

Terbit online pada laman web jurnal : <http://metal.ft.unand.ac.id>**METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal**

| ISSN (Print) 2598-1137 | ISSN (Online) 2597-4483 |



Artikel Penelitian

**Analisis Respon Landing Gear pada Pesawat Tanpa Awak Saat Mendarat**

Lovely Son\*, Firman Zain, Mulyadi Bur

Laboratorium Dinamika Struktur Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Andalas, Padang, 25163, Indonesia

\*Corresponding Author

## INFORMASI ARTIKEL

## Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 05 September 2020

Revisi Akhir: 15 September 2020

Diterbitkan Online: 08 Oktober 2020

## KATA KUNCI

Landing gear

Respon

Dinamik

Mekanisme

Simulasi

## KORESPONDENSI

E-mail: [lovelyson@eng.unand.ac.id](mailto:lovelyson@eng.unand.ac.id)

## A B S T R A C T

Penelitian ini membahas tentang analisis respon dinamik pada landing gear pesawat tanpa awak saat mendarat. Penelitian diawali dengan pemodelan mekanisme landing gear untuk mendapatkan harga kekakuan dan redaman ekuivalen. Penurunan persamaan gerak dilakukan dengan asumsi sistem getaran satu derajat kebebasan. Respon sistem dihitung dari persamaan gerak secara analitik. Simulasi numerik dilakukan untuk mendapatkan grafik respon simpangan dan percepatan. Evaluasi respon sistem dilakukan untuk sejumlah variasi dimensi batang dan kekakuan pegas pada mekanisme landing gear. Dari hasil simulasi ditunjukkan bahwa harga maksimum amplitudo respon percepatan berbanding terbalik dengan harga maksimum amplitudo respon simpangan. Disamping itu, peningkatan harga kekakuan pegas  $k_s$  menyebabkan meningkatnya harga maksimum respon percepatan dan mengurangi amplitudo respon simpangan pada landing gear.

**1. PENDAHULUAN**

Pesawat tanpa awak (UAV) merupakan jenis pesawat tanpa pilot yang bisa dikendalikan dari jarak jauh menggunakan *remote control system* atau komputer[1]. Dewasa ini, pesawat tanpa awak telah digunakan pada sejumlah bidang aplikasi diantaranya : militer, survey dan pemetaan, pertanian, kehutanan, kelautan dan perikanan dan banyak aplikasi lainnya.

Landing gear adalah salah satu komponen penting pada pesawat tanpa awak. Landing gear berfungsi untuk menahan berat pesawat saat diam dan bermanuver di landasan pacu serta mengurangi beban kejut saat mendarat[2].

Sebuah landing gear yang baik mempunyai beberapa karakteristik tertentu seperti : mempunyai kekakuan ekuivalen yang cukup besar

sehingga mampu menahan berat pesawat dan mengurangi defleksi statik. Disamping itu, sistem landing gear juga harus mampu mengurangi beban kejut yang terjadi saat mendarat. Hal penting lainnya yang harus dimiliki oleh landing gear adalah memiliki bobot cukup ringan sehingga massa landing gear tidak banyak mempengaruhi bobot total dari pesawat[3].

Saat mendarat, pesawat mengalami beban kejut yang sangat besar akibat tumbukan yang terjadi antara roda dan landasan pacu. Gaya kejut ini ditransmisikan dari roda ke struktur pesawat melalui sistem landing gear sehingga menghasilkan percepatan yang sangat besar pada badan pesawat. Harga percepatan yang sangat besar saat tumbukan dapat merusak struktur dan komponen elektronik yang berada di dalam pesawat.

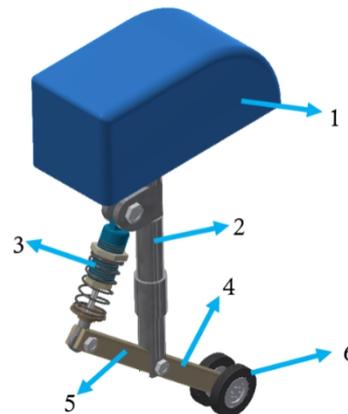
Untuk mengurangi harga percepatan saat tumbukan, sistem landing gear harus memiliki kekakuan yang cukup rendah sehingga gaya yang ditransmisikan saat mendarat cukup kecil. Akan tetapi, harga kekakuan yang terlalu kecil menyebabkan meningkatkan defleksi dari sistem landing gear[4].

