

Analisa Kenyamanan Kendaraan Roda Dua dengan Pemodelan Pengendara sebagai Sistem Multi D.O.F

Chika Olviani dan Harus Laksana Guntur

Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: haruslg@me.its.ac.id

Abstrak—Sepeda motor merupakan sarana transportasi yang digunakan oleh sebagian besar masyarakat Indonesia untuk jarak dekat maupun jauh. Seseorang yang mengendarai sepeda motor akan merasakan getaran yang berasal dari ketidakratahan profil jalan. Getaran tersebut akan ditransfer oleh sistem suspensi melalui bodi kendaraan ke tubuh pengendara. Hal tersebut dapat menimbulkan kelelahan pada pengendara sepeda motor jika terjadi dalam jangka waktu yang cukup lama. Oleh karena itu faktor kenyamanan sangat penting untuk diperhatikan agar terhindar dari akibat fatal karena kelelahan yaitu kecelakaan. Secara garis besar penelitian ini dilakukan dengan pemodelan pengendara sepeda motor yang diberi input eksitasi (amplitudo jalan dan kecepatan kendaraan) yang bervariasi. Pemodelan pengendara dan sepeda motor dilakukan dengan sistem 8 derajat kebebasan yang terdiri dari massa roda depan, massa roda belakang, massa bodi motor, massa paha, massa *lower torso*, massa *upper torso*, dan massa kepala. Dari model matematis dibuat persamaan gerak dari sistem, state variable dari model, dibuat blok diagram, kemudian disimulasikan dan dianalisa hasilnya. Dari hasil simulasi didapatkan nilai percepatan maksimum pada tubuh pengendara karena pemberian input harmonik minimum sebesar 0.01 m pada kecepatan maksimal (80 km/jam), nilai RMS percepatan tubuh pengendara dari paha, *lower torso*, *upper torso* dan kepala berturut-turut adalah 0.4906 m/s², 0.5451 m/s², 0.5092 m/s², dan 0.5145 m/s². Kemudian pemberian input harmonik maksimal sebesar 0.03 m pada kecepatan maksimal (80 km/jam), nilai RMS percepatan tubuh pengendara dari paha, *lower torso*, *upper torso* dan kepala berturut-turut adalah 1.472 m/s², 1.635 m/s², 1.528 m/s², dan 1.544 m/s². Berdasarkan ISO 2631, nilai percepatan hasil simulasi pada kecepatan 20 km/jam pada semua input tubuh pengendara dari paha, *lower torso*, *upper torso* dan kepala berada di bawah standart kenyamanan. Sedangkan pada kecepatan 50 km/jam dan 80 km/jam pada semua input harmonik nilai percepatan dari hasil simulasi masih berada pada standart kenyamanan karena kurang dari 2 m/s², tetapi sudah terasa adanya ketidaknyamanan.

Kata Kunci—dinamika sepeda motor dan pengendaranya, kenyamanan berkendara, pemodelan sistem dinamis.

I PENDAHULUAN

Sepeda motor merupakan sarana transportasi yang digunakan di banyak negara berkembang seperti Indonesia. Hal ini dikarenakan sepeda motor mudah digunakan untuk menempuh jarak dekat misalnya antara rumah dan tempat bekerja. Di Indonesia, sepeda motor dianggap dapat memenuhi kebutuhan masyarakat golongan ekonomi menengah kebawah, disamping kelebihan dalam kemampuan bermanuver disela-sela kemacetan. Sepeda motor juga memberikan efisiensi dalam biaya perjalanan. Dampak dari kenaikan BBM serta

ketidakefisienan sarana angkutan umum dan waktu perjalanan yang tidak dapat diprediksi, menjadi salah satu penyebab meningkatnya kepemilikan sepeda motor. Tetapi beberapa akhir tahun ini fungsi sepeda motor pun tidak hanya digunakan sebagai alat transportasi jarak dekat, namun digunakan untuk keperluan mudik (pulang kampung). Dimana jarak yang ditempuh bisa mencapai ratusan kilometer.

