

RANCANGAN SISTEM ALAT UJI TABRAK BURUNG UNTUK KEBUTUHAN SERTIFIKASI PESAWAT TERBANG

Dika Andriansyah^[1], Sahril Afandi Sitompul^[2]., Simon Sindhu Hendradjaja^[3]

^{[1][2][3]} Prodi Teknik Penerbangan, Fakultas Teknologi kedirgantaraan,
Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, Jl. Halim Perdanakusuma,
Halim Perdanakusuma, Kec. Makassar, Kota Jakarta Timur,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 13610, Indonesia

*Corresponding Author: dikaandriansyah030913@gmail.com

Abstrak - Tabrak burung merupakan salah satu kejadian yang dapat terjadi pada operasional pesawat terbang. Hal ini dapat menyebabkan kerugian dari sisi ekonomi bahkan dapat menyebabkan kecelakaan fatal yang dapat menyebabkan korban jiwa. Berdasarkan hal tersebut otoritas penerbangan dunia membuat regulasi untuk pengujian ketahanan struktur terhadap serangan burung dalam proses sertifikasi kelaikan pesawat terbang. alat uji tabrak burung didesain untuk dapat memberikan gaya *high velocity impact* dengan proyektil burung dengan massa tertentu. Pada penelitian ini telah merancang alat uji tabrak burung dengan memanfaatkan sistem *gas gun*. Sistem ini memanfaatkan ekspansi tekanan udara sebagai tenaga penggerak proyektil sebelum menumbuk target. Pada alat uji *bird strike* dibagi menjadi beberapa sistem yaitu, *air supply system*, *propulsion system*, *control system*, dan *safety system*. Struktur *support* pada *barrel* juga disimulasikan untuk memastikan kekuatan terhadap *recoil force* dengan metode elemen hingga. Dari hasil analisis menunjukkan bahwa defleksi alat impak kurang dari 1,24 mm. Hal ini untuk memastikan struktur *support* cukup kaku sehingga aman jika dioperasikan.
Kata kunci : alat uji *bird strike*, CASR, *recoil force*, metode elemen hingga

Abstract - Bird strikes are one of the incidents that can occur in aircraft operations. This can cause losses from the economic side and can even cause fatal accidents that cause fatalities. Based on fenome, the world aviation authorities make regulations for testing the resistance of structures against bird attacks in the process of certifying aircraft airworthiness. the bird crash test kit is designed to be able to provide a high velocity impact force with a bird projectile with a certain mass. This research has designed a bird crash test tool by utilizing a gas gun system. This system utilizes the expansion of air pressure as a projectile propulsion before hitting the target. The bird strike test equipment is divided into several systems : air supply system, propulsion system, control system, and safety system. The support structure of the barrel is also simulated to ensure strength against the recoil force using the finite element method. The results of the analysis show that the impact tool deflection is less than 1.24 mm. This is to ensure the support structure is rigid enough so that it is safe to operate.

Keywords : *bird strike impact device*, CASR, *recoil force*, *finite element method*

I. PENDAHULUAN

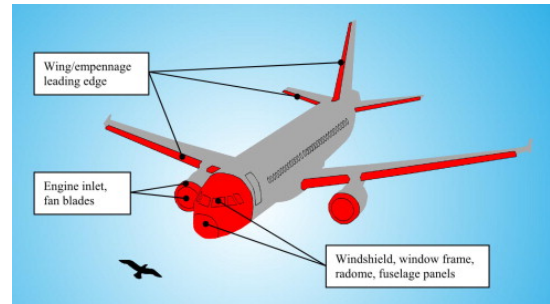
Salah satu faktor yang mengancam adalah serangan burung atau biasa disebut BASH (*Bird Aircraft Strike Hazard*) yang mana merupakan kejadian pesawat menabrak burung saat penerbangan berlangsung yang dapat merusak pesawat dan mengancam keselamatan penerbangan.

Tabrak burung merupakan ancaman yang dapat memberikan efek keselamatan yang signifikan hingga dapat menyebabkan kecelakaan dengan korban jiwa. Walaupun tidak selalu menyebabkan korban jiwa, hal ini juga sangat merugikan karena komponen yang rusak akibat insiden tersebut.

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*. Seperti pada **Gambar 1.1**. Dalam meninjau keandalan dari struktur pesawat ketika mengalami serangan burung, otoritas penerbangan mewajibkan pengujian ketahanan terhadap *bird strike* untuk penerbitan sertifikasi kelayakan pesawat. Dalam proses parameter-parameter dalam persyaratan maupun *compliance* pengujian diatur pada CASR 23 dan CASR 25 tergantung dari spesifikasi pesawat yang akan disertifikasi.

Pada penelitian ini, dilakukan perancangan alat uji tabrak burung untuk keperluan sertifikasi CASR 23 dan CASR 25. Rancangan digambarkan dengan gambar teknik 3D, serta dalam menentukan dimensi alat uji dilakukan berdasarkan analisis dengan menggunakan persamaan termodinamika sederhana. Dalam mendukung pengujian desain

dilakukan simulasi untuk mengukur ketahanan struktur *support* alat uji *bird strike* dalam menahan beban *recoil* akibat dampak dengan metode elemen hingga.



Gambar 1.1 Komponen pada pesawat yang beresiko mengalami tabrak burung^[2]

Alat uji *bird strike* secara umum memanfaatkan sistem *gas gun* untuk dapat memenuhi kebutuhan dampak dengan kecepatan tinggi. Sistem ini memanfaatkan ekspansi dari udara bertekanan. Pada **Gambar 1.2** merupakan alat *bird strike* dengan diameter *barrel* antara 100 mm dan 200 mm dan panjang 6 meter untuk dapat menghempaskan 1.5 kg dan 3.6 kg burung. Alat ini memiliki sistem *open valve* yang telah disambungkan pada *vessel* dengan kapasitas 100 Liter dengan bertekanan 40 bar. Dalam percobaan awal alat ini mampu menghempaskan 2 kg proyektil dengan kecepatan kurang lebih 190 km dengan tekanan 40 bar.

