

# Pengembangan Platform Gerak Simulator Pesawat Udara: Pengembangan dan Analisis Struktur

Muhammad Abdul Mufti<sup>1</sup>, Putera Rizki Firdaus Al Rauf<sup>1</sup>, Muhammad Falaah Subekti<sup>1</sup>, Singgih Satrio Wibowo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : muhammad.abdul.aer22@polban.ac.id

E-mail : putera.rizki.aer22@polban.ac.id

E-mail : muhammad.falaah.aer22@polban.ac.id

\*E-mail (Corresponding Author) : singgih.wibowo@polban.ac.id

## ABSTRAK

Platform gerak simulator pesawat udara merupakan alat fundamental dalam pelatihan dan pendidikan teknik penerbangan. Namun, biaya pengadaan yang tinggi seringkali menjadi kendala. Penelitian ini berfokus pada pengembangan dan perancangan struktur rangka platform gerak simulator pesawat tiga derajat kebebasan (3DoF) berbasis motor wiper sebagai solusi yang terjangkau. Tujuan utamanya adalah untuk menghasilkan struktur rangka yang kokoh, efisien, dan mampu memberikan pengalaman simulasi yang realistis dan stabil. Metode penelitian meliputi perancangan menggunakan perangkat lunak SolidWorks, diikuti dengan simulasi analisis kekuatan struktur untuk validasi keandalan desain sebelum fabrikasi. Spesifikasi desain ditetapkan berdasarkan Design Requirement Objectives (DRO) yang mencakup tiga pergerakan roll, pitch, dan yaw dengan batasan sudut masing-masing  $\pm 10^\circ$  dan kapasitas beban maksimum 120 kg. Material hollow galvanic steel dipilih berdasarkan pertimbangan ketersediaan, biaya, dan karakteristik mekanisnya. Hasil dari penelitian ini adalah sebuah prototipe platform simulator yang fungsional dan andal, yang berpotensi menjadi alat bantu pembelajaran dan pelatihan yang efektif dan efisien secara biaya bagi institusi pendidikan teknik penerbangan.

## Kata Kunci

Simulator Penerbangan, Simulator Gerak 3-Dof, Motor Wiper, Perancangan Rangka, Analisis Kekuatan, Dinamika Pesawat.

*High-fidelity flight simulators are crucial for aeronautical engineering education, yet their high cost presents a significant barrier for many institutions. This research addresses this challenge by focusing on the development and redesign of a low-cost, three-degrees-of-freedom (3DoF) flight simulator motion platform actuated by wiper motors. The primary objective was to engineer a robust and efficient structural frame capable of delivering a realistic, stable, and scientifically valuable simulation experience. The methodology involved 3D modeling in SolidWorks, followed by structural strength simulation to validate design reliability prior to fabrication. Design specifications were governed by Design Requirement Objectives (DRO), including roll, pitch, and yaw motions, each with an angular limit of  $\pm 10^\circ$ , and a maximum load capacity of 120 kg. Hollow galvanic steel was selected as the construction material for its optimal balance of availability, cost, and mechanical strength. The resulting prototype is a cost-effective and functional platform poised to serve as a valuable training and instructional tool in aeronautical engineering programs.*

## Keywords

Flight simulator, 3DOF motion platform, Wiper motor, Structural Design, Strength analysis, Aircraft dynamics.

## 1. PENDAHULUAN

Flight simulator merupakan platform penting yang mengaplikasikan tiga derajat kebebasan (*pitch, roll, yaw*) untuk menghadirkan pengalaman virtual yang nyata, baik untuk pelatihan penerbangan maupun bidang keilmuan lainnya. Perkembangan simulator penerbangan telah mengalami transformasi signifikan sejak beberapa dekade terakhir, dengan peningkatan akurasi dan realisme sistem berbasis digital (1). Meskipun teknologinya terus berkembang, tantangan utama dalam pengembangannya adalah stabilitas, kekuatan, dan efisiensi biaya. Banyak platform terkendala oleh material berbiaya tinggi sehingga sulit diakses institusi pendidikan, sementara desain struktur yang tidak optimal dapat menyebabkan ketidakstabilan dan risiko kegagalan mekanis.

