

## ANALISIS UNJUK KERJA SUSPENSI KENDARAAN LISTRIK UNIVERSITAS MATARAM DENGAN SIMULINK

I Gusti Ngurah Ketut Yudhyadi<sup>1\*</sup>, Pandri Pandiatmi<sup>1</sup>, Ir. Emmy Dyah. S.<sup>1</sup>, Ida Bagus Alit<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram  
Jl. Majapahit No.62, Mataram, Nusa Tenggara Barat. 83115

\*Corresponding Author Email: [ngurah.yudhyadi@unram.ac.id](mailto:ngurah.yudhyadi@unram.ac.id)

---

### ABSTRAK

The university of Mataram car suspension and its control was designed to minimize the vibration produced by unwanted external inputs i.e., changes of road contours that reach the car passengers. This effort will provide the passenger with higher safety and comfort. In this study, a quarter car model with two degrees of freedom (2 DOF) was designed and developed its mathematical model. The effects of the road contour were studied and analyzed in terms of overshoot and settling time that affect the main body, suspension as well as the passenger. The MATLAB Simulink model was programmed to mimic the behavior of the suspension and its response to the input which was the road contour (step function). This approach was very helpful to reduce the effort, time, and money. The result shows that with implementation of the design parameters chose, the responses of the system (displacement and velocities) were satisfied the criteria of comfortable (there are no overshoot), however, the settling time was seconds that much higher than expected which will disturb the passenger comfort. This point shows that the suspension design needs further improvement with consideration of using active suspension with adequate control system.

---

**Keyword:** electric car, suspension, Simulink, MATLAB

### 1. PENDAHULUAN

Komposit merupakan bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dengan sifat masing-masing bahan berbeda diperhitungkan agar menjadi satu kesatuan ketika menahan beban dan akan menghasilkan perilaku yang sama. Paving block adalah jenis komposit yang menggunakan semen, air, pasir dan kerikil sebagai mortar. Namun, ada bahan yang sifatnya mirip dengan semen dan mampu memperbaiki sifat paving block itu sendiri, yaitu fly ash (Sunardi, dkk, 2015).

Fly ash merupakan salah satu material sisa hasil pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang berbentuk partikel halus amorf. Material abu bekas ini banyak digunakan sebagai tambahan dalam pembuatan beton karena memiliki sifat pozzolan. Pozzolan adalah bahan yang bersifat mengikat, mengandung Silika (Si) dan Alumina (Al) yang bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida. fly ash ini kemudian menjadi solusi untuk mengganti sebagian semen dan memperbaiki kinerja/mutu pada paving block.

Untuk meningkatkan sifat – sifat beton yang lebih baik, banyak hal dapat dilakukan. Mulai dari penambahan serat/fiber kedalam campuran mortar (Hani, 2018). Serat kelapa mempunyai sekam berserat pada bagian luarnya. Serat kelapa yang sering disebut sabut, dapat diambil dengan hanya merendam sekam dalam air atau sebagai alternatif lain diproses dengan mekanik. Dari segi teknis sabut kelapa memiliki sifat-sifat yang menguntungkan, antara lain mempunyai panjang 15-30 cm, tahan terhadap serangan mikroorganisme, pelapukan, pekerjaan mekanis dan lebih ringan dari serat lain (Susilowati, dkk 2016).

Berdasarkan paparan diatas, maka pada penelitian ini dilakukan pembuatan paving block dengan penambahan fly ash sebagai pengganti sebagian semen, serta penambahan serat sabut kelapa. Pengujian yang akan dilakukan adalah pengujian sifat mekanik dan fisis yaitu kuat tekan, densitas dan penyerapan air dengan tujuan untuk mendapatkan paving block yang memenuhi SNI mutu C.

Jumlah pemakaian kendaraan bermotor semakin hari semakin bertambah. Dalam pemilihannya ada berbagai fitur yang menjadi bahan pertimbangan konsumen, satunya adalah faktor keamanan dan kenyamanan. Faktor-faktor ini sangat erat kaitannya dengan seberapa jauh dan cepat mobil tersebut mampu bereaksi terhadap gangguan dari luar, seperti getaran, jalan yang tidak rata, faktor angin, tikungan, pengereman dan lain-lain, yang secara umum disebut dengan gangguan (disturbances). Dalam hal ini perpaduan antara rangka dan sistem suspensi memegang peranan yang sangat vital.

