

BAB IV

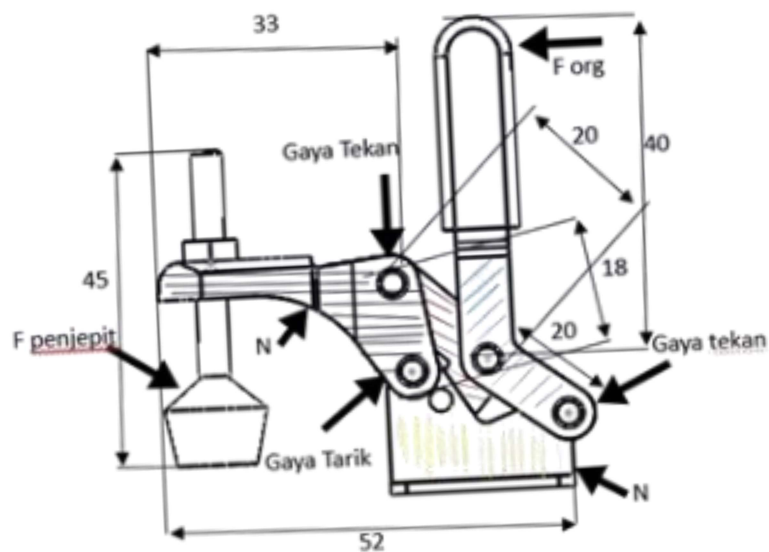
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kalkulasi Clmp

Serangkaian perhitungan teknik yang bertujuan untuk menentukan gaya penjepitan (*clamping force*) minimum yang dibutuhkan dan memastikan bahwa komponen penjepit tersebut (seperti baut, tuas, atau badan jig) memiliki kekuatan yang memadai untuk menahan beban operasional tanpa mengalami kegagalan (patahan atau deformasi permanen).

4.1.1 Perhitungan Gaya Pada Toggle Clamp

Perhitungann ini untuk mengetahui gaya tekan *toggle clamp* berdasarkan keseimbangan momen dan gaya pada titik-titik sendinya dapat dilihat pada Gambar 4.1.

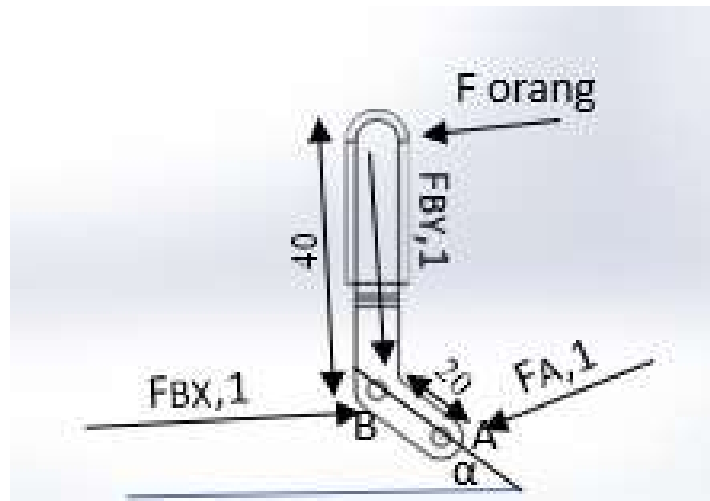


Gambar 4. 1 *Free body diagram togle clam*

Keterangan :

