

Analisis Tabrak Burung Pada *Vertical Stabilizer* dengan Metode Elemen Hingga

Sahril Afandi Sitompul*, Prastyo Ardi Herwanda

Prodi Teknik Penerbangan, Fakultas Teknologi Kedirgantaraan, Universitas Suryadarma
Komplek Bandara Halim Perdanakusuma, Jakarta 13610, Indonesia

*Corresponding Author: sahrilafandi@gmail.com

Abstrak – Kasus tabrak burung sering terjadi pada operasi penerbangan. Tabrak burung dapat menyebabkan kegagalan struktur serta mengancam keselamatan penerbangan. Pengetahuan mengenai fenomena tabrak burung perlu dikembangkan lebih lanjut terutama jenis kegagalan yang mungkin terjadi pada komponen struktur pesawat. Penelitian ini mempelajari tabrak burung pada *vertical stabilizer* dengan metode numerik berbasis metode elemen hingga. Struktur *vertical stabilizer* diasumsikan hanya terbuat dari skin dengan mengalami tabrak burung variasi kecepatan awal 75 m/s, 100 m/s, 125 m/s dan 150 m/s serta variasi sudut impak sebesar 0° dan 45° . Sifat material burung diasumsikan elastis-plastis. Hasil simulasi menunjukkan deformasi *vertical stabilizer* berupa perpindahan meningkat dengan bertambahnya kecepatan, serta dapat disimpulkan tabrak burung pada sudut 45° menunjukkan gaya impak dan deformasi lebih tinggi dibanding 0° untuk tiap kecepatan yang sama. Gaya impak maksimum yang terjadi pada tiap kecepatan untuk arah tumbukan 0° dan 45° pada rentang 15 – 45 kN dan 40 – 78 kN. Sementara, hasil perpindahan maksimum pada tiap kecepatan untuk arah tumbukan 0° dan 45° pada rentang 73 – 161 mm dan 99 - 219 mm.

Kata kunci: Tabrak burung, *Vertical Stabilizer*, Deformasi, Metode elemen hingga.

Abstract – Bird strike events occurred frequently in flight operation. Bird strikes can cause structural failure and may lead to flight accident. The knowledge of bird strike phenomenon need to developed further to study structural failure of aircraft that might occurred. This study provides bird strike simulation on *vertical stabilizer* using finite element method. The *vertical stabilizer* structure is assumed consist of skin only and bird strike velocities are 75 m/s, 100 m/s, 125 m/s and 150 m/s with impact direction of 0° , 45° . Material property of bird is defined as elasto-plastic material. The results show *vertical stabilizer* deformation (displacement) is increasing as the variation of speed increased and impact forces and displacement result during bird strike is higher when impact direction 45° than 0° at the same speed variation. Maximum impact forces at each speed shows values between 15 – 45 kN dan 40 – 78 kN for impact direction of 0° and 45° , respectively. Maximum displacement at each speed shows values between 73 – 161 mm and 99 - 219 mm for impact direction of 0° and 45° , respectively.

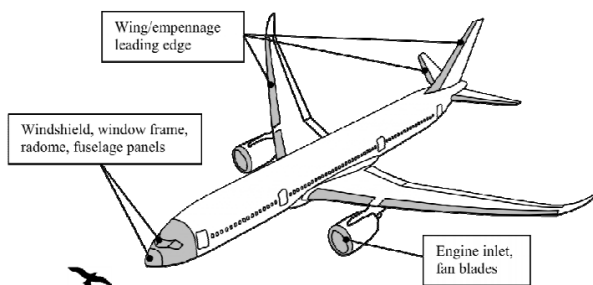
Keywords: Bird Strike, *Vertical Stabilizer*, Deformation, Finite Element Method.

