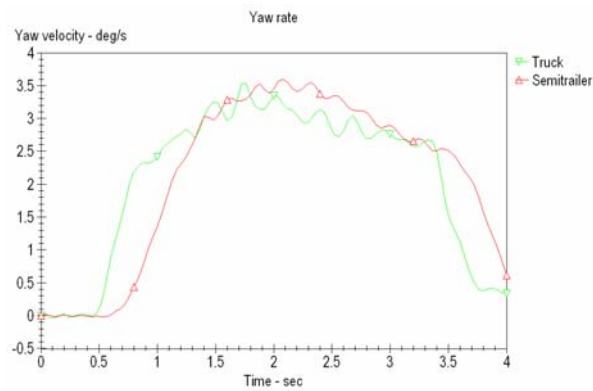
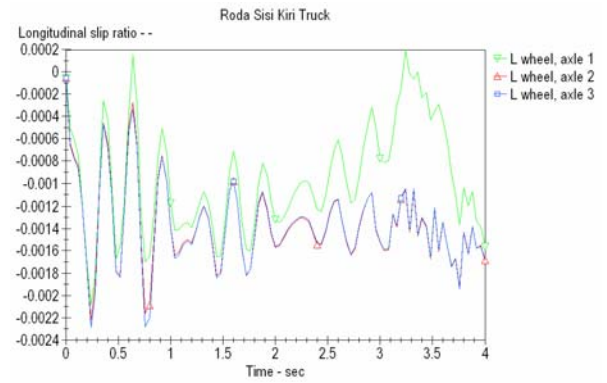
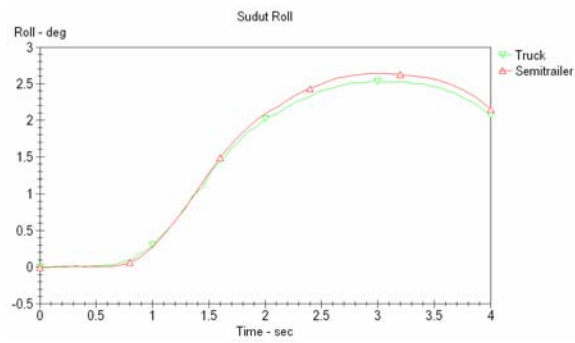
4.1 Sudut Belok $\delta_r = 15^\circ$

