

## INVESTIGASI UNJUK KERJA HANDLING PADA BENTUK GEOMETRI RANGKA KENDARAAN RODA TIGA

Wibowo<sup>1,a,\*</sup>, Lutfianto<sup>2</sup>, Triyono<sup>3</sup>, Sinki<sup>4</sup>, Nurul Muhayat<sup>5</sup>

1,2,3,4,5 = Teknik Mesin Fakultas Teknik UNS

Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta, Indonesia

Email: <sup>a</sup>wibowo\_uns@yahoo.com

### Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh geometri rangka kendaraan terhadap *handling* kendaraaan. Analisis dilakukan terhadap rancangan prototipe kendaraan roda tiga. Prototipe kendaraan roda tiga hasil rancangan menggunakan *revolute joint frame* untuk memperoleh *handling* kendaraan yang lebih baik. *Revolute joint frame* pada prototipe kendaraan dapat diubah menjadi tiga konfigurasi, yaitu IRC (*instantaneous rotation center*/pusat rotasi sesaat) di bawah tanah atau angka negatif, IRC di permukaan tanah atau titik netral dan IRC di atas tanah atau angka positif. Performa *handling* ketiga konfigurasi tersebut dianalisis dengan simulasi software *Universal Mechanism* 5.0. dan pengujian eksperimental terhadap lintasan U (*U-turn*). Simulasi *Universal Mechanism* menggunakan kecepatan konstan 15 m/s diperoleh nilai indeks Koch untuk konfigurasi IRC di atas tanah =  $2,82 \text{ Ns}^2/\text{rad}$ ; nilai indeks Koch IRC di permukaan tanah =  $6,41 \text{ Ns}^2/\text{rad}$ ; nilai indeks Koch IRC di bawah tanah =  $16,15 \text{ Ns}^2/\text{rad}$ . Dengan nilai indeks Koch paling kecil, konfigurasi *revolute joint frame* IRC di atas tanah memiliki handling kendaraan yang paling baik berdasarkan pengujian *U turn*. Hal ini sesuai dengan pengujian kualitatif, yang menyatakan semua *test driver* berpendapat bahwa konfigurasi IRC di atas tanah lebih cocok untuk jalan menikung, sedangkan konfigurasi IRC di bawah tanah stabil untuk jalan lurus.

**Kata kunci:** *revolute joint frame, steering torque, roll angle, koch index, IRC*

### Pendahuluan

*Handling* artinya kemudahan dikendarai. Nilai *handling* dapat diperoleh dengan simulasi komputer dan pengujian kendaraan dengan tes manuver. Informasi tentang *handling* tidak pernah dipublikasikan oleh pabrik kendaraan. Pabrikan hanya memberikan beberapa informasi spesifikasi teknis seperti kecepatan maksimum, akselerasi, torsi maksimum, jarak antar sumbu roda, berat kendaraan, dan lain-lain. Biasanya penilaian *handling* dilakukan secara subyektif oleh lembaga independen dari media cetak atau elektronik dengan pengujian pada sirkuit balap ataupun jalan raya. *Tes driver* berusaha mengeksplorasi kendaraan untuk melihat kemampuan manuver kendaraan melakukan gerak secepat mungkin tanpa mengabaikan faktor keselamatan dan kenyamanan. Kendaraan yang diuji biasanya lebih dari satu, sehingga penilaian tentang *handling* sebatas perbandingan tingkat kemudahan dikendarai dari kendaraan yang diuji.

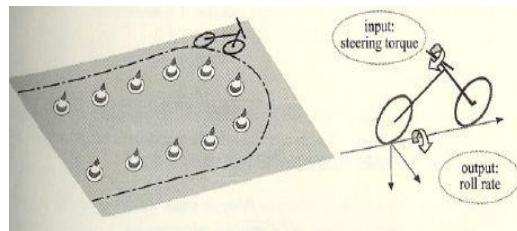
Kendaraan roda tiga yang ditawarkan di pasar kurang menarik konsumen karena modelnya hampir selalu sama dari waktu ke waktu. Banyak pengendara mengeluhkan besarnya tenaga yang

diperlukan untuk mengemudikan kendaraan roda tiga, terutama pada jalan berliku. Padahal kendaraan roda tiga dianggap sebagai solusi penggabungan yang baik antara kemampuan bermanuver dan kekompakkan dari kendaraan roda dua, dengan stabilitas dan kapasitas muat kendaraan roda empat. Salah satu solusi untuk mengurangi beban pada saat mengemudi yaitu mengembangkan kendaraan roda tiga dengan rangka inovatif. Prototipe kendaraan roda tiga ini menggunakan *revolute joint frame* untuk menghubungkan rangka depan dan rangka belakang, sehingga kendaraan dapat bergerak dinamis seperti sepeda motor.