Penelitian ini berfokus pada modifikasi dan analisis kekuatan struktur dari sebuah platform simulator gerak 3-DOF untuk menjawab tantangan tersebut. Tujuan utamanya adalah mengembangkan struktur yang lebih stabil dan kuat untuk menopang beban pengguna hingga 120 kg, sekaligus memperbaiki mekanisme geraknya. Metode yang digunakan meliputi perancangan dan analisis deformasi menggunakan perangkat lunak SolidWorks, yang hasilnya akan divalidasi dengan membandingkan data simulasi terhadap pengujian beban nyata pada platform untuk memastikan keandalannya sesuai kriteria desain.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam tugas akhir Firmansyah menyoroiti bagaimana motor wiper dapat digunakan untuk menggerakkan platform

simulasi dengan tiga derajat kebebasan (3- DoF), yaitu roll, pitch, dan yaw. Ia juga menekankan pentingnya penggunaan material *hollow galvanic steel*, yang tidak hanya kuat tetapi juga efisien dari segi biaya. Desain ini dirancang untuk mampu menopang beban hingga 120 kg dengan stabil, sehingga cocok digunakan untuk simulasi gerak pesawat (2).

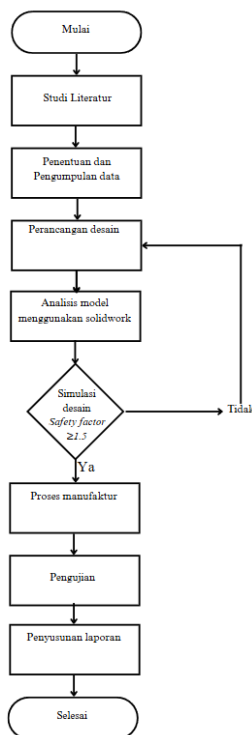
Sementara itu, Van Heerden et al. membahas pengembangan platform gerak dengan dua derajat kebebasan (*pitch* dan *roll*). Mereka menunjukkan bahwa penggunaan rangka baja ringan dalam desain platform dapat menjaga kestabilan dan kekuatan mekanis, sekaligus mengurangi biaya produksi. Hasil penelitian mereka membuktikan bahwa desain ini sangat efektif untuk mendukung pelatihan mahasiswa teknik tanpa memerlukan anggaran yang besar (3).

Selain aspek desain dan efisiensi biaya, pemahaman tentang prinsip dasar derajat kebebasan sangat penting dalam menentukan kapabilitas sistem simulator. Derajat kebebasan

merupakan jumlah parameter independen yang menentukan konfigurasi sistem mekanis (4).

### 3. METODE PENYELESAIAN MASALAH

Metode yang digunakan dalam menyelesaikan masalah ini melalui beberapa tahapan. Setiap tahapan dirancang untuk membantu proses analisis dan perancangan secara menyeluruh sesuai dengan tujuan penelitian. Untuk memberikan gambaran visual yang jelas mengenai alur kerja penelitian, tahapan-tahapan tersebut disusun dalam bentuk diagram alir agar lebih mudah dipahami. Gambaran diagram alir metode penyelesaian masalah dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir metode penyelesaian masalah

### 3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari dan memahami berbagai teori yang relevan dengan tugas akhir. Proses ini mencakup pengumpulan referensi dari jurnal ilmiah, buku, dan situs web terpercaya yang berhubungan dengan topik penelitian. Studi ini membantu dalam memahami dasar-dasar perancangan serta metode analisis kekuatan struktur yang akan digunakan (5,6).

### 3.2 Penentuan dan Pengumpulan Data

Tahapan ini melibatkan pengumpulan data yang diperlukan terkait material, komponen, dan spesifikasi desain. Material dipilih dengan mempertimbangkan ketersediaan di pasaran, harga yang terjangkau, dan karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan desain. Kebutuhan dan tujuan desain (*Design Requirement and Objective*) dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1 *Design Requirements and Objectives*