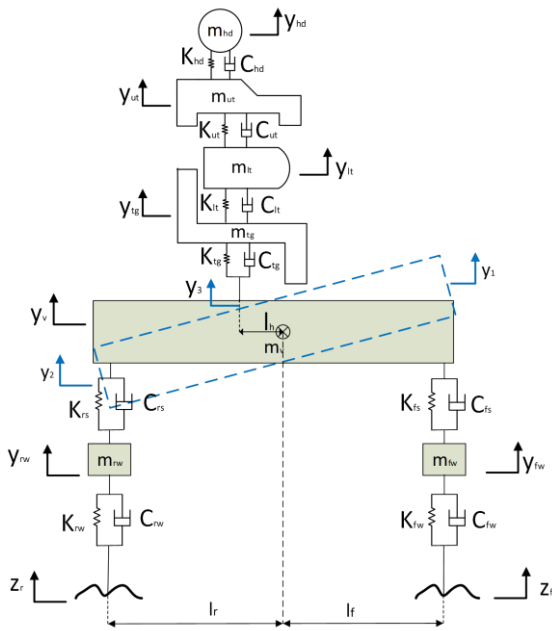
Banyak faktor yang mempengaruhi kenyamanan dan kestabilan kendaraan, salah satunya adalah getaran yang disebabkan oleh kondisi permukaan jalan yang tidak merata. Untuk mengatasi hal tersebut yaitu dengan desain suspensi yang baik untuk mereduksi energi yang ditransfer ke pengendara (*sprung mass*). Ketidaknyamanan akibat mengendarai sepeda motor dalam waktu yang lama menimbulkan kelelahan yang bisa berakibat fatal pada pengendara berupa kecelakaan.

Penelitian tentang kenyamanan berkendara sepeda motor sudah cukup banyak dilakukan. Ada yang ditinjau berdasarkan respon dinamik sepeda motor terhadap sudut suspensi,[1] selain itu juga memodelkan kendaraan dan pengendara dengan 5 dof [2].

Pada penulisan tugas akhir ini dilakukan pemodelan matematis dari pengendara sepeda motor dan kendaraannya. Kemudian dilakukan analisa hasil simulasi respon dinamis dari software Simulink untuk ditinjau berdasarkan standart kenyamanan ISO 2631.

II. URAIAN PENELITIAN

Analisa kenyamanan berkendara oleh pengendara sepeda motor dilakukan dengan pemodelan pengendara sebagai system multi-dof. Dimana pengendara dan kendaraan, masing-masing dimodelkan sebagai system empat dof. Penelitian ini dimulai dari studi literatur mengenai gerak dinamis pengendara sepeda motor beserta kendaraannya. Dilanjutkan dengan pemodelan matematis sistem. Setelah menyelesaikan model matematis, dibuat diagram blok pada software Simulink berdasarkan persamaan gerak sistem untuk mengetahui respon sistem pada saat diberi input gaya berupa step dan harmonik. Pemodelan pengendara [1] dan kendaraannya dapat dilihat pada gambar 1. Dari pemodelan pada gambar 1 terlihat bahwa pemodelan matematis kendaraan terdiri dari massa roda depan (m_{fw}), massa roda belakang (m_{rw}), massa body kendaraan (m_v), massa paha (m_{tg}), massa *lower torso* (m_{lt}), massa *upper torso* (m_{ut}), dan massa kepala (m_{hd}).