### Mengukur Handling Kendaraan dengan *U-turn Test*

Percobaan dan simulasi bermanfaat untuk mendapatkan data perilaku dinamis kendaraan. Sepeda motor diasumsikan menjadi sistem dengan beberapa masukan kendali (sudut dan torsi kemudi, kecepatan ke depan) dan beberapa keluaran kinematika dan dinamika. Perilaku sepeda motor diuraikan oleh fungsi yang menghubungkan masukan dan keluaran dalam

melakukan manuver khas, seperti *slalom*, *steady turning*, *lane change*, *obstacle avoidance* dan lain-lain. Kebutuhan berbagai macam tes yang berbeda pada sepeda motor merupakan konsekuensi dari fakta bahwa tidaklah mungkin membagi suatu jalan menjadi kurva sederhana atau lurus, sebab manuver pengendara harus disesuaikan dengan lintasan. Sebagai contoh, mengendalikan kendaraan pada *slalom test* tentu berbeda dengan mengendalikan pada manuver *steady turning* untuk jari-jari putar dan kecepatan yang sama. Karakteristik *handling* sepeda motor tidak hanya dipengaruhi oleh nilai torsi pada kondisi tertentu, tetapi juga dipengaruhi variabel lain, seperti kecepatan kendaraan dan waktu yang diperlukan untuk mencapai sudut tertentu terhadap vertikal (kecepatan sudut roll).

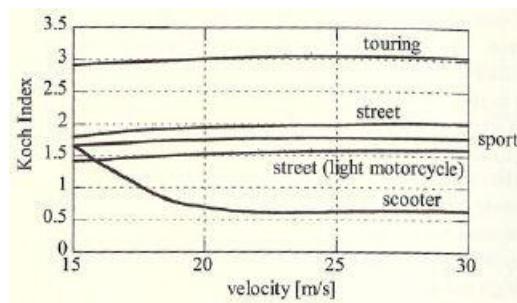


Gambar 1. Alur uji U-turn

J. Koch (1978) melakukan percobaan dengan tes U-turn, menghasilkan rumusan untuk meng-evaluasi kapasitas kendaraan pada lintasan U:

$$\text{Indeks Koch} = \frac{\tau_{peak}}{V \cdot \dot{\theta}_{peak}} \left[ \frac{N}{rad/s^2} \right] \quad (1)$$

Dimana:  $\tau_{peak}$  = nilai maksimum torsi kemudi  
 $\dot{\theta}_{peak}$  = nilai maksimum kecepatan roll  
 $V$  = kecepatan ke depan.



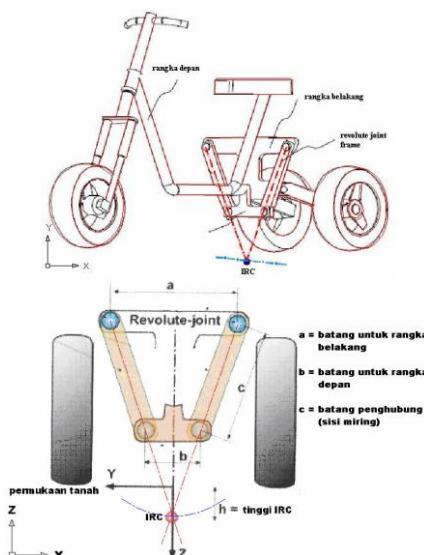
Gambar 2. Grafik Koch indeks untuk beberapa jenis kendaraan.

