

SIMULASI DAN ANALISIS *HANDLING PERFORMANCE* KENDARAAN JALAN RAYA JENIS SUV DENGAN *SOFTWARE CARSIM 4.51*

Budi Setiyana* dan Joga Dharma Setiawan

Magister Teknik Mesin, Program Pascasarjana, Universitas Diponegoro

*E-mail: bsetiyana@yahoo.com

ABSTRACT

The latest progress in automotive industry development is increasing significantly therefore it also triggering the competition between road vehicle developers to build cars with variation in design, type, and specification to satisfy the customers in safety and comforts and also the performance. This report is trying to find out factors that affect the handling performance of a road vehicle and the turning behavior that appears while cornering, using two 98' Jeep Grand Cherokee test vehicle. Simulation was conducted using CarSim Ed 4.51 software and taking case of Fishhook maneuver which is based on roll natural frequency and J-Turn maneuver without pulse braking. The result of the test is compared each other such that the factors affecting the turning behavior can be analyzed.

Keywords: Road Vehicle, handling performance, turning behaviour

PEMODELAN KENDARAAN JALAN RAYA

Derajat kebebasan pada pemodelan kendaraan jalan raya itu aktualnya ada 6 yaitu : 3 buah translasi (arah x, y dan z) dan translasi ini menghasilkan *displacement* arah x, y dan z kemudian 3 buah rotasi (arah x, y dan z) dan rotasi ini menghasilkan moment arah x, y dan z [11]. Kegunaan dari derajat kebebasan / *degree of freedom* adalah untuk mencari *displacement / rotation* serta gaya-gaya dalam yang bekerja pada kendaraan akibat beban yang bekerja pada kendaraan tersebut.

Pada software CarSimEd versi 4.51 ini memiliki batas analisa sampai 27 derajat kebebasan seperti yang tercantum di tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Derajat Kebebasan Pada Software Carsim versi 4.51

Degree of Freedom (DOF)	Jumlah
Sprung body translation (X,Y,Z)	3
Sprung body rotation (X,Y,Z)	3
Unsprung bodies strokes	2
Rigid axle stroke	1
Rigid axle rotation	1
Wheel spin	4
Powertrain	1
Tire delayed forces	8
Brake fluid pressure	4
Total	27

Tabel 2 berikut adalah penggunaan derajat kebebasan yang sering digunakan dalam menganalisa suatu sistem getaran pada kendaraan.

Tabel 2. Pembagian Derajat Kebebasan pada Kendaraan Jalan Raya

Degree Of Freedom (DOF)		
3DOF	8 DOF	14 DOF
<ul style="list-style-type: none"> • Plannar • Rigid Body 	<ul style="list-style-type: none"> • Chassis • Wheel Spin Dynamics 	<ul style="list-style-type: none"> • Vehicle Body • Unsprung mass
<ul style="list-style-type: none"> • 3 Translation • 3 Rotation 	<ul style="list-style-type: none"> • 4 DOF Chassis • 4 Wheel Spin Dynamics 	<ul style="list-style-type: none"> • Vehicle Body • 3 Displacement • 3 Rotation • Unsprung mass • 4 Vertical Displacement • 4 Rotation

DATA KENDARAAN UNTUK SIMULASI

Jenis Kendaraan yang digunakan untuk set-up simulasi adalah Jeep Grand Cherokee, dimana kendaraan ini merupakan jenis kendaraan roda empat SUV (*Sport Utility Vehicle*) yang dimodifikasi dengan *four-wheel drive system*. Berikut ini adalah data kendaraan Jeep Grand Cherokee seperti yang tercantum di tabel 3, yang dalam hal ini dibandingkan antara tipe 443 dan 530.

Tabel 3. Data Kendaraan Jeep Grand Cherokee Tahun 1998 sesuai NHTSA[8]

Komponen Utama	Item	no seri / dimensi	no seri / dimensi	Satuan
Main Specification	Jeep Grand Cherokee 1998	443	530	
	Occupants	1	5	
Specification	length	4500	4500	mm
	width	1758	1758	mm
	roof height	164	157	mm
	wheelbase	2691	2691	mm
	weight	1807	2406	kg
track width	front	1486	1486	mm
	rear	1499	1499	mm
vehicle mass supported by tires	front	1006*	1069*	kg
	rear	801*	1337*	kg
unsprung mass (estimation)	front	120	120	kg
	rear	150	180	kg
Moments of Inertia	pitch	2894	3788	kg-m ²
	roll	695	882	kg-m ²
	yaw	3101	3986	kg-m ²
Tire	type	225/70R16	225/70R16	
	rolling radius	360*	360*	mm
CG Location	from front axle	1193	1495	mm
	above ground	695	720	mm
engine	max torque	75/3500	75/3500	Nm/rpm
Steering	gear ratio	20	20	