Sejumlah model landing gear telah dikembangkan oleh para ahli untuk mengurangi respon getaran pada pesawat akibat beban kejut. Luo[5] mengajukan suatu model landing gear berbasis rangkaian kinematik *double-lock overconstrained*. Sivakumar [6] menggunakan metode pengendalian aktif pada sistem landing gear pesawat. Adipta [7] mengembangkan sistem landing gear berbasis mekanisme empat batang untuk mengurangi respon kejut pada pesawat.

Untuk mengurangi beban kejut saat mendarat dan sekaligus menahan berat dari pesawat maka perlu dirancang dengan baik dimensi batang dan pegas yang digunakan pada sistem landing gear[8,9,10]. Pada penelitian ini dikembangkan konsep landing gear berbasis mekanisme kinematik untuk mengurangi gaya kejut serta percepatan pada pesawat tanpa awak saat mendarat. Analisis dilakukan dengan memvariasikan panjang batang serta kekakuan pegas dan melihat efeknya terhadap harga maksimum respon percepatan dan simpangan pada badan pesawat.

## 2. ANALISIS POSISI

Pada Gambar 1 diperlihatkan model landing gear yang diusulkan pada penelitian ini. Gambar 1 menunjukkan model massa pesawat (1) yang ditumpu oleh mekanisme landing gear. Mekanisme landing gear terdiri atas batang vertikal (2), pegas dan redaman (3), batang pengungkit (4,5) dan roda(6).



Gambar 1. Model pesawat dengan landing gear

Pada Gambar 2 diperlihatkan hubungan geometri dari batang-batang mekanisme landing gear. Sudut  $\theta$  adalah sudut yang dibentuk oleh batang pengungkit dengan sumbu horizontal. Berdasarkan geometri seperti ditunjukkan pada Gambar 2, diperoleh beberapa hubungan yaitu:

$$x = l_2 \cos \theta \tag{1}$$

$$y = l_3 - l_2 \sin \theta \tag{2}$$

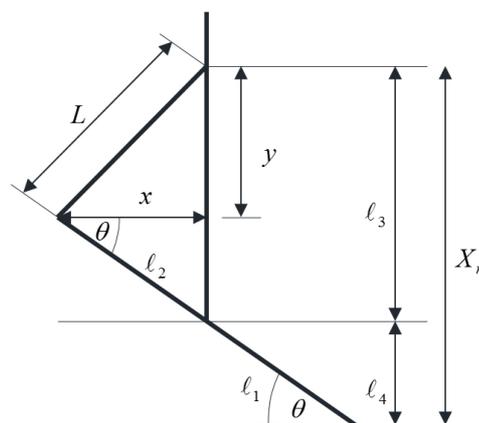
$$L = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{(l_2 \cos \theta)^2 + (l_3 - l_2 \sin \theta)^2} \tag{3}$$

$$l_4 = l_1 \sin \theta \tag{4}$$

$$X_m = l_3 + l_1 \sin \theta \tag{5}$$

$$\Delta x = X_m - X_{m0} \tag{6}$$

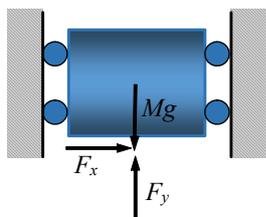
$$\beta = 180 - \theta \tag{7}$$



Gambar 2. Hubungan geometri dari batang-batang landing gear

### 3. ANALISIS STATIK

Analisis statik digunakan untuk melihat hubungan antara gaya-gaya yang bekerja pada sistem landing gear terhadap simpangan dalam kondisi statik(diam). Analisis statik pada landing gear diturunkan berdasarkan diagram benda bebas seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram benda bebas kondisi statik pada massa pesawat

