

# PENGARUH MODIFIKASI SUSPENSI TERHADAP KENYAMANAN KENDARAAN DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE MATLAB 6.0

**Marsudi**

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UPN "Veteran" Jakarta  
Jl. RS. Fatmawati Pondok Labu Jakarta Selatan  
Telp. 021 7656971 Ext. 195

---

## **Abstract**

*One of the important factor for convenience felt by the car passengers is the vibration response which is very much influenced by the difference height and the length of wave of the profile road surface. Such difference will produce energy which will be proceeded to a bundle of suspension to reduce the vibration response. The amount of energy absorbed by the suspension system depends on the constancy of the brake strength suspension and the brake suspension absorbance. This research is using 6 DOF Suzuki Aerio sedan as the sample of data analysis. There are some modification such as reducing the number of standard twist brake. The result shows that the vehicle with the standard suspension is more convenient than the modified ones.*

**Key Words:** vibration, modification, suspension, vehicle

---

## **PENDAHULUAN**

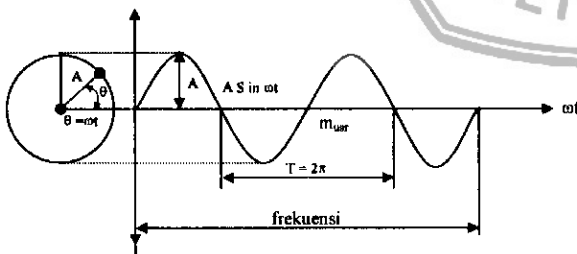
Getaran yang terjadi pada suatu kendaraan akan mempengaruhi kenyamanan dan keselamatan penumpang didalam kendaraan. Dengan memperbaiki sistem suspeni yang terpasang pada kendaraan diharapkan dapat menambah kenyamanan penumpang. Salah satu faktor kenyamanan ini adalah respon getaran yang diterima oleh penumpang. Faktor yang sangat mempengaruhi respon getaran ini adalah perbedaan ketinggian profil permukaan jalan. Dari perbedaan ini akan menimbulkan energi yang selanjutnya diteruskan kerangkaian suspensi guna mengurangi respon getaran pada penumpang. Rangkaian ini akan menyerap energi dan mereduksinya sehingga getaran yang ditimbulkan lebih kecil. Besar-kecil energi yang diserap oleh sistem suspensi ini tergantung dari konstanta pegas dan konstanta redaman.

Perkembangan teknologi automotif yang juga diiringi dengan perkembangan mode berdampak pada timbulnya berbagai usaha yang bergeser ke bidang variasi kendaraan, terutama kendaraan roda empat. Masyarakat lebih cenderung mengutamakan penampilan luar yang tanpa disadarinya hal tersebut akan berdampak pada kenyamanan bagi penumpangnya. Pemakaian pegas modifikasi yang lebih pendek dari pegas standard bila ditinjau dari stabilitas akan lebih bagus, bila ditinjau dari segi kenyamanan akan menjadikan kendaraan tersebut kurang nyaman. Keadaan seperti itu dapat dihindari dengan mengetahui beberapa karakteristik dari jenis pegas suspensi yang dipakai, yaitu meliputi dimensi dari komponen pegas suspensi dan material yang digunakan untuk pegas suspensi agar respon getaran yang diterima penumpang dapat ditekan sekecil mungkin maka perlu dibuat suatu simulasi dari beberapa karakteristik pegas yang diigunakan,

agar respon kendaraan kearah vertikal maupun anguk yang dirasakan penumpang seminimal mungkin dan masih sesuai dengan ambang batas amplitudo yang direkomendasikan atau sesuai standard yang ada, sehingga tidak mengurangi kinerja dari pengemudi dan kenyamanan penumpang kendaraan. Untuk mempermudah dan lebih efektif dalam melakukan analisa dan perhitungan digunakan software Matlab (*Matrik Laboratory*) yaitu sebuah bahasa pemograman, perhitungan yang dilakukan untuk mengolah data dalam bentuk matrik angka. Matlab dapat mengintegrasikan perhitungan dan visualisasi kedalam sebuah perangkat lunak komputer fleksibel. Dengan menyediakan bermacam-macam kelompok fungsi-fungsi *built-in* yang bisa langsung digunakan secara langsung untuk memecahkan solusi numerik dari masalah-masalah engineering/ keteknikan dalam skala yang lebih luas (*Edward, B. Magrab, 2000*).

### Getaran Pada Kendaraan

Definisi Getaran adalah apabila gerakan relatif suatu benda (massa dan pegas) berulang dengan sendirinya dalam interval waktu tertentu, maka gerakan tersebut disebut Getaran (*Vibration*). Umumnya getaran merupakan energi sisa. Hampir semua komponen/peralatan mekanik dalam melakukan operasinya menimbulkan getaran, misalnya ketel uap (*boiler*), fan (*blower*), mesin *automotif*, mesin pengangkat dan lain sebagainya. Di bawah ini adalah gambar siklus sinusoidal yang terjadi dari sistem getaran harmonis.



Gambar 1. Siklus Sinusoidal  
Sumber: William Thomson, 1992

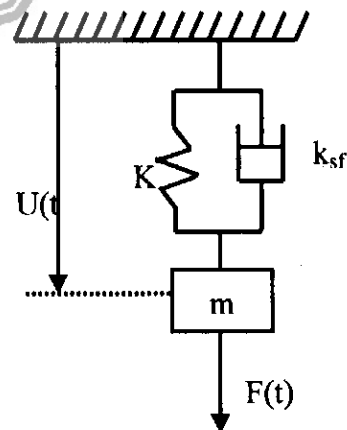
Frekuensi adalah jumlah siklus per satuan waktu  $\omega = 1/T$ . Periode adalah waktu yang dibutuhkan gerakan periodik agar dapat berulang dengan sendirinya  $T = 2\pi$ . Frekuensi pribadi ( $\omega$ ) adalah frekuensi yang mempunyai getaran bebas tanpa gesekan. Gesekan harmonis sering dinyatakan sebagai proyeksi suatu titik yang bergerak melingkar dengan kecepatan tetap pada suatu garis lurus, seperti terlihat pada gambar 1, gerak harmonis sebagai proyeksi

suatu titik yang bergerak pada lingkaran.

