

ANALISA UNJUK KERJA SUSPENSI KENDARAAN LISTRIK UNIVERSITAS MATARAM

THE PERFORMANCE ANALYSIS OF ELECTRIC CAR OF THE UNIVERSITY OF MATARAM

I Gusti Ngurah Ketut Yudhyadi*, Pandri Pandiatmi, Emmy Dyah. S., Ida Bagus Alit

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jln. Majapahit No. 62, Mataram, Nusa Tenggara Barat, 83125, Indonesia

*Corresponding author

E-mail address: ngurah.yudhyadi@unram.ac.id

<https://doi.org/10.29303/empd.v4i1.6342>

ABSTRACT

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 degree of freedoms (2 DOF) was designed and developed its mathematical model. The effects of the road contour were studied and analyzed in term 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.

Keywords: Electric car, Suspension, Simulink

1. Pendahuluan

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 [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. 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.

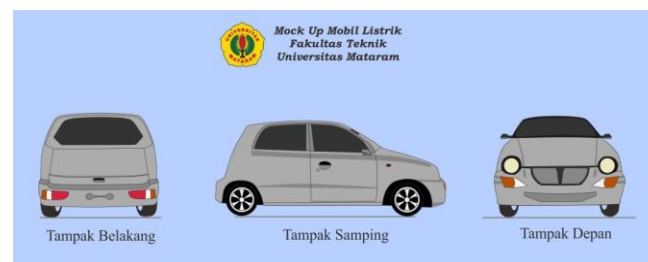
Sistem suspensi dapat dikategorikan sebagai sistem suspensi pasif, semi aktif, dan aktif penuh [9]. Sistem pasif terdiri dari komponen konvensional dengan sifat pegas dan peredam kejut (shock absorber) yang bersifat time-invariant. Elemen pasif hanya dapat menyimpan energi untuk beberapa bagian dari 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 hidrolik. 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. Bahan dan Metode

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

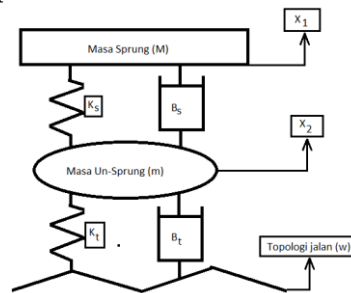
Suspensi memegang peranan yang sangat penting dalam kestabilan dan kenyamanan berkendara. Untuk mendapatkan stabilitas dan kenyamanan, terutama ketika kendaraan melewati suatu

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 [10].

- Kendaraan dianggap sebagai benda kaku dengan suspensi
- Suspensi terdiri dari pegas suspensi, absorber, berat bodi dan suspensi kendaraan
- 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)
 X_1 = Pergerakan vertikal bodi kendaraan
 X_2 = 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 percepatan/perlambatan dari kendaraan. Berdasarkan hal tersebut, pemodelan matematikanya dapat sebagai berikut [11, 12].

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

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

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

$$\dot{X} = AX + Bu \quad (3)$$

$$Y = CX + Du \quad (4)$$

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

$$\dot{X}_1 = V_1; \dot{X}_2 = V_2; (X_1 - X_2) = \Delta; (V_1 - V_2) = \dot{\Delta} \quad (5)$$

Berdasarkan Persamaan 1 dan 2 dapat di susun ulang menjadi Persamaan 6.

$$\dot{V}_1 = - \left[\frac{K_s}{M} \right] \Delta - \left[\frac{B_s}{M} \right] (V_1 - V_2) \quad (6)$$

$$\dot{V}_2 - [B_t/m]\dot{w} = [K_s/m]\Delta + [K_t/m]w - [K_t/m]X_2 + [B_s/m]V_1 - [(B_s - B_t)/m]V_2 \quad (7)$$

Misalkan:

$\dot{T} = \dot{V}_2 - [B_t/m]w$, sehingga $T = V_2 - [B_t/m] w$, sehingga Persamaan 7 menjadi dapat ditulis sebagai berikut.

$$\dot{T} = [K_s/m]\Delta - [K_t/m]X_2 + [(B_s + B_t)/m]T + [-(B_s B_t)/m^2] - (B_t^2)/m^2 + [K_t/m]]w \quad (8)$$

$$\dot{\Delta} = (V_1 - V_2) = V_1 - (T + [B_t/m] w) \quad (9)$$

Dengan memasukkan V2 ke Persamaan 6, maka diperoleh seperti Persamaan 10.

$$\dot{V}_1 = -\left[\frac{K_s}{M}\right]\Delta - \left[\frac{B_s}{M}\right]V_1 + \left[\frac{B_s}{M}\right]T + [B_s B_t/Mm] w \quad (10)$$

Bentuk matrik *state space* sebagai berikut.