Sistem suspensi merupakan sistem dinamis yang secara langsung mempengaruhi keselamatan dan kenyamanan pengguna kendaraan serta peserta lalu lintas jalan lainnya. Sistem suspensi mobil adalah mekanisme yang secara fisik memisahkan bodi mobil dari roda mobil. Kinerja sistem suspensi telah sangat jauh meningkat seiring dengan meningkatnya kemampuan kendaraan. Untuk mencapai sistem suspensi yang baik, beberapa karakteristik kinerja harus diperhatikan ( Balamurugan dkk., 2014; Burdzik dkk., 2014; Burdzik dkk., 2012; Burdzik dan Konieczny 2013; Cao, 2005; Dixon, 1999; Gillespie, 1992; Konieczny, 2010). Karakteristik ini berhubungan dengan pengaturan gerakan kendaraan, pengaturan gerakan suspensi dan distribusi gaya. Idealnya suspensi harus mengisolasi badan kendaraan dari gangguan jalan dan gangguan inersia yang terkait dengan menikung dan pengereman atau akselerasi. Suspensi juga harus mampu meminimalkan gaya vertikal yang diteruskan ke penumpang demi kenyamanannya.

Sistem suspensi dapat dikategorikan sebagai sistem suspensi pasif, semi aktif, dan aktif penuh ( Konieczny , 2014). Sistem pasif terdiri dari komponen konvensional dengan sifat pegas dan peredam kejut (shock absorber) yang bersifat time-invariant. Elemen pasif hanya dapat menyimpan energi untuk beberapa bagian dari siklus suspensi (pegas) atau membuang energi (peredam kejut). Tidak ada energi eksternal yang langsung dipasok ke jenis suspensi ini. Suspensi semi-aktif mengandung elemen pegas dan redaman, yang sifatnya dapat diubah dengan kontrol eksternal. Sinyal atau daya eksternal dipasok ke sistem ini untuk tujuan mengubah properti. Suspensi aktif penuh menggabungkan aktuator untuk menghasilkan gaya yang diinginkan dalam suspensi. Aktuator biasanya silinder hidrolis. Daya eksternal diperlukan untuk mengoperasikan sistem.

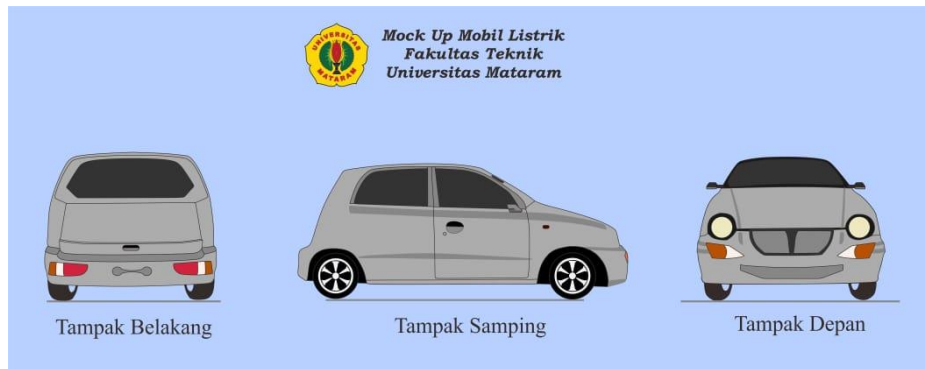
Selanjutnya, yang menjadi tujuan dari penelitian adalah untuk menentukan kelayakan respon sistem suspensi mobil listrik Fakultas Universitas Mataram yang memenuhi kaidah kenyamanan terhadap perubahan kontur jalan. Untuk mencapai tujuan tersebut MATLAB Simulink program akan dikembangkan untuk membantu memprediksi tanggapan sistem dalam bentuk *overshoot* dan *settling time*.

## 2. METODE

### Pemodelan Matematis

#### Data Spesifikasi Mobil Listrik

Berdasarkan hasil penelitian awal yang menyangkut dimensi/ukuran mobil listrik yang menjadi bahan analisis dalam penelitian ini ditampilkan dalam gambar 1 dan tabel 1.



