

## Analisis Karakteristik Handling Kendaraan Roda Tiga Dengan Tilting Wheeled Melalui Uji Manuver Slalom

Wibowo<sup>1)</sup>, Jaka SB<sup>2)</sup>, Wibawa EJ<sup>3)</sup>

<sup>1)2)3)</sup>Teknik Mesin FT UNS Surakarta  
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta 57728  
wibowo\_uns@yahoo.com

### Abstrak

This study focuses on handling performances of an innovative three-wheeled vehicle. A three-wheeled vehicle is a fine synthesis between the maneuverability and compactness of a motorcycle and the stability and load-bearing capacity of a four-wheeled car. Simulation using universal mechanism program in expecting to evaluate the parts of handling with different configuraton from a vehicle to find new handling index, which is also shown the quantity of kynematic and dynamic of the vehicle. Two wheeled vehicle has a nimble maneuver and simple of dimation better than four wheeled vehicle. But its also has weakness in lacking of handling, safetiness and stability, which is not found in four wheeled vehicle. How if the three aspect applied into two wheeled vehicle technology. The simulation result showed that i.r.c configuration above the ground have roll transfer function value greater than i.r.c configuration on the ground and below the ground at all the speed. So that, it concluded that i.r.c configuration above the ground was easier to be handle. These result was agree with qualitatif test. Most of the test drivers (96,7 %) said that i.r.c configuration above the ground had a little effort to handle than the others configurations. However, 96,7 % of the test drivers said that i.r.c below the ground was more stable.

**Keywords** : three-wheeled vehicle, handling index, irc, stability, roll transfer

### Pendahuluan

Kendaraan roda tiga adalah salah satu pengembangan sepeda motor di masa depan. Kendaraan ini diharapkan mampu menggabungkan kelebihan dari mobil dan sepeda motor. Di satu sisi mobil mempunyai keunggulan diantaranya *handling*, stabilitas, dan keamanan. Sedangkan sepeda motor mempunyai keunggulan dimensi yang ringkas dan kemampuan manuver yang baik.

Kendaraan roda tiga adalah sintesis yang baik antara kemampuan manuver dan keringkasn sepeda motor dan kestabilan kendaraan roda empat. (Cossalter, 2006). Ada beberapa tipe dalam menghubungkan bagian roda depan dengan roda belakang, antara lain *revolute joint frame*, *single cylinder joint frame*, *tilting three wheeled*.

Pada saat belok, kendaraan *Tilting Three Wheeled* menjaga gaya resultan segaris dengan bodi kendaraan. Hal ini menguntungkan karena bisa mengurangi lebar trek kendaraan dan memiliki ketahanan guling yang baik. Dengan *TTW*, kendaraan bisa didesain lebih ringan, menurunkan *aerodynamic drag*, dan membutuhkan tempat yang sedikit ketika parkir (Riley, 1999).

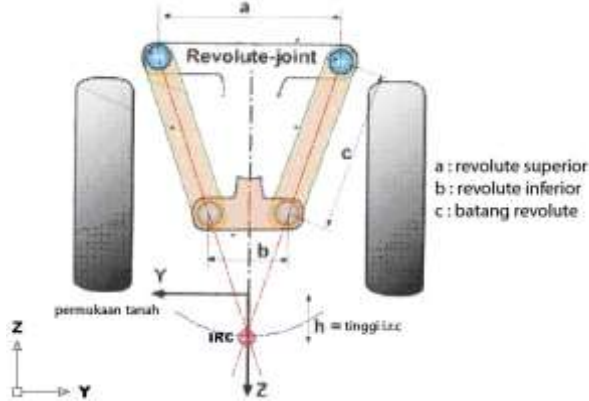
Dengan perancangan yang baik, kendaraan roda tiga bisa memiliki karakteristik handling dan

ketahanan guling (*overturn resistance*) yang sama bahkan lebih baik dari kendaraan roda empat (Paul G. Van Valkenburgh dan Richard H. Klein, 1983).