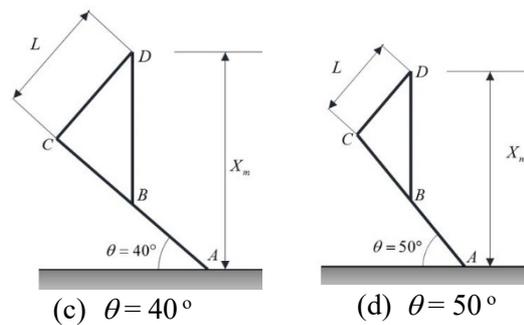
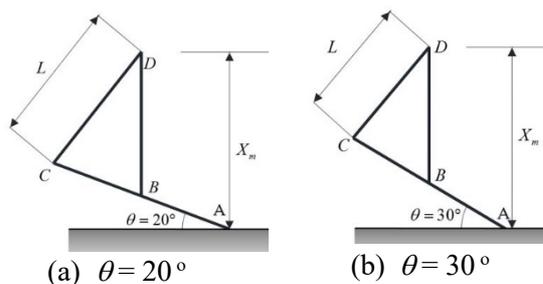
Persamaan keseimbangan gaya statik pada massa pesawat dalam arah vertikal dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Mg = \left\{ \frac{\ell_2}{\ell_1} \frac{\sin \left[ a \tan \left( \frac{\ell_3 - \ell_2 \sin \theta_1}{\ell_2 \cos \theta_1} \right) + \theta_1 \right]}{\cos \theta} \right\} \cdot k_s \Delta L \quad (8)$$

### 4. METODOLOGI

Penelitian ini diawali dengan pemodelan landing gear. Langkah berikutnya adalah analisis posisi untuk menentukan hubungan antara sudut  $\beta$ ,  $\Delta x$  dan  $L$ . Dalam hal ini, hubungan ketiga variabel tersebut dianalisis untuk variasi sudut  $\theta = 20^\circ - 50^\circ$ .

Pada Gambar 4 diperlihatkan beberapa konfigurasi dari mekanisme landing gear untuk variasi sudut  $\theta = 20^\circ - 50^\circ$ .



Gambar 4. Konfigurasi landing gear

Hubungan antara gaya berat terhadap perpindahan ( $\Delta x$ ) digunakan untuk mendapatkan harga kekakuan ekuivalen dari sistem. Harga kekakuan yang diperoleh secara analitik dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan perangkat lunak AUTOCAD. Pada Tabel 1 diperlihatkan data dimensi dan material batang vertikal dan batang pengungkit pada mekanisme landing gear.

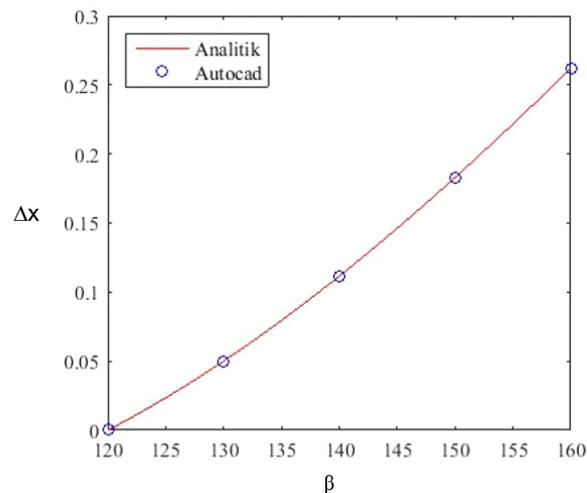
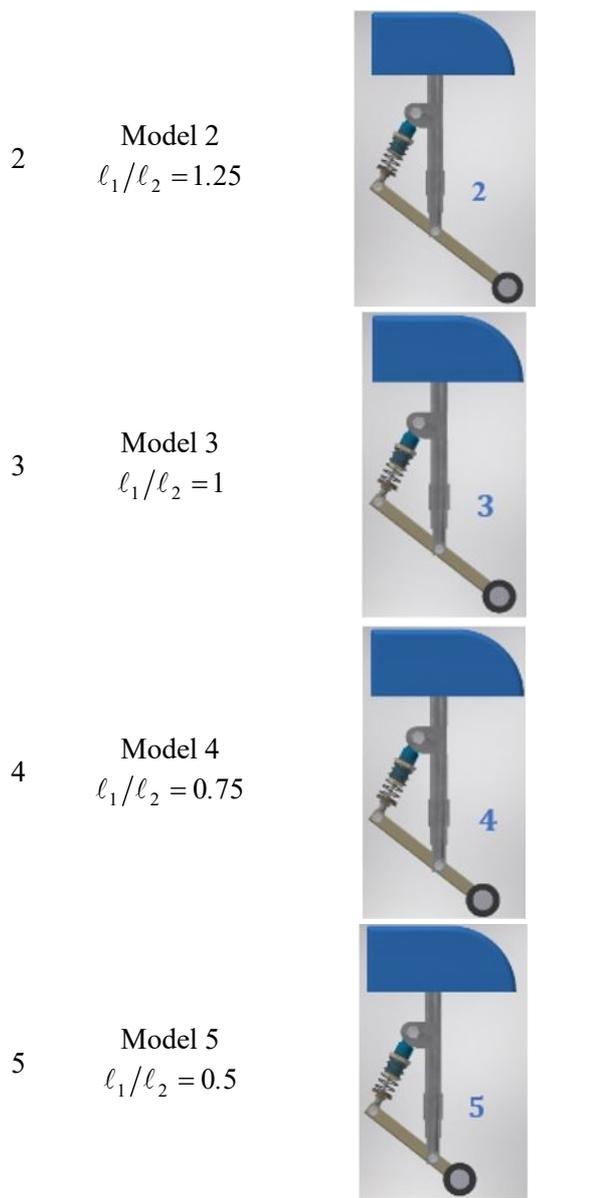
Tabel 1. Data dimensi dan material