Gambar. 1. Pemodelan Matematis Pengendara Sepeda Motor dan kendaraanya

Di bawah ini merupakan persamaan state variable dari masing-masing dof:

$$\ddot{y}_{fw} = \frac{1}{m_{fw}} [k_{fw}(z_f - y_{fw}) + c_{fw}(\dot{z}_f - v_1) - k_{fs}(y_{fw} - (y_v + l_f\theta)) - c_{fs}(v_1 - (v_3 + l_f\dot{\theta}))] \quad (1)$$

$$\ddot{y}_{rw} = \frac{1}{m_{rw}} [k_{rw}(z_r - y_{rw}) + c_{rw}(\dot{z}_r - v_2) - k_{rs}(y_{rw} - (y_v - l_r\theta)) - c_{rs}(v_2 - (v_3 - l_r\dot{\theta}))] \quad (2)$$

$$\ddot{y}_v = \frac{1}{m_v} [k_{fs}(y_{fw} - (y_v + l_f\theta)) + c_{fs}(v_1 - (v_3 + l_f\dot{\theta})) - k_{rs}(y_{rw} - (y_v - l_r\theta)) - c_{rs}(v_2 - (v_3 - l_r\dot{\theta})) + k_{tg}((y_v - l_h\theta) - y_{tg}) + c_{tg}((v_3 - l_h\dot{\theta}) - v_4)] \quad (3)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{I_v} [k_{fs}l_f(y_{fw} - (y_v + l_f\theta)) + c_{fs}l_f(\dot{y}_{fw} - (\dot{y}_v + l_f\dot{v}_4)) - k_{rs}l_r(y_{rw} - (y_v - l_r\theta)) - c_{rs}l_r(\dot{y}_{rw} - (\dot{y}_v - l_r\dot{v}_4)) + k_{tg}l_h((y_v - l_h\theta) - y_{tg}) + c_{tg}l_h((\dot{y}_v - l_h\dot{v}_4) - \dot{y}_{tg})] \quad (4)$$

$$\ddot{y}_{tg} = \frac{1}{m_{tg}} [k_{tg}((y_v - l_h\theta) - y_{tg}) + c_{tg}((v_3 - l_h\dot{v}_4) - v_5) - k_{lt}(y_{tg} - y_{lt}) - c_{lt}(v_5 - v_6)] \quad (5)$$

$$\ddot{y}_{lt} = \frac{1}{m_{lt}} [k_{lt}(y_{tg} - y_{lt}) + c_{lt}(v_5 - v_6) - k_{ut}(y_{lt} - y_{ut}) - c_{ut}(v_6 - v_7)] \quad (6)$$

$$\ddot{y}_{ut} = \frac{1}{m_{ut}} [k_{ut}(y_{lt} - y_{ut}) + c_{ut}(v_6 - v_7) - k_{hd}(y_{ut} - y_{hd}) - c_{hd}(v_7 - v_8)] \quad (7)$$

$$\ddot{y}_{hd} = \frac{1}{m_{hd}} [k_{hd}(y_{ut} - y_{hd}) + c_{hd}(v_7 - v_8)] \quad (8)$$

Parameter-parameter kendaraan dan pengendara untuk pemodelan diperoleh dari berbagai sumber diantaranya dari referensi dan buku yang berkaitan dengan penelitian ini, internet dan spesifikasi dari sepeda motor yang digunakan. Kemudian data inilah yang nantinya akan diolah pada simulasi oleh software Simulink.

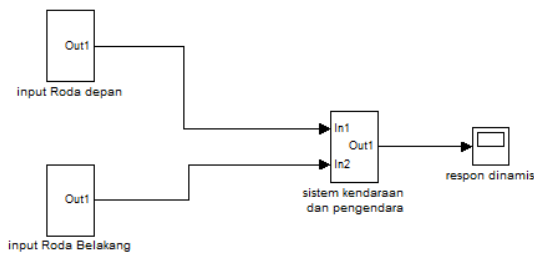
Tabel 1 Parameter Sepeda Motor yang digunakan

