

Analisis Kenyamanan serta Redesain Pegas Suspensi Mobil Toyota Fortuner 4.0 V6 SR (AT 4x4)

Puja Priyambada dan I Nyoman Sutantra

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

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

Abstrak—Perkembangan dunia otomotif mengalami kemajuan yang sangat pesat. Seiring dengan perkembangan tersebut kualitas kenyamanan kendaraan merupakan faktor yang harus diperhatikan. Dalam upaya meningkatkan kualitas kenyamanan kendaraan dilakukan pengembangan dalam sistem suspensi. Hal ini yang mendasari penulis untuk melakukan penelitian terkait suspensi mobil Toyota Fortuner 4.0 V6 SR. Pada penelitian ini, terdapat dua tahap, yakni tahap pengujian dan tahap analisis. Tahap pengujian untuk mendapatkan persentase *road holding* yang digunakan dalam menentukan kriteria keamanan kendaraan. Pada tahap analisis dilakukan simulasi untuk mengetahui percepatan rms yang dialami penumpang dengan pemodelan *Half Car* memanjang. Selanjutnya dilakukan perancangan ulang pegas suspensi yang lebih baik dari segi keamanan dan kenyamanan. Dari penelitian ini diketahui bahwa desain dari mobil Toyota Fortuner mengutamakan kenyamanan untuk penggunaan di jalan perkotaan. Berdasarkan standar ISO 2631 menunjukkan bahwa respon suspensi redesain untuk jalan perkotaan menghasilkan kenyamanan yang lebih baik daripada suspensi aktual. Berdasarkan kriteria keamanan *BEISSBARTH* dari hasil pengujian menunjukkan bahwa suspensi mobil Toyota Fortuner termasuk dalam kategori kurang baik sedangkan hasil simulasi untuk suspensi aktual dan redesain termasuk dalam kategori cukup baik. Dari hasil penelitian didapatkan kekakuan pegas untuk suspensi depan ($k_{sf} = 44631,61 \text{ N/m}$ dan ($k_{sr} = 53500 \text{ N/m}$ untuk suspensi belakang.

Kata Kunci – Suspensi, Kenyamanan, Keamanan, *Half Car*, ISO 2631

I. PENDAHULUAN

PERKEMBANGAN dunia industri dan teknologi terus mengalami kemajuan yang sangat pesat, salah satunya dibidang otomotif. Mobil merupakan salah satu produk otomotif yang terus dikembangkan oleh produsen karena merupakan alat transportasi yang banyak digunakan oleh masyarakat khususnya kalangan menengah keatas. Adapun faktor penting yang mempengaruhi konsumen dalam memilih mobil yaitu kenyamanan dan keamanan pengemudi. Kenyamanan kendaraan berpengaruh terhadap daya tahan tubuh pengemudi dan penumpang. Pengemudi mobil yang kualitas kenyamanannya rendah akan lebih cepat lelah, kelelahan pengemudi tersebut sering kali berujung dengan kecelakaan lalu lintas. Berdasarkan data yang dimiliki oleh KORLANTAS POLRI, mobil menyumbang sekitar 14% dari jumlah keseluruhan kecelakaan yang terjadi beberapa tahun terakhir.

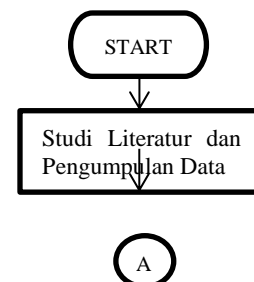
Dalam upaya peningkatan kualitas kenyamanan kendaraan maka pengembangan sistem suspensi yang sangat berperan. Kondisi ideal yang ingin diperoleh dari kenyamanan berkendara adalah kemampuan pengemudi untuk menahan getaran akibat eksitasi jalan tanpa mengalami kelelahan. Namun, kondisi ini tidak mungkin diperoleh, sehingga perlu dilakukan pendekatan untuk meminimalkan gangguan akibat kondisi permukaan jalan dengan memasang suspensi yang sesuai. Hal tersebut yang mendasari penulis untuk melakukan penelitian terkait suspensi kendaraan.

