

# PENGARUH PEMODELAN *SMOOTH PARTICLE HYDRODYNAMICS* UNTUK APLIKASI SIMULASI NUMERIK *BIRD STRIKE* DI *LEADING EDGE*

**Sahril Afandi S\*, Freddy Franciscus, Muhammad Faisal Afrianto**

Program Studi Teknik Penerbangan, Fakultas Teknologi Kedirgantaraan,  
Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma

Komplek Bandara Halim Perdanakusuma, Jakarta 13610, Indonesia

\*Corresponding Author : [sahrilafandi@universitassuryadarma.com](mailto:sahrilafandi@universitassuryadarma.com)

**Abstrak** - Kecelakaan karena tabrak burung sering terjadi pada operasi penerbangan serta pada saat musim migrasinya burung-burung, hal ini dapat menyebabkan kegagalan struktur serta mengancam keselamatan penerbangan. Efek yang terjadi pada komponen struktur pesawat yang terkena tumbukan tabrak burung ini umumnya berupa deformasi penyok (*Dent*) atau berlubangnya lapisan kulit pesawat serta struktur lainnya. Penelitian ini membahas tabrak burung pada *Leading Edge* dengan metode SPH (*smooth particle hydrodinamics*) berbasis metode komputasi numeric elemen hingga (*finite element method*). Struktur *Leading Edge* diasumsikan hanya terdiri dari skin dengan memvariasikan 4 kecepatan burung yaitu: 75 m/s, 100 m/s, 125 m/s dan 150 m/s, serta 2 variasi sudut sebesar 0° dan 45°. Hasil simulasi menunjukkan deformasi *Leading Edge* meningkat dengan bertambahnya kecepatan, serta gaya *impact* lebih tinggi pada arah tumbukan 0° untuk tiap kecepatan yang sama. Gaya *impact* maksimum pada tiap kecepatan untuk arah tumbukan 0° dan 45° pada rentang 6 – 17 kN dan 3 – 12 kN. Sementara hasil *displacement* maksimum pada tiap kecepatan untuk arah tumbukan 0° dan 45° pada rentang 148 – 336 mm dan 89 – 198 mm.

**Kata Kunci** : Tabrak Burung, *Leading Edge*, *Finite Element Method*, SPH (*Smooth Particle Hydrodinamics*).

**Abstract** - *Accidents due to bird strike often occur in flight operations and during the migratory period of birds, this can cause structural failure and threaten flight safety. The effect that occurs on the structural components of the aircraft affected by the collision of the bird hit is generally in the form of dent deformation or the perforation of the plane's skin layer and other structures. This study discusses bird strike in Leading Edge with SPH (smooth particle hydrodinamics) method based on finite element method. Leading Edge structure is assumed to only consist of skin by varying 4 bird speeds, namely: 75 m / s, 100 m / s, 125 m / s and 150 m / s, and 2 angular variations of 0° and 45°. The simulation results show the deformation of Leading Edge increases with increasing speed, and the impact force is higher in the direction of the 0° collision for each of the same speed. The maximum impact force at each speed for the collision direction is 0° and 45° in the range of 6 - 17 kN and 3 - 12 kN. While the maximum displacement results at each speed for collision directions are 0° and 45° in the range 148 - 336 mm and 89 - 198 mm.*

**Keywords** : *Bird Strike, Leading Edge, Finite Element Method, SPH (Smooth Particle Hydrodinamics).*

## I. PENDAHULUAN

Kasus Tabrak Burung biasa juga disebut *Bird Hit* atau *BASH (Bird Aircraft Strike Hazard)*. Tabrak burung adalah ancaman yang signifikan terhadap keselamatan penerbangan. Komponen pesawat yang banyak mengalami kejadian tabrak burung diantaranya *leading edge, windshield, fuselage, engine inlet dan tail empennage* sebanyak 77.

Secara umum yang dimaksud tabrak burung adalah terjadinya kontak antara kendaraan yang bergerak dengan makhluk hidup. Hal ini menimbulkan kerusakan komponen pesawat seperti penyok (*dent*) atau berlubang.