| Keterangan Komponen | Simbol | Nilai | Satuan |
|---|------------------|----------|-------------------|
| Massa roda depan | m_{fw} | 10 | kg |
| Massa roda belakang | m_{rw} | 10 | kg |
| Massa bodi kendaraan | m_v | 93 | kg |
| Konstanta kekakuan roda depan dan belakang | k_{fw}, k_{rw} | 1600 | N/m |
| Konstanta redaman roda depan dan belakang | c_{rw}, c_{fw} | 2200 | N/m |
| Konstanta kekakuan suspensi depan | k_{fs} | 15090 | N/m |
| Konstanta kekakuan suspensi belakang | k_{rs} | 24600 | N/m |
| Konstanta redaman suspensi depan | c_{fs} | 500 | N.s/m |
| Konstanta redaman suspensi belakang | c_{rs} | 750 | N.s/m |
| Inersia bodi kendaraan | I_v | 35.376 | kg/m ² |
| Jarak suspensi depan terhadap cg kendaraan | l_f | 0.6526 | m |
| Jarak suspensi belakang terhadap cg kendaraan | l_r | 0.6024 | m |
| Jarak manusia terhadap cg kendaraan | l_h | 0.175759 | m |

Tabel 2 Parameter Pengendara Sepeda Motor [3]

| Keterangan Bagian Tubuh Manusia | Simbol | Nilai | Satuan |
|---------------------------------|----------|--------|--------|
| Massa paha | m_{tg} | 10.92 | kg |
| Massa lower torso | m_{lt} | 7.32 | kg |
| Massa upper torso | m_{ut} | 24.12 | kg |
| Massa kepala | m_{hd} | 4.5 | kg |
| Konstanta kekakuan paha | k_{tg} | 90000 | N/m |
| Konstanta kekakuan lower torso | k_{lt} | 162800 | N/m |
| Konstanta kekakuan upper torso | k_{ut} | 183000 | N/m |
| Konstanta kekakuan kepala | k_{hd} | 310000 | N/m |
| Konstanta redaman paha | c_{tg} | 2064 | N.s/m |
| Konstanta redaman lower torso | c_{lt} | 4585 | N.s/m |
| Konstanta redaman upper torso | c_{ut} | 4750 | N.s/m |
| Konstanta redaman kepala | c_{hd} | 400 | N.s/m |

Dari data parameter yang didapatkan dari kedua tabel di atas maka dapat digunakan untuk simulasi pada software Simulink Kemudian pada blok simulink seperti pada gambar 2 diberikan input berupa step dan harmonik dengan variasi kecepatan (20 km/jam, 50 km/jam dan 80 km/jam) serta variasi amplitudo jalan (0.01m, 0.02 m dan 0.03 m).



Gambar 2. Pemodelan Blok Simulink dari Sistem

Untuk kriteria kenyamanan berdasarkan besar percepatan menurut standart ISO 2631, ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 3 Reaksi kenyamanan terhadap percepatan – ISO 2631

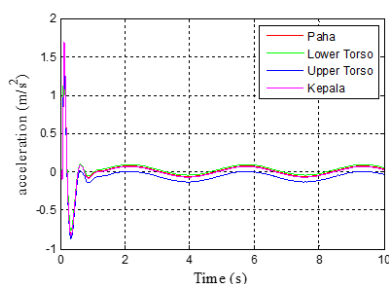
| No | Getaran | Keterangan |
|----|--|--------------------------|
| 1 | $a < 0.315 \text{ m/s}^2$ | Tidak ada keluhan |
| 2 | $0.315 \text{ m/s}^2 < a < 0.63 \text{ m/s}^2$ | Sedikit tidak nyaman |
| 3 | $0.5 \text{ m/s}^2 < a < 0.1 \text{ m/s}^2$ | Agak tidak nyaman |
| 4 | $0.8 \text{ m/s}^2 < a < 0.16 \text{ m/s}^2$ | Tidak nyaman |
| 5 | $1.25 \text{ m/s}^2 < a < 2.5 \text{ m/s}^2$ | Sangat tidak nyaman |
| 6 | $a > 2 \text{ m/s}^2$ | Amat sangat tidak nyaman |

III. HASIL DAN ANALISA

Hasil dari penelitian ini adalah berupa respon getaran akibat input step dan harmonik. Respon getaran berupa respon perpindahan, kecepatan, dan percepatan pada pengendara sepeda motor. Respon tersebut akan digunakan untuk menganalisa kenyamanan dari pengendara sepeda motor.