Gambar 1. Mobil Listrik Universitas Mataram

Tabel 1. Data spesifikasi mobil listrik Universitas Mataram hasil penimbangan

| DIMENSI  |                                     |                   |
|----------|-------------------------------------|-------------------|
| 1        | Panjang Kendaraan (P)               | 3,495 m           |
| 2        | Wheel Base                          | 2,38 m            |
| 3        | Lebar Kendaraan (L)                 | 1,495 m           |
| 4        | Tinggi Kendaraan (T)                | 1,615 m           |
| MASSA    |                                     |                   |
| 1        | Massa Mobil Total                   | 860 kg            |
| 2        | Massa Baterai                       | 118 kg            |
| 3        | Massa Penggerak                     | 60 kg             |
| 4        | Massa Bodi Mobil                    | 682 kg            |
| SUSPENSI |                                     |                   |
| 1        | Jarak Suspensi Depan (bf)           | 1120 mm           |
| 2        | Jarak Suspensi Belakang (br)        | 1120 mm           |
|          |                                     | MacPherson Strut  |
| 4        | Suspensi Belakang                   | Torsion Beam Axle |
| 5        | Kekakuan Pegas Suspensi Depan (Ksf) | 2960 N/m          |
| 6        | Redaman                             | 1350 N s/m        |

Suspensi memegang peranan yang sangat penting dalam kestabilan dan kenyamanan berkendara. Untuk mendapatkan stabilitas dan kenyamanan, terutama ketika kendaraan melewati suatu polisi tidur atau jalanan yang tidak rata perlu dilakukan analisis yang komprehensif. Analisis yang paling mudah dilakukan adalah dengan menganggap suspensi tersebut adalah suspensi pasif dan independen. Dalam hal ini pemodelan dilakukan dengan pemodelan seper-empat dengan derajat bebas sebanyak 2 (2 DOF) (gambar 2). Beberapa asumsi yang digunakan sesuai dengan (Shi Ying, dkk., 2010).

- A. Kendaraan dianggap sebagai benda kaku dengan suspensi
- B. Suspensi terdiri dari pegas suspensi, absorber, berat bodi dan suspensi kendaraan
- C. Kekakuan dan peredaman dari ban dipertimbangkan secara terpisah

Beberapa parameter yang digunakan :

$M$  = Berat Kendaraan

$m$  = Berat Suspensi

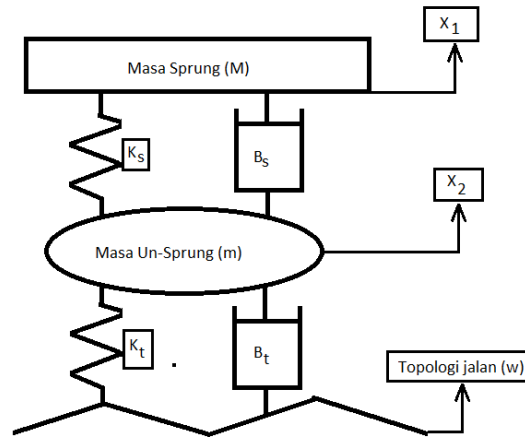
$K_s$  = Kekakuan pegas suspensi

$K_t$  = Kekakuan Ban

$B_s$  = Koefisien peredaman suspensi

$B_t$  = Koefisien peredaman ban

w = Topologi dari jalan (tinggi cembungan jalan)  
X1 = Pergerakan vertikal bodi kendaraan  
X2 = Pergerakan vertikal suspensi  
Δ = Pergeseran/pergerakan Suspensi



Gambar 2. Model suspensi depan ¼ Mobil

Pada model ini, pemodelan matematika hanya mempertimbangkan satu suspensi, dimana sebagai inputannya adalah masa mobil, peredaman dan kekakuan suspensi yang digunakan, kontur jalan dan percepatn/perlambatan dari kendaraan. Berdasarkan hal tersebut, pemodelan matematikanya dapat sebagai berikut (Oluwole,2012; Kamalakannan, dkk., 2011).

$$M \ddot{X}_1 + K_s(X_1 - X_2) + B_s(\dot{X}_1 - \dot{X}_2) = 0 \quad (1)$$

$$m \ddot{X}_2 + K_t(X_2 - w) + B_t(\dot{X}_2 - \dot{w}) - K_s(X_1 - X_2) - B_s(\dot{X}_1 - \dot{X}_2) = 0 \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan di atas, dapat kita bentuk ke dalam persamaan *state-space* sebagai berikut :

$$\dot{X} = AX + Bu$$

$$Y = CX + Du$$

Dimana :