## II. LANDASAN TEORI

Tumbukan antara burung dan komponen struktur menunjukkan burung mengalami deformasi yang besar dan cenderung mengikuti bentuk permukaan target. Hal ini terjadi ketika tegangan yang ditimbulkan pada saat tumbukan *yield stress* dari komponen struktur lebih besar dari *yield stress* di material burung. Perilaku material burung tersebut dikenal sebagai material '*soft body*' kekuatan/kekakuan material burung yang sangat rendah dibanding dengan komponen struktur yang menjadi target impact.

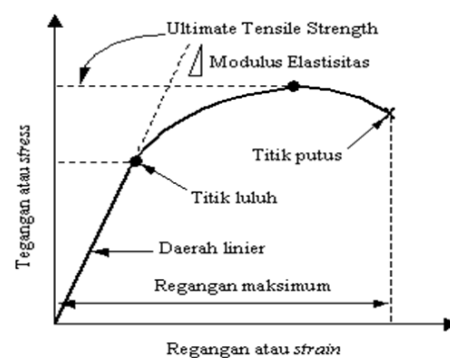
Perilaku material burung yang menyerupai fluida ketika tumbukan dapat dihitung secara analitik menggunakan teori hidrodinamika. Keterbatasan metode analitik karena geometri dan material yang kompleks, pendekatan analisis tabrak burung dikembangkan menggunakan metode numerik yaitu dengan metode elemen hingga.

### 2.1 Sifat Elastis Plastis

Elastis plastis, elastis adalah perubahan bentuk karena pembebanan yang tidak melebihi kekuatan luluh (*yield strength*) suatu material. Deformasi elastis atau modulus *young's* merupakan properti mekanik yang mengukur kekakuan material untuk mengalami deformasi elastis ketika tegangan diaplikasikan pada material tersebut.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\delta}{l_0}}$$

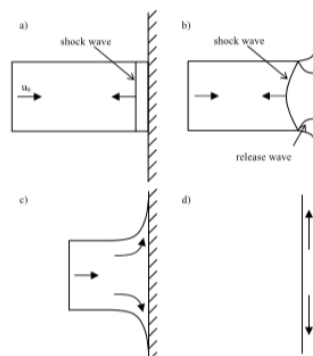
Deformasi plastis merupakan perubahan bentuk karena pembebanan yang melebihi kekuatan luluh (*yield strength*) suatu material. Hal tersebut menyebabkan deformasi tidak dapat kembali ke awal bentuk semula. Pembebanan pada material dapat menghasilkan nilai *true stress* dan *true strain* yang diilustrasikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



**Gambar 2.1** Grafik Tegangan Terhadap Regangan <sup>[12]</sup>

### 2.2 Teori Hidrodinamika

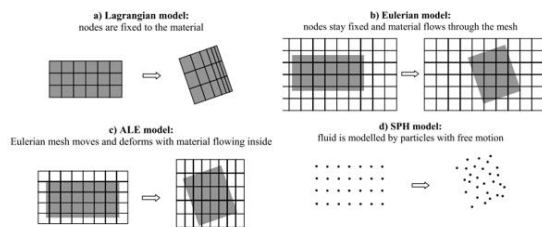
Penelitian awal tentang fenomena tabrak burung pada bidang datar telah dilakukan oleh Wilbeck dan Barber [6-9]. Perilaku tumbukan terdiri dari empat tahap: a) *initial shock* saat tumbukan awal, b) *shock* tumbukan menurun, c) aliran deformasi *steady* dan, d) penurunan tekanan, seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



**Gambar 2.2** Ilustrasi gelombang *shock* dan *release* pada tumbukan *soft body* dengan *rigid wall*

### 2.3 Metode Elemen Hingga

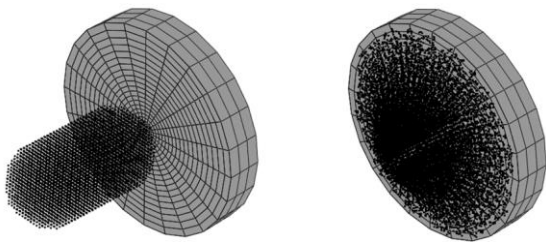
Metode numerik yang umum digunakan berbasis metode elemen hingga. Pendekatan simulasi untuk tabrak burung yang dilakukan menggunakan *Lagrangian Modeling Method*, *Eulerian Modeling Method*, *Arbitrary Lagrangian – Eulerian Method (ALE)* dan *Smooth Particle Hydrodynamics (SPH)* seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.3**. Pendekatan metode *Smooth Particle Hydrodynamics*