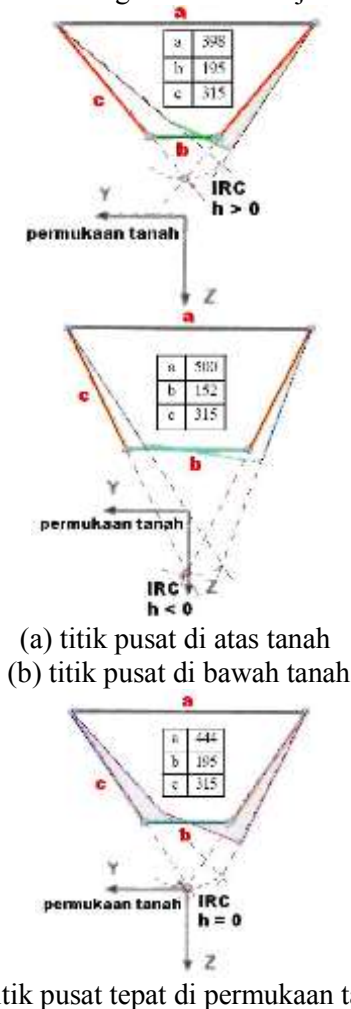
Persamaan gerak *three-wheeled tilting vehicle* merupakan gabungan dari mobil dan sepeda motor. Perbedaan dinamika yang pokok antara *three-wheeled tilting vehicle* dan sepeda motor atau mobil terdapat pada komponen kemudi *non-tilting*. Ini ditunjukkan oleh roda belakang yang harus bergerak lebih dulu (pada sudut tertentu) untuk mencapai dinamika kemudi netral (Berote, 2006).

*Revolute Joint Frame* 4 palang terhubung merupakan suatu sistem yang menghubungkan antara rangka belakang dengan rangka depan. Empat palang terhubung terdiri dari rangka belakang yang tidak miring, rangka depan yang miring dan 2 palang terhubung yang menghubungkan rangka depan dan belakang dengan 4 *revolute joint*, yang sama-sama memiliki orientasi poros yang sama. Dengan konfigurasi ini rangka depan berputar mengelilingi sumbu rotasi sesaat. Persimpangan dari sumbu rotasi dengan 4 palang terhubung menunjukkan pusat rotasi sesaat/ *instantaneous rotation centre (i.r.c)*. Posisi *i.r.c* dalam hubungan ini digambarkan oleh persimpangan antara 2 sumbu pada batang yang terhubung, seperti ditunjukkan pada gambar 1. Jarak *a* antara 2 *revolute joint superior*, panjang *c* palang penghubung dan jarak *b* antara 2 *revolute joint*

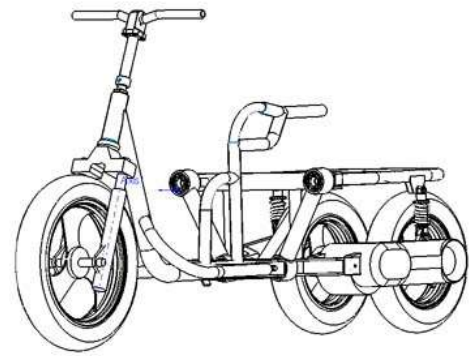
*inferior* (gambar 2.), menggambarkan posisi pusat rotasi sesaat. Tinggi  $h$  menunjukkan jarak vertikal antara jalan dengan *i.r.c.*, nilainya positif ketika *i.r.c.* di atas tanah, negatif jika di bawah tanah. Sumbu rotasi sesaat dapat digerakkan ke atas dan ke bawah sesuai dengan permukaan jalan dengan mengurangi atau menambah jarak antar *revolute joints* (parameter-parameter  $a$  dan  $b$ ).



Gambar 1. Konfigurasi revolute joint frame.



Gambar 2. Titik irc terhadap permukaan tanah.

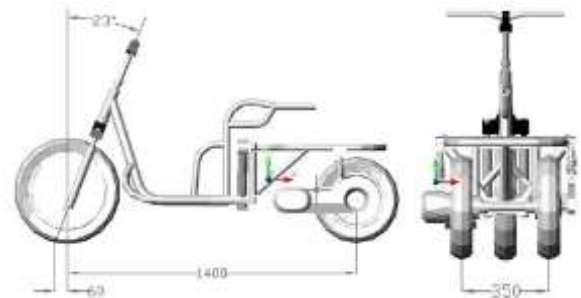


Gambar 3. Konsep Kendaraan Roda Tiga dengan *revolute joint frame*.