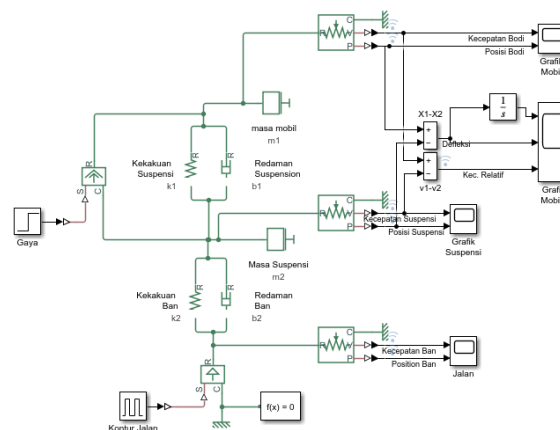
$$\begin{bmatrix} \dot{X}_2 \\ \dot{\Delta} \\ \dot{V}_1 \\ \dot{T} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & -\frac{K_s}{M} & -\frac{B_s}{M} & \frac{B_s}{M} \\ -\frac{K_t}{m} & \frac{K_s}{m} & \frac{B_s}{m} & -\frac{B_s + B_t}{m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_2 \\ \Delta \\ V_1 \\ T \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{B_t}{m} \\ -\frac{B_t}{m} \\ \frac{B_s B_t}{Mm} \\ \frac{B_s B_t}{m^2} - \frac{B_t^2}{m^2} + \frac{K_t}{m} \end{bmatrix} |w|$$

Matrik luarannya 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. Gambar 3 menunjukkan hasil setup model SIMULINK. Data-data yang digunakan dalam simulasi ini adalah data-data hasil pengujian seperti yang tercantum dalam Tabel 1. Hasil dari simulasi seperti ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 3 Setup SIMULINK untuk Model suspensi depan ¼ mobil listrik UNRAM

Kekakuan dan redaman ban ditentukan berdasarkan referensi dari hasil pengujian oleh Philips [13] dengan kekakuan ban dihitung berdasarkan persamaan yaitu untuk ban biasa $K_t = 100,0 + 41,6667 \cdot (\text{tekanan ban})$, dan ban radial $K_t = 430,0 + 27,9167 \cdot (\text{tekanan ban})$, 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

