

Analisis Umur Fatik Rangka Penyangga *Aileron Flight Control* Simulator Berkapasitas 101 kg Di PT MMF

Ready Kresna Nanda Suprpto¹, Oka Fatra², Iwan Engkus Kurniawan³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Pesawat Udara Politeknik Penerbangan Indonesia.

Email: kresnaready@gmail.com¹, oka.fatra@ppicurug.ac.id², iwan.engkus@ppicurug.ac.id³

Abstract: *This study examines the fatigue life of the aileron flight control simulator support frame using the Finite Element method. Design and calculation of frame fatigue life using Solidworks 2020 software. In this study, 3 design variables were used, namely: Initial, New, and Alternative. While the material used in this study uses ASTM A500 and ASTM A36. The simulation results of the initial, new and alternative design aileron support frames using ASTM A36 material have a minimum fatigue life of 1.41×10^5 , 6.50×10^6 , and 1.00×10^7 cycles, respectively. While the Initial, New and Alternative designs with ASTM A500 material have a minimum fatigue life of 1.04×10^4 , 3.71×10^4 , and 1.00×10^7 cycles.*

Keywords: *Fatigue Life, Aircraft, Simulation, Solidworks, Finite Element.*

Abstrak: Penelitian ini mengkaji tentang umur fatik rangka penyangga *aileron flight control* simulator menggunakan metode elemen hingga. Desain dan perhitungan umur fatik rangka menggunakan perangkat lunak *Solidworks* 2020. Dalam penelitian ini menggunakan 3 variabel desain yaitu: awal, baru, dan alternatif. Sedangkan material yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan ASTM A500 dan ASTM A36. Hasil simulasi memperlihatkan rangka penyangga *aileron* desain Awal, Baru dan Alternatif dengan material ASTM A36 memiliki umur fatik minimum berturut-turut yaitu $1,41 \times 10^5$, $6,50 \times 10^6$, dan $1,00 \times 10^7$ siklus. Sedangkan pada desain awal, baru dan alternatif dengan material ASTM A500 memiliki umur fatik minimum berturut-turut $1,04 \times 10^4$, $3,71 \times 10^4$, dan $1,00 \times 10^7$ siklus.

Kata Kunci: Umur Fatik, Pesawat, Simulator, Solidworks, Elemen Hingga.

PENDAHULUAN

PT. Merpati Maintenance Facility memiliki beberapa pesawat yang secara teknis dan ekonomis sudah tidak dapat dioperasikan kembali. Salah satu upaya pemanfaatannya yaitu dirancang menjadi Simulator. Akan tetapi dalam proses perancangannya perlu diperhatikan bagian-bagian yang mengalami pembebanan, seperti pada rangka penyangga aileron. Namun dalam kenyataannya rangka flight control simulator tidak hanya mendapatkan beban statis, karena dengan adanya pergerakan dari Aileron menyebabkan rangka ini mengalami pembebanan berulang (repeated loading).

Dalam suatu penelitian yang berjudul “Analisis Fatik Berbantuan Komputer” pada tahun 2011 dijelaskan bahwa pembebanan berulang akan melemahkan suatu bagian dari rangka dalam waktu tertentu meskipun beban yang terjadi pada rangka tersebut sangat kecil. Sehingga perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap rangka flight control simulator ini. seperti pada rangka penyangga aileron yang mengalami beban dinamis yang berulang. Komponen tersebut harus mampu menahan beban statis dan dinamis berulang akibat pergerakan aileron.

Rancangan rangka penyangga aileron dapat mengalami kegagalan melalui beberapa faktor. Kurang tepatnya proses maintenance, Deformasi plastis, karat, dan fatik merupakan kemungkinan penyebab kegagalan rangka penyangga aileron. Fatik mempunyai persentase tertinggi pada kegagalan suatu rangka.

Fatik dapat didefinisikan sebagai jenis kegagalan pada komponen akibat dari beban dinamik yang berulang. Proses awal terjadinya kegagalan fatik ini tidak dapat terlihat oleh mata, sehingga kegagalan ini bisa terjadi tiba-tiba tanpa adanya tanda- tanda yang kasat mata. Hal ini membuat pentingnya penelitian umur fatik pada saat perancangan alat. Sedangkan tingkat ketahanan umur fatik yang harus dicapai yaitu 1 juta siklus pembebanan yang dapat diklasifikasikan sebagai high cycle fatigue.

Pada penelitian ini dipilih 3 variasi desain yaitu: awal, baru, dan alternatif. Sedangkan material yang digunakan yaitu ASTM A36 dan A500.

Penelitian ini bertujuan untuk memilih variasi desain dan material yang mampu melewati 1 juta siklus pembebanan menggunakan perangkat lunak Solidworks. Perangkat lunak ini telah sering digunakan dalam pengujian umur fatik rangka.

LANDASAN TEORI

Pada landasan teori ini akan membahas hal hal yang berkaitan dengan fokus penelitian, seperti: Elemen Hingga, Faktor keamanan, Material, Kekuatan luluh, dan

Kurva S-N

A. Elemen Hingga

Metode elemen hingga (MEH) atau biasa disebut *Finite Element Method* (FEM) merupakan metode penyelesaian suatu masalah dengan menggunakan pembagian terhadap objek menjadi bagian-bagian kecil yang terhingga. Bagian kecil ini sering disebut dengan elemen yang

selanjutnya akan dianalisa dan hasilnya digabungkan kembali untuk menghasilkan penyelesaian keseluruhan sistem. Membagi suatu objek untuk dianalisis disebut “diskritisasi atau *discretizing*”. Bagianbagian terkecil ini disebut dengan elemen. Sebuah elemen terdiri dari beberapa titik yang disebut dengan node atau nodal.

