

ANALISA KENYAMANAN PADA KENDARAAN MULTIGUNA PEDESAAN DENGAN PEMODELAN 8 DOF

Nanda Pranandita

Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung
Jurusan Teknik Mesin Program Studi Perawatan dan Perbaikan Mesin
Kawasan Industri Airkantung
Sungailiat, Telp.0717-93586
Fax.0717-93585,
nda_akano@yahoo.co.id

Abstract

Vehicle suspension system is an important part to minimize the vibration of the vehicle caused by road unevenness. Ideal conditions would be difficult to obtain, especially in rural areas with uneven road conditions. Analysis of passive suspension system in this study is expected to explain the level of comfort in riding Rural Multipurpose Vehicles. Full car modelling with 1 DOF riders used in this study, simulated using numerical simulation software. Excitation roads used in the form of a sinusoidal wave with an amplitude of 0.05 m and a wavelength of 0.5 m. Analysis carried out on the comfort of the vertical acceleration response received driver's head. Based on the simulation results showed that by using a constant speed between 20-40 km / h, the vehicle will be comfortable driving for more than 2.5 hours.

Keywords: suspension system, ISO 2631, full car, numeric simulation

Abstrak

Sistem suspensi kendaraan merupakan bagian penting untuk meminimalisasi getaran pada kendaraan yang diakibatkan ketidak rataan jalan. Kondisi ideal tentunya akan sulit didapatkan, apalagi di daerah pedesaan dengan kondisi jalan yang tidak rata. Analisa sistem suspensi pasif pada penelitian ini diharapkan dapat menjelaskan tingkat kenyamanan dalam mengendarai Kendaraan Multiguna Pedesaan. Pemodelan full car dengan 1 DOF pengemudi yang digunakan pada penelitian ini, disimulasikan menggunakan software simulasi numerik. Eksitasi jalan yang digunakan berupa gelombang sinusoidal dengan amplitudo 0,05 m dan panjang gelombang 0,5 m. Analisa kenyamanan dilakukan pada respon percepatan vertikal yang diterima kepala pengemudi. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan bahwa pada dengan menggunakan kecepatan konstan antara 20 – 40 km/jam, kendaraan akan nyaman dikendarai selama lebih dari 2,5 jam.

Kata kunci: sistem suspensi, ISO 2631, full car, simulasi numerik

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri otomotif mengalami kemajuan yang sangat pesat. Mobil merupakan salah satu alat transportasi yang banyak digunakan untuk mendukung mobilitas. Salah satu faktor penting yang menjadi pertimbangan konsumen dalam memilih mobil, yaitu faktor kenyamanan mobil yang akan digunakan. Mobil dengan tingkat kenyamanan yang rendah, akan mengakibatkan pengemudi cepat mengalami kelelahan.

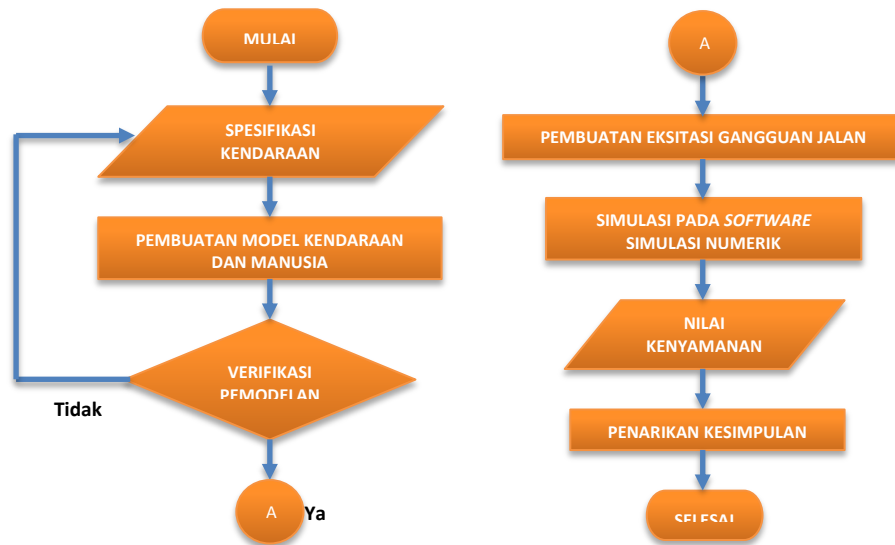
Menurut data KORLANTAS POLRI, mobil menyumbang sekitar 14% dari jumlah kecelakaan yang terjadi beberapa tahun terakhir [3]. Salah satu faktor yang dapat menyebabkan kecelakaan tersebut adalah kelelahan pengemudi. Sebagai upaya untuk mengurangi tingkat kecelakaan mobil yang

