

**INVESTIGASI GAYA KONTAK/IMPAK PADA MAIN LANDING GEAR  
PESAWAT KOMUTER DENGAN PENDEKATAN MULTI-BODY  
SIMULATION (MBS) RIGID MODELS  
(THE INVESTIGATION OF CONTACT/IMPACT FORCES OF  
COMMUTER AIRCRAFT MAIN LANDING GEAR USING MULTI-BODY  
SIMULATION (MBS) RIGID MODELS)**

**Dony Hidayat<sup>\*,\*\*</sup>, Jos Istiyanto<sup>\*</sup>, Danardono Agus Sumarsono<sup>\*</sup>, Aryandi Marta<sup>\*\*</sup>)**

<sup>\*</sup>)Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Depok  
Pondok Cina, Beji, Depok City, West Java 16424

<sup>\*\*</sup>)Pusat Teknologi Penerbangan  
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional  
Jl. Raya LAPAN, Sukamulya, Rumpin, Bogor 16350 Indonesia  
e-mail : dony.hidayat@ui.ac.id

Diterima 16 Mei 2017; Direvisi 25 Juli 2017; Disetujui 3 Agustus 2017

**ABSTRACT**

Landing Gear Drop Test (LGDT) which aims to determine the characteristic of contact/impact force that occurs in the time of the touchdown landing has been conducted. Experimental tests using the apparatus requires a substantial time and cost. Virtual Landing Gear Drop Test (vLGDT) using MSC ADAMS software is one of the solutions for initial stage to testing landing gear. Stiffness values and damping coefficient obtained from vLGDT are  $5.0e5$  N/m and 1600 N.sec/m. Contact/impact force that occurs on vLGDT is 75996 N, while from experimental is 73612 N. The difference between vLGDT and experimental result is 3.14%.

*Keywords: contact/impact force, landing gear, drop test, multi-body simulation, rigid body*

## ABSTRAK

Pengujian *landing gear* yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik gaya kontak/impak yang terjadi saat *touchdown landing* telah dilakukan. Pengujian eksperimental menggunakan apparatus membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang besar. *Virtual Landing Gear Drop Test* (vLGDT) menggunakan perangkat lunak MSC ADAMS merupakan salah satu alternatif untuk pengujian tahap awal *landing gear*. Dari simulasi menggunakan vLGDT diperoleh nilai  $k = 5.0e5 \text{ N/m}$  dan  $c_{max} = 1600 \text{ N.detik/m}$ . Gaya kontak/impak yang terjadi pada simulasi menggunakan vLGDT sebesar 75996 N, sedangkan dari eksperimental sebesar 73612 N. Hasil vLGDT lebih besar 3.14% dibandingkan eksperimental.

Kata kunci: *Gaya kontak/impak, landing gear, drop test, multi-body simulation, rigid body*

### 1 PENDAHULUAN

Kebutuhan pesawat komuter untuk penerbangan perintis pada kawasan timur Indonesia cukup tinggi. Kondisi ini disebabkan sebagian besar landasan pacu pada daerah ini masih pendek dan pesawat komuter yang beroperasi banyak yang berumur di atas 20 tahun. Untuk memenuhi kebutuhan alat transportasi tersebut, maka dikembangkan pesawat komuter dengan kapasitas penumpang sampai 19 orang (Joko, 2010; "N219, Pesawat untuk Landasan Pendek," 2010).

Setiap pesawat yang akan digunakan untuk moda transportasi harus melewati proses sertifikasi (*Civil Aviation Safety Regulation/CASR*) yang dikeluarkan oleh Kementerian Perhubungan RI. Salah satu proses sertifikasi yang harus dipenuhi adalah sertifikasi untuk komponen *landing gear* (Kemenhub, 2001). *Landing gear* adalah salah satu komponen utama pada pesawat terbang yang mempunyai fungsi untuk penyerapan energi pada saat fase *landing*, untuk pengereman dan untuk proses *taxi* di landasan (Currey, 1988; Raymer, 1999). Pengujian eksperimental *main landing gear* model *roll out* telah dilakukan di Laboratorium Aerostruktur LAPAN sesuai dengan regulasi yang terdapat pada CASR Part 23.725.