A = matrik state-space; B= matrik masukan; C =matrik luaran; D = matrik transmisi langsung (Direct transmission matrix); u = Masukan sistem

Jika :

$$\dot{X}_1 = V_1; \dot{X}_2 = V_2; (X_1 - X_2) = \Delta; (V_1 - V_2) = \dot{\Delta}$$

Sehingga dari persamaan 1 dan 2 di atas dapat di susun ulang menjadi sebagai berikut :

$$\dot{V}_1 = - \left[ \frac{K_s}{M} \right] \Delta - \left[ \frac{B_s}{M} \right] (V_1 - V_2) \quad (3)$$

$$\dot{V}_2 - [B_t/m]\dot{w} = [K_s/m]\Delta + [K_t/m]w - [K_t/m]X_2 + [B_s/m]V_1 - [(B_s - B_t)/m]V_2 \quad (4)$$

Misalkan :

$\dot{T} = \dot{V}_2 - [B_t/m]\dot{w}$ , sehingga  $T = V_2 - [B_t/m] w$ , sehingga persamaan (4) menjadi :

$$\dot{T} = [K_s/m]\Delta - [K_t/m]X_2 + [(B_s + B_t)/m]T + [[-(B_s B_t)/m^2] - (B_t^2)/m^2 + [K_t/m]]w \quad (5)$$

$$\dot{\Delta} = (V_1 - V_2)$$

$$= V_1 - (T + [B_t/m] w) \quad (6)$$

Dengan memasukkan  $V_2$  ke persamaan 3 didapat :

$$\dot{V}_1 = - \begin{bmatrix} K_s \\ M \end{bmatrix} \Delta - \begin{bmatrix} B_s \\ M \end{bmatrix} V_1 + \begin{bmatrix} B_s \\ M \end{bmatrix} T + [B_s B_t / Mm] w \quad (7)$$

Bentuk matrik state space menjadi :

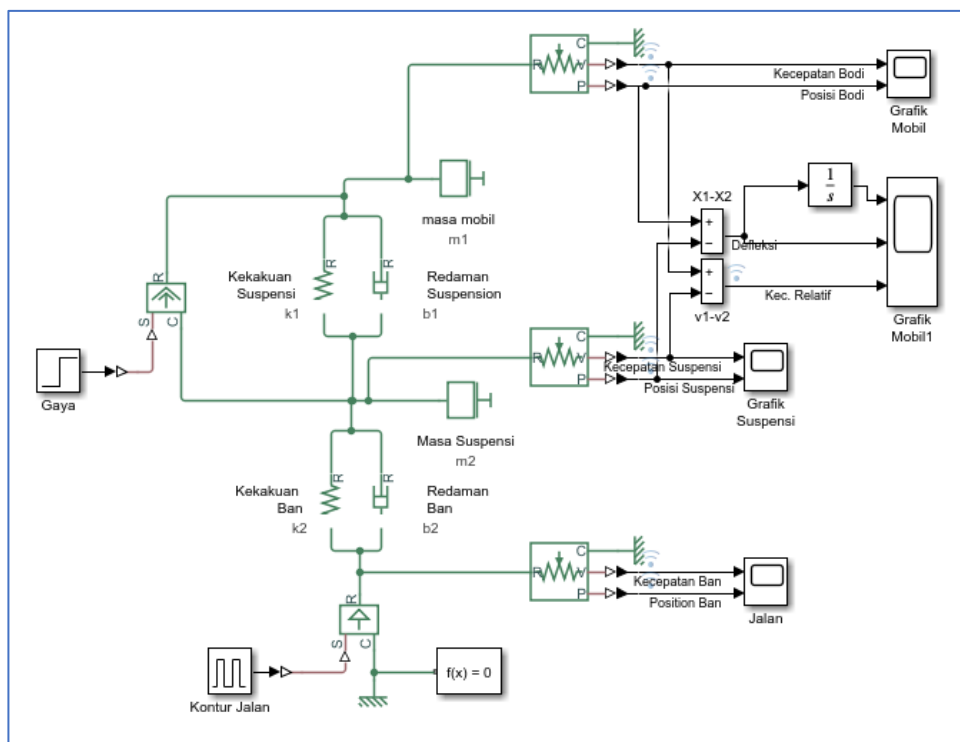
$$\begin{bmatrix} \dot{X}_2 \\ \Delta \\ V_1 \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & -\frac{K_s}{M} & -\frac{B_s}{M} & \frac{B_s}{M} \\ -\frac{K_t}{m} & \frac{K_s}{m} & \frac{B_s}{m} & -\frac{B_s + B_t}{m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_2 \\ \Delta \\ V_1 \\ T \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{B_t}{m} \\ -\frac{B_t}{m} \\ \frac{B_s B_t}{Mm} \\ \frac{B_s B_t}{m^2} - \frac{B_t^2}{m^2} + \frac{K_t}{m} \end{bmatrix} |w|$$

