

# Analisis Tabrak Burung Pada *Leading Edge* Dengan Metode Elemen Hingga

Sahril Afandi Sitompul\*, Abdul Hanafi

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

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

**Abstrak** – Insiden tabrak burung sering terjadi pada operasi penerbangan dan dapat menyebabkan kegagalan struktur serta mengancam keselamatan penerbangan. Oleh karena itu, fenomena tabrak burung perlu dipelajari lebih lanjut terutama efek yang terjadi pada komponen struktur pesawat. Penelitian ini membahas tabrak burung pada *Leading Edge* dengan metode numerik berbasis metode elemen hingga. Struktur *Leading Edge* diasumsikan hanya terdiri dari skin dengan mengalami tabrak burung variasi kecepatan 75 m/s, 100 m/s, 125 m/s dan 150 m/s serta variasi sudut sebesar  $0^\circ$  dan  $45^\circ$ . Material burung dianggap memiliki sifat material elastis-plastis. Hasil simulasi menunjukkan deformasi *Leading Edge* meningkat dengan bertambahnya kecepatan, serta gaya impak lebih tinggi pada arah tumbukan  $0^\circ$  untuk tiap kecepatan yang sama. Gaya impak maksimum pada tiap kecepatan untuk arah tumbukan  $0^\circ$  dan  $45^\circ$  pada rentang 27 – 53 kN dan 16 – 40 kN. Sementara, hasil perpindahan maksimum pada tiap kecepatan untuk arah tumbukan  $0^\circ$  dan  $45^\circ$  pada rentang 110 – 242 mm dan 82 – 201 mm.

**Kata kunci:** Tabrak burung, *Leading edge*, Deformasi, Metode elemen hingga.

**Abstract** – Bird strike events occurred frequently in flight operation and cause structural failure and may lead to flight accident. Therefore, bird strike effects on airplane structural failures need to be studied further. This study provides bird strike simulation on leading edge using finite element method. The leading edge 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  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ . Bird material is defined as elasto-plastic material. The results show deformation increasing as variation of speed increased and impact force during bird strike is higher when impact direction  $0^\circ$  at the same speed. Maximum impact force at each speed shows values between 27 – 53 kN dan 16 – 40 kN for impact direction of  $0^\circ$  and  $45^\circ$ , respectively. Maximum displacement at each speed shows values between 110 – 242 mm and 82 – 201 mm for impact direction of  $0^\circ$  and  $45^\circ$ , respectively.

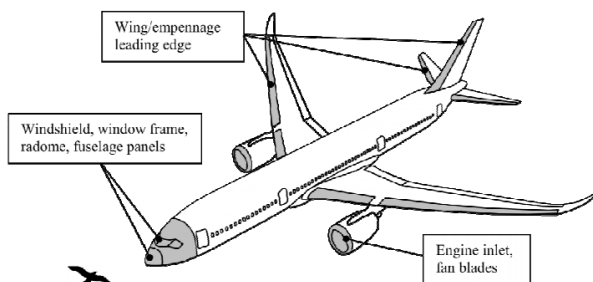
**Keywords:** Bird Strike, *Leading edge*, Deformation, Finite Element Method.

## I. PENDAHULUAN

Tabrak burung (*Bird strike*) biasa juga disebut *BASH (Bird Aircraft Strike Hazard)* adalah tabrakan antara hewan terbang (pada umumnya burung) dengan kendaraan buatan manusia, khususnya pesawat terbang. 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 akibat kerusakan komponen pesawat itu sendiri.

Industri penerbangan komersial telah mengalami kerugian besar akibat kejadian tabrak burung. Data dari International Bird Strike Committee, 55 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 setidaknya 283 pesawat rusak, menyebabkan 141 kematian antara tahun 1959 dan 1999 [1].

Terkait kerusakan atau kegagalan struktur akibat fenomena 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].

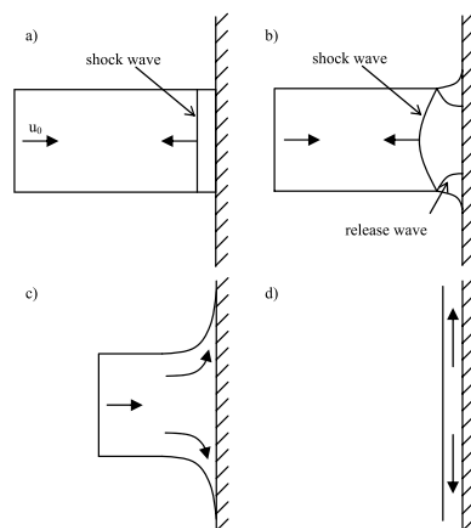
## II. LANDASAN TEORI

Tumbukan antara burung dan 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 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.