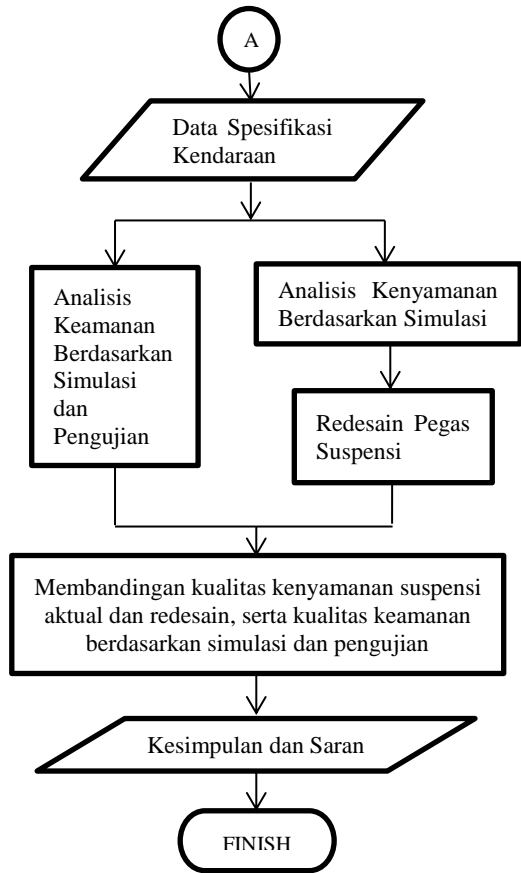
Dalam penelitian kali ini fokus penelitian ada pada sistem suspensi dari mobil Toyota Fortuner. Pada penelitiannya penulis beracu pada penelitian yang sudah pernah dilakukan oleh saudara Prayogi yang melakukan pengujian terhadap suspensi truk dan penelitian yang dilakukan oleh saudara Nava terhadap suspensi bus. Berdasarkan hasil yang mereka dapatkan dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan kendaraan maka percepatan rms yang dialami pengemudi akan semakin tinggi [1]-[2].

Pada penelitian ini analisis sistem suspensi yang dilakukan didasarkan pada pemodelan *half car* untuk mengetahui kualitas keamanan dan kenyamanan bagi pengemudi mobil. Sehingga, penelitian ini dapat digunakan sebagai pertimbangan sistem suspensi yang sesuai untuk mobil Fortuner serta pengembangan selanjutnya.

II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini terdapat dua tahapan yaitu tahap pengujian serta tahap simulasi untuk mengetahui kualitas kenyamanan serta keamanan dari kendaraan yang diuji. Adapun metode penelitian yang dapat diilustrasikan dalam sebuah *flowchart* seperti pada gambar 1, sebagai berikut





Gambar 1. Flowchart Metode Penelitian

A. Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Penelitian ini diawali dengan melakukan studi literatur serta pengumpulan data. Pada tahap ini dilakukan pengumpulan literatur berupa buku serta jurnal yang dapat mendukung penelitian tugas akhir ini. Selain itu juga dilakukan pengumpulan data spesifikasi mobil dari beberapa katalog serta *datasheet* terkait kendaraan yang dianalisa.

B. Analisis Keamanan

Keamanan pada sistem suspensi adalah mengenai kestabilan dari kendaraan, serta kemampuan ban kendaraan untuk tetap menapak permukaan jalan (*road holding*). Untuk mengetahui kemampuan ban menapak jalan, dapat dilihat dari persentase ban menapak jalan ketika melewati permukaan jalan yang tidak rata. Adapun parameter yang digunakan untuk menyatakan ban terangkat atau menapak jalan dilihat berdasarkan gaya normal yang bekerja pada ban. Gaya normal pada ban terdiri dari gaya normal statis saat ban mengalami defleksi awal pada saat kendaraan diam, serta gaya normal dinamis saat kendaraan berjalan sesuai dengan perumusan 1 sebagai berikut[3] :

$$F_t = F_{to} + k_t(y - x_{us}) + c_t(\dot{y} - \dot{x}_{us}) \tag{1}$$

- Dimana : F_{to} : gaya statis pada ban
 F_t : gaya normal pada ban
 k_t : kontanta kekakuan ban
 c_t : kontanta redaman ban
 y, \dot{y} : respon eksitasi jalan

x_{us}, \dot{x}_{us} : respon massa *unsprung*

Kriteria apakah ban terangkat atau menapak yaitu ban terangkat apabila gaya normal yang bekerja pada ban kurang dari nol. Adapun kriteria keamanan kendaraan dari persentase ban menapak jalan menurut *BEISSBARTH Automotive Group* ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1.
Kriteria Keamanan menurut *BEISSBARTH*

No.	Persentase	Keterangan
1	60-90 %	Baik
2	40-59 %	Cukup baik
3	20-39 %	Kurang baik
4	0-19 %	Buruk

C. Analisis Kenyamanan

Kenyamanan pada dasarnya bersifat subyektif, namun untuk interaksi kenyamanan manusia terhadap kualitas dari kendaraan dapat digunakan teaksi manusia terhadap percepatan dan perlambatan dari kendaraan. Hal ini dikarenakan organ tubuh manusia mempunyai sensitifitas terhadap suatu percepatan dan perlambatan yang ditimbulkan oleh suatu kendaraan. Adapun kriteria kenyamanan manusia terhadap getaran arah vertikal pada kendaraan yang diatur dalam standar ISO 2631[4].