*Degree of freedom* dari sistem adalah jumlah koordinat umum yang dibutuhkan untuk mendefinisikan posisi secara geometrik dan lengkap suatu sistem terhadap referensi yang dianggap diam. Sebuah benda kaku (*rigid body*) dalam ruang membutuhkan 6 koordinat untuk identifikasi, yaitu tiga koordinat untuk posisi *rectiliner* dan tiga koordinat untuk rotasi *angular*. Akan tetapi secara umum suatu sistem dibatasi agar hanya bergerak dalam arah tertentu, jadi ada *constraint* yang membatasi *Degree of freedom (DOF)* sampai jumlah yang lebih kecil. Dengan demikian DOF adalah jumlah koordinat umum dikurangi dengan *constraint* yang ada atau DOF adalah masih diijinkannya arah pergerakan dari massa-massa yang ada pada sistem.

### Elemen-elemen Sistem Getaran

Elemen-elemen yang merupakan bagian dari sistem getaran, secara idealisasi digambarkan pada gambar 2 dibawah ini. Ketiga elemen pertama menggambarkan sistem secara fisik, yaitu sistem tersusun massa, pegas dan peredam (*damp*). Energi yang mungkin tersimpan dalam massa dan pegas akan *didisipasi* oleh *damp* kedalam bentuk panas. Energi berada dalam sistem timbul dengan adanya eksitasi. Seperti pada gambar 2, terdapat sebuah gaya eksitasi yang bekerja pada massa  $m$  dari sistem. Massa  $m$  diasumsikan sebagai *rigid body* akan mengalami getaran dan dapat menambah atau mengurangi energi kinetik, sesuai dengan perubahan *velocity* dari body.



Gambar 2. Elemen sistem getaran

Pegas  $K$  memiliki keelastitasan dengan asumsi massanya diabaikan. Gaya pegas timbul hanya jika terdeformasi, akan tetapi gaya pegas timbul jika ada *displacement* relatif diantara kedua ujung pegas. Kerja oleh deformasi pegas ditransformasikan menjadi energi potensial, yaitu *strain energi* yang

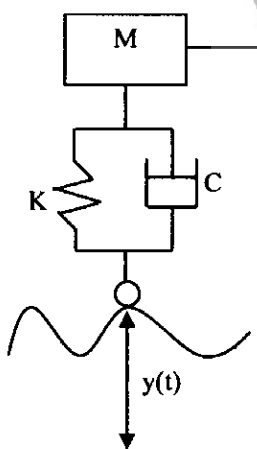
tersimpan dalam pegas. Damper C tidak memiliki baik massa atau elastisitas. Gaya damping timbul jika hanya ada kecepatan relatif diantara kedua ujung damper. Kerja atau input energi akan dikonversikan dalam bentuk panas. Secara garis besar sifat getaran dikelompokkan dalam Getaran bebas (*Free Vibration*) dan Getaran paksa (*Forced Vibration*) tergantung ada tidaknya gaya eksitasi dari luar. Untuk analisa suspensi digunakan sistem getaran dengan derajat kebebasan tunggal, *Single Degree Of Freedom (SDOF)*.

### Analisa Getaran Kendaraan

Dalam menganalisa getaran yang diberikan kendaraan kepada penumpangnya ditentukan oleh bagaimana model dinamik kendaraan yang digunakan untuk mempresentasikan getaran dari kendaraan. Model getaran kendaraan menunjukkan suatu gambaran tentang interpretasi getaran yang terjadi pada kendaraan. Model dapat menjadi sederhana atau kompleks tergantung dari interpretasi, asumsi dan persepsi terhadap getaran kendaraan yang sesuai untuk analisa kenyamanan.

### Model dengan 1 Derajat Kebebasan Vertikal

Pada model ini kendaraan dianggap 1 *rigid body* yang hanya bebas bergetar vertikal. Kelakuan dari suspensi dan ban begitu juga redamannya disatukan dengan hubungan seri. Pemodelan ini ditunjukkan pada gambar 3 dibawah ini :



Gambar 3. Model Derajat Kebebasan Vertikal

dimana :

- M = massa total kendaraan (kg)
- K = kekakuan suspensi dan ban (N/m)
- C = Konstanta redaman suspensi dan ban (N.sec/m)
- y(t) = eksitasi simpangan Jalan (N)
- y = simpangan massa (m)

Dengan menerapkan konsep Newton maka persamaan gerak massa M dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = Ky_{(t)} + C\dot{y}_{(t)} \quad (1.1)$$

Jika eksitasi dari jalan dianggap sinusoidal yaitu :

$$Y(t) = Y \sin wt \quad (1.2)$$

Maka persamaan (1.1) dapat menjadi :

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = KY \sin wt + CY \cos wt \quad (1.3)$$

atau :

$$\frac{1}{w_n^2} \ddot{x} + \frac{2\xi}{w_n} \dot{x} + x = K \sin(wt + y) \quad (1.4)$$

dimana :

$$w_n = \sqrt{\frac{K}{M}} \quad = \text{frekuensi pribadi}$$

$$\xi = \frac{C}{2\sqrt{KM}} \quad = \text{perbandingan redaman}$$

$$K = Y \sqrt{4\xi^2 \left(\frac{w}{w_n}\right)^2 + 1}$$

$$Y = \tan^{-1} \left( 2\xi \frac{w}{w_n} \right)$$

$$k = \frac{k_s \cdot k_t}{k_s + k_t}$$

$$C = \frac{C_s \cdot C_t}{C_s + C_t}$$

$k_s, k_t$  = kekakuan pegas suspensi dan ban

$C_s, C_t$  = konstanta redaman suspensi dan ban

Jika kendaraan melewati groyongan jalan atau melindas benjolan jalan maka setelah itu kendaraan akan bergetar bebas dengan redaman jika redamannya kecil yaitu  $\xi < 1$ . Jika  $\xi < 1$  maka massa kendaraan tidak akan mengalami osilasi setelah melewati groyongan jalan. Frekuensi osilasi setelah melewati groyongan jalan adalah frekuensi pribadi teredam ( $w_d$ ).

$$w_d = w_n \sqrt{1 - \xi^2} \quad (1.5)$$

Jika frekuensi ini sama dengan frekuensi resonansi tubuh manusia maka dampak getaran tersebut akan sangat terasa pada tubuh manusia.