I. PENDAHULUAN

Tabrak burung adalah tabrakan antara hewan terbang (pada umumnya burung) dengan kendaraan buatan manusia, khususnya pesawat terbang, biasa juga disebut *BASH (Bird Aircraft Strike Hazard)*. Tabrak burung merupakan ancaman yang signifikan terhadap keselamatan penerbangan dan menjadi salah satu penyebab beberapa kecelakaan dengan korban jiwa manusia. Meningkatnya kasus tabrak burung pada dunia penerbangan mulai perlu diwaspadai. Kejadian ini sudah sering terjadi terutama pada pesawat sipil maupun pesawat militer. Ketika pesawat militer terbang rendah dengan kecepatan tinggi, biasanya terjadi tumbukan antara pesawat dengan sekelompok burung yang dapat membahayakan keamanan pilot, penumpang dan komponen pada pesawat itu sendiri.

Industri penerbangan sipil telah mengalami kerugian besar karena kejadian tabrak burung. Berdasarkan data dari International Bird Strike Committee, total 55 menunjukkan kejadian fatal telah terjadi antara tahun 1912 dan 2009, terdapat 108 buah pesawat rusak dan 277 penumpang meninggal. Selama penerbangan militer, korban jiwa dan kerusakan pesawat menunjukkan terdapat setidaknya 283 pesawat rusak, menyebabkan 141 kematian antara tahun 1959 dan 1999 [1].

Terkait kerusakan atau kegagalan struktur pada saat tabrak burung, rentan terjadi pada struktur permukaan luar pesawat udara. Komponen struktur tersebut berupa *windshield*, *radome*, *fuselage skin/panels*, *fan blade* maupun *inlet engine* [2], seperti ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Ilustrasi komponen struktur pesawat yang rentan terhadap tabrak burung [2].

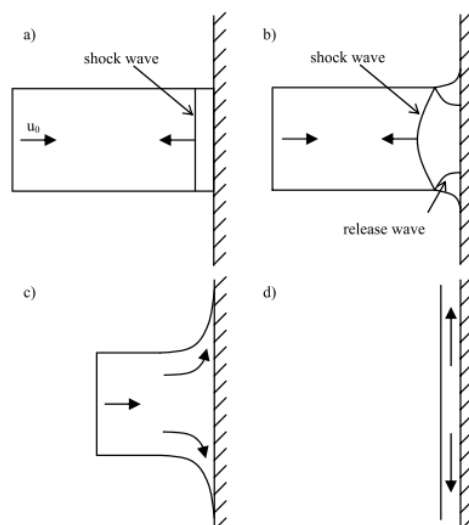
II. LANDASAN TEORI

Impak antara burung dan benda *rigid* atau komponen struktur menunjukkan burung mengalami deformasi yang berlebihan atau besar dan cenderung mengikuti bentuk permukaan target. Hal ini terjadi ketika tegangan yang ditimbulkan pada saat tumbukan melebihi *yield stress* dari burung tersebut. Perilaku material burung tersebut dikenal sebagai material '*soft body*', terkait dengan kekuatan/kekakuan material burung yang sangat rendah dibanding dengan komponen struktur yang menjadi target impak.

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

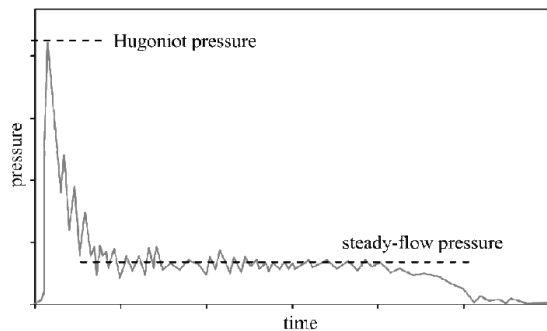
2.1 Teori Hidrodinamika

Penelitian awal tentang kasus tabrak burung pada bidang datar telah dilakukan oleh Wilbeck dan Barber [3-6]. Perilaku tumbukan didefinisikan terdiri dari empat tahap: a) initial shock saat kontak tumbukan awal, b) shock tumbukan menurun, c) aliran deformasi steady dan d) penurunan tekanan, seperti ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Ilustrasi gelombang *shock* dan *release* pada tumbukan *soft body* dengan *rigid wall* [2].