dipengaruhi tingkat kelelahan pengemudi, maka diperlukan adanya analisa kenyamanan pada sebuah mobil. Analisa kenyamanan tersebut adalah ketahanan pengemudi untuk mengendarai kendaraan.

Pada penelitian ini, terfokus pada analisa respon percepatan vertikal yang dialami pengendara. Penelitian ini mengacu pada penelitian sebelumnya mengenai redesain sistem suspensi dengan menggunakan pemodelan *half car*. Pada penelitian tersebut, dapat diketahui kenyamanan dari pergerakan *bouncing* dan *pitching*. Berbeda halnya dengan penelitian ini, dengan menggunakan pemodelan *full car* dapat diketahui analisa kenyamanan akibat pengaruh pergerakan *rolling* kendaraan.

2. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah penelitian yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan Gambar 1.



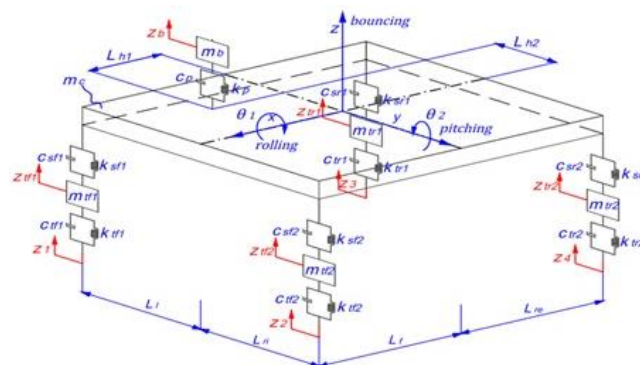
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1. Spesifikasi Kendaraan

Data spesifikasi yang ditunjukkan Tabel 1 merupakan data spesifikasi Toyota Fortuner yang digunakan pada penelitian ini.

2.2. Pembuatan Pemodelan Kendaraan dan Manusia

Pemodelan kendaraan dan manusia pada penelitian ini menggunakan model *full car*, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. Pemodelan Full Car dengan 1 DOF Pengendara

Tabel 1. Spesifikasi Kendaraan Multiguna Pedesaan [2]

Dimensi	
Jarak antara sumbu roda depan dan belakang (L)	2590 mm
Jarak sumbu roda depan ke CoG (L _f)	1560,30mm
Jarak sumbu roda belakang ke CoG (L _{re})	1029,69 mm
Jarak sumbu roda kanan ke CoG (L _{ri})	570 mm
Jarak sumbu roda kiri ke CoG (L _l)	605 mm
Jarak CoG pengendara ke CoG kendaraan 1(L _{h1})	447 mm
Jarak CoG pengendara ke CoG kendaraan 2(L _{h2})	337,5 mm
Jarak CoG ke ground	803,836 mm
Massa Kendaraan	
Massa total (W)	1650 kg
Suspensi	
Kekakuan pegas suspensi depan (k _{sf})	53024,26015N/m
Kekakuan pegas suspensi belakang (k _{sr})	40630,38127N/m
Konstanta redaman suspensi depan (c _{sf})	2675,5 N/m.s
Konstanta redaman suspensi belakang (c _{sr})	2342 N/m.s
Ban	
Tipe ban	265 / 65 R13
Jenis ban	Radial
Lebar ban	265 mm
Massa ban	50 kg
Kekakuan ban (k _t)	221973,4385 N/m
Konstanta redaman ban (c _t)	3430 N/m.s

