

# PEMODELAN SUSPENSIF AKTIF DENGAN ELEKTROMAGNET UNTUK MENGHASILKAN KENYAMANAN DAN MANUEVER YANG LEBIH BAIK DALAM BERKENDARA

Desmas Arifianto Patriawan<sup>1</sup>, Eriek Wahyu Restu Widodo<sup>2</sup>, Isnan Hariyanto<sup>3</sup>  
Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya  
Jl. Arief Rachman Hakim 100 Surabaya 60117  
email: patriawan87@gmail.com<sup>1</sup>; eriekwidodo@gmail.com<sup>2</sup>; isnan.hariyanto@gmail.com<sup>3</sup>

## ABSTRACT

*This paper studied about comparison of active suspension and conventional suspension. The increasing of electromagnetic force as the active force is used to against the force that happened when the vehicles are shaking or disturbance. The both of systems were modeled and were given disturbance as road position changing. Then, observed how about the frequency, amplitude, and vehicles velocity return to originally position. Result of frequency simulation from both of them obtained good enough result where vertical oscillation movement just 0.1 Hz. Active suspension can reduce the amplitude from 0.4 meters to 0.03 meters. The required time for vehicles returning to the originally position is faster on active suspension. From 100 seconds to 10 seconds*

**Keywords:** *active force, electromagnetic, control and suspension*

## ABSTRAK

Paper ini membahas perbandingan suspensi aktif dan suspensi konvensional. Penambahan gaya elektromagnet sebagai gaya aktif yang digunakan untuk melawan gaya yang terjadi ketika kendaraan mengalami guncangan atau gangguan. Kedua sistem dimodelkan dan diberi gangguan berupa perubahan posisi jalan. Kemudian diamati bagaimana frekuensi, amplitudo dan kecepatan kendaraan kembali pada posisi semula. Dari hasil simulasi frekuensi yang dihasilkan keduanya cukup baik dimana gerak osilasi vertikal hanya sebesar 0.1 Hz. Suspensi aktif dapat mengurangi amplitudo dari 0.4 meter menjadi 0.03 meter. Waktu yang diperlukan kendaraan untuk kembali pada posisi semula juga semakin cepat pada suspensi aktif. Dari 100 detik menjadi 10 detik.

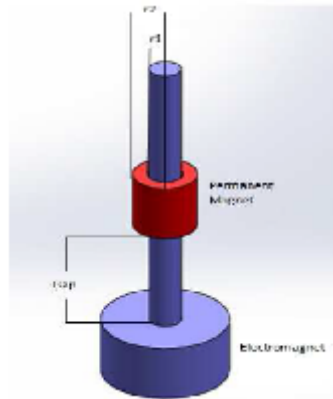
**Kata kunci:** *Gaya aktif, elektromagnet, Kontrol dan Suspensi*

## PENDAHULUAN

Penggunaan gelombang dan gaya elektromagnet semakin berkembang. Gelombang elektromagnet baru-bau ini adalah dapat digunakan sebagai dasar untuk membuat *wireless charging* [1]. Sedangkan gaya elektromagnet dapat digunakan untuk menghasilkan gaya angkat pada kereta cepat [2]. Gaya angkat dari elektromagnet biasa disebut *electromagnetic suspension*.

Gaya angkat elektromagnet ini dapat juga diaplikasikan untuk membuat suspensi pada kendaraan, sehingga kendaraan dapat lebih nyaman dan lebih baik dalam bermanuver [3]. Kenyamanan dalam berkendara dapat terganggu jika mengalami dua kondisi. Kondisi pertama adalah mabuk (*motion sickness*). *Motion sickness* dapat terjadi jika pengendara mendapatkan gerak osilasi vertikal pada frekuensi di atas 1 Hz [4]. Kondisi kedua adalah *head toss* (benturan kepala) terjadi jika kendaraan gerak berputar secara tiba-tiba. *Head toss* terjadi jika kendaraan bergerak secara tiba-tiba dari kiri ke kanan dan menghasilkan frekuensi pada tubuh sebesar ~2-8 Hz [5].