### Skema Numerik

#### Geometri Kendaraan.

Parameter geometri kendaraan yang berpengaruh terhadap perilaku arah kendaraan ditunjukkan gambar 4. Parameter tersebut antara lain adalah:



Gambar 4. Geometri *TTW*

*Wheelbase* (jarak antara roda depan dan roda belakang) : 1400mm

*Track* (jarak antara kedua roda belakang) : 350mm

*Trail* : 60mm

Sudut *caster*: 23°

#### Titik Berat

Posisi mesin yang tidak berada pada sumbu simetri menyebabkan pusat massa kendaraan tidak berada pada sumbu. Semakin jauh posisi mesin terhadap sumbu maka titik berat semakin menjauh pula. Berat masing-masing komponen adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Berat Komponen Kendaraan.

No.	Komponen	Berat (kg)
1	Rangka depan	15
2	Kemudi	8
3	Roda depan	6,5
4	Rangka belakang	12
5	Mesin	16,2
6	Swing arm	3,5
7	Batang penghubung revo (total 2 buah)	8

8	Roda belakang (total 2 buah)	13
<b>Total berat kendaraan</b>		<b>83,8</b>

$$h = (0,8153 - 0,8153) \cot(\arcsin 0,4286) + 0,3048$$

$$h = 0 + 0,3048$$

$$h = 0,3048\text{m}$$



Gambar 5. Distribusi berat kendaraan



Gambar 6. Distribusi berat kendaraan

Mencari titik berat horisontal b:

$$\frac{\%bebandepan}{\%bebanbelakang} = \frac{b/p}{(p-b)/p}$$

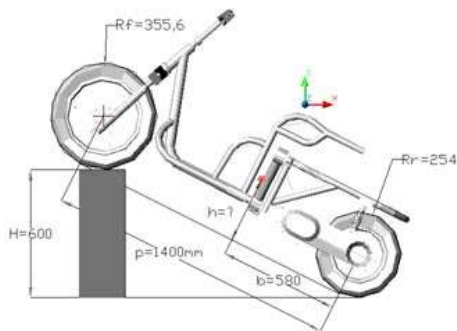
$$\frac{35/83,8}{48,8/83,8} = \frac{b/1,4}{(1,4-b)/1,4}$$

$$\frac{b}{(1,4-b)} = 0,7172$$

$$b = 1,00408 - 0,7172b$$

$$1,7172b = 1,00408$$

$$b = 0,5847 \text{ m}$$



Gambar 7. Mencari tinggi berat kendaraan.

Mencari tinggi titik berat:

$$h = \left( \frac{N_{sr}P}{mg} - (p-b) \right) \cot \left[ \arcsin \left( \frac{H}{p} \right) \right] + \frac{R_r + R_f}{2}$$

$$h = \left( \frac{(48,8 \times 9,81) 1,4}{83,8 \times 9,81} - (1,4 - 0,5847) \right) \cot$$

$$\left[ \arcsin \left( \frac{0,6}{1,4} \right) \right] + \frac{0,254 + 0,3556}{2}$$

### Hasil dan Pembahasan

Pengujian kuantitatif dilakukan dengan melakukan simulasi pada *software UM* dengan metode uji slalom. Jarak antar *cone* yang dipakai adalah 11 m.

Parameter terukur yaitu :

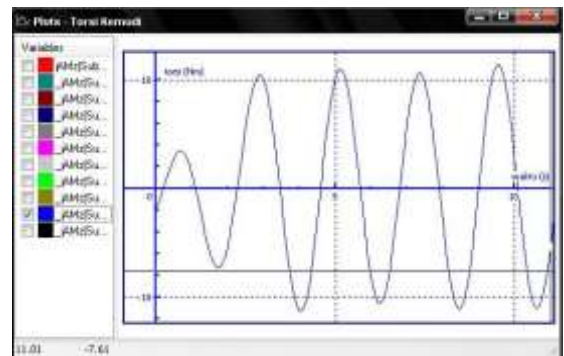
1. Sudut roll  $\phi$ .
2. Torsi kemudi  $\tau$ .

dan parameter terhitung adalah

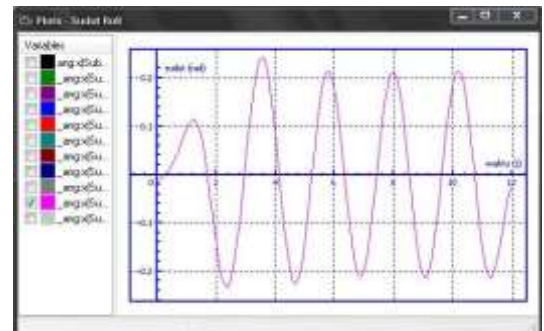
1. Roll transfer function/spesific roll =  $\frac{\phi}{\tau}$