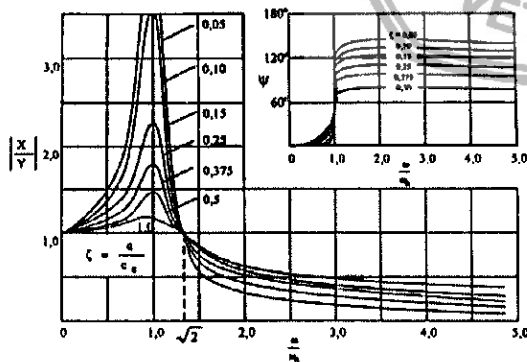
Jika kendaraan berjalan pada jalan bergelombang sinusodial seperti pada gambar 3, maka massa kendaraan akan bergetar secara paksa pada frekuensi yang dengan frekuensi eksitasi yaitu sebesar  $w$ . Adapun perbandingan amplitudo getaran massa kendaraan ( $x$ ) dengan amplitudo eksitasi jalan ( $Y$ ) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{X}{Y} = \sqrt{\frac{K^2 + (w_c)^2}{(K - mw^2)^2 + (cw)^2}} \quad (1.6)$$

atau :

$$\frac{X}{Y} = \frac{\sqrt{1 + 4\xi^2 \left(\frac{w}{w_n}\right)^2}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{w}{w_n}\right)^2\right]^2 + 4\xi^2 \left(\frac{w}{w_n}\right)^2}}$$

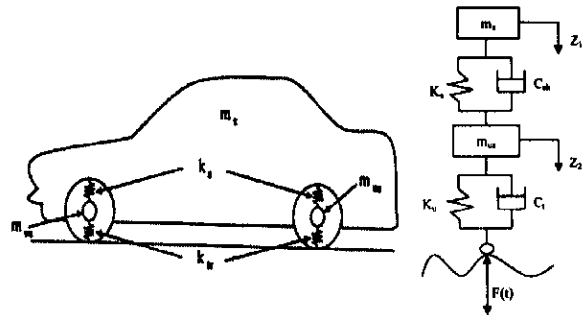
Perbandingan amplitudo ini juga ditunjukkan pada gambar 4. Jika perbandingan frekuensi eksitasi ( $w$ ) dengan frekuensi pribadi ( $w_n$ ) lebih kecil dari  $\sqrt{2} = 1,414$  maka amplitudo getaran kendaraan bisa lebih besar dari amplitudo eksitasi jalan. Sebaliknya jika harga perbandingan tersebut lebih besar dari 1,414 maka amplitudo getaran kendaraan lebih kecil dari amplitudo eksitasi jalan, kondisi inilah yang diharapkan pada kendaraan sehingga dampak getaran pada tubuh manusia tidak besar.



Gambar 4. Perbandingan Amplitudo Massa Kendaraan Dengan Amplitudo Ektasi Jalan

### Model Dengan 2 Derajat Kebebasan Vertikal

Pada pemodelan ini kendaraan dianggap terdiri dari 2 massa yaitu massa diatas suspensi (*sprung mass*) dan massa dibawah suspensi (*unsprung mass*). Getaran dari kedua massa ini dianggap hanya vertikal saja. Model getaran dari kendaraan dengan 2 derajat kebebasan ini ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Model getaran dari kendaraan dengan 2 derajat kebebasan

Keterangan :

- $M_s$  : sprung mass (kg)
- $M_u$  : unsprung mass (kg)
- $K_s$  : kekakuan pegas suspensi (N/m)
- $K_u$  : kekakuan pegas dari ban (N/m<sup>2</sup>)
- $C_s$  : konstanta redaman suspensi (N.sec/m)
- $C_u$  : konstanta redaman ban (N.sec/m)
- $Z_1$  : simpangan sprung mass (m)
- $Z_2$  : simpangan unsprung mass (m)
- $F(t)$  : gaya eksitasi dari profil jalan (N)

Persamaan gerak dari sprung mass dan unsprung mass dapat dirumuskan dengan menggunakan konsep Newton, dan hasilnya sebagai berikut :

- Persamaan gerak sprung mass

$$M_s \ddot{Z}_1 + C_{sh} (\dot{Z}_1 - \dot{Z}_2) + K_s (Z_1 - Z_2) = F(t) \quad (2.1)$$

- Persamaan gerak unsprung mass

$$M_u \ddot{Z}_2 + C_{uh} (\dot{Z}_2 - \dot{Z}_1) + K_s (Z_1 - Z_2) + C_u \dot{Z}_2 + K_u Z_2 = F(t) \quad (2.2)$$

Besar frekuensi pribadi atau frekuensi resonansi dari sprung mass ( $f_{ns}$ ) dan usprung mass ( $f_{us}$ ) dapat diestimasi dengan rumus sebagai berikut :

$$f_{ns} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_s \cdot K_{tr}}{(K_s + K_{tr}) M_s}} \quad (2.3)$$

$$f_{us} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_s \cdot K_{tr}}{M_u}} \quad (2.4)$$

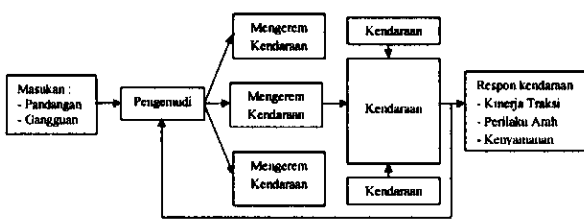
Dari rumus tersebut terlihat bahwa harga  $f_{nus}$  bisa jauh lebih besar dari  $f_{ns}$ . Jika kendaraan melintasi batu atau benjolan tersebut maka sprung mass dan unsprung mass akan bergetar bebas arah vertikal pada frekuensi pribadinya masing-masing. Karena  $f_{nus}$  jauh lebih besar dari  $f_{ns}$  maka berdasarkan konsep getaran dapat dikatakan bahwa amplitudo pada sprung mass lebih kecil dari *amplitudo unsprung mass*. Amplitudo dan frekuensi dari sprung mass inilah yang akan mempengaruhi pengemudi atau penumpang kendaraan tersebut.

Jika kendaraan berjalan pada jalan bergelombang maka frekuensi eksitasi jalan ditentukan oleh kecepatan kendaraan dan panjang gelombang jalan. Selama berada pada jalan bergelombang maka sprung mass akan bergetar secara paksa pada frekuensi eksitasi. Jika frekuensi eksitasi lebih besar dari  $1,414 f_n$  maka amplitudo getaran sprung mass akan lebih kecil dari gelombang jalan.

### Kenyamanan Kendaraan

Interaksi manusia dan gerakan kendaraan terutama terhadap percepatan, perlambatan dan getaran kendaraan sangat menentukan kualitas dari kendaraan. Percepatan, perlambatan dan getaran dari kendaraan akan berpengaruh pada kenyamanan dari pengendara serta penumpang. Kenyamanan pada dasarnya bersifat subyektif, namun untuk perancangan dan analisa kenyamanan pada kendaraan digunakan suatu kriteria kenyamanan diantaranya adalah kriteria kenyamanan *Jeneway* dan kriteria kenyamanan dari ISO 2631, 1974 (*International Standard Organization*). Penilaian kenyamanan dari pemakai kendaraan terhadap suatu kendaraan ditentukan oleh ketahanan manusia terhadap percepatan, perlambatan dan getaran yang ditimbulkan oleh kendaraan.