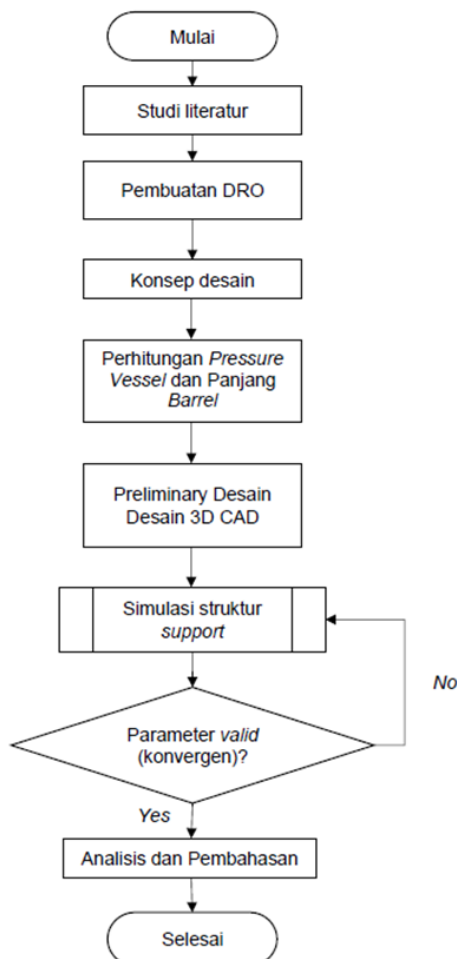


Gambar 1.2 Alat uji *bird strike*^[2]

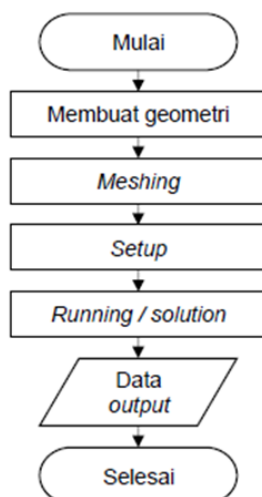
II. METODE PENELITIAN

2.1 Alur Penelitian

Prosedur penelitian dimulai dari pembuatan DRO sebelum memulai pemodelan menggunakan *software solidworks*.



Gambar 2.1 Diagram alir penelitian



Gambar 2.2 Proses simulasi FEM

2.2 Pembuatan *Design Requirement Objective*

Alat uji tabrak burung dirancang dengan tujuan untuk menguji bagian pesawat yang menerima beban impact dan dapat menembakkan burung dengan akurat. Pada penelitian ini alat uji *bird strike* dapat mengaplikasikan eksperimen uji yang berdasarkan regulasi untuk tujuan sertifikasi kelaikan pesawat. Untuk memenuhi hal tersebut maka perlu dilakukan studi literatur terkait parameter-parameter kebutuhan pengujian berdasarkan CASR (*Civil Aviation Safety Regulation*) yang mana terangkum pada **Tabel 2.1**. Berdasarkan parameter eksperimen *bird strike* pada komponen pesawat terbang yang telah ditentukan pada **Tabel 2.1** maka adapun DRO untuk alat uji *bird strike* yang dirancang diantaranya:

- Alat uji *bird strike* yang dibuat dapat diaplikasikan untuk kebutuhan pengujian sertifikasi berdasarkan CASR 23 dan 25
- Alat uji didesain berdasarkan solusi desain yang optimal dan efisien
- Maksimum kecepatan yang dapat dioperasikan alat *bird strike* yaitu 300 m/s dengan berat burung yaitu 8 lb (3,62 kg).
- Alat terintegrasi dengan sistem dan sensor untuk dapat memproses hasil eksperimen secara simultan.
- Komponen alat uji diusahakan tersedia di pasaran untuk mempermudah proses manufaktur dan pemeliharaannya.

Tabel 2.1 Design Requirement alat uji bird strike^[11]

CASR 23 Standar Uji Tabrak Burung (<i>Commuter Aircraft</i>)				
CASR	Komponen	Parameter Tabrak Burung		Performance Requirement
		Massa Burung	Kecepatan Pesawat	
23.775(h)(1)	<i>Windshield</i>	2 lb	<i>Maximum flap approach speed</i>	Burung tidak berpenetrasi pada <i>windshield</i>
23.1323(f)	<i>Pitot Tube</i>	<i>Not specified</i>	<i>Not Specified</i>	Burung tidak merusak kedua <i>pitot tube</i>
CASR 25 Standar Uji Tabrak Burung (<i>Commercial Aircraft</i>)				
25.571(3)(1)	<i>General structure</i>	4 lb	V_c @sea level atau $0.85 V_r$ pada 8000 ft	Dapat menyelesaikan penerbangan
25.631	<i>Empennage</i>	8 lb	V_c @sea level	Dapat melanjutkan penerbangan dan mendarat
25.775	<i>Windshield</i>	4 lb	V_c @sea level	Burung tidak berpenetrasi dan minimalisir hal berbahaya terhadap pilot
25.1323	Duplikasi <i>Pitot Tube</i>	<i>Not Specified</i>	<i>Not Specified</i>	Burung tidak merusak kedua <i>pitot tube</i>