Keterangan * = Diperoleh dari hasil perhitungan

STANDAR PENGUJIAN

Uji simulasi ini dilakukan sesuai standar dari referensi yang digunakan yaitu mengacu pada prosedur standar NHTSA (*National Highway Traffic Safety Association*), dimana beberapa prosedur tidak

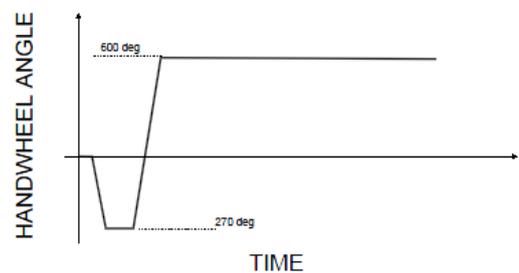
dilakukan karena menyesuaikan langkah simulasi, hal ini dilakukan karena acuan yang biasa dipakai adalah uji fisik pada kendaraan yang sesungguhnya sedangkan pengujian yang penulis lakukan adalah pengujian simulasi dengan menggunakan perangkat lunak komputer yaitu dengan *software CarSimEd*.

Prosedur Manuver

Berdasarkan referensi prosedur manuver pengujian ada dua komponen utama yaitu pengujian *Fishhook Maneuver* dan pengujian *J-Turn Maneuver* tanpa pengereman. Penjelasan dari komponen pengujian tersebut adalah sbb :

Fishhook Maneuver

Manuver ini dilakukan untuk mengetahui apakah kendaraan tersebut menyebabkan *two-wheel liftoff* (dua roda terangkat) ataupun *roll over* pada akselerasi lateral terendah daripada J-Turn dengan secara tiba-tiba melakukan belokan besar dan kemudian berbelok kembali lebih jauh pada arah sebaliknya. Pada belokan ke dua roda kemudi dipegang tetap selama pengujian berlangsung. Manuver ini untuk menunjukkan keadaan ekstrim pada saat pengemudi melakukan manuver menyalip atau manuver penyelamatan dengan dua roda pada saat keluar jalur di jalan raya.



Steering Rates Based on Roll Natural Frequency

Gambar 1. Input Roda Kemudi pada *Fishhook Maneuver*

(Sumber: *An Experimental Examination of Selected Maneuvers That May Induce On-Road Untripped, Light Vehicle Rollover -Phase II of NHTSA's 1997-1998 Vehicle Rollover Research Program*. Riley Garrot, W. [7])

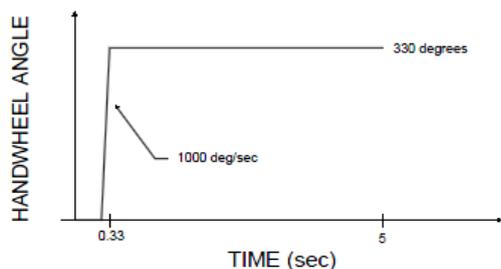
Tabel 4. Nilai Sudut Kemudi

Time (sec)	Handwheel Angle (deg)
0.000	0.0
B - 0.125	270.0
B + 0.125	270.0
2 * B	0.0
2 * B + 0.80	-600.0
5.000 (End of Test)	-600.0

Tabel 4. menunjukkan tabel nilai sudut kemudi pada waktu tertentu untuk manuver *Fishhook*. B adalah nilai frekuensi *natural roll* kendaraan (dalam Hertz) nilai ini dapat diperoleh dengan analisa grafik pada referensi [3]. Manuver ini dilakukan dengan kisaran kecepatan mulai dari 34 s/d 50 mph atau 54 s/d 80 kph. Pengujian ini hanya dilakukan untuk satu kali arah belok kekiri saja.

J-Turn Manuever Tanpa Pengereman Bertahap

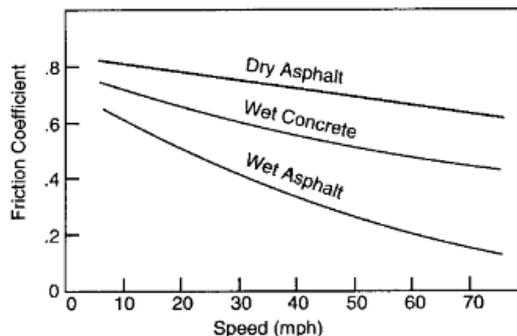
Prosedur manuver ini dilakukan untuk menunjukkan kecenderungan *roll over* kendaraan dengan cara melakukan belokan besar secara tiba-tiba. Pada saat berbelok dengan tiba-tiba, roda kemudi ditahan tetap selama pengujian. Pada manuver ini kendaraan mulai berjalan pada garis lurus pada 0 detik. Ketika 0.33 detik roda kemudi diputar dari 0 s/d 330 derajat. Kemudian roda kemudi ditahan pada 330 derajat selama sisa 4.67 detik dari waktu pengujian. Manuver ini dilakukan pada kisaran kecepatan 36 s/d 60 mph atau 56 s/d 96 kph. Pengujian ini hanya dilakukan untuk arah belok kekiri saja.



