

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

**JUDUL LAPORAN TUGAS AKHIR**

Disusun Oleh:

**NAMA**

**NIM: XXXXXXXX**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Fakultas** | **:** | Fakultas Teknik Dirgantara dan Industri |
| **Program Studi** | **:** | Teknik …. |
| **Peminatan** | **:** |  |
| **Bentuk Tugas Akhir** | **:** |  |
| **Dosen Pembimbing I** | **:** |  |
| **Dosen Pembimbing II** | **:** | (Jika ada) |
| **Bulan Tahun** | **:** | Desember 202X |

**UNIVERSITAS DIRGANTARA MARSEKAL SURYADARMA**

**20XX**

# HALAMAN JUDUL



**LAPORAN TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S-1)/ Ahli Madya Teknik Diploma (D-3)**

**JUDUL LAPORAN TUGAS AKHIR**

Disusun Oleh:

**NAMA**

**NIM: XXXXXXXX**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Fakultas** | **:** | Fakultas Teknik Dirgantara dan Industri |
| **Program Studi** | **:** | Teknik … |
| **Peminatan** | **:** |  |
| **Dosen Pembimbing I** | **:** |  |
| **Dosen Pembimbing II** | **:** | (Jika ada) |
| **Bulan Tahun** | **:** | Desember 202X |

**UNIVERSITAS DIRGANTARA MARSEKAL SURYADARMA**

**20XX**

# LEMBAR PENGESAHAN

Kami yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Nama | : |  |
| NIM | : |  |
| Fakultas | : |  |
| Program Studi | : |  |
| Peminatan | : |  |
| Bentuk Tugas Akhir | : |  |
| Judul Tugas Akhir | : |  |

Telah diuji-sidangkan dan diberi nilai di hadapan tim penguji TUGAS AKHIR pada tanggal XX bulan 20XX.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Jabatan** | **Nama Penguji** | **Tanda Tangan** |
| Dosen Penguji I | …………………………. |  |
| Dosen Penguji II | …………………………. |  |
| Dosen Penguji III | …………………………. |  |
| Dosen Pembimbing I | …………………………. |  |
| Dosen Pembimbing II | …………………………. |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Disahkan oleh | |
|  |  |
| Dekan  Fakultas Teknik Dirgantara dan Industri  (……………………….) | Ketua Program Studi  Teknik …………  (……………………….) |

# LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Nama | : |  |
| NIM | : |  |
| Fakultas | : |  |
| Program Studi | : |  |
| Peminatan | : |  |
| Bentuk Tugas Akhir | : |  |
| Judul Tugas Akhir | : |  |

Dengan ini menyatakan bahwa TUGAS AKHIR saya ini adalah **ASLI** dan dibuat berdasarkan penelitian menggunakan prosedur ilmiah.

Demikianlah pernyataan ini saya uat dan saya bersedia menanggung akibat apabila pernyataan ini tidak benar.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Jakarta, …………………………. |
|  |  |
|  | Penulis  (……………………….) |

# KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah *Subhanahu wa Ta’ala* atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi/Tugas Akhir dengan judul “……………………………………….” sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik (S-1)/ Ahli Madya Teknik (D-3) Program Studi Teknik …….., Fakultas Teknik Dirgantara dan Industri, Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma. Skripsi ini dapat terselesaikan dengan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin memberikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak …… dan Ibu …… selaku orang tua.
2. Bapak ……., selaku dosen pembimbing I.
3. Ibu ……., selaku dosen pembimbing II
4. ……………………….. selaku teman-teman satu kampus yang melakukan penelitian Skripsi.
5. Dst.

Oleh karena itu, penulis mengharapkan partisipasi pembaca untuk memberikan kritik dan saran demi perbaikan tugas akhir selanjutnya.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Jakarta, XX Bulan 20XX  Penulis  (……………………………) |
|  |  |

# DAFTAR ISI

[HALAMAN JUDUL i](#_Toc183221564)

[LEMBAR PENGESAHAN ii](#_Toc183221565)

[LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN iii](#_Toc183221566)

[KATA PENGANTAR iv](#_Toc183221567)

[DAFTAR ISI v](#_Toc183221568)

[DAFTAR GAMBAR vi](#_Toc183221569)

[DAFTAR TABEL vii](#_Toc183221570)

[DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG viii](#_Toc183221571)

[ABSTRAK ix](#_Toc183221572)

[*ABSTRACT* x](#_Toc183221573)

[BAB I PENDAHULUAN 7](#_Toc183221574)

[1.1 Latar belakang 7](#_Toc183221575)

[1.2 Perumusan masalah 7](#_Toc183221576)

[1.3 Batasan Masalah 8](#_Toc183221577)

[1.4 Tujuan Penelitian 8](#_Toc183221578)

[BAB II LANDASAN TEORI 9](#_Toc183221579)

[2.1 Hidrodinamika 9](#_Toc183221580)

[2.2 Material Model Burung 10](#_Toc183221581)

[BAB III METODE PENELITIAN 12](#_Toc183221582)

[3.1. Prosedur penelitian 12](#_Toc183221583)

[3.2. Bahan dan Alat 13](#_Toc183221584)

[BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 14](#_Toc183221585)

[4.1 Simulasi Berdasarkan Regulasi (CASR 23.775) 14](#_Toc183221586)

[4.2 Simulasi untuk Variasi Kecepatan Tumbukan 17](#_Toc183221587)

[BAB V PENUTUP 19](#_Toc183221588)

[5.1 Kesimpulan 19](#_Toc183221589)

[5.2 Saran 20](#_Toc183221590)

[DAFTAR PUSTAKA 21](#_Toc183221591)

[LAMPIRAN A Burung yang mampu terbang tertinggi 22](#_Toc183221592)

# DAFTAR GAMBAR

[Gambar 3. 1 Bagan alir (flowchart) penelitian 13](#_Toc179461663)

# DAFTAR TABEL

[Tabel 3. 1 …………](#_Toc179461680)

# DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| SINGKATAN | Nama | Pemakaian pertama kali pada halaman |
|  |  |  |
| CDW | *Cone-Derived Waverider* | 4 |
| CFD | *Computational Fluid Dynamics* | 2 |
| COC | *Curve of Center* | 9 |
| HSDT | *Hypersonic Small Disturbance Theory* | 4 |
| OCC | *Osculating Curved Cone* | 9 |
| OCW | *Osculating Cone* *Waverider* | 4 |
| OSE | *Oblique Shock Equation* | 12 |
| TME | Taylor-Maccoll *Equation* | 15 |
| VOCW | *Volume-improved Osculating Cone Waverider* | 9 |
| WDW | *Wedge Derived Waverider* | 4 |
|  |  |  |
|  |  |  |
| LAMBANG |  |  |
|  |  |  |
|  | *Spesific heat of constant pressure* (J/kg⋅K) | 19 |
|  | *Entalpi gas (Joule)* | 19 |
| L/D | *lift to drag ratio* | 2 |
| M | Bilangan Mach | 11 |
| P | Tekanan | 11 |
| T | Temperature (K) | 11 |
|  | Kecepatan maksimum (m/s) | 19 |
|  | Sudut dihedral pada plane waverider ( | 25 |
|  | Sudut shock ( | 11 |
|  | *ratio of specific heats of gas* | 19 |
|  | Sudut wedge atau sudut cone ( | 11 |
|  | Volumetrik efisiensi | 4 |
|  | Massa jenis | 11 |

# ABSTRAK

**TULIS JUDUL TESIS BAHASA INDONESIA PADA BAGIAN INI (*ARIAL,* HURUF KAPITAL, UKURAN 12, CETAK TEBAL, UKURAN SPASI 1)**

Oleh:

**Nama Mahasiswa**

**NIM:**

Program Studi Teknik ……..

Univesitas Dirgantara Marsekal Suryadarma

Isi abstrak biasanya terdiri dari 150 hingga 250 kata dan mencakup beberapa elemen penting, yaitu latar belakang masalah, tujuan penelitian, metode yang digunakan, hasil yang diperoleh, serta kesimpulan dari penelitian. Latar belakang memberikan gambaran singkat tentang alasan penelitian dilakukan, diikuti dengan tujuan penelitian yang menjelaskan apa yang ingin dicapai. Metode penelitian menyajikan pendekatan atau teknik yang digunakan, seperti pengumpulan dan analisis data. Hasil penelitian memaparkan temuan utama, sementara kesimpulan merangkum kontribusi atau implikasi dari hasil tersebut. Penulisan abstrak menggunakan huruf Arial ukuran 12 dan diratakan secara kanan-kiri (*justify*), serta ditulis dengan baris rapat (spasi 1). Abstrak harus ditulis dengan singkat, jelas, dan padat, tanpa menggunakan referensi, tabel, atau gambar, serta mampu memberikan gambaran utuh dari skripsi kepada pembaca. dicantumkan kata kunci yang relevan dengan topik penelitian, yang biasanya terdiri dari 3 hingga 5 kata kunci. Kata kunci ini harus disusun sesuai urutan abjad untuk memudahkan pencarian.