2.3 Sistem Alat Uji *Bird Strike*

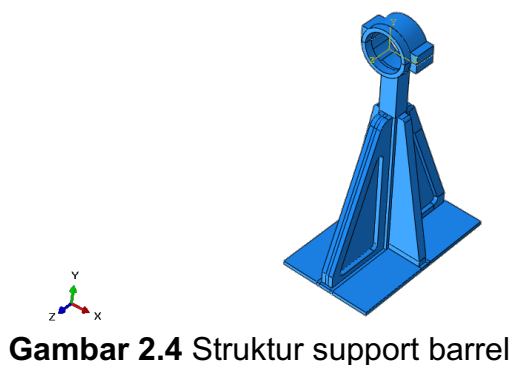
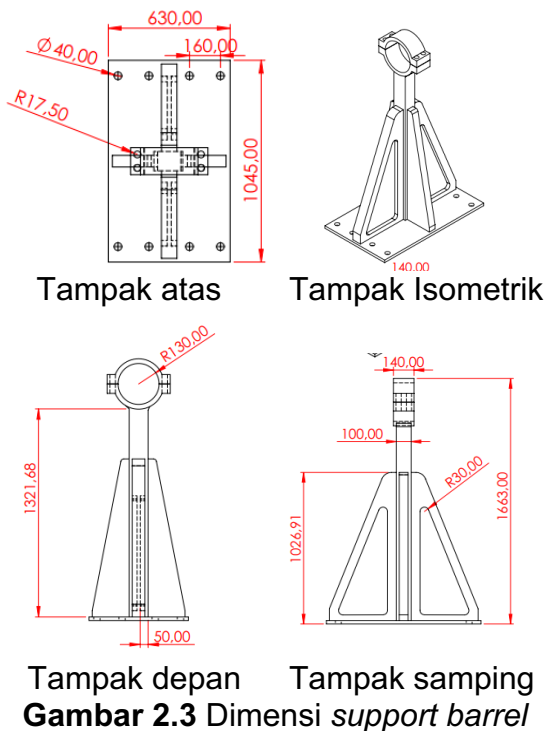
Untuk dapat memenuhi DRO pada alat uji *bird strike* dimana merupakan alat uji impak dengan kecepatan tinggi maka sistem *gas gun* digunakan karena cocok untuk kebutuhan tersebut. Pada prinsipnya *gas gun* memanfaatkan ekspansi gas yang besar untuk memberikan tekanan pada proyektil (sabot yang berisi burung atau sejenisnya) dengan kecepatan yang tinggi. Adapun hasil dari studi literatur maupun *brain storming* yang dilakukan maka alat uji *bird strike* ini terbagi menjadi beberapa sistem yang saling terkait untuk dapat

memenuhi tujuan dari pada alat yaitu *air supply system, propulsion system, instrumentation, electrical system, processing unit, shelter equipment, test article rig*. Sistem tersebut saling terkait dalam menunjang dari pada fungsi alat uji *bird strike* secara keseluruhan. Berdasarkan tersebut maka adapun fungsi dan *design requirement* untuk setiap komponen harus didetailkan lebih lanjut untuk mendapatkan performa dan keandalan alat yang mumpuni.

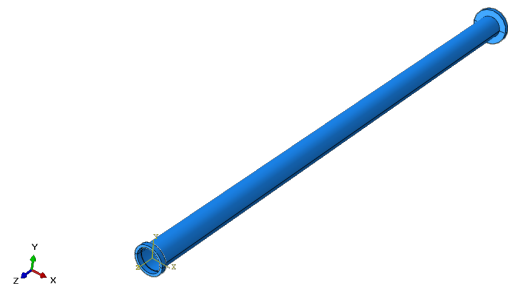
2.4 Pemodelan Simulasi Metode Elemen Hingga

2.4.1 Geometri

Pada penelitian ini, simulasi FEM dilakukan untuk mengetahui kekuatan dan kekakuan dari struktur *support* alat uji *bird strike*. Adapun desain dari *support barrel* dengan detail dimensinya seperti pada **Gambar 2.3**. Ini merupakan desain awal yang dibuat yang mana menjadi acuan awal, sehingga ke depannya dapat dikembangkan untuk mendapatkan struktur yang optimal dan efisien. Dan untuk pemodelan desain geometri dari struktur *support* ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.

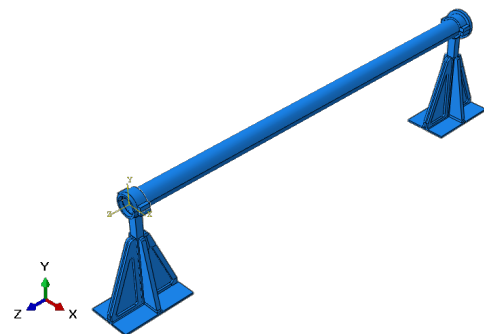


Struktur *support* berfungsi untuk menyangga *barrel* yang mana berfungsi sebagai panduan proyektil untuk impak. Dalam operasionalnya struktur akan menerima beban statik untuk menopang beban daripada *barrel*. Selain itu beban lain yang diterima struktur *support* yaitu beban *recoil force*. *Recoil force* adalah beban reaksi dari pada proyektil yang telah keluar dari *barrel*.



Gambar 2.5 Barrel

Dalam memodelkan struktur *support* pada *barrel* maka dimasukan model *barrel* sepanjang 6 (enam) meter dengan struktur *support* seperti pada **Gambar 2.5**. Kemudian struktur *support* dan *barrel* di *assembly* seperti pada **Gambar 2.6**. Struktur barrel dijepit dengan struktur *support* untuk menjaga posisi *barrel* selama operasional uji impak dilakukan.