Berdasarkan pemodelan pada Gambar 2, dapat dituliskan *free body diagram*-nya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum F_z &= m_c \cdot \ddot{z} \text{ (Bouncing) (Sprung mass)} \\ m_c \cdot \ddot{z} &= -k_{sf1}(z - z_{t1} - L_f \cdot \theta_2 - L_{ri} \cdot \theta_1) - k_{sf2}(z - z_{t2} - L_f \cdot \theta_2 + L_l \cdot \theta_1) - k_{sr1}(z - z_{t3} + L_{re} \cdot \theta_2 + L_{ri} \cdot \theta_1) - k_{sr2}(z - z_{t4} + L_{re} \cdot \theta_2 - L_l \cdot \theta_1) - c_{sf1}(\dot{z} - \dot{z}_{t1} - L_f \cdot \dot{\theta}_2 - L_{ri} \cdot \dot{\theta}_1) - c_{sf2}(\dot{z} - \dot{z}_{t2} - L_f \cdot \dot{\theta}_2 + L_l \cdot \dot{\theta}_1) - c_{sr1}(\dot{z} - \dot{z}_{t3} + L_{re} \cdot \dot{\theta}_2 + L_{ri} \cdot \dot{\theta}_1) - c_{sr2}(\dot{z} - \dot{z}_{t4} + L_{re} \cdot \dot{\theta}_2 - L_l \cdot \dot{\theta}_1) + k_p(z_b - z + L_{h1} \cdot \theta_2 + L_{h2} \cdot \theta_1) + c_p(\dot{z}_b - \dot{z} + L_{h1} \cdot \dot{\theta}_2 + L_{h2} \cdot \dot{\theta}_1) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \sum M &= I_{yy} \cdot \ddot{\theta}_2 \text{ (Pitching) (Sprung mass)} \\ I_{yy} \cdot \ddot{\theta}_2 &= k_{sf1}(z - z_{t1} - L_f \cdot \theta_2 - L_{ri} \cdot \theta_1)L_f + k_{sf2}(z - z_{t2} - L_f \cdot \theta_2 + L_l \cdot \theta_1)L_f - k_{sr1}(z - z_{t3} + L_{re} \cdot \theta_2 + L_{ri} \cdot \theta_1)L_{re} - k_{sr2}(z - z_{t4} + L_{re} \cdot \theta_2 - L_l \cdot \theta_1)L_{re} + c_{sf1}(\dot{z} - \dot{z}_{t1} - L_f \cdot \dot{\theta}_2 - L_{ri} \cdot \dot{\theta}_1)L_f + c_{sf2}(\dot{z} - \dot{z}_{t2} - L_f \cdot \dot{\theta}_2 + L_l \cdot \dot{\theta}_1)L_f - c_{sr1}(\dot{z} - \dot{z}_{t3} + L_{re} \cdot \dot{\theta}_2 + L_{ri} \cdot \dot{\theta}_1)L_{re} - c_{sr2}(\dot{z} - \dot{z}_{t4} + L_{re} \cdot \dot{\theta}_2 - L_l \cdot \dot{\theta}_1)L_{re} - k_p(z_b - z + L_{h1} \cdot \theta_2 + L_{h2} \cdot \theta_1)L_{h1} - c_p(\dot{z}_b - \dot{z} + L_{h1} \cdot \dot{\theta}_2 + L_{h2} \cdot \dot{\theta}_1)L_{h1} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \sum M &= I_{xx} \cdot \ddot{\theta}_1 \text{ (Rolling) (Sprung mass)} \\ I_{xx} \cdot \ddot{\theta}_1 &= k_{sf1}(z - z_{t1} - L_f \cdot \theta_2 - L_{ri} \cdot \theta_1)L_{ri} - k_{sf2}(z - z_{t2} - L_f \cdot \theta_2 + L_l \cdot \theta_1)L_l + k_{sr1}(z - z_{t3} + L_{re} \cdot \theta_2 + L_{ri} \cdot \theta_1)L_{ri} - k_{sr2}(z - z_{t4} + L_{re} \cdot \theta_2 - L_l \cdot \theta_1)L_l + c_{sf1}(\dot{z} - \dot{z}_{t1} - L_f \cdot \dot{\theta}_2 - L_{ri} \cdot \dot{\theta}_1)L_{ri} - c_{sf2}(\dot{z} - \dot{z}_{t2} - L_f \cdot \dot{\theta}_2 + L_l \cdot \dot{\theta}_1)L_l + c_{sr1}(\dot{z} - \dot{z}_{t3} + L_{re} \cdot \dot{\theta}_2 + L_{ri} \cdot \dot{\theta}_1)L_{ri} - c_{sr2}(\dot{z} - \dot{z}_{t4} + L_{re} \cdot \dot{\theta}_2 - L_l \cdot \dot{\theta}_1)L_l - k_p(z_b - z + L_{h1} \cdot \theta_2 + L_{h2} \cdot \theta_1)L_{h2} - c_p(\dot{z}_b - \dot{z} + L_{h1} \cdot \dot{\theta}_2 + L_{h2} \cdot \dot{\theta}_1)L_{h2} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \sum F_z &= m_{tf1} \cdot \ddot{z}_{tf1} \text{ (Front right wheel) (Unsprung mass)} \\ m_{tf1} \cdot \ddot{z}_{tf1} &= k_{sf1}(z - L_f \cdot \theta_2 - L_{ri} \cdot \theta_1 - z_{tf1}) + k_{tf1}(-z_{tf1} + z_1) + c_{sf1}(\dot{z} - L_f \cdot \dot{\theta}_2 - L_{ri} \cdot \dot{\theta}_1 - \dot{z}_{tf1}) + c_{tf1}(-\dot{z}_{tf1} + \dot{z}_1) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \sum F_z &= m_{tf2} \cdot \ddot{z}_{tf2} \text{ (Front left wheel) (Unsprung mass)} \\ m_{tf2} \cdot \ddot{z}_{tf2} &= k_{sf2}(z - L_f \cdot \theta_2 + L_l \cdot \theta_1 - z_{tf2}) + k_{tf2}(-z_{tf2} + z_2) + c_{sf2}(\dot{z} - L_f \cdot \dot{\theta}_2 + L_l \cdot \dot{\theta}_1 - \dot{z}_{tf2}) + c_{tf2}(-\dot{z}_{tf2} + \dot{z}_2) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \sum F_z &= m_{tr1} \cdot \ddot{z}_{tr1} \text{ (Rear right wheel) (Unsprung mass)} \\ m_{tr1} \cdot \ddot{z}_{tr1} &= k_{sr1}(z + L_{re} \cdot \theta_2 + L_{ri} \cdot \theta_1 - z_{tr1}) + k_{tr1}(-z_{tr1} + z_3) + c_{sr1}(\dot{z} + L_{re} \cdot \dot{\theta}_2 + L_{ri} \cdot \dot{\theta}_1 - \dot{z}_{tr1}) + c_{tr1}(-\dot{z}_{tr1} + \dot{z}_3) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\sum F_z = m_{tr2} \cdot \ddot{z}_{tr2} \text{ (Rear left wheel) (Unsprung mass)}$$