Perangkat lunak untuk kerekayasaaan (*Computer Aided Engineering/CAE*) berkembang pesat dalam beberapa dekade ini, salah satunya adalah metode *Multi-Body Simulation* (MBS). MBS menyediakan *tools* yang sangat cepat

untuk pemodelan dan simulasi suatu *assembly* yang terdiri dari beberapa komponen yang rumit. Inilah salah satu kelebihan MBS dibanding *Finite Element Analysis* (FEA) yang cenderung untuk memisahkan secara parsial komponen – komponen pada suatu *assembly* yang bergerak dan berinteraksi satu sama lain (Khude, 2014).

Romeo *et al* (Leo, Fenza, Barile, & Lecce, 2014) telah membuat metodologi untuk *Virtual Landing Gear Drop Test* (vLGDT) menggunakan perangkat lunak MSC ADAMS dan membandingkan hasil simulasi dengan hasil pengujian *experimental*. Perbedaan antara simulasi dan eksperimental di bawah 11%. Krason (Krason & Malachowski, 2015) memperkenalkan metodologi untuk mengevaluasi beberapa model *landing gear* dan penelitian secara numerik pada komplis sistem *landing gear*. Dengan menggunakan simulasi Chen *et al*, (Chen, Chang, Chen, & Chen, 2014) telah melakukan simulasi impak pada *main landing gear* yang divariasikan ketebalannya menggunakan perangkat lunak komersial ANSYS dan LS-Dyna. Kong *et al*, (Kong, Lee, Han, & Ahn, 2009) juga telah melakukan simulasi menggunakan LS-Dyna pada *landing Gear Smart Unmanned Aircraft Vehicle* (SUAV) dan dibandingkan dengan data *experimental*. Fu *et al*, (Fu, Zhang, Li, & Li, 2013) memodelkan pengujian *drop test landing gear* dengan pendekatan menggunakan modul *SimMechanics* pada

*Matlab/Simulink*. Pemodelan dapat menganalisis karakteristik dinamik berbagai kondisi seperti saat *touchdown*, *taxi*, dan pengereman.

Pengujian eksperimental *landing gear drop test* membutuhkan fasilitas yang kompleks dan biaya yang besar, oleh karena itu simulasi menggunakan *virtual landing gear drop test* merupakan salah satu solusinya. Pemodelan yang digunakan pada penelitian ini masih menggunakan *rigid body model*, karena analisisnya hanya untuk gaya kontak/impak saja. Parameter  $k$  dan  $c_{max}$  yang diperoleh merupakan parameter dari gaya kontak/impak *main landing gear*. Penelitian ini bertujuan untuk membuat vLGDT menggunakan *software* MSC ADAMS. Dengan metode *virtual*, iterasi konfigurasi desain *landing gear* dapat dilakukan dengan cepat dan murah.

## 2 METODOLOGI

### 2.1 Lokasi dan Data

Pengujian eksperimental LGDT dilakukan di Laboratorium Aerostruktur Pusat Teknologi Penerbangan LAPAN. Simulasi vLGDT menggunakan perangkat lunak MSC ADAMS dengan menggunakan alat uji LGDT seperti pada Gambar 2-1, dan diagram alir pemodelan vLGDT seperti pada Gambar 2-2.