D. Redesain Sistem Suspensi

Redesain sistem suspensi dilakukan dengan asumsi peredam yang digunakan untuk suspensi aktual dan redesain sama. Sehingga redesain sistem suspensi terfokus pada pegas suspensi. Dimana pada saat simulasi untuk melakukan redesain pegas tersebut mengacu pada variasi rasio redaman yang menghasilkan respon getaran yang paling baik bagi tubuh manusia. Penentuan konstanta pegas redesain sesuai dengan perumusan (2) dan (3) sebagai berikut [5]:

$$\zeta = \frac{c}{c_c} \tag{2}$$

$$c_c = 2\sqrt{km} \tag{3}$$

- Dimana : ζ : rasio redaman
 C : konstanta redaman suspensi
 C_c : konstanta redaman kritis suspensi
 k : konstanta kekakuan pegas
 m : massa

III. ANALISIS DATA DAN SIMULASI

Adapun beberapa parameter dari spesifikasi kendaraan yang digunakan dalam simulasi, yaitu terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2.
Spesifikasi Mobil Toyota Fortuner 4.0 V6 SR

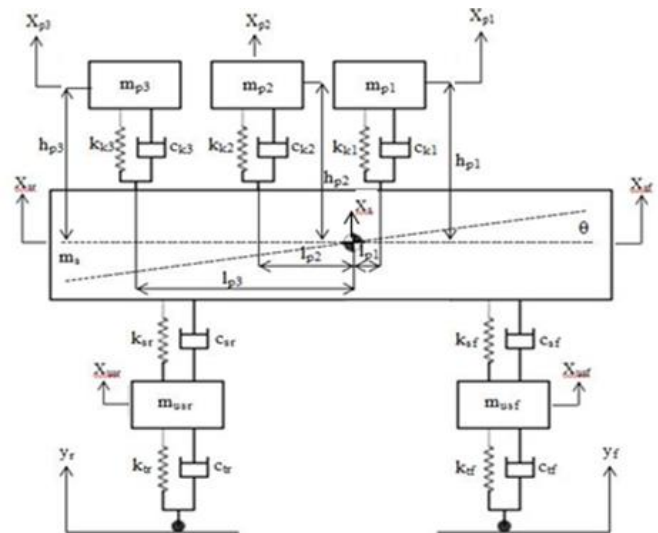
Dimensi	
Panjang keseluruhan	4705 mm
Jarak sumbu roda (L)	2750 mm
Jarak pijak roda depan (t_f)	1540 mm
Jarak pijak roda belakang (t_r)	1540 mm
Massa Kendaraan	
Massa total (W)	1865,5 kg
Massa kendaraan pada bagaian depan (W_f)	1031 kg
Massa kendaraan pada bagian belakang (W_r)	834,5 kg
Inersia Kendaraan (I_s)	2000 kgm ²
Suspensi	
Koefisien pegas suspensi depan (K_f)	73750 N/m
Koefisien pegas suspensi belakang (K_r)	53500 N/m
Koefisien redaman depan (C_{sf})	8315 Ns/m
Koefisien redaman belakang (C_{sr})	3647,6 Ns/m
Diameter coil suspensi depan	11,40 cm
Diameter kawat suspensi depan	1,638 cm
Lilitan aktif suspensi depan	6
Diameter coil suspensi belakang	12,305 cm
Diameter kawat suspensi belakang	1,55 cm
Lilitan aktif suspensi belakang	5
Ban	
Tipe ban	265 / 65 R17
Jenis ban	Radial
Diameter rims	17 in
Lebar ban	265 mm
Massa ban	31 kg

Selain parameter pada spesifikasi yang dimiliki oleh mobil Toyota Fortuner terdapat beberapa batasan dalam analisa dan simulasi sebagai berikut :

1. Model kendaraan yang digunakan adalah model *half car* memanjang.
2. Konstanta kekakuan dan redaman ban sesuai percobaan *Philips*.
3. Konstanta kekakuan dan redaman kursi berdasarkan hasil percobaan *Yasmin Garcia-Mendez, Bs.*, dan rekan-rekannya.
4. Profil permukaan jalan dimodelkan dengan *input* sinusoidal.