$$m_{tr2} \cdot \ddot{z}_{tr2} = k_{sr2}(z + L_{re} \cdot \theta_2 - L_l \cdot \theta_1 - z_{tr2}) + k_{tr2}(-z_{tr2} + z_4) + c_{sr2}(\dot{z} + L_{re} \cdot \dot{\theta}_2 - L_l \cdot \dot{\theta}_1 - \dot{z}_{tr2}) + c_{tr2}(-\dot{z}_{tr2} + \dot{z}_4) \quad (7)$$

$$\sum F_z = m_p \cdot \ddot{z}_b \text{ (body)}$$

$$m_b \cdot \ddot{z}_b = -k_p(z_b - z + L_{h1} \cdot \theta_2 + L_{h2} \cdot \theta_1) - c_p(\dot{z}_b - \dot{z} + L_{h1} \cdot \dot{\theta}_2 + L_{h2} \cdot \dot{\theta}_1) \quad (8)$$

Dimana:

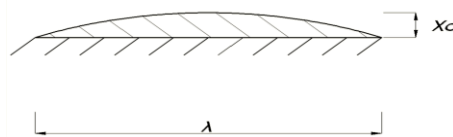
m_c	: massa total kendaraan		depan
m_{tf1}	: massa ban kanan depan	\ddot{z}_{tf1}	: percepatan massa ban kanan depan
m_{tf2}	: massa ban kiri depan		depan
m_{tr1}	: massa ban kanan belakang	z_{tf2}	: perpindahan massa ban kiri depan
m_{tr2}	: massa ban kiri belakang		depan
m_b	: massa pengendara	\dot{z}_{tf2}	: kecepatan massa ban kiri depan
I_{yy}	: inersia y-y axis		depan
I_{xx}	: inersia x-x axis	\ddot{z}_{tf2}	: percepatan massa ban kiri depan
k_{sf1}	: kekakuan pegas suspensi kanan depan	z_{tr1}	: perpindahan massa ban kanan belakang
k_{sf2}	: kekakuan pegas suspensi kiri depan	\dot{z}_{tr1}	: kecepatan massa ban kanan belakang
k_{sr1}	: kekakuan pegas suspensi kanan belakang	\ddot{z}_{tr1}	: percepatan massa ban kanan belakang
k_{sr2}	: kekakuan pegas suspensi kiri belakang	z_{tr2}	: perpindahan massa ban kiri belakang
c_{sf1}	: konstanta redaman suspensi kanan depan	\dot{z}_{tr2}	: kecepatan massa ban kiri belakang
c_{sf2}	: konstanta redaman suspensi kiri depan	\ddot{z}_{tr2}	: percepatan massa ban kiri belakang
c_{sr1}	: konstanta redaman suspensi kanan belakang	z_1	: eksitasi ban kanan depan
c_{sr2}	: konstanta redaman suspensi kiri belakang	z_3	: eksitasi ban kanan belakang
k_{tf1}	: kekakuan ban kanan depan	z_2	: eksitasi ban kiri depan
k_{tf2}	: kekakuan ban kiri depan	z_4	: eksitasi ban kiri belakang
k_{tr1}	: kekakuan ban kanan belakang	z_b	: perpindahan massa badan pengendara
k_{tr2}	: kekakuan ban kiri belakang	\dot{z}_b	: kecepatan massa badan pengendara
c_{tf1}	: konstanta redaman ban kanan depan	\ddot{z}_b	: percepatan massa badan pengendara
c_{tf2}	: konstanta redaman ban kiri depan	θ_1	: perpindahan angular massa kendaraan x axis
c_{tr1}	: konstanta redaman ban kanan belakang	$\dot{\theta}_1$: kecepatan angular massa kendaraan x axis
c_{tr2}	: konstanta redaman ban kiri belakang	$\ddot{\theta}_1$: percepatan angular massa kendaraan x axis
k_p	: kekakuan pelvic pengendara	θ_2	: perpindahan angular massa kendaraan y axis
c_p	: konstanta redaman pelvic pengendara		
z	: perpindahan massa kendaraan	$\dot{\theta}_2$: perpindahan angular massa kendaraan y axis
\dot{z}	: kecepatan massa kendaraan	$\ddot{\theta}_2$: percepatan angular massa kendaraan y axis
\ddot{z}	: percepatan massa kendaraan		
z_{tf1}	: perpindahan massa ban kanan depan		
\dot{z}_{tf1}	: kecepatan massa ban kanan		