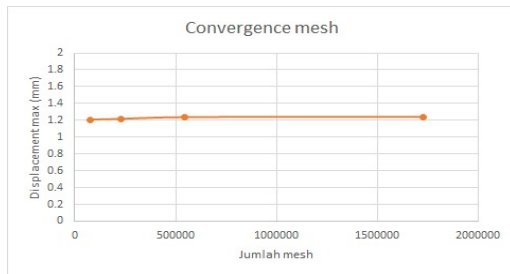


Gambar 2.6 Gambar *Assembly*

2.4.2 Meshing

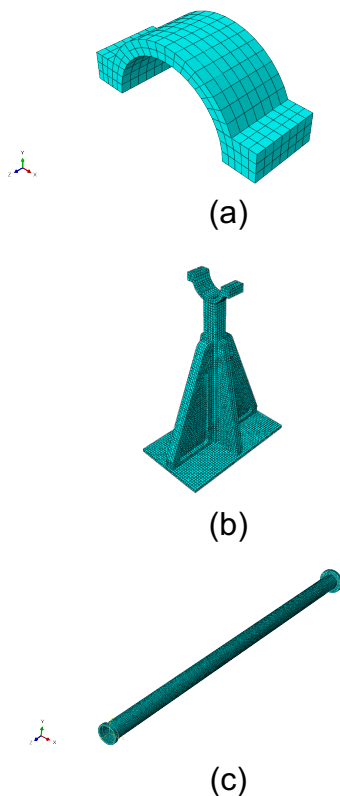
Proses *meshing* bertujuan untuk mendiskritisasi material untuk membaginya menjadi elemen-elemen yang membentuk komponen. Dalam proses ini diperlukannya penyederhanaan bentuk untuk memudahkan dalam proses

diskritisasi. Selain itu partisi pada setiap komponen dilakukan untuk mendapatkan hasil *meshing* yang lebih baik.



Gambar 2.7 Hasil *Mesh* Konvergensi

Dalam penelitian ini jenis *mesh* yang digunakan yaitu *solid* elemen untuk mendapatkan hasil yang lebih *reliable*. Ukuran *meshing* yang digunakan sebesar 5 mm hal ini didapatkan dari hasil konvergensi *meshing* yang ditunjukkan pada **Gambar 2.7**. komponen *support* dan *barrel* yang telah melakukan proses *meshing* ditunjukkan pada **Gambar 2.8**.



Gambar 2.8 (a) penjepit, (b) *support*, dan (c) *barrel*

2.4.3 Setup

Recoil force dapat diasumsikan dengan menggunakan Persamaan (2.4) dan (2.5) Dalam persamaan tersebut menggunakan rumus momentum untuk menghitung seberapa besar nilai *recoil force* yang terjadi pada alat.

Dimana $\dot{M}$ merupakan laju aliran massa, v merupakan Kecepatan, P_e adalah tekanan ketika proyektil keluar, P_0 adalah tekanan awal, A merupakan *cross section* dari *barrel*, dan ρ merupakan densitas udara. Untuk mengetahui nilai tekanan keluar proyektil P_e maka menggunakan persamaan *expansion gas* isothermal model pada persamaan (2.2). Dari perhitungan dengan menggunakan persamaan diatas dengan panjang barrel 6 meter, tekanan awal 40 bar dan diameter *barrel* sebesar 200 mm.

- Mencari $\dot{M}$

$$\dot{M} = \rho \times A \times v$$

$$\dot{M} = 1,22 \text{ kg/m}^3 \times 0,0314 \text{ m}^2 \times 300 \text{ m/s}$$

$$\dot{M} = 11,54 \text{ kg/s}$$
- Mencari $P_e/P(x)$

$$P(x)(V_0 + Ax) = P_0V_0$$

$$P(x) = \frac{P_0V_0}{(V_0 + Ax)}$$

$$P(x) = \frac{40 \times 10^5 \cdot 0.1}{(0.1 + ((0.0314)(6))}$$

$$P(x) = 1.386.962,55 \text{ Pa}$$
- Mencari F

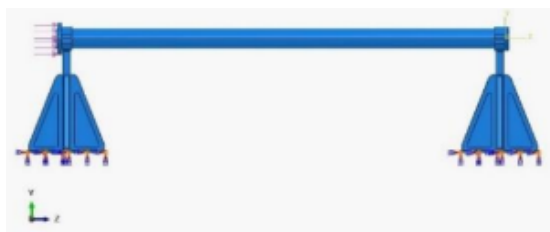
$$F = \dot{M} \times v + (P_e - P_0)A$$

$$F = 11,54 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 300 \frac{\text{m}}{\text{s}} + (1.386.962,55 \text{ Pa} - 4 \times 10^6) (0.0314)$$

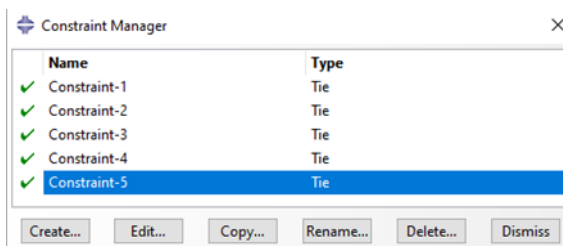
$$F = -82.048,2 \text{ N}$$

Dari hasil perhitungan maka *recoil force* yang terjadi pada alat sebesar $-82.048,2 \text{ N}$. Kondisi batas

pada bagian bawah penyangga. Pada bagian ujung *barrel* diberikan beban *force* berdasarkan perhitungan *recoil force*. Pada bagian bawah *support* menjadi tumpuan dengan memberikan kondisi *fixed*. Kondisi batas simulasi secara keseluruhan ditunjukkan pada **Gambar 2.9**. Pada keseluruhan setiap komponen dianggap memiliki interaksi yang kuat. Berdasarkan hal tersebut maka setiap komponen memiliki interaksi yang didefinisikan *tie* ditunjukkan pada **Gambar 2.10**. material properti yang digunakan yaitu material 304 *stainless steel*. Properti dari material 304 *stainless steel* yang digunakan pada simulasi ditunjukkan pada **Tabel 2.2**.



