

# Analysis of Rib and Spar Configuration to the Deformation and Stress on the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Wing Structure

Lovely Son<sup>1,\*</sup>, Dendi Adi Saputra<sup>1</sup> dan Harsenofal<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Andalas, Padang

<sup>2</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Andalas, Padang

\*Corresponding author: lovelyson@ft.unand.ac.id

**Abstract.** This research discusses the influence of rib and spar configuration to the deformation and stress occurred on the unmanned aerial vehicle (UAV) wing structure. Eight models of wing structure configuration are analyzed to obtain the minimum deflection, stress and mass. The safety factor (SF) is used to evaluate the strength level of wing structure. The simulation results show that some configuration of wing structure have the safety factor larger than two and the wing mass less than 0.25 kg. The best configuration of wing structure is obtained for 1<sup>st</sup> model with SF larger than 3 and wing mass 0.24 kg.

**Abstrak.** Pada penelitian ini dibahas tentang hubungan antara jumlah serta susunan spar dan rib terhadap harga deformasi dan tegangan yang terjadi pada struktur sayap pesawat tanpa awak(UAV). Delapan jenis model susunan spar dan rib dianalisis untuk mendapatkan harga defleksi dan tegangan minimum dengan massa sayap yang sekecil mungkin. Faktor keamanan(SF) digunakan untuk melihat tingkat kekuatan dari struktur sayap. Hasil simulasi menunjukkan bahwa beberapa model susunan spar dan rib menghasilkan SF yang lebih besar dari dua dan harga massa sayap yang lebih kecil dari 0.25 kg. Konfigurasi terbaik diperoleh menggunakan model satu dengan faktor keamanan lebih besar dari 3 dan massa sayap sebesar 0.24 kg.

**Kata kunci:** UAV, Struktur, Sayap, Kekuatan, Tegangan, Deformasi

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

## Pendahuluan

Pesawat tanpa awak (UAV) adalah salah satu jenis pesawat yang dapat dikendalikan dari jarak jauh menggunakan *remote control* atau komputer. Pada awal ditemukannya, UAV hanya digunakan secara terbatas pada bidang militer sebagai pesawat pengintai maupun pesawat tempur. Saat ini penggunaan UAV sudah banyak ditemukan pada bidang-bidang lainnya seperti : pemetaan, logistik maupun entertainment.

Salah satu faktor utama yang harus diperhatikan dalam perancangan dan pembuatan UAV adalah kekuatan dari struktur sayap. Struktur sayap harus cukup kuat sehingga tegangan maupun deformasi yang terjadi pada sayap tidak melebihi batas yang diijinkan. Disamping memiliki struktur yang kuat, sayap UAV juga harus cukup ringan.

Salah satu parameter yang menentukan kekuatan struktur sayap UAV adalah susunan dari spar dan rib pada sayap. Pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap delapan konfigurasi spar dan rib pada struktur sayap UAV. Masing-masing konfigurasi dibedakan oleh jumlah spar/rib maupun susunan dari spar/rib pada struktur sayap.

Analisis numerik digunakan untuk menentukan deformasi dan tegangan yang terjadi pada struktur sayap UAV. Tingkat kekuatan struktur sayap dihitung berdasarkan faktor keamanan (SF). Dalam

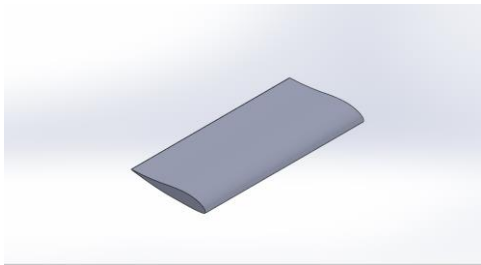
hal ini SF merupakan perbandingan antara kekuatan material dari struktur sayap pesawat terhadap tegangan maksimum yang diperoleh dari perhitungan secara numerik. Analisis numerik dilakukan menggunakan perangkat lunak metode elemen hingga komersil. Massa struktur sayap pada setiap konfigurasi dihitung berdasarkan data dimensi dan material yang digunakan dalam simulasi numerik.