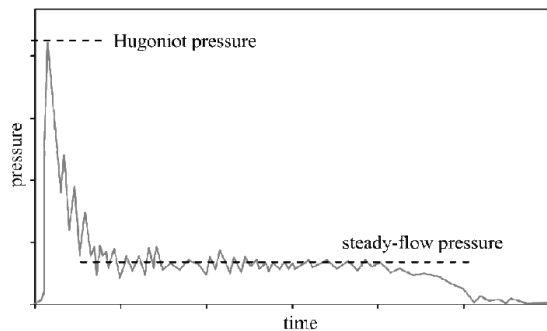
### 2.1 Teori Hidrodinamika

Penelitian awal tentang fenomena tabrak burung pada bidang datar telah dilakukan oleh Wilbeck dan Barber [3-6]. Perilaku tumbukan 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].

Kurva 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  $\rho_0$  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:

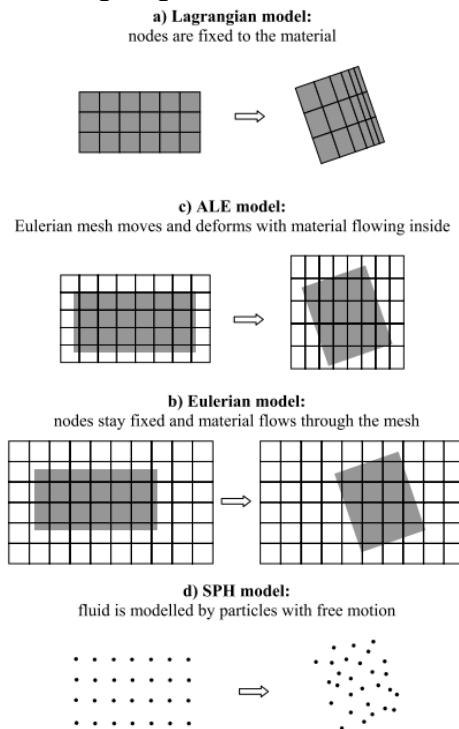
$$t_D = \frac{L}{u_0} \quad (3)$$

## 2.2 Metode Elemen Hingga kasus Tabrak Burung

Metode 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 diamati. Perubahan model material dan geometri pada penelitian tidak membutuhkan tambahan biaya dan

pengujian yang diperlukan dapat dilakukan lebih cepat, hemat dan akurat.

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)* [2] seperti ditunjukkan pada **Gambar 4**. Pendekatan metode *Lagrangian*



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

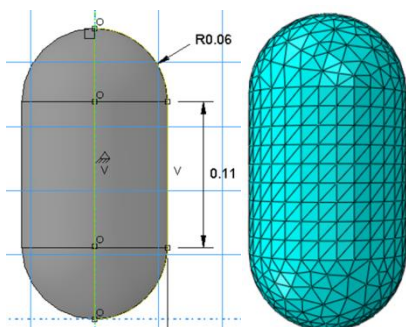
Penjelasan keuntungan dan kerugian masing-masing metode dapat ditemukan pada referensi [2]. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah pendekatan dengan *Lagrangian Modeling Method*.

Karakteristik metode *Lagrangian* merupakan salah satu teknik standard 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

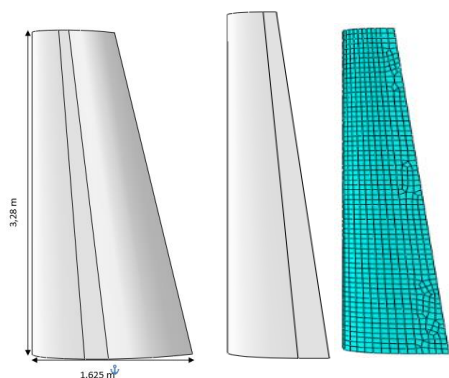
#### 3.1 Model Burung dan *Leading Edge*

Pada 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 solid elemen (C3D4) dengan rata-rata panjang elemen 12-13 mm.



**Gambar 5** Geometri model burung dan bentuk *meshing*.

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



**Gambar 6** Geometri model *leading edge* dan bentuk *meshing*.

#### 3.2 Data Material

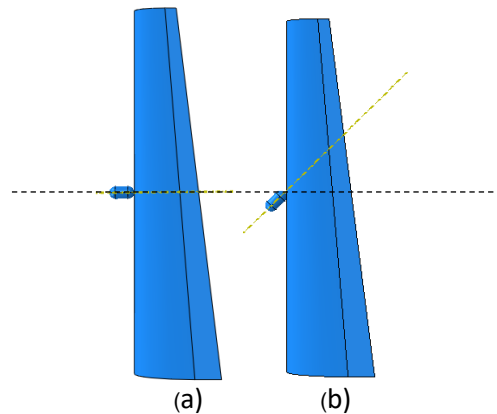
Properti material yang digunakan ditunjukkan pada **Tabel 1**.