3.1 Respon Sistem Akibat Input Harmonik sebesar 0.03 m pada kecepatan 20 km/jam

Dari hasil simulasi yang dilakukan pada input harmonic sebesar 0.03 m dengan kecepatan 20 km/jam didapatkan grafik respon percepatan sebagai berikut.



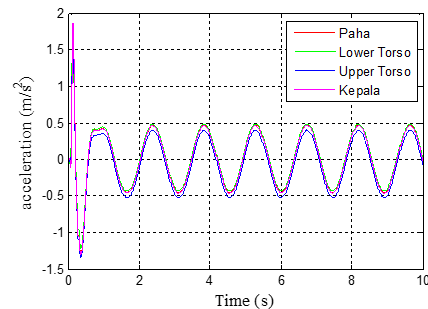
Gambar 3. Respon tubuh pengendara berupa percepatan akibat input harmonik sebesar 0.03 m pada kecepatan 20 km/jam

Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa setelah stabil, amplitudo kepala $\pm 0.09 \text{ m/s}^2$, upper torso $\pm 0.005 \text{ m/s}^2$, amplitudo lower torso $\pm 0.1 \text{ m/s}^2$ dan paha memiliki amplitudo $\pm 0,095 \text{ m/s}^2$. Nilai RMS dari tubuh pengendara yaitu paha 0.02216 m/s^2 , lower torso 0.02468 m/s^2 , upper torso 0.004606 m/s^2 dan kepala 0.02951 m/s^2 .

3.2 Respon Sistem Akibat Input Harmonik sebesar 0.03 m pada kecepatan 50 km/jam

Dari hasil simulasi yang dilakukan pada input harmonic sebesar 0.03 m dengan kecepatan 50 km/jam

didapatkan grafik respon percepatan sebagai berikut.

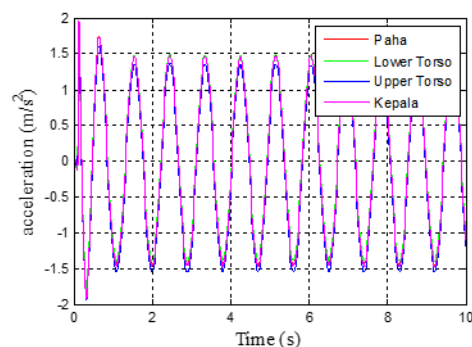


Gambar 4 Respon tubuh pengendara berupa percepatan akibat input harmonik sebesar 0.03 m pada kecepatan 50 km

Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa setelah stabil, kepala memiliki amplitudo $\pm 0.525 \text{ m/s}^2$, upper torso $\pm 0.4 \text{ m/s}^2$, lower torso $\pm 0.5 \text{ m/s}^2$, dan amplitudo paha $\pm 0.45 \text{ m/s}^2$. Nilai RMS dari tubuh pengendara yaitu kepala 0.1903 m/s^2 , upper torso 0.1813 m/s^2 , lower torso 0.2521 m/s^2 dan paha 0.163 m/s^2 .

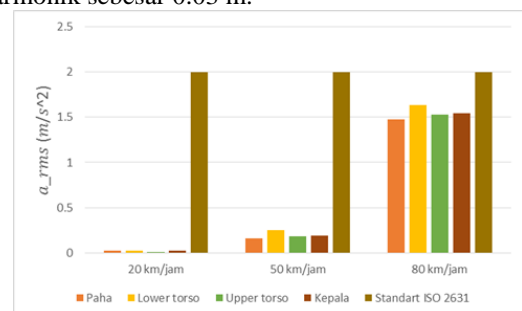
3.2 Respon Sistem Akibat Input Harmonik sebesar 0.03 m pada kecepatan 80 km/jam

Dari hasil simulasi yang dilakukan pada input harmonic sebesar 0.03 m dengan kecepatan 80 km/jam didapatkan grafik respon percepatan sebagai berikut.