Matrik luarnya sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ V_1 \\ \dot{V}_1 \\ X_2 \\ V_2 \\ \Delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\frac{K_s}{M} & -\frac{B_s}{M} & \frac{B_s}{M} \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_2 \\ \Delta \\ V_1 \\ T \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{B_s B_t}{Mm} \\ 0 \\ \frac{B_t}{m} \\ 0 \end{bmatrix}$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data dan model matematis di atas, program MATLAB SIMULINK digunakan untuk menguji kinerja dari suspensi yang digunakan dalam disain mobil listrik Universitas Mataram ini. Berikut adalah setup model SIMULINK yang dibuat untuk masud tersebut (Gambar 3). Data-data yang digunakan dalam simulasi ini adalah data-data hasil pengujian seperti yang tercantum dalam tabel 1. Hasil dari simulasi di atas dapat dilihat pada gambar 4 dan 5.



Gambar 3. Setup SIMULINK untuk Model suspensi depan 1/4 mobil listrik UNRAM

Kekakuan dan Redaman Ban ditentukan berdasarkan referensi dari hasil pengujian oleh Philips (Singiresu, 2004) dimana kekakuan ban dihitung berdasarkan persamaan :

Ban biasa :  $K_t = 100,0 + 41,6667 * (\text{tekanan ban})$

Ban radial :  $K_t = 430,0 + 27,9167 * (\text{tekanan Ban})$

Sedangkan redaman ban tertera dalam tabel 2.

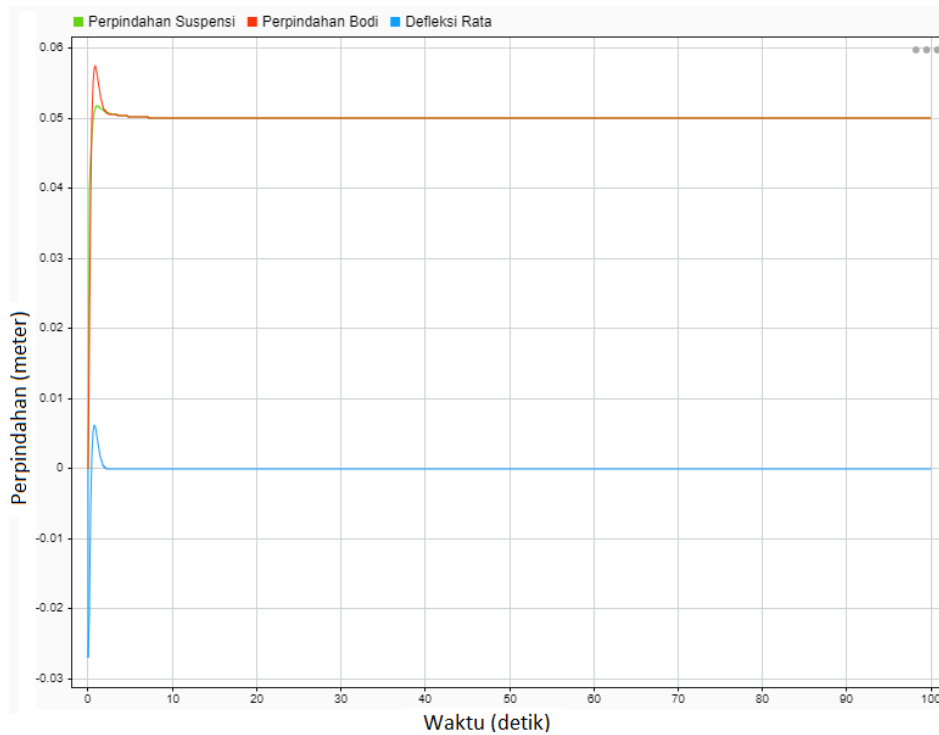
Tabel 2. Data Redaman ban hasil percobaan Philips