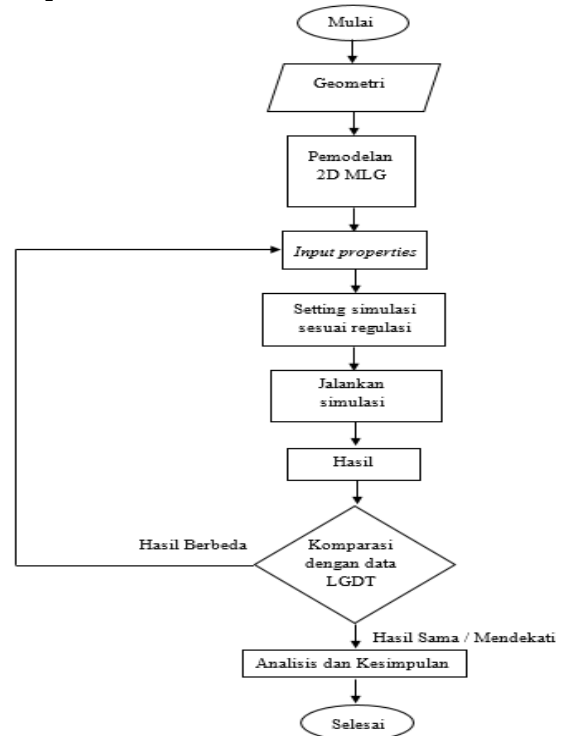


Gambar 2-1: Alat uji LGDT

### 2.2 Diagram alir

Pemodelan untuk vLGDT menggunakan model 2 dimensi dengan

parameter inputan: *stiffness* ( $k$ ), *force exponent* ( $e$ ), *damping* ( $c_{max}$ ), dan *penetration depth* ( $d$ ). Hasil dari vLGDT dibandingkan dengan eksperimen, jika hasilnya berbeda maka parameter inputan diiterasi sampai nilainya mendekati eksperimen.



Gambar 2-2: Diagram alir Pemodelan untuk vLGDT menggunakan model 2 dimensi dengan parameter inputan

### 2.3 Asumsi dan Data Awal

Asumsi dan data awal yang digunakan pada simulasi adalah:

- *Main landing gear* dimodelkan 2 dimensi,
- Model menggunakan tipe *rigid body* (Shabana, 2013; Stronge, 2004),
- Roda dimodelkan berdasarkan data eksperimen (Brach & Brach, 2009),
- Gesekan diabaikan,
- *Step size* pada simulasi = 0.001 detik,
- Tekanan roda eksperimen = 65 psi,
- Diameter roda = 812.80 mm,
- *Drop displacement* = 200 mm.

Persamaan gerak translasi dan rotasi untuk *unconstrained multibody system* yang terdiri dari model kaku (*rigid model*) adalah (Machado, Moreira, Flores, & Lankarani, 2012)

$$M \cdot \ddot{q} = g \quad (2-1)$$

Dimana  $M$  adalah sistem global matriks massa yang terdiri dari massa dan momen inersia seluruh komponen,  $\ddot{q}$  adalah vektor percepatan. Sedangkan  $g$  adalah vektor gaya secara umum yang terdiri dari gaya dan momen luar yang bekerja pada system.

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

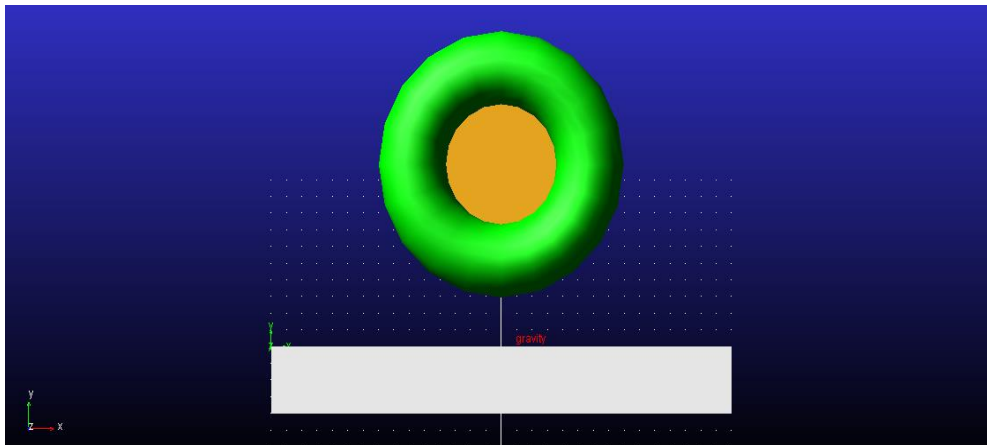
Simulasi menggunakan *Virtual Landing Gear Drop Test* (vLGDT) dengan pemodelan gaya kontak/impak memakai 4 variabel, yaitu (Giesbers, 2012):

- *stiffness* ( $k$ ),
- *force exponent* ( $e$ ),
- *damping* ( $c_{max}$ ),
- *penetration depth* ( $d$ ).