A. Pemodelan Kendaraan

Mobil Toyota Fortuner di modelkan setengah kendaraan (*half car*) dengan 3 massa penumpang seperti pada gambar 2. Model setengah kendaraan dipilih karena dalam kondisi aktual, momen *pitching* berpengaruh pada suspensi yang mempengaruhi aspek kenyamanan penumpang dan keamanan kendaraan[6].



Gambar. 2. Model Setengah Kendaraan

- m_{usf}, m_{usr} : massa *unsprung* depan dan belakang
- m_s : massa *sprung*
- m_{p1}, m_{p2}, m_{p3} : massa penumpang
- l_f : jarak ban depan terhadap *center of gravity*
- l_r : jarak ban belakang terhadap *center of gravity*
- l_{p1}, l_{p2}, l_{p3} : jarak penumpang terhadap *center of gravity*
- k_{tf}, k_{tr} : konstanta kekakuan ban depan dan belakang
- k_{sf}, k_{sr} : konstanta kekakuan suspensi depan dan belakang
- k_{k1}, k_{k2}, k_{k3} : konstanta kekakuan kursi
- c_{tf}, c_{tr} : konstanta redaman ban depan dan belakang
- c_{sf}, c_{sr} : konstanta redaman suspensi depan dan belakang
- c_{k1}, c_{k2}, c_{k3} : konstanta redaman kursi
- y_f, y_r : eksitasi jalan pada roda
- x_{usf}, x_{usr} : respon perpindahan massa *unsprung* depan dan belakang
- x_s : respon perpindahan massa *sprung*
- x_{p1}, x_{p2}, x_{p3} : respon perpindahan massa penumpang
- θ : sudut *pitching* massa *sprung*

B. Konstanta Kekakuan dan Redaman Ban

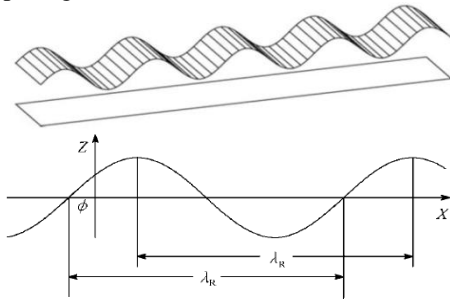
Pada penelitian ini, untuk mencari kekakuan dan redaman ban digunakan referensi dari perumusan dan hasil pengujian oleh *Philips*, sehingga parameter yang digunakan untuk pemodelan mobil Toyota Fortuner dengan tekanan ban 30 psi didapatkan konstanta kekakuan ban sebesar 221973.43 N/m serta konstanta redaman ban sebesar 3430 Ns/m [6].

C. Konstanta Kekakuan dan Redaman Bantalan Kursi

Nilai kekakuan dan redaman bantalan kursi sangat tergantung dari tipe bantalan tersebut. Pada penelitian ini, digunakan hasil percobaan *Yasmin Garcia-Mendez, BS* yang melakukan percobaan untuk berbagai tipe macam bantalan kursi. Pada penelitian ini digunakan jenis kursi ROHO LOW PROFILE sehingga didapatkan konstanta kekakuan bantalan kursi sebesar 65900 N/m serta konstanta redaman bantalan kursi sebesar 855 Ns/m [3].

D. Profil Eksitasi Jalan

Getaran pada suspensi dipengaruhi oleh profil permukaan jalan. Profil ini dalam kondisi nyata adalah dalam fungsi acak, namun pada penelitian ini digunakan pendekatan dengan profil sinusoidal dengan amplitudo 5 cm dan panjang gelombang 50 cm untuk permukaan jalan pedesaan serta amplitudo 2 cm dan panjang gelombang 6 m untuk permukaan jalan perkotaan. Profil sinusoidal berupa gelombang harmonis ditunjukkan pada gambar 3[7].