Gambar 2. Input Roda Kemudi pada *J-Turn Manuever*

Data masukan untuk parameter jalan raya

Sesuai dengan standar pengujian simulasi yang akan dilakukan maka penulis memilih kondisi jalan aspal kering dengan nilai koefisien gesek jalan disesuaikan kisaran kecepatan kendaraan pada saat melakukan manuver pengujian. Nilai koefisien gesek diperoleh dengan metode grafik sesuai gambar 3 dibawah ini [3].



Gambar 3. Koefisien gesek sebagai fungsi kecepatan (Sumber: *Fundamentals of Vehicle Dynamics* Gillespie, Thomas D.[3])

Data masukan untuk simulasi

Data masukan untuk simulasi diberikan pada tabel 5 dibawah ini. Data masukan berupa jenis kendaraan, jenis manuever, kecepatan, koefisien gesek jalan dan lama simulasi.

Tabel 5. Run Inputs

Run Inputs		Kecepatan (km/h)	Lama simulasi (sec)	Koefisien gesek
Kendaraan uji	Jeep 443			
Input : Steering	Fishhook	80	5	0.68
	J-Turn without Pulse Braking	96	5	0.64
Kendaraan uji	Jeep 530			
Input : Steering	Fishhook	80	5	0.68
	J-Turn without Pulse Braking	96	5	0.64

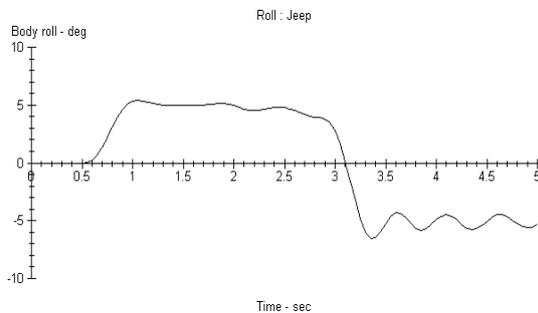
DATA HASIL SIMULASI

Simulasi Fishhook Manuever

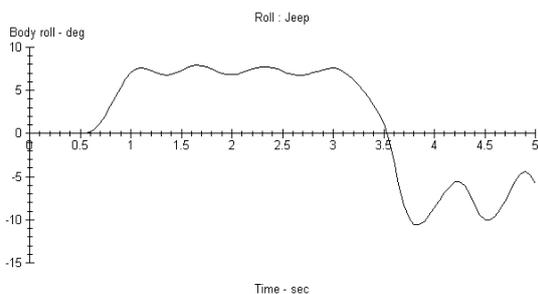
Pada simulasi ini hasil yang keluar dapat diamati dalam bentuk animasi dan plot grafik dimana penulis hanya menggunakan 12 plot grafik saja dari kategori gerakan kendaraan (*vehicle motion*), kemudi (*steering*) dan gaya-gaya pada ban (*tire*).

Tujuan manuver ini adalah untuk menunjukkan keadaan ekstrim pada saat pengemudi melakukan manuver menyalip atau manuver penyelamatan dengan roda pada saat keluar jalur di jalan raya, selain itu juga tujuannya untuk mengetahui kondisi kendaraan saat melakukan manuver yang cukup ekstrim apakah mengalami tip off (terangkatnya dua roda) atau tidak berdasarkan nilai frekuensi natural roll kendaraan.

Dari gambar 1 diatas dijelaskan bahwa derajat kemudi diset pada nol derajat hingga detik pertama kemudian setelah 0.5 detik derajat kemudi dinaikkan hingga 270 derajat dalam 1.175 detik, lalu kemudi ditahan pada 270 derajat dalam 1.85 detik derajat kemudi diturunkan hingga -600 derajat dalam 4.1 detik. Untuk pengujian ini hanya dilakukan pada arah kekiri saja jika pengujian ini dilakukan pada arah kekanan derajat kemudi diset pada nilai -600 derajat. Hasil simulasi dari manuever ini diberikan pada gambar 4 dan 5.