**Kata Kunci:** Kata kunci 1, Kata Kunci 2, dst.

# *ABSTRACT*

**TULIS JUDUL TUGAS AKHIR BAHASA INGGRIS PADA BAGIAN INI (*ARIAL,* HURUF KAPITAL, UKURAN 12, CETAK TEBAL, UKURAN SPASI 1)**

By:

**Name of Student**

**NIM:**

(Aeronautical Engineering Diploma/ Aeronautical Engineering Bachelor/ Electrical Engineering Bachelor/ Industrial Engineering Bachelor)

Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma

Isi abstrak dalam bahasa inggris ini biasanya terdiri dari 150 hingga 250 kata dan mencakup beberapa elemen penting, yaitu latar belakang masalah, tujuan penelitian, metode yang digunakan, hasil yang diperoleh, serta kesimpulan dari penelitian. Latar belakang memberikan gambaran singkat tentang alasan penelitian dilakukan, diikuti dengan tujuan penelitian yang menjelaskan apa yang ingin dicapai. Metode penelitian menyajikan pendekatan atau teknik yang digunakan, seperti pengumpulan dan analisis data. Hasil penelitian memaparkan temuan utama, sementara kesimpulan merangkum kontribusi atau implikasi dari hasil tersebut. Penulisan abstrak menggunakan huruf Arial ukuran 12 dan diratakan secara kanan-kiri (*justify*), serta ditulis dengan baris rapat (spasi 1). Abstrak harus ditulis dengan singkat, jelas, dan padat, tanpa menggunakan referensi, tabel, atau gambar, serta mampu memberikan gambaran utuh dari skripsi kepada pembaca. dicantumkan kata kunci yang relevan dengan topik penelitian, yang biasanya terdiri dari 3 hingga 5 kata kunci. Kata kunci ini harus disusun sesuai urutan abjad untuk memudahkan pencarian.

**Keywords:** Keywords 1, Keywords 2, etc.

# BAB I PENDAHULUAN

Tulis paragraf pembuka disini (jika ada). Judul bab, yaitu Pendahuluan (ukuran 14, cetak tebal, dan ditulis dengan huruf kapital, di cetak dibawah Bab I tanpa titik di belakang huruf terakhir dan diletakan secara simetris (*center)* pada halaman. Bab Pendahuluan sedikitnya memuat (dapat dirinci dalam bentuk anak bab) hal-hal berikut:

## Latar belakang

Latar belakang berisi uraian yang menggambarkan alasan mengapa penelitian ini perlu dilakukan. Dalam bagian ini, dijelaskan masalah yang dihadapi serta pentingnya penelitian dalam menyelesaikan masalah tersebut. Contoh penulisan latar belakang terdapat kalimat dibawah ini.

Penerbangan perintis masih akan menjadi andalan Indonesia untuk membuka keterisolasian daerah-daerah terpencil, baik yang ada di pegunungan maupun pulau-pulau kecil. Hal ini disebabkan oleh banyaknya daerah terpencil di Indonesia yang memiliki landasan pacu pesawat terbang sangat pendek. Selain itu, pesawat komuter yang digunakan untuk melayani penerbangan perintis dengan kapasitas 9 – 20 penumpang telah berumur di atas 20 tahun[1].

## Perumusan masalah

Perumusan masalah merupakan hasil dari penyempitan masalah-masalah yang diuraikan dalam latar belakang. Perumusan masalah biasanya disajikan dalam bentuk pertanyaan atau pernyataan yang jelas.

Contoh perumusan masalahnya adalah sebagai berikut.

Perumusan masalah pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa ketebalan windshield pesawat komuter 19 penumpang yang memenuhi persyaratan sertifikasi CASR subbagian 23.775?
2. Bagaimana respon dinamik windshield terhadap variasi ketebalan dan parameter tumbukan?

## Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan untuk mempersempit ruang lingkup penelitian sehingga lebih fokus pada aspek-aspek yang relevan dan sesuai dengan tujuan penelitian. Contoh penulisan batasan masalah:

Batasan masalah dalam skripsi ini meliputi:

1. Model terdiri dari burung dan kaca depan.
2. Bentuk geometri burung adalah silinder.
3. Material kaca depan adalah polimetil metakrilat (PMMA).
4. Menggunakan perangkat lunak metode elemen hingga.

## Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian memuat secara spesifik hasil yang ingin dicapai melalui penelitian yang dilakukan. Contoh penulisan Tujuan penelitian seperti dibawah ini.

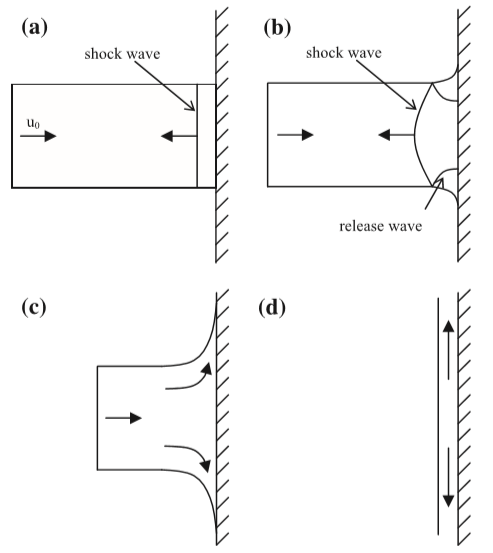
Tujuan yang ingin dicapai pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh ketebalan *windshield* yang memenuhi persyaratan sertifikasi CASR subbagian 23.775.
2. Mengetahui respon dinamik *windshield* terhadap variasi ketebalan dan parameter tumbukan.

# BAB II LANDASAN TEORI

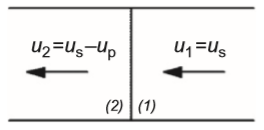
## Hidrodinamika

Respon proyektil selama tumbukan dibagi menjadi lima kategori berdasarkan kecepatannya, yaitu elastis, plastis, hidrodinamika, sonik, dan ledakan. Pada tumbukan elastis, tegangan pada proyektil memiliki nilai di bawah tegangan luluh (*yield stress*). Ketika kecepatan tumbukan meningkat, tegangan pada proyektil melebihi nilai tegangan luluh sehingga menyebabkan deformasi plastis. Pada kedua tumbukan tersebut, properti elastisitas dari material digunakan untuk menentukan perilaku proyektil. Semakin meningkatnya kecepatan, tegangan pada proyektil jauh melebihi nilai tegangan luluh yang menyebabkan respon aliran seperti fluida atau hidrodinamika sehingga properti untuk menentukan perilaku proyektil bukan lagi elastisitas, melainkan rasio densitas sebelum dan sesudah tumbukan[2].



**Gambar 2.1** Ilustrasi tumbukan pada material lunak terhadap dinding kaku[3]

Untuk tumbukan normal pada pelat kaku, aliran material dianggap satu dimensi, adiabatik, dan non-reversibel. **Gambar 2.2** mengilustrasikan proses pergerakan kecepatan kejut dan partikel pada fase kejut (*shock*). Tanda (1) dan (2) menunjukkan daerah di depan dan belakang garis kejut. Dalam hal ini, berlaku hukum kekekalan massa dan momentum yang dituliskan pada persamaan (2.1) dan (2.2). Dengan menggabungkan persamaan (2.1) dan (2.2) diperoleh persamaan (2.3) yang digunakan untuk menentukan perbedaan tekanan pada daerah di depan dan belakang garis kejut, yaitu tekanan puncak atau Hugoniot (). Pada tumbukan proyektil dengan pelat kaku, nilai sehingga persamaan (2.3) dapat diubah menjadi persamaan (2.4)[13].