Gambar 2.9 Kondisi batas



Gambar 2.10 Interaction

Tabel 2.2 Properti material 304 *Stainless Steel*^[7]

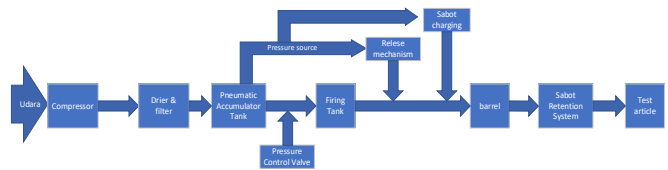
Parameter	Nilai
Density (kg/m^3)	8000
Elastic Modulus (GPa)	193
Poisson's ratio	0.29
Yield Stress (MPa)	215

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Skematis Alat Uji Bird Strike

Alat uji *bird strike* didesain sesuai dengan kebutuhan yang telah didefinisikan dengan DRO yang telah dibuat. Adapun skematis dari

rancangan alat uji *bird strike* secara keseluruhan di tunjukkan pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Skematis alat uji *bird strike*

Sistem alat uji *bird strike* memanfaatkan udara yang bertekanan sebagai sumber tenaga untuk mendorong *sabot* pada kecepatan tertentu. Sistem yang digunakan memanfaatkan sistem *gas gun*. Sistematisa proses operasi alat uji *bird strike*.

3.2 Desain Alat Uji Bird Strike

3.2.1 Air Supply System

Pada *air supply system* memiliki fungsi utama untuk mensuplai udara bertekanan yang berfungsi untuk melontarkan proyektil ketika berekspansi. Berdasarkan DRO alat uji *bird strike* harus dapat memberikan kecepatan impact 300 m/s pada massa 8 lb. Penggunaan persamaan termodinamika digunakan sebagai dasar dalam menentukan berapa volume dan tekanan udara yang dibutuhkan untuk menggerakkan proyektil dengan kecepatan tersebut. Dari Persamaan (2.3) diperoleh perbandingan tekanan dan kecepatan yang dapat dihasilkan yang mana ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.

Perhitungan kecepatan proyektil setelah keluar dari barrel dengan tekanan awal 20 bar menggunakan Persamaan (2.3) adalah sebagai berikut:

Gambar 3.2 menunjukkan perbandingan tekanan pada vessel terhadap kecepatan impact yang dihasilkan. Hasil ini didapatkan dengan panjang *barrel* sepanjang 6 meter ditunjukkan pada **Gambar**

3.3. Hal ini karena semakin panjang *barrel* dan semakin besar tekanan awal pada sistem *gas gun* dapat meningkatkan kecepatan impact yang dihasilkan pada alat. Oleh karena itu untuk mengurangi tekanan *vessel* (yang mana sangat berbahaya jika menggunakan tekanan tinggi) dapat memanfaatkan panjang *barrel* untuk meningkatkan kecepatan.

$$v_{is} = \sqrt{\frac{2}{m} \left(P_0 V_0 \ln \left(1 + \frac{AL}{V_0} \right) - AL P_{atm} - Lf \right)}$$

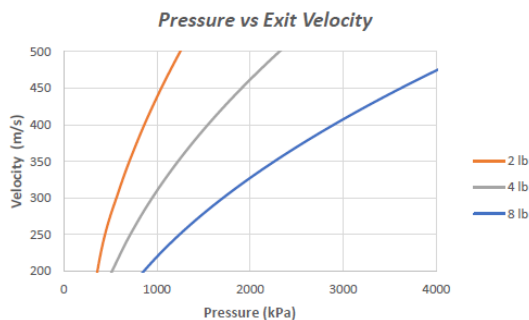
$$v_{is} = \sqrt{\frac{2}{3,62} \left(2 \times 10^6 \times 0,1 \times \ln \left(1 + \frac{0,0314 \times 6}{0,1} \right) - 0,0314 \times 6 \times 101.325 - 6 \times 0 \right)}$$

$$v_{is} = \sqrt{0,55 \left(2 \times 10^6 \times \ln(2,884) - 0,0314 \times 6 \times 101.325 - 0 \right)}$$

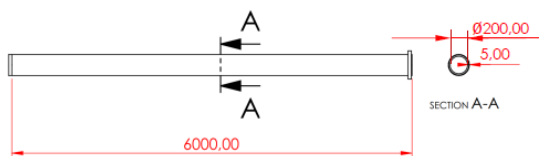
$$v_{is} = \sqrt{0,55 \left(2 \times 10^6 \times 1,06 - 0,0314 \times 6 \times 101.325 - 0 \right)}$$

$$v_{is} = \sqrt{106.100,7}$$

$$v_{is} = 325,73 \text{ m/s}$$



Gambar 3.2 Perbandingan tekanan awal dengan kecepatan keluar proyektil dengan variasi masa burung pada alat uji *bird strike*