Gambar. 3. Profil Jalan Sinusoidal

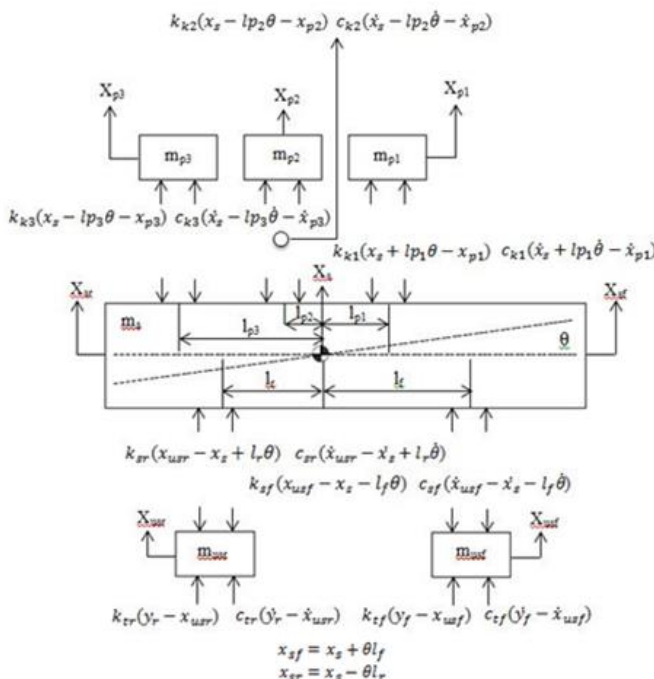
Profil sinusoidal tersebut dapat ditulis dalam bentuk fungsi matematis sebagai berikut :

$$Z_{(t)} = Z_0 \sin\left(2\pi \frac{v}{\lambda} t + \phi\right) \tag{4}$$

- Z_0 : amplitudo
- v : kecepatan kendaraan
- λ : panjang gelombang
- ϕ : beda fasa

E. Penurunan Persamaan Gerak

Berdasarkan model dinamis pada gambar 2 maka *free body diagram* (FBD) dari model dinamis mobil Toyota Fortuner ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Free Body Diagram Model Dinamis Toyota Fortuner

Dari *free body diagram* diatas dapat ditulis persamaan gerak untuk keenam massa :

Persamaan gerak massa penumpang 1 kendaraan :

$$\sum F = m_{p1}\ddot{x}_{p1}$$

$$k_{k1}(x_s - lp_1\theta - x_{p1}) + c_{k1}(\dot{x}_s - lp_1\dot{\theta} - \dot{x}_{p1}) = m_{p1}\ddot{x}_{p1} \tag{5}$$

Persamaan gerak massa penumpang 2 kendaraan :

$$\sum F = m_{p2}\ddot{x}_{p2}$$

$$k_{k2}(x_s - lp_2\theta - x_{p2}) + c_{k2}(\dot{x}_s - lp_2\dot{\theta} - \dot{x}_{p2}) = m_{p2}\ddot{x}_{p2} \tag{6}$$

Persamaan gerak massa penumpang 3 kendaraan :

$$\sum F = m_{p3}\ddot{x}_{p3}$$

$$k_{k3}(x_s - lp_3\theta - x_{p3}) + c_{k3}(\dot{x}_s - lp_3\dot{\theta} - \dot{x}_{p3}) = m_{p3}\ddot{x}_{p3} \tag{7}$$

Persamaan gerak massa *sprung* kendaraan :

$$\sum F = m_s\ddot{x}_s$$

$$k_{sf}(x_{usf} - x_s - l_f\theta) + c_{sf}(\dot{x}_{usf} - \dot{x}_s - l_f\dot{\theta}) + k_{sr}(x_{usr} - x_s + l_r\theta) + c_{sr}(\dot{x}_{usr} - \dot{x}_s - l_r\dot{\theta}) - k_{k1}(x_s + lp_1\theta - x_{p1}) - c_{k1}(\dot{x}_s + lp_1\dot{\theta} - \dot{x}_{p1}) - k_{k2}(x_s - lp_2\theta - x_{p2}) - c_{k2}(\dot{x}_s - lp_2\dot{\theta} - \dot{x}_{p2}) - k_{k3}(x_s - lp_3\theta - x_{p3}) - c_{k3}(\dot{x}_s - lp_3\dot{\theta} - \dot{x}_{p3}) = m_s\ddot{x}_s \tag{8}$$

$\sum M = I_s\ddot{\theta}$

$$k_{sf}l_f(x_{usf} - x_s - l_f\theta) + c_{sf}l_f(\dot{x}_{usf} - \dot{x}_s - l_f\dot{\theta}) - k_{sr}l_r(x_{usr} - x_s + l_r\theta) - c_{sr}l_r(\dot{x}_{usr} - \dot{x}_s - l_r\dot{\theta}) - k_{k1}lp_1(x_s + lp_1\theta - x_{p1}) - c_{k1}lp_1(\dot{x}_s + lp_1\dot{\theta} - \dot{x}_{p1}) + k_{k2}lp_2(x_s - lp_2\theta - x_{p2}) + c_{k2}lp_2(\dot{x}_s - lp_2\dot{\theta} - \dot{x}_{p2}) + k_{k3}lp_3(x_s - lp_3\theta - x_{p3}) + c_{k3}lp_3(\dot{x}_s - lp_3\dot{\theta} - \dot{x}_{p3}) = I_s\ddot{\theta} \tag{9}$$

