

Analisa Dinamis Pengaruh Perubahan Posisi Sudut Pengendara terhadap Kenyamanan Bersepeda

Dwi Ismawati dan Harus Laksana Gutur

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— Saat ini, sepeda telah menjadi alat transportasi dan rekreasi yang digemari sebagian besar masyarakat Indonesia. Disamping harganya murah, sepeda juga ramah terhadap lingkungan dan menyehatkan. Tetapi tidak sedikit pula masyarakat yang mengeluh saat bersepeda dalam jangka waktu yang relatif lama. Hal ini disebabkan oleh ketidakmampuan tubuh untuk menahan getaran dari kontur jalan yang ditransmisikan melalui sepeda. Posisi sudut pengendara yang kurang tepat dapat mempengaruhi besar kecilnya getaran yang diterima pengendara sepeda. Berawal dari sini, penulis ingin melakukan analisa dinamis pengaruh posisi sudut pengendara terhadap kenyamanan bersepeda. Penelitian dilakukan dengan memodelkan pengaruh perubahan posisi sudut pengendara menggunakan pemodelan *time response*. Langkah awal adalah dengan membuat pemodelan matematis dan persamaan gerak sepeda dan pengendaranya. Kemudian persamaan gerak sistem tersebut diubah ke dalam bentuk *state variable system* untuk disimulasikan pada Simulink Matlab. Untuk mendapatkan respon dinamis sepeda dan pengendaranya, digunakan dua *input* ekstitasi jalan yakni step dan harmonik pada kecepatan 5 km/jam, 10 km/jam dan 20 km/jam. Variasi posisi sudut pengendara yang dimodelkan adalah 45°, 70° dan 80°. Hasil simulasi respon dinamis pada pemodelan *time response* dengan *input* harmonik, besar rata-rata RMS percepatan pengendara pada kecepatan 5 km dan 10 km adalah 0,102 m/s² dan 0,29 m/s². Nilai percepatan ini berada pada *range* tidak ada keluhan (nyaman) ditinjau dari standard ISO 2631 yaitu < 0,315 m/s² dengan posisi sudut pengendara yang dianggap paling nyaman adalah 80°. Pada *input* harmonik dengan kecepatan 20 km/jam, besar rata-rata RMS percepatan pengendara adalah 0,3648 m/s². Nilai percepatan ini berada pada *range* sedikit tidak nyaman ditinjau dari standard ISO 2631 yaitu 0,315 m/s² < a < 0,63 m/s². Pada kecepatan ini, posisi sudut pengendara yang dianggap paling nyaman adalah 80° dengan RMS percepatan pengendara sebesar 0,528 m/s².

Kata Kunci—bersepeda, dinamika sepeda dan pengendaranya, kenyamanan, pemodelan sistem dinamis, posisi sudut pengendara.

I. PENDAHULUAN

DI Indonesia, kemacetan lalu lintas kerap kita jumpai, terlebih di kota-kota besar seperti Jakarta dan Surabaya. Kondisi jalan yang ramai dengan kendaraan bermotor menyebabkan polusi udara dan suara meningkat. Langkah tepat untuk mengurangi kondisi ini supaya tidak terus meningkat adalah dengan meminimalisir pemakaiannya dan menggunakan alternatif penggantinya. Salah satu caranya adalah dengan beralih menggunakan kendaraan tidak bermotor contohnya sepeda. Disamping ramah lingkungan, sepeda merupakan transportasi yang

menyehatkan dan harganya relatif terjangkau. Hampir semua lapisan masyarakat Indonesia dapat memiliki dan menggunakannya baik itu sebagai media olah raga maupun alat transportasi jarak dekat.