No.	Komponen	Dimensi	Material
1.	Batang pengungkit 1	$\ell_1 = 0.5 \text{ m}$	Paduan alumunium
2.	Batang pengungkit 2	$\ell_2 = 0.5 \text{ m}$	Paduan alumunium
3.	Batang vertikal	$\ell_3 = 0.5 \text{ m}$	Paduan alumunium

Untuk melihat pengaruh variasi dimensi batang terhadap harga kekakuan maka panjang batang pengungkit 1 divariasikan dengan perbandingan  $\ell_1/\ell_2 = 0.5-1.5$  seperti diperlihatkan pada Tabel 2

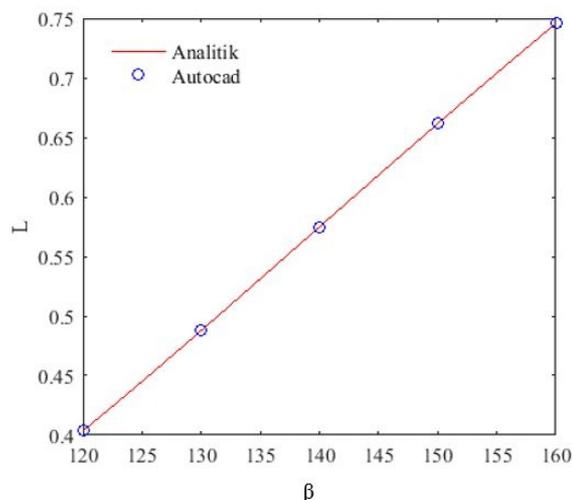
Tabel 2. Model simulasi dengan variasi  $\ell_1/\ell_2$

No	Model	Gambar
1	Model 1 $\ell_1/\ell_2 = 1.5$	



Gambar 5. Δx vs β

Hubungan antara Panjang pegas ( $L$ ) dan sudut  $\beta$  diperlihatkan pada Gambar 6. Dari Gambar 6 terlihat bahwa terdapat hubungan linier antara  $L$  dan  $\beta$ . Kurva yang diplot dari perhitungan analitis mempunyai hasil yang sama dengan yang diperoleh dari AUTOCAD.



Gambar 6.  $L$  vs  $\beta$

## 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1. Analisis Posisi Landing Gear

Gambar 5 memperlihatkan hubungan antara perpindahan  $\Delta x$  terhadap sudut  $\beta$ . Pada Gambar 5 ini terlihat bahwa hasil yang diperoleh secara numerik menggunakan perangkat lunak AUTOCAD sama dengan hasil yang diplot dari penurunan analitik.