Tipe	Kategori	Parameter
Functional Requirements	Must	1. Platform memiliki 3 Degree of Freedom (DoF) untuk mensimulasikan gerakan pesawat yaitu, <i>Rolling</i> (rotasi terhadap sumbu longitudinal atau x), <i>pitching</i> (rotasi terhadap sumbu lateral atau y), dan <i>yawing</i> (rotasi terhadap sumbu vertikal atau z).
		2. Platform dapat bergerak <i>Rolling</i> sejauh +10° dan -10°
		3. Platform dapat bergerak <i>pitching</i> sejauh +10° dan -5°.
		4. Platform dapat bergerak <i>yawing</i> sejauh +10° dan -10°.
		5. Platform harus kompatibel dengan software XPlane versi 11 yang mendukung output data posisi pesawat dalam format UDP atau Serial.
	Wish	Platform mendukung kontrol tambahan via <i>joystick</i> .
Structure Requirement	Must	1. Dapat menopang beban 1 orang manusia dengan maximum beban 120 kg 2. Dapat menopang beban 1 monitor dengan beban 2 kg.
Ergonomic Requirement	Must	1. Pengguna nyaman ketika menduduki platform 2. Postur tubuh pengguna terjaga ketika menduduki platform
Economic Requirements	Must	Menggunakan komponen yang lebih ramah biaya.
	Wish	Penggunaan komponen dengan harga lebih murah tanpa mengurangi performa.

### 3.3 Perancangan Desain

Teori-teori yang relevan dari studi literatur digunakan untuk merancang struktur, yang kemudian dimodelkan dalam bentuk tiga dimensi (3D) menggunakan perangkat lunak SolidWorks. Desain keseluruhan dibagi menjadi beberapa bagian utama sesuai dengan fungsinya. Material utama yang

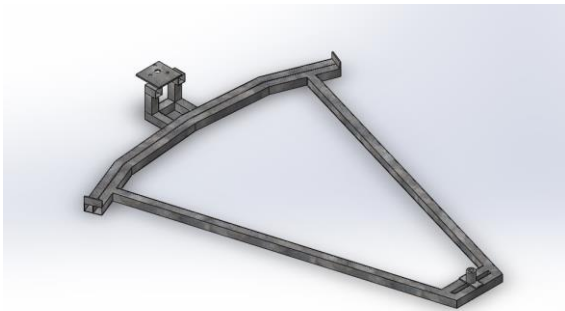
digunakan untuk rangka adalah besi *hollow galvanic steel* dengan dimensi 30 mm x 30 mm dan ketebalan 1,2 mm. Pemilihan material ini mempertimbangkan kekuatan tarik tinggi, kemudahan proses manufaktur, dan ketahanan korosi yang baik (6). Rancangan desain yang telah dibuat meliputi:

### 3.3.1 Frame

*Frame* pada platform simulator ini merupakan komponen struktur utama yang dirancang secara modular dan dibagi menjadi beberapa bagian utama sesuai fungsinya. Keseluruhan rangka dibuat menggunakan material utama berupa besi *hollow galvanic steel* dengan dimensi 30 mm x 30 mm dan ketebalan 1,2 mm. Strukturnya terdiri dari empat bagian utama yaitu:

#### 1. Base Frame

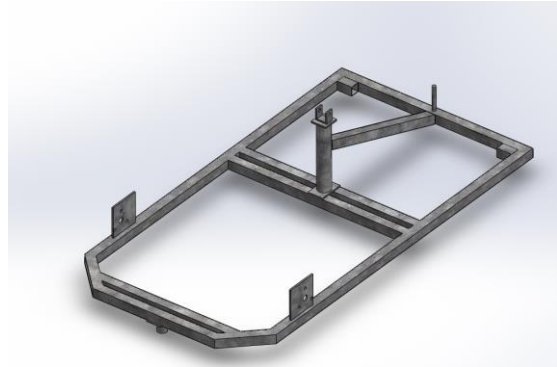
*Base frame* adalah struktur rangka yang posisinya berada paling bawah dari keseluruhan platform. Rangka ini dirancang secara khusus dengan menyertakan rel atau jalur yang berfungsi sebagai lintasan untuk roda kastor. Desain ini merupakan kunci untuk memungkinkan platform simulator dapat bergerak secara *yawing* atau berputar pada sumbu vertikalnya. *Base frame* yang telah di desain dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 rancangan 3D base frame