Grafik hasil simulasi di hadirkan pada grafik-grafik dibawah :

- a. Konfigurasi *i.r.c* diatas tanah

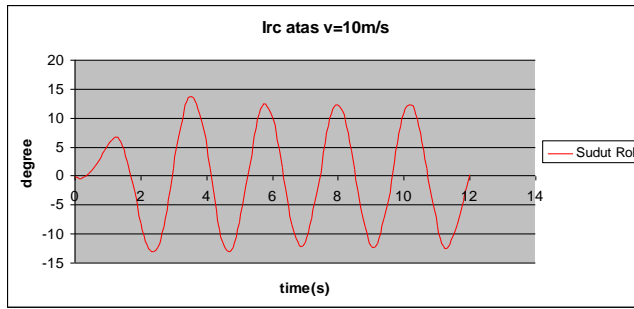


Grafik 1. Grafik torsi kemudi konfigurasi *i.r.c* atas pada  $v = 10 \text{ m/s}$



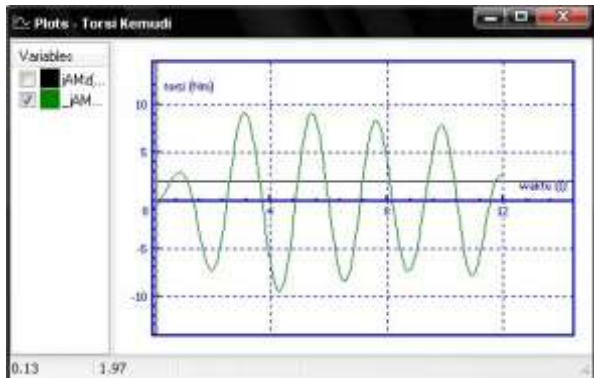
Grafik 2. Grafik sudut *roll* konfigurasi *i.r.c* atas pada  $v = 10 \text{ m/s}$  dalam satuan radian

Karena hasil grafik simulasi *UM* menggunakan satuan radian maka hasil dari grafik sudut *roll* di *export* ke *microsoft excel* dan dikonversikan secara manual ke satuan derajat (*degree*) dan kemudian di buat dalam bentuk grafik kembali.

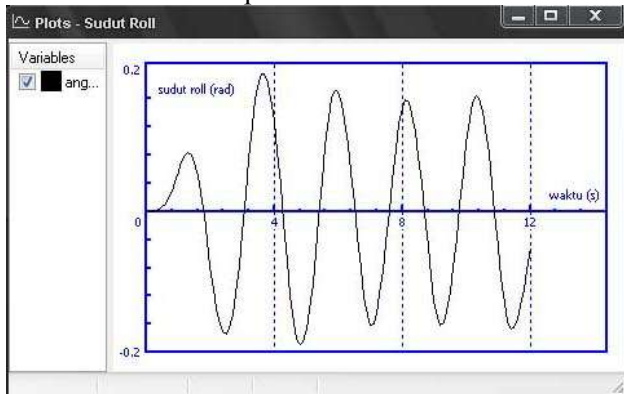


Grafik 3. Grafik sudut *roll* konfigurasi *i.r.c* atas  $v = 10$  m/s atau pada frekuensi 0.45 Hz dalam satuan derajat