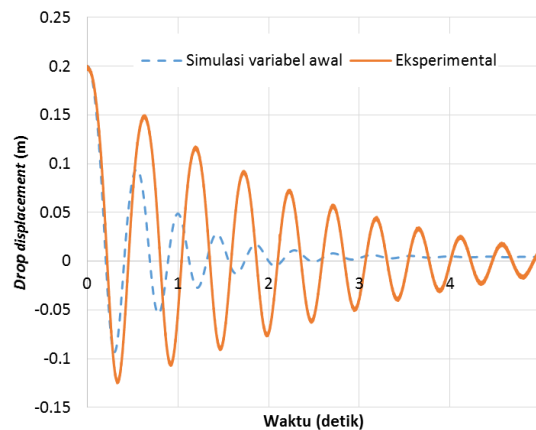
Variabel awal untuk nilai  $e$  dan  $d$  mengacu pada Giesbers (Giesbers, 2012), nilai  $e$  untuk karet  $\approx 1.1$  dan nilai  $d = 1.0e-$

4 m. Nilai dari  $c_{max}$  berkisar 1% dari nilai  $k$ , sedangkan nilai  $k$  mengacu pada data kondisi statik eksperimental,  $k = 5.9e5$  N/m. Karena karet mempunyai karakteristik *stiffness* yang *non linear* (Currey, 1988), jadi nilai  $k$  statik ini merupakan tebakan awal sebelum dilakukan iterasi.

Gambar 3-2 menampilkan nilai *drop displacement*, dari hasil experimental diperoleh nilai *drop displacement* saat *touchdown* (fase *compression*) sebesar -125 mm sedangkan hasil simulasi sebesar -92 mm. Perbedaan antara experimental dan simulasi disebabkan karena nilai variabel  $k$  simulasi lebih besar dari kondisi eksperimental. *Displacement rebounded* simulasi lebih cepat 0.032 detik dibanding experimental.



Gambar 3-1: vLGDT menggunakan MSC ADAMS



Gambar 2-2: Komparasi hasil eksperimental dan simulasi dengan variabel tebakan awal

Untuk mendapatkan karakteristik dinamik *main landing gear* simulasi sesuai dengan eksperimental, maka dilakukan iterasi pada parameter inputan simulasi. Iterasi pertama dilakukan untuk nilai  $k$ , sedangkan parameter  $e$  dan  $d$  sesuai dengan simulasi awal. Karena redaman hasil simulasi awal terlalu cepat dibanding eksperimental, maka nilai  $c_{max}$  diganti menjadi 2000 N.detik/ m, nilai ini masih tebakan awal, selanjutnya akan divariasikan setelah didapatkan nilai  $k$  yang mirip dengan eksperimental.

Nilai  $k$  divariasikan seperti ditampilkan pada Tabel 3-1. Gambar 3-3 ditampilkan hasil simulasi dengan memvariasi nilai  $k$ , pada nilai  $k = 5.0e5$  N/m, nilai *drop displacement* fase *compression* 1 simulasi sebesar -124 mm pada 0.314 detik. Pada saat *separation* 1, nilai *drop displacement* simulasi sebesar 144 mm pada 0.602 detik. Komparasi hasil simulasi dan eksperimental ditampilkan pada Tabel 3-2.

Semakin kecil nilai *stiffness* ( $k$ ), maka nilai *drop displacement* yang dihasilkan pada fase *compression* akan

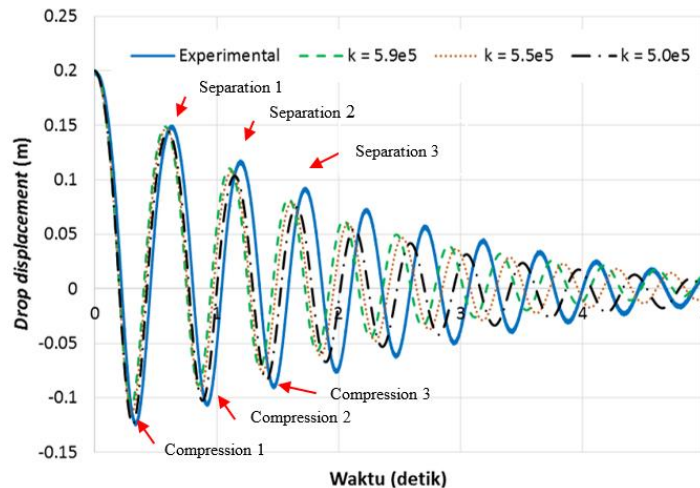
semakin besar seperti yang ditampilkan pada Gambar 3-3. Fenomena ini sama dengan Hukum Hooke (Hibbeler, 1997).