## Sayap

Sayap adalah komponen utama dari pesawat terbang. Sayap menghasilkan gaya angkat pada saat terbang di udara. Berdasarkan bentuknya, sayap pesawat dibagi menjadi 2 yaitu:

### *Rectangular Wing*

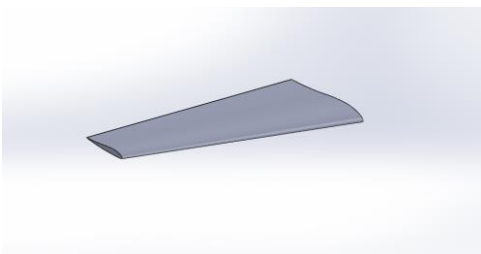
*Rectangular wing* adalah sayap dengan bentuk persegi panjang. Sayap jenis ini mempunyai jarak terbang yang cukup tinggi. Kelebihan tersebut dikarenakan gaya angkat (*lift*) yang dihasilkan besar meskipun gaya seret (*drag*) yang terjadi juga tinggi. Bentuk dari sayap *rectangular wing* diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sayap jenis *rectangular wing*

### Swept Wing

Sayap jenis *swept wing* adalah pengembangan dari sayap *rectangular wing*. Sayap *swept wing* mempunyai sudut  $\alpha^\circ$  antara *leading edge* pada *wing root* dan *wing tip*. Gaya *drag* yang dihasilkan sayap jenis ini lebih kecil dibandingkan gaya *drag* pada sayap *rectangular wing*. Bentuk dari sayap *swept wing* diperlihatkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Sayap jenis *swept wing*

### Bagian-Bagian Sayap

#### Rib

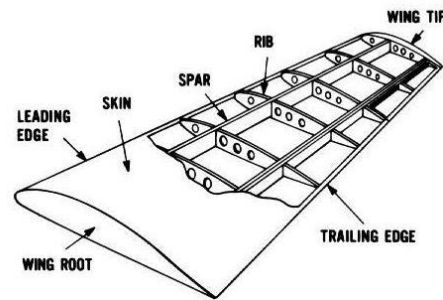
*Rib* adalah struktur penguat pada sayap pesawat. Pada umumnya *rib* membentang dari *leading edge* hingga *trailing edge* pada sayap.

#### Spar

*Spar* adalah struktur utama dari sayap. *Spar* membentang dari badan pesawat hingga ujung sayap pesawat. Beban yang diterima oleh *skin* (kulit) sayap didistribusikan ke *spar* dalam bentuk tegangan geser. *Spar* harus memiliki kekakuan yang besar agar bentuk sayap tidak berubah pada saat terbang. Disamping kaku, *spar* juga harus memiliki kekuatan yang tinggi.

### Skin

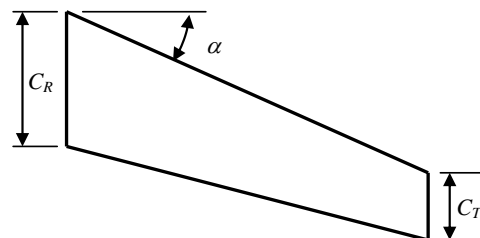
*Skin* atau kulit adalah bagian sayap pesawat yang membungkus *rib* dan mengikuti bentuk dari *rib* tersebut. *Skin* akan membentuk airfoil pada sayap pesawat. Material dari *skin* bermacam-macam tergantung dari jenis pesawat. Pada Gambar 3 diperlihatkan *rib*, *spar* dan *skin* pada sayap pesawat.



Gambar 3. *rib*, *spar* dan *skin* pada sayap

Beberapa data yang diperlukan dalam perancangan geometri sayap pesawat adalah *aspect ratio*, *taper ratio* dan sudut *swept* ( $\alpha$ ). *Aspect ratio* (*AR*) digunakan untuk menentukan panjang sayap sedangkan *taper ratio* ( $\lambda$ ) adalah perbandingan antara *tip chord* ( $C_T$ ) dan *root chord* ( $C_R$ ) seperti diperlihatkan pada Gambar 4. Secara matematis, hubungan antara  $C_R$  dan  $C_T$  diberikan oleh:

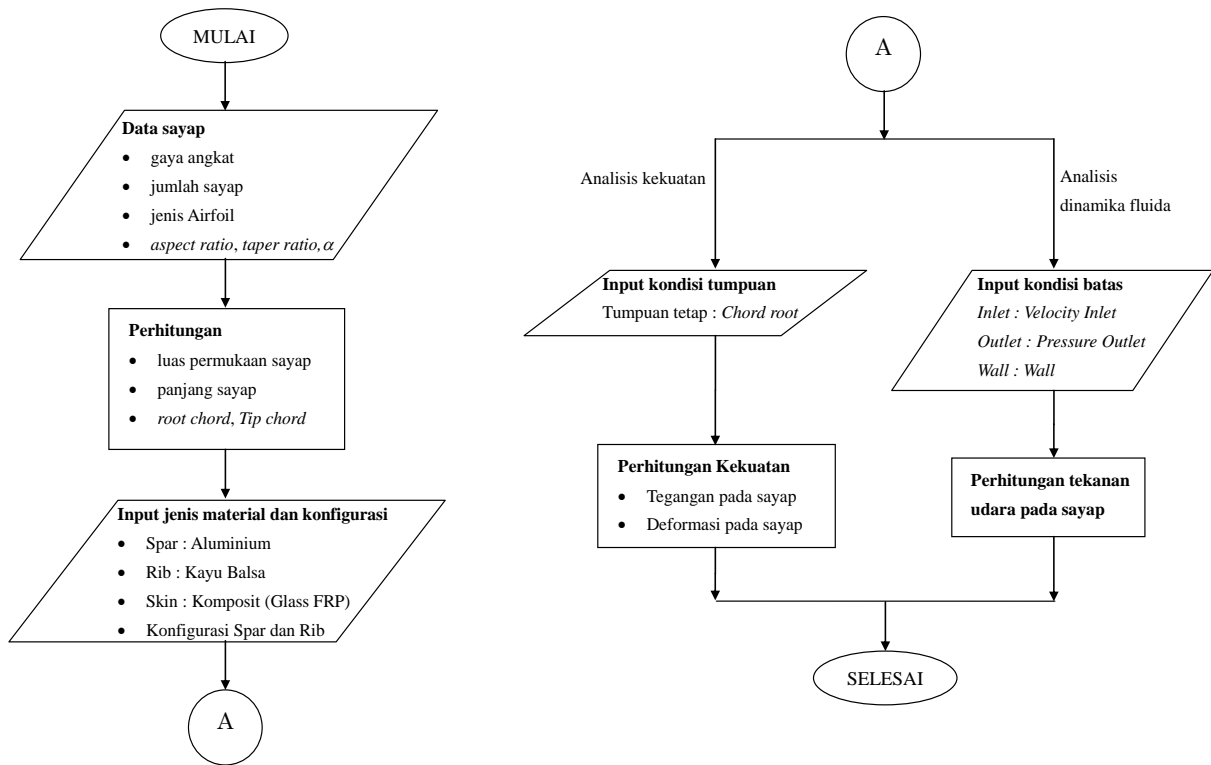
$$\lambda = \frac{C_T}{C_R} \quad (1)$$



Gambar 4. Geometri sayap

### Metode Penelitian

Pada Gambar 5 diperlihatkan diagram alir penelitian. Pada tahap awal, dipilih data sayap berupa gaya angkat, jumlah sayap, jenis airfoil, *aspect ratio*, *taper ratio* dan sudut *swept* ( $\alpha$ ) yang digunakan.



Gambar 5. Diagram alir penelitian

Gaya angkat ditentukan berdasarkan berat pesawat sedangkan *airfoil* ditentukan berdasarkan koefisien gaya angkat ( $C_L$ ) dan koefisien gaya seret ( $C_D$ ) pada sayap.