Keleluasaan pandangan pengemudi dan kemudahan pengendalian kendaraan oleh pengemudi juga memberi nilai kualitas kenyamanan tersendiri bagi pengemudi. Interaksi secara total antara pengendara, lingkungan dan kendaraan menentukan kualitas kerja, pengendalian dan kenyamanan, yang dapat dihasilkan oleh kendaraan tersebut. Secara umum interaksi tersebut dapat ditunjukkan pada gambar 6.



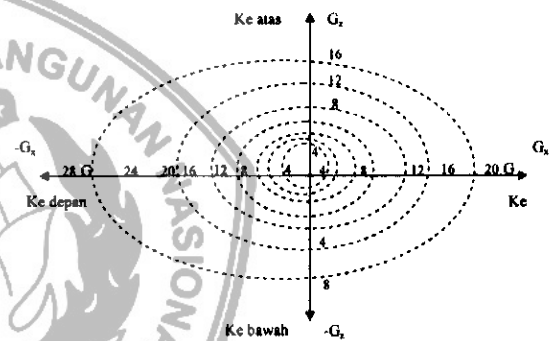
Gambar 6. Interaksi pengendara

Kenyamanan dari pengemudi dapat mempengaruhi kemampuan pengemudi untuk mengendalikan kendaraan atau secara keseluruhan akan dapat mempengaruhi keamanan daripada sistem interaksi dari pengemudi dan kendaraan.

### Pengaruh Percepatan terhadap Gerakan Manusia

Gerakan utama yang dialami pengemudi selama mengemudi adalah berupa percepatan atau per-

lambatan dari getaran. Unit dasar yang digunakan sebagai ukuran dari percepatan yang dialami manusia adalah berbasis pada gaya grafitasi (G). Seseorang yang jatuh bebas dimna percepatan jatuhnya adalah  $32,24 \text{ ft/dt}^2$  dikatakan menerima percepatan sebesar 1 G. Toleransi tubuh manusia terhadap percepatan ditunjukkan pada gambar 7. Gambar tersebut menunjukkan, level percepatan rata-rata untuk bermacam arah gerakan yang mampu ditahan oleh tubuh manusia. Badan yang paling tahan terhadap percepatan kedepan ( $G_x$ ) dan paling tidak tahan gerakan kebawah ( $-G_z$ ). Percepatan sebesar 30 G kedepan masih mampu ditahan oleh badan manusia dalam waktu 0,02 menit, lebih dari waktu tersebut manusia sudah tidak tahan lagi. Sedangkan pergerakan kebawah ( $-G_z$ ) pada percepatan 1 G saja badan manusia hanya tahan dalam waktu 20 menit maksimum.



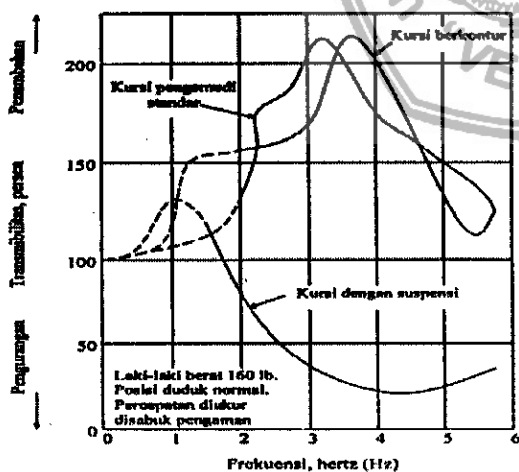
Gambar 7. Arah gerakan dan daya tahan tubuh manusia.

Informasi ketahanan badan manusia terhadap percepatan merupakan hal yang sangat penting sebagai referensi dalam perancangan ketahanan bodi kendaraan terhadap dampak. Jika pada saat kendaraan mengalami dampak dimana pengemudi atau penumpang mendapat percepatan atau perlambatan yang mampu didukung oleh badan maka dapat membahayakan pengemudi atau penumpang tersebut.

### Pengaruh Getaran

Getaran merupakan salah satu gerakan utama yang diderita penumpang suatu kendaraan. Besarnya dampak getaran pada suatu obyek ditentukan oleh frekuensi resonansi dari obyek tersebut dan frekuensi dari getaran. Setiap obyek seperti juga badan manusia mempunyai frekuensi resonansi. Sebagai contoh, kendaraan dimana material bannya adalah karet yang kontak dengan jalan umumnya mempunyai frekuensi resonansi antara 1-4 Hz. Untuk kondisi duduk dengan getaran vertikal frekuensi resonansi pertama dari tubuh manusia adalah 4-6 Hz, sedangkan dalam keadaan berdiri resonansi ter-

jadi pada frekuensi 5-12 Hz. Badan manusia terdiri dari banyak organ yang satu sama lain berhubungan tidak rigid, dengan demikian masing-masing organ dari badan manusia akan mempunyai resonansi frekuensi masing-masing. Getaran yang diberikan oleh kendaraan kepada manusia akan memberi dampak yang berbeda masing-masing organ tubuh manusia. Makin besar amplitudo getaran yang terjadi pada organ tubuh manusia, makin besar pula dampak yang akan dirasakan. Jika dampak yang terbesar pada perut maka akan mengakibatkan mual, dan jika dikepala akan mengakibatkan pusing. Jika frekuensi dari getaran tempat duduk yang akan menyampaikan getaran kepada tubuh manusia lebih besar dari frekuensi resonansi tubuh manusia, dimana ratio kedua frekuensi tersebut diatas 1,414 maka dampak getaran pada tubuh manusia akan kecil. Untuk ratio kedua frekuensi tersebut dibawah 1,414 dan peredam terhadap getaran tersebut kecil maka dampak yang dirasakan pada tubuh manusia sangat besar. Memperkecil dampak ini dapat dilakukan dengan mengendalikan redaman yang memadai pada tempat duduk. Gambar 8, menunjukkan amplifikasi atau pengurangan pengaruh getaran pada tubuh manusia akibat pengaruh dari beberapa jenis tempat duduk. Tempat duduk yang bersifat suspensi dimana ia mempunyai redaman dan kelendutan yang memadai dapat mengurangi pengaruh getaran yang berarti.