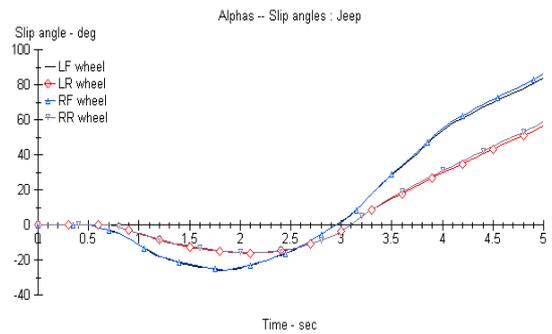


Gambar 4. Grafik roll *Fishhook maneuver* Jeep 443
(Sumber: *Carsim Educational version 4.51[6]*)



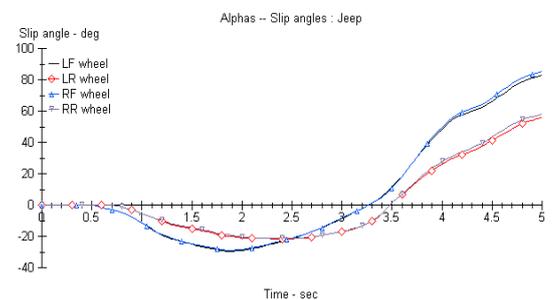
Gambar 5. Grafik roll *Fishhook maneuver* Jeep 530
(Sumber: *Carsim Educational version 4.51[6]*)

Dari grafik roll diatas dapat dijelaskan bahwa pada manuever Jeep 530 mempunyai derajat fluktuasi roll yang lebih besar yaitu pada kisaran 6-8 derajat dan -4 s.d. -10 detik daripada manuever Jeep 443 yaitu pada kisaran 4-6 derajat dan -4 s.d.-6 detik, hal ini dikarenakan nilai posisi CG pada Jeep 530 lebih tinggi daripada Jeep 443, selain itu juga menyebabkan tingkatan roll pada Jeep 443 lebih stabil dari pada Jeep 530.



Gambar 6. Plot grafik *Slip angles Fishhook maneuver* Jeep 443

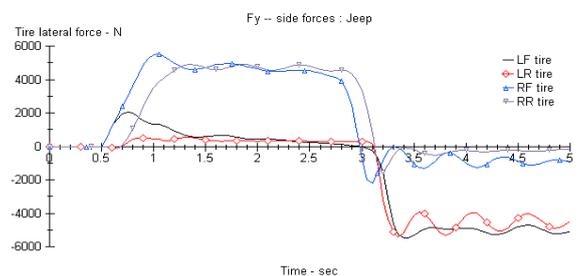
(Sumber: *Carsim Educational version 4.51[6]*)



Gambar 7. Grafik *Slip angles Fishhook maneuver* Jeep 530

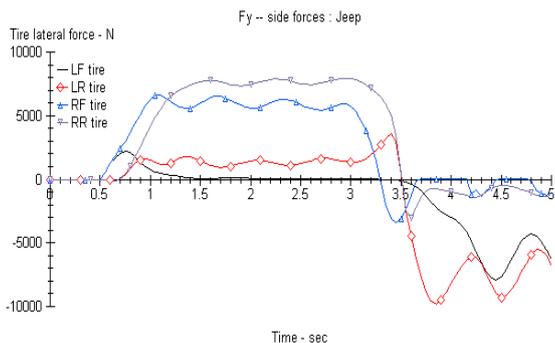
(Sumber: *Carsim Educational version 4.51[6]*)

Pada grafik sudut slip diatas terlihat bahwa kedua kendaraan uji tersebut memiliki karakteristik yang sama, tetapi pada manuever ekstrim kedua kendaraan ini menunjukkan adanya gejala *understeer* dimana hal itu ditunjukkan pada kisaran 2 s.d 3.5 detik bahwa roda belakang memiliki sudut slip yang lebih kecil daripada roda depan, demikian juga pada kisaran 3.8 detik hingga 5 detik roda belakang mengalami sudut slip yang lebih rendah dari roda depan.



