Kaji Komputasional Struktur Pesawat Model Wing in Ground Effect Tipe Sayap Tandem

Michael Bastanta Barus[1], Radi Suradi Kartanegara[2], Budi Hartono[3]

[1]Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : michael.barus.aer19@polban.ac.id
[2]Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : radisk@polban.ac.id
[3]Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : buhar@polban.ac.id

ABSTRAK

Artikel ini menjelaskan mengenai kaji komputasional struktur pesawat model *wing in ground effect*. Pengkajian ini bertujuan untuk memastikan apakah struktur yang dirancang dan material yang digunakan mampu untuk menahan beban yang terjadi pada pesawat model sebelum dilakukan rancang bangun. Pembebanan static berupa berat struktur, berat engine dan gaya angkat yang terjadi pada sayap dan *fuselage*. Struktur yang dilakukan simulasi kekuatan struktur dikatakan aman jika *safety of factor* >1.5. Nilai maksimum *von misses* sebesar 1,968 Mpa, angka ini masih berada dibawah nilai yield strength kayu balsa sebesar 12 Mpa sehingga material dan struktur dapat disimpulkan dapat digunakan dan aman.

Kata Kunci
Struktur, Wing-in-ground effect, Fuselage, Sayap. Factor of safety

1. PENDAHULUAN

Pesawat *Wing-in-Ground-Effect*, disingkat WiGE merupakan pesawat yang unik karena hanya beroperasi pada ketinggian beberapa meter saja di atas permukaan air, hal ini dilakukan untuk memanfaatkan interaksi aerodinamis antara sayap dan tanah yang menguntungkan. Penurunan ketinggian terbang akan menghasilkan peningkatan gaya angkat yang cepat dan pengurangan *vortex drag*. Dengan begitu maka rasio *lift to drag* ($ld/$) atau dikenal sebagai efisiensi aerodinamis sayap akan meningkat. Pesawat yang memanfaatkan *ground effect* berpotensi untuk diimplementasikan di kondisi geografis Indonesia yang berkepulauan sebagai alat transportasi antar pulau yang cepat dan efisien (ekonomis) [1].

Pesawat WiGE memiliki beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan kapal laut yaitu memiliki gaya hambat yang lebih rendah, kecepatan yang lebih tinggi dan konsumsi bahan bakar yang rendah. Dibandingkan dengan pesawat udara yang berukuran sama, pesawat WiGE menghasilkan rasio *lift to drag* ($ld/$) yang lebih tinggi, daya angkut lebih besar serta tidak memerlukan landasan pacu untuk *takeoff* dan *landing* [2].

Walau memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan alat transportasi lainnya, pesawat WiGE memiliki beberapa permasalahan utama yaitu faktor kestabilan dan pengendalian pesawat, karena WiGE harus menjaga ketinggian terbangnya yang sangat rendah (25 - 100 cm di atas permukaan air atau tanah) untuk memperoleh *ground effect* [3]. Konfigurasi sayap bertipe *Tandem* bisa menjadi solusi dalam menyelesaikan permasalahan kestabilan dan peningkatan CL dengan menyesuaikan sudut *pitch* dan geometri sayap depan dan belakang. Dengan metode ini memungkinkan untuk melakukan penyetelan atau pemindahan pusat aerodinamis dengan cara yang tepat untuk menghasilkan kestabilan [4].

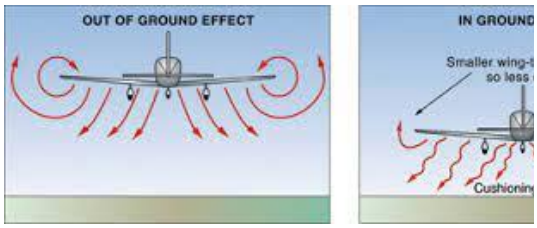
Meskipun demikian, dalam pemanfaatannya terdapat banyak variabel yang mempengaruhi kinerja dari pesawat WiG tersebut, termasuk strukturnya. Untuk mendapatkan pesawat yang tangguh maka pesawat tersebut harus memiliki struktur yang kuat, namun dalam pemodelan ini, tidak hanya sebuah struktur yang kokoh yang harus memiliki konstruksi yang ringan. Mengingat alasan ini, pencipta akan mencoba untuk melakukan komputasi kekuatan struktur menggunakan pemrograman Autodesk Fusion 360.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Terdapat beberapa artikel ilimiah yang digunakan pada artikel ini sebagai sumber kepustakaan. Sumber pustaka yang dihimpun meliputi penelitian yang menjelaskan mengenai pengkajian kekuatan struktur pada model pesawat *wing in ground effect* dengan jenis sayap *inverted delta wing* dan juga jurnal mengenai *wing in ground effect vehicle* serta penggunaan material yang umum digunakan pada pesawat model.