Indeks Koch menunjukkan kemampuan sepeda motor ketika berbelok (merubah radius) dengan kecepatan kendaraan meningkat adalah tergantung pada jenis sepeda motor. Nilai maksimum torsi kemudi dan kecepatan *roll* diperoleh pada tahap transisi, bukan dalam kondisi *steady*. Sepeda

motor dengan handling yang baik berdasarkan rumusan indeks Koch bernilai kecil, diperoleh pada kecepatan kendaraan dan kecepatan *roll* tinggi sedangkan torsi kemudi rendah. Kondisi transisi ketika memasuki lintasan sebagian besar dipengaruhi oleh tinggi pusat massa, inersia roda depan, inersia rangka depan (yang berhubungan dengan poros kemudi), inersia rangka (yang berhubungan dengan poros roll dan poros *yaw*). Gambar 2. menunjukkan indeks Koch beberapa jenis sepeda motor ketika memasuki lintasan U yang mempunyai radius sampai dengan 100 m. Gambar tersebut menunjukkan bahwa saat kecepatan terus meningkat, nilai indeks Koch cenderung menuju batas tertentu. Secara sederhana, bermanuver dengan sepeda motor sekuter lebih mudah daripada sepeda motor *touring*.

### Kendaraan Roda Tiga dengan Revolute Joint Frame

Rangka kendaraan terbagi menjadi dua bagian yaitu rangka depan dan rangka belakang, yang dihubungkan oleh batang-batang penghubung *revolute joint frame*. Rangkaian ini memungkinkan rangka depan bisa bergerak dinamis sesuai arah belok kendaraan. Rangkaian penghubung ini merupakan aspek inovatif dari kendaraan ini yang diharapkan bisa memberikan efek signifikan terhadap perilaku dinamik kendaraan.

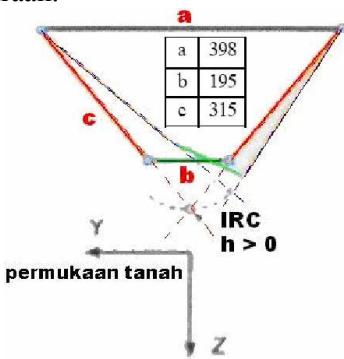


Gambar 3. Konfigurasi *revolute joint frame*.

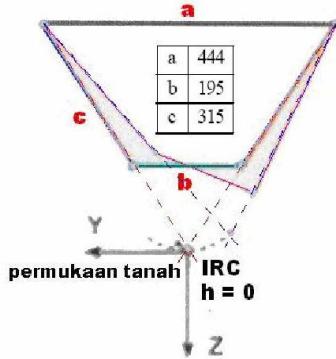
*Revolute joint frame* terdiri dari empat batang yang geometrisnya bisa berubah. Batang atas a merupakan bagian dari rangka belakang kendaraan yang posisi tetap tegak lurus terhadap roda belakang. Batang bawah b merupakan bagian

dari rangka depan yang bisa berputar pada sumbu kemiringan sesaat. Rangka belakang dan rangka depan dihubungkan oleh dua batang c yang bisa bergerak sesuai gaya dari rangka depan (batang a). Pertemuan dua sumbu batang c menunjukkan pusat rotasi sesaat atau IRC.

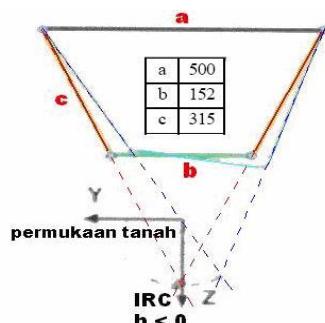
Perubahan jarak joint pada batang a, b dan c akan diperoleh nilai IRC yang berbeda terhadap tanah. Ada tiga kemungkinan konfigurasi *revolute joint frame* berdasarkan posisi IRC, yaitu: posisi IRC diatas tanah (parameter  $h$  positif), IRC pada permukaan tanah ( $h = 0$ ), dan IRC dibawah tanah ( $h$  negatif). Tiga konfigurasi berbeda tersebut dapat memberi efek signifikan perilaku dinamik dari kendaraan.



(a) titik pusat di atas tanah



(b) titik pusat di permukaan tanah (netral)



(c) titik pusat di bawah tanah

Gambar 4. a, b, c Titik IRC terhadap permukaan tanah.

## Universal Mechanism

Program ini melibatkan permasalahan dari dinamika dan mekanisme mesin. Sistem mekanikal digambarkan dengan alat-alat yang mewakili sistem *rigid bodies* yang mempunyai berbagai elemen gaya dan kinematika, sehingga disebut sistem *multibodi*.