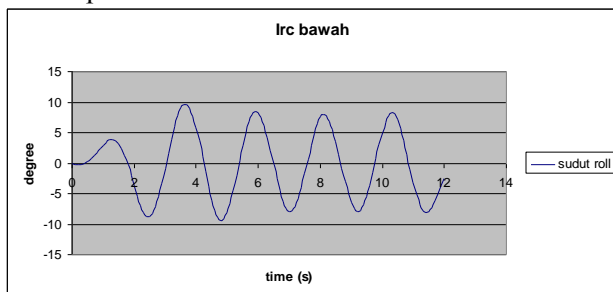
b. Konfigurasi *i.r.c* netral



Grafik 4. Grafik torsi kemudi konfigurasi *i.r.c* netral pada  $v = 10$  m/s

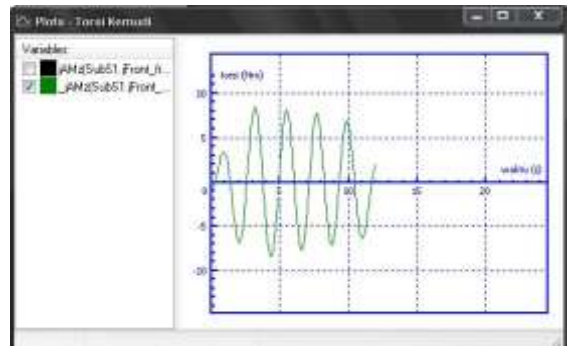


Grafik 5. Grafik sudut *roll* konfigurasi *i.r.c* netral pada  $v = 10$  m/s dalam satuan radian

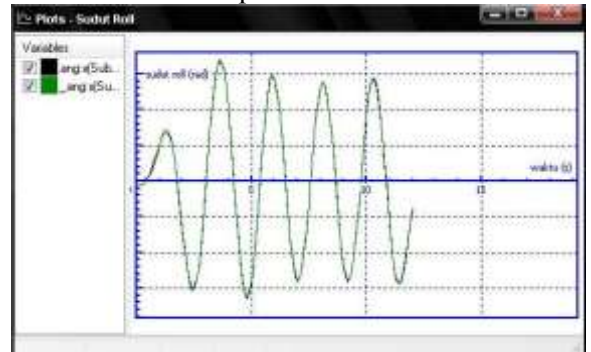


Grafik 6. Grafik sudut *roll* konfigurasi *i.r.c* netral  $v = 10$  m/s atau pada frekuensi 0.45 Hz dalam satuan derajat.

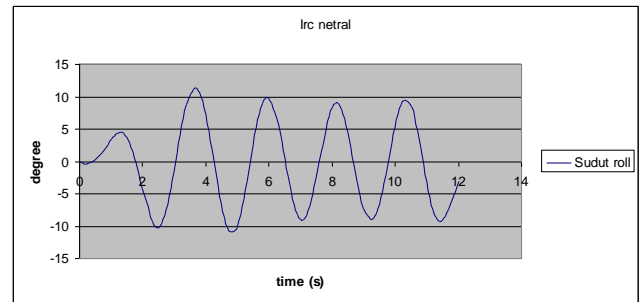
c. Konfigurasi *i.r.c* dibawah tanah



Grafik 7. Grafik torsi kemudi konfigurasi *i.r.c* dibawah tanah pada  $v = 10$  m/s



Grafik 8. Grafik sudut *roll* konfigurasi *i.r.c* dibawah tanah pada  $v = 10$  m/s dalam satuan radian



Grafik 9. Grafik sudut *roll* konfigurasi *i.r.c* dibawah tanah  $v = 10$  m/s atau pada frekuensi 0.45 Hz dalam satuan derajat

Frekuensi yang digunakan pada uji simulasi slalom terdapat pada tabel 2.

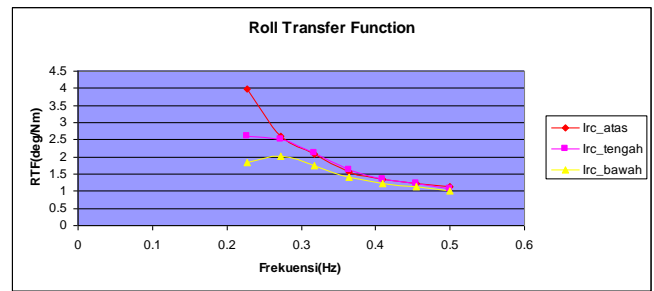
Tabel 2. Frekuensi Pada Uji Simulasi

<i>Velocity</i> (m/s)	$2p$ $p=11$ m	Frekuensi (Hz) $f=v/2p$
5	22	0.227
6	22	0.272
7	22	0.318
8	22	0.363
9	22	0.409
10	22	0.454
11	22	0.5

Nilai *Roll transfer function* terhadap frekuensi pada tiga konfigurasi pada tabel 3, 4, 5.