Persamaan gerak massa *unsprung* depan :

$$\sum F = m_{usf}\ddot{x}_{usf}$$

$$k_{tf}(y_f - x_{usf}) + c_{tf}(\dot{y}_f - \dot{x}_{usf}) - k_{sf}(x_{usf} - x_s - l_f\theta) - c_{sf}(\dot{x}_{usf} - \dot{x}_s - l_f\dot{\theta}) = m_{usf}\ddot{x}_{usf} \tag{10}$$

Persamaan gerak massa *unsprung* belakang :

$$\sum F = m_{usr}\ddot{x}_{usr}$$

$$k_{tr}(y_r - x_{usr}) + c_{tr}(\dot{y}_r - \dot{x}_{usr}) - k_{sr}(x_{usr} - x_s + l_r\theta) - c_{sr}(\dot{x}_{usr} - \dot{x}_s - l_r\dot{\theta}) = m_{usr}\ddot{x}_{usr} \tag{11}$$

Kemudian dari persamaan gerak tersebut digunakan metode *state space* untuk mendapatkan respon getaran untuk tiap massa dengan perumusan sebagai berikut :

$$\dot{X} = A(t)X(t) + B(t)U(t) \tag{12}$$

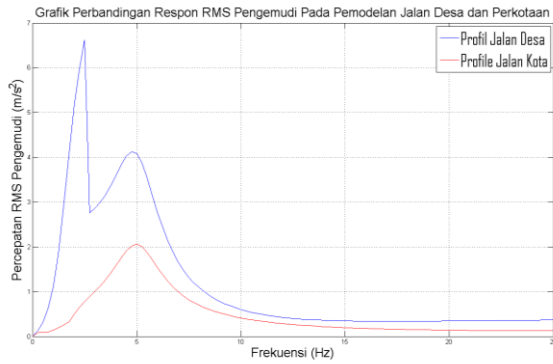
$$Y(t) = C(t)X(t) + D(t)U(t) \tag{13}$$

Dimana $\dot{X}(t)$ adalah vektor *state*, $Y(t)$ adalah vektor *input*, $U(t)$ adalah vektor *output*, $A(t)$ adalah matriks *state*, $B(t)$ adalah matriks *input*, $C(t)$ adalah matriks *output*, dan $D(t)$ adalah matriks *transmisi langsung*.

F. Analisis Respon Kenyamanan dan Redesain Suspensi

Pada analisa respon sistem suspensi, dilakukan simulasi dengan variasi permukaan jalan untuk mengetahui tujuan pembuatan desain mobil Toyota Fortuner dari segi

kenyamanan penumpang yang kemudian menjadi acuan dalam merancang suspensi redesain.

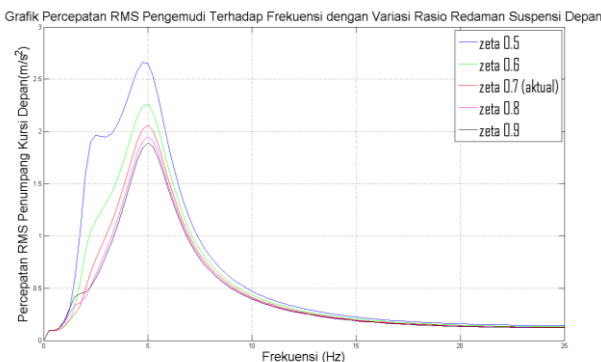


Gambar. 5. Grafik Perbandingan Percepatan RMS Pengemudi Pada Profil Jalan Pedesaan dan Perkotaan

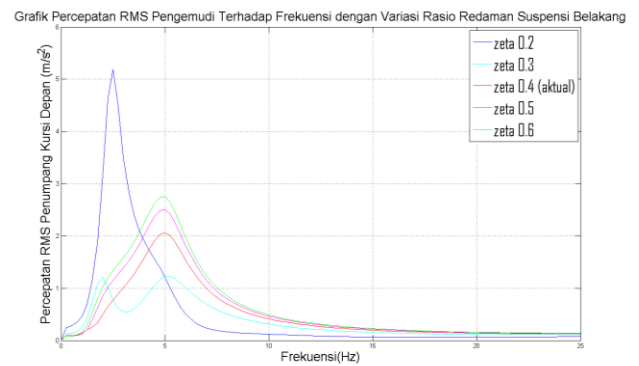
Dari gambar 5, didapatkan bahwa tingkat kenyamanan untuk profil jalan perkotaan lebih baik dibandingkan daripada pedesaan, hal ini dapat dilihat dari nilai percepatan maksimum yang dialami oleh penumpang yaitu sebesar $2,06 \text{ m/s}^2$ untuk jalan kota, sedangkan $6,61 \text{ m/s}^2$ untuk jalan desa. Maka dapat diambil kesimpulan bahwa desain mobil Toyota Fortuner disesuaikan untuk profil jalan perkotaan. Sehingga suspensi redesain mengacu pada tingkat kenyamanan dengan profil jalan perkotaan.