### 5.2. Analisis Statik Landing Gear

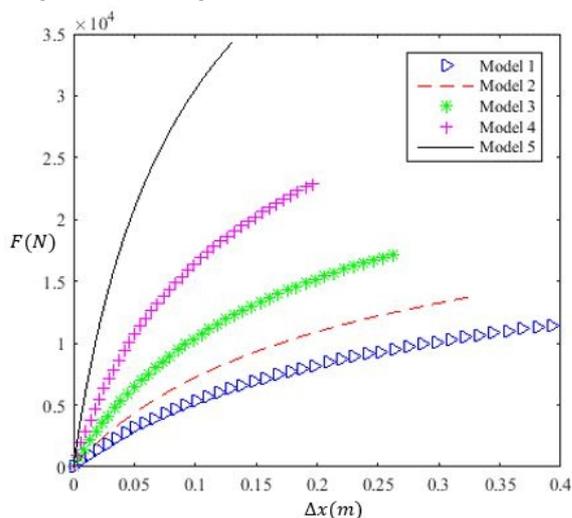
Analisis statik digunakan untuk melihat hubungan antara gaya statik ( $F$ ) dan simpangan ( $\Delta x$ ) pada mekanisme landing gear. Harga kekakuan ekuivalen diperoleh dari kemiringan kurva (slop)  $F$  vs  $\Delta x$  pada daerah liniernya menggunakan Pers.(1)-(8)

Pada Gambar 7 diperlihatkan grafik  $F$  vs  $\Delta x$  dengan variasi panjang batang. Dari Gambar 7

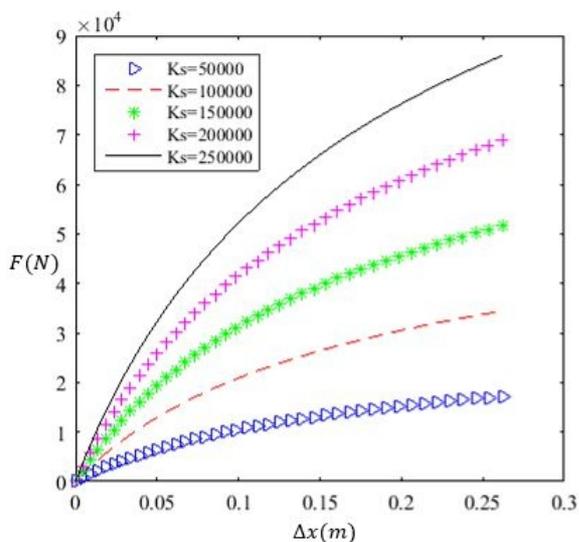
terlihat bahwa kekakuan landing gear bertambah dengan berkurangnya panjang batang 1. Disamping itu, hasil pada Gambar 7 menunjukkan bahwa harga kekakuan semakin berkurang jika harga simpangan bertambah besar.

Gambar 8 menunjukkan hubungan  $F$  vs  $\Delta x$  yang diplot untuk variasi beberapa harga kekakuan pegas. Hasil pada Gambar 8 menunjukkan bahwa semakin besar kekakuan pegas akan menyebabkan bertambahnya kekakuan total sistem.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari Gambar 7 dan Gambar 8 terlihat bahwa kurva kekakuan sistem tidak linier. Untuk daerah simpangan yang kecil, harga kekakuan ekuivalen dapat didekati dengan suatu fungsi linier.



Gambar 7. Hubungan gaya dan simpangan untuk kelima model



Gambar 8. Hubungan gaya dan simpangan untuk berbagai kekakuan pegas

### 5.3. Analisis Dinamik Landing Gear

Dalam analisis dinamik, diasumsikan sistem landing gear jatuh bebas dari ketinggian  $h$  dengan kecepatan awal dan simpangan awal  $x(0) = m \cdot g / k_{eq}$  dan  $v(0) = -\sqrt{2 \cdot g \cdot h}$ . Persamaan gerak sistem dapat dituliskan sebagai berikut:

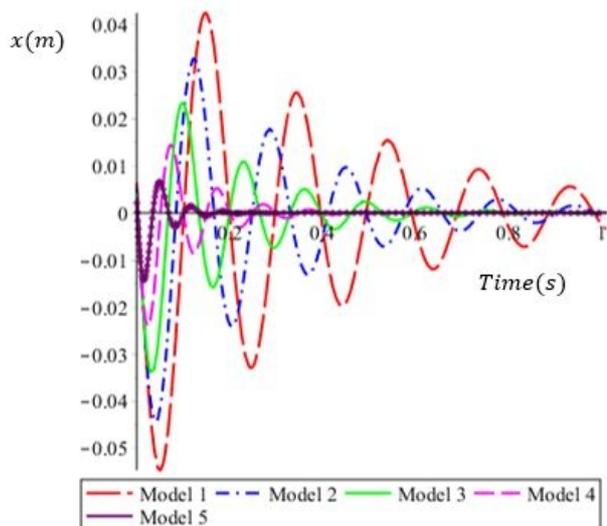
$$m\ddot{x} + c_{eq}\dot{x} + k_{eq}x = 0 \tag{9}$$

Dimana  $k_{eq}$  adalah kekakuan linier ekuivalen yang dipilih berdasarkan hasil pada Gambar 7 yaitu 50.000 N/m sedangkan harga redaman ekuivalen dipilih sebesar 0.5 N · s/m

Pada Tabel 3 ditampilkan persamaan respon sistem untuk kelima model landing gear. Selanjutnya pada Gambar 9 diperlihatkan perbandingan respon simpangan pada kelima model. Dari Gambar 9 terlihat bahwa model 1 mempunyai harga amplitudo simpangan terbesar sedangkan amplitudo simpangan terkecil diperoleh pada model 5.

Tabel 3. Respon simpangan kelima model

	Persamaan respon perpindahan
1	$-0.06 e^{-2.58 t} \sin(32.02 t) + 0.01 e^{-2.58 t} \cos(32.02 t)$
2	$-0.05 e^{-3.72 t} \sin(38.37 t) + 0.005 e^{-3.712 t} \cos(38.37 t)$
3	$-0.04 e^{-5.8 t} \sin(47.84 t) + 0.004 e^{-5.8 t} \cos(47.84 t)$
4	$-0.03 e^{-10.32 t} \sin(63.42 t) + 0.003 e^{-10.32 t} \cos(63.42 t)$
5	$-0.02 e^{-23.22 t} \sin(93.54 t) + 0.002 e^{-23.22 t} \cos(93.54 t)$



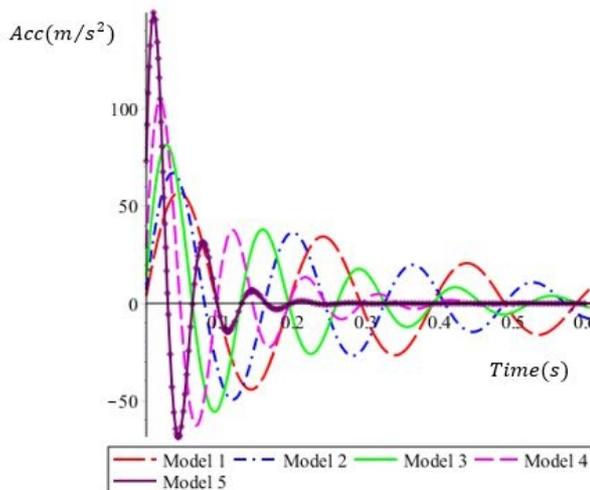
Gambar 9. Perbandingan respon simpangan untuk kelima model

Tabel 4 menunjukkan persamaan respon percepatan untuk kelima model. Dari Tabel 4 terlihat bahwa frekuensi pribadi getaran dari sistem landing gear meningkat seiring dengan berkurangnya panjang batang pengungkit 1.