Masalah kenyamanan yang dibahas hanya pada kondisi pertama, dimana aktif suspensi akan mengurangi gerak osilasi secara vertikal. Terdapat beberapa cara untuk memodelkan aktif suspensi. Aktif suspensi dapat dimodelkan sebagai maglev (*magnetic levitation*) yang ditambahkan konstanta peges. Sistem maglev sederhana dapat dilihat pada gambar 1.

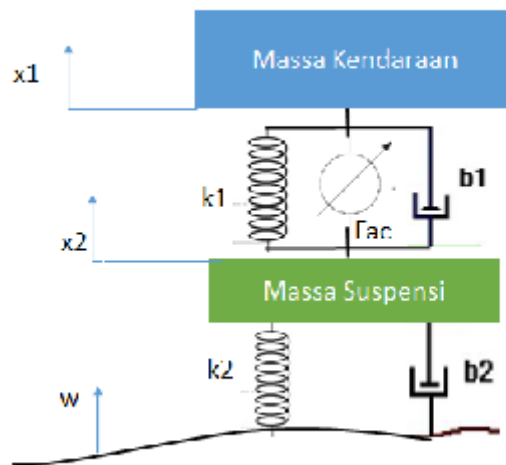


**Gambar 1.** Sistem maglev [6].

Sistem maglev terdapat dua cara, yaitu repulsive dan attractive (Pramujati, 2015), masing-masing cara memiliki kelebihan dan kekurangan. Namun semua sistem maglev juga memerlukan kendali untuk mendapatkan lebar gap (celah) yang diinginkan. Celah ini yang digunakan sebagai posisi referensi kendaraan. Kendali digunakan untuk mengurangi osilasi jika terjadi gangguan dan segera mengembalikan pada posisir eferensi.

**METODE PENELITIAN**

Tujuan pemelitian ini untuk mendapatkan pemodelan suspense aktif yang dapat mengurangi gerakan osilasi secara vertical dan membandingkan kinerja dengan suspense konvensional. Suspensi pada kendaraan dapat dimodelkan seperti Gambar 2.



**Gambar 2.** Pemodelan kendaraan.

Dimana kendaraan yang digunakan sebagai pemodelan adalah sepeda motor. Massa sepeda motor  $m_1$  adalah 165 kg. Dengan konstanta pegas  $k_1$  adalah 120 N/m, konstanta peredam  $b_1 = 5 N_s/m$ . Massa suspensi  $m_2 = 3 kg$ , konstanta pegas dari ban  $k_2 = 475 N/m$  dan konstanta peredam pada ban  $b_2 = 102 N_s/m$ .

Model suspense dan parameter sudah didapatkan. Langkah berikutnya adalah membuat persamaan matematika dengan mencari transfer function supaya model dari suspense kendaraan dapat disimulasikan. Pada Gambar 2 dan dengan hukum Newton persamaan dinamik dari model:

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 &= -b_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - k_1(x_1 - x_2) + U \\ m_2 \ddot{x}_2 &= b_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_1(x_1 - x_2) + b_2(\dot{w} - \dot{x}_2) + k_2(w - x_2) - U \end{aligned}$$