Grafik tekanan terhadap waktu pada kasus tumbukan antara soft body dan permukaan *rigid* ditunjukkan oleh **Gambar 3**.



Gambar 3 Kurva tekanan terhadap waktu pada tumbukan *soft body* dengan permukaan *rigid* [2].

Tekanan puncak awal pada saat kontak kasus tumbukan tegak lurus bidang dikenal sebagai Hugoniot Pressure, P_H .

$$P_H = \rho_0 u_0 u_s \quad (1)$$

dengan ρ_0 kerapatan awal impaktor.

Tekanan Steady-Flow, P_s , dapat didekati dengan persamaan Bernoulli:

$$P_s = \frac{1}{2} \rho_0 u_0^2 \quad (2)$$

Total durasi saat tumbukan, t_D , diperoleh dengan pendekatan waktu yang dibutuhkan impaktor mengalir sepanjang dimensi L impaktor tersebut:

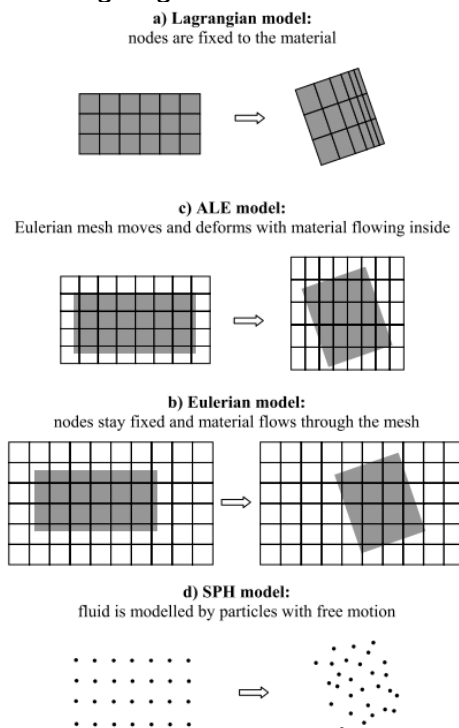
$$t_D = \frac{L}{u_0} \quad (3)$$

2.2 Metode Elemen Hingga kasus Tabrak Burung

Metode pengujian eksperimen membutuhkan biaya tinggi dan tidak cukup informasi yang diberikan terkait respon struktur pada saat pembebanan. Metode numerik merupakan salah satu upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut. Melalui metode numerik penelitian dapat memperoleh kajian data yang berguna seperti distribusi tegangan, perpindahan, serta visualisasi 3D deformasi struktur yang kompleks. Perubahan model material, geometrid an beban pada penelitian tidak membutuhkan tambahan biaya dan pengujian yang

diperlukan dapat dilakukan lebih cepat, hemat dan akurat.

Metode numerik yang umum digunakan adalah berbasis metode elemen hingga. Pendekatan simulasi numerik untuk tabrak burung yang dilakukan menggunakan *Lagrangian Modeling Method*, *Eulerian Modeling Method*, *Arbitrary Lagrangian-Eulerian Method (ALE)* dan *Smooth Particle Hydrodynamics (SPH)* [2] seperti ditunjukkan pada **Gambar 4**. Pendekatan metode *Lagrangian*



Gambar 4 Pendekatan metode elemen hingga kasus tabrak burung [2].

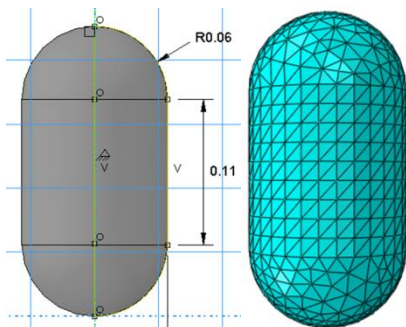
Penjelasan keuntungan dan kerugian masing-masing metode dapat ditemukan pada referensi [2]. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah pendekatan dengan *Lagrangian Modeling Method*.