**Gambar 2.2** Fase kejutpada tumbukan material lunak[13]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | = |  | (2.1) |
|  | = |  | (2.2) |
|  | = |  | (2.3) |
|  | = |  | (2.4) |

## Material Model Burung

Material model burung memiliki sifat *isotropic elastic plastic hydrodynamics* (IEPH) karena berperilaku elastis-plastis pada tekanan rendah dan hidrodinamika pada tekanan tinggi. Hidrodinamika digambarkan oleh hubungan tekanan terhadap rasio densitas atau yang dikenal dengan istilah *Equation of State* (EOS). EOS adalah persamaan yang menghubungkan antara variabel material fluida, seperti tekanan, densitas, regangan, dan energi internal.

Burung asli memiliki porositas (rongga internal) yang terdapat di antara organ-organ tubuh sehingga mengurangi nilai densitas. Efek dari porositas tersebut diwakili menggunakan densitas rata-rata pada kisaran 900-950 kg/m3. Menurut referensi [14], porositas memiliki nilai 10-15% dari keseluruhan volume burung tanpa mempertimbangkan bulu dan kulit.

Untuk pemodelan *bird strike*, EOS yang dapat digunakan terdiri dari *tabular* dan Mie-Grüneisen (US-UP)[6]. EOS *tabular* menjelaskan hubungan antara tekanan puncak dan rasio densitas, sedangkan EOS Mie-Grüneisen menjelaskan hubungan antara kecepatan kejut dan partikel . Berdasarkan referensi [15], disarankan untuk menggunakan EOS *tabular* karena parameter secara langsung diperoleh dari kurva yang terdapat pada **Gambar 2.4**.

# BAB III METODE PENELITIAN

## Prosedur penelitian

Prosedur penelitian menjelaskan langkah-langkah kerja secara urut dan rinci, mulai dari persiapan, pengumpulan data, hingga pengolahan data. Bagian ini biasanya dilengkapi dengan diagram alir (*flowchart*) untuk memvisualisasikan alur kerja penelitian secara detail. Contoh penulisan prosedur penelitian nya adalah sebagai berikut.

Berdasarkan Gambar 3.1, awalnya dilakukan studi literatur terkait fenomena *bird strike*. Dari studi tersebut, diperoleh beberapa metode model burung (*lagrangian*, *eulerian*, dan SPH) yang digunakan dalam melakukan simulasi numerik *bird strike*. Di samping itu, perlu dipelajari karakteristik dari material burung dan *windshield* yang akan digunakan. Hal ini menjadi penting karena untuk menganalisis respon dinamik dari kedua material. Selanjutnya, dilakukan pembuatan model burung dan *windshield*. Model burung dibuat menggunakan perangkat lunak CAE, sedangkan *windshield* menggunakan perangkat lunak *Computed Aided Design* (CAD).

Sebelum *setup* simulasi *bird strike* terhadap *windshield*, perlu dilakukan validasi untuk pemodelan numerik dengan membandingkan hasil nilai antara metode numerik, analitik, dan eksperimen yang prosesnya ditampilkan Gambar 3.2 (digambarkan dengan simbol *subprocess* pada Gambar 3.1). Selain itu, untuk model *windshield* dilakukan *mesh* konvergensi terlebih dahulu menggunakan perangkat CAE.

Awalnya, simulasi *bird strike* terhadap *windshield* dilakukan untuk memperoleh ketebalan yang memenuhi persyaratan CASR subbab 23.775. Selanjutnya, simulasi dilakukan dengan variasi parameter tumbukan yang prosesnya ditampilkan pada Gambar 3.3. Sama halnya dengan validasi pemodelan numerik, proses ini digambarkan dengan simbol *subprocess* pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Bagan alir (flowchart) penelitian

## Bahan dan Alat

# BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

## Simulasi Berdasarkan Regulasi (CASR 23.775)

Pada Gambar 4.1, ditampilkan bentuk *windshield* ketika mengalami deformasi maksimum. *Windshield* dengan ketebalan 5 dan 6 mm tidak cukup kuat menahan beban *bird strike*. Akibatnya, bagian ujung atas *windshield* mengalami kegagalan dan lepas dari penahan sehingga bergerak secara signifikan ke arah negatif pada sumbu z yang disertai dengan *bending* di area sekitar tumbukan. Untuk menghindari hal tersebut, maka ketebalan ditingkatkan menjadi 7, 8, dan 9 mm. Pada ketebalan 7 dan 8 mm, hanya terjadi retak di ujung atas *windshield* sehingga tidak menimbulkan pergerakan yang signifikan. Untuk ketebalan 9 mm, tidak terjadi retak atau kegagalan sehingga ditentukan sebagai ketebalan optimal *windshield* yang sesuai regulasi. Ketebalan ini juga yang akan digunakan untuk simulasi berdasarkan variasi parameter tumbukan (kecepatan, sudut, dan massa burung). Proses *bird strike* ditampilkan pada Gambar 4.2 untuk ketebalan *windshield* 9 mm berdasarkan parameter CASR 23.775.