Dimana  $U$  adalah gaya kontroler yang digunakan sebagai pengendali maglev untuk menghasilkan gaya redaman. Semua diasumsikan pada kondisi nol, jadi persamaan memperlihatkan situasi ketika roda bus terkena lubang. Persamaan dinamik dapat diekspresikan dalam bentuk transfer function dengan menggunakan Transformasi Laplace pada persamaan diatas. Turunan dari persamaan di atas dari transfer function  $G_1(s)$  dan  $G_2(s)$  dari output  $x_1 - x_2$  dan dua input  $U$  dan  $w$ . Terdapat dua transfer function. Tranfer function  $G_1(s)$  adalah saat input control hanya  $U(s)$  dan pengaturan  $W(s) = 0$ . Maka persamaan transfer function adalah:

$$\begin{aligned} G_1(s) &= \frac{X_1(s) - X_2(s)}{U(s)} \\ &= \frac{(m_1 + m_2)s^2 + b_2s + k_2}{(m_1s^2 + b_1s + k_1) \cdot (m_2s^2 + (b_1 + b_2)s + (k_1 + k_2)) - (b_1s + k_1) \cdot (b_1s + k_1)} \end{aligned}$$

Transfer function pada saat diberi gangguan yaitu dengan input  $W(s)$  saja, sehingga:

$$\begin{aligned} G_2(s) &= \frac{X_1(s) - X_2(s)}{W(s)} \\ &= \frac{-m_1b_2s^3 - m_1k_2s^2}{(m_1s^2 + b_1s + k_1) \cdot (m_2s^2 + (b_1 + b_2)s + (k_1 + k_2)) - (b_1s + k_1) \cdot (b_1s + k_1)} \end{aligned}$$

Simulasi yang dilakukan dengan transfer function  $G_2(s)$  untuk medapatkan system suspensi yang robust terhadap gangguan.

Pemodelan pada suspense kendaraan sudah didapatkan. Proses berikutnya adalah membuat persamaan dari gaya aktif. Gaya aktif  $F_{act}$  ini digunakan untuk melawan gerakan osilasi yang terjadi pada kendaraan saat terjadi gangguan. Gaya aktif didapatkan dari gaya elektromagnet. Gaya electromagnet adalah:

$$F_{act} = B \times IL$$

Dimana  $B$  adalah vector medan magnet,  $I$  adalah besar arus listrik dan  $L$  adalah vector panjang kawat.

Namun gaya aktif yang dihasilkan electromagnet perlu untuk dikendalikan, supaya gaya aktif dapat meredam gangguan. Kontroler yang digunakan adalah dengan menggunakan control PID dengan persamaan:

$$G_{PID} = \frac{U(s)}{E(s)} = K_P(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s)$$

Pada kontroler PID diperlukan tuning untuk mendapatkan respon yang diinginkan. Salah satu metode dalam melakukan tuning adalah menggunakan metode Ziegler Nichols. Formula metode tuning Ziegler Nichols dapat dilihat pada table 1.

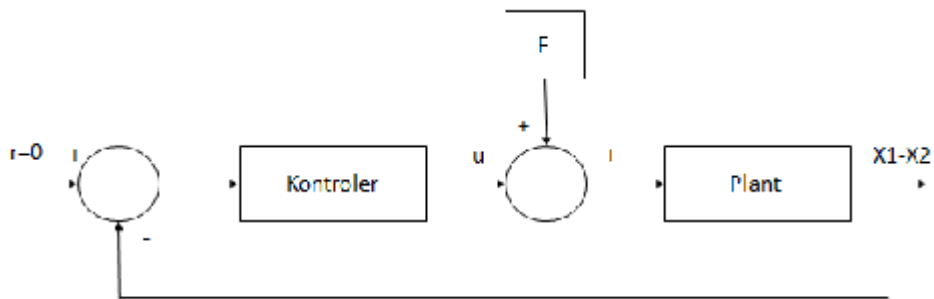
**Tabel 1.** Formula tunning Ziegler Nichols (no 14 dari Pramujati)

Controller type	$K_P$	$T_i$	$T_d$
P	$0.5 K_{cr}$	$\infty$	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$1/1.2 P_{cr}$	0
PID	$0.6 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

Dimana  $K_{cr}$  dan  $P_{cr}$  merepresentasikan dari gain tertinggi dan frekuensi masing-masing.

