

# Analisa Gerakan Rolling, Pitching, dan Vertikal Truk 3 Axle dengan Penggerak Motor Listrik IWM pada Saat Melewati Polisi Tidur

Ivan Christian Hernando<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra  
Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia

\*Penulis korespondensi; E-mail: [ivan.hernando@petra.ac.id](mailto:ivan.hernando@petra.ac.id)

---

## ABSTRAK

Paper ini menginvestigasi bagaimana gerakan rolling, pitching, dan gerakan vertikal dari sebuah truk dengan tiga axle. Analisa ini diselesaikan dengan melakukan pemodelan dinamis terlebih dahulu pada truk kemudian setelah model dinamik didapatkan selanjutnya dilakukan pembuatan model Simulink pada software Matlab. Analisa dilakukan dengan membuat asumsi kendaraan melewati sebuah polisi tidur. Kendaraan melewati polisi tidur dengan kecepatan yang disesuaikan dengan kecepatan roda berputar dimana roda digerakkan oleh sebuah motor yang tertanam pada velg atau disebut dengan in wheel motor. Hasil pergerakan dari masing-masing bagian dari truk yang dipertimbangkan ditampilkan dalam bentuk grafik. Dari hasil tersebut dapat terlihat bahwa truk membutuhkan sebuah alat untuk meredam getaran dari rolling. Hal ini mengakibatkan tinggi perpindahan maksimum dari tempat duduk adalah 11.2 cm yang dimana hampir sama dengan tinggi maksimum polisi tidur yang tentu akan mengurangi kenyamanan pengemudi.

**Kata kunci:** Truk tiga axle, getaran, simulasi.

## ABSTRACT

*This paper investigates the rolling, pitching, and vertical movements of a three-axle truck. This analysis was completed by first performing dynamic modeling on the truck, then after obtaining the dynamic model, a Simulink model was created in Matlab software. The analysis is carried out by making the assumption that the vehicle will pass a speed bump. The vehicle passes the bumps at a speed that is adjusted to the speed of the rotating wheels where the wheels are driven by a motor embedded in the wheel or called an in-wheel motor. The movement results of each considered part of the truck are displayed in graphical form. From these results, it can be seen that trucks need a tool to dampen vibrations from rolling. This results in a maximum displacement height of the seat being 11.2 cm which is almost the same as the maximum height bump which will certainly reduce driver comfort.*

**Keywords:** Three-axle truck, vibration, simulation.

---

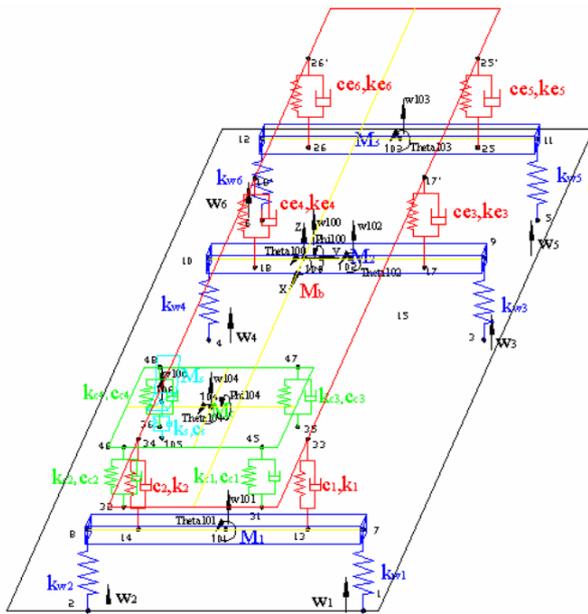
## PENDAHULUAN

Analisa vibrasi berkontribusi secara besar untuk memberikan perbaikan berbagai bidang dan produk seperti dunia penerbangan, transportasi, dan lain sebagainya [1-3]. Secara umum, tujuan akhir yang ingin dicapai melalui analisa vibrasi ini adalah untuk menghilangkan vibrasi yang tidak diinginkan. Eksitasi searah vertikal terjadi karena adanya interaksi antara roda dan permukaan jalan. Ketinggian permukaan jalan yang tidak rata serta kecepatan kendaraan yang tidak sama akan menyebabkan tingkat getaran yang berbeda [4-5].

Penelitian terdahulu yang telah dilakukan adalah analisa vibrasi truk tiga axle pada kecepatan

rendah dengan interaksi roda dan jalan berupa gelombang sinusoidal. Penelitian menggunakan model truk Benz 2624 yang dimodelkan dalam 19 DOF. Didapati bahwa gerakan rolling menjadi semakin besar seiring dengan bertambahnya waktu [6]. Penelitian ini tidak memperhatikan kondisi jalan yang lain. Untuk itu, pada paper ini dilakukan analisa gerakan pada truk tiga axle pada saat melewati sebuah polisi tidur. Disamping itu, kondisi longitudinal kendaraan ditentukan oleh model motor IWM sebagai penggerak truk. Dinamika linear dari model truk dapat diturunkan sesuai dengan referensi [7], sedangkan dinamika rotasinya dapat diturunkan sesuai dengan referensi [8].

## METODE



Gambar 1. Model dinamik truk 3 axle [9]

Truk dengan 3 axle dapat dimodelkan seperti pada gambar 1. Melalui gambar tersebut dapat terlihat input dari track berupa perpindahan vertikal yang berada pada masing-masing roda yaitu pada roda 1 adalah  $w_1$ , perpindahan pada roda 2 adalah  $w_2$ , perpindahan pada roda 3 adalah  $w_3$ , perpindahan pada roda 4 adalah  $w_4$ , perpindahan pada roda 5 adalah  $w_5$ , perpindahan pada roda 6 adalah  $w_6$ . Perpindahan pusat massa vertikal pada axle pertama (depan) dilambangkan dengan  $w_{101}$ , perpindahan pusat massa vertikal pada axle kedua (tengah) dilambangkan dengan  $w_{102}$ , dan perpindahan pusat massa vertikal pada axle ketiga (belakang) dilambangkan dengan  $w_{103}$ . Pusat massa axle juga mengalami rotasi searah sumbu  $x$ . Rotasi searah sumbu  $x$  pada axle pertama dilambangkan dengan  $\theta_{101}$ , rotasi searah sumbu  $x$  pada axle kedua dilambangkan dengan  $\theta_{102}$ , rotasi searah sumbu  $x$  pada axle kedua dilambangkan dengan  $\theta_{103}$ .

Ketiga axle terhubung dengan body truk melalui sistem pegas dan peredam. Pusat massa body truk mengalami perpindahan vertikal yaitu  $w_{100}$ . Pusat massa body truk juga mengalami rotasi searah sumbu  $x$  yaitu  $\theta_{100}$  dan rotasi searah sumbu  $y$  yaitu  $\phi_{100}$ . Kepala truk terhubung dengan body truk melalui 4 sistem pegas dan peredam pada ujung-ujungnya. Pusat massa kepala truk mengalami perpindahan vertikal yaitu  $w_{104}$ . Pusat massa kepala truk juga mengalami rotasi searah sumbu  $x$  yaitu  $\theta_{104}$  dan rotasi searah sumbu  $y$  yaitu  $\phi_{104}$ . Pada bagian dalam kepala truk terdapat kursi pengemudi yang dihubungkan ke kepala truk dengan pegas dan peredam. Kursi pengemudi mengalami perpindahan secara vertikal yaitu  $w_{106}$ . Model motor dan roda pada truk ini menggunakan model berdasarkan referensi [10].

Berdasarkan keterangan diatas maka dapat dibuat model *simulink* pada *software* Matlab. Model *Simulink* dari masing-masing *degree of freedom* dapat dilihat pada gambar 1 s.d 8.

Nilai konstanta-konstanta massa, momen inersia, konstanta pegas, konstanta redaman pada masing-masing bagian truk sesuai dengan referensi [9] dapat dilihat pada tabel 1.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi dilakukan dengan memberikan tegangan pada motor sebesar 110kV dan waktu simulasi 25 detik. Tegangan ini membuat truk bergerak maju dengan grafik kecepatan seperti gambar 9.

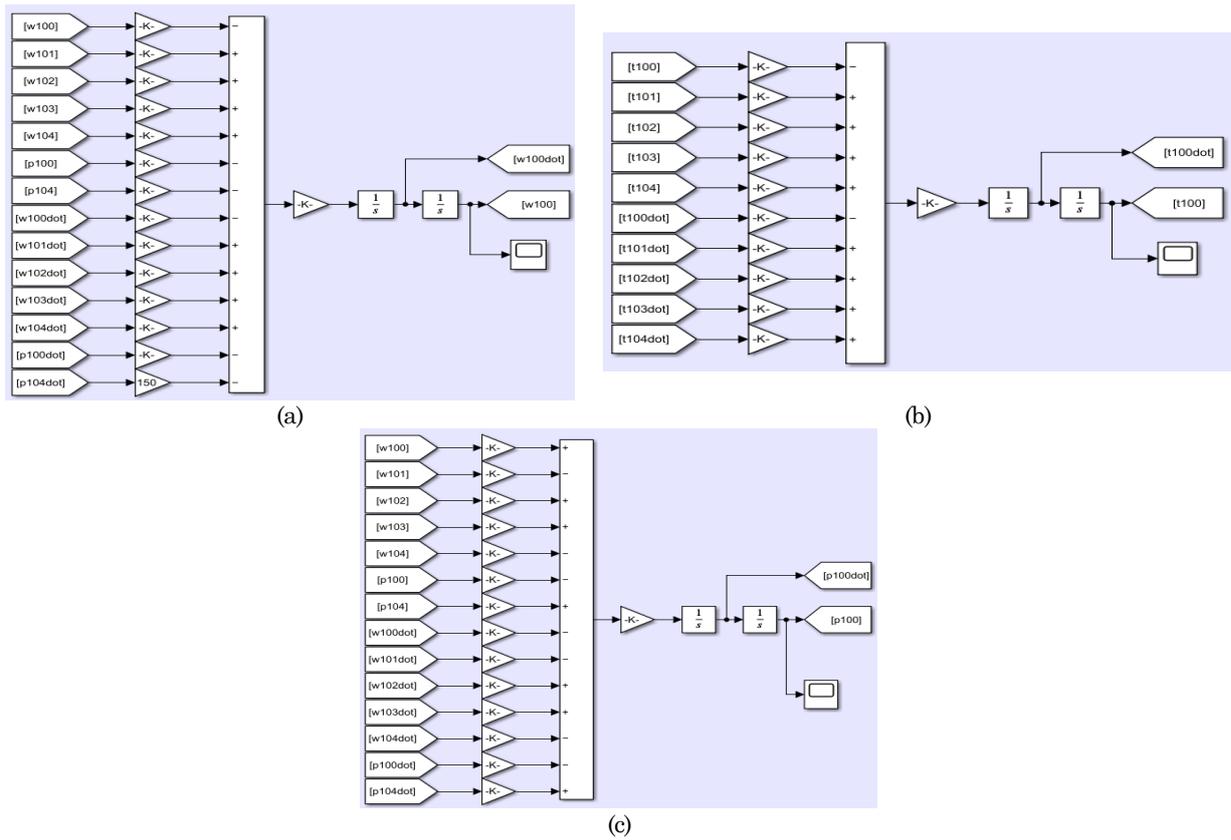
Melalui gambar 9 terlihat bahwa kendaraan mengalami percepatan konstan ditandai dengan kemiringan grafik kecepatan terhadap waktu yang stabil. Eksitasi dari masing-masing roda, gerakan pusat axle terhadap sumbu  $z$ , dan gerakan *rolling* dari masing-masing axle dapat dilihat seperti pada gambar 10.

Melalui grafik gambar 10 terlihat bahwa dengan kondisi eksitasi yang sama, pusat axle belakang mengalami perubahan pada arah sumbu  $z$  yang lebih kecil namun mengalami gerakan *rolling* yang lebih besar. Gerakan *rolling* dari masing-masing axle memiliki frekuensi yang mendekati sama dan gerakan *rolling* pada kedua axle belakang identik sehingga grafiknya bertumpukan. Gerakan searah pada sumbu  $z$ , *rolling*, dan *pitching* dari body truk dapat dilihat pada gambar 11.

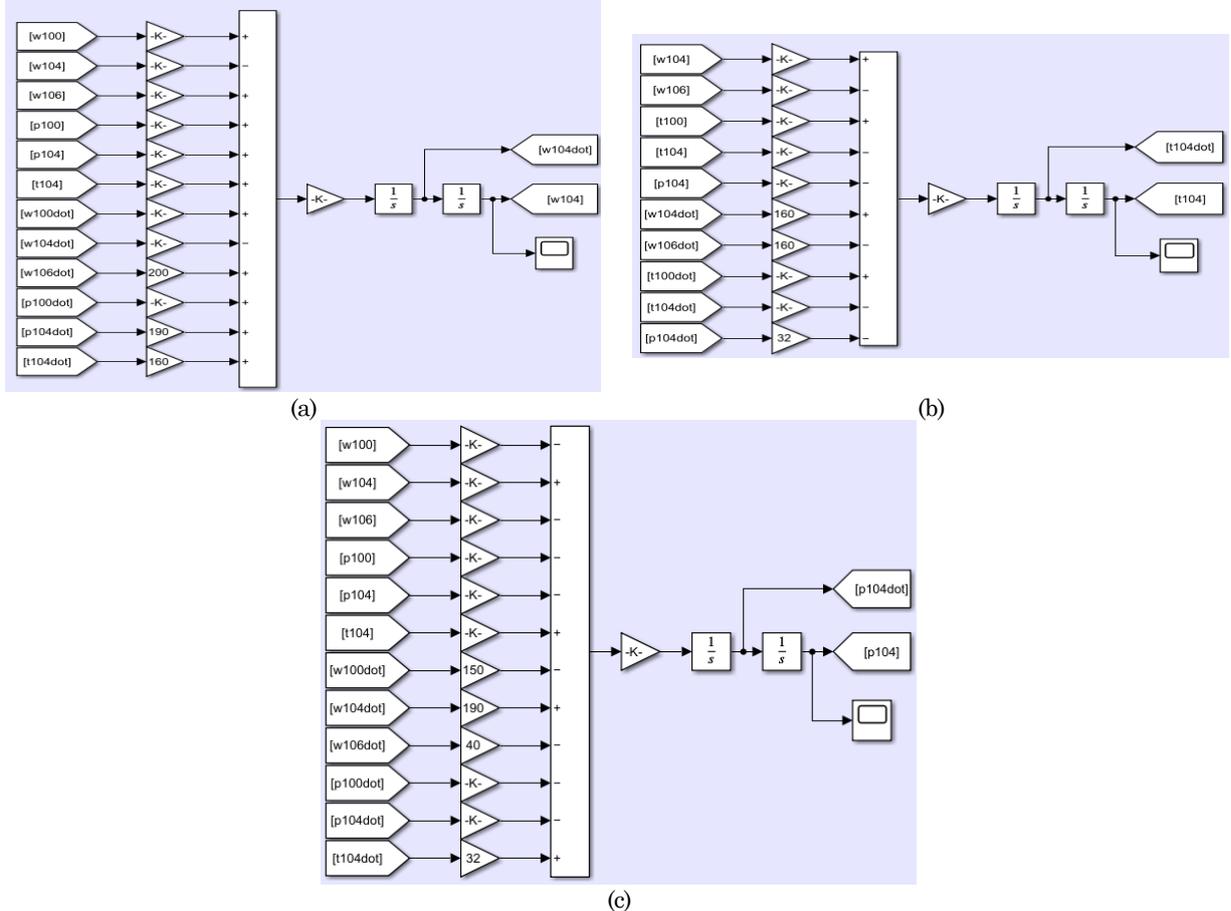
Melalui grafik gambar 11 terlihat bahwa gerakan searah pada sumbu  $z$  memiliki perpindahan maksimum mendekati setengah dari ketinggian maksimum polisi tidur. Terlihat bahwa pada gerakan *pitching* memiliki nilai beda sudut yang lebih besar dibandingkan dengan gerakan *rolling* namun dapat teredam dengan lebih cepat. Gerakan searah pada sumbu  $z$ , *rolling*, dan *pitching* dari kepala truk dapat dilihat pada gambar 12.

Melalui grafik gambar 12 terlihat bahwa gerakan searah sumbu  $z$  dan *rolling* membentuk *trend* yang sama dengan gerakan pada body truk namun gerakan *pitching* memiliki *trend* yang berkebalikan dengan gerakan pada body truk. Nilai maksimum pada masing-masing gerakan pada kepala truk memiliki nilai terbesar yang lebih besar dari gerakan pada body truk. Gerakan searah pada sumbu  $z$  dari kursi pengemudi truk dapat dilihat pada gambar 13.

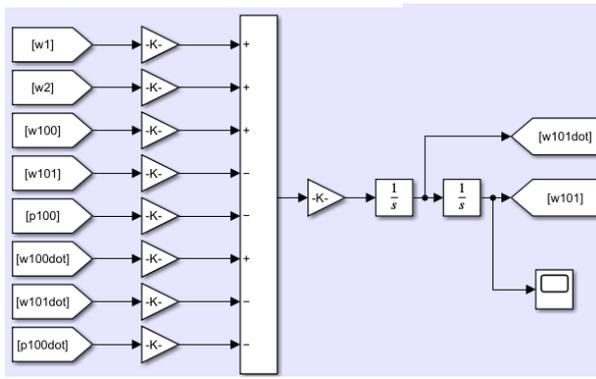
Melalui grafik gambar 13 terlihat bahwa perpindahan terbesar searah sumbu  $z$  mendekati nilai ketinggian maksimum polisi tidur. Disamping itu, gerakan searah pada sumbu  $z$  dari kursi pengemudi mengalami osilasi yang berkelanjutan dengan peredaman yang kurang baik sehingga kursi pengemudi masih bergerak searah sumbu  $z$  walaupun semua roda truk telah melewati polisi tidur. Ketinggian dari polisi tidur adalah 12 cm dengan lebar datar 15 cm dan kemiringan 15% sesuai dengan referensi [11].



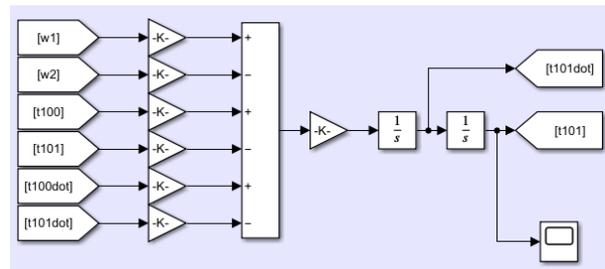
Gambar 2. Block Simulink body truk (a) gerakan vertical, (b) gerakan rolling, (c) gerakan pitching



Gambar 3. Block Simulink kepala truk (a) gerakan vertical, (b) gerakan rolling, (c) gerakan pitching

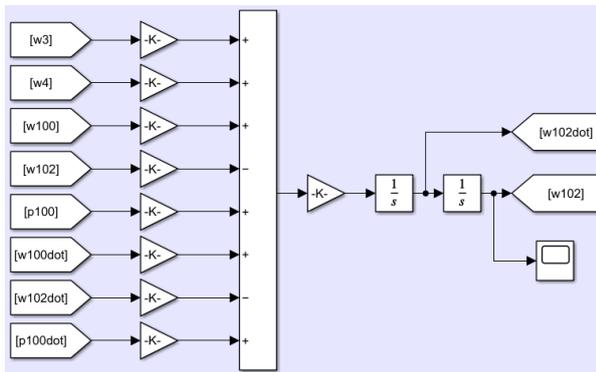


(a)

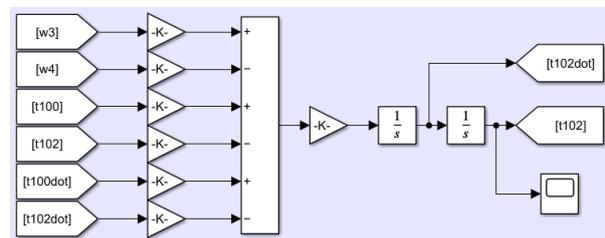


(b)

**Gambar 4.** Block Simulink axle pertama truk (a) gerakan vertical, (b) gerakan rolling

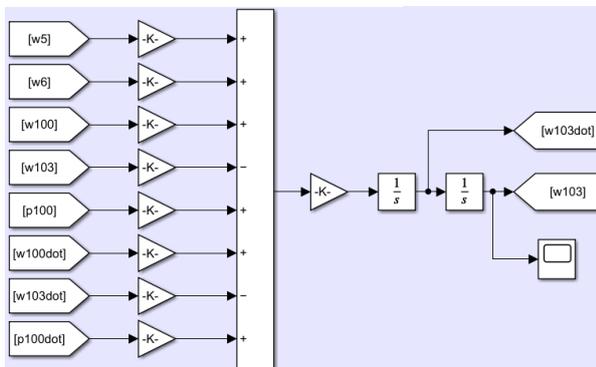


(a)

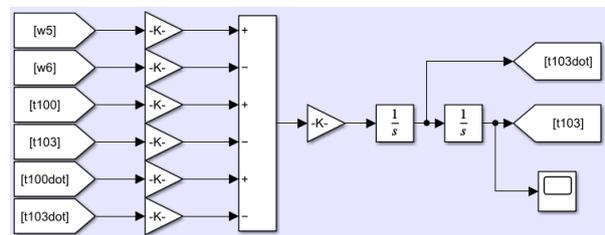


(b)

**Gambar 5.** Block Simulink axle kedua truk (a) gerakan vertical, (b) gerakan rolling

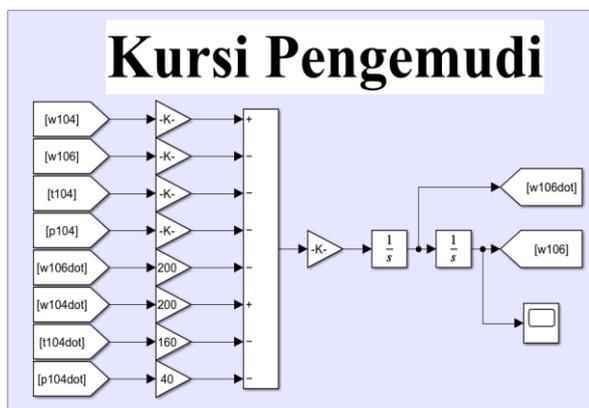


(a)

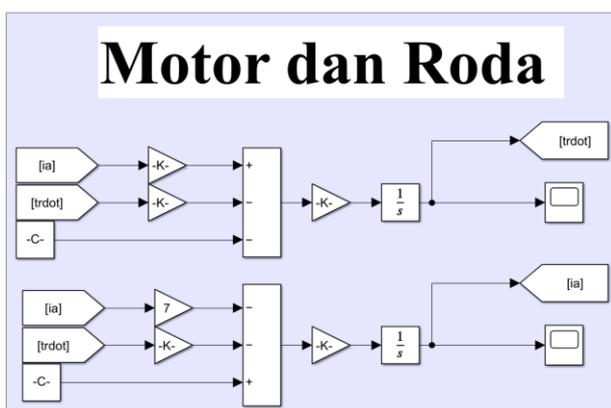


(b)

**Gambar 6.** Block Simulink axle ketiga truk (a) gerakan vertical, (b) gerakan rolling



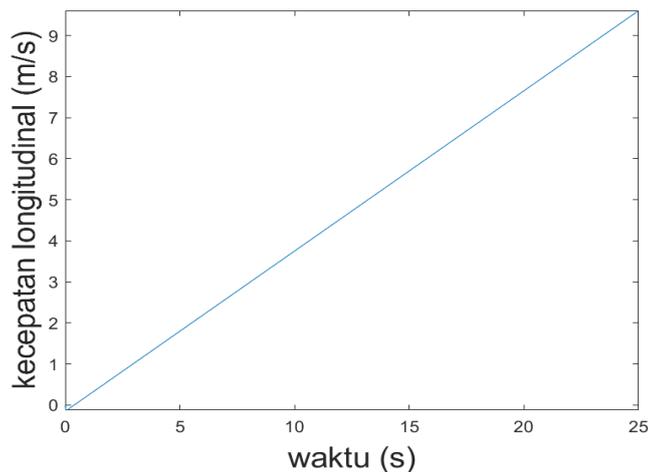
**Gambar 7.** Block Simulink tempat duduk truk



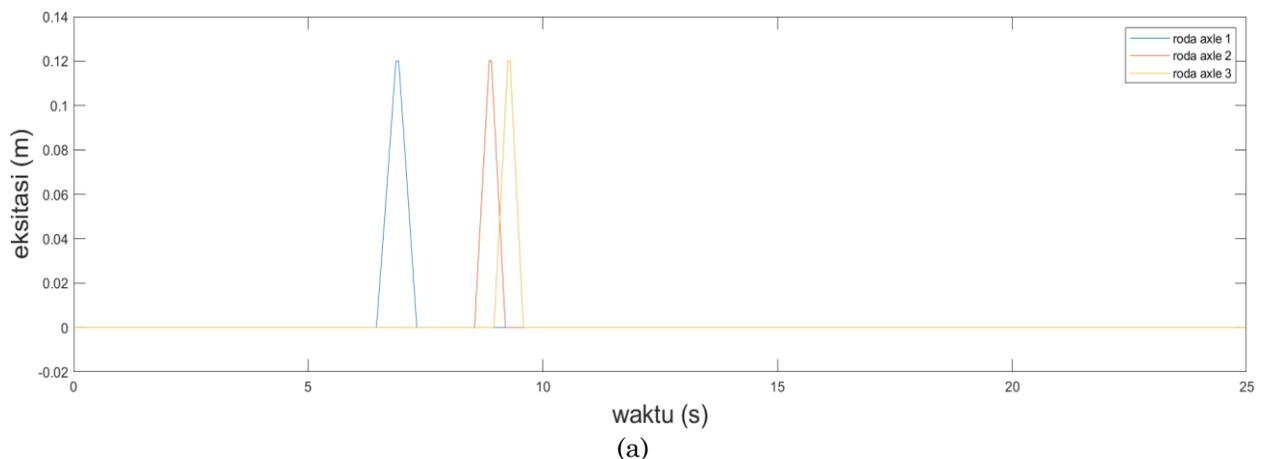
**Gambar 8.** Block Simulink motor dan roda truk

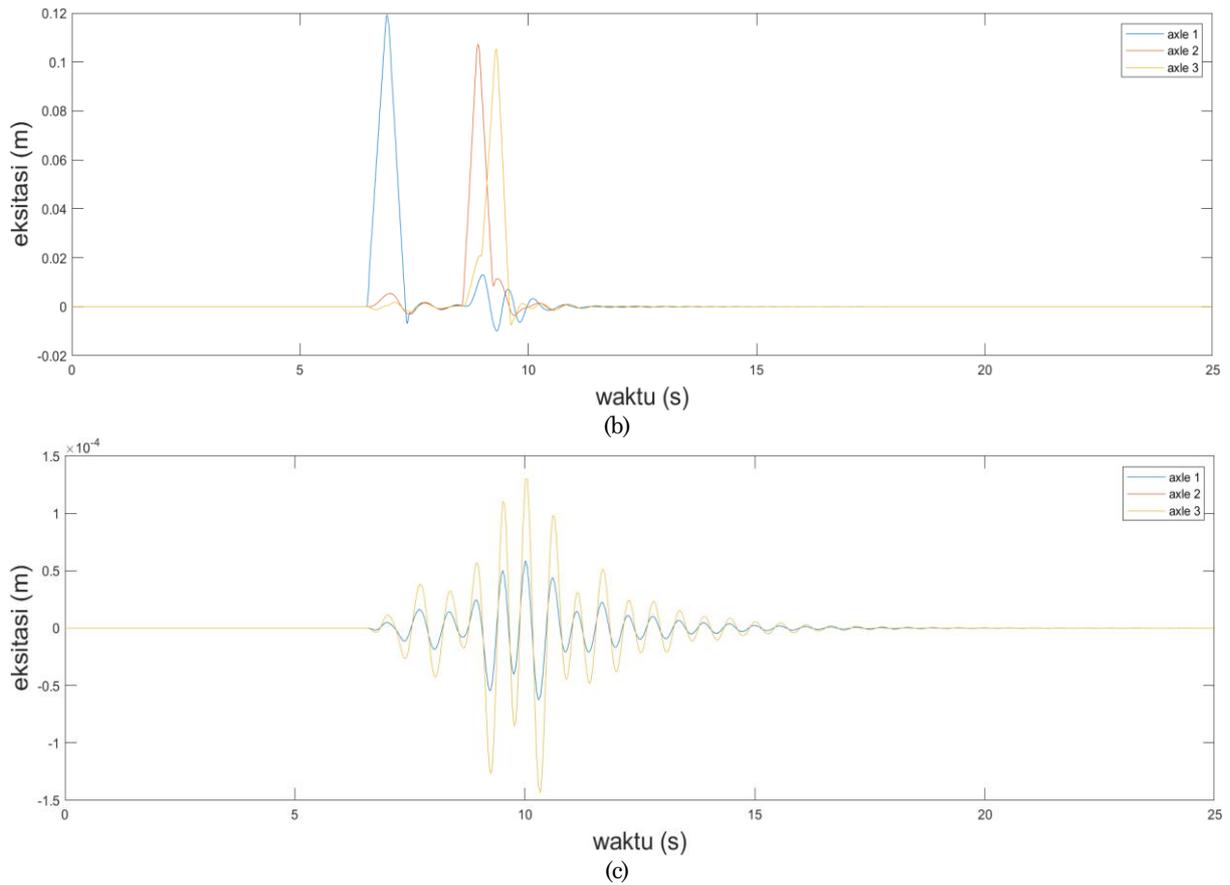
Tabel 1. Daftar nilai konstanta

Konstanta	Pengertian	Nilai
$M_s$	Massa tempat duduk dan pengemudi	120kg
$M_c$	Massa kepala truk	500kg
$I_{cx}$	Momen inersia kepala truk terhadap sumbu x	150kg · m <sup>2</sup>
$I_{cy}$	Momen inersia kepala truk terhadap sumbu y	100kg · m <sup>2</sup>
$M_b$	Massa <i>body</i> truk	19000kg
$I_{bx}$	Momen inersia <i>body</i> truk terhadap sumbu x	7800kg · m <sup>2</sup>
$I_{by}$	Momen inersia <i>body</i> truk terhadap sumbu y	78000kg · m <sup>2</sup>
$M_1$	Massa axle pertama	450kg
$I_{1x}$	Momen inersia axle pertama truk terhadap sumbu x	280kg · m <sup>2</sup>
$M_2$	Massa axle kedua	1025kg
$I_{2x}$	Momen inersia axle kedua truk terhadap sumbu x	510kg · m <sup>2</sup>
$M_3$	Massa axle ketiga	1025kg
$I_{3x}$	Momen inersia axle ketiga truk terhadap sumbu x	510kg · m <sup>2</sup>
$k_s$	Konstanta pegas tempat duduk	20 · 10 <sup>3</sup> N/m
$k_{c1}, k_{c2}, k_{c3}, k_{c4}$	Konstanta pegas kepala truk ( $k_c$ )	100 · 10 <sup>3</sup> N/m
$k_1, k_2$	Konstanta pegas axle pertama ( $k_f$ )	10.2 · 10 <sup>4</sup> N/m
$k_3, k_4, k_5, k_6$	Konstanta pegas axle kedua dan ketiga ( $k_r$ )	20.9 · 10 <sup>4</sup> N/m
$k_{w1}, k_{w2}$	Konstanta kekakuan roda depan ( $k_{wf}$ )	0.69 · 10 <sup>6</sup> N/m
$k_{w3}, k_{w4}, k_{w5}, k_{w6}$	Konstanta kekakuan roda penggerak ( $k_{wr}$ )	1.38 · 10 <sup>6</sup> N/m
$c_s$	Konstanta redaman tempat duduk	0.2 · 10 <sup>3</sup> Ns/m
$c_{c1}, c_{c2}, c_{c3}, c_{c4}$	Konstanta redaman kepala truk ( $c_c$ )	0.75 · 10 <sup>3</sup> Ns/m
$c_1, c_2$	Konstanta redaman axle pertama ( $c_f$ )	7028.5Ns/m
$c_3, c_4, c_5, c_6$	Konstanta redaman axle kedua dan ketiga ( $c_r$ )	14090.78Ns/m

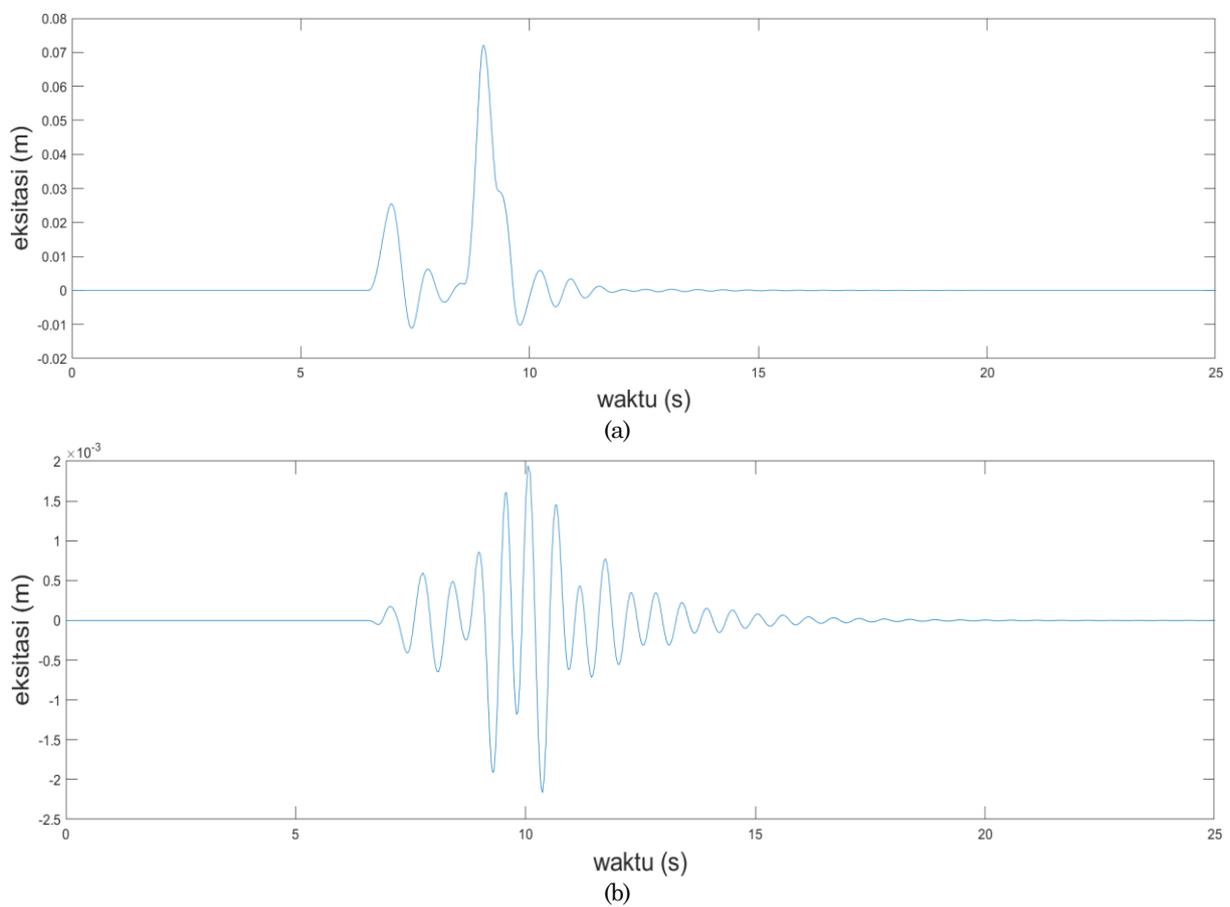


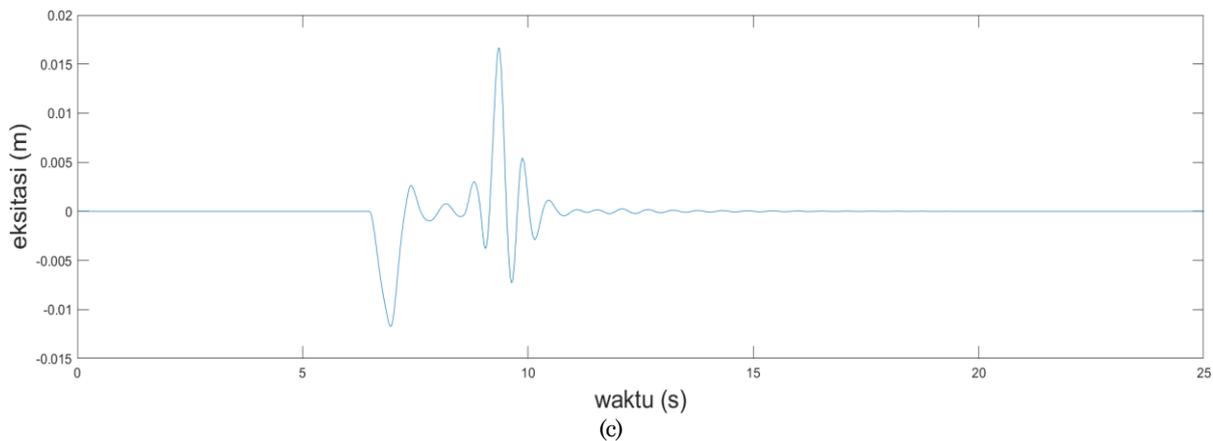
Gambar 9. Grafik kecepatan truk (m/s) terhadap waktu (s)



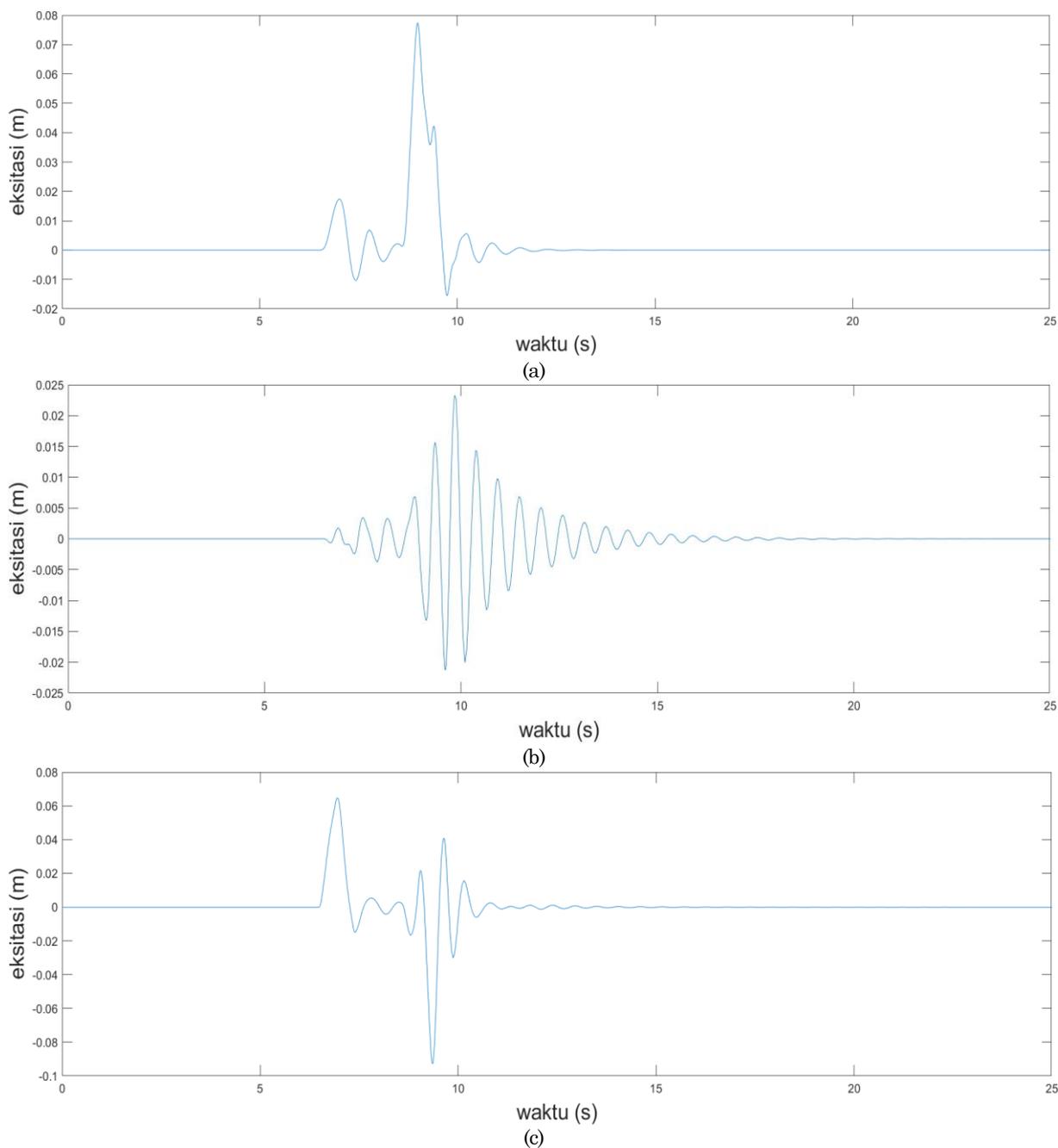


**Gambar 10.** Grafik eksitasi masing-masing roda (a), gerakan pusat axle terhadap sumbu z (b), dan gerakan *rolling* (c) dari masing-masing axle

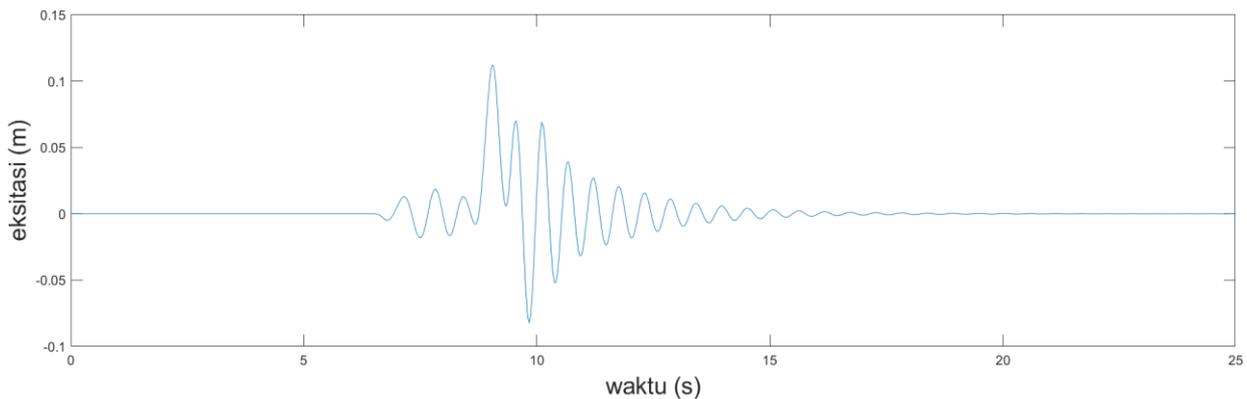




Gambar 11. Grafik gerakan searah pada sumbu z (a), rolling (b), dan pitching (c) dari body truk



Gambar 12. Grafik gerakan searah pada sumbu z (a), rolling (b), dan pitching (c) dari kepala truk



**Gambar 13.** Grafik gerakan searah pada sumbu z dari kursi pengemudi truk

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang didapatkan maka dapat disimpulkan bahwa secara umum gerakan *rolling* pada truk merupakan gerakan yang paling kecil peredamannya jika dibandingkan dengan bagian truk lainnya. Hal ini ditandai dengan adanya osilasi yang berkelanjutan walaupun semua roda truk telah melewati polisi tidur. Selain itu, didapati bahwa pada kursi pengemudi, gerakan searah sumbu z mengalami perpindahan yang cukup besar. Hal ini dapat terjadi karena adanya kontribusi dari gerakan *rolling* komponen lain dan peredaman kursi pengemudi yang kurang baik. Untuk itu disarankan kendaraan truk dapat menambahkan komponen peredam gerakan *rolling* seperti *sway bar* dan peredam pada kursi penumpang. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk mempertimbangkan gerakan *yawing*, gerakan searah sumbu y, dan sumbu x dari kendaraan untuk bisa memahami karakteristik truk yang lebih utuh.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mardanpour, P., Izadpanahi, E., Rastkar, S., Fazelzadeh, S.A., & Hodges, D. H. (2017). Geometrically Exact, Fully Intrinsic Analysis of Pre-Twisted Beams Under Distributed Follower Forces. *AIAA Journal*, 1-13.
- [2] Mardanpour, P., Izadpanahi, E., Rastkar, S., & Hodges, D.H. (2017). Nonlinear Aeroelastic Gust Suppression and Engine Placement. *Journal of Aircraft*, 1-4.
- [3] Mardanpour, P., Izadpanahi, E., Rastkar, S., & Hodges, D.H. (2017). Effects of engine placement on nonlinear aero elastic gust response of high-aspect-ratio wings. *In AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference* (p. 0576)
- [4] Hunt HEM (1991) Modelling of road vehicles for calculation of traffic-induced ground vibrations as a random process. *J Sound Vib.* 144(1):41–51. doi:10.1016/0022-460X(91)90731-X
- [5] Cebon D (1993) Interaction between heavy vehicles and roads. Warrendale (USA): Society of Automotive Engineers, SP951: ISBN: 1-56091-336-3
- [6] Hoseiniakram, P., & Rahmani, A. (2018). Vibration Analysis on Three-Axle Truck in Low Speed Induced By Sinusoidal Road Pavement. *In IJESC*, 16239-16247.
- [7] Y. I. Bobrovnitskii. (1999). Some Energy Relation for Mechanical Systems. *IUTAM Symposium on Statical Energy Analysis Solid Mechanics and Its Application*. vol. 67, 37-46.
- [8] Close, C. M., Frederick, D. K., & Newell, J. C. (2001). *Modeling and Analysis of Dynamic Systems*. 3<sup>rd</sup> edition.
- [9] Li, B. (2006). *3D dynamic modeling and simulation of a multi-degree of freedom 3-axle rigid truck with trailing arm bogie suspension*. University of Wollongong. (Thesis Report)
- [10] Kalaiselvi, K., Abinaya, K., & Babu, P. R. (2018). Mathematical Modeling and Dynamic Simulation of DC Motors using MATLAB/Simulink Environment. *International Journal of Modern Trends in Engineering and Research*, 9-19.
- [11] Azhari, J. R. (2019, February 11). Mengenal Jenis Polisi Tidur yang Sesuai Standar Pemerintah. Retrieved from Kompas.com: <https://megapolitan.kompas.com/read/2019/02/11/16534581/mengenal-jenis-polisi-tidur-yang-sesuai-standar-pemerintah>