#### 2. Middle Frame

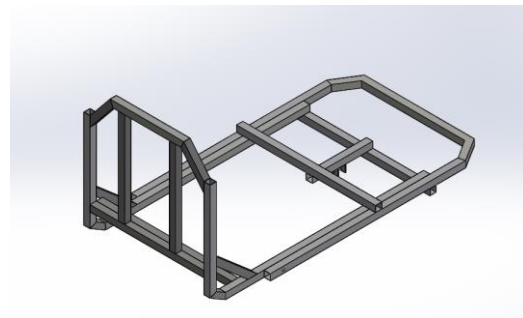
*Middle frame* merupakan struktur rangka tengah yang terletak di antara *base frame* dan *chair home*. Fungsi utamanya adalah sebagai penopang dari *chair home* dan seluruh beban yang ada di atasnya. Selain itu, *middle frame* menjadi tempat dipasangnya roda kastor yang bergerak di atas *base frame*. Rangka ini juga memiliki peran krusial sebagaiudukan untuk menempatkan motor wiper yang bertugas menghasilkan gerakan *rolling* dan *pitching* pada simulator. *Middle frame* yang telah di desain dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 rancangan 3D middle frame

#### 3. Chairhome

Struktur atas platform simulator dirancang sebagai satu kesatuan utuh yang terdiri dari *chair home* dan perpanjangan rangkanya di bagian depan. *Chair home* berfungsi sebagaiudukan utama untuk kursi pengguna serta tempat meletakkan *joystick*. Bagian ini menyatu langsung dengan struktur di depannya yang berfungsi sebagai penyangga kokoh untuk *bracket* monitor. *Middle frame* yang telah di desain dapat dilihat pada Gambar 4.

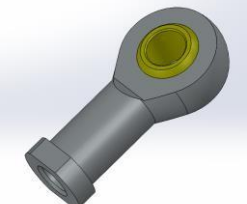


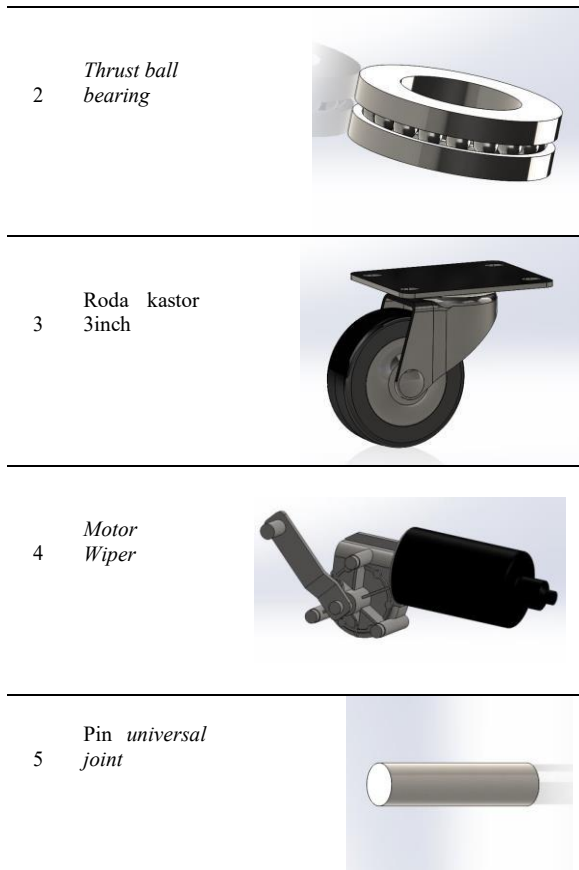
Gambar 4 rancangan 3D middle frame

### 3.3.2 Komponen Pendukung

Selain struktur rangka utama, perancangan *flight simulator platform* ini juga melibatkan sejumlah komponen pendukung yang krusial untuk memungkinkan pergerakan tiga derajat kebebasan (*3-DoF*). Komponen-komponen ini telah dirancang dalam bentuk 3D untuk memastikan integrasi yang tepat dalam perakitan akhir. Komponen tersebut mencakup bagian mekanis penting seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Komponen pendukung platform gerak simulator

Komponen		
No	Nama	Gambar
1	Rod end ball joint	



### 3.3.3 Assembly

*Assembly* merupakan proses akhir dari fase perancangan desain tiga dimensi (3D) menggunakan perangkat lunak SolidWorks. Pada tahap ini, semua bagian rangka (*frame*) dan komponen pendukung yang telah dirancang secara individual digabungkan menjadi satu kesatuan model. Hasil dari proses ini adalah sebuah model rakitan 3D yang utuh dan terintegrasi, yang memberikan visualisasi lengkap dari keseluruhan platform simulator, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