2.1 Ground Effect

Ground effect (GE) adalah suatu keadaan yang menyebabkan peningkatan gaya angkat dan pengurangan gaya hambat (efisiensi aerodinamika) karena terbentuknya bantalan udara pada sayap yang terbang rendah ke permukaan. Revees mencirikan *ground effect* sebagai kekhasan pengaruh aerodinamis, aeroelastis, dan aeroakustik pada planform yang terbang dekat dengan permukaan di bawahnya. Pada Gambar 1 merupakan pola tekanan *ground effect*.



Gambar 1. Ground Effect
(www.aviation-history.com)

2.2 Konfigurasi Sayap Pesawat Wing in Ground Effect

Pesawat WiGE memiliki beberapa jenis konfigusari sayap. Setiap jenis konfigurasi sayap memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing, tergantung pada tujuan penggunaan pesawat tersebut. Berbagai konfigurasi dari *prototype* pesawat WiGE yang sudah pernah dibuat dirangkum di bawah ini.

1. Ekranoplan

Istilah Ekranoplan berasal dari Bahasa Rusia yang berarti “pesawat layer” atau “pesawat terbang rendah”. Pesawat seperti pada Gambar 3 ini menggunakan konfigurasi sayap ekranoplan yang memiliki bentuk sayap berbentuk persegi panjang (*rectangle wing*) dan menggunakan *pontoon* pada setiap ujung sayapnya.

Gambar 2. Ekranoplan
(theavionist.com)

2. Inverted Delta Wing Lippisch

Konfigurasi sayap jenis ini dikembangkan oleh Alexander Lippisch dengan mengembangkan pesawat WiGE pertamanya X-I 12 pada tahun 1963. Bentuk rencana (*planform*) X-I 12 menggunakan sayap delta terbalik (*reverse delta*) rasio aspek rendah dengan *anhedral* dan *forward sweep*. Jenis kodigurasi ini disebut sebagai *planform* Lippisch. Contoh dari planform ini adalah X-114 seperti pada Gambar 4.

Gambar 3. RFB X-114
(1000aircraftphotos.com)

3. Tandem

Konfigurasi sayap *tandem* merupakan konfigurasi yang menggunakan dua pasang sayap berbentuk persegi panjang dimana satu pasang sayap terletak di depan dan satu pasang sayap lainnya berada di belakang. Pesawat seperti pada Gambar 5 ini memiliki kemampuan untuk terbang lebih stabil dibandingkan dengan dua jenis pesawat WiG yang lainnya.

Gambar 4. TAF VIII-3
(botec.org)

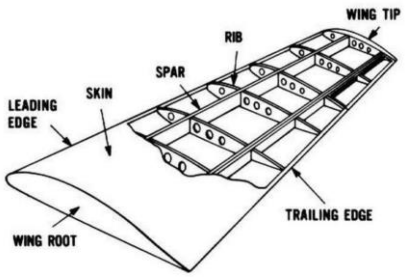
2.3 Struktur Fuselage

Struktur merupakan pengaturan unsur – unsur yang saling berkaitan pada satu sistem atau material. Struktur berfungsi mentransferkan atau memindahkan beban yang terkonsentrasi pada permukaan pesawat udara ke bagian pesawat lain yang memiliki kekuatan lebih besar, sehingga bagian pesawat lainnya mendapatkan beban yang relatif rendah.

Untuk menciptakan struktur yang memiliki kekuatan yang baik, terdapat beberapa jenis struktur yang dapat digunakan pada struktur fuselage. Jenis-jenis tersebut meliputi tipe struktur *trusses, semi-monocoque*, dan *monocoque*. Setiap tipe struktur tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan sendiri.