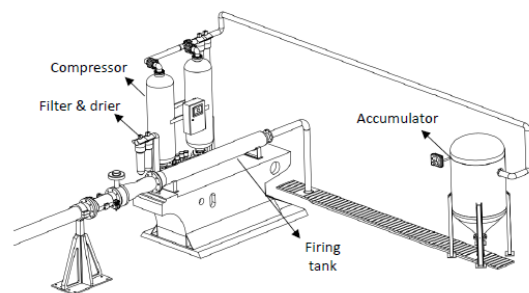


Gambar 3.3 dimensi *barrel*

Berdasarkan DRO kecepatan maksimum alat yaitu 300 m/s yang mana dapat dilakukan dengan tekanan udara sebesar 1700 kPa dengan asumsi tidak adanya gaya gesek dan efek dari katup bukaan solenoid pada sistem alat uji *bird strike*. Dalam

perhitungan dengan persamaan isothermal *expansion gas* model nilai friksi tidak dihitung karena akan sulit dalam memperkirakan gesekan dan efek bukaan katup solenoid yang terjadi. Oleh karena itu pada alat uji *bird strike* diberikan toleransi tekanan, dimana kebutuhan tekanan yaitu sebesar 40 bar dengan volume 100 liter.

Komponen pada *air supply system* terdiri dari *compressor*, *drier* and *filter*, *pneumatic accumulator tank*, dan *firing tank*. Pada *pneumatic accumulator tank* berfungsi untuk membagi tenaga *pneumatic* ke tiga komponen. Pertama akan dialirkan ke *firing tank* sebagai tenaga utama untuk mendorong proyektil, kedua ke sistem *release mechanism* yang mana berfungsi sebagai jalur pembuka udara bertekanan dengan proyektil, ketiga untuk sistem buka tutup dari *sabot storage*. Adapun gambaran 3d dari *air supply system* ditunjukkan pada **Gambar 3.4**



Gambar 3.4 *Air supply system*

Firing tank harus dapat menampung udara bertekanan 40 bar dengan volume 100 liter. Dalam mendesain *firing tank* pada penelitian ini merujuk pada perhitungan sesuai dengan standar ASME (*American Society of Mechanical Engineers*). Selain itu pembuatan alat *bird strike* telah banyak dilakukan sehingga bisa dijadikan referensi dalam penelitian ini^[2,4,7]. Berdasarkan kebutuhan maka data awal perancangan *firing tank* ditampilkan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Data awal perancangan

Panjang Vessel (m)	3
Volume Vessel (m ³)	0.1
Tekanan Operasi (bar)	40
Joint Efisiensi	0.85

$$L = \frac{4V}{\pi D^2}$$

Keterangan:

L = Panjang vessel (m)

V = Volume

Di = Diameter dalam (m)

$$Di = \sqrt{\frac{4V}{L\pi}}$$

$$Di = \sqrt{\frac{(4)(0.1)}{3\pi}}$$

$$Di = 0.206 \text{ m}$$

Material *shell* adalah baja karbon A455 dengan tegangan *yield* sebesar 240 MPa. Adapun nilai *factor of safety* yang ditetapkan adalah 3, sehingga tegangan ijin material yaitu 80 MPa. *Shell* merupakan selimut dari pada *pressure vessel* dan untuk mengukur ketebalan yang dibutuhkan perlu meninjau dari *circumferential stress* dan *longitudinal stress*.

Perhitungan tebal yang dibutuhkan berdasarkan *circumferential stress* (pada sambungan arah panjang) :

$$t = \frac{P_d R}{SE - 0.6P}$$

$$t = \frac{(4 \times 10^6)(0.1)}{(80 \times 10^6)(0.85) - 0.6(4 \times 10^6)}$$

$$t = 0.01219 \text{ meter} \approx 1.219 \text{ cm}$$

Perhitungan tebal yang dibutuhkan berdasarkan *longitudinal stress* (pada sambungan arah melingkar):

$$t = \frac{P_d R}{2SE + 0.4P}$$

$$t = \frac{(4 \times 10^6)(0.1)}{2(80 \times 10^6)(0.85) + 0.4(4 \times 10^6)}$$

$$t = 0.00294 \text{ meter} \approx 0.294 \text{ cm}$$

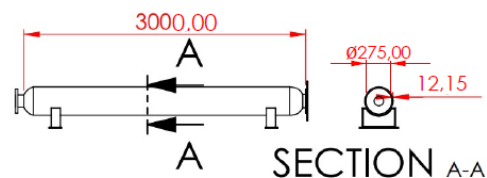
Perhitungan tebal area *head* pada vessel:

$$t = \frac{P_d D}{2SE - 0.2P}$$

$$t = \frac{(4 \times 10^6)(0.2)}{2(80 \times 10^6)(0.85) - 0.2(4 \times 10^6)}$$

$$t = 0.00592 \text{ meter} \approx 0.592 \text{ cm}$$

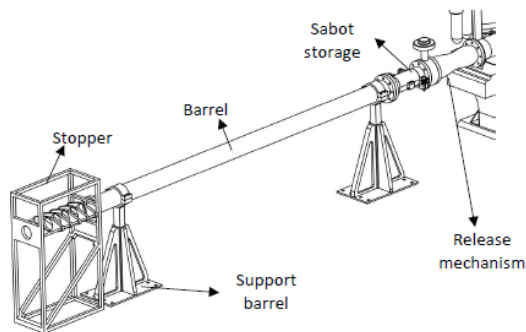
Berdasarkan hasil perhitungan diatas maka dapat dibulatkan ketebalan dari pada *pressure vessel* yaitu 1.215 cm pada area *shell* dan 0.6 cm untuk area *head*. Bentuk dari pada *pressure vessel* sebagai komponen *firing tank* ditunjukkan pada **Gambar 3.5**



Gambar 3.5 Dimensi *firing tank*

3.2.2 Propulsion System

Sistem ini berfungsi utama untuk tempat pemasangan proyektil serta untuk mengarahkan proyektil (sabot) ke arah yang tepat. Berdasarkan DRO untuk dapat mencapai kecepatan 300 m/s, *barrel* harus memiliki panjang 6 meter. Secara keseluruhan setiap komponen harus kuat dan *rigid*. Oleh karena itu untuk meninjau kuat dan *rigid* material dilakukan simulasi numerik dengan metode elemen hingga ketika menerima *recoil force*. Sistem propulsi ditunjukkan pada **Gambar 3.6**.