Tahap selanjutnya adalah perhitungan luas permukaan dan panjang sayap serta harga *root chord* dan *tip chord* pada sayap. Hubungan antara luas permukaan sayap ( $s$ ) dengan berat pesawat ( $W$ ) dan koefisien gaya angkat ( $C_L$ ) dinyatakan oleh:

$$s = \frac{2W}{\rho V_{\infty}^2 C_L} \quad (2)$$

$\rho$  dan  $V_{\infty}$  pada Pers.(2) merupakan massa jenis udara dan kecepatan pesawat. Hubungan antara panjang sayap dengan luas permukaan sayap diberikan oleh:

$$b^2 = AR \cdot s \quad (3)$$

Variabel  $b$  dan  $AR$  pada Pers.(3) adalah panjang sayap dan *aspect ratio*. Dari Pers.(3) terlihat bahwa semakin besar *aspect ratio* maka semakin panjang sayap pesawat.

Panjang *root chord* dan *tip chord* pada sayap dihitung berdasarkan persamaan (4) berikut:

$$C_R = \frac{2}{1 + \lambda} \frac{s}{b} ; C_T = \lambda \cdot C_R \quad (4)$$

Berdasarkan diagram alir pada Gambar 5 terlihat bahwa data selanjutnya yang ditentukan adalah jenis material dan konfigurasi *rib*, *spar* dan *skin* pada sayap. Dalam hal ini, material untuk *spar*, *rib* dan *skin* berturut-turut adalah aluminium, kayu

balsa dan komposit *glass FRP*. Jumlah dan konfigurasi *rib/spar* dipilih sesuai model yang dianalisis.

Langkah selanjutnya adalah analisis kekuatan struktur sayap dan analisis dinamika fluida pada sayap. Analisis kekuatan dilakukan untuk melihat deformasi dan tegangan maksimum yang terjadi pada sayap. Sementara itu, analisis dinamika fluida dilakukan untuk melihat distribusi tekanan pada sayap.

### Hasil dan Pembahasan

Delapan buah model struktur sayap dengan jumlah dan susunan *spar/rib* yang berbeda dievaluasi untuk mendapatkan konfigurasi terbaik dari *spar/rib*. Analisis kekuatan struktur sayap dilakukan menggunakan *software* FEM komersil. Gambar 6 memperlihatkan delapan model sayap yang dianalisis.

Model 1 menggunakan *rib* dengan jarak 0,1 m dengan ketebalan *skin* 0,2 mm. *Spar* yang digunakan pada model 1 ada dua jenis yaitu *spar* dengan panjang 0,2 m dan 0,3 m.

Model 2 menggunakan *rib* dengan jarak 0,1 m dan *skin* dengan ketebalan 0,2 mm. *Spar* yang digunakan pada model 2 berjumlah 4. Dua *spar* berukuran 18 mm dengan panjang masing-masing 0,2 m dan 0,3 m. Dua *spar* lainnya berukuran 10

mm dengan posisi mengikuti sudut *swept* dari sayap.