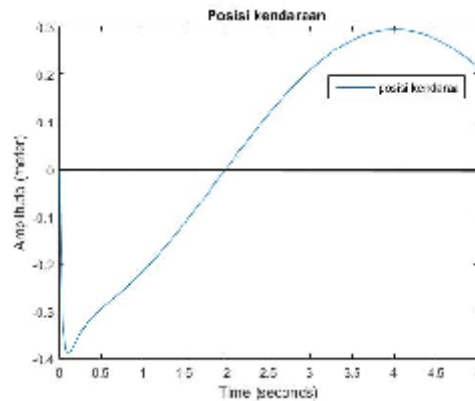
### HASIL SIMULASI

Hasil simulasi dibagi menjadi dua. Bagian pertama adalah hasil simulasi pada suspense kendaraan tanpa menggunakan control aktif. Gambar 3 menunjukan blok diagram dari system suspense dari kendaraan.



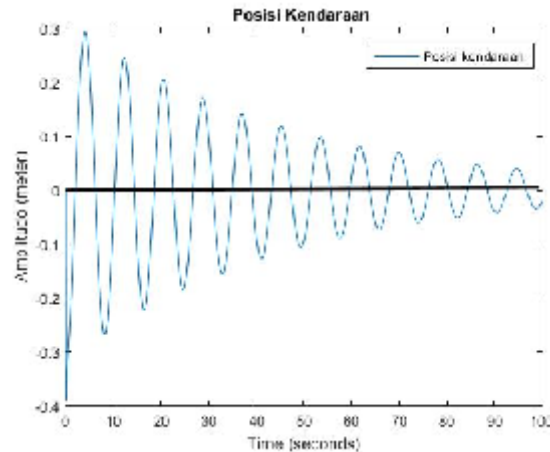
**Gambar 3.** Blok diagram dari system suspensi.

Hasil simulasi pada bagian pertama nilai dari controller tidak diaktifkan, sehingga system suspense bekerja secara open loop tanpa ada umpan-balik. Hasil pada bagian pertama didapatkan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Posisi kendaraan terhadap gangguan pada  $t = 5$  detik.

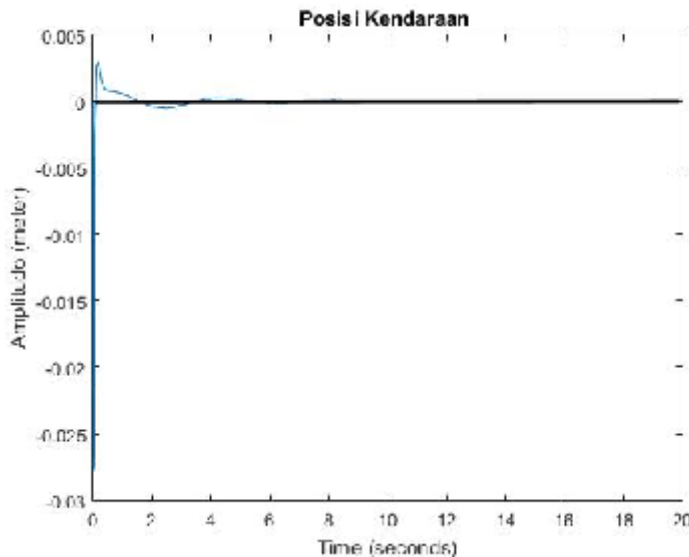
Gambar 4 menunjukkan adanya osilasi pada pemodelan suspensi pada kendaraan. Osilasi terjadi ketika system diberi gangguan sebesar  $4W$ . Amplitudo terbesar mendekati 0.4 meter terhadap posisi referensi. Namun frekuensi yang menghasilkan lebih kecil dari 1 Hz, sehingga masalah dari kenyamanan terhadap frekuensi vertical tidak terjadi. Tetapi amplitude yang besar juga menjadi masalah kenyamanan berikutnya. Ditambah lamanya kendaraan untuk kembali pada posisi semula. Gambar 5 menunjukkan posisi kendaraan pada  $t=100$  detik.