**Gambar 2.3** Pendekatan metode elemen hingga kasus *Bird Strike* [2]

Karakteristik metode *Smooth Particle Hydrodynamics* merupakan metode komputasi yang digunakan untuk mensimulasikan mekanika media kontinum, seperti mekanika padat dan aliran fluida. Metode ini adalah metode *Lagrangian meshfree* (berkoordinasi untuk bergerak dengan fluida), dan resolusi metode dapat dengan mudah disesuaikan sehubungan dengan variable seperti densitas, sehingga masing-masing nodal mengikuti respon struktur ketika terjadi pembebanan, baik berupa gerak maupun deformasi. Setiap partikel memiliki massa, kecepatan dan hukum material yang terdapat pada masing-masing partikel tersebut. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah pendekatan dengan *Smooth Particle Hydrodynamics (SPH)*

**Gambar 2.4.**



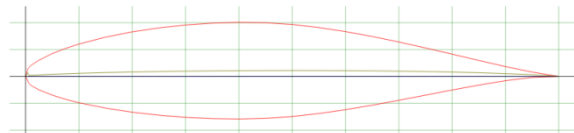
**Gambar 2.4** Simulasi *bird strike* pada plat rigid dengan *impactor* SPH [2]

### III. METODE PENELITIAN

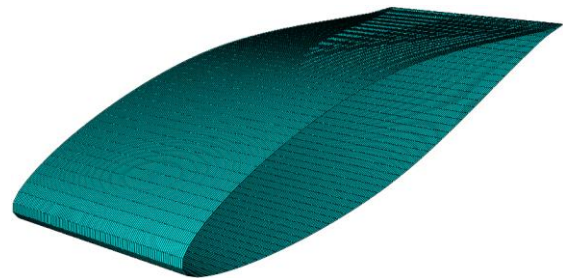
Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur untuk memahami permasalahan yang akan dihadapi. Dari studi literatur akan didapatkan beberapa data yang selanjutnya akan dilakukan simulasi model struktur *Leading Edge* pada *software* berbasis metode elemen hingga. Simulasi yang dilakukan dengan membuat dimensi sebagai berikut :

**Tabel 3.1** Geometri STA Sayap Pesawat

<i>STA-span sayap</i>	400	mm
<i>Panjang Root</i>	2500	mm
<i>Panjang Tip</i>	2500	mm
<i>Ketebalan Plat</i>	3	mm



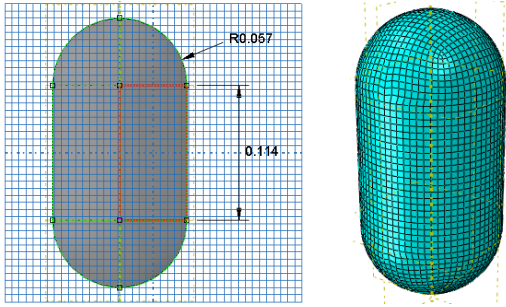
**Gambar 3.1** *Airfoil* NACA 653-218



**Gambar 3.2** Model struktur *leading edge* yang sudah dipotong dan disederhanakan untuk lebih memfokuskan pada titik deformasi terjadinya tumbukan dengan burung