Tabel 3. Nilai *Roll Transfer Function* Terhadap Frekuensi Pada *i.r.c* Bawah

Frekuensi (Hz)	Sudut Roll (Radian)	Sudut Roll (degree)	Torsi (N/m)	RTF
0.227	0.071	4.1224	2.258	1.825
0.272	0.107	6.1433	3.058	2.008
0.318	0.150	8.6259	4.959	1.739
0.363	0.162	9.2899	6.576	1.412
0.409	0.164	9.4481	7.738	1.220
0.454	0.166	9.5436	8.46	1.128
0.5	0.167	9.5885	9.625	0.996



Grafik 10. *Roll Transfer Function* 3 konfigurasi terhadap frekuensi

Nilai *roll transfer function* terhadap kecepatan pada 3 konfigurasi pada tabel 6, 7, 8.

Tabel 4. Nilai *Roll Transfer Function* Terhadap Frekuensi Pada *i.r.c* Netral

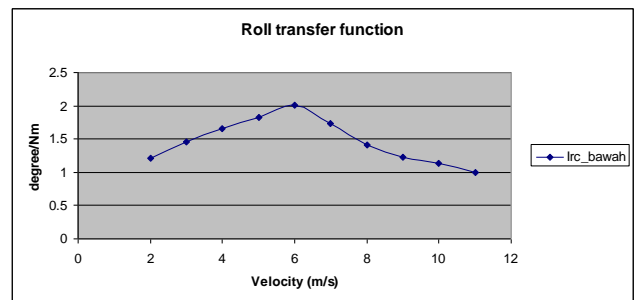
Frekuensi (m/s)	Sudut Roll (Radian)	Sudut Roll (degree)	Torsi (N/m)	RTF
0.227	0.083	4.755	1.824	2.606
0.272	0.125	7.158	2.867	2.496
0.318	0.177	10.152	4.824	2.104
0.363	0.195	11.166	6.852	1.629
0.409	0.195	11.201	8.322	1.345
0.454	0.196	11.241	9.15	1.228
0.5	0.197	11.333	10.63	1.066

Tabel 6. Nilai *Roll Transfer Function* Terhadap Kecepatan Pada *i.r.c* Bawah

V (m/s)	Sudut Roll (Radian)	Sudut Roll (degree)	Torsi (N/m)	RTF
2	0.020	1.1459	0.946	1.211
3	0.030	1.7361	1.186	1.463
4	0.046	2.6356	1.589	1.658
5	0.071	4.1224	2.258	1.825
6	0.107	6.1433	3.058	2.008
7	0.150	8.6259	4.959	1.739
8	0.162	9.2899	6.576	1.412
9	0.164	9.4481	7.738	1.220
10	0.166	9.5436	8.46	1.128
11	0.167	9.5885	9.625	0.996

Tabel 5. Nilai *Roll Transfer Function* Terhadap Frekuensi Pada *i.r.c* Atas

Frekuensi (Hz)	Sudut Roll (Radian)	Sudut Roll (degree)	Torsi (N/m)	RTF
0.227	0.109	6.296	1.584	3.975
0.272	0.151	8.703	3.342	2.604
0.318	0.192	11.046	5.332	2.071
0.363	0.216	12.415	8.023	1.547
0.409	0.232	13.292	9.781	1.359
0.454	0.240	13.768	11.11	1.239
0.5	0.253	14.547	12.848	1.132



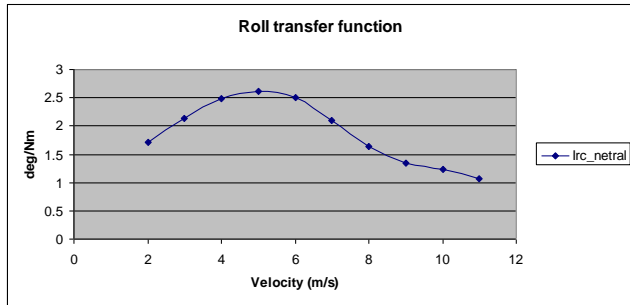
Grafik 11. *Roll transfer function* terhadap kecepatan pada konfigurasi *i.r.c* bawah

Tabel 7. Nilai *Roll Transfer Function* Terhadap Kecepatan Pada *i.r.c* Netral

V (m/s)	Sudut Roll (Radian)	Sudut Roll (degree)	Torsi (N/m)	RTF
2	0.023	1.315	0.765	1.718
3	0.034	1.985	0.928	2.137
4	0.052	3.026	1.221	2.476
5	0.083	4.755	1.824	2.606