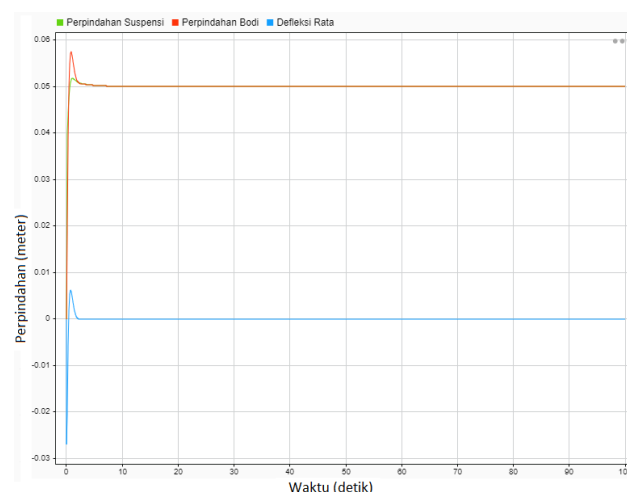
k1 = 2960; % kekakuan suspensi N/m

k2 = 1267.5; %kekakuan ban N/m

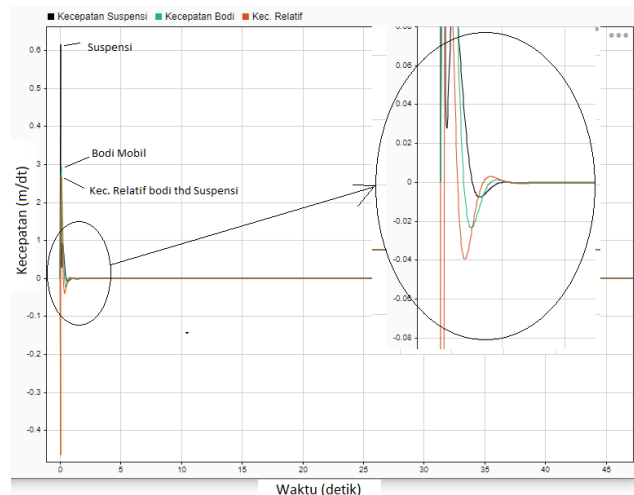
b1 = 1350; % redaman suspensi N s/M

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 system*) dan suspensi (*unsprung system*) yang disebabkan adanya eksitasi berupa inputan sinus sebesar 0,1 m.



Gambar 4 Diagram jarak perpindahan posisi bodi mobil dan suspensi



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 [13, 14]. Yang menjadi kendala utama dari desain 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 ketidak nyamanan 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 kontour jalan di Indonesia.

4. Kesimpulan

Dari hasil analisis 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

Uapan Terima kasih

Penulis memberikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada LPPM Universitas Mataram yang telah memberikan semua fasilitas yang mendukung penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] L. Balamurugan, J. Jancirani, M.A. Eltantawie, Generalised magnetorheological (MR) damper model and its application in semi-active control of vehicle suspension system, *International Journal of Automotive Technology*, 15 (3) (2014) 419-427.
- [2] R. Burdzik, L. Konieczny, B. Adamczyk, Automatic control systems and control of vibrations in vehicles car, *Communications in Computer and Information Science*, 471 (2014) 1865-929.
- [3] R. Burdzik, L. Konieczny, B. Łazarz, Influence of damping characteristics changes on vehicles vibration research, 19th International Congress on Sound and Vibration, Lithuania, 2012.

- [4] R. Burdzik, L. Konieczny, Application of vibroacoustic methods for monitoring and control of comfort and safety of passenger cars, *Solid State Phenomena*, 210 (2013) 20-25.
- [5] S.W. Cho, H.J. Jung, I.W. Lee, Smart passive system based on magnetorheological damper, *Smart Materials and Structures*, 14 (4) (2005) 707.
- [6] J.C. Dixon, *The Shock Absorber Handbook* Society of Automotive Engineers Inc., Warrendale, PA, 1999.
- [7] T.D. Gillespie, *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, SAE International, 1992.
- [8] L. Konieczny, Determination of the damping characteristics of hydropneumatic strut taking into account the chosen parameters, *Scientific Journal of Silesian University of Technology, Series Transport*, 69 (2010) 85-8.
- [9] L. Konieczny, The statistical analysis of damping parameters of hydraulic shock absorbers. *Diagnostic*, 15 (1) (2014) 49-52.
- [10] S. Ying, T. Xiangtao, W. Liang, A model of the 1 / 4 of a simple suspension model simulation and analysis, *IEEE International Conference on Educational and Information Technology (ICEIT)*, 1 (2010) 92-94.
- [11] O.O. Oluwole, Matlab and simulink use in response analysis of automobile suspension system in design, *International Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 1 (2) (2012) 19-31.
- [12] K. Kamalakannan, A. ElayaPerumal, S. Mangalaramanan, K. Arunachalam, Performance analysis and behaviour characteristics of CVD (semi active) in quarter car model, *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 5 (3) (2011) 261-265.
- [13] A. Kruczek, A. Stribrsky, A full-car model for active suspension - some practical aspects, *IEEE International Conference on Mechatronics (ICM)*, (2004) 41-45.
- [14] M.C. Popescu, C.A. Bulucea, L.P. Popescu, Road vehicle suspension modelling, *Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Education and Educational Technology*, (2009) 113-120.