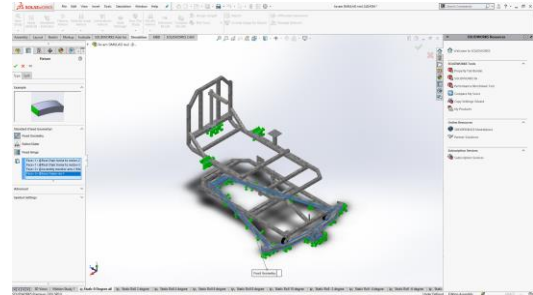


Gambar 5 assembly seluruh frame dan komponen pendukung

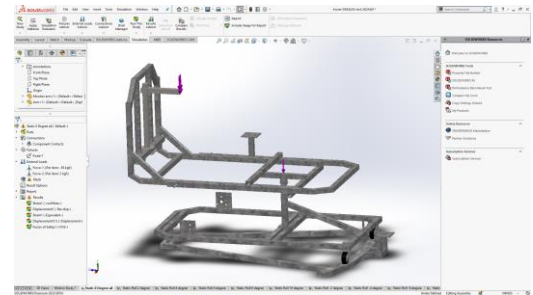
### 3.4 Analisis Model

Tahap simulasi desain adalah langkah krusial untuk memvalidasi kekuatan struktur rangka menggunakan

analisis pada perangkat lunak SolidWorks. Proses ini mengevaluasi parameter kunci seperti distribusi tegangan, perpindahan, dan faktor keamanan untuk memastikan desain aman dan memenuhi kriteria teknis yang ditetapkan (5,7). Simulasi diawali dengan penentuan tumpuan tetap (*Fixture*) dan aplikasi beban eksternal (*Force*) yang divariasikan untuk pengguna (70 kg, 100 kg, dan 120 kg) serta beban monitor konstan (2 kg) untuk menguji berbagai skenario. Untuk *Fixture geometry* dan pembebanan dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

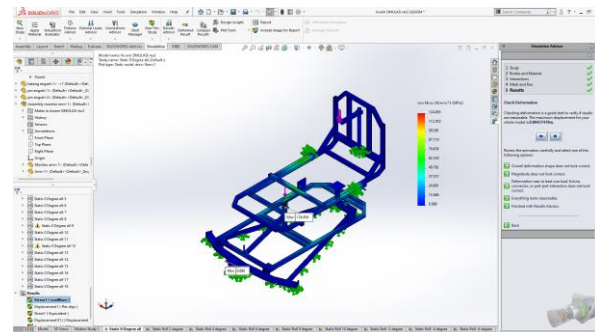


Gambar 6 *Fixture geometry* pada base frame

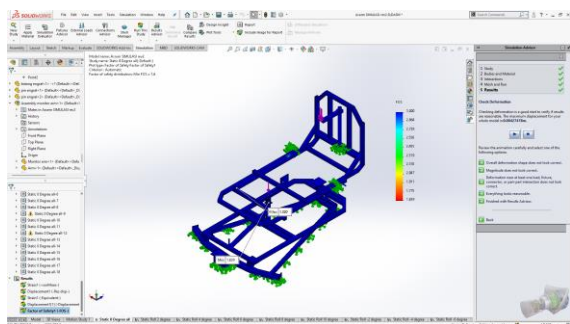


Gambar 7 Beban manusia 120 kg dan monitor 2 kg

Setelah semua kondisi batas dan beban diatur, tahap akhir dari proses ini adalah menjalankan *simulasi* dan menganalisis hasilnya. Parameter kunci seperti distribusi tegangan (*stress*), perpindahan (*displacement*), dan Faktor Keamanan (*safety factor*) dievaluasi untuk menentukan apakah *desain* struktur yang dibuat telah memenuhi kriteria teknis dan aman untuk digunakan. Untuk result tegangan dan *safety factor* pada pembebanan dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9



Gambar 8 Hasil simulasi tegangan dengan beban 120 kg



Gambar 9 Hasil simulasi *safety factor* dengan beban 120 kg

### 3.5 Manufaktur

Tahap manufaktur merupakan implementasi fisik dari desain yang telah divalidasi melalui analisis dan simulasi. Proses ini melibatkan fabrikasi dan perakitan seluruh struktur rangka dengan menggunakan serangkaian peralatan dan material yang telah direncanakan sebelumnya. Baja hollow galvanic dapat dengan mudah dipotong, dilas, dan dirakit menggunakan peralatan dasar bengkel. Kemudahan ini mendukung efisiensi waktu dan biaya produksi tanpa mengorbankan integritas struktural (8). Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3 Alat yang digunakan