Analisa selanjutnya adalah menentukan rasio redaman terbaik untuk menentukan konstanta pegas suspensi redesain. Pada gambar 6 dan 7 menunjukkan bahwa pada kondisi operasional mobil rata-rata yaitu pada kecepatan 50 km/jam atau $2,31 \text{ hz}$ didapatkan rasio redaman $0,9$ untuk suspensi depan, sedangkan untuk suspensi belakang didapatkan rasio redaman $0,4$ yang berarti suspensi belakang aktual sudah merupakan suspensi terbaik untuk kondisi jalan di perkotaan.

Dengan mengasumsikan konstanta redaman yang digunakan adalah tetap maka berdasarkan persamaan (2) dan (3) diperoleh konstanta kekakuan pegas yang baru yaitu sebesar $44631,61 \text{ N/m}$ untuk suspensi depan dan sebesar 53500 N/m untuk suspensi belakang



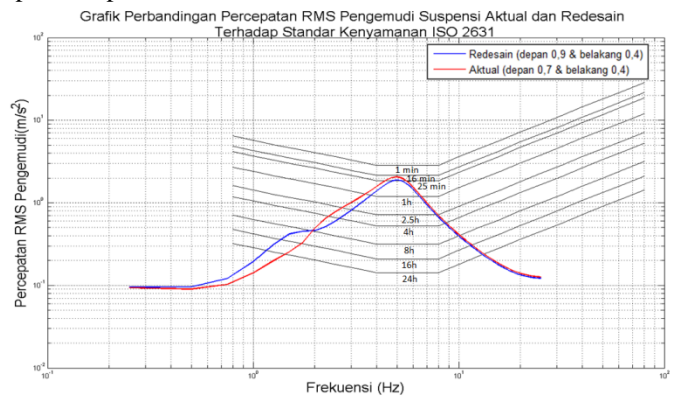
Gambar. 6. Grafik Percepatan RMS Pengemudi Terhadap Frekuensi dengan Variasi Rasio Redaman Suspensi Depan



Gambar. 7. Grafik Percepatan RMS Pengemudi Terhadap Frekuensi dengan Variasi Rasio Redaman Suspensi Belakang

G. Perbandingan Suspensi Aktual dan Redesain

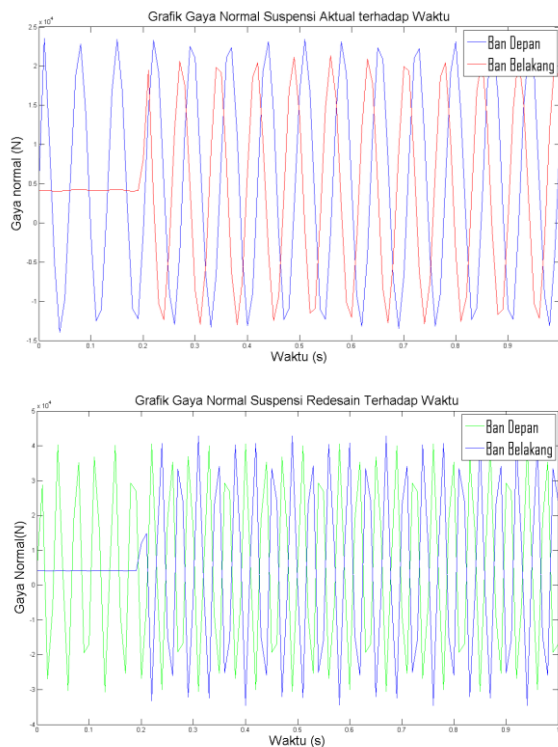
Setelah melakukan redesain pada pegas suspensi maka respon hasil simulasi untuk pegas aktual dan pegas redesain di plot pada grafik ISO 2631 untuk mengetahui apakah suspensi redesain sudah lebih baik daripada suspensi aktual. Berdasarkan gambar 8 untuk kondisi operasional mobil Toyota Fortuner yaitu pada frekuensi $2,31 \text{ hz}$ percepatan rms penumpang yang dihasilkan untuk suspensi redesain lebih kecil daripada suspensi aktual. Hal ini menunjukkan bahwa untuk kondisi jalan perkotaan, suspensi redesain lebih baik daripada suspensi aktual.