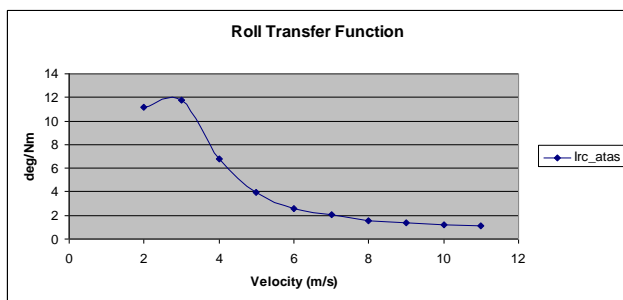
6	0.125	7.158	2.867	2.496
7	0.177	10.152	4.824	2.104
8	0.195	11.166	6.852	1.629
9	0.195	11.201	8.322	1.345
10	0.196	11.241	9.15	1.228
11	0.197	11.333	10.63	1.066



Grafik 12. Roll transfer function terhadap kecepatan pada konfigurasi *i.r.c* netral

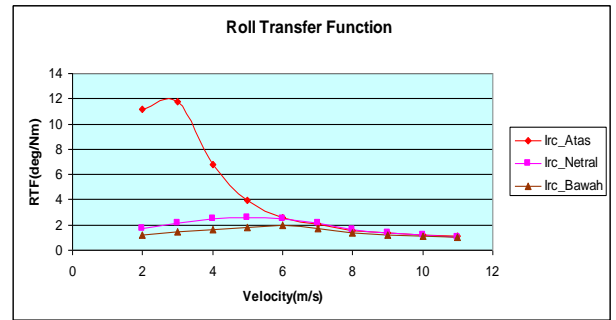
Tabel 8. Nilai Roll Transfer Function Terhadap Kecepatan Pada *i.r.c* Atas

V (m/s)	Sudut Roll (Radian)	Sudut Roll (degree)	Torsi (N/m)	RTF
2	0.032	1.883	0.168	11.150
3	0.050	2.894	0.245	11.785
4	0.076	4.360	0.644	6.768
5	0.109	6.296	1.584	3.975
6	0.151	8.703	3.342	2.604
7	0.192	11.046	5.332	2.071
8	0.216	12.415	8.023	1.547
9	0.232	13.292	9.781	1.359
10	0.240	13.768	11.11	1.239
11	0.253	14.547	12.848	1.132



Grafik 13. Roll transfer function terhadap kecepatan pada konfigurasi *i.r.c* atas

Perbandingan nilai roll transfer function dari 3 konfigurasi :



Grafik 14. Roll transfer function terhadap kecepatan dari 3 konfigurasi

Dari grafik 14 dan berdasarkan hasil nilai roll transfer function 3 konfigurasi maka dapat dikatakan bahwa : ”RTF *i.r.c* atas lebih besar daripada RTF *i.r.c* netral dan RTF *i.r.c* bawah pada semua kecepatan. Sehingga *i.r.c* diatas tanah lebih mudah di handling.”

#### Hasil Uji Kualitatif Handling TTW

Pengujian kualitatif dilakukan dengan pengujian secara langsung terhadap prototipe yang telah dibangun oleh para tes driver, dengan menyelesaikan lintasan slalom dengan jarak cone 8 m. Setelah tes driver menyelesaikan uji coba, tes driver diminta untuk memberikan penilaian atas performa handling dari prototipe dengan ketiga konfigurasi.



Gambar 8. Lintasan slalom untuk pengujian dengan jarak cone 8m

Kesimpulan hasil pengujian kualitatif disajikan pada tabel 9. dibawah ini:

Penilaian terhadap Konfigurasi	Penilaian <i>i.r.c</i> diatas tanah	Penilaian <i>i.r.c</i> pas di permukaan tanah	Penilaian <i>i.r.c</i> dibawah tanah
Usaha torsi kemudi	96,66 % ringan 3,33 % berat	96,66 % sedang 3,33 % berat	100% berat
Handling	96,66 % mudah 3,33 % sukar	96,66 % mudah 3,33 % sukar	100% sukar
Stabilitas	96,66 % kurang 3,33 % tidak tahu	96,66 % sedang 3,33 % tidak tahu	96,66 % stabil 3,33 % tidak tahu

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Konfigurasi *i.r.c* di atas tanah dianggap memiliki handling paling baik karena mempunyai rasio *roll transfer function* terbesar dibandingkan konfigurasi *i.r.c* lainnya.
2. Meningkatnya kecepatan/frekuensi dari tes slalom maka meningkat pula sudut *roll* dan torsi kemudi tetapi rasio *roll transfer function* menurun.