Karakteristik metode *Lagrangian* merupakan salah satu teknik standard dengan pendekatan berbasis metode elemen hingga pada kasus analisis struktur. Nodal pada *Lagrangian mesh* mewakili material/struktur sehingga masing-masing nodal mengikuti respon struktur ketika terjadi pembebanan, baik berupa gerak maupun deformasi. Kondisi batas terdefinisi dengan jelas dan spesifik.

III. PEMODELAN DAN SIMULASI NUMERIK

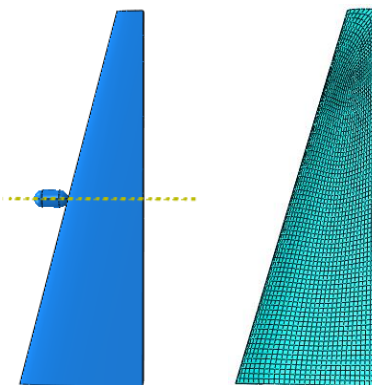
3.1 Model Burung dan Vertical stabilizer

Simulasi tabrak burung digunakan pemodelan burung dengan dimensi radius setengah bola tiap ujung 0,057 m dan panjang bagian silinder 0,114 m dan total massa 1,8 kg [7] seperti ditunjukkan pada **Gambar 5**. Model terdiri dari 7730 dengan jenis elemen solid (C3D4) dan rata-rata panjang elemen 12-13 mm.



Gambar 5 Geometri model burung dan bentuk *meshing*.

Geometri Vertical stabilizer memiliki dimensi dan meshing seperti ditunjukkan pada **Gambar 6**. Dimensi meshing yang digunakan rata-rata 3 mm dengan jenis elemen *Shell Quad S4R*.



Gambar 6 Geometri model *vertical stabilizer* dan bentuk *meshing*.

3.2 Data Material

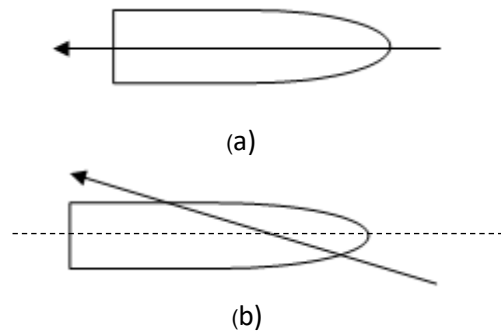
Properti material yang digunakan ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Data Material [7]

Material	Density (kg/m ³)	Young's Modulus (GPa)	Poisson's ratio	Yield Stress (MPa)
Al2024-T1	2810	71,7	0,3	503
Bird	938	0,0689	0,49	0,006894

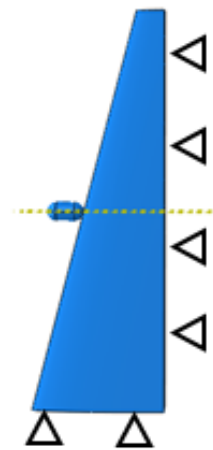
3.3 Kondisi Pembebanan dan Kondisi Batas

Beban impact diberikan dengan variasi kecepatan awal tumbukan 75 m/s, 100 m/s, 125 m/s dan 150 m/s, dengan kondisi arah tumbukan 0° dan 45° pada tiap kecepatan, seperti ditunjukkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7 Definisi arah sudut pembebanan tabrak burung (a). 0° dan (b). 45°, tampak atas.