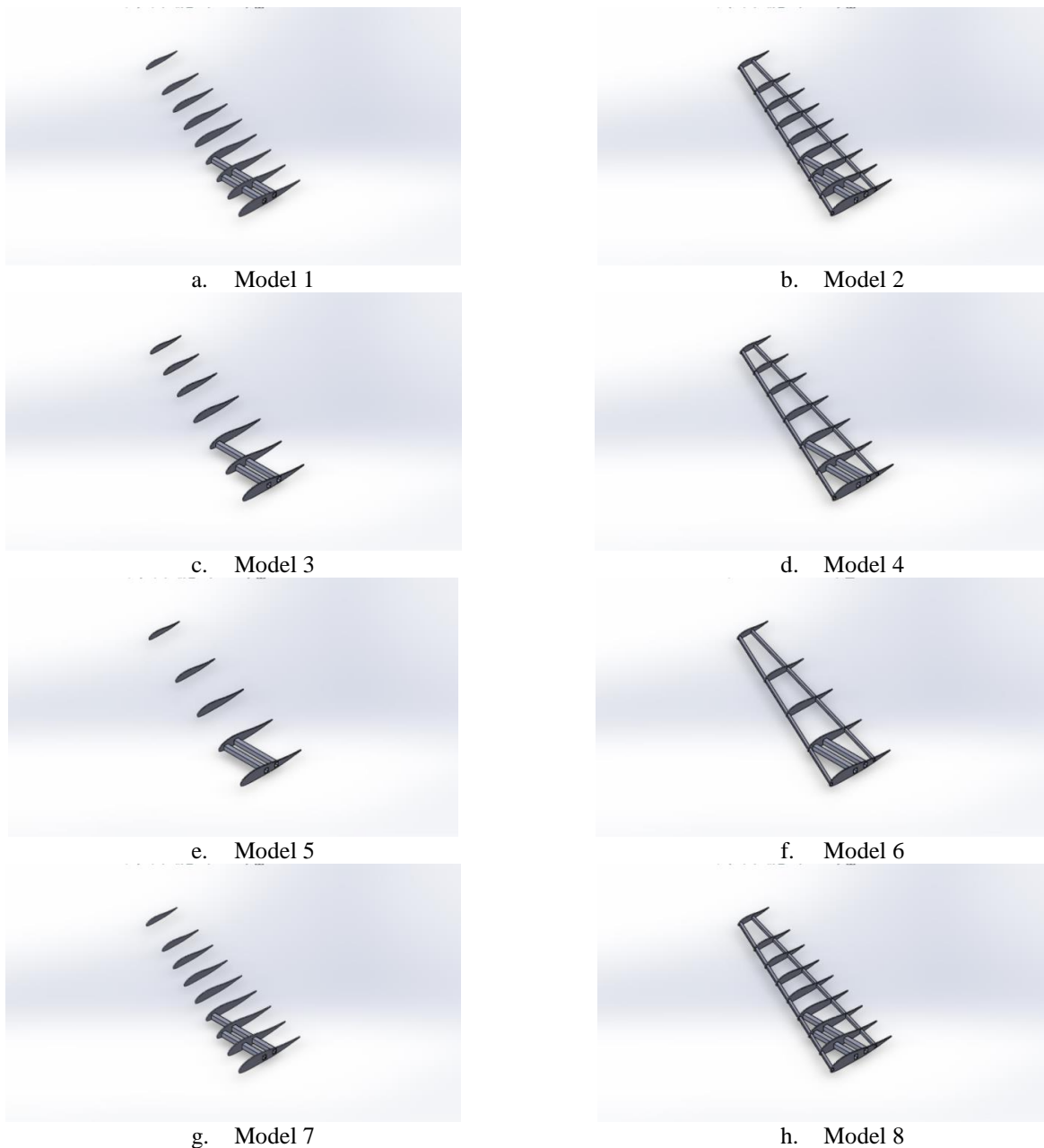
Model 3 menggunakan *rib* dengan jarak 0,15 m dan *skin* dengan ketebalan 0,2 mm. *Spar* yang digunakan pada model 3 berukuran 18 mm. Panjang dari masing-masing *spar* tersebut adalah 0,15 m dan 0,3 m.

Model 4 menggunakan 4 buah *spar*. Dua *spar* berukuran 18 mm dengan panjang masing-masing sebesar 0,15 m dan 0,3 m. Dua *spar* dengan ukuran 10 mm diposisikan mengikuti sudut *swept* dari sayap.

Model 5 menggunakan 2 *spar* berukuran 18 mm dengan panjang masing-masing *spar* tersebut adalah 0,2 m.

Model 6 menggunakan 4 buah *spar*. Dua *spar* berukuran 18 mm dan 2 *spar* lainnya berukuran 10 mm. Panjang dari dua *spar* pertama adalah 0,2 m sedangkan panjang 2 *spar* lainnya mengikuti panjang dan sudut *swept* dari sayap.