2.4 Struktur Sayap

Struktur internal sayap pesawat merupakan kerangka yang terbentuk atas beberapa komponen seperti pada Gambar 10 yaitu *spar*, *stringer* dan *ribs* serta *formers* atau *bulkhead*



Gambar 5. Struktur internal sayap

2.5 Analisis Struktur

Analisis struktural adalah ilmu untuk menentukan pengaruh beban pada struktur fisik dan komponennya. Analisis struktural menggabungkan bidang mekanika teknik, teknik material dan matematika teknik untuk menghitung deformasi struktural, gaya internal, tegangan, reaksi pendukung, percepatan, dan stabilitas. Hasil analisis tersebut digunakan untuk memverifikasi kekuatan struktur yang akan atau telah dibangun. Jadi analisis struktural merupakan bidang penting dari desain rekayasa structural [5].

Terdapat faktor yang mempengaruhi analisi struktur, hal-hal ini penting untuk diketahui dalam melakukan analisis struktur antara lain [6]:

1. Sifat Material Struktur
2. Pembebanan
3. Konstruksi Struktur

2.6 Tegangan

Tegangan adalah suatu penghantar dalam bahan atau perbandingan antara daya-daya yang mengikutinya dengan luas penampang yang menerima daya tersebut.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

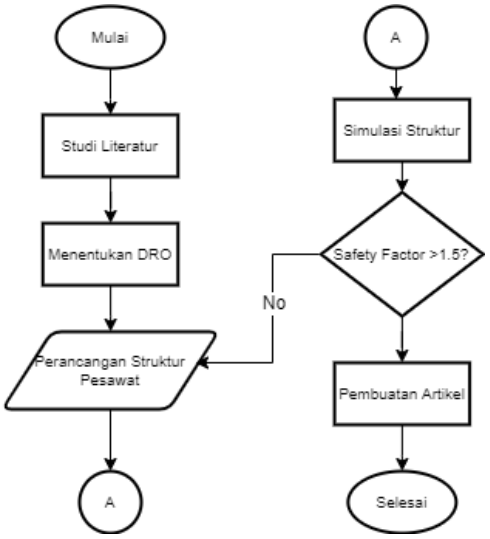
Keterangan:
σ = Tegangan (N/mm^2)
F = Gaya (N)
A = Luas Penampang (mm^2)

2.7 Factor of safety

Factor of safety atau disingkat FoS adalah daya dukung beban dari suatu sistem di luar dari yang sebenarnya didukung oleh sistem tersebut. Singkatnya, *factor of safety* adalah seberapa kuat suatu sistem daripada yang dibutuhnkan. Semakin tinggi jumlah FoS maka semakin aman produk atau strukturnya. FoS 1 menunjukkan bahwa struktur atau komponen akan segera runtuh ketika beban desain tercapai dan tidak akan mampu menopang beban tambahan apa pun. Fos untuk komponen pesawat berkisar 1.5 - 2.5.

3. METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan untuk penelitian artikel ini dengan melakukan beberapa tahapan untuk membantu penulis dalam melakukan setiap proses pengerjaan. Tahapan yang dilakukan penulis dimulai dengan pengumpulan literatur, menentukan DRO, perancangan desain pesawat, simulasi struktur, dan pembuatan artikel. Berikut ini adalah diagram alir yang menggambarkan proses pengerjaan tugas akhir ini:



Gambar 6. Diagram Alir

3.1 Studi Literatur

Studi literatur adalah proses pengumpulan informasi yang akan menjadi referensi dalam mengerjakan tugas akhir ini. Sumber literatur yang digunakan berasal dari berbagai sumber seperti jurnal, buku dan internet.

3.2 Menentukan DRO

Tahapan selanjutnya adalah menentukan *Design Requirement Object* yang akan dilbuat. Berikut ini DRO.