**Tabel 3.2** Geometri Simulasi Burung

Radius	0,057	m
Panjang	0,114	m
Panjang Total	0,228	m
Massa	1,8	Kg

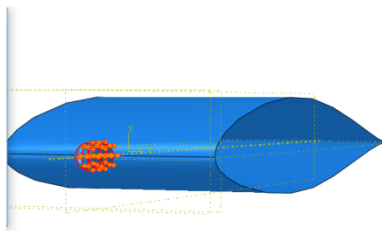


**Gambar 3.3** Model burung untuk simulasi

Data material yang digunakan untuk simulasi ini adalah material *Aluminium 2024 T4* untuk model *Leading Edge* serta burung dengan kondisi sebenarnya memiliki karakteristik khusus terdiri dari tulang, darah, dan daging. Dalam simulasi ini, glatin digunakan sebagai pengganti burung yang mana dapat menyerupai perilaku dinamik untuk tumbukan kecepatan tinggi. Penggunaan glatin murni diyakini dapat mereplikasi persamaan kondisi air secara akurat dan daging burung. Glatin memiliki kepadatan sekitar  $0,938 \text{ gcm}^{-3}$ , karena lebih dari 90% mengandung air.

**Tabel 3.3** Data Material Struktur *Leading Edge* [13] dan Model Burung [12]

Properties	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Elasticity (Pa)	Poisson's ratio	EOS	YieldStress (MPa)
Al 2024 T4	2780	7310000000	0,33	-	324
Bird	938	10000000	-	0%	100000



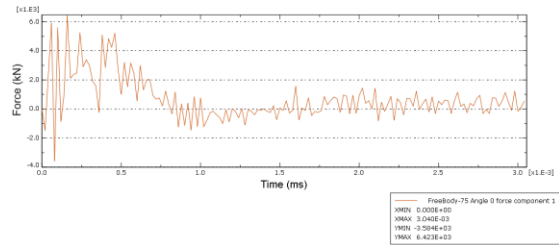
**Gamba 3.4** Pemodelan pada simulasi

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

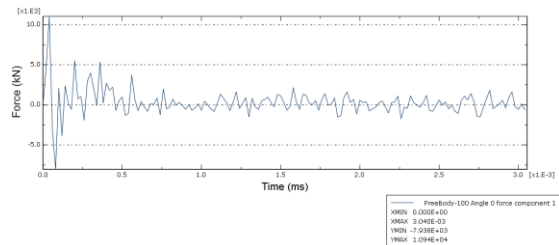
### 4.1 Force and Time

Analisis *Bird Hit* atau *Bird Strike* menggunakan 8 variasi, 4 kecepatan 75 m/s, 100 m/s, 125 m/s, 150 m/s dan 2 variasi sudut  $0^\circ$  dan  $45^\circ$ .

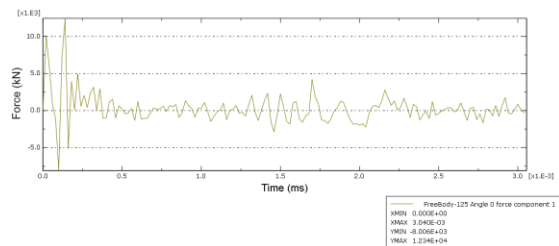
Hasil simulasi berupa diagram data *force vs time* sebagai berikut :



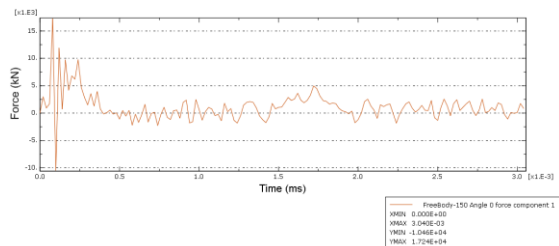
**Gambar 4.1** Grafik tumbukan sudut  $0^\circ$  dengan kecepatan 75m/s



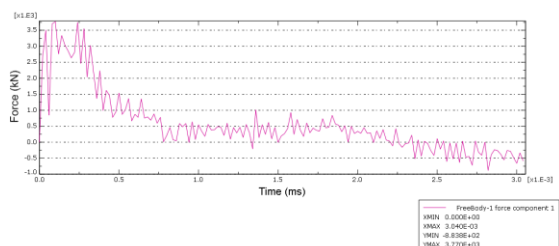
**Gambar 4.2** Grafik tumbukan sudut  $0^\circ$  dengan kecepatan 100m/s