Gambar 5 Respon tubuh pengendara berupa percepatan akibat input harmonik sebesar 0.03 m pada kecepatan 80 km

Dari gambar 5 dapat dilihat bahwa setelah stabil, kepala memiliki amplitudo $\pm 1.5 \text{ m/s}^2$, upper torso $\pm 1.35 \text{ m/s}^2$, lower torso $\pm 1.45 \text{ m/s}^2$, dan amplitudo paha $\pm 1.4 \text{ m/s}^2$. Nilai RMS dari tubuh pengendara yaitu kepala 1.544 m/s^2 , upper torso 1.528 m/s^2 , lower torso 1.635 m/s^2 dan paha 1.472 m/s^2 . Gambar 7 merupakan diagram perbandingan RMS dari masing-masing kecepatan pada input harmonik sebesar 0.03 m.



Gambar 6 Diagram perbandingan nilai percepatan (RMS) untuk variasi kecepatan 20 km/jam, 50 km/jam dan 80 km/jam

Berdasarkan ISO 2631 keempat bagian tubuh pengendara masih berada pada standart kenyamanan yang diijinkan. Pada kecepatan 20 km/jam pengendara tidak ada keluhan ketidaknyamanan. Sedangkan pada kecepatan 50 km/jam dan 80 km/jam nilai percepatan lebih besar dari 0.315 m/s^2 . Hal ini menimbulkan adanya ketidaknyamanan pada pengendara

IV. KESIMPULAN

1. Pada pemberian input step sebesar 10 cm, respon transien dari pengendara berupa perpindahan, kecepatan, dan percepatan dari tubuh pengendara berturut-turut adalah kepala 0.09 m, 0.47 m/s, dan 5.8 m/s^2 , upper torso 0.09 m, 0.47 m/s, dan 5.7 m/s^2 , lower torso 0.09 m, 0.46 m/s dan 5.65 m/s^2 , kemudian paha 0.09 m, 0.45 m/s dan 40 m/s^2 . Sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk stabil adalah satu detik.
2. Pada pemberian input harmonik minimum sebesar 0.01 m pada kecepatan minimum (20 km/jam), nilai RMS percepatan dari tubuh pengendara dari kepala, upper torso, lower torso dan paha berturut-turut adalah 0.007388 m/s^2 , 0.008255 m/s^2 , 0.0001535 m/s^2 , dan 0.0009837 m/s^2 . Sedangkan pada kecepatan maksimal (80 km/jam), nilai RMS percepatan dari tubuh pengendara dari paha, lower torso, upper torso dan kepala berturut-turut adalah 0.5145 m/s^2 , 0.5092 m/s^2 , 0.5451 m/s^2 , dan 0.4906 m/s^2 . Kemudian pada pemberian input harmonik maksimal sebesar 0.03 pada kecepatan minimum 20 km/jam, nilai RMS percepatan dari tubuh pengendara dari kepala, upper torso, lower torso dan paha berturut-turut adalah 0.02216 m/s^2 , 0.02468 m/s^2 , 0.004606 m/s^2 , dan 0.02951 m/s^2 lalu pada kecepatan maksimal (80 km/jam), nilai RMS percepatan dari tubuh pengendara dari paha, lower torso, upper torso dan kepala berturut-turut adalah 1.544 m/s^2 , 1.528 m/s^2 , 1.635 m/s^2 , dan 1.472 m/s^2 .

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, ST. M.Eng, yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tentua, Benjamin G. 2011. Analisa Respon Dinamik sepeda motor terhadap sudut suspensi, <URL:http://paparisa.unpatti.ac.id/paperrepo/ppr_iteminfo_in k.php?id=202>
- [2] Riyanto, Andik. 2008. Simulasi Ride Comfort kendaraan roda dua dengan system multi dof. Surabaya: Teknik Mesin ITS
- [3] Abdeen, Mostafa A.M. dkk. 2011. Prediction the Biodynamic Response of the Seated Human Body using Artificial Intelligence Technique, <URL:www.oalib.com>