No	Nama Alat
1	Mesin Las
2	Gerinda tangan
3	Meteran
4	Penggaris siku
5	Helm las
6	Bor tangan
7	Mata Bor
8	Tap dan Die set
9	Ragum

Tabel 4 Bahan yang digunakan

No	Nama Bahan
1	Baja <i>Hollow Galvanic</i>
2	Elektroda las
3	Bordes Aluminium
4	Plat Aluminium

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Simulasi

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan menggunakan perangkat lunak SolidWorks, diperoleh empat parameter utama untuk mengevaluasi kekuatan struktur, yaitu tegangan, regangan, *displacement*, dan *safety factor*. Analisis ini dilakukan pada tiga variasi beban (70 kg, 100 kg, dan 120 kg) dalam berbagai kondisi gerak (*pitch*, *roll*, dan *yaw*). Hasil data simulasi dengan variasi beban 70 kg, 100 kg, dan 120 kg secara berturut turut dapat dilihat pada Tabel 5, Tabel 6, dan Tabel 7.

Tabel 5 Hasil simulasi variasi beban 70 kg

	Pergerakan						
	Rolling		Pitching		Netral	Yawing	
	+10°	-10°	+10°	-5°	0°	+10°	-10°
Tegangan (Mpa)	80,58	79,29	55,04	51,56	75,28	74,544	76,21

Regangan	0,00026 6	0,00027 7	0,00044 3	0,00018 9	0,00027 8	0,00028 5	0,00029 2
<i>Displacement</i> (mm)	1,848	1,884	1,567	1,921	2,577	2,576	2,562
<i>Safety factor</i>	2,531	2,572	3,705	3,955	2,709	2,736	2,676

Tabel 6 Hasil simulasi variasi beban 100 kg

	Pergerakan						
	Rolling		Pitching		Netral	Yawing	
	+10°	-10°	+10°	-5°	0°	+10°	-10°
Tegangan (Mpa)	103,39	113,48	77,37	72,09	108,32	106,72	108,81
Regangan	0,00035 4	0,00037 8	0,00028 5	0,00028 8	0,00039 9	0,00041 0	0,00041 7
<i>Displacement</i> (mm)	1,596	1,644	2,201	2,716	3,685	3,664	3,660
<i>Safety factor</i>	1,972	1,797	2,636	2,829	1,883	1,911	1,874

Tabel 7 Hasil simulasi variasi beban 120 kg

	Pergerakan						
	Rolling		Pitching		Netral	Yawing	
	+10°	-10°	+10°	-5°	0°	+10°	-10°
Tegangan (Mpa)	134,68	134,83	94,05	87,50	126,16	125,65	124,37
Regangan	0,00045 5	0,00047 3	0,00034 7	0,00035 0	0,00047 6	0,00047 5	0,00047 6
<i>Displacement</i> (mm)	3,144	3,213	2,666	3,298	4,418	4,271	4,278
<i>Safety factor</i>	1,514	1,513	2,168	2,331	1,616	1,623	1,640

### 4.2 Pembahasan

Setelah proses manufaktur selesai, dilakukan pengujian beban nyata untuk memvalidasi kekuatan struktur secara fisik. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan platform mampu menahan beban statis pada posisi-posisi gerakan ekstrem tanpa mengalami ketidakstabilan, kerusakan, atau deformasi permanen. Pengujian dimulai dengan menempatkan beban manusia seberat 88 kg dan monitor seberat 2 kg pada platform yang berada di posisi netral (0°). Dokumentasi pengujian pada posisi ini dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Platform pada posisi netral 0°

Pada pengujian pertama, platform diuji pada posisi *pitch* +10° dengan beban tetap (88 kg manusia dan 2 kg monitor). Struktur mampu menopang beban ini secara stabil tanpa mengalami kerusakan atau ketidakstabilan selama pengujian berlangsung. Dokumentasi pengujian pada posisi ini dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Platform pada posisi *pitch* +10°

Selanjutnya, bagian depan platform diturunkan hingga sudut -5°. Dengan beban yang sama, platform mempertahankan kekokohan dan kestabilannya tanpa ada deformasi atau gangguan pada sambungan. Dokumentasi pengujian pada posisi ini dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Platform pada posisi *pitch* -5°