2.3. Verifikasi Pemodelan

Pada proses verifikasi pemodelan, hal yang dilakukan yaitu melakukan perbandingan dengan penelitian serupa yang menggunakan pemodelan *half car* dengan 1 *DOF* pengendara. Jika hasil yang didapatkan sama, maka dapat disimpulkan bahwa pemodelan yang dilakukan benar.

2.4. Pembuatan Eksitasi Gangguan Jalan

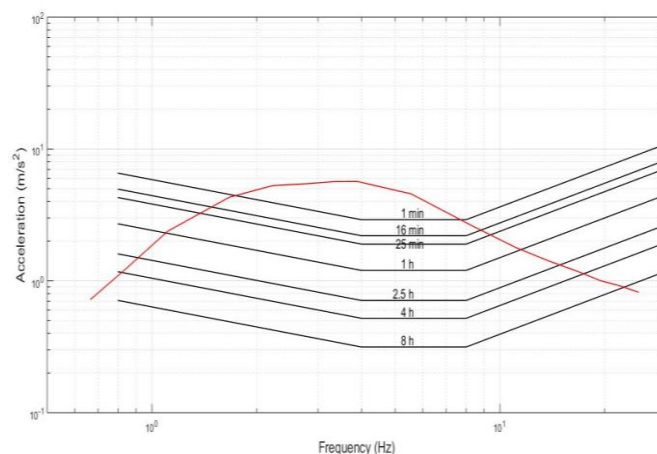
Eksitasi gangguan jalan pada penelitian ini yaitu berupa gelombang sinusoidal, dengan Amplitudo eksitasi (x_0) pada jalan sebesar 0,05 m dengan panjang gelombang (λ) sebesar 0,5 m. Gambar 3 menunjukkan ilustrasi bentuk permukaan jalan.



Gambar 3. Profil Eksitasi Jalan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan menggunakan rumusan *Root Mean Square* dan grafik ISO 2631, maka didapatkan grafik seperti yang ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 4. Percepatan Vertikal Pengendara

Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa secara umum kendaraan memiliki tingkat kenyamanan dibawah 1 menit. Akan tetapi, jika dilihat secara terperinci, penggunaan kecepatan kendaraan akan banyak digunakan pada kecepatan 20 – 40 km/jam (11,11 – 22,22 Hz). Pada kecepatan tersebut, menunjukkan kenyamanan berkendara selama diatas 2,5 jam.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi didapatkan bahwa pada dengan menggunakan kecepatan konstan antara 20 – 40 km/jam, kendaraan akan nyaman dikendarai selama lebih dari 2,5 jam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1.] I N Sutantra, B Sampoerno, Teknologi Otomotif, Edisi Kedua, Surabaya : Guna Widya, 2010.
- [2.] Bayu E Suprayogi, "Perancangan Ulang dan Analisa Sistem Suspensi Mobil Multiguna Pedesaan dengan Standar Kenyamanan ISO 2631", Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya. 2015.
- [3.] Puja P, I N Sutantra, "Analisa Kenyamanan Serta Redesain Pegas Suspensi Mobil Toyota Fortuner 4.0 V6 SR", *Jurnal Teknik Mesin ITS*, vol. 4, no. 1, pp. 1 – 6, 2015.
- [4.] Reza N Jazar, *Vehicle Dynamics Theory and Application*, Second Edition, New York : Springer, 2014.