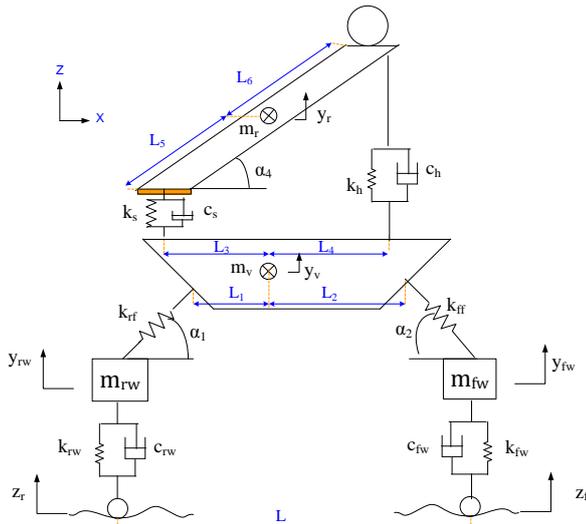
Penggunaan sepeda dalam jangka waktu yang relatif lama akan mempengaruhi kondisi tubuh pengendara. Hal ini dikarenakan kondisi kontur permukaan jalan yang tidak rata akan menimbulkan adanya perpindahan energi berupa getaran. Getaran inilah yang menyebabkan timbulnya ketidaknyamanan bagi tubuh. Studi kenyamanan sepeda dari sisi desain ergonomis banyak diteliti namun dari sisi dinamis tidak banyak yang meneliti. Oleh karena itu studi kenyamanan sepeda dari sisi dinamis perlu digalakkan lebih lanjut untuk menghindari timbulnya permasalahan kesehatan pengendara. Standard kenyamanan berkendara telah diatur pada kurva beban ISO 2631[1].

Getaran yang diterima oleh pengendara terjadi akibat kecepatan tertentu yang ditimbulkan oleh kontur jalan yang tidak rata. Getaran ini juga dipengaruhi oleh bentuk geometri sepeda, massa, inersia, karakteristik dari struktur utama sepeda dan antropometrik tubuh pengendaranya [2]-[3]. Posisi duduk pengendara yang tidak sesuai dengan desain sepeda akan menyebabkan ketidaknyamanan dalam berkendara. Untuk mendapatkan posisi duduk yang nyaman, pengendara harus menempatkan berat tubuh dan gaya otot yang tepat untuk mendorong tiga bagian penting dalam bersepeda yakni pedal, stang dan sadel [4].

Pada tugas akhir ini, penulis akan melakukan analisa dinamis pengaruh perubahan posisi sudut pengendara terhadap kenyamanan bersepeda. Standard kenyamanan yang digunakan adalah ISO 2631 untuk berat tubuh pengendara.

II. URAIAN PENELITIAN

Pemodelan matematis yang digunakan penelitian ini adalah pemodelan sepeda polygon tipe Sierra Lite dan pengendaranya dengan enam derajat kebebasan (6 DOF). Ke enam derajat kebebasan ini terdiri dari roda sepeda bagian belakang dan depan dengan notasi y_{rw} dan y_{fw} , bodi utama sepeda dengan notasi y_v dan Θ_v serta tubuh pengendara dengan notasi y_r dan Θ_r . Pemodelan matematis sepeda dan pengendaranya ditunjukkan pada gambar 1 berikut ini.



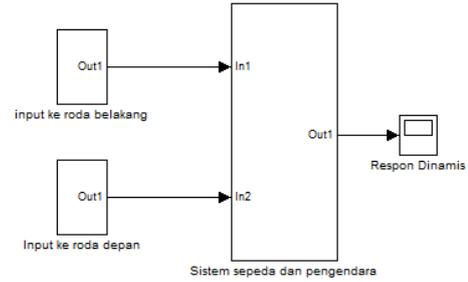
Gambar. 1. Model matematis sepeda dan pengendaranya