Gambar 8. *Side forces Fishhook maneuver* Jeep 443

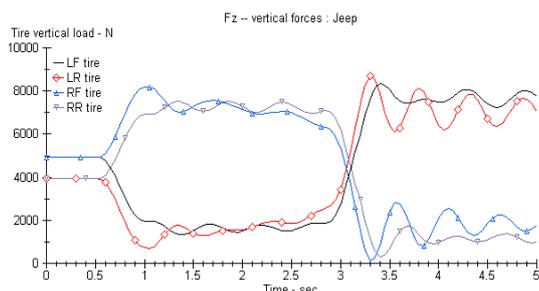
(Sumber: *Carsim Educational version 4.51[6]*)



Gambar 9. Grafik *Side forces Fishhook maneuver* pada Jeep 530

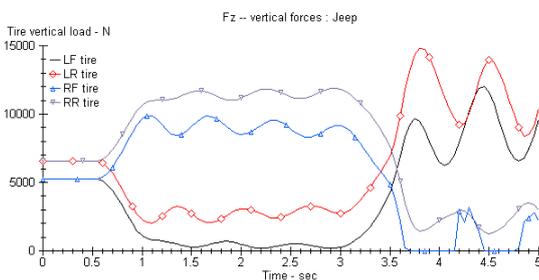
(Sumber: *Carsim Educational version 4.51*[6])

Dari grafik diatas terlihat bahwa saat kendaraan melaju kencang maka gaya yang timbul akan semakin besar hal ini dikarenakan pada saat kendaraan berbelok kearah kiri tumpuan berada di kanan kendaraan sehingga nilainya lebih tinggi di bagian kanan sedangkan ketika berganti arah belokan tumpuan cenderung pada roda belakang bagian kiri sehingga pada bagian roda kiri belakang lebih tinggi dari bagian roda kiri depan.



Gambar 10. Grafik *Vertical forces Fishhook maneuver* Jeep 443

(Sumber: *Carsim Educational version 4.51*[6])

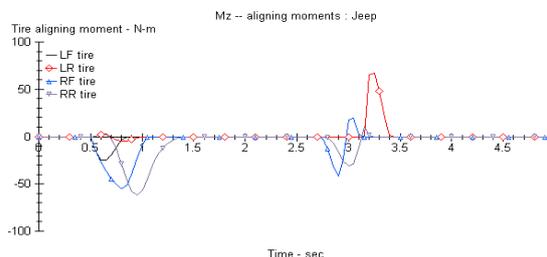


Gambar 11. Plot grafik *Vertical forces Fishhook maneuver* Jeep 530

(Sumber: *Carsim Educational version 4.51*[6])

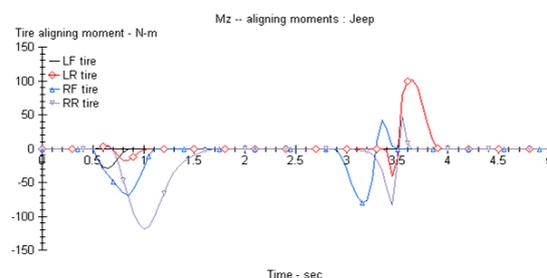
Dari grafik diatas terlihat bahwa gaya vertikal dibagian kiri lebih besar daripada bagian depan hal ini disebabkan karena pada saat kendaraan berbelok kearah kiri tumpuan kendaraan ada disebelah roda kanan belakang. Pada kedua kendaraan uji ini terdapat

perbedaan bobot kendaraan dikarenakan jumlah penumpang, dan hal ini menyebabkan Jeep 530 mengalami *tip off* tetapi hanya terjadi pada satu roda saja yaitu roda kanan depan.



Gambar 12. Grafik *Aligning moments Fishhook maneuver* Jeep 443

(Sumber: *Carsim Educational version 4.51*[6])



Gambar 13. Plot grafik *Aligning moments Fishhook maneuver* Jeep 530

(Sumber: *Carsim Educational version 4.51*[6])

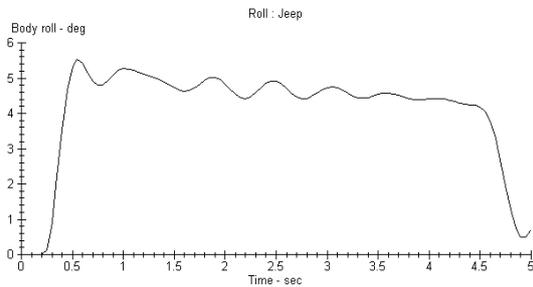
Pada gambar 12 dan 13 juga terlihat bahwa saat kendaraan berbelok kearah kiri momen terbesar dialami oleh roda kanan belakang, kemudian pada saat kendaraan merubah arah belokan momen terbesar dialami oleh roda kiri belakang yang menunjukkan arah keluar lintasan.