Gambar 3.6 Sistem propulsi

3.3 Instrumentation

Instrumentation terdiri dari sistem kontrol, valves, sistem *safety* dan sensor. Sistem kontrol bertujuan untuk memonitor, mengontrol dan mengenkripsi data hasil eksperimen. Sistem kontrol nantinya akan terdiri dari perangkat *hardware* yang saling terhubung antara sensor, kontrol dan akusisi data.

Untuk sensor dalam mengukur kecepatan sebelum impak dapat memanfaatkan diode *proximity* sensor. Dua sensor *proximity* diletakkan diantara target dan *stopper* dengan jarak tertentu. Kemudian ketika proyektil melewati sensor tersebut maka akan dapat diukur waktu ketika proyektil melewati kedua sensor tersebut sehingga dapat mengukur kecepatan dengan membagi antara jarak dua sensor dengan waktu tempuhnya. Untuk sensor *load cell* dapat digunakan untuk mengukur gaya impak yang diterima komponen. *Load cell* dapat menggunakan *strain gauge load cell* yang di pasang pada titik tertentu dan memastikan bahwa posisi sensor sudah tepat untuk mendapatkan nilai *maximum force*.

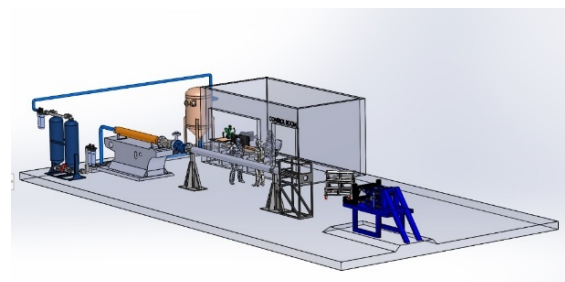
Untuk sistem *safety* pada alat uji *bird strike* diantaranya lampu indikator, sirine dan *emergency button*. Lampu indikator bertujuan untuk menunjukan tahapan proses alat *bird strike* beroperasi. Sirine bertujuan untuk dapat memperingati orang-orang

disekitar alat bahwa alat uji *bird strike* sedang beroperasi. *Emergency button* bertujuan untuk membatalkan eksperimen ketika dalam proses berjalan dimana jika ada kondisi yang dapat membahayakan.

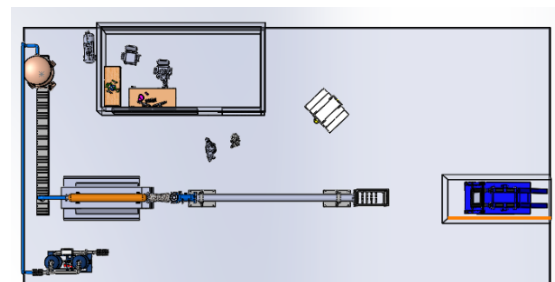
3.4 Electrical system, Shelter Equipment dan Test Rig Article

Pada *Electrical system* tidak dibahas secara mendetail pada penelitian ini. Tetapi dalam implementasinya diharapkan memiliki sistem *electrical* dengan lajur yang dipertimbangkan dari sisi keamanan. Diharapkan memiliki panel listrik yang jelas untuk distribusi listrik kepada setiap sistem pada alat uji *bird strike*.

Pada *Shelter Equipment* secara umum alat uji *bird strike* ini membutuhkan ruang dengan ukuran 15×8 meter. Gambaran dari *lay out* untuk sistem-sistem pada alat uji *bird strike* ditunjukkan pada **Gambar 3.7**.



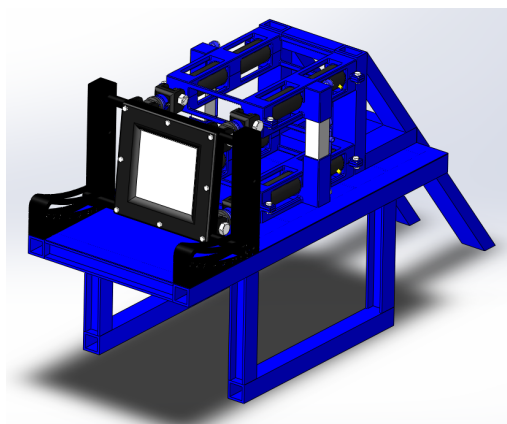
(a)



(b)

Gambar 3.7 Skema alat uji *bird strike* dari (a) tampak *isometric* (b) tampak atas

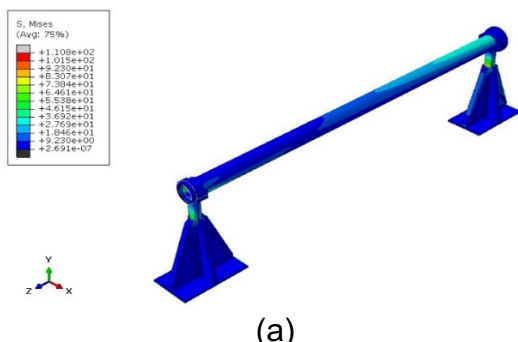
Test rig article merupakan target impact yang dibuat untuk kelengkapan alat uji *bird strike*. Alat ini bertujuan untuk dapat memvalidasi besaran gaya impact yang terjadi. Alat ini didesain untuk dapat mengatur sudut permukaan impact untuk mengetahui efek dari sudut tersebut. Gambar dari pada alat *test article rig* ditunjukkan pada **Gambar 3.8**. Selain itu rig ini didesain untuk dapat menjadi *support* untuk komponen yang perlu dilakukan uji impact *bird strike* seperti *windshield* maupun *area leading edge* pada *wing*.