- F aksi: Ini adalah gaya aksi atau gaya input yang diberikan pada pegangan tuas. Gaya ini yang digunakan untuk menggerakkan seluruh mekanisme. Rentang Sudut Gerakan (Range of Motion): 60° hingga 70° Ini berarti handle dapat bergerak dari posisi awal (0°) hingga posisi akhir 60° atau 70° .
- F: Ini adalah gaya penjepit yang dihasilkan oleh mekanisme. Gaya ini menekan objek di bawahnya, yang diberi label "Pressure". Sudut gerakan batang jepit (clamping arm movement angle) sebesar $\pm 85^\circ$ – 90° mengacu pada kisaran pergerakan yang bisa dilakukan oleh lengan atau batang penjepit dari posisi awal (terbuka) hingga posisi akhir (tertutup).
- Gaya Tekan: Ini adalah gaya tekan atau gaya dorong yang bekerja pada batang-batang tuas. Gaya ini mendorong kedua batang tuas menjauh satu sama lain.
- Gaya Tarik: Ini adalah gaya tarik yang bekerja pada batang penghubung. Gaya ini menarik dua titik sambungan pada batang-batang tuas agar mendekat.
- N, N2, N3: ini Adalah gaya normal atau gaya reaksi yang diberikan oleh tumpuan atau sambungan.
- Sudut α : 42° Dan Sudut β : 80°

FBD Batang 1 yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Free body diagram batang 1

$$\Sigma F_B = 0$$

$$-F_{\text{orang}} \cdot 40 + F_{A,1} \cdot 20 = 0$$

$$F_{\text{orang}} \cdot 40 = F_{A,1} \cdot 20$$

$$\text{Asumsi} = F_{\text{orang}} = 3 \text{ N}$$

$$3 \cdot 40 = F_{A,1} \cdot 20$$

$$F_{A,1} = \frac{3 \cdot 40}{20} = 6 \text{ N}$$

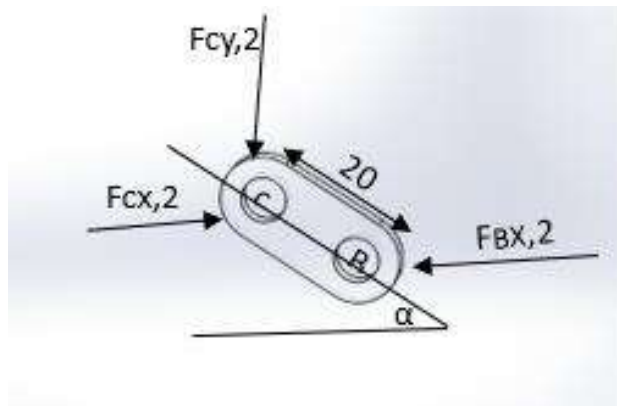
$$\Sigma F_x = 0$$

$$-F_{\text{orang}} \cdot \cos(90 - \alpha) + F_{Bx,1} = 0$$

$$F_{Bx,1} = F_{\text{orang}} \cdot \cos(90 - \alpha)$$

$$F_{Bx,1} = 2,01 \text{ N} + 3 \text{ N} = 5,01 \text{ N}$$

FBD Batang 2 yang dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 *Free body diagram batang 2*

$$FB_{x,2} = FB_{x,1}$$

$$FC_{x,2} = FB_{x,2}$$

$$FC_{x,2} = F_2 \cos 42$$

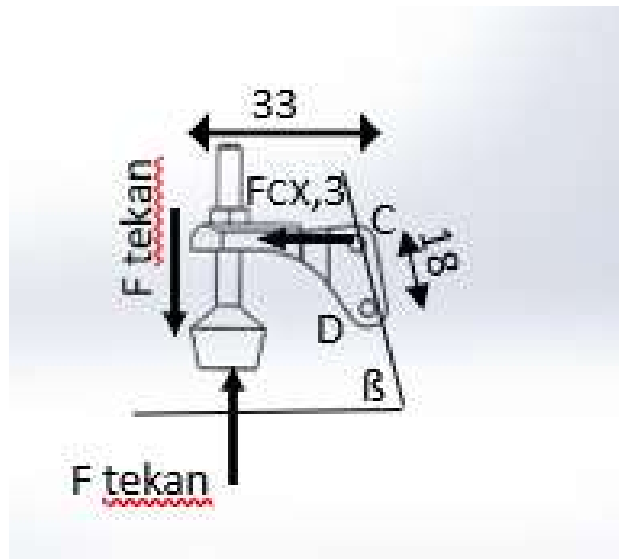
$$F_2 = \frac{FC_{x,2}}{\cos 42} = \frac{5,01}{0,75} = 6,68 \text{ N}$$