**Tabel 1** Data Material [7]

Material	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Young's Modulus (GPa)	Poisson's ratio	Yield Stress (MPa)
Al2024-T1	2780	73,1	0,3	324
Bird	938	0,0689	0,49	0,006894

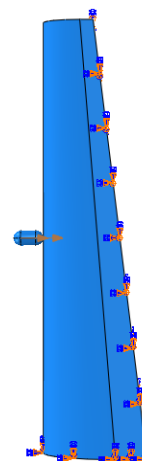
#### 3.3 Kondisi Pembebanan dan Kondisi Batas

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.

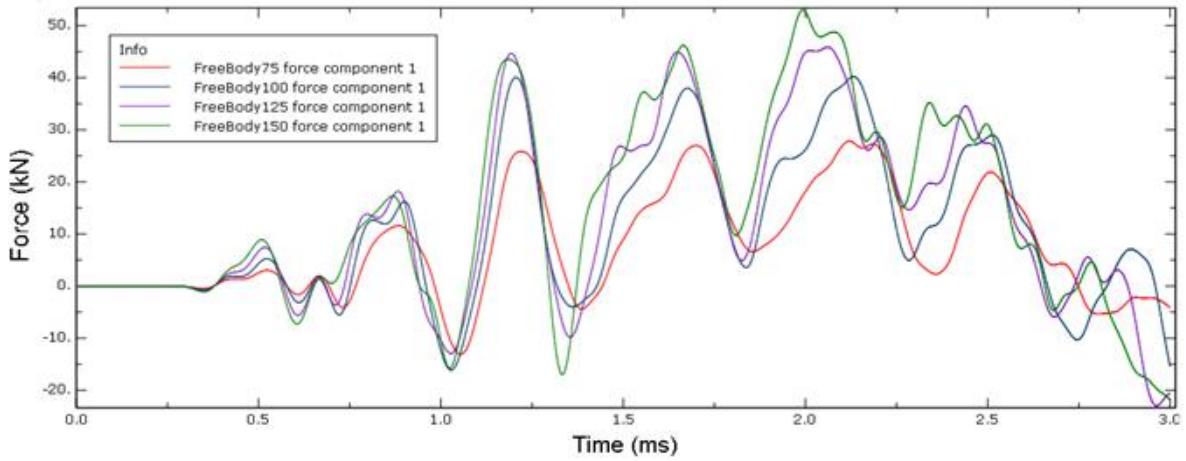
Kondisi batas/tumpuan ditentukan pada bagian sisi ujung *leading edge* seperti ditunjukkan pada **Gambar 8** dengan kondisi ditahan (*fixed*).



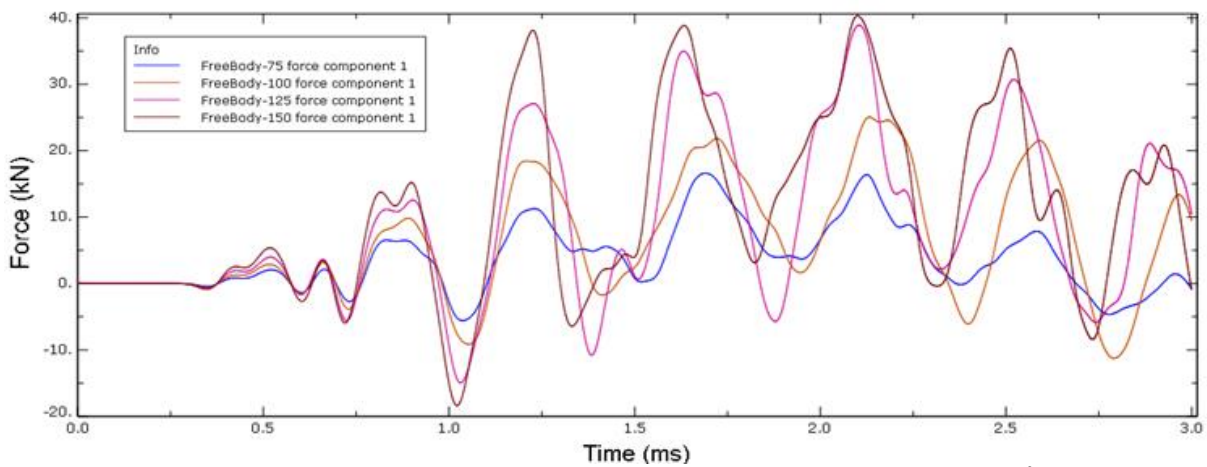
**Gambar 8** Kondisi Batas *fixed* pada *leading edge*.