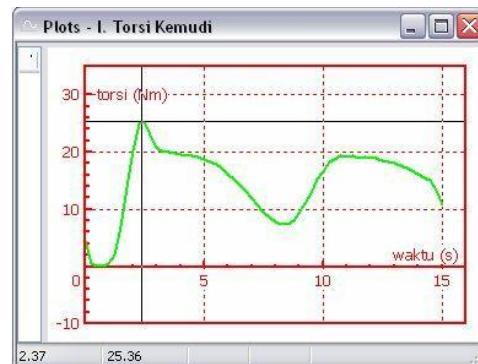
Diagram kerja UM :

1. Inisial sistem mekanikal.
2. Mempersiapkan input data untuk model.
3. Parametrisasi model, *bodi*, *joints* dan *element* gaya.
4. *Automatic generation of equations of motion*  

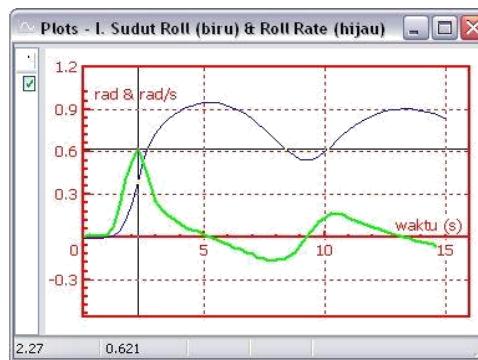
$$M(\dot{q})\ddot{q} + k(\dot{q}, q) = Q(\dot{q}, q, t) \quad (2)$$
5. Simulasi dinamika dari model. Analisis dari hasil dan *parametrical optimisasi*.

## Hasil dan Kesimpulan

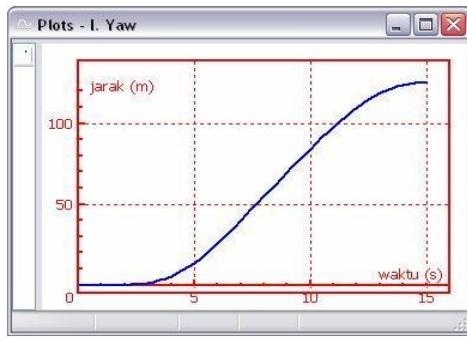
Hasil Simulasi Kendaraan untuk konfigurasi IRC di atas tanah :



(a) Torsi kemudi = 25,36 Nm



(b) Kecepatan sudut roll = 0,621 rad/s



(b) Yaw

Gambar 5. Grafik simulasi kendaraan IRC di atas tanah

Parameter yang diukur dari simulasi u-turn test untuk menghitung performa *handling* berdasarkan indeks Koch antara lain adalah torsi kemudi dan kecepatan sudut roll rangka depan. Dari gambar 5 dapat diketahui nilai variabel berpengaruh tersebut, yaitu:

$$\begin{aligned}\tau_{peak} \text{ (nilai puncak torsi kemudi)} &= 25,36 \text{ Nm} \\ \Phi_{peak} \text{ (nilai puncak kecepatan roll)} &= 0,62 \text{ rad/s} \\ V \text{ (kecepatan kendaraan)} &= 15 \text{ m/s} \\ \text{Koch indeks} &= 2,82 \text{ } Ns^2 / \text{rad}\end{aligned}$$

Tabel 1 adalah hasil simulasi untuk ketiga posisi irc.

Tabel 1. Nilai irc hasil simulasi.

irc	$\tau_{peak}$	$\Phi_{peak}$	kecep	Koch index
diatas	25,36 Nm	0,62 rad/s	15 m/s	$2,82 \text{ } Ns^2 / \text{rad}$
netral	23,09 Nm	0,24 rad/s	15 m/s	$6,41 \text{ } Ns^2 / \text{rad}$
dibawah	36,33 Nm	0,15 rad/s	15 m/s	$16,15 \text{ } Ns^2 / \text{rad}$

### Pengujian Kualitatif Handling Kendaraan

Pengujian kendaraan secara kualitatif dilakukan oleh beberapa orang terhadap lintasan yang membentuk U. Pada pengujian ini, pengendara tidak harus memacu kendaraan pada tingkat kemampuan maksimal yang dimiliki mesin, karena sulit untuk melakukan hal tersebut dalam waktu singkat tanpa latihan yang lama.