Gambar 5. Posisi kendaraan terhadap gangguan selama  $t = 100$  detik.

Gambar 5 menunjukkan kendaraan tidak dapat kembali pada posisi semula pada saat  $t = 100$  detik. Hal ini dapat mengganggu kenyamanan dalam berkendara dan bermanufer. Dari Gambar 5 dapat dilihat gaya aktif masih diperlukan. Gaya aktif dapat berfungsi ketika nilai dari controller diaktifkan.

Bagian kedua adalah dengan mengaktifkan gaya aktif yang nanti mengurangi besar osilasi dan mempercepat kendaraan kembali pada posisi semula. Gaya k aktif akan bekerja setelah controller diaktifkan, karena electromagnet akan menghasilkan gaya ketika terdapat sinyal arus pada kontroler. Gambar 6 menunjukkan posisi kendaraan ketika gaya aktif diberikan.



Gambar 6. Posisi kendaraan setelah diberi gaya aktif.

Gambar 6 menunjukkan bahwa penambahan gaya aktif dapat mengurangi amplitudo dan mempercepat kendaraan kembali pada posisi semula. Amplitudo berkurang dan semakin cepat kendaraan pada posisi semula membuat kendaraan dapat bermanuver lebih baik. Selain itu semakin kecil amplitudo juga menambah kenyamanan dalam berkendara.

## KESIMPULAN

Pemodelan dan simulasi dari aktif suspensi memberikan dampak yang signifikan dalam berkendara. Gerak osilasi vertikal tidak terlalu besar dari hasil simulasi frekuensi menunjukkan 0.1 Hz, jauh lebih kecil dari ambang batas yaitu 1 Hz. Amplitudo juga berkurang dari 0.4 menjadi 0.03 meter. Waktu yang dibutuhkan kendaraan untuk dapat kembali pada posisi semula juga semakin cepat. Dari 100 detik menjadi 10 detik.

Gerak osilasi yang kecil membuat pengemudi atau penumpang tidak mabuk (head toss). Semakin kecil amplitudo dan semakin cepat kendaraan kembali pada posisi semula, semakin baik kendaraan bermanuver. Dari pemodelan ini dapat disimpulkan bahwa pemberian gaya aktif pada suspensi mampu menghasilkan kenyamanan dan performa kendaraan yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kumar, D., Xaxal, A., Sahu, D.K., 2015. *Electromagnet Wave Theory Based Wireless Charger*. International Journal of Electronics and Communication Engineering, Vol 2 No.3, Maret, 2015.
- [2] Yaghoubi, H. 2012. *Practical Application of Magnetic Levitation Technology*. Final Report, September, 2012.
- [3] Gysen, B.L.J., dkk, 2010. *Active Electromagnet Suspension System for Improved Vehicle Dynamics*. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.59 No.3, Maret, 2010.
- [4] A.J. Benson, "Motion Sickness", Encyclopedia of Occupational Health and Safety, J.M. Stellman, Ed., 4<sup>th</sup> ed. Geneva, Switzerland: Int. Labour Office, 1998.
- [5] Barnes G.R., dan Rance, B.H. 1975. *Head Movement Induced by Angular Oscillation of Body in the Pitch and Roll Axes*. Aviat. Space Environ. Med. Vol.46 No.8, Agustus, 1975.
- [6] Patriawan, D., Pramujatidan, B., Nurhadi, H. 2014. *Preliminary Study on Magnetic Levitation Modelling Using PID Control*. Journal of Applied Mechanics and Material, Vol.493 pp. 517-522, 2014.
- [7] Pramujati, B., Nurhadi, H., dan Patriawan, D. 2015. *A Study on the Effect of an Attractive and a Repulsive Force with Feedback Control on a Magnetic Levitation System*, International Journal of Scientific and Engineering Research, Vo. 6 Issue.6, June. 2015