Dari plot grafik diatas dapat disimpulkan bahwa pada pengujian *fishhook maneuver* ini kedua kendaraan uji memiliki perilaku belokan yang tidak jauh berbeda, akan tetapi kedua kendaraan uji memiliki nilai yang berbeda hal ini dikarenakan adanya perbedaan pada jumlah penumpang dan posisi CG. Pada kedua kendaraan ini cenderung mengalami gejala *understeer* dikarenakan sudut slip pada roda depan lebih besar dari pada sudut slip pada roda belakang, selain itu pada kendaraan uji Jeep 530 mengalami *tip off* meskipun hanya terjadi pada satu roda.

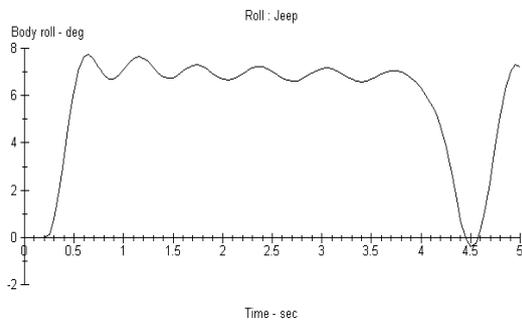
Simulasi J-Turn Manuver Tanpa Pengereman

Pada pengujian manuver ini langkah awal adalah memasukkan input yang diperlukan, pada manuver ini yang diperlukan hanya *input steering* dikarenakan pada pengujian ini kendaraan mempertahankan roda kemudi selama pengujian berlangsung.

Pengujian manuver ini bertujuan untuk menunjukkan kecenderungan *rollover* kendaraan dengan cara melakukan belokan besar secara tiba-tiba. Pada saat berbelok dengan tiba-tiba, roda kemudi ditahan tetap selama pengujian.

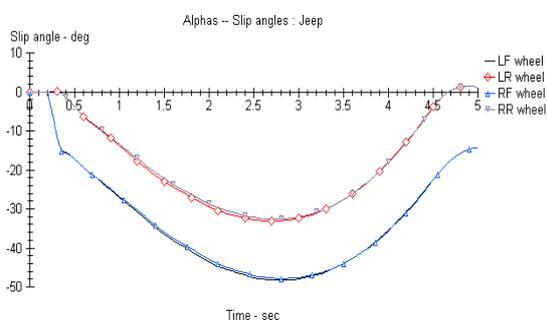


Gambar 14. Grafik roll *J-Turn maneuver* Jeep 443

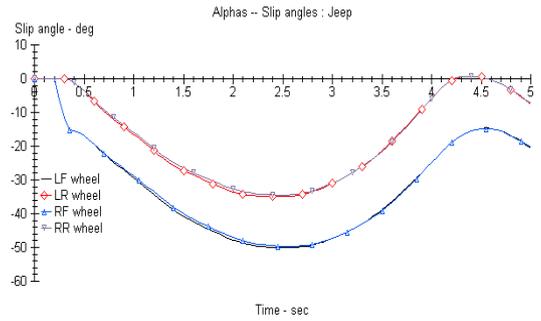


Gambar 15. Grafik roll *J-Turn maneuver* Jeep 530
(Sumber: *Carsim Educational version 4.51*[6])

Pada pengujian manuver diatas terlihat Jeep 530 memiliki tingkatan *roll* yang lebih stabil jika dibandingkan dengan Jeep 443 hal ini dikarenakan beban dan posisi CG pada Jeep 530 lebih tinggi dari pada Jeep 443. Pada Jeep 530 tingkatan *body roll*-nya lebih tinggi jika dibandingkan dengan Jeep 443 sehingga posisi kendaraan Jeep 530 lebih miring ke kanan pada waktu belok kekiri jika dibandingkan dengan Jeep 443.



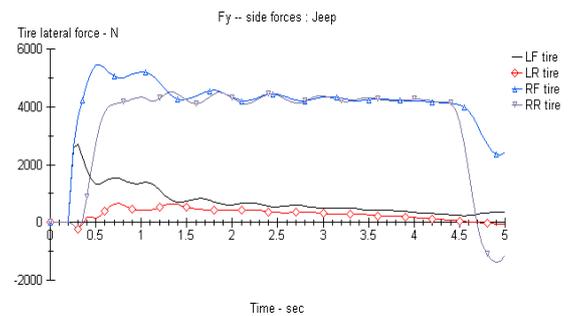
Gambar 16. Plot grafik *Slip angles J-Turn maneuver* Jeep 443
(Sumber: *Carsim Educational version 4.51*[6])