Tabel 1. Design Requirement Object

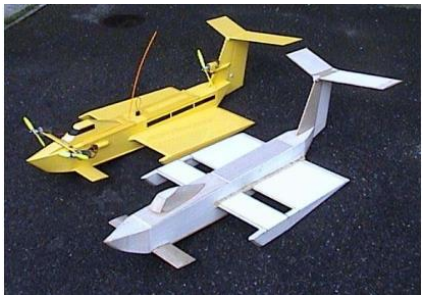
Jenis Geometry Sayap	Tandem
Airfoil	DHMTU 10-40.2-10.2-60.21-3
Berat Kosong Pesawat (estimasi)	400gr
Wing Span	605mm
Chord Sayap Depan	130mm
Chord Sayap Belakang	150mm
Jarak Antar Sayap	50mm
Sudut Insiden Sayap	2°
Material	Kayu Balsa *Soft* dan *Hard*

3.3 Perancangan Struktur Pesawat

Proses perancangan pesawat penulis menggunakan referensi dari bentuk pesawat Ekranoplan Caspia Sea Monster (Gambar 12), pesawat Giant RC Ekranoplan buatan PeterSripol (Gambar 13) dan pesawat Ekranoplan tipe Tandem (Gambar 14), seperti yang ditunjukan pada gambar berikut:

Gambar 7. Caspia Sea Monster (weaponsandwarfare.com)

Gambar 8. Giant RC Ekranoplan by PeterSripol (www.youtube.com)



Gambar 9. Ekranoplan Tandem

3.4 Simulasi Struktur

Untuk simulasi kekuatan struktur pada pesawat WIG ini, penulis menggunakan *software* Autodesk Fusion 360 untuk membuat *part* model dan melakukan simulasi kekuatan struktur. Dalam melakukan kaji komputasional kekuatan struktur penulis menggunakan aplikasi *Simulation.* Hasil yang didapat dari *stress analysis* adalah *von mises stress, displacement,* dan *safety factor*.

3.5 Pembuatan Artikel

Setelah dilakukan simulasi didapatkan FoS >1.5 maka selanjutnya akan dilakukan pembuatan artikel ilmiah.

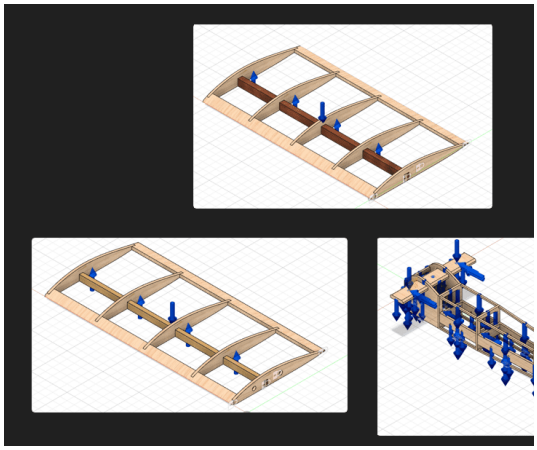
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis struktur *fuselage* dan sayap pesawat WiG yang dilakukan dibagi dalam tiga tahapan yaitu, *pre-processing, processing*, dan *post-processing*.

4.1 Pre-processing

Pre-processing merupakan tahapan sebelum dilakukan simulasi struktur, dimana

dilakukan perancangan atau pemodelan struktur fuselage dan sayap pesaawat. Proses perancangan dilakukan menggunakan *software* Autodesk Fusion 360. Berikut ini merupakan hasil perancangan yang sudah dibuat.



Gambar 10 Sayap belakang (atas), sayap depan (kiri), fuselage (kanan)

Material yang digunakan adalah kayu balsa (*medium density*) untuk bagian *rib*, *trailing edge* serta *leading edge*, sementara untuk *spar* menggunakan kayu balsa keras (*high density*) yang memiliki *yield strength* lebih tinggi dari pada kayu balsa biasa. Karakteristik material kayu balsa (*medium density*) dapat dilihat pada Tabel 2. Sedangkan untuk karakteristik material kayu balsa (*high density*) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2 Mechanical Properties Kayu Balsa (Medium Density)

Karakteristik	*Nilai*	*Satuan*
Massa Jenis	*150*	*Kg/m³*
Yield Strength	*12,1*	*MPa*
Tensile Strength	*19,9*	*MPa*
Modulus Elastisitas	*71*	*MPa*

Tabel 3 Mechanical Properties Kayu Balsa (High Density)

Karakteristik	*Nilai*	*Satuan*
Massa Jenis	*225*	*Kg/m³*
Yield Strength	*19,5*	*MPa*
Tensile Strength	*32,2*	*MPa*
Modulus Elastisitas	*71*	*MPa*

4.2 Processing

Pada tahap *processing* dilakukan simulasi dengan melakukan perubahan variasi jumlah *mesh* yang akan menimbulkan perbedaan pada jumlah elemennya untuk mendapatkan nilai yang konvergen. Pada tahap ini struktur diberi pembebanan seperti berikut.