$$F_{cy,2} = F_2 \sin 42$$

$$= 6,68 \cdot 0,67$$

$$= 4,475 \text{ N}$$

FBD Batang 3 yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 *Free body diagram batang 3*

$$F_{C_x,3} = F_{C_x,2}$$

$$\Sigma F_D = 0$$

$$- F_{C_x,3} \cdot 18 \sin \beta + F_{tekan} \cdot (33 + 18 \cos \beta)$$

$$F_{tekan} \cdot \{ 33 + 18 \cos \beta \}$$

$$F_{C_x,3} \cdot 18 \sin \beta$$

$$F_{tekan} = F_{C_x,3} \cdot \frac{18 \sin \beta}{\{ 33 + 18 \cos \beta \}}$$

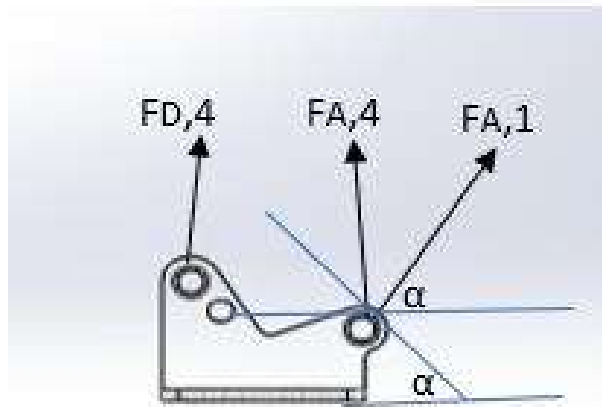
$$= 5,01 \cdot \frac{18 \sin 80}{\{ 33 + 18 \cos 80 \}}$$

$$= 5,01 \cdot \frac{17,72}{36,12}$$

$$F_{tekan} = 2,46 \text{ N}$$

$$F_{tekan} \text{ atau } F_{jepit} = 2,46 \text{ N}$$

FBD Batang 4 yang dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 *Free body diagram batang 4*

$$F_{A,4} = F_{A,1} \sin \alpha$$

$$= 6 \cdot 0,67$$

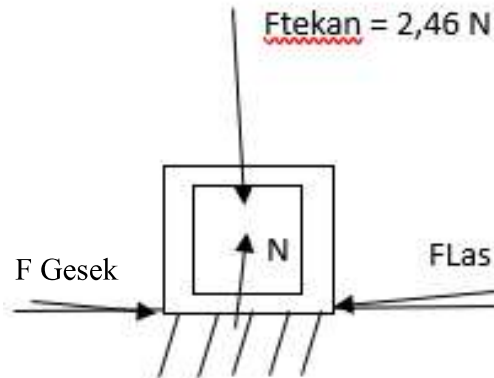
$$= 4,02 \text{ N}$$

$$F_{D,4} = F_{\text{tekan}} + F_{cy,2}$$

$$= 2,46 \text{ N} + 4,475 \text{ N}$$

$$= 6,935 \text{ N}$$

Gaya Tekan Penjepit Terhadap Las yang dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Gaya tekan penjepit terhadap las

N = Gaya normal

F_{Gesek}

F_{Las} = Gaya dorong saat proses pengelasan

Asumsi $F_{Las} = 1 \text{ N}$

$F_g = \mu \cdot N$

$N = 2,46 \text{ N}$

μ = koefisien gesek antar besi dan besi 0,6

$F_g = 0,6 \cdot 2,46$

$= 1,47 \text{ N}$

Karena $F_g (1,47 \text{ N}) > F_{Las} (1 \text{ N})$ maka benda yang dilas diam dengan demikian penjepitan cukup untuk menjepit benda yang akan di las.