Untuk menginvestigasi pergerakan *windshield* secara lebih akurat, Gambar 4.3 menampilkan kurva perpindahan pada bagian ujung atas *windshield* yang ditandai dengan titik merah (Gambar 4.1). Untuk ketebalan 5 dan 6 mm, bagian atas bergerak semakin jauh dari posisi awal, sedangkan untuk ketebalan 7, 8, dan 9 mm, bagian atas hanya bergetar di sekitar posisi awal. Selain itu, kurva energi internal untuk keseluruhan model *windshield* dengan variasi ketebalan juga ditampilkan pada Gambar 4.4. Peningkatan ketebalan menyebabkan energi internal (penyerapan energi) mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena peningkatan ketebalan menyebabkan deformasi yang semakin rendah pada *windshield*. Untuk ketebalan 5 dan 6 mm, energi internal setelah mencapai awal kegagalan memiliki nilai yang jauh lebih tinggi dibandingkan ketebalan lainnya. Hal ini disebabkan oleh besarnya deformasi elastis, plastis, dan kegagalan yang dialami *windshield* seperti ditampilkan pada Gambar 4.1 (a) dan (b).

|  |  |
| --- | --- |
| (a) | (b) |
| (c) | (d) |
| (e) | |

Gambar 4.1 Bentuk *windshield* setelah simulasi *bird strike* untuk parameter regulasi (kecepatan 62 m/s, sudut tumbukan 0o, dan massa burung 0,91 kg) pada variasi ketebalan: (a) 5; (b) 6; (c) 7; (d) 8; dan (e) 9 mm.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| (a) | (b) | (c) |
| (d) | (e) | (f) |

Gambar 4.2 Simulasi *bird strike* pada kecepatan tumbukan 62 m/s, sudut 0o, dan massa burung 0,91 kg dengan ketebalan *windshield* 9 mm untuk variasi interval waktu: (a) 0; (b) 2; (c) 4; (d) 6; (e) 8; dan (f) 10 ms



Gambar 4.3 Perpindahan terhadap waktu pada bagian ujung atas *windshield* untuk variasi ketebalan



Gambar 4.4 Energi internal yang diserap *windshield* terhadap waktu untuk variasi ketebalan

## Simulasi untuk Variasi Kecepatan Tumbukan

Simulasi dilakukan pada sudut tumbukan dan massa burung sebagai variabel tetap, yaitu 0o dan 0,91 kg. Variabel tetap dipertimbangkan sesuai kasus (parameter) pada CASR 23.775 yang juga akan dijadikan acuan untuk simulasi dengan variasi sudut tumbukan dan massa burung.

Perpindahan di Lokasi 1 dan 2 ditampilkan pada Gambar 4.5 dan 4.6. Peningkatan kecepatan menyebabkan perpindahan maksimum meningkat pada setiap lokasi. Apabila dibandingkan, perpindahan untuk kecepatan 39, 62, dan 67 m/s pada Lokasi 2 lebih rendah dari Lokasi 1. Ini menunjukkan bahwa energi burung sudah mengalami penurunan yang cukup besar pada fase awal tumbukan (sebelum Lokasi 2). Namun, untuk kecepatan 87,5 m/s, *windshield* mengalami perpindahan yang signifikan (melebihi nilai Lokasi 1) akibat lepasnya bagian ujung atas dari penahan. Kurva pada Gambar 4.5 dan 4.6 tidak ditampilkan dalam waktu 0,02 s (keseluruhan) karena mempertimbangkan pola yang fluktuatif. Alasan ini juga berlaku untuk kurva perpindahan pada simulasi variasi sudut tumbukan dan massa burung.