Ada 3 jenis elemen yang dapat digunakan dalam analisis elemen hingga yaitu *solid element*, *shell element* dan *beam element* seperti pada Gambar 1. Ketiga elemen ini mempunyai kegunaan masing-masing dalam kegunaannya. *Solid Element* berfungsi sebagai representasi dari objek padat (*Solid*). *Shell Element* merupakan bentuk penggambaran dari plat baja, informasi ketebalan plat harus diberikan ketika mengerjakan elemen ini. Mirip dengan *Solid Element*, *Shell Element* juga dapat memetakan ke dalam geometri lengkung.

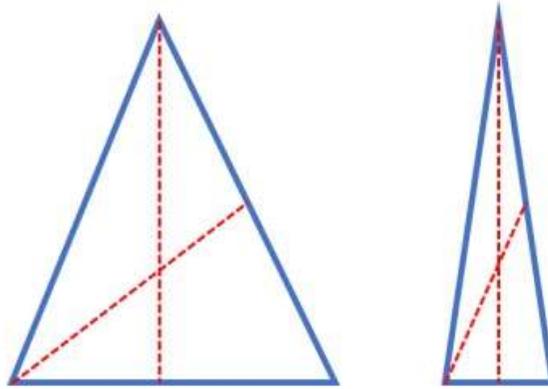
Salah satu metode untuk memeriksa kualitas mesh yaitu dengan *Aspect Ratio* seperti pada Gambar 2. Dalam situs resmi Solidworks dijelaskan bahwa *Aspect Ratio* adalah rasio antara tepi terpanjang dan garis normal terpendek.

Sehingga secara teori *Aspect Ratio* elemen tetrahedral yang sempurna adalah 1,0. Akan tetapi untuk geometri umum, tidak mungkin membuat jaring elemen tetrahedral yang sempurna. Contohnya seperti pada geometri melengkung, plat tipis, dan sudut tajam. Beberapa elemen yang dihasilkan bisa saja memiliki beberapa tepi lebih panjang daripada yang lain. Ketika nilai *Aspect Ratio* membesar, keakuratan hasil akan menurun. *Aspect Ratio* dapat dinotasikan melalui persamaan (1) sebagai berikut :

$$Aspect\ Ratio = \frac{Longest\ Normal}{Shortest\ Normal}$$

	3D elements			2D elements
	Solid elements	Shell elements	Beam elements	Plate elements
First order element Linear (first order) displacement Constant stress field				
Second order element Parabolic (second order) displacement field Linear stress field				

Gambar 1. Jenis-jenis elemen



Gambar 2. Aspect ratio

Kurowski dalam buku *Engineering analysis with SOLIDWORKS Simulation 2018* membagi metode ini menjadi 3 langkah yaitu:

1. *Preprocessing* 2. *Solving* 3. *Post-processing*

Langkah *Preprocessing* merupakan langkah yang paling padat dalam metode elemen hingga. Langkah ini meliputi pembuatan model 3 dimensi, penentuan material yang akan digunakan, penentuan kondisi batas (*fixed geometry*), pemberian beban yang akan digunakan, dan pembuatan *mesh*. Langkah selanjutnya yaitu *solving*, yang merupakan langkah yang paling sederhana. Dalam perangkat lunak Solidworks 2020 langkah ini bertujuan untuk memilih jenis penyelesaian yang akan digunakan seperti *Direct Sparse Solver*, *FFEPlus*, *Large Problem Direct Sparse*, dan *Intel Direct Sparse*. Langkah terakhir yaitu *Post-processing*. Langkah ini merupakan langkah terakhir dalam penyelesaian metode elemen hingga. Tujuan dari *Post-processing* adalah memvisualisasikan secara grafis dari hasil analisis yang telah dilakukan dan menyajikannya dalam bentuk yang lebih mudah dipahami. Pada tahap ini, Anda mungkin akan mendapatkan nilai tegangan utama, fluks panas, regangan, dan lain-lain.

B. Faktor Keamanan

Kekuatan suatu struktur pada umumnya akan mengacu pada *ultimate strength* yang dimiliki material tersebut. Akan tetapi dalam hal perancangan suatu alat atau bahan, *yield strength* dapat diasumsikan sebagai beban maksimum yang dapat diterima oleh suatu rangka. Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa kondisi kritis material terhadap pembebanan tergantung pada nilai *yield strength* material tersebut. Dengan adanya tuntutan bahwa rancangan alat mengharuskan memiliki jaminan aman digunakan atau tidak akan terjadi suatu kegagalan rangka selama menerima beban, maka dibutuhkan suatu perhitungan yang dapat digunakan untuk menentukan tingkat keamanan rangka. Faktor keamanan rangka dapat dicari dengan perbandingan antara tegangan luluh pada material dengan tegangan Von Mises maksimum seperti pada persamaan (2) berikut :

$$Sf = \frac{\sigma_y}{\sigma_v}$$

Sf = Faktor Keamanan

σ_y = Tegangan Luluh

σ_v = Tegangan *Von Mises*

Nilai faktor keamanan bermacam-macam untuk setiap jenis pembebanan seperti pada pembebanan statis nilai faktor keamanannya yaitu 1,25 hingga 2. Sedangkan pada pembebanan dinamis nilai faktor keamanan yang perlu dicapai yaitu 2-3 [13].