Para penguji diminta komentarnya tentang kendaraan roda tiga, baik kondisi kendaraan secara umum (tanpa mempertimbangkan perbedaan IRC) maupun secara khusus, yaitu pengaruh IRC terhadap performa handling kendaraan ketika melakukan manuver. Percobaan 1 menggunakan konfigurasi IRC di atas tanah, kemudian percobaan 2 untuk IRC di permukaan

tanah, sedangkan percobaan 3 untuk IRC di bawah tanah. Hasil pengujian juga dipengaruhi oleh tingkat kepekaan masing-masing penguji yang berbeda.

Rangkuman hasil pengujian kualitatif terhadap 30 responden ditunjukkan dibawah ini:

1. Dimensi kendaraan terhadap kenyamanan berkendara (posisi duduk, posisi tangan dan kaki) ?  
26,7% menyatakan baik, 73,3% mena-takan sedang.
2. Kendaraan roda tiga memerlukan sudut roll sama seperti sepeda motor ketika berbelok? 100% menyatakan perlu.
3. Pendapat *test driver* terhadap inovasi *revolute joint frame* pada kendaraan roda tiga ? 100% menyatakan baik.
4. Pengaruh revolute joint frame pada saat mengendarai kendaraan?  
100% menyatakan memudahkan.
5. Perbedaan handling kendaraan dari ke tiga percobaan yang telah dilakukan bisa dirasakan?  
100% menyatakan untuk lintasan lurus lebih mudah pada percobaan 3, sedangkan jalan menikung lebih mudah pada percobaan 1.
6. Bagian lintasan yang memerlukan tenaga kemudi yang paling besar pada lintasan U?  
100% menyatakan pada awal tikungan.

### Kesimpulan

Dari hasil pengujian kendaraan roda tiga revolute joint frame pada lintasan U, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Konfigurasi *revolute joint frame* sangat berpengaruh terhadap handling kendaraan roda tiga.
2. Diperoleh nilai indeks Koch untuk konfigurasi IRC di atas tanah =  $2,82 \text{ } Ns^2 / \text{rad}$ , IRC di permukaan tanah =  $6,41 \text{ } Ns^2 / \text{rad}$  dan IRC di bawah tanah =  $13,36 \text{ } Ns^2 / \text{rad}$ . Sehingga konfigurasi IRC di atas tanah mempunyai handling paling baik.
3. Bermanufer di tikungan lebih mudah menggunakan konfigurasi kendaraan IRC di atas tanah, sedangkan konfigurasi kendaraan IRC di bawah tanah lebih nyaman dikendarai di jalan lurus.
4. Pada bagian awal tikungan membutuhkan tenaga kemudi lebih besar.

## Referensi

- [1] Agostinetti, P., Cossalter, V., Ruffo, N. *Experimental analysis of handling of a three wheeled vehicle*, Modena : University of Padua. (2003)
  - [2] Cossalter, Vittore, *Motorcycle Dynamic 2nd Edition*, Lulu, Modena : University of Padua. (2006)
  - [3] Edwin Stone, David Cebon, *A preliminary Investigation of Semi-active Roll Control*, The eleventh International Pacific Converence on Automotive Engineering, Shanghai. (2001)
  - [4] Harsokoesoemo. D, *Pengantar Perancangan Teknik*, Penerbit ITB, Bandung. (2004)
  - [5] Harris, C.M., Crede, C.E., "Shock dan Vibration Handbook.", McGraw Hill Book Company, United State of America, (1976)
  - [6] Nyoman, I.S., *Teknologi Otomotif*, Guna Widya, Surabaya. Indonesia. (2001)
  - [7] Ogata, Katsuhiko, "Teknik Kontrol Automatik.", Erlangga, Jakarta, (1994)
  - [8] Pogorelov, D., Prof., *Universal Mechanism Technical Manual*, Rusia : Bryansk State Technical University, (2007)
  - [9] Shahian, B., Hassul, M., "Control System Design using Matlab.", Prentice-Hall Inc., New Jersey, (1993)
  - [10] Sutjiatmo, Bambang, "Pengembangan Metode Domain Waktu untuk Analisa Getaran Acak Kendaraan." – tesis, Institut Teknologi Bandung, (1989)
- UM manual, 2008, [www.umlabs.ru](http://www.umlabs.ru)  
UM present, 2008, [www.umlabs.ru](http://www.umlabs.ru)