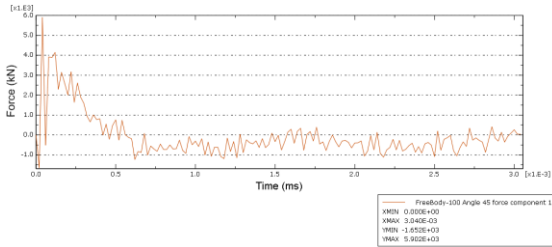
**Gambar 4.3** Grafik tumbukan sudut  $0^\circ$  dengan kecepatan 125m/s



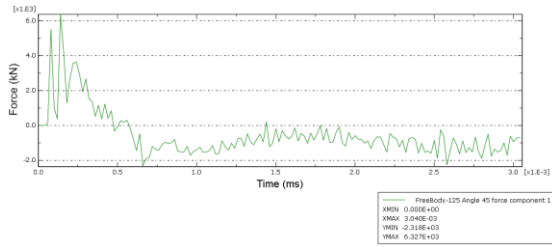
**Gambar 4.4** Grafik tumbukan sudut  $0^\circ$  dengan kecepatan 150m/s



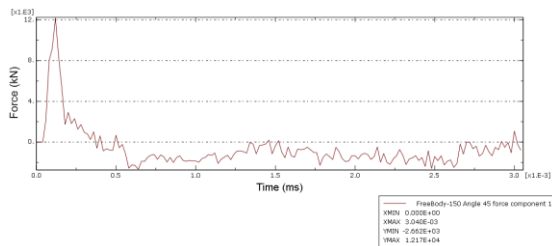
**Gambar 4.5** Grafik tumbukan sudut  $45^\circ$  dengan kecepatan 75m/s



**Gambar 4.6** Grafik tumbukan sudut 45° dengan kecepatan 100m/s



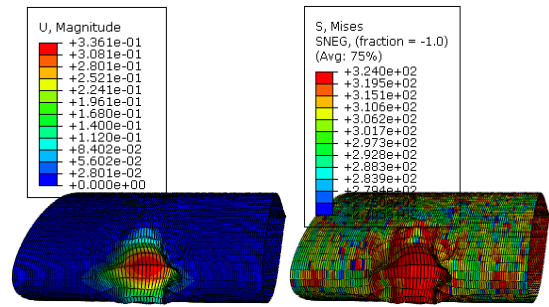
**Gambar 4.7** Grafik tumbukan sudut 45° dengan kecepatan 125m/s



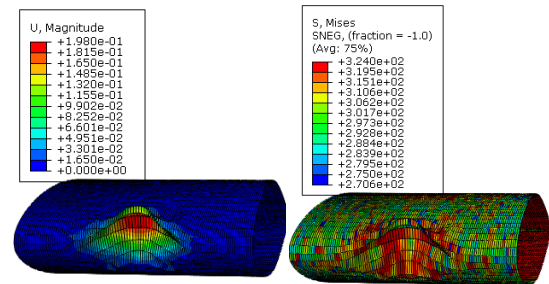
**Gambar 4.8** Grafik tumbukan sudut 45° dengan kecepatan 150m/s

Dari **Gambar 4.1** hingga **Gambar 4.8** grafik *force vs time* menunjukkan deformasi yang terjadi tidaklah sama pada setiap model.

Dari hasil simulasi yang dilakukan pada setiap model, resultan gaya dapat diketahui adanya perubahan gaya dan di sisi lain menunjukkan adanya perubahan bentuk pada model *leading edge*. Visualisasi perubahan deformasi pada tumbukan setiap kecepatan dan arah sudut 0° dengan kecepatan 150 m/s memiliki gaya maksimal sebesar 17,24 kN yang ditunjukkan pada **Gambar 4.9** dan **Gambar 4.10**.