Gambar 8. Amplifikasi pada tubuh manusia

Grether pada tahun 1971 mempelajari getaran dan kemampuan manusia. Dari hasil studi tersebut ditarik empat kesimpulan umum tentang pengaruh getaran terhadap kinerja manusia yaitu : (1). Getaran mengakibatkan turunnya ketajaman penglihatan sebanding dengan amplitudo dari getaran, penurunan yang paling besar terjadi pada frekuensi antara 10-25 Hz. Hal ini disebabkan karena frekuensi

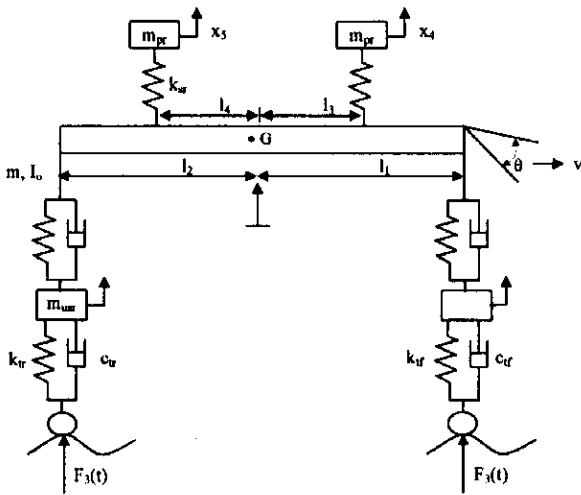
tersebut merupakan frekuensi resonansi terhadap kepala manusia, (2) Getaran mengakibatkan turunnya kemampuan manusia untuk mengikuti lintasan, penurunan yang besar terjadi pada frekuensi rendah yaitu dibawah 5 Hz., (3) Kegiatan yang memerlukan konsistensi dan kakuratan pengendalian dari getaran otot manusia akan mengalami gangguan akibat getaran, dan (4) Tugas yang terpusat pada kemampuan pusat saraf diantaranya: monitoring, menterpretasi bentuk, waktu reaksi kelihatannya paling tahan terhadap pengaruh getaran.

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan pemodelan analisa getaran dengan sistem suspensi 6 DOF (*Degree Of Freedom*) yaitu dengan menggunakan sebuah mobil Suzuki Aerio yang dihubungkan langsung dengan perangkat komputer, dimana mobil tersebut diisi oleh beban maksimum sebanyak 1 orang didepan disamping sopir dan 3 orang dibagian jok belakang mobil. Mobil dijalankan di jalan umum dengan berbagai macam umum variasi kecepatan, kemudian dari variasi kecepatan tersebut di analisa sistem getarannya yaitu nilai jarak  $X$  (amplitudo). Besaran-besaran tersebut antara lain:  $X_1$  adalah jarak amplitudo getaran yang terjadi pada *center of gravity* akibat adanya gaya eksitasi;  $X_2$  adalah jarak amplitudo getaran pada unsprung depan akibat adanya gaya eksitasi;  $X_3$  adalah jarak amplitudo getaran yang terjadi pada unsprung belakang akibat adanya gaya eksitasi;  $X_4$  adalah jarak amplitudo yang terjadi pada penumpang bagian depan akibat adanya gaya eksitasi;  $X_5$  adalah jarak amplitudo getaran yang terjadi pada penumpang belakang akibat adanya gaya eksitasi.

## Analisa Sistem Getaran Dengan Pemodelan Suspensi 6 DOF.

Pemodelan yang digunakan dalam analisa getaran pada kendaraan adalah dengan menggunakan sistem suspensi 6 DOF. Pada pemodelan ini terdapat penumpang yang ada didepan dan dibelakang. Pemodelan sistem suspensi 6 DOF dapat dilihat pada gambar 9, dimana vektor perpindahan didefinisikan oleh  $x = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, 0]$ .



Gambar 9. Pemodelan kendaraan 6 DOF  
Sumber : Yudhi K., 1997

Nilai  $x$  pada pemodelan kendaraan adalah nilai jarak (amplitudo) yang akan dicari besarnya, untuk dibandingkan dengan amplitudo standar yang sesuai dengan ketentuan kenyamanan kriteria Janeway.  $x_1$  adalah jarak (amplitudo) getaran yang terjadi pada *center of gravity* akibat adanya gaya eksitasi,  $x_2$  adalah jarak (amplitudo) getaran pada unsprung depan akibat adanya gaya eksitasi,  $x_3$  adalah jarak (amplitudo) getaran pada unsprung belakang akibat adanya gaya eksitasi,  $x_4$  adalah jarak (amplitudo) getaran yang terjadi pada penumpang depan akibat adanya gaya eksitasi,  $x_5$  adalah jarak (amplitudo) getaran yang terjadi pada penumpang belakang akibat adanya gaya eksitasi.

**Keterangan :**

- $m$  = massa kendaraan (kg)
- $m_{usf}$  = massa *unsprung* depan (kg)
- $m_{usr}$  = massa *unsprung* belakang (kg)
- $m_{pf}$  = massa penumpang depan (kg)
- $m_{pr}$  = massa penumpang belakang (kg)
- $I_0$  = momen inersia massa kendaraan (kg.  $m^2$ )
- $k_{rf}$  = kekakuan roda depan ( $N/m^2$ )
- $k_{rr}$  = kekakuan roda belakang ( $N/m^2$ )
- $k_{rfd}$  = kekakuan pegas suspensi depan (N/m)
- $k_{rrb}$  = kekakuan pegas pada suspensi belakang (N/m)
- $c_{rf}$  = konstanta redaman ban depan (N.sec/m)
- $c_{rr}$  = konstanta redaman ban belakang (N.sec/m)
- $c_{rfd}$  = konstanta redaman pegas suspensi depan (N.sec/m)
- $c_{rrb}$  = konstanta redaman pegas suspensi belakang (N.sec/m)
- $l_1$  = jarak pegas depan terhadap *center of gravity* (m)
- $l_2$  = jarak pegas belakang terhadap *center of gravity* (m)
- $l_3$  = jarak penumpang depan terhadap *center of gravity* (m)
- $l_4$  = jarak penumpang belakang terhadap *center of gravity* (m)
- $v$  = kecepatan kendaraan (m/sec)
- $F_2(t)$  = gaya eksitasi dari profil permukaan jalan pada roda depan
- $F_4(t)$  = gaya eksitasi dari profil permukaan jalan pada roda belakang
- $\theta$  = sudut angguk

**Data Kendaraan, Pemograman, dan Hasil Pemograman Matlab 6.0**

Dalam contoh perhitungan numerik ini, kendaraan yang akan digunakan adalah kendaraan Suzuki

Aerio. Adapun data-data kendaraan yang telah disesuaikan dengan pemodelan pada analisa getaran pada kendaraan adalah sebagai berikut:

- Dimensi bodi kendaraan
  - Panjang bodi kendaraan ( $L$ ) = 4,150m
  - Lebar bodi kendaraan ( $W$ ) = 1,650m
  - Tinggi bodi kendaraan ( $h$ ) = 1,520m
  - Jarak pegas depan terhadap center of gravity ( $l_1$ ) = 1.61m
  - Jarak pegas belakang terhadap center of gravity ( $l_2$ ) = 0.9m
  - Jarak penumpang depan terhadap center of gravity ( $l_3$ ) = 0.53m
  - Jarak penumpang belakang terhadap center of gravity ( $l_4$ ) = 0,4m
- Massa kendaraan penumpang
  - Massa bodi kendaraan ( $m$ ) = 475 kg
  - Massa unsprung depan ( $m_{usf}$ ) = 150 kg
  - Massa unsprung belakang ( $m_{usr}$ ) = 150 kg
  - Massa penumpang depan ( $m_{pf}$ ) = 65 kg
  - Massa penumpang belakang ( $m_{pr}$ ) = 65 kg
  - Moment inersia massa kendaraan ( $I_0$ ) = 1528,4 kg
- Konstanta kekuatan dan konstanta redaman
  - Kekakuan ban depan ( $k_{rf}$ ) =  $1,5 \times 10^5$  N/m
  - Kekakuan ban belakang ( $k_{rr}$ ) =  $1,5 \times 10^5$  N/m
  - Kekakuan kursi penumpang depan ( $k_{rfd}$ ) =  $3,1882 \times 1^4$  N/m
  - Kekakuan kursi penumpang belakang ( $k_{rrb}$ ) =  $3,1882 \times 1^4$  N/m
  - Konstanta redaman roda depan ( $c_{rf}$ ) =  $1,2 \times 1^5$  N.sec/m
  - Konstanta redaman roda belakang ( $c_{rr}$ ) =  $1,2 \times 1^5$  N.sec/m
  - Konstanta redaman pegas suspensi depan ( $c_{rfd}$ ) =  $6,4 \times 10^4$  N.sec/m
  - Konstanta redaman pegas suspensi belakang ( $c_{rrb}$ ) =  $6,4 \times 10^4$  N/sec/m
- Data pegas suspensi
  - Diameter pegas suspensi ( $D$ ) =  $14,5 \times 10^{-2}$  m
  - Diameter kawat pegas suspensi ( $d$ ) =  $1,6 \times 10^{-2}$  m
  - Jumlah lilitan pegas suspensi ( $N$ ) = (standar dan 4 (modifikasi))
  - Modulus geser bahan pegas suspensi ( $G$ ) =  $79,3 \times 10^3$  kg/m

## Kriteria Kenyamanan bagi Penumpang Kendaraan

Secara umum kriteria kenyamanan atau batasan ukuran kenyamanan bagi pengendara sangat sulit untuk ditentukan karena banyak terkait dengan hal-hal subyektif. Banyak studi yang telah dilakukan oleh para peneliti untuk mencoba menentukan batas-batas kenyamanan dari penumpang kendaraan.

Salah satu kriteria kenyamanan bagi penumpang kendaraan yang terkena getaran vertikal adalah *kriteria Janeway*. *Kriteria Janeway* ini digunakan sebagai kriteria kenyamanan oleh *Society of Automotive Engineering (SAE)* yang diwujudkan dalam manual yaitu *Ride and Vibration Data Manual J6a of SAE*. Kriteria kenyamanan *Janeway* tersebut pada intinya memberikan batasan toleransi amplitudo getaran sebagai fungsi dari frekuensi yang ditunjukkan pada gambar 10. Batasan toleransi kenyamanan ditetapkan untuk 3 level frekuensi, yaitu : pertama : pada frekuensi 1-6 Hz, kedua pada frekuensi 6-20 Hz, dan ketiga pada frekuensi 20-60 Hz. Untuk frekuensi getaran 1-6 Hz, harga maksimum dari *Jerk* yaitu perubahan percepatan getaran persatuan waktu tidak boleh melebihi 12,6 m/dt<sup>3</sup> (469 in/dt<sup>3</sup>). Getaran dianggap harmonis misal  $x = A \sin \omega t$ , harga *Jerk* adalah:

$$\frac{dx^3}{dt^3} A\omega^3 \cos \omega t \quad (3.1)$$

Jadi harga maksimum dari *Jerk* adalah  $A\omega^3$ .

Dengan demikian untuk getaran dengan toleransi 1-6 Hz maka amplitudo maksimum yang diijinkan adalah :

$$A_1 = \frac{12,6}{\omega^3} (\text{meter}) \quad (3.2)$$

Misal untuk frekuensi 1 Hz =  $2\pi$  rad/dt, maka amplitudo maksimum yang diijinkan adalah :

$$A_1 = \frac{12,6 \text{ m/dt}^3}{(2\text{ rad/dt})^3} = 0,0508 \text{ m} = 2 \text{ in}$$

untuk frekuensi getaran 6-20 Hz, harga maksimum percepatan yang diijinkan sebagai batas kenyamanan adalah 0,33 m/dt<sup>2</sup> (13 in/dt<sup>2</sup>). Dengan menganggap getaran harmonis seperti diatas maka besar percepatan adalah :

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega^2 \sin \omega t \quad (2.54)$$

Amplitudo dari percepatan atau percepatan maksimum adalah  $A\omega^2$ , dengan demikian amplitudo getaran maksimum yang diijinkan pada frekuensi 6-20 Hz adalah :

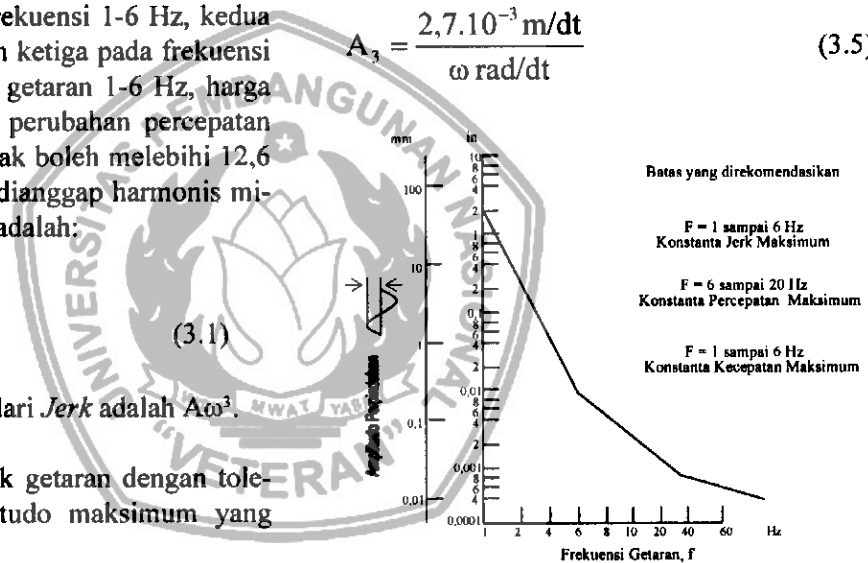
$$A_2 = \frac{0,33 \text{ m/dt}^2}{\omega^2 (\text{rad/dt})^2} \quad (3.3)$$