1. Pada fuselage

Tabel 4. Pembebanan pada fuselage

No.	*Kasus Pembebanan*	*Beban (N)*		
		Fx	*Fy*	*Fz*
1.	*Sayap depan*	*0*	*0*	*-0,705*
2.	*Sayap Belakang*	*0*	*0*	*-1,097*
3.	*Tail*	*0*	*0*	*-1,274*
4.	*Gaya Angkat (sayap depan)*	*0*	*0*	*1,363*
5.	*Gaya Angkat (sayap belakang)*	*0*	*0*	*1,573*
6.	*Gaya Dorong*	*0*	*-18,6*	*0*
7.	*Engine*	*0*	*0*	*-2,998*

2. Sayap

Tabel 5. Pembebanan pada sayap

No.	*Kasus Pembebanan*	*Beban (N)*		
		Fx	*Fy*	*Fz*
1.	*Sayap depan*	*0*	*0*	*-0,705*
2.	*Sayap Belakang*	*0*	*0*	*-1,097*
3.	*Gaya Angkat (sayap depan)*	*0*	*0*	*1,363*
4.	*Gaya Angkat (sayap belakang)*	*0*	*0*	*1,573*

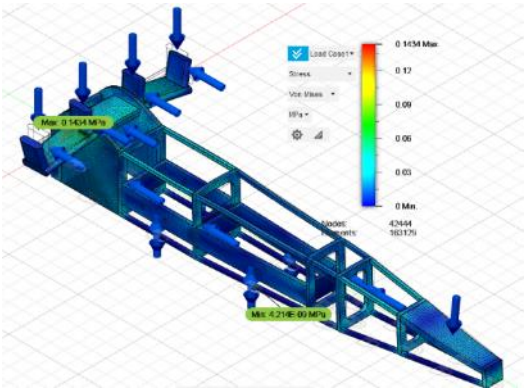
4.3 Post-processing

Setelah dilakukan *processing* maka selanjutnya didapatkan hasil berupa *von misses stress*, *factor of safety* dan *displacement*. Hasil dari simulasi ditampilkan dalam bentuk tabel dimana dilakukan simulasi sebanyak empat kali untuk mendapatkan nilai tegangan yang konvergen.

Tabel 6 Nilai Uji Konvergensi pada Fuselage

No.	*Jumlah Elemen*	*Tegangan (MPa)*	*Displacement (mm)*

1.	*25.074*	*0,1125*	*0,008*
2.	*43.410*	*0,1348*	*0,0089*
3.	*98.155*	*0,1431*	*0,0104*
4.	*163.129*	*0,1434*	*0,0114*

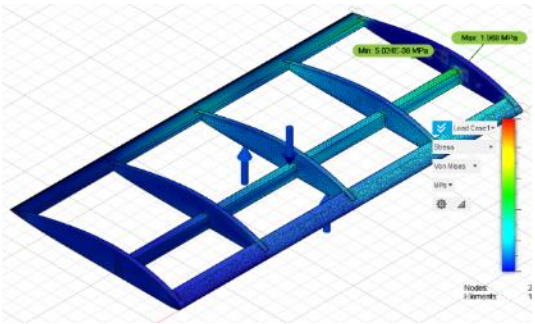


Gambar 11 Hasil Von Misses Fuselage

Von misses stress yang didapatkan dari simulasi struktur yang sudah dilakukan seperti pada Gambar 11. mendapatkan nilai maksimum 0.1434 MPa.