Persentase perbedaan antara simulasi dan eksperimental dari tahap 1 sampai 3 terus mengalami kenaikan, pada *compression* tahap ketiga, perbedaannya 7.1 % sedangkan pada *separation* 9.3 %, hal ini disebabkan karena ada pengaruh dari  $c_{max}$ . Untuk mendekati nilai eksperimental, dilakukan iterasi nilai  $c_{max}$ . Pada iterasi  $c_{max}$ , nilai  $k = 5.0e5$  N/m,  $e = 1.1$  dan  $d = 1e-4$  m.

Nilai  $c_{max}$  divariasikan seperti pada Tabel 3-1 dan hasil dari variasi  $c_{max}$  ditampilkan pada Gambar 3-4. Semakin kecil nilai  $c_{max}$ , grafik hasil simulasi mendekati grafik eksperimental. Untuk Nilai  $c_{max} = 1600$  N.detik/m pada saat fase *compression* dan *separation* ditampilkan pada Tabel 3-3. Perbedaan antara simulasi dan eksperimental pada fase *compression* dan *separation* tahap ketiga sudah di bawah 5 %, sedangkan saat  $c_{max} = 2000$  N.detik/m (Tabel 3-2) perbedaannya masih di atas 5 %.

Tabel 3-1: VARIASI PARAMETER UNTUK GAYA KONTAK/IMPAK

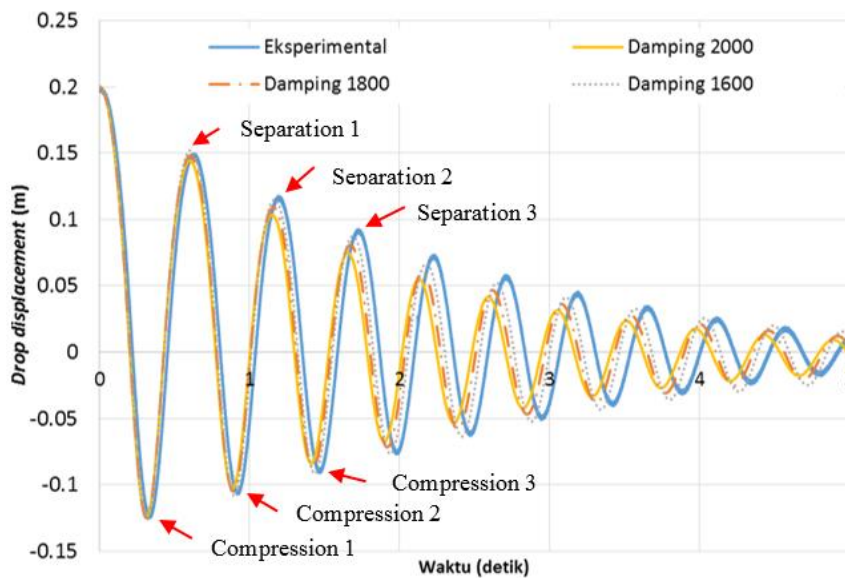
Stiffness $k$ [N/m]	Damping $C_{max}$ [N.detik/m]
5.9e5	2000
5.5e5	1800
5.0e5	1600



Gambar 3-3: Variasi nilai *stiffness*

Tabel 3-2: KOMPARASI DROP DISPLACEMENT EKSPERIMENTAL DAN SIMULASI ( $k = 5.0e5 \text{ N/m}$ ;  $c_{\max} = 2000 \text{ N.detik/m}$ )

Fase	Drop displacement [mm] simulasi	Drop displacement [mm] eksperimental	Perbedaan [%]
Compression 1	-124	-125	0.8
Compression 2	-103	-107	3.9
Compression 3	-84	-90	7.1
Separation 1	144	148	2.7
Separation 2	104	117	2.9
Separation 3	75	92	9.3