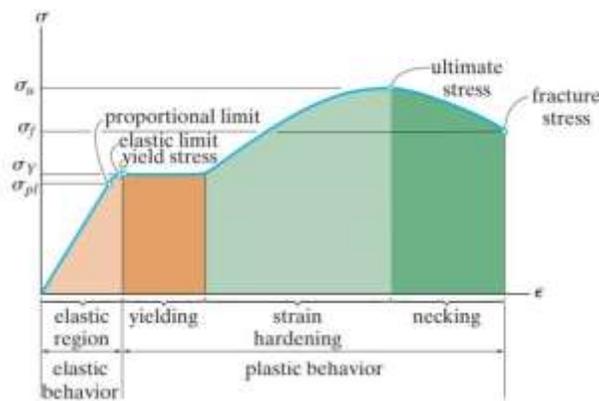
C. Pemilihan Material

Pemilihan material harus didasari dengan pengetahuan dari sifat suatu material. Sifat suatu material merupakan aspek yang membatasi kekuatan material. Setiap bahan atau material mempunyai karakteristik yang berbeda tergantung pada elemen penyusun material tersebut. Tentunya diperlukan adanya pemilihan material untuk memilih jenis material apa yang akan digunakan.

Namun pada proses produksinya nilai kekuatan material bisa berubah, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti pemanasan, tipe cetakan dll. Dalam hal ini manufaktur telah memberikan standar bagi material yang akan dipasarkan. Salah satunya yaitu American Standard Testing and Material (ASTM).

D. Yield Strength

Yield strength atau Kekuatan luluh yaitu nilai batas tegangan ketika material mengalami deformasi plastis. Dengan kata lain jika suatu beban menghasilkan tegangan yang masih berada di bawah nilai kekuatan luluh, maka material tersebut masih bisa kembali ke bentuk semula seperti pada warna jingga muda pada 3. Sedangkan jika sudah melewati batas dari kekuatan luluh material tersebut tidak dapat kembali lagi ke bentuk semula atau bisa disebut plastis seperti pada warna jingga tua pada 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan

E. Ultimate Strength

Ultimate strength atau bisa disebut kekuatan tarik merupakan nilai stress maksimum yang dapat diterima oleh material ketika sedang diregangkan atau ditarik, sebelum material tersebut fraktur atau patah. *Ultimate strength* pada dasarnya dapat diketahui dengan melakukan pengujian terhadap material dan mencatat perubahan regangan dan tegangan. Pada umumnya *Ultimate strength* merupakan titik tertinggi dalam sebuah grafik tegangan dan regangan seperti pada Gambar 3.

F. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan nilai yang digunakan suatu material untuk mengukur ketahanannya ketika mengalami deformasi elastis seperti pada persamaan (3). Modulus elastisitas dapat dinotasikan sebagai gradien atau kemiringan dari grafik tegangan dan regangan di area deformasi elastis.

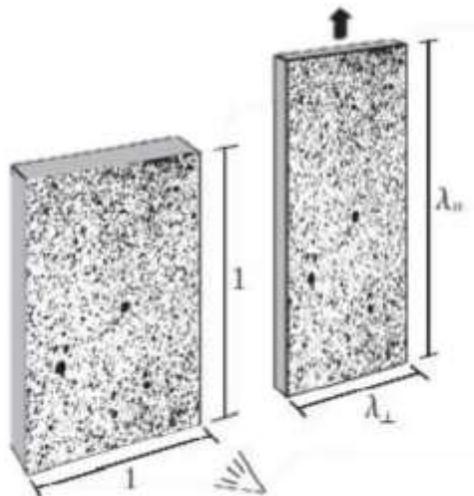
$$\lambda = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dimana:

- λ = Modulus elastisitas
- σ = Tegangan
- ε = Regangan

G. Poisson Ratio

Gambar 4 menunjukkan pada saat suatu benda ditarik atau diregangkan dalam satu arah, maka pada kenyataanya benda tersebut akan mengalami perubahan bentuk lebih tipis pada arah lateral. Sedangkan jika benda tersebut diberi gaya tekan dalam satu arah, maka benda akan cenderung menjadi lebih lebar pada arah lateral.



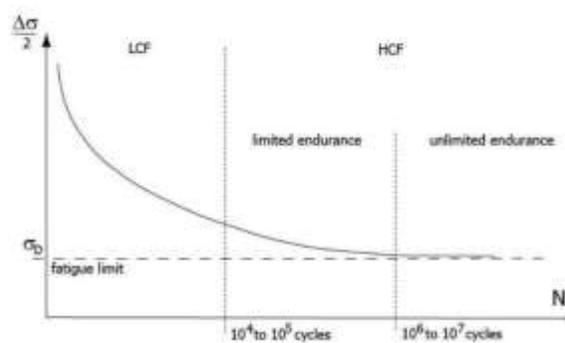
Gambar 4. *Poisson Ratio*

H. Fatik

Fatik merupakan kegagalan rangka akibat dari pembebanan dinamis yang bersifat fluktuatif dengan beban maksimum di bawah *yield strength*. Fatik menjadi kegagalan terbesar pada material logam yaitu mencapai nilai 90 % [15]. Proses terjadinya fatik dibagi menjadi 3 tahap yaitu: permulaan adanya keretakan, penyebaran keretakan, dan *failure* atau patah.

Initiation crack atau awal retak dimulai dengan retak yang terjadi pada permukaan material yang lemah atau dimana konsentrasi tegangan pada permukaan terjadi biasanya pada goresan atau lubang. Selanjutnya, penyebaran retak atau *crack propagation* terjadi dengan ditandainya perubahan *microcracks* menjadi *macro crack* yang nantinya akan berujung pada kegagalan atau *failure*. Pada kesimpulannya kegagalan fatik dimulai dengan terjadinya keretakan pada permukaan benda. Hal ini membuktikan bahwa fatik akan sangat peka terhadap kekuatan material dan kondisi permukaan benda [16].