### IV. HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

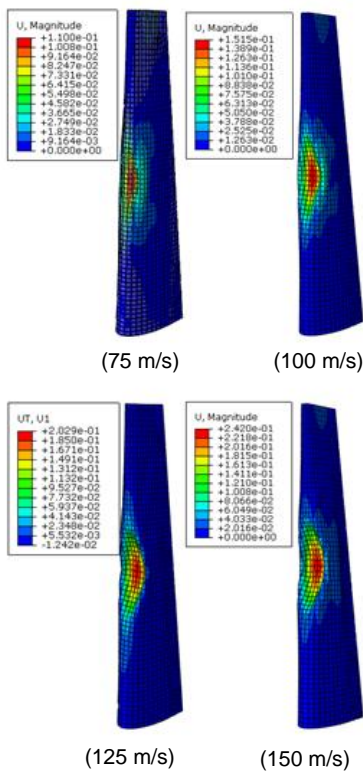
Keluaran simulasi numerik tabrak burung berupa gaya impact tiap waktu dan distribusi deformasi/perpindahan yang terjadi tiap kondisi pembebanan simulasi. Grafik gaya impact ditunjukkan **Gambar 9-10** dan bentuk deformasi **Gambar 11-12** untuk tiap kecepatan pada 0° dan 45°.



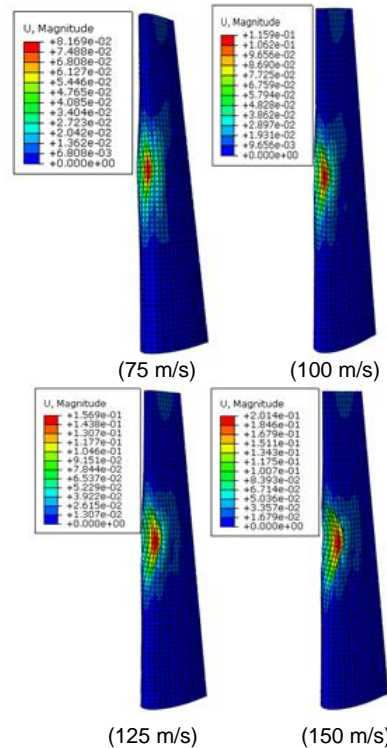
Gambar 9 Gaya impact terhadap waktu tiap kondisi awal kecepatan pada sudut impact  $0^\circ$ .



Gambar 10 Gaya impact terhadap waktu tiap kondisi awal kecepatan pada sudut impact  $45^\circ$ .



Gambar 11 Perpindahan pada sudut impact  $0^\circ$



Gambar 12 Perpindahan pada sudut impact  $45^\circ$

Pola grafik gaya impak tiap waktu pada **Gambar 9** dan **Gambar 10** menunjukkan beberapa puncak gaya. Fenomena tersebut disebabkan interaksi kontak dan deformasi antara burung dan struktur *leading edge*. Saat tumbukan pertama burung dengan *leading edge*, tekanan pada titik impak 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 impak antara burung dan *leading edge* yang terjadi serta kekakuan flexural *leading edge* mengurangi kecepatan *leading edge* sehingga memperbesar gaya impak kembali dan gaya impak puncak terbentuk kembali. Proses ini berulang hingga interaksi *shock wave* dari sumber lain menghilangkan tekanan tinggi.

Gaya impak pada arah tumbukan 0° lebih besar dibandingkan dengan arah tumbukan 45°. Hal ini berkaitan dengan kondisi kontak, pada arah tumbukan 0°, 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 maksimum dan perpindahan maksimum dirangkum pada **Tabel 1**.

**Tabel 1** Nilai maksimum gaya impak dan perpindahan

Kec. (m/s)	Gaya Impak pada 0° (kN)	Gaya Impak pada 45° (kN)	Perpindahan 0° (mm)	Perpindahan 45° (mm)
75	27	16	110	82
100	40	25	151	115,9
125	45	38	203	156,9
150	53	40	242	201,4

## V. KESIMPULAN

Hasil simulasi numerik dengan variasi kecepatan dan arah tumbukan pada *leading edge* dapat diamati. Efek

variasi kecepatan menyebabkan energi kinetik lebih tinggi sehingga gaya impak dan perpindahan lebih tinggi saat tumbukan terjadi. Variasi arah tumbukan menunjukkan, pada arah 0° hampir keseluruhan energi kinetik material burung ditransfer saat kontak dengan *leading edge* sehingga gaya impak dan perpindahan lebih besar dibanding arah tumbukan 45°.

## 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*, 50<sup>th</sup> AIAA/ASME/ASCE/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, California, 2009.