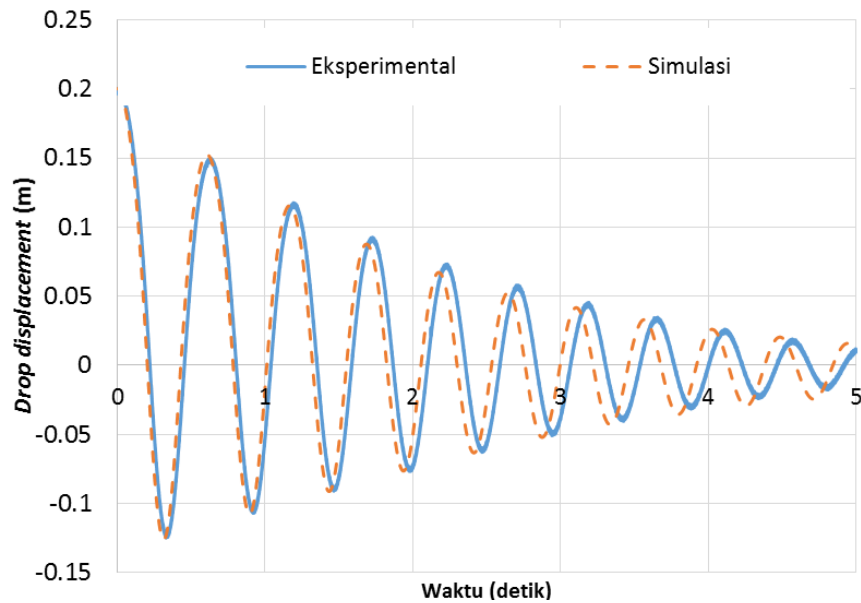
Gambar 3-4: Variasi nilai koefisien *damping*

Dari beberapa kali iterasi nilai *stiffness* ( $k$ ) dan koefisien *damping* ( $c_{\max}$ ) diperoleh grafik perbandingan hasil simulasi dan eksperimental seperti yang ditunjukkan Gambar 3-5. Hasil simulasi sudah mendekati eksperimental, namun mulai pada detik ke 2, perbedaan waktu fase *compression* dan *separation* antara

simulasi dan eksperimental sudah 0.05 detik seperti ditampilkan pada Tabel 3-4. Perbedaan waktu ini semakin lama semakin besar, hal ini disebabkan karena pendekatan pada penelitian ini masih menggunakan model *rigid body* dan tidak ada gesekan pada aparatus.

Tabel 3-3: KOMPARASI DROP DISPLACEMENT EKSPERIMENTAL DAN SIMULASI ( $k = 5.0e5 \text{ N/m}$ ;  $c_{\max} = 1600 \text{ N.detik/m}$ )

Fase	Drop displacement [mm] simulasi	Drop displacement [mm] eksperimental	Perbedaan [%]
Compression 1	-126	-125	0.8
Compression 2	-108	-107	0.9
Compression 3	91	-90	1.1
Separation 1	152	148	2.7
Separation 2	115	117	1.7
Separation 3	88	92	4.5

Gambar 3-5: Perbandingan data *drop displacement* MLG eksperimental dan simulasiTabel 3-4: KOMPARASI WAKTU FASE *COMPRESSION* & *SEPARATION* PADA EKSPERIMENTAL DAN SIMULASI ( $k = 5.0e5$  N/m;  $c_{max} = 1600$  N.detik/m)

Fase	Waktu [detik] simulasi	Waktu [detik] eksperimental	Perbedaan [detik]
<i>Compression 1</i>	0.31	0.33	0.02
<i>Compression 2</i>	0.9	0.91	0.01
<i>Compression 3</i>	1.43	1.46	0.03
<i>Compression 4</i>	1.94	1.99	0.05
<i>Compression 5</i>	2.42	2.47	0.05
<i>Compression 6</i>	2.88	2.95	0.07
<i>Separation 1</i>	0.6	0.61	0.01
<i>Separation 2</i>	1.17	1.19	0.02
<i>Separation 3</i>	1.69	1.73	0.04
<i>Separation 4</i>	2.18	2.23	0.05
<i>Separation 5</i>	2.65	2.72	0.07
<i>Separation 6</i>	3.11	3.19	0.08

Setelah karakteristik dinamik dari simulasi sudah mendekati eksperimental, tahapan selanjutnya adalah menentukan karakteristik gaya kontak/impak pada simulasi. Gaya kontak/impak yang terjadi pada simulasi menggunakan vLGDT sebesar 75996 N seperti yang ditampilkan pada Gambar 3-6, sedangkan dari eksperimental sebesar 73612 N. Hasil simulasi lebih besar 3.14% dibandingkan eksperimental.