Platform kemudian dimiringkan ke kanan hingga mencapai sudut +10°. Struktur berhasil menahan beban dengan baik dan tetap stabil tanpa goyangan atau kerusakan. Pengujian ini membuktikan sistem mampu memberikan respons yang seimbang dan andal. Dokumentasi pengujian pada posisi ini dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13 Platform dalam posisi *Rolling* +10°

Untuk pengujian arah sebaliknya, platform dimiringkan ke kiri sebesar -10° dengan beban yang sama. Hasilnya, struktur tetap kokoh dan platform stabil, mampu mencapai kemiringan -10° secara tepat tanpa menyebabkan ketidakseimbangan beban.. Dokumentasi pengujian pada posisi ini dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 Platform dalam posisi *Rolling* -10°

Sebelum pengujian *yaw*, platform dikembalikan ke posisi netral 0° yang menjadi titik referensi rotasi. Untuk pengujian sumbu *yaw*, digunakan beban yang lebih ringan yaitu 60 kg. Hal ini dilakukan karena tumpuan tunggal pada sistem rotasi *yaw* lebih sensitif terhadap momen puntir, sehingga beban yang lebih ringan digunakan untuk memastikan keamanan pengujian awal. Platform kemudian diputar ke kanan (+10°) dan ke kiri (-10°). Selama kedua pengujian, struktur menunjukkan kemampuan untuk menopang beban secara stabil tanpa mengganggu mekanisme putar. Karena *waterpass* tidak dapat mendeteksi rotasi pada sumbu vertikal, pengukuran sudut dilakukan menggunakan busur. Dokumentasi pengujian pada posisi ini dapat dilihat pada **Kesalahan! Sumber referensi tidak ditemukan..**



Gambar 15 Pengukuran menggunakan busur ketika platform yawing  $+10^\circ$  dan  $-10^\circ$

8. Moore TA, et al. Method of joints. Pennsylvania State University Mont Alto. [cited 2024 Dec 16]. Available from: [https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Mechanical\\_Engineering/Mechanics\\_Map\\_\(Moore\\_et\\_al.\)/05%3A\\_Engineering\\_Structures/5.04%3A\\_Method\\_of\\_Joints](https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Mechanical_Engineering/Mechanics_Map_(Moore_et_al.)/05%3A_Engineering_Structures/5.04%3A_Method_of_Joints)
9. Maria Universiti Malaysia Pahang Al-Sultan Abdullah R. Summary of safety criteria in design. 2016. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/303517627>

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan proses perancangan, perakitan, dan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan menggunakan SolidWorks, analisis kekuatan, hingga manufaktur telah berhasil dilaksanakan sesuai metodologi, menghasilkan sebuah prototipe platform simulator yang fungsional.
2. Analisis simulasi membuktikan bahwa struktur rangka aman digunakan. Nilai Faktor Keamanan (FOS) minimum yang diperoleh adalah 1,513, berada di atas standar aman 1,5 (9), bahkan saat menahan tegangan maksimal 134,838 Mpa.
3. Pengujian beban nyata pada *platform* menunjukkan *platform* memiliki kestabilan, kekokohan, dan fungsionalitas yang sangat baik di seluruh sumbu gerak. Platform terbukti mampu menahan beban pengguna secara stabil tanpa mengalami deformasi atau kegagalan mekanis.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Adorian P, Bolton M, Staynes W. The evolution of the flight simulator. In: Royal Aeronautical Society Conference Fifty Years of Flight Simulation. 1979.
2. Firmansyah P. Rancang bangun platform gerak untuk simulator pesawat udara: Kaji dan perancangan struktur. 2024.
3. Van Heerden ASJ, Lidbetter R, Liebenberg L, Mathews EH, Meyer JP. Development of a motion platform for an educational flight simulator. *Int J Mech Eng Educ*. 2011;39(4):306–22.
4. Encyclopaedia Britannica. Degree of freedom [Internet]. 2018 [cited 2024 Dec 14]. Available from: <https://www.britannica.com/science/degree-of-freedom-mathematics-and-statistics>
5. Hibbeler RC. *Mechanics of materials*. 8th ed. Pearson Prentice Hall; 2011.
6. Callister WD, Rethwisch DG. *Materials science and engineering*. 9th ed. 2014.
7. Meriam JL, Kraige LG. *Engineering mechanics statics*. 7th ed. 2012.