| Jenis Ban  | Tekanan ban (Psi) | Koefisien Redaman(kN s/m) |
|------------|-------------------|---------------------------|
| Ban Biasa  | 15                | 4,59                      |
|            | 20                | 4,89                      |
|            | 25                | 4,52                      |
|            | 30                | 4,09                      |
|            | 35                | 4,09                      |
| Ban Radial | 15                | 4,45                      |
|            | 20                | 3,68                      |
|            | 25                | 3,44                      |
|            | 30                | 3,43                      |
|            | 35                | 2,80                      |

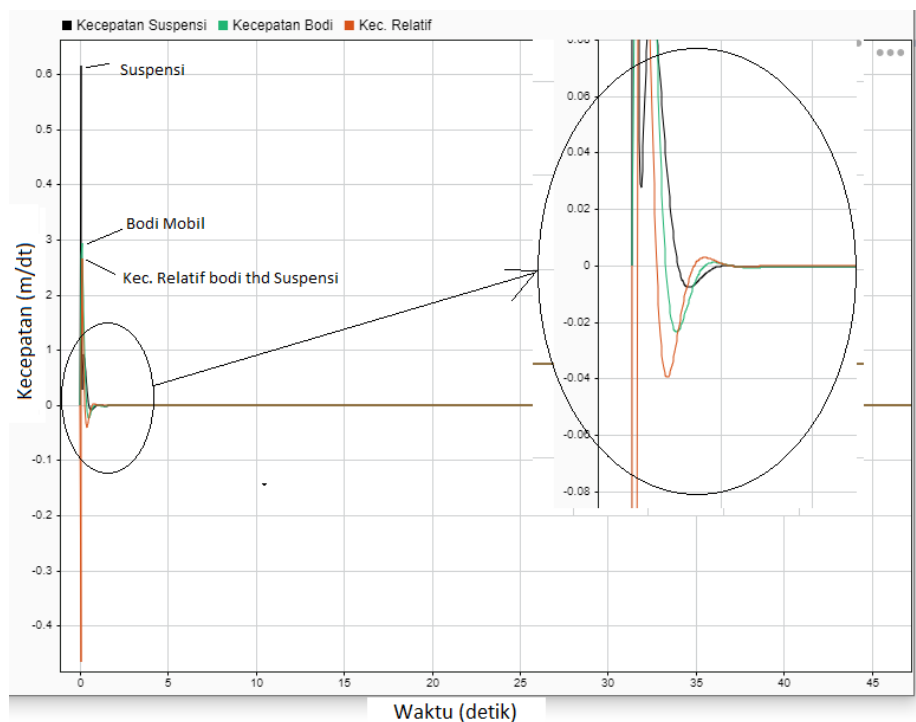
Input parameter dari sistem yang dibangun, berdasarkan hasil penentuan di atas, dimasukkan dalam bentuk file MATLAB (file skrip), sebagai berikut :

```
% Parameter yang digunakan dalam menjalankan simulasi  
m1 = 215; %berat kendaraan kg  
m2 = 85; %berat suspensi kg  
k1 = 2960; %kekakuan suspensi N/m  
k2 = 1267.5; %kekakuan ban N/m  
b1 = 1350; %redaman suspensi N s/M  
b2 = 3430; %redaman ban N s/M
```

Berdasarkan data tersebut, dan data inputan/gundukan (bump) sebesar 10 cm, menghasilkan luaran seperti ditampilkan dalam gambar 4 dan 5. Gambar tersebut menunjukkan luaran perpindahan dan kecepatan perpindahan dari bodi mobil (sprung sistem) dan suspensi (unsprung sistem) yang disebabkan adanya eksitasi berupa inputan sinus sebesar 0.1 m.