Sedangkan penyampaian data rekayasa fatik bisa didapat dengan kurva S-N dengan N adalah jumlah siklus atau umur fatik rangka hingga terjadinya *failure* dan S adalah besarnya tegangan yang diberikan kepada benda. Konsep ini sudah diterapkan secara umum untuk perancangan suatu bahan. Ketentuan pada konsep ini yaitu tegangan yang diaplikasikan harus berada pada daerah elastis dan memiliki umur lebih dari 1000 siklus.



Gambar 5. Kurva S-N Fatik

Uji spesimen dibutuhkan untuk menentukan umur fatik atau total siklus hingga terjadinya kegagalan pada kurva S-N tersebut. Pada diagram ini digunakan skala semilogaritma yaitu dengan ukuran skala tegangan normal dan skala pada jumlah siklus pada diagram merupakan skala logaritma. Benda akan dikatakan *Low Cycle Fatigue* atau disingkat LCF jika umur fatik benda tersebut tidak mampu mencapai 10.000 siklus. Sedangkan jika umur fatik benda uji dapat melebihi

10.000 siklus maka benda tersebut bisa dikategorikan sebagai *High Cycle Fatigue* atau disingkat HCF. Hal yang menarik adalah jika benda tersebut mampu melewati 1 juta siklus. Karena benda yang dapat melewati 1 juta siklus sudah dapat dianggap sebagai *unlimited endurance* atau benda tersebut tidak akan mengalami kegagalan fatik.

Jika menggunakan skala logaritma, kurva S-N dapat dinotasikan ke dalam bentuk persamaan Basquin slope, yaitu seperti:

$$N_1 = N_2 \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^{\frac{1}{b}}$$

Dengan menyederhanakan persamaan (4) dan mendefinisikan nilai b yaitu menjadi persamaan:

$$b = \frac{-\log S_1 + \log S_2}{\log N_2 - \log N_1}$$

Dimana :

S = Besar tegangan

N = Jumlah siklus

Nilai batas ketahanan suatu material dapat dicari dengan menghubungkan *fatigue Ratio* (f_s) dan *ultimate strength* (S_{ut}) [19]. Nilai *fatigue Ratio* berbeda-beda untuk setiap jenis material. Sehingga perlu adanya penentuan nilai *fatigue Ratio* agar perhitungan ketahanan suatu material yang dihasilkan menjadi akurat (6).

$$S_e = 0,5 S_{ut}$$

dimana :

S_e = Batas ketahanan fatik

S_{ut} = Kekuatan material

Setelah menemukan nilai dari batas ketahanan fatik langkah selanjutnya yaitu mencari tingkat ketahanan pada 1000 *cycles* (S_{1000}). Untuk kasus material baja (*steel*) nilai S_{1000} yaitu 90% dari kekuatan material (7). Jika S_e dan S_{1000} sudah ditemukan, grafik S-N curve bisa dibuat.

$$S_{1000} = 0,9 S_u$$

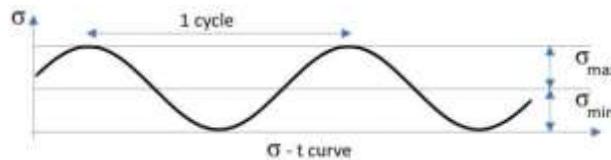
I. *Siklus Tegangan*

Oentoeng dalam buku berjudul “Konstruksi Baja” menjelaskan bahwa fenomena fatik ini dapat terjadi karena adanya siklus tegangan pada sebuah struktur.

Siklus tegangan terbagi menjadi beberapa bagian seperti.

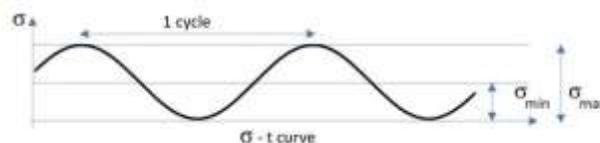
1. Siklus *Full Reversal*
2. Siklus *Pulsating Tension*
3. Siklus *Fluctuating*

Siklus *Full Reversal* menunjukkan bahwa dalam satu siklus, tegangan menyentuh batas maksimum dan minimum *tensile stress*. Sehingga objek akan menerima tegangan maksimum, lalu tidak ada tegangan, tegangan minimum maksimum, tidak ada tegangan, dan seterusnya. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



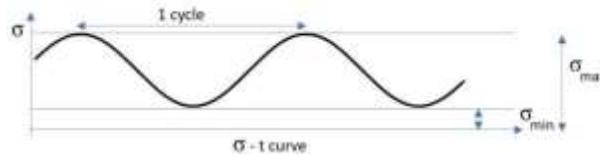
Gambar 6. Siklus *Full Reversal*

Pada kasus *Pulsating Tension* sedikit berbeda dengan *Full reversal*. Dimana tegangan yang diterima hanya pada area *maximum tensile stress* saja. Sehingga objek akan menerima tegangan maksimum, lalu tidak ada tegangan, lalu kembali lagi pada tegangan maksimum, dan seterusnya. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. *Pulsating Tension*

Pada siklus *Fluctuating* nilai tegangan maksimum dan minimumnya selalu berada diatas nilai nol. Sehingga objek tidak pernah merasakan kondisi *unload* atau tidak mengalami pembebanan, seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. *Fluctuating*