Berdasarkan gambar pada pemodelan diatas kemudian dibuat *state variabel system* sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \dot{y}_{rw} &= v_{rw} & \ddot{y}_{rw} &= \dot{v}_{rw} \\ \dot{v}_{rw} &= \frac{1}{m_{rw}} \left[k_{rw}z_r + c_{rw}\dot{z}_r - (k_{rw} + k_{rf}\sin^2\alpha_1)y_{rw} - c_{rw}v_{rw} + \right. \\ & \left. k_{rf}\sin^2\alpha_1y_v - k_{rf}\sin^2\alpha_1L_1\theta_v \right] \\ \dot{y}_{fw} &= v_{fw} & \ddot{y}_{fw} &= \dot{v}_{fw} \\ \dot{v}_{fw} &= \frac{1}{m_{fw}} \left[k_{fw}z_f + c_{fw}\dot{z}_f - (k_{fw} + k_{ff}\sin^2\alpha_2)y_{fw} - c_{fw}v_{fw} + \right. \\ & \left. k_{ff}\sin^2\alpha_2y_v + k_{ff}\sin^2\alpha_2L_2\theta_v \right] \\ \dot{y}_v &= v_v & \ddot{y}_v &= \dot{v}_v \\ \dot{v}_v &= \frac{1}{m_v} \left[k_{ff}\sin^2\alpha_2y_{fw} + k_{rf}\sin^2\alpha_1y_{rw} + \right. \\ & \left. (-k_{ff}\sin^2\alpha_2 - k_{rf}\sin^2\alpha_1 - k_s - k_h)y_v + (-c_s - c_h)v_v + \right. \\ & \left. (-k_{ff}\sin^2\alpha_2L_2 + k_{rf}\sin^2\alpha_1L_1 + k_sL_3 - k_hL_4)\theta_v + \right. \\ & \left. (c_sL_3 - c_hL_4)\omega_v + (k_s + k_h)y_r + (c_s + c_h)v_r + \right. \\ & \left. (-k_sL_5\cos\alpha_3 + k_hL_6\cos\alpha_3)\theta_r + \right. \\ & \left. (-c_sL_5\cos\alpha_3 + c_hL_6\cos\alpha_3)\omega_r \right] \\ \dot{\theta}_v &= \omega_v & \ddot{\theta}_v &= \dot{\omega}_v \\ \dot{\omega}_v &= \frac{1}{J_v} \left[(-k_{rf}\sin^2\alpha_1L_1)y_{rw} + (k_{ff}\sin^2\alpha_2L_2)y_{fw} + \right. \\ & \left. (k_{rf}\sin^2\alpha_1L_1 - k_{ff}\sin^2\alpha_2L_2 - k_hL_4 + k_sL_3)y_v + \right. \\ & \left. (-c_hL_4 + c_sL_3)v_v + \right. \\ & \left. (-k_{rf}\sin^2\alpha_1L_1^2 - k_{ff}\sin^2\alpha_2L_2^2 - k_hL_4^2 - k_sL_3^2)\theta_v + \right. \\ & \left. (-c_hL_4^2 - c_sL_3^2)\omega_v \right. \\ & \left. + (k_hL_4 - k_sL_3)y_r + (c_hL_4 - c_sL_3)v_r + \right. \\ & \left. (k_hL_4L_6\cos\alpha_3 + k_sL_3L_5\cos\alpha_3)\theta_r + \right. \\ & \left. (c_hL_4L_6\cos\alpha_3 + c_sL_3L_5\cos\alpha_3)\omega_r \right] \\ \dot{y}_r &= v_r & \ddot{y}_r &= \dot{v}_r \\ \dot{v}_r &= \frac{1}{m_r} \left[(k_s + k_h)y_v + (c_s + c_h)v_v + (-k_sL_3 + k_hL_4)\theta_v \right. \\ & \left. + (-c_sL_3 + c_hL_4)\omega_v + (-k_s - k_h)y_r + \right. \\ & \left. (-c_s - c_h)v_r + (k_sL_5\cos\alpha_3 - k_hL_6\cos\alpha_3)\theta_r + \right. \\ & \left. (c_sL_5\cos\alpha_3 - c_hL_6\cos\alpha_3)\omega_r \right] \\ \dot{\theta}_r &= \omega_r & \ddot{\theta}_r &= \dot{\omega}_r \end{aligned}$$

$$\dot{\omega}_r = \frac{1}{J_r} \left[(-k_sL_5\cos\alpha_3 + k_hL_6\cos\alpha_3)y_v + \right. \\ \left. (-c_sL_5\cos\alpha_3 + c_hL_6\cos\alpha_3)v_v + \right. \\ \left. (k_sL_5\cos\alpha_3L_3 + k_hL_6\cos\alpha_3L_4)\theta_v + \right. \\ \left. (c_sL_5\cos\alpha_3L_3 + c_hL_6\cos\alpha_3L_4)\omega_v + \right. \\ \left. (k_sL_5\cos\alpha_3 - k_hL_6\cos\alpha_3)y_r + \right. \\ \left. (c_sL_5\cos\alpha_3 - c_hL_6\cos\alpha_3)v_r + \right. \\ \left. (-k_sL_5\cos\alpha_3L_3\cos\alpha_3 - k_hL_6\cos\alpha_3L_6\cos\alpha_3)\theta_r + \right. \\ \left. (-c_sL_5\cos\alpha_3L_3\cos\alpha_3 - c_hL_6\cos\alpha_3L_6\cos\alpha_3)\omega_r \right]$$

State variable system yang telah terbentuk kemudian diubah ke bentuk diagram blok dalam Simulink sebagai berikut.