Tabel 7 Uji Konvergensi pada Sayap Depan

No.	*Jumlah Elemen*	*Tegangan (MPa)*	*Displacement (mm)*
1.	*18.051*	*1,907*	*0,4524*
2.	*44.617*	*1,914*	*0,4541*
3.	*93.556*	*1,951*	*0,4569*
4.	*136.294*	*1,968*	*0,4781*

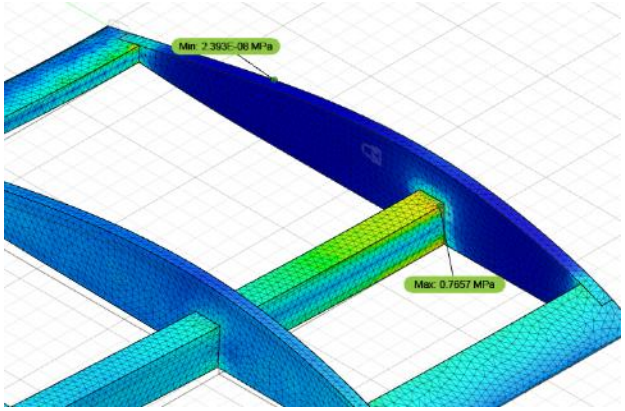


Gambar 12 Von Misses Stress sayap depan

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa nilai maksimum *von misses stress* terjadi pada *leading edge* yang dekat dengan *wing root* dengan nilai maksimum 1,968 MPa dapat dilihat pada Gambar 12.

Tabel 8 Uji Konvergensi pada Sayap Belakang

No.	*Jumlah Elemen*	*Tegangan (MPa)*	*Displacement (mm)*
1.	*17.225*	*0,3862*	*0,0772*
2.	*33.447*	*0,6757*	*0,2087*
3.	*48.400*	*0,7478*	*0,2595*
4.	*114.876*	*0,7657*	*0,2898*



Gambar 13 Lokasi tegangan maksimum

Tegangan maksimum berada pada *wing root* sayap seperti pada Gambar 13. Nilai ini bila dibandingkan dengan nilai *yield strength* material balsa yaitu 12 MPa jauh lebih kecil, sehingga struktur dan material yang digunakan dapat dikatakan aman.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil simulasi yang sudah dilakukan dapat diambil kesimpulan:

1. Nilai tegangan maksimal yang didapat dari ketiga struktur yang dilakukan simulasi adalah bernilai 1,968 Mpa, nilai ini masih berada dibawah nilai yield strength material kayu balsa yang bernilai 12 Mpa. Sehingga dapat dikatakan bahwa material yang digunakan aman.
2. Nilai FoS terkecil dialami pada sayap depan pesawat dengan nilai 6,184, dengan nilai tersebut maka dapat dikatakan bahwa struktur dan material yang digunakan sudah aman karena nilai ini berada di atas nilai minimum FoS yaitu 1,5.

Berikut ini merupakan saran-saran mengenai penelitian yang sudah dilakukan dengan harapan dapat disempurnakan dikemudian hari.

1. Penggunaan software Autodesk Fusion 360 kurang maksimal, dikarenakan keterbatasan dalam penentuan material yang akan digunakan sehingga penulis harus membuat karakteristik material kayu balsa untuk digunakan pada simulasi. Sehingga penulis menyarankan untuk menggunakan software yang khusus untuk melakukan simulasi kekuatan struktur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penghargaan yang tinggi disampaikan pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan bantuan dana pada penelitian ini. Tidak lupa saya ucapkan terima kasih kepada orangtua dan pihak-pihak yang terlibat dalam melakukan pembuatan artikel ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] J. P. Moore, An Investigation into Wing in Ground Effect Airfoil Geometry, QinetiQ Haslar.

[2] R. Q. Q., "Numerical Study of Aerodynamics of a Wing-in-Ground-Effect Craft," *Journal of Aircraft,* vol. 51, pp. 913-914, 2014.

[3] H. Muhammad, "Prediksi dan Analisi Kestabilan Gerak Longitudinal Kapal Bersayap Wing-in-Surface Effect," *Departemen Teknik Penerbangan,* vol. XIX, pp. 20-21, 2017.

[4] K. V. Rozhdestvensky, "Wing-in-Ground Effect Vehicle," *Progress in Aerospace Sciences,* pp. 211-283, 2006.

[5] "Analisis Struktur," [Online]. Available: http://p2k.unkris.ac.id/id3/1-3065-2962/Analisis_157811_p2k-unkris.html. [Accessed 19 Juni 2022].

[6] P. H. L. Cemerlang, "Analisis Struktur," [Online]. Available: https://hesa.co.id/analisis-struktur/#Tujuan_Analisa_Struktur. [Accessed 19 Juni 2022].