Dan untuk frekuensi getaran 20-60 Hz, harga maksimum kecepatan yang diijinkan adalah 2,7 mm/dt (0,105 in/dt). Pada getaran harmonis seperti diatas maka harga kecepatan dirumuskan :

$$\frac{dx}{dt} = A\omega \cos \omega t \quad (3.4)$$

Dan kecepatan maksimum adalah sebesar  $A\omega$ . Dengan demikian harga amplitudo getaran yang diijinkan untuk frekuensi 20-60 Hz adalah :

$$A_3 = \frac{2,7 \cdot 10^{-3} \text{ m/dt}}{\omega \text{ rad/dt}} \quad (3.5)$$

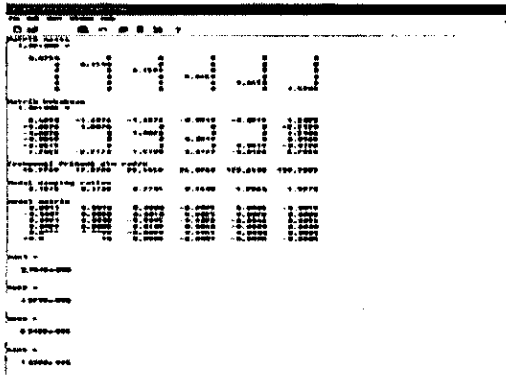


Gambar 10. Kriteria Kenyamanan Janeway.

Selain kriteria *Janeway* diatas, juga telah dikembangkan suatu standar tentang kriteria getaran untuk tubuh manusia yang dapat ditoleransi. Standar ini telah dipakai dan disesuaikan dengan standard International ISO 2011, 1974. Standar tersebut berlaku untuk kendaraan transportasi dan juga untuk kendaraan di industri. Tiga batasan didefinisikan pada standar ini untuk frekuensi antara 1-8- Hz yaitu (a) Batasan bagi tubuh manusia tahan dan aman terhadap kesehatan akibat getaran. Bataan ini tidak boleh dilewati tanpa ada alasan dan justifikasi khusus, (b) Batasan kelelahan kinerja yang mana terkait dengan kemampuan untuk mempertahankan efisiensi kerja berlaku untuk pekerjaan mengemudi kendaraan jalan raya atau traktor, dan (c) Batasan penurunan kenyamanan yang mana terkait







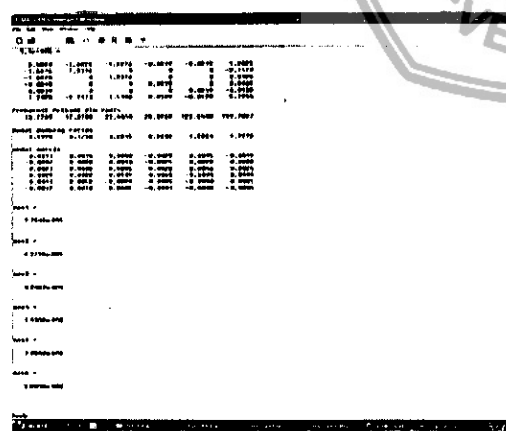
Pemrograman Analisa Getaran Kendaraan Menggunakan Metode Numerik dengan Bantuan Software Matlab 6,0

```

% Script for vehicle vibration analysis
% Parameters
v = 10; % m/s
v = 20; % m/s
v = 30; % m/s
% Time steps
t1 = 0.2; t2 = 0.4; t3 = 0.6; t4 = 0.8; t5 = 1.0;
% Amplitude limits
x1 = 0.027766; x2 = 0.044361; x3 = 0.064063; x4 = 0.019103; x5 = 0.027399;
% Calculations
% ... (omitted code) ...

```

Tampilan (display) Hasil Pemograman Getaran dengan Menggunakan Bantuan Software Matlab 6,0.



**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Tabel 1.**

Hasil Pemograman Matlab 6.0 untuk Kendaraan yang Menggunakan "Pegas Standard"

Kecepatan (m/det)	Waktu (detik)					Amplitudo (m)				
	t1	t2	t3	t4	t5	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>
10	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	0,027648	0,042719	0,062482	0,01300	0,025983
20	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	0,015184	0,020673	0,085310	0,025064	0,053390
30	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	0,084464	0,010430	0,016738	0,034123	0,034123

**Tabel 2.**

Hasil Pemograman Matlab 6,0 untuk Kendaraan yang Menggunakan Pegas Yang sudah dimodifikasi

Kecepatan (m/det)	Waktu (detik)					Amplitudo (m)				
	t1	t2	t3	t4	t5	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>
10	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	0,27766	0,044361	0,64063	0,019103	0,027399
20	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	0,015791	0,022321	0,088108	0,025552	0,054554
30	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	0,088145	0,011318	0,062583	0,017057	0,034925

Setelah melihat hasil pemograman dengan Matlab 6,0 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2 yang merupakan hubungan respons dengan waktu baik dari kendaraan yang menggunakan pegas standar maupun kendaraan yang menggunakan pegas yang sudah dimodifikasi dimensinya yang melaju dengan 3 kecepatan yaitu : pertama dengan kecepatan 10 m/s, kedua dengan kecepatan 20 m/s dan ketiga dengan kecepatan 30 m/s, kemudian dibandingkan dengan melihat batas amplitudo maksimum yang direkomendasikan.

Kriteria kenyamanan yang digunakan untuk penumpang kendaraan yang terkena getaran vertikal adalah kriteria Janeway. Yang mana kriteria ini digunakan sebagai kriteria kenyamanan oleh Society of Automotive Engineering (SAE) yang diwujudkan dalam manual yaitu *Ride and Vibration Data Manual J6a of SAE*.