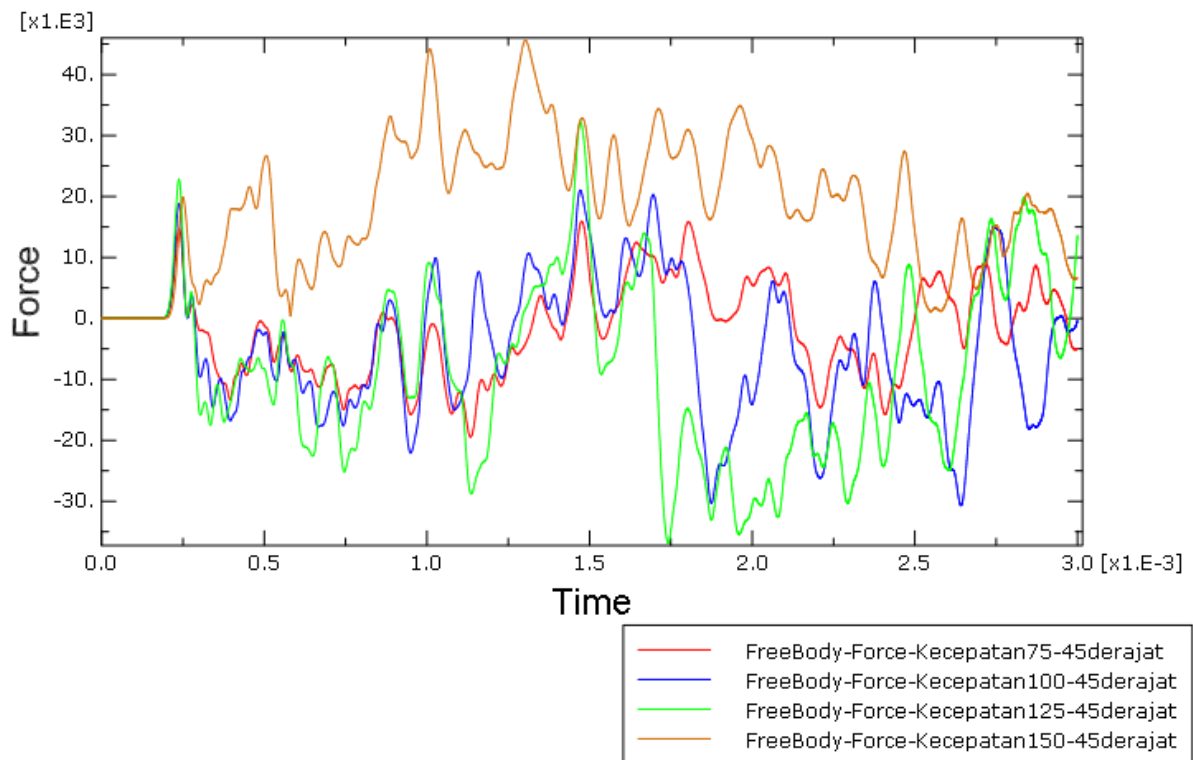
Kondisi batas/tumpuan ditentukan pada bagian dua sisi ujung vertical stabilizer seperti ditunjukkan pada **Gambar 8** dengan kondisi ditahan (*fixed*).