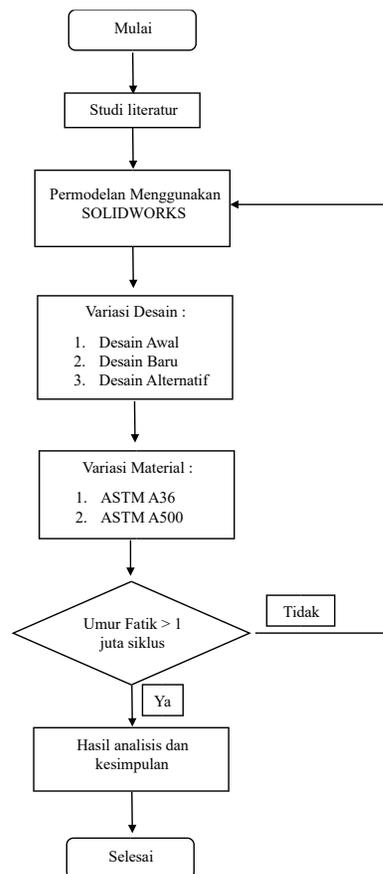
J. Solidworks

Solidworks merupakan sebuah perangkat yang dimiliki oleh Dassault System yang bergerak dalam bidang desain berbantuan komputer (CAD). Tampilan pada halaman *Solidworks* terbagi menjadi tiga yaitu *Part*, *Assembly*, dan *Drawing*. Ketiga halaman ini akan saling berhubungan, sehingga jika salah satu file diubah akan berdampak pada 2 file yang lainnya.

Solidworks juga merupakan salah satu *software* desain parametrik yang sangat diminati oleh para desainer dan peneliti. Hal ini terbukti dengan banyaknya penelitian yang dilakukan oleh perangkat lunak *Solidworks*. Dalam proses desain *Solidworks* mempunyai fitur *RealView* yang memudahkan para desainer untuk melihat objek pada bentuk yang nyata. *Software* ini juga dapat memperlihatkan bagian desain dengan detail, memeriksa masalah untuk mencari desain yang optimal, dan melihat properti massa yang akurat. Dengan adanya perangkat lunak ini para peneliti atau desainer tidak perlu membuat *prototype* produk untuk pengujian *spesimen*. Hal ini tentu akan mengurangi biaya dan menghemat waktu.

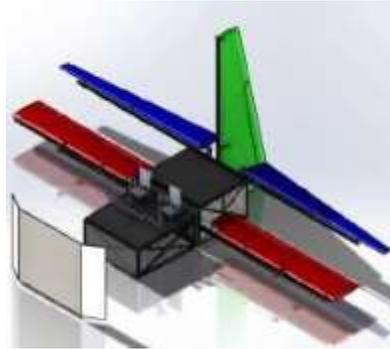
METODE PENELITIAN

Pada analisis rancangan penyangga *aileron* ini, dilakukan metodologi penelitian seperti diagram alir pada Gambar 9.

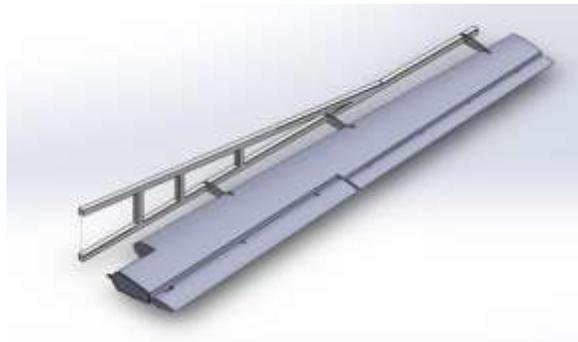


Gambar 9. Diagram Alir Penelitian

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Solidworks* menyesuaikan dimensi *aileron* [1]. *Solidworks* sudah menjadi salah satu jenis software pemodelan yang marak digunakan oleh para peneliti [21], [22], [23]. Pemodelan rangka penyangga *aileron* dapat dilihat seperti pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. Desain Alat Simulasi Pergerakan Kendali Terbang



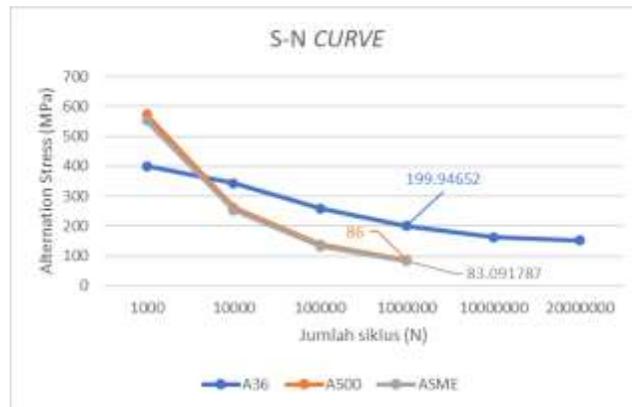
Gambar 11. Pemodelan Rangka Penyangga *Aileron*

Pada pengujian umur fatik material yang akan digunakan pada rancangan alat penyangga *aileron* yaitu ASTM A36 yang mempunyai nilai *yield strength* 250 MPa dan ASTM A500 yang mempunyai kekuatan luluh 315 MPa [24], [25].

Tabel 1. Karakteristik material

No.	Parameter	ASTM A36	ASTM A500
1	Massa jenis	75850 kg/m ³	75850 kg/m ³
2	Kekuatan luluh	250 MPa	315 MPa
3	<i>Shear modulus</i>	79,3 GPa	80 GPa
4	<i>Tensile strength</i>	310 MPa	400 MPa

Sedangkan nilai kurva SN material sangat diperlukan dalam menganalisis umur fatik. Pada material ASTM A36 telah dilakukan pengujian spesimen dan mendapatkan kurva SN seperti pada Gambar 12. Sedangkan pada material ASTM A500 menggunakan kurva SN standar ASME yaitu ASME carbon steel SN Curve.