Gambar 2. Diagram blok system pada Simulink Matlab

Berikut ini adalah table parameter sepeda dan pengendaranya yang dimodelkan.

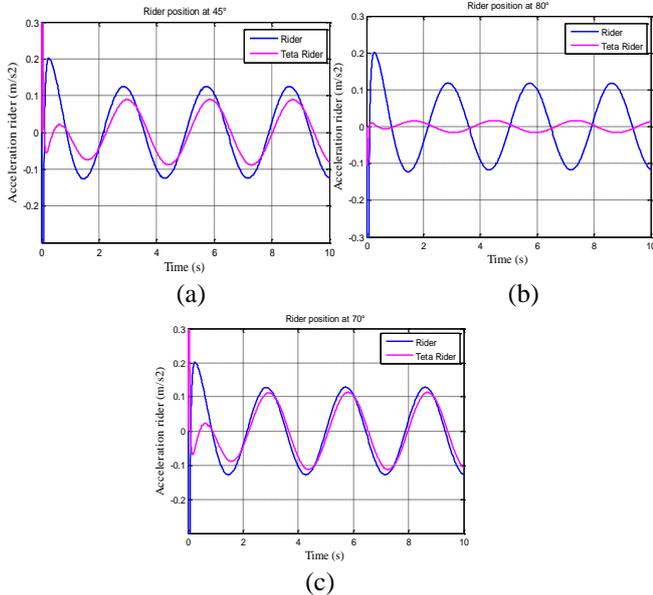
Tabel 1 Parameter sepeda dan pengendaranya

Keterangan Komponen	Simbol	Nilai	Satuan
PENGENDARA			
Massa	mr	70	Kg
Momen inersia	Jr	25.28	Kg.m ²
Kekakuan tangan	kh	243	N/m
Redaman tangan	ch	17	N.s/m
SEPEDA			
massa sepeda	mv	9.2	Kg
Momen inersia sepeda	Jv	1.28	Kg.m ²
Kekakuan sadel	ks	7.5	N/m
Redaman sadel	cs	10	N.s/m
Massa roda depan	mfw	2.256	Kg
Kekakuan roda depan	kfw	134000	N/m
Redaman roda depan	cfw	272	N.s/m
Massa roda belakang	mrw	3.65	Kg
Kekakuan roda belakang	krw	134000	N/m
Redaman roda belakang	crw	272	N.s/m
Kekakuan garpu depan	kff	30065	N/m
Kekakuan garpu belakang	krf	30065	N/m
Jarak rear fork-CoG sepeda	L1	0.284	m
Jarak front fork -CoG sepeda	L2	0.559	m
Jarak sadel-CoG sepeda	L3	0.303	m
Jarak stang-CoG sepeda	L4	0.456	m
Jarak Sadel-CoG pengendara	L5	0.31	m
Jarak CoG pengendara-pundak	L6	0.302	m
Sudut rear fork terhadap sumbu x	α1	52.5°	
Sudut front fork terhadap sumbu x	α2	69°	
Sudut pengendara terhadap sumbu x	α3	45°, 70°, 80°	

III. HASIL DAN ANALISA

Pada penelitian ini akan didapatkan respon dinamis dari sepeda dan pengendaranya akibat *input* harmonik pada kecepatan 5 km/jam, 10 km/jam dan 20 km/jam. Respon yang dianalisa adalah percepatan pengendara pada tiga posisi sudut pengendara yaitu, 45°, 70° dan 80°.