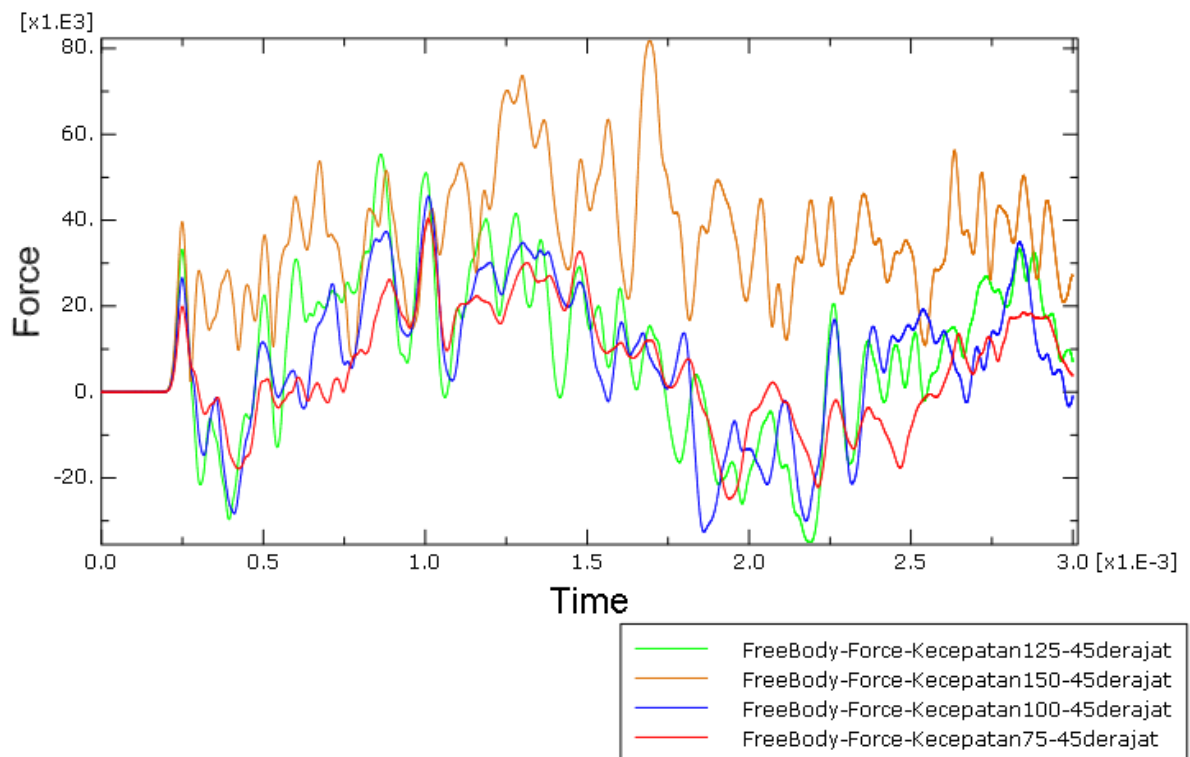
Gambar 8 Kondisi Batas *fixed* pada *vertical stabilizer*.

IV. HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

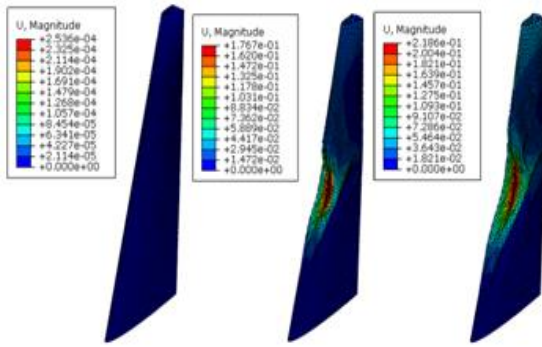
Hasil simulasi numerik tabrak burung berupa gaya impact tiap waktu dan distribusi deformasi/perpindahan yang terjadi tiap kondisi pembebanan simulasi. Grafik gaya impact ditunjukkan **Gambar 9-10** dan bentuk deformasi **Gambar 11-12** untuk kasus kecepatan 150 m/s masing-masing arah impact 0° dan 45°.



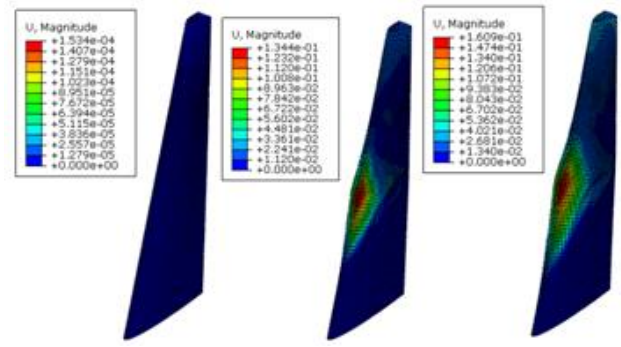
Gambar 9 Gaya impact terhadap waktu tiap kondisi awal kecepatan pada sudut impact 0° .



Gambar 10 Gaya impact terhadap waktu tiap kondisi awal kecepatan pada sudut impact 45° .



Gambar 11 Distribusi deformasi/perpindahan yang terjadi pada impact kecepatan 150 m/s dengan sudut 0°.