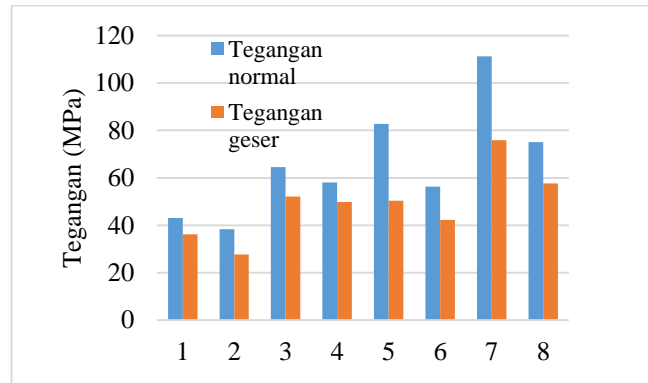
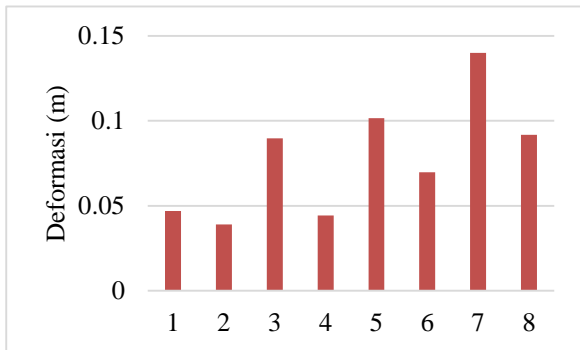
Model 7 menggunakan konfigurasi struktur sayap yang sama dengan model 1 sedangkan model 8 menggunakan konfigurasi yang sama dengan model 2. Perbedaan dari model 7 dan model 8 dibandingkan model 1 dan model 2 adalah ketebalan kulit sayap. Pada model 1 dan 2 digunakan *skin* dengan tebal 0,2 mm sedangkan pada model 7 dan model 8 digunakan *skin* dengan tebal 0,1 mm.



**Gambar 6.** Konfigurasi struktur sayap

Pada Gambar 7 diperlihatkan grafik deformasi dan tegangan maksimum pada sayap yang diperoleh untuk setiap model. Berdasarkan hasil pada Gambar 7 terlihat bahwa deformasi dan

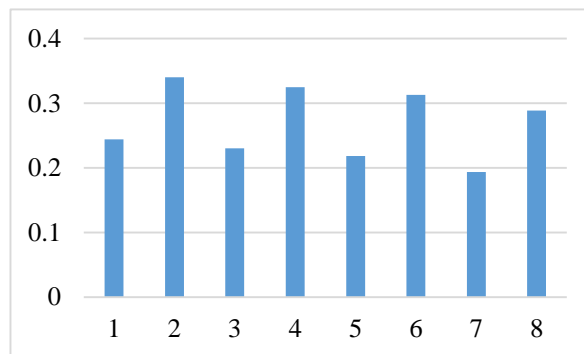
tegangan paling kecil diperoleh pada model dua sedangkan deformasi dan tegangan terbesar terjadi pada model 7.



**Gambar 7.** Deformasi dan tegangan pada setiap model

Pada Gambar 8 diperlihatkan massa sayap yang diperoleh pada setiap model. Dari Gambar 8 terlihat bahwa pengaruh jumlah rib terhadap massa sayap sangat kecil karena massa jenis dari balsa (*rib*)

lebih rendah dibandingkan dengan massa jenis aluminium dan komposit. Variabel yang paling berpengaruh terhadap massa sayap adalah *spar* dan *skin* dari sayap pesawat.



**Gambar 8.** Massa sayap setiap model

## Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Deformasi dan tegangan maksimum terkecil diperoleh pada model satu dan dua. Pada kedua model ini digunakan jumlah *rib* yang lebih banyak dibandingkan model lain.
2. Penurunan tebal *skin* menyebabkan meningkatnya deformasi dan tegangan maksimum yang terjadi pada sayap.
3. Pengaruh jumlah *spar* lebih dominan dibandingkan jumlah *rib* terhadap peningkatan massa sayap.

## Penghargaan

Penulis mengucapkan terima kasih pada jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas atas bantuan yang telah diberikan melalui dana penelitian Jurusan tahun 2018-2019.

## Referensi

- [1] Arunkumar, K N. and Lohith, N., 2014. Effect of Ribs and Stringer Spacings on The Weight of Aircraft Composite Structures, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol.9, No.4, xx-xx.
- [2] Torenbeek, E., 1982. Synthesis of Subsonic Airplane Design, Kluwer Academic Publisher, London.

- [3] Saedrey, M., 2013. Aircraft Design : A system Engineering Approach, Jhon Wiley&Sons Ltd, New Hampshire.
- [4] Megson, T.H.G., 2007. Aircraft Structure for Engineering Student, Butterworth-Heinemann, London.