Menurut Hukum Hertz yang berhubungan dengan gaya kontak dengan pengaruh fungsi *nonlinear* dari lekukan dapat diekspresikan sebagai (Machado *et al.*, 2012):

$$F_N = K \cdot \delta^n \quad (3-1)$$

dimana  $\delta$  adalah lekukan relatif antara bagian yang berkontak,  $K$  adalah parameter *stiffness* dan  $n$  adalah eksponensial gaya *nonlinear* yang merupakan fungsi dari properties material dan karakteristik geometri dari permukaan yang terjadi kontak.

Berdasarkan Hukum Hertz di atas, salah satu cara untuk mengurangi gaya kontak/impak yang terjadi pada *main landing gear* adalah dengan mengurangi parameter *stiffness*, karena parameter dari material roda dan geometrinya sudah *fix*. Semakin kecil *stiffness* maka semakin besar defleksi

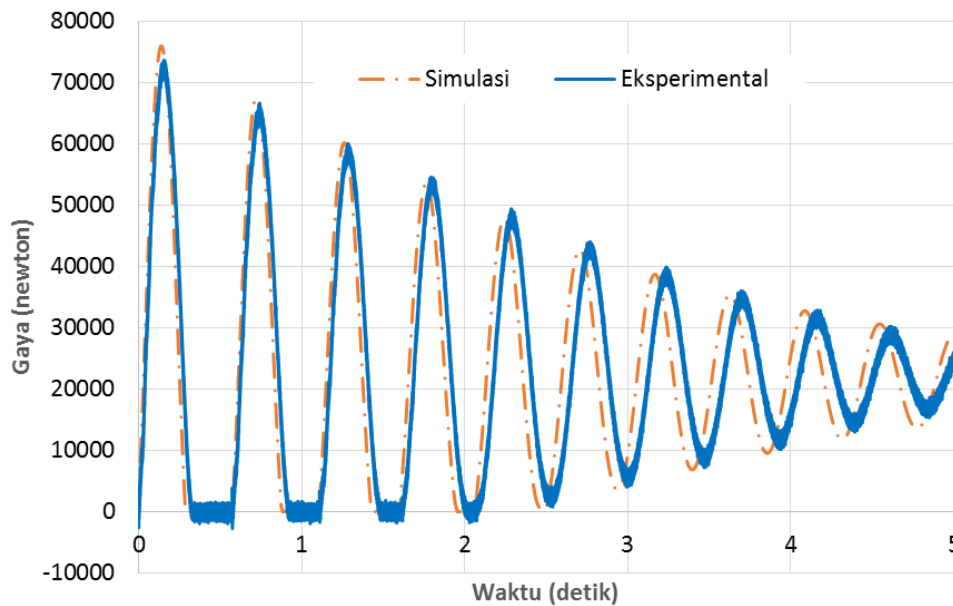


yang terjadi dan semakin banyak energi yang diserap oleh komponen yang terdefleksi tersebut (Hibbeler, 1997).

*Stiffness* dari *main landing gear* yang bisa dikurangi adalah komponen *strut* dan *rubber damper*-nya.