Gambar 17. Grafik *Slip angles J-Turn maneuver* Jeep 530

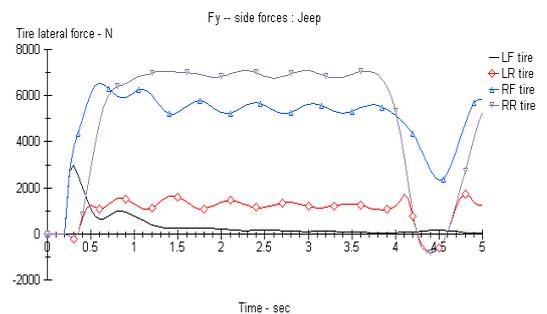
(Sumber: *Carsim Educational version 4.51*[6])

Dari grafik sudut slip yang muncul kedua kendaraan uji ini memiliki karakteristik yang tidak jauh berbeda dimana gejala yang ditimbulkan oleh kedua kendaraan uji tersebut lebih cenderung mengalami *understeer*, hal ini dikarenakan sudut slip pada roda depan lebih besar jika dibandingkan dengan sudut slip pada roda belakang.



Gambar 18. Plot grafik *Side forces J-Turn maneuver* Jeep 443

(Sumber: *Carsim Educational version 4.51*[6])

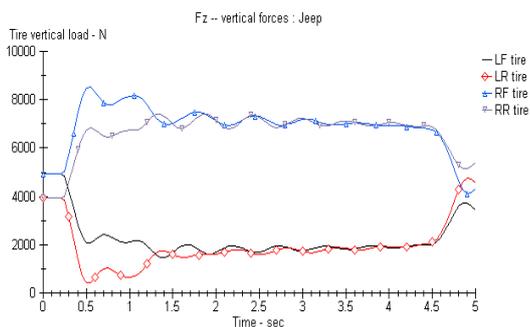


Gambar 19. Grafik *Side forces J-Turn maneuver* Jeep 530

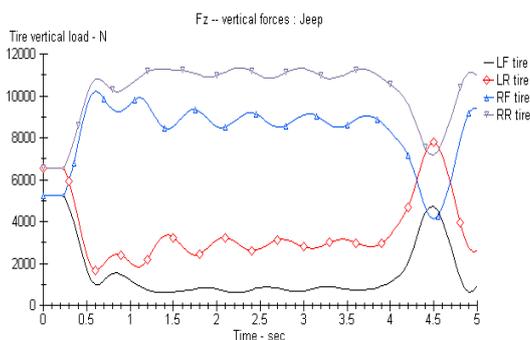
(Sumber: *Carsim Educational version 4.51*[6])

Pada pengujian manuver ini terlihat jelas bahwa pada saat kendaraan berbelok kearah kiri tumpuan berada di kanan kendaraan sehingga nilainya lebih tinggi dibagian kanan sedangkan ketika kendaraan uji ini berbelok sambil melaju kencang tumpuannya

cenderung pada roda belakang bagian kanan sehingga pada bagian kanan belakang lebih tinggi dari bagian kanan depan.



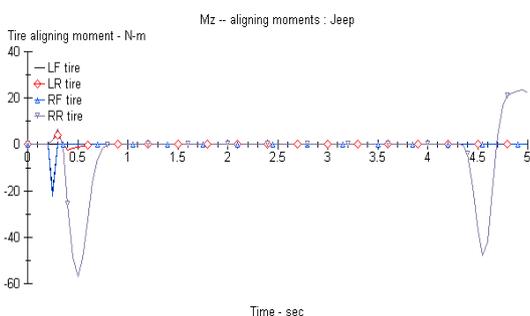
Gambar 20. Plot grafik *Vertical forces J-Turn maneuver* Jeep 443



Gambar 21. Plot grafik *Vertical forces J-Turn maneuver* Jeep 530

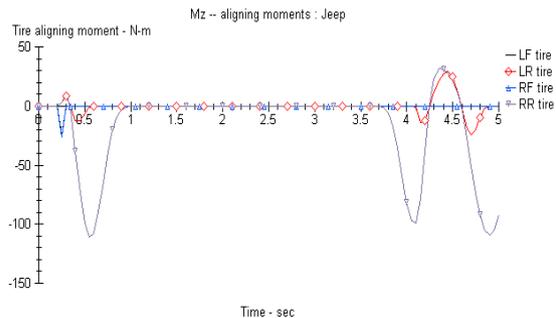
(Sumber: *Carsim Educational version 4.51*[6])

Dari grafik diatas terlihat bahwa gaya vertikal bagian kanan lebih besar dari pada bagian kiri hal ini dikarenakan pada saat kendaraan berbelok kearah kiri tumpuan berada pada roda kanan belakang.