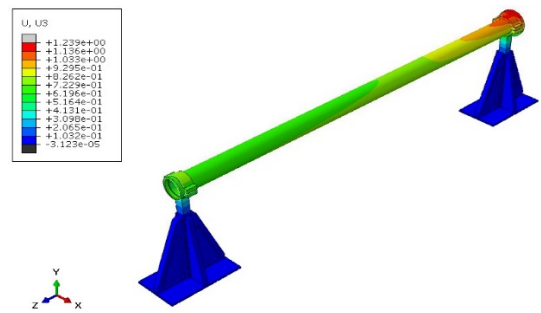
Gambar 3.8 Test article rig

3.5 Analisis Kekakuan Struktur Support Barrel

Struktur penyangga terbuat dari material 304 *stainless steel*. Material ini memiliki sifat kekuatan dan kekakuan yang tinggi. Material 304 *stainless steel* banyak terdapat di pasaran. Desain dari *support barrel* dengan detail dimensinya sudah dijelaskan pada bab sebelumnya seperti pada **Gambar 3.9**.



(a)



(b)

Gambar 3.9 (a) Distribusi stress (b) displacement maximum

Hasil dari simulasi struktur support barrel terhadap *recoil force* ditunjukkan pada **Gambar 3.9**. Tegangan maksimum yang terjadi pada struktur *barrel* dan *support* yaitu 30 MPa. Tegangan maksimum terjadi di daerah pangkal dari pada struktur *support*. Struktur *support* yang terbuat dari material 304 *stainless steel* dengan dimensi seperti pada **Gambar 2.3** masih cukup kuat dalam menerima beban *recoil force*. Adapun perpindahan maksimum yang terjadi yaitu 1,24 mm yang mana menunjukkan bahwa *barrel* dan juga *support* cukup kaku untuk menahan *recoil force* yang diterima. Berdasarkan hal tersebut dimensi dari pada *support barrel* cukup tangguh dengan dimensi dan material yang digunakan yaitu 304 *stainless steel*.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari perancangan alat uji *bird strike* diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Alat uji *bird strike* telah dirancang sesuai dengan kebutuhan sertifikasi dengan menggunakan sistem *gas gun*. Alat ini terbagi menjadi beberapa sistem yaitu *air supply system*, *propulsion system*, *instrumentation*, *electrical system*, *shelter equipment*, dan *article rig*. Untuk mendapatkan kecepatan impact

300 m/s dibutuhkan *firing tank* dengan kapasitas 100 Liter/40 bar dan panjang *barrel* 6 m.

2. *Support barrel* yang telah didesain dengan material 304 *stainless steel* menghasilkan struktur yang *rigid* terhadap *recoil force* dengan hanya mengalami defleksi sebesar 1,24 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agustono, 2017. Implementation of Birdstrike Management in Indonesia: Indonesia's Experience.
- [2] Barrier L, Bouquer M, Ferrero J, 2016, *Bird Strike Shielding Materials: Development of A High Velocity Impact Test Platform*, Institute of Technology (IRT) Saint.
- [3] Dolbeer R. A. and Wright S. E., 2008, *Wildlife strikes to civil aircraft in the United States 1990–2007*, *birdstrike committee proceeding*, USA.
- [4] Liu Jun, Li Yulong, Yu Xiancheng, Gao Xiancheng, Liu Zongxing, 2018, Design of Aircraft Structures against threat of bird strikes, Chinese Journal of Aeronautics.
- [5] Safari S.N.A., Sultan M.T.H., Yidris N, Mustapha F, 2014, Low Velocity and High Velocity Impact Test on Composite Materials-A Review, *The International Journal of Engineering and Society*.
- [6] Reza Hedayati, Mojtaba Sadighi., 2016, *Bird strikes: An experimental, theoretical, and numerical investigation*-Woodhead Publishing, hal 82., Woodhead Publishing in Mechanical Engineering.
- [7] Rohrbach, T.R, Buresh , Madsen M.J., 2011, Modeling Exit Velocity of a Compressed Air Cannon, *American Association of Physic.*
- [8] Kumar T.A., Nulis S, Mathew A.T., Devendiran S, 2019, Design of Gas Gun Barrel Support Structure by Finite Element Model Updating Using Optimization Technique, *Material Today Proceeding 2019*.
- [9] Cahyono, E., 2008, Perancangan Bejana Tekan Vertikal Berisi Udara untuk Peralatan Pneumatik Kapasitas 8,25m³ dengan Tekanan Kerja 5,7 kg/m³, Skripsi, Universitas Sebelas Maret.
- [10] The American Society of Mechanical Engineers, 2015, ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section II Part D, New York, ASME.
- [11] Maginador R.V., Analysis of Crack Propagation in the Wedge Splitting test via Digital Image Correlation and Finite Element Method, *Thesis*, Universidade Federal De Sao Carlos.
- [12] DGCA, 2014, *Civil Aviation Safety Regulations Part 23 and Part 25 Amdt 6 Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes*, pp. 1–419.
- [13] Matweb, 304 Stainless Steel <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=abc4415b0f8b490387e3c922237098da> Diakses pada tanggal 20 Desember 2022