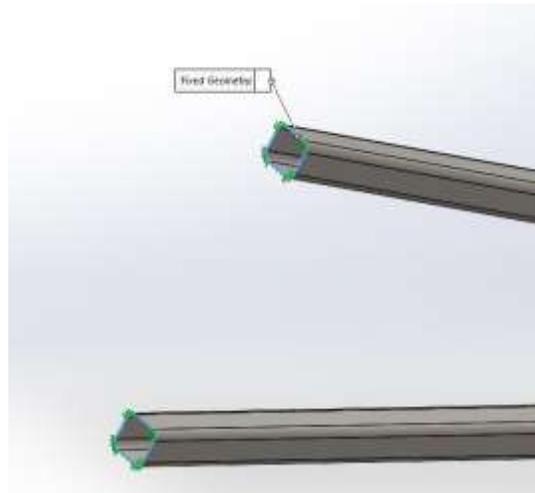
Gambar 12. Grafik Kurva SN

Selanjutnya penggunaan variasi desain pada pengujian ini memiliki 3 jenis desain yaitu desain awal, desain baru, dan desain alternatif. Desain awal adalah rancangan alat penyangga dengan dimensi profil 50 mm x 50 mm ketebalan 1,2 mm yang mengacu pada penelitian sebelumnya [1]. Desain baru adalah suatu desain yang memberikan perubahan pada desain awal yaitu dengan menambahkan 3 *support* pada alat penyangga *aileron*, yang diharapkan mampu untuk meredam getaran yang terjadi akibat pembebanan berulang. Desain Alternatif adalah suatu desain yang menambahkan ketebalan pada dimensi profil menjadi 50 mm x 50 mm ketebalan 2,0 mm.

Metode elemen hingga merupakan metode yang akan digunakan dalam analisis umur fatik rangka. Metode ini merupakan sebuah perhitungan numerik untuk menghitung kekuatan rangka dengan cara membagi objek menjadi beberapa bagian kecil seperti jala (*mesh*). Yang harus diperhatikan dalam menggunakan metode ini adalah *mesh* dan *boundary condition* yang disepakati.

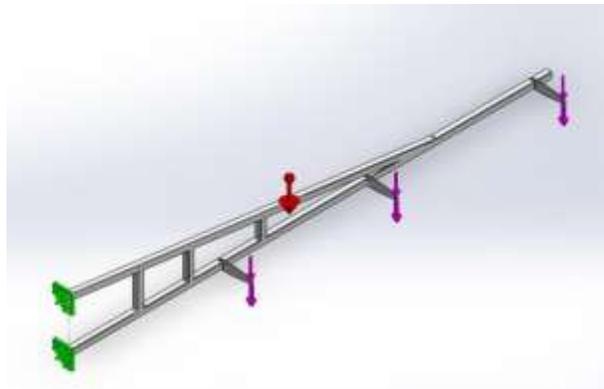
Kondisi batas atau *boundary condition* ditempatkan pada pangkal dari rangka penyangga *aileron* yang melekat pada rangka Simulator seperti pada Gambar 15. Pada kondisi asli bagian ini merupakan sambungan las. Menciptakan sebuah asumsi yaitu bagian yang dinyatakan kondisi batas tidak bisa bertranslasi dan berotasi terhadap sumbu x, y, dan z. Sehingga pada penelitian ini

dipilih satu jenis kondisi batas yaitu kondisi batas jepit. Hal ini perlu dilakukan demi mengetahui tegangan yang disebabkan oleh pembebanan.



Gambar 13. Peletakan Fixed Geometry

Pembebanan dilakukan pada bagian yang terkena kontak langsung dengan beban yaitu pada *aileron hinge bracket*. Besarnya beban statis pada penelitian ini disesuaikan pada penelitian sebelumnya yaitu 101 kg atau 990,47 N. Arah pembebanan yang terjadi mengikuti arah gravitasi. Pembebanan statis diilustrasikan dengan anak panah berwarna ungu seperti pada Gambar 14.



Gambar 14. Pembebanan Pada Penyangga Aileron

Beban internal (beban rangka penyangga) dapat dianalisis jika adanya pengaruh gravitasi, sehingga gravitasi perlu dimasukkan dalam analisis ini. Besarnya nilai gravitasi dalam penelitian ini adalah 9.81 m/s^2 . Arah gravitasi diilustrasikan dengan anak panah berwarna merah seperti pada

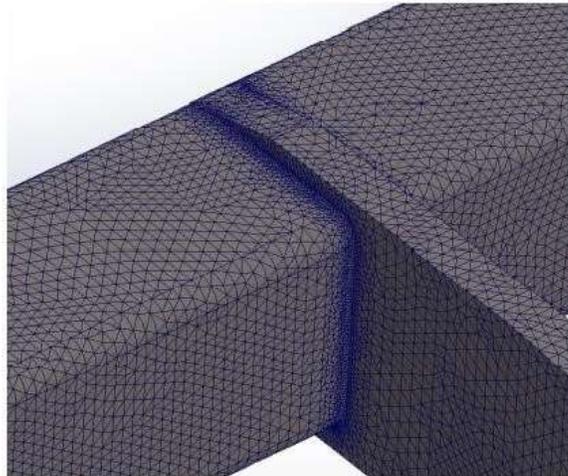
Gambar 14. Sedangkan jenis pembebanan berulang yang dipilih pada penelitian ini yaitu *fully-reversed*. Pembebanan ini dipilih karena pergerakan *aileron* yang bergerak keatas dan kebawah sesuai dengan keperluan Calon Pilot. Batasan dan parameter yang akan dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Parameter uji