## Nomenklatur

*i.r.c.* Instantaneous rotation center  
RTF Roll Transfer Function

Greek letters

$\varphi$  Sudut roll (rad)  
 $\tau$  Torsi kemudi (N/m)

## Referensi

1. Agostinetti, P., Cossalter, V., Ruffo, N. *Experimental analysis of handling of a three wheeled vehicle*, Modena : University of Padua. (2003)
2. Chan, S.N., Mottershead, E.J., Cartmell, P.M., *Parametric Resonances at Subcritical Speed in Discs with Rotating Frictional Loads*, Proc. Instn. Mechanical Engineering. Vol. 208. (1994)
3. Cossalter, Vittore, *Motorcycle Dynamic 2nd Edition*, Lulu, Modena : University of Padua. (2006)
4. Didik, N., *Studi Eksperimental Pengaruh Vibrator terhadap Getaran Pad sebagai Efek ABS pada Pengereman Cakram*, Tesis PPs ITS, Surabaya. (2001)
5. Edwin Stone, David Cebon, *A preliminary Investigation of Semi-active Roll Control*, The eleventh International Pacific Convergence on Automotive Engineering, Shanghai. (2001)
6. Ervin. R.D., *Mobile Measurement of Truck Tire Traction*, Proceeding of a Symposium on Commercial Vehicle Braking and Handling, Highway Safety Research Institute, University of Michigan, MI. (1975)
7. Harsokoesoemo. D, *Pengantar Perancangan Teknik*, Penerbit ITB, Bandung. (2004)
8. Kuo, Y.C. and Huang, C.C., *Active Control of Mechanical Vibration in Circular Disc*, *Journal of Dynamic System, Measurement and Control*, Vol. 114. (1992)
9. Moore, D.F., *The Friction of Pneumatic Tire*, Elsevier Scientific Publishing Co., New York. (1975)
10. Nyoman, I.S., *Teknologi Otomotif*, Guna Widya, Surabaya. Indonesia. (2001)
11. Parwata, I.M., *Pemanfaatan Load Sensing Proportioning Valve dan Vibrator Membran untuk Mendapatkan Dampak ABS*, Tesis PPs ITS, Surabaya. (2001)
12. Randolph Beckman, *3-Wheel Car*, jurnal Some answers to questions we forgot to ask.
13. TEAM (Technical Education for Automotive Mastery), *Tranning Manual ABS and Traction Control System*, PT. Toyota ASTRA Motor.
14. Harris, C.M., Crede, C.E., *Shock dan Vibration Handbook.*, McGraw Hill Book Company, United State of America, (1976)
15. Inman, Daniel J., *Engineering Vibration.*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1993.
16. Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik.*, Erlangga, Jakarta, (1994)
17. Pogorelov, D., Prof., *Universal Mechanism Technical Manual*, Rusia : Bryansk State Technical University, (2007)
18. Shahian, B., Hassul, M., *Control System Design using Matlab.*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, (1993)
19. Shen, I. journal Y. journal *Response of a stationary, Damped, Circular Plate Under a rotating Slider Bearing System*. Journal. (1993)
20. Sutjiatmo, Bambang, *Pengembangan Metode Domain Waktu untuk Analisa Getaran Acak Kendaraan.* – tesis, Institut Teknologi Bandung, (1989)
21. Vierck, R.K., *Vibration Analysis.*, Harper and Row, New York, (1979)
22. Wibowo, *Tinjauan Sistem Kemudi Empat Roda untuk Menentukan Parameter Sudut Belok Roda Belakang.*(2005)
23. Wibowo, *Rancang Bangun Sistem Rem Antilock (ABS) dengan Komponen Pegas Elastik sebagai Kinerja dari Semi ABS*, tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. (2003)
24. Wibowo, *Perancangan Kampas Rem Berlapis dan Beralur pada Sepeda Motor untuk Mendapatkan Efek Pengereman Antilok.*(2004)

25. Wibowo, *Perancangan Karakteristik Sistem Suspensi Semi Aktif untuk Meningkatkan Kenyamanan Kendaraan*.(2005)
26. Wong, J.Y., *Theory of Ground Vehicles*, John Willey and Sons Inc., New York. (1978)
27. Xiao-pei Lu, Dang Lu, Konghui Guo,2001, dalam jurnal "*Camber Effect on Tire and Moment Properties*" (2001)