Gambar 4.5 Perpindahan terhadap waktu pada lokasi 1 untuk variasi kecepatan dengan sudut tumbukan 0o dan massa burung 0,91 kg



Gambar 4.6 Perpindahan terhadap waktu pada lokasi 2 untuk variasi kecepatan dengan sudut tumbukan 0o dan massa burung 0,91 kg

# BAB V PENUTUP

## Kesimpulan

Berdasarkan analisis simulasi *bird strike* pada *windshield* pesawat komuter 19 penumpang dengan variasi ketebalan, kecepatan, sudut tumbukan, dan massa burung, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. *Windshield* pesawat komuter 19 penumpang dengan ketebalan 9 mm telah memenuhi persyaratan sertifikasi berdasarkan parameter pada CASR subbagian 23.775.
2. Parameter tumbukan yang menyebabkan respon dinamik *windshield* berupa deformasi elastis, plastis, dan kegagalan paling besar adalah kecepatan 87,5 m/s (fase *cruising*). Hal ini ditandai dengan penyerapan energi *windshield* yang lebih tinggi dibandingkan parameter lainnya, baik faktor kritis maupun tertinggi. Namun, parameter yang perlu diperhatikan terhadap kegagalan *windshield* adalah sudut tumbukan. Penjelasannya adalah karena persentase perubahan energi kinetik sebelum dan sesudah tumbukan untuk sudut -8o dan -15o paling besar, yaitu 44,75% dan 60,64%, sedangkan untuk parameter kecepatan dan massa burung masing-masing hanya sebesar 35,65% (67 m/s) dan 37,41% (87,5 m/s) serta 31,66% (1,13 kg) dan 36,51% (1,81 kg). Selain itu, sudut -8o dan -15o memiliki energi kinetik yang lebih rendah (1736,48 J) dibandingkan parameter kecepatan (67 m/s = 2027,85 J dan 87,5 m/s = 3458,62 J) dan massa burung (1,13 kg = 2158,87 J dan 1,81 kg = 3472,96 J). Ujung atas *windshield* (di-*fixed*) menjadi bagian yang paling lemah karena terjadi konsentrasi tegangan (tegangan tinggi) pada semua parameter (kecepatan, sudut, dan massa) yang secara linier berkaitan dengan kriteria kegagalan regangan maksimum dari material. Rata-rata energi yang diserap oleh *windshield* saat awal kegagalan untuk masing-masing faktor kritis dan tertinggi sebesar 454,57 J dan 564,16 J.

## Saran

Untuk penelitian selanjutnya, diharapkan mampu melakukan beberapa hal sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan eksperimen untuk memverifikasi simulasi metode elemen hingga, baik pengujian material maupun *bird strike*.
2. Model *windshield* disertai dengan komponen pendukung, seperti *fastener* atau *rivet*, *frame*, dan *gasket*.

# DAFTAR PUSTAKA

1. M. Wahyudi, "N219, Pesawat untuk Landasan Pendek," *Kompas*, 31 Desember 2010. [Daring]. Tersedia: <https://money.kompas.com/read/2010/12/31/04573584/n219.pesawat.untuk.landasan.pendek.?page=all>. Diakses: 2 Maret 2019.
2. J. S. Wilbeck, *Impact Behavior of Low Strength Projectiles*, Laporan Teknis AFML-TR-77-134, Air Force Materials Laboratory, Air Force Wright Aeronautical Laboratories, Wright-Patterson Air Force Base, OH, 1978.
3. S. Heimbs, "Computational Methods for Bird Strike Simulations: A Review," *Computers and Structures*, vol. 89, no. 23, hal. 2093-2112, 2011.

# LAMPIRAN A Burung yang mampu terbang tertinggi

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Nama burung (spesies)** | **Tinggi terbang**  **(m)** | |
| Kondor andes (*vultur gryphus*) |  | 4500 |
| Bangau putih (*ciconia ciconia*) |  | 4800 |
| Biru-laut ekor blorok (*limosa lapponica*) |  | 6000 |
| Bebek mallard (*anas platyrhynchos*) |  | 6400 |
| Hering berjenggot (*gypaetus barbatus*) |  | 7300 |
| Chough alpen (*pyrrhocorax graculus*) |  | 8000 |
| Angsa whooper (*cygnus cygnus*) |  | 8300 |
| Angsa berkepala garis (*anser indicus*) |  | 8850 |
| Jenjang biasa (*grus grus*) |  | 10000 |
| Vultur ruppel (*gyps rueppelli*) |  | 11200 |

# 