Gambar 22. Plot grafik *Aligning moments J-Turn maneuver* Jeep 443

(Sumber: *Carsim Educational version 4.51*[6])



Gambar 23. Plot grafik *Aligning moments J-Turn maneuver* Jeep 530

(Sumber: *Carsim Educational version 4.51*[6])

Pada grafik diatas menunjukkan kedua kendaraan uji nilai momen terbesar dialami oleh roda kanan belakang dimana tumpuan kendaraan pada roda kanan belakang nilainya negatif.

Dari pengujian *J-Turn maneuver* ini dapat disimpulkan bahwa kendaraan uji pada Jeep 530 terlihat pada grafik kondisinya lebih stabil jika dibandingkan dengan Jeep 443 hal ini dikarenakan adanya perbedaan bobot kendaraan dan posisi CG yang lebih tinggi. Pada saat kendaraan ini belok kearah kiri tumpuan kendaraan berada pada bagian kanan kendaraan sehingga nilai bagian kanan lebih tinggi dari pada bagian kiri, selain itu kendaraan ini tidak mengalami *tip off* sehingga kendaraan masih dapat dikatakan normal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dari pengujian simulasi yang telah dilakukan terhadap kedua perilaku kendaraan uji Jeep Grand Cherokee tahun 1998, menunjukkan bahwa dari plot grafik pengujian *Fishhook maneuver* dan *J-Turn maneuver* kendaraan dengan 5 penumpang kondisinya mendekati garis linier dibandingkan dengan 1 penumpang.

Pada pengujian *fishhook maneuver* terlihat pada plot grafik bahwa kendaraan dengan 5 penumpang mengalami *tip off*, hal ini disebabkan karena pada saat kendaraan berubah arah sudut steer kecil sehingga mengakibatkan radius putarnya besar.

Pada pengujian *Fishhook maneuver* dan *J-Turn maneuver* baik kendaraan dengan 1 penumpang maupun 5 penumpang, kendaraan uji cenderung mengalami gejala *understeer*, hal ini dikarenakan sudut slip roda depan lebih besar dibandingkan sudut slip roda belakang.

Untuk pengujian *J-Turn maneuver* baik kendaraan dengan 1 penumpang maupun 5 penumpang tidak mengalami *tip off* sehingga kendaraan masih dapat dikatakan normal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chawla, Jasvipul Singh, “*Estimation of Side Slip in Vehicles*”, Bachelor and Master Dissertation. Department of Mechanical Engineering Indian Institute of Technology, BOMBAY, 2006.
- [2] Criens, C.H.A. T. Ten, Dam. H.J.C. Luijten, T. Rutjes “*Building a Matlab Based Formula Student Simulator*”, Master Project Report. Technische Universiteit Eindhoven. 2006.
- [3] Gillespie, Thomas D. “*Fundamentals of Vehicle Dynamics*” Society of Automotive Engineers, Inc. USA 1994.
- [4] Giangiulio, Emiliano. “*14 d.o.f. VERTEC vehicle model VDSIM-Vehicle Dynamic SIMulator Implementation and validation*”, Lecturer Presentation. International Colloquium on Vehicle-Tyre-Road Interaction, STUTTGART, 2006.
- [5] Jazar, Reza N. “*Vehicle Dynamics: Theory and Applications*” Springer Science+Business Media, LLC, 2008.
- [6] Mechanical Simulation Corporation. “*Carsim Educational User Manual Version 4.5*” Mechanical Simulation Corporation. 2000.
- [7] Riley Garrot, W., J. Gavin Howe, Garrick Forkenbrock.” *An Experimental Examination of Selected Maneuvers That May Induce On-Road Untripped, Light Vehicle Rollover -Phase II of NHTSA’s 1997-1998 Vehicle Rollover Research Program*”, Test Report. NHTSA. 1999.
- [8] Riley Garrot, W., Michael Pyne, J. Gavin Howe, Dennis A. Guenther, Gary J. Heydinger, and Ronald A. Bixel, “*Measured Vehicle Inertial Parameters-NHTSA’s Data*”, Paper Journal. Society Of Automotive Engineers, Inc, November 1998.
- [9] Sharaf, A.M. H. Rahnejat and PD. King. “*Analysis of handling characteristics of all-wheel-drive off-road vehicles*”, Paper Journal. Inderscience Enterprises Ltd. 2008.
- [10] Shim, Taehyun. Chinar Ghike. “*Understanding the Limitation of Different Vehicle models for Roll Dynamics Studies*”, Paper Journal. The University of Michigan. USA 2006.
- [11] Wong, J.Y., *Theory of Ground Vehicles*. Third Edition, John Wiley & Sons, Inc. Canada, 2001.
- [12] http://en.wikipedia.org/wiki/Jeep_Grand_Cherokee