Baut Pengikat Togle Clamp

$$FD,4 = 6,935 \text{ N}$$

Jumlah baut 4

$$FBaut = \frac{FD,4}{4} = \frac{6,935}{4} = 1,733 \text{ N}$$

Bahan baut = stainless steel

$$\sigma_{ss} = 500 \text{ mpa} = 500 \text{ mN/m}^2$$

$$= 500 \times 10^6 \cdot \text{N/m}^2 \cdot \text{m}^2/\text{mm}^2$$

$$= 500 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{ss} = \frac{F \text{ Baut}}{A \text{ Baut}}$$

$$A \text{ Baut} = \frac{F \text{ Baut}}{\sigma_{ss}}$$

$$\pi / 4 \cdot D \text{ baut}^2 = \frac{F \text{ Baut}}{\sigma_{ss}}$$

$$D \text{ baut} = \left[\frac{4 \cdot F \text{ Baut}}{\pi \cdot \sigma_{ss}} \right]^{0,5} .$$

$$= \left[\frac{4 \cdot 1,733}{\pi \cdot 500 \text{ N/mm}^2} \right]^{0,5}$$

$$= \left[\frac{6,932}{1,57} \right]^{0,5}$$

$$= (4,415)^{0,5}$$

$$= 2,037 \text{ mm}$$

Diameter pada toogle clamp = 3 mm

Karena diameter minimum yang dibutuhkan Adalah 2,037 mm dan baut *toggle clamp* Adalah 6 mm maka kondisi tersebut aman.

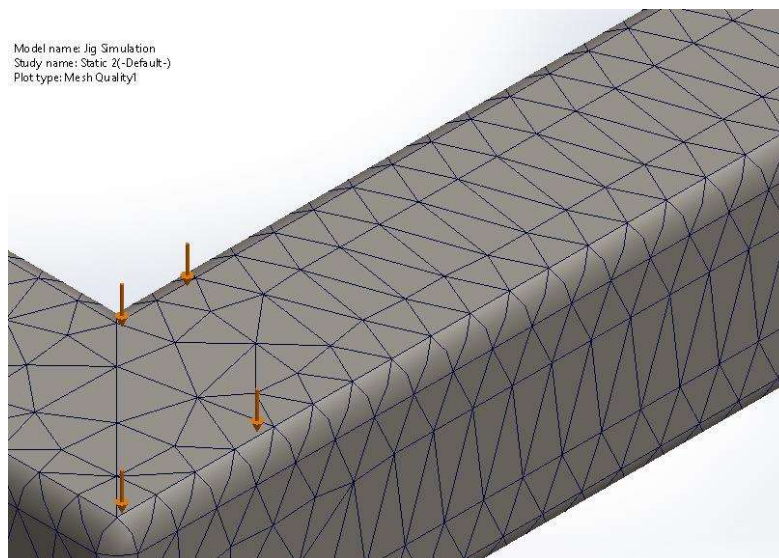
4.2 Hasil Simulasi Meja Utama

Tahapan simulasi menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*). Tahapan ini meliputi persiapan model, meshing, penentuan kondisi batas, pembebanan, proses perhitungan, hingga analisis hasil.

4.2.1 Meshing

A. Orthogonal Quality

Kualitas *mesh* pada model *jig and fixture* ini tergolong sangat baik. Hal ini ditunjukkan dengan mesh quality bernilai *High* pada *SolidWorks* serta jumlah elemen yang cukup besar, yaitu 201.288 elemen dengan 367.279 node. Persentase elemen dengan Aspect Ratio < 3 mencapai 70,6%, sedangkan elemen dengan Aspect Ratio > 10 hanya 7,07%, dan elemen yang terdistorsi sangat kecil yaitu 0,0515%. Kondisi ini menandakan bahwa *mesh* yang dihasilkan stabil, representatif, serta mampu memberikan hasil simulasi dengan tingkat akurasi yang tinggi dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Pembentukan mesh

B. Skewness

Analisis mesh pada *jig and fixture* menunjukkan kualitas yang sangat baik. Hal ini ditunjukkan dengan status *Mesh Quality: High* serta distribusi elemen yang optimal