Gambar 4. Diagram jarak perpindahan posisi bodi mobil, suspensi dan



Gambar 5. Diagram kecepatan perpindahan bodi mobil dan suspensi

Berdasarkan hasil analisa pada gambar 4 dan 5 dapat dilihat bahwa pada model suspensi untuk sistem  $\frac{1}{4}$  kendaraan dengan kontour jalan dengan ketinggian 0.1 meter (input step) menunjukkan perpindahan/lonjakan posisi bodi dan komponen suspensi tidak melebihi ketinggian kontour jalan (over shoot). Kejadian ini berlangsung sekitar kurang dari 5 detik. Sedangkan kecepatan perpindahan posisi maksimum dari kedua komponen tersebut masing-masing lebih kecil dari 1,2 dan



kurang dari 0.05 m/detik. Kecepatan relatif dari kedua komponen ini sebesar 0.26 m/detik. Nilai dari kedua parameter ini sangat baik ditinjau dari sisi keamanan dan kenyamanan (Marius Constantin Popescu, dkk., 2009; Ales Kruczek and Antonin Stribrsky ,2004). Yang menjadi kendala utama dari disain ini adalah adanya drop/penurunan kecepatan yang terlalu cepat yaitu dari 0.6 ke 0,05 m/detik. Kejadian ini terjadi seperti pengereman yang tiba-tiba. Hal ini akan menyebabkan ketidaknyamanan dari penumpang. Selain itu Masalah ini kemungkinan besar dapat dikendalikan dengan mendisain sistem suspensi dengan suspensi aktif yang dilengkapi dengan kontroller yang mana akan sangat adaptif dengan kontur jalan di Indonesia.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis di atas dapat disimpulkan bahwa pergerakan dan kecepatan pergerakan mobil karena adanya kontour jalan yang bergelombang masih cukup memenuhi syarat kenyamanan. Yang menjadi kendala adalah lamanya osilasi dari bodi kendaraan yaitu kurang dari 10 detik yang akan menyebabkan penumpang sedikit kurang nyaman. Untuk mengatasi ini perlu dilakukan disain ulang dengan sistem suspensi aktif dengan penambahan kontroler .

#### 5. DAFTAR REFERENSI

1. Ales Kruczek and Antonin Stribrsky, "A full-car model for active suspension - some practical aspects", IEEE International Conference on Mechatronics (ICM), 2004, pp. 41-45
2. Balamurugan L., Jancirani J., Eltantawie M. A. Generalized magnetorheological (MR) damper model and its application in semi-active control of vehicle suspension system. International Journal of Automotive Technology, Vol. 15, Issue 3, 2014, p. 419-427.
3. Burdzik R., Konieczny Ł., Adamczyk B. Automatic control systems and control of vibrations in vehicles car. Communications in Computer and Information Science, Vol. 471, 2014, p. 1865-929.
4. Burdzik R., Konieczny Ł., Łazarz B. Influence of damping characteristics changes on vehicles vibration research. 19th International Congress on Sound and Vibration, Lithuania, 2012.
5. Burdzik R., Konieczny Ł. Application of vibroacoustic methods for monitoring and control of comfort and safety of passenger cars. Solid State Phenomena, Vol. 210, 2013, p. 20-25.
6. Cho, S.-W. et al, 2005. Smart passive system based on magnetorheological damper. Smart Materials and Structures 14(4), p. 707.
7. Dixon J. C. The Shock Absorber Handbook Society of Automotive Engineers Inc., Warrendale, PA, 1999.
8. Gillespie T. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. SAE International, 1992.
9. Konieczny Ł. Determination of the damping characteristics of hydropneumatic strut taking into account the chosen parameters. Scientific Journal of Silesian University of Technology, Series Transport, Vol. 69, 2010, p. 85-8
10. Konieczny Ł. The statistical analysis of damping parameters of hydraulic shock absorbers. Diagnostic, Vol. 15, Issue 1, 2014, p. 49-52
11. Oluwole, O. O. , "Matlab and Simulink Use in Response Analysis of Automobile Suspension System in Design", International Journal of Traffic and Transportation Engineering, vol. 1(2), 2012, pp. 19-31.
12. Kamalakannan, K., ElayaPerumal, A., Mangalaramanan, S., and Arunachalam, K, "Performance Analysis and Behaviour Characteristics of CVD (Semi Active) in Quarter Car Model", Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, vol. 5 (3), 2011, pp. 261-265.
13. Marius Constantin Popescu, Cornelia Aida Bulucea and Liliana Perescu Popescu, "Road Vehicle Suspension Modelling", Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Education and Educational Technology, 2009, pp. 113-120.
14. Shi Ying, Tian Xiangtao and Wang Liang, "A model of the 1 / 4 of a simple suspension model simulation and analysis", IEEE International Conference on Educational and Information Technology (ICEIT), vol. 1, 2010, pp. 92-94.