Gambar. 8. Grafik Perbandingan Percepatan RMS Pengemudi Suspensi Aktual dan Redesain Terhadap Standar Kenyamanan ISO 2631

H. Analisis Keamanan Suspensi Aktual dan Redesain

Salah satu cara untuk mengetahui persentase ban menapak jalan atau *road holding* yaitu dengan menghitung besarnya gaya normal pada ban depan dan belakang kendaraan.



Gambar. 9. Grafik Gaya Normal Ban Depan dan Belakang Terhadap Waktu Pada Suspensi Aktual dan Redesain

Gambar 9 menunjukkan besarnya gaya normal yang bekerja pada ban depan dan belakang terhadap waktu akibat eksitasi jalan. Waktu input selama 1s dengan kenaikan 0,01s. Berdasarkan persamaan (1) diperoleh persentase ban menapak jalan untuk suspensi aktual yaitu 58,42% untuk ban depan dan 67,33% untuk ban belakang. Pada simulasi untuk suspensi redesain menunjukkan nilai persentase *road holding* yang sama dengan suspensi aktual. Adapun perbandingan persentase *road holding* antara hasil pengujian dan hasil simulasi yang ditampilkan pada tabel 3.

Tabel 3.

Perbandingan Persentase <i>Road Holding</i> Hasil Pengujian dan Simulasi				
Suspensi	Pengujian		Gaya Normal	
	Depan	Belakang	Depan	Belakang
Aktual	36,67%	38,33%	58,42%	67,33%
Redesain	-	-	58,42%	67,33%

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis terhadap hasil pengujian dan simulasi terhadap respon gerak mobil Toyota Fortuner 4.0 V6 SR (AT 4x4) dengan model *half car* memanjang dapat disimpulkan bahwa :

1. Desain mobil Toyota Fortuner lebih mengutamakan kenyamanan saat digunakan pada jalan di perkotaan daripada jalan di pedesaan.
2. Berdasarkan ISO 2631, dengan input profil jalan perkotaan yang dimodelkan dengan profil sinusoidal yang memiliki amplitudo 2 cm dan panjang gelombang 6 m suspensi redesain menghasilkan kenyamanan yang lebih baik daripada suspensi aktual.

3. Berdasarkan hasil pengujian dan simulasi terhadap keamanan kendaraan menunjukkan bahwa persentase ban belakang menapak jalan lebih besar daripada ban depan, namun jika dibandingkan hasil pengujian dan simulasi terhadap standar keamanan yang dimiliki oleh *BEISSBARTH Automotive Group* menunjukkan bahwa hasil pengujian suspensi mobil Toyota Fortuner termasuk dalam kategori kurang baik sedangkan hasil simulasi menunjukkan bahwa suspensi mobil Toyota Fortuner termasuk dalam kategori cukup baik
4. Redesain pegas suspensi mobil Toyota Fortuner menghasilkan nilai kekakuan pegas depan (ksf) = 44631,61 N/m dan nilai kekakuan pegas belakang (ksr) = 53500 N/m.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Adista, Prayogi*, Pemodelan dan Analisis Respon Dinamis dari Kendaraan Truk Akibat Tugas Akhir, Teknik Mesin ITS, Surabaya, 2016.
- [2] *Amalia, Nava*, Analisa Kenyamanan Kendaraan Angkut Massal dengan Pemodelan Pengemudi sebagai Sistem Multi-DOF, Tugas Akhir, Teknik Mesin ITS, Surabaya, 2014.
- [3] *Suprayogi, Bayu Estu*, Perancangan Ulang dan Analisa Sistem Suspensi Mobil Multiguna Pedesaan dengan Standar Kenyamanan ISO 2631, Tugas Akhir, Teknik Mesin ITS, Surabaya, 2015.
- [4] *G.Rill, George*, Vehicle Dynamics, University of Applied Sciences, October, 2006.
- [5] *S.Rao, Singiresu*, Mechanical Vibration, Prentice Hall PTR, Singapore, 2004.
- [6] *Sutantra, I.N. dan Sampurno, Bambang*, Teknologi Otomotif Edisi Kedua, Teknik Mesin ITS, Surabaya, 2010.
- [7] *Dixon, John C.*, Suspension Geometry and Computation, John Wiley and Sons, Ltd, Publication, United Kingdom, 2009