Tabel 3-5: PARAMETER GAYA KONTAK/IMPAK HASIL SIMULASI

<i>Stiffness</i> [N/m]	Koefisien <i>damping</i> [N.detik/m]	<i>Force exponent</i>	<i>Penetration depth</i> [m]
5.0e5	1600	1.1	1e-4



Gambar 3-6: Perbandingan gaya kontak/impak eksperimental dan simulasi

#### 4 KESIMPULAN

*Virtual Landing Gear Dropt Test* (vLGDT) telah berhasil dibuat menggunakan perangkat lunak MSC ADAMS. Dari hasil simulasi (vLGDT), diperoleh parameter-parameter untuk gaya kontak/impak *main landing gear* pesawat komuter 19 penumpang. Nilai parameter gaya kontak/impak tersebut adalah *stiffness* ( $k$ ) = 5.0e5 N/m dan koefisien *damping* ( $c_{max}$ ) = 1600 N.detik/m. Gaya kontak/impak maksimal yang terjadi menggunakan simulasi (vLGDT) sebesar 75996 N, sedangkan pada eksperimental sebesar 73612 N dengan error sebesar 3.14%.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Gunawan Setyo Prabowo, Bapak Agus Aribowo dan Bapak Atik Bintoro atas bimbingannya dalam penulisan makalah ini.

#### PERNYATAAN PENULIS

Isi dalam makalah ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Brach, Raymond M, & Brach, Matthew, 2009. *Tire Models for Vehicle Dynamic Simulation And Accident Reconstruction*: SAE Technical Paper.



- Chen, Pu-Woei, Chang, Shu-Han, Chen, Chan-Ming, & Chen, Pu-Woei, 2014. *Impact Loading Analysis of Light Sport Aircraft Landing Gear*. *Applied Mechanics and Materials* 518, 252-257.
- Currey, Norman S., 1988. *Aircraft Landing Gear Design: Principles and Practices*: Aiaa.
- Fu, Yong Ling, Zhang, Peng, Li, Sheng Jun, & Li, Zhu Feng, 2013. *Drop Dynamic Simulation for Landing Gear via SimMechanics*. Paper presented at the Advanced Materials Research.
- Giesbers, Jochem, 2012. *Contact Mechanics in MSC Adams-A Technical Evaluation of The Contact Models In Multibody dynamics software MSC Adams*.
- Hibbeler, RC, 1997. *Mechanics of Materials*: Prentice Hall.
- Joko, 2010. *Pesawat N219 Akhirnya Diakui Sebagai Pesawat Nasional*. Retrieved from lapan.go.id website: <https://www.lapan.go.id/index.php/subblog/read/2015/2203/Pesawat-N219-Akhirnya-Diakui-Sebagai-Pesawat-Nasional/380>.
- Kemenhub, 2001. *Civil Aviation Safety Regulations (CASR) Part 23 Amd. 1*.
- Khude, Naresh N., 2014. *Efficient Simulation of Flexible Body Systems with Frictional Contact/Impact*. Citeseer.
- Kong, JP, Lee, YS, Han, JD, & Ahn, OS, 2009. *Drop Impact Analysis of Smart Unmanned Aerial Vehicle (SUAV) Landing Gear and Comparison with Experimental Data*. *Material wissenshaft und Werkstofftechnik*, 40(3), 192-197.
- Krason, W., & Malachowski, J., 2015. *Multibody Rigid Models and 3D FE Models in Numerical Analysis of Transport Aircraft Main Landing Gear*. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, 63(3), 745-757.
- Leo, Romeo Di, Fenza, Angelo De, Barile, Marco, & Lecce, Leonardo, 2014. *Drop Test Simulation for An Aircraft Landing Gear Via Multi-Body Approach*. *Archive of Mechanical Engineering*, 61(2), 287-304.
- Machado, Margarida, Moreira, Pedro, Flores, Paulo, & Lankarani, Hamid M., 2012. *Compliant Contact Force Models in Multibody Dynamics: Evolution of the Hertz Contact Theory*. *Mechanism and Machine Theory*, 53, 99-121.
- N219, Pesawat untuk Landasan Pendek, 2010. *Kompas*. Retrieved from <http://bisniskeuangan.kompas.com/read/2010/12/31/04573584/n219.pesawat.untuk.landasan.pendek>.
- Raymer, Daniel P., 1999. *Aircraft design: a conceptual approach*, American Institute of Aeronautics and Astronautics. Inc., Reston, VA.
- Shabana, Ahmed A., 2013. *Dynamics of Multibody Systems*: Cambridge university press.
- Stronge, William James, 2004. *Impact mechanics*: Cambridge university press.