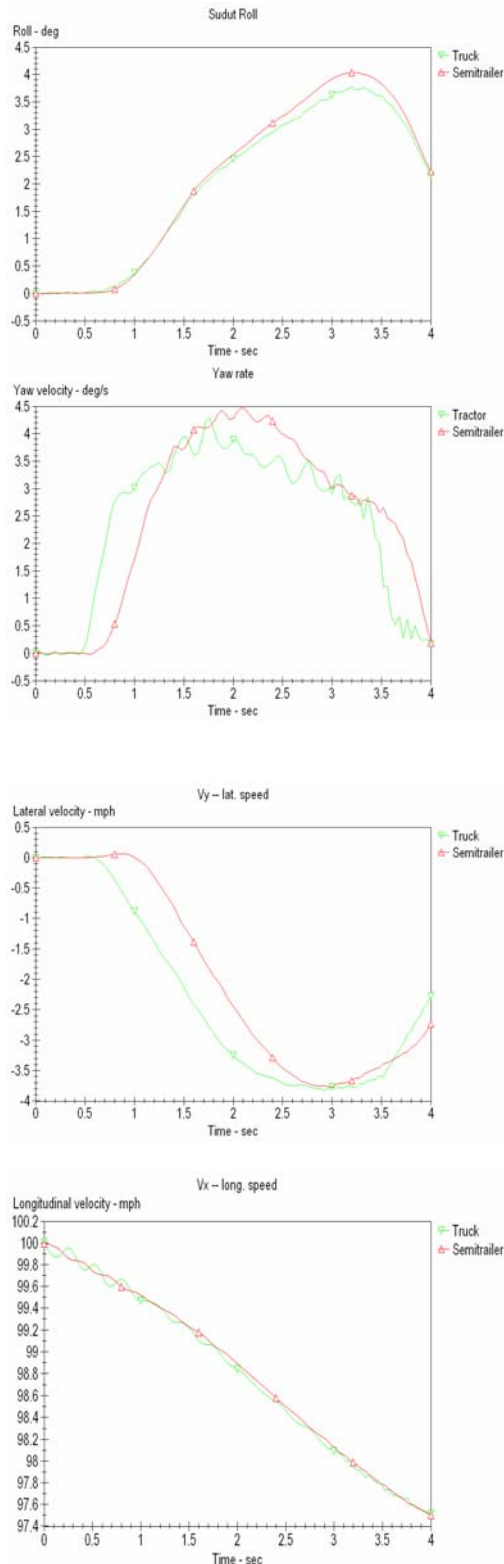




4.2.Sudut Belok , $\delta_f = 20^\circ$

4.3. Sudut Belok, $\delta_f = 25^\circ$





5.KESIMPULAN

- Kendaraan *truck-trailer* masih berada dalam kondisi stabil ketika pada *slip* $\leq 0,20$ dan sudut *Roll* (*roll degree*) tidak melampaui 5° .
- Kendaraan *Truck-Trailer* akan mulai terguling ketika *steer angle* 26° . Karena sudut *roll*nya telah melampaui

batas atas. Pengujian kendaraan sebaiknya tidak melebihi sudut belok tersebut baik pada saat pengujian maupun kondisi di lapangan.

- Kecepatan *lateral* terbentuk akibat *slip* yang terjadi pada ban, mengakibatkan perbedaan lateral velocity antara *truck* terhadap *trailernya*.
- Kecepatan *longitudinal* mendekati nilai yang sama, ini menunjukkan kecepatan *trailer* maupun *truck* tidak terlihat perbedaan yang signifikan akibat digerakkan oleh *truck* sebagai penggerakannya. Ketika *slip* dan sudut *roll* meningkat justru ini berbahaya.
- Semakin meningkat *Yawrate* kecenderungan kendaraan mengalami guling semakin besar.
- Sudut *roll trailer* selalu lebih besar dari sudut *roll trucknya*, ini menunjukkan bahwa kondisi saat guling terjadi lebih dahulu pada *trailer* dibanding terhadap *trucknya* atau penggerakannya.
- Perlu desain rancangan dan pembuatan sistem kontrol otomatis (*Microcontroller anti roll truck-trailer*) dengan batasan sudut axis *roll* $\leq 5^\circ$ pada *trailernya* supaya tidak mengalami guling pada keduanya.

6.REFERENSI

- [1]Sutantra, I Nyoman (2001), "*Teknologi Otomotif, Teori dan Aplikasinya*", Surabaya, Guna Widya.
- [2]Wong,J Y (1978), "*Theory of Ground Vehicle* (2nd ed)", Ottawa, John Willey & Sons, New York.
- [3]Denton Tom (1995),"*Automobile Electrical and Electronic System*", Edward Arnold Division, London.
- [4]Jurgen, Ronald K (1995), "*Automotive Electronics hand Book*", McGraw Hill Inc, New York.
- [5]ID.G Ary Subagya dan Wajan Berata,"*Permodelan Simulasi Berbasis Fuzzy Controller Terhadap Perilaku Yaw Rate dengan Pengendalian Sudut Steer Roda Belakang (4WS)*", Jurnal Teknik Mesin Vol 6/2.
- [6]Yunarko (2005),"*Analisa Sudut Belok Roda Belakang Sebagai Fungsi Sudut Belok Roda Depan dan Kecepatan pada Kendaraan Mini 4WS*" Jurnal Teknik Mesin April 2005/vol 7/No.1.
- [7]Frank, Peter (1999),"*Slip Control at small Slip Values For Road Vehicle Brake System*" *Periodica Polytechnica Ser Mech.Rng Vol.44, No.1 PP. 23-30 (2000).*

- [8]Siahaan, Ian Hardianto dan Anggono, Willyanto (2006) ” Proceeding Seminar Nasional Simulasi dan Optimasi Untuk Aplikasi Industri Proses, Manufaktur, dan Energi, Permodelan Kendaraan RWD2WS dan Simulasi Geometri Perbandingan Track Serta Pengaruh *Right dan Left Spin* Roda Penggerak Terhadap Terbentuknya Gerakan *Front Steer Angle Uncontrolable*”, Yogyakarta.
- [9]Siahaan, Ian Hardianto (2005) dan Sutantra, I Nyoman,” Simulasi Model Matematis Kontrol Sistem Kontrol Traksi”, *Jurnal Teknik Mesin Volume 7, Nomor 1*.
- [10]ArcSim User (1997),”*ArcSim Reference Manual* “ Version 1.
- [11]Mechanical Simulation Corporation (1996-2005),”*Car Sim Demonstration Presentation & Video*”, USA.