**Gambar 4.9** Visualisasi tabrak burung sudut 0° kecepatan 150m/s. *Displacement/magnitude dan Stress/Mises*



**Gambar 4.10** Visualisasi tabrak burung sudut 45° kecepatan 150m/s. *Displacement/magnitude dan Stress/Mises*

Dari hasil simulasi yang dilakukan pada setiap model, resultan gaya dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

**Tabel 4.1** Perbandingan *force* dan *displacement*

No	Kecepatan	Force		Displacement	
		0° (kN)	45° (kN)	0° (mm)	45° (mm)
1	75 m/s	6.42	3.76	148.12	89.69
2	100 m/s	10.93	5.9	205.43	123.15
3	125 m/s	12.33	6.32	269.68	157.13
4	150 m/s	17.24	12.16	336.09	198.04

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi elemen hingga untuk kasus tumbukan pada 8 model *Leading Edge*, maka didapatkan hasil nilai *force*. Pada model dengan sudut 0° kecepatan 150 m/s menerima gaya paling besar yaitu 17,24 kN.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Thorpe, J., 1992, "Analysis of Bird Strikes", CAA-UK
- [2] Heimbs, S., 2011, *Bird Strike Analysis in Aircraft Engineering: An Overview*. Advances in Mechanical Engineering Research, Vol 3. Nova Science Publishers, Inc.

- [3] Zhu, S, Mingbo Tong, Yuequan Wang, 2009, *Experiment and Numerical Simulation of a Full-Scale Aircraft Windshield Subjected to Bird Impact*, 50<sup>th</sup> AIAA/ASME/ASCE/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, California.
- [4] Kim, H., 2012, *Impact Damage Formation on Composite Aircraft Structures*. Federal Aviation Administration, JAMS 2012, Technical Review Meeting, Baltimore.
- [5] J.P. Barber, H.R. Taylor, J.S. Wilbeck, 1978, *Bird impact force and pressure on rigid and compliant target*. Technical Report AFFDL-TR-77-60, Air Force light Dynamics Laboratory.
- [6] J.P. Barber, H.R. Taylor, J.S. Wilbeck, 1975, *Characterization of bird impacts on a rigid plate: part 1*. Technical Report AFFDL-TR-75-5, Air Force Flight Dynamics Laboratory.
- [7] J.S. Wilbeck, 1978, *Impact behavior of low strength projectiles*. Technical Report AFML-TR-77-134, Wright-Patterson Air Force Base.
- [8] J.S. Wilbeck, J.P. Barber, 1978, *Impact bird loading*, The Shock and Vibration Bulletin 48, 2 115-122.
- [9] Allan, J. R. (2000) *The costs of bird strikes and bird strike prevention. In human conflicts with wildlife: Economic considerations* (pp. 147-153). Lincoln, NE: USDA National Wildlife Research Center Symposia.
- [10] Abaqus Analysis User's Manual, Equation of state, Section 22.21.1, Version 6.10.
- [11] Simulia, "A Strategy for Bird Strike Simulations using Abaqus/Explicit", Simulia Help
- [12] ASM "Aerospace Specification Metals" <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=ma2024t4> (diakses pada tanggal 30 November 2018)
- [13] Airoidi, A., and Cacchione. B, 2006, "Modelling of Impact Forces and Pressures in Lagrangian Bird Strike Analyses", *International Journal of Impact Engineering*, 32, pp. 1651-1677.
- [14] Zhou, Jie., 2017, "Experimental and numerical investigation of soft impact loading on aircraft materials". Mechanics of Materials, Division Department of Mechanical Engineering, Imperial College, London.
- [15] Annabi, Nasim, M.S., Jason W. Nichol, Ph.D., Xia Zhong, M.S., Chengdong Ji, M.B.E., Sandeep Koshy, B.A.Sc., Ali Khademhosseini, Ph.D., and Fariba Dehghani, Ph.D., 2011, "Controlling the Porosity and Microarchitecture of Hydrogels for Tissue Engineering." *Tissue Engineering Part B: Reviews* 16.4: 371-383. Mary Ann Liebert, Inc.
- [16] CASA Publication, 1988, *Structural Repair Manual I C-212 Aircraft Series 100, 200, 300 and 400. Apartado 7151 – 41080 Sevilla*.
- [17] UIUC Applied Aerodynamics Group, Department of Aerospace Engineering, *UIUC Airfoil Coordinates Database*. [https://m-selig.ae.illinois.edu/ads/coord\\_database.html](https://m-selig.ae.illinois.edu/ads/coord_database.html) (diakses pada tanggal 30 November 2018)