No.	Parameter	Keterangan
1	Material	ASTM A36, ASTM A500
2	Beban	101,055 kg
3	Gaya gravitasi	9,81 m/s ²
4	<i>Loading type</i>	<i>Fully-reversed</i>
5	<i>Design life</i>	10 ⁶ cycles
6	<i>Mean stress theory</i>	<i>Goodman</i>
7	<i>Maximum Element Size</i>	2,6 mm
8	<i>Aspect Ratio < 3</i>	≥ 90 %
9	<i>SN-Curve</i>	ASTM A36, ASME <i>carbon steel</i> <i>SN Curve</i>

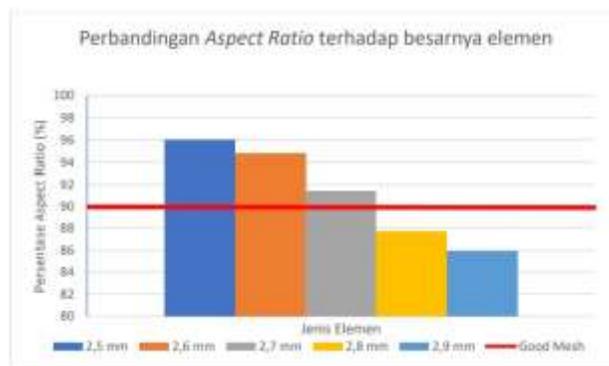
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini jenis *mesh* yang digunakan yaitu *Solid Element* dengan bentuk elemen berupa tetrahedral atau piramida seperti pada gambar 15. Jenis *mesh* ini mempunyai keunggulan jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yaitu nodal yang dihasilkan akan lebih banyak sehingga perhitungan akan mencapai nilai yang lebih akurat.



Gambar 15. *Solid Element* Pada Penyangga Aileron

Penentuan ukuran maksimum elemen berdasarkan *aspect ratio* 5 elemen dengan ukuran maksimum elemen 2,5 mm, 2,6 mm, 2,7 mm, 2,8 mm, dan 2,9 mm, seperti ditunjukkan pada gambar 16.



Gambar 16. Grafik Perbandingan Aspect Ratio Terhadap Besarnya Elemen

Hanya mendapatkan nilai *aspect ratio* 86% hal ini menyebabkan besar elemen ini tidak bisa dikatakan *good mesh* karena tidak mampu mencapai nilai 90 %. Hal demikian juga terjadi pada elemen yang berukuran 2,8 mm. Elemen ini mendapatkan angka yang lebih besar dari sebelumnya, Namun tetap tidak bisa dikatakan *good mesh* karena nilai yang diperoleh yaitu 87,7%. Hasil yang signifikan terjadi pada ukuran maksimum elemen 2,7 mm, bisa dilihat pada grafik diatas bahwa ada perbedaan yang sangat tinggi pada ukuran maksimum elemen 2,7 dan 2,8 mm. Untuk ukuran maksimum elemen 2,7 mm sudah bisa dikatakan *good mesh*, karena sudah

mencapai nilai 90% tepatnya pada angka 91,4 %. Sedangkan ukuran elemen terbaik ada pada ukuran elemen 2,5 dan 2,6 mm yaitu dengan nilai *aspect ratio* secara berturut-turut 95,7 % dan 94,8 %. Nilai kedua elemen ini berdekatan namun sangat signifikan jika dibandingkan dengan ukuran maksimum elemen 2,7 mm. Sehingga ini menjadi dasar pada penelitian ini dipilih ukuran maksimum elemen 2,6 mm. Detail *mesh information* ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Detail *mesh information*

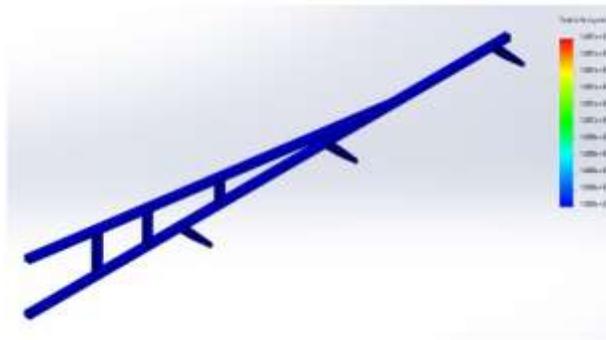
Parameter	Awal	Baru	Alternatif
Jacobian Points	16	16	16
Maximum Element size	2,6 mm	2,6 mm	2,6 mm
Minimum Element size	0,52 mm	0,52 mm	0,52 mm
Total nodal	3.324.15	4.228.45	5.33.722
Total elemen	2	2	
<i>Mesh Quality</i>	1.723.60	2.203.01	2.928.902
<i>Aspect Ratio < 3</i>	8	6	
	<i>High</i>	<i>High</i>	<i>High</i>
	93,4 %	96,5 %	99 %

Dalam melakukan rancangan, *failure* seharusnya tidak terjadi jika nilai *stress* di bawah kekuatan materialnya. Akan tetapi ketika kejadian tersebut diulang berkali-kali, rangka akan mengalami keretakan yang nantinya akan menyebabkan kegagalan secara tiba-tiba.