3.1 Respon percepatan pengendara pada pada kecepatan 5 km/jam

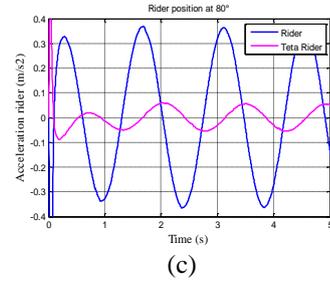
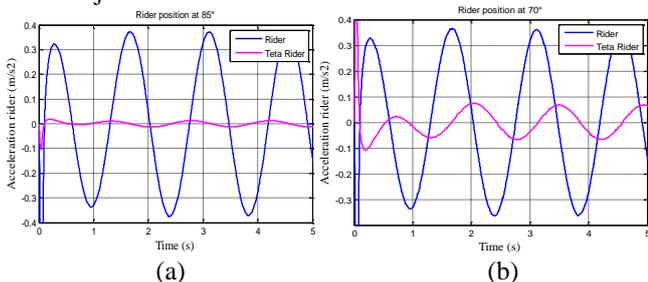


Gambar 3. Respon percepatan sepeda akibat *input* harmonik pada kecepatan 5 km/jam dengan posisi sudut pengendara 45° (a), 70°(b) dan 80°(c).

Pada gambar 3 diatas dapat dilihat bahwa respon percepatan yang dihasilkan bodi pengendara pada posisi sudut pengendara 45°, 70° dan 80° adalah relatif sama yaitu membentuk gelombang sinusoidal dengan amplitudo secara berurut yaitu ±0,125 m/s², ±0,115 m/s², dan ±0,118 m/s². Sedangkan respon percepatan yang dihasilkan simpangan sudut pengendara pada posisi sudut pengendara 45° sebesar ±0,089 m/s². Pada posisi sudut pengendara 70° amplitudo percepatannya sebesar ±0,128 m/s². Sedangkan pada posisi sudut pengendara 80° adalah ±0,015 m/s².

Nilai RMS percepatan pengendara pada posisi sudut 45° sebesar 0,109 m/s². Pada posisi sudut pengendara 70° dan 80° sebesar 0,118 m/s² dan 0,083 m/s². Pada ketiga posisi sudut yang divariasikan, nilai RMS yang diperoleh lebih kecil dari batas standard kenyamanan dalam berkendara ISO 2631 yakitu <0,315 m/s². Hal ini menunjukkan pengendara merasa nyaman bersepeda dengan kecepatan 5 km/jam pada semua posisi sudut pengendara yang divariasikan.

3.2 Respon percepatan pengendara pada kecepatan 10 km/jam

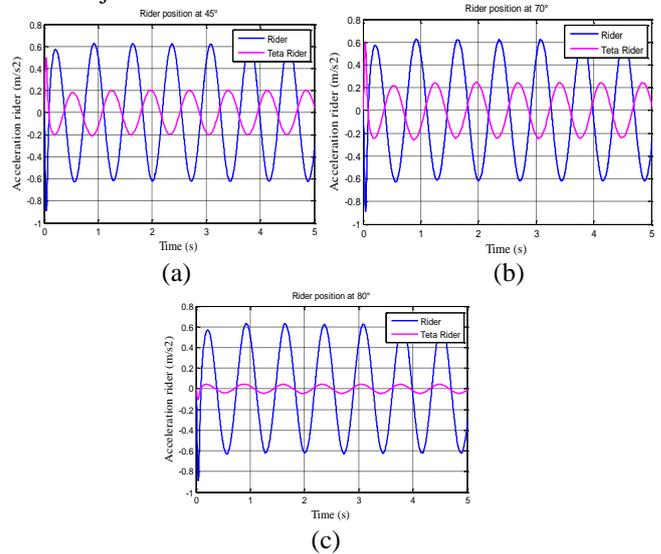


Gambar 4. Respon percepatan pengendara akibat *input* harmonik pada kecepatan 10 km/jam pada posisi sudut pengendara 45°(a), 70°(b) dan 80°(c).

Pada gambar 4 diatas dapat dilihat bahwa respon percepatan yang dihasilkan bodi pengendara pada posisi sudut pengendara 45° dan 70° membentuk gelombang sinusoidal dengan amplitudo ±0,364 m/s² dan ±0,362 m/s². Sedangkan pada sudut pengendara 80° nilai amplitudo percepatan pengendara sebesar ±0,372 m/s² dan ±0,22 m/s². Nilai respon percepatan simpangan sudut pengendara pada posisi sudut pengendara 45° sebesar ±0,055 m/s². Sedangkan pada posisi sudut pengendara 70° dan 80° adalah sebesar ±0,068 m/s² dan ±0,012 m/s².