Kriteria Janeway ini pada intinya memberikan batasan toleransi amplitudo getaran sebagai fungsi dari frekuensi. Batas toleransi kenyamanan ditetapkan untuk 3 level frekuensi, yaitu : pertama pada frekuensi 1-6 Hz, kedua pada frekuensi 6-20 Hz dan ketiga pada frekuensi 20-60 Hz. Untuk mengetahui besar frekuensi dan amplitudo standar (sesuai kriteria) pada kecepatan 10 m/s, 20 m/s, 30 m/s dengan cara perhitungan sebagai berikut:

- Untuk Kendaraan dengan kecepatan 10 m/s, frekuensinya adalah:

$$\omega = 2\pi / 1 \cdot v \cdot \text{rad/s} = 2\pi / 1 / 2\pi \cdot v \cdot \text{Hz} / 1 \cdot \text{Hz}$$

$$= 10 / 1.6 = 6,25 \text{ Hz} = 6,25 \cdot 2\pi \cdot \text{rad/s} = 39,2699 \cdot \text{rad/s}$$

Mencari amplitudo standar pada kecepatan 10 m/s, dengan cara perhitungan sebagai berikut:

$$A = \frac{0,33 \text{ m/s}^2}{\omega^2 (\text{rad/s})^2} = \frac{0,33 \text{ m/s}^2}{(39,2699)^2 (\text{rad/s})^2} = 0,21399 \text{ m}$$

- Untuk kendaraan dengan kecepatan 20 m/s, frekuensinya adalah :

$$\omega = 2\pi / 1 \cdot v \cdot \text{rad/s} = 2\pi / 1 / 2\pi \cdot v \cdot \text{Hz} = v / 1 \cdot \text{Hz}$$

$$= 20 / 1.6 = 12,5 \text{ Hz} = 12,5 \cdot 2\pi \cdot \text{rad/s} = 78,5398 \text{ rad/s}$$

Mencari amplitudo standar pada kecepatan 20 m/s, dengan cara perhitungan sebagai berikut :

$$A = \frac{0,33 \frac{m}{s}}{\omega^2 \left(\frac{rad}{s}\right)^2} = \frac{0,33 \frac{m}{s}}{(78,5398)^2 \left(\frac{rad}{s}\right)^2} = 0,0534976m$$

- Untuk kendaraan dengan kecepatan 30 m/s, frekuensinya adalah :

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{2\pi}{l} \cdot v \cdot \frac{rad}{s} = \frac{2\pi}{l} \cdot v \cdot Hz = \frac{v}{l} \cdot Hz \\ &= \frac{30}{1,6} = 18,75 Hz = 18,75 \cdot 2\pi \cdot \frac{rad}{s} = 117,8097 \frac{rad}{s} \end{aligned}$$

Mencari amplitudo standar pada kecepatan 30 m/s, dengan caara perhitungan sebagai berikut :

$$A = \frac{0,0027 \frac{m}{s}}{\omega \frac{rad}{s}} = \frac{0,0027 \frac{m}{s}}{117,8097 \frac{rad}{s}} = 0,022918m$$

Dengan membandingkan amplitudo pada kendaraan baik yang menggunakan pegas standar maupun pegas modifikasi yang melaju dengan kecepatan 10 m/s dan 20 m/s, amplitudo yang terjadi berada dibawah dari batas yang direkomendasikan. Sedangkan untuk kendaraan yang menggunakan pegas standar maupun pegas modifikasi yang melaju dengan kecepatan 30 m/s, hanya amplitudo x5 yang berada diatas batas yang direkomendasikan. Amplitudo x5 untuk kendaraan yang menggunakan pegas standar = 0,034123 mm dan amplitudo x5 untuk kendaraan yang menggunakan pegas modifikasi = 0,034925 mm. Sedangkan batas yang direkomendasikan adalah 0,022918 mm. Sedangkan bila ditinjau besarnya amplitudo yang terjadi antara kendaraan yang menggunakan pegas standar maupun kendaraan yang menggunakan pegas yang sudah dimodifikasi dimensinya, maka kendaraan yang menggunakan pegas standar nilai amplitudonya lebih kecil dari kendaraan yang menggunakan pegas yang sudah dimodifikasi. Grafik hubungan antara amplitudo dengan frekuensi untuk kendaraan yang menggunakan pegas standar dapat dilihat pada gambar 13, sedangkan grafik hubungan antara amplitudo dengan frekuensi untuk kendaraan yang menggunakan pegas yang sudah dimodifikasi dimensinya dapat dilihat pada gambar 14, yang mana kedua gambar tersebut terdapat besarnya amplitudo perpindahan yang direkomendasikan.

## SIMPULAN

Adapun hasil perhitungan dan pembahasan dari analisa kenyamanan pada kendaraan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Besar kecilnya getaran yang diserap oleh sistem suspensi tergantung dari konstanta kekakuan pegas suspensi. Konstanta kekakuan pegas suspensi sendiri merupakan fungsi dari diameter pegas (D), diameter kawat pegas (d), jumlah lilitan pegas (N) dan modulus geser bahan pegas suspensi (G).
2. Pada kendaraan yang menggunakan pegas suspensi yang sudah dimodifikasi dimensinya (jumlah lilitan lebih sedikit, dari 5 lilitan menjadi 4 lilitan) amplitudonya (x5 = 0.034925) lebih besar dari kendaraan yang menggunakan pegas suspensi standar (x5 = 0.034123). Dengan demikian kendaraan yang menggunakan pegas suspensi standar lebih nyaman dari kendaraan yang menggunakan pegas suspensi yang sudah dimodifikasi.
3. Dalam memodifikasi pegas suspensi pada kendaraan perlu diperhatikan batsan amplitudo getaran yang direkomendasikan sehingga kendaraan tersebut masih nyaman untuk dikendarai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Kelly S. Graham, 2000, *Fundamental of Mechanical Vibrations*, Second Editon, Mc Graw Hill Book Company, Singapore.
- Meriem and Kraige, L.G, 1997, *Engineering Mecanics: Dynamics*, Fourth Edition, Wiley, New York.
- Nyoman Sutantra, 2001, *Teknologi Otomotif Teori dan Aplikasinya*, Edisi Pertama, Guna Widya, Surabaya.
- Schaum, William W. Seto, Ir. Darwin Sebayang, 1997, *Getaran Mekanis (Mechanical Vibrations)*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- William T. Thomson, Lea Prassetio, 1992, *Teori Getaran Dengan Penerapan Edisi ke 2*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Yudhi Kristianto, 1997, *Optimasi Dimensi Pegas Heliks pada Kendaraan dengan Metoda Proyeksi Gradein*, FTI ITS, Surabaya.
- Edward B. Magrab, 2000, *An Engineers's Guide to MATLAB*.