Gambar 12 Distribusi deformasi/perpindahan yang terjadi pada impact kecepatan 150 m/s dengan sudut 45°.

Pola grafik gaya impact terhadap waktu pada **Gambar 9** dan **Gambar 10** menunjukkan beberapa puncak gaya impact. Kasus tersebut disebabkan interaksi kontak dan respon deformasi antara burung dan struktur *leading edge*. Saat tumbukan pertama terjadi antaran burung dengan *leading edge*, tekanan pada titik impact meningkat secara cepat akibat *shock pressure* yang timbul. Saat shock wave merambat pada *leading edge*, menyebabkan *leading edge* bergerak pada arah yang sama dengan kecepatan awal tumbukan burung, pada saat bersamaan permukaan depan burung mengalami ekspansi dan tekanan pada area kontak menurun. Penurunan gaya impact antara burung dan *leading edge* yang terjadi serta kekakuan flexural *leading edge* mengurangi kecepatan *leading edge* sehingga memperbesar gaya impact kembali dan gaya impact puncak terbentuk kembali. Proses ini berulang hingga interaksi *shock wave* dari sumber lain menghilangkan tekanan tinggi.

Gaya impact pada arah tumbukan 45° lebih besar dibandingkan dengan arah tumbukan 0°. Hal ini berkaitan dengan kondisi kontak, pada arah tumbukan 45°, energi kinetik burung secara keseluruhan ditransfer saat tumbukan menyebabkan perpindahan dan tegangan lebih tinggi pada saat kontak, sehingga hasil simulasi berupa deformasi paling besar juga pada arah tumbukan 0° dibanding arah tumbukan 45° pada tiap-tiap kecepatan yang sama. Hasil gaya impact maksimum dan perpindahan maksimum dirangkum pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Nilai maksimum gaya impact dan perpindahan

Kec. (m/s)	Gaya Impact pada 0° (kN)	Gaya Impact pada 45° (kN)	Perpindahan 0° (mm)	Perpindahan 45° (mm)
75	15	40	73	99
100	21	45	106	143
125	32	56	136	179
150	45	78	161	219

V. KESIMPULAN

Hasil simulasi numerik dengan variasi kecepatan dan arah tumbukan pada *leading edge* dapat disimpulkan. Variasi kecepatan yang meningkat pada tiap pembebanan menyebabkan energi kinetik lebih tinggi sehingga gaya impact dan perpindahan lebih tinggi saat tumbukan terjadi. Variasi arah tumbukan impact menunjukkan pada arah 45° hampir keseluruhan energi kinetik material burung ditransfer saat kontak dengan *leading edge* sehingga gaya impact dan perpindahan lebih besar dibanding arah tumbukan 0°.

DAFTAR PUSTAKA

[1] 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.

- [2] Sebastian Heimbs (2011) *Bird Strike Analysis in Aircraft Engineering: An Overview*. Advances in Mechanical Engineering Research, Vol 3. Nova Science Publishers, Inc.
- [3] J.P. Barber, H.R. Taylor, J.S. Wilbeck, *Characterization of bird impacts on a rigid plate: part I*. Technical Report AFFDL-TR-75-5, Air Force Flight Dynamics Laboratory, 1975.
- [4] J.P. Barber, H.R. Taylor, J.S. Wilbeck, *Bird impact force and pressures on rigid and compliant target*. Technical Report AFFDL-TR-77-60, Air Force Flight Dynamics Laboratory, 1978.
- [5] J.S. Wilbeck, *Impact behavior of low strength projectiles*. Technical Report AFML-TR-77-134, Wright-Patterson Air Force Base, 1978.
- [6] J.S. Wilbeck, J.P. Barber, *Impact bird loading*, The Shock and Vibration Bulletin 48, 2 (1978) 115-122.
- [7] Shuhua Zhu, Mingbo Tong, Yuequan Wang, *Experiment and Numerical Simulation of a Full-Scale Aircraft Windshield Subjected to Bird Impact*, 50th AIAA/ASME/ASCE/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, California, 2009.