Nilai RMS percepatan pengendara pada posisi sudut 45° sebesar 0,296 m/s². Pada posisi sudut pengendara 70° dan 80° sebesar 0,304 m/s² dan 0,2714 m/s². Pada ketiga posisi sudut yang divariasikan, nilai RMS yang diperoleh lebih kecil dari batas standard kenyamanan dalam berkendara ISO 2631 yakitu <0,315 m/s². Hal ini menunjukkan pengendara merasa nyaman bersepeda dengan kecepatan 10 km/jam pada semua posisi sudut pengendara yang divariasikan.

3.3 Respon percepatan pengendara pada kecepatan 10 km/jam



Gambar 5. Respon percepatan sepeda akibat *input* harmonik pada kecepatan 20 km/jam pada posisi sudut pengendara 45°(a), 70°(b) dan 80°(c).

Pada gambar 5 diatas dapat dilihat bahwa respon percepatan yang dihasilkan bodi pengendara pada posisi sudut pengendara 45° membentuk gelombang sinusoidal dengan amplitudo ±0,623 m/s². Pada posisi sudut pengendara 70° amplitudo percepatannya sebesar ±0,62 m/s². Sedangkan pada posisi sudut pengendara 80° adalah ±0,625 m/s². Sedangkan respon percepatan yang dihasilkan simpangan sudut pengendara pada posisi sudut pengendara

45° sebesar $\pm 0,2 \text{ m/s}^2$. Pada posisi sudut pengendara 70° amplitudo percepatannya sebesar $\pm 0,244 \text{ m/s}^2$. Sedangkan pada posisi sudut pengendara 80° adalah $\pm 0,043 \text{ m/s}^2$.

Nilai RMS percepatan pengendara pada posisi sudut 45° sebesar $0,3652 \text{ m/s}^2$. Pada posisi sudut pengendara 70° dan 80° sebesar $0,3661 \text{ m/s}^2$ dan $0,3631 \text{ m/s}^2$. Pada ketiga posisi sudut yang divariasikan, nilai RMS yang diperoleh berada diantara $0,315 \text{ m/s}^2 < a < 0,63 \text{ m/s}^2$. Jika ditinjau berdasarkan standard kenyamanan dalam berkendara ISO 2631 kondisi menyebabkan pengendara merasa sedikit tidak nyaman bersepeda pada kecepatan 20 km/jam pada semua posisi sudut pengendara yang divariasikan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa terhadap respon gerak sepeda dan pengendaranya dengan pemodelan time response dan frequency response dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Posisi sudut pengendara yang paling baik pada kecepatan 5km/jam adalah pada sudut 80° dengan nilai RMS percepatan bodi sebesar $0,083 \text{ m/s}^2$. Nilai percepatan ini berada pada *range* tidak ada keluhan atau nyaman ditinjau dari standard ISO 2631 yaitu $< 0,315 \text{ m/s}^2$.
- 2) Posisi sudut pengendara yang paling baik pada kecepatan 10 km/jam adalah 80° dengan RMS percepatan bodi pengendara sebesar $0,2714 \text{ m/s}^2$. Nilai percepatan ini berada pada *range* tidak ada keluhan atau nyaman ditinjau dari standard ISO 2631 yaitu $< 0,315 \text{ m/s}^2$.
- 3) Posisi sudut pengendara yang paling baik pada kecepatan 20 km/jam adalah 80° dengan RMS percepatan bodi pengendara $0,361 \text{ m/s}^2$. Nilai percepatan ini berada pada *range* sedikit tidak nyaman ditinjau dari standard ISO 2631 yaitu $0,315 \text{ m/s}^2 < a < 0,63 \text{ m/s}^2$.

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] ISO: Guide for The Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration. International Standard 2631. **International Organisation for Standardization**. 1997.
- [2] Stone C., Hull M.L. 2004. "Effect of rider weight on rider- induced loads during common cycling situations". **Journal of Biomechanics**. 28 (4), 365-375.
- [3] Hastings A Z, Blair K B, Culligan F K, Pober D M. 2004. "Measuring the effect of transmitted road vibration on cycling performance". In: Hubbard M, Mehta RD, Pallis JM, editors. **The engineering of sport 5**, Vol. 2. Sheffield: International Sports Engineering association. p. 619-625
- [4] Keytel, L.R., Noakes, T.D. 2002. "Effects of a novel bicycle saddle on symptoms and comfort in cyclists". **South African Medical Journal**. 92, 295-298.