Gambar 17. Batas ketahanan desain awal (50 mm x 50 mm ketebalan 1,2 mm) menggunakan ASTM A36 SN Curve

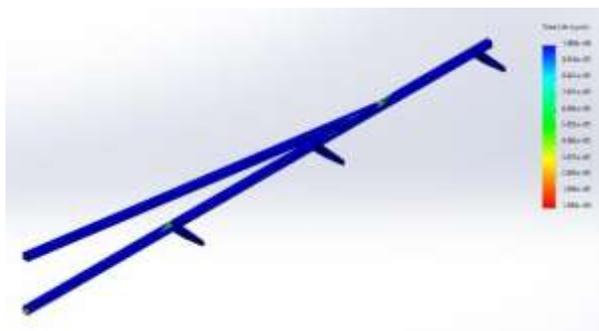


Gambar 18. Batas ketahanan baru (50 mm x 50 mm ketebalan 1,2 mm) menggunakan ASTM A36 SN Curve

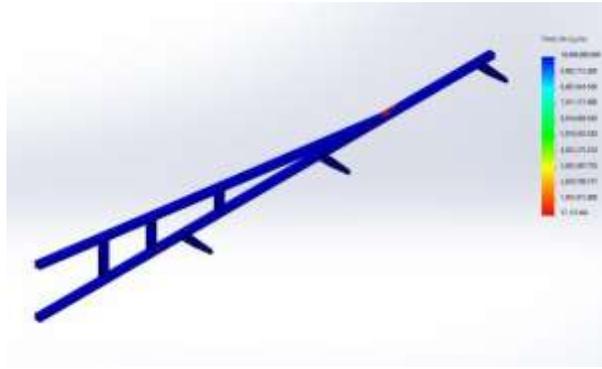


Gambar 19. Batas ketahanan alternatif (50 mm x 50 mm ketebalan 2,0 mm) menggunakan ASTM A36 SN Curve

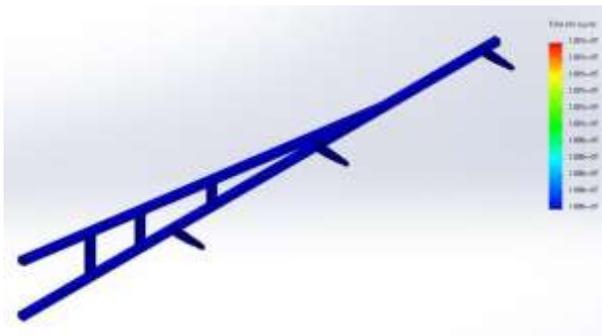
Sedangkan hasil simulasi umur fatik menggunakan material ASTM A500 pada rangka penyangga *aileron* terhadap desain ditunjukkan pada Gambar 20, Gambar 21, dan Gambar 22. Nilai umur fatik untuk desain awal, desain baru, dan desain alternatif secara berturut-turut sebesar $1,04 \times 10^4$ siklus, $3,71 \times 10^4$ siklus, dan $1,00 \times 10^7$ siklus.



Gambar 20. Batas ketahanan Desain Awal (50 mm x 50 mm ketebalan 1,2 mm) menggunakan ASME *carbon steel* (ASTM A500) SN Curve



Gambar 21. Batas ketahanan desain baru (50 mm x 50 mm ketebalan 1,2 mm) menggunakan ASME *carbon steel* (ASTM A500) SN Curve



Gambar 22. Batas ketahanan Desain Baru (50 mm x 50 mm ketebalan 2,0 mm) menggunakan ASME *carbon steel* (ASTM A500) SN Curve

Hasil perbandingan analisis umur fatik rangka menggunakan metode elemen hingga dapat dilihat pada Gambar 23. Besar nilai umur fatik pada desain awal dengan kedua jenis material tidak memenuhi standar yang dipersyaratkan pada klasifikasi *high cycle fatigue*. Sedangkan pada desain baru hanya material ASTM A36 saja yang mampu melewati 1 juta siklus. Hasil positif didapatkan pada desain alternatif yaitu mampu melewati 1 juta siklus dengan kedua material.



Gambar 23. Grafik Perbandingan Umur Fatik

KESIMPULAN

Mesin Las Gesek Rotari memiliki 3 variasi putaran yaitu 3000 rpm, 3400 rpm, 3800 rpm dan memiliki tekanan dorong maksimum 1,0 Mpa (10 Bar). Untuk proses pengelasan dengan durasi pengelasan 20 detik, tekanan 6 Bar dan diameter spesimen 8 mm, terjadi pengurangan panjang spesimen 8 mm. Spesimen yang telah dilakukan pengelasan gesek dengan Mesin Las Gesek Rotari dengan material, diameter, tekanan, putaran serta durasi pengelasan yang sama maka kekuatan tariknya akan lebih besar dan modulus elastisitasnya akan besar dibandingkan sebelum dilas.

DAFTAR PUSTAKA

- Pranoto, A., et al. (2020). "Penggunaan Mesin Las Gesek Rotari dalam Industri Otomotif." *Jurnal Teknologi dan Industri Manufaktur*, vol. 12, no. 2, pp. 45-58.
- Susilo, B., et al. (2019). "Efisiensi Produksi dengan Mesin Las Gesek Rotari." *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 8, no. 1, pp. 21-34.
- Setiawan, R., et al. (2018). "Perancangan Mesin Las Gesek Rotari: Aspek Material dan Desain Spindle." *Jurnal Mesin dan Industri*, vol. 15, no. 3, pp. 89-102.
- Wibowo, S., et al. (2021). "Penggunaan Mesin Las Gesek Rotari dalam Industri Otomotif Indonesia: Studi Kasus pada Pembuatan Komponen Suspensi." *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 14, no. 4, pp. 123-138.

Suryanto, A., et al. (2019). "Penerapan Mesin Las Gesek Rotari dalam Manufaktur Pesawat Terbang: Studi Kasus pada Penggabungan Komponen Struktural." *Jurnal Manufaktur Pesawat Terbang*, vol. 7, no. 2, pp. 56-68.

Raharjo, B., et al. (2017). "Pemotongan Logam Presisi dengan Mesin Las Gesek Rotari." *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 34-47.

Sularso, dan Suga Kiyokatsu. 1997. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta : PT.Pradnya Paramita.