Tabel 4. Respon percepatan kelima model

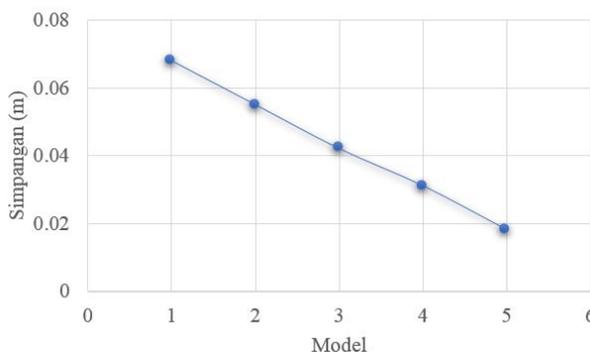
	Persamaan respon percepatan
1	$64.16 e^{-2.58 t} \sin(32.02 t) + 3.78 e^{-2.58 t} \cos(32.02 t)$
2	$76.79 e^{-3.72 t} \sin(38.37 t) + 7.01 e^{-3.72 t} \cos(38.37 t)$
3	$95.456 e^{-5.8 t} \sin(47.84 t) + 13.41 e^{-5.8 t} \cos(47.84 t)$
4	$125.61 e^{-10.32 t} \sin(63.42 t) + 28.2 e^{-10.32 t} \cos(63.42 t)$
5	$180.42 e^{-23.22 t} \sin(93.54 t) + 73.27 e^{-23.22 t} \cos(93.54 t)$

Gambar 10 menunjukkan kurva respon percepatan untuk kelima model. Dari Gambar 10 terlihat bahwa model 5 mempunyai harga maksimum respon percepatan terbesar sedangkan respon percepatan terkecil diperoleh pada model 1.

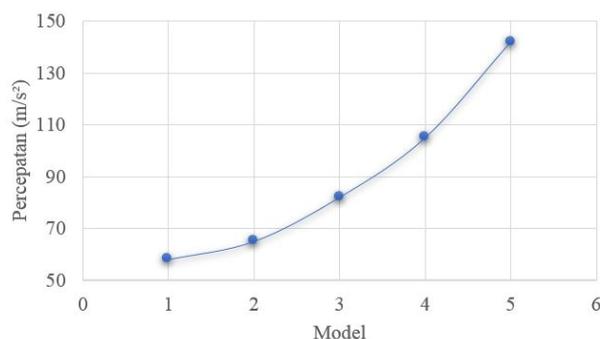


Gambar 10. Perbandingan respon percepatan untuk kelima model

Pada Gambar 11 dan Gambar 12 diperlihatkan kurva harga maksimum amplitudo respon simpangan dan amplitudo respon percepatan yang diplot terhadap model landing gear. Dari Gambar 11 terlihat harga maksimum amplitudo respon simpangan berkurang secara linier sedangkan harga maksimum amplitudo respon percepatan meningkat secara kuadratik jika panjang batang 1 diturunkan.



Gambar 11. Harga maksimum amplitudo respon simpangan untuk kelima model



Gambar 12. Harga maksimum amplitudo respon percepatan untuk kelima model

## 6. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis statik terlihat bahwa kurva kekakuan sistem merupakan fungsi nonlinier. Dari hasil simulasi respon model landing gear terlihat bahwa penurunan rasio panjang batang  $l_1/l_2$  akan menaikkan harga maksimum amplitudo respon percepatan dan menurunkan harga maksimum amplitudo respon simpangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Son, M. Bur, and M. Rusli, "A new concept for UAV landing gear shock vibration control using pre-straining spring momentum exchange impact damper", *J. Vib. and Cont.*, **24**(8), 1455-1468. <https://doi.org/10.1177/1077546316661470>
- [2] L. Son and S. Huda(2019), "Impact vibration response attenuation using four-bar linkage landing gear system", *J. of Physics: Conf. Series.*, **1349**. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1349/1/012060>
- [3] A. P. Mouritz, "Materials and material requirements for aerospace structures and engines," *Introd. to Aerosp. Mater.*, pp. 39–56, 2012.
- [4] W. T. Thomson, *Theory of Vibration with Applications*. 1993
- [5] H. Luo and J. Zhao, "Synthesis and kinematics of a double-lock overconstrained landing gear mechanism," *Mech. Mach. Theory*, vol. 121, pp. 245–258, 2018.
- [6] S. Sivakumar, "Analysis of active landing gears," pp. 1–21, 2015.
- [7] K. E. Adipta, "Analisis Dinamik Sistem Landing Gear UAV Berbasis Mekanisme Empat Batang," 2019.
- [8] J. Y. B. Wong, "Design optimization of Aircraft landing gear assembly," 2017.
- [9] M. H. Sadraey, "Aircraft Design: A Systems Engineering Approach," 2012.
- [10] V. N. Divakaran, G. V. . Dr Ravikumar, and S. R. Patnala, "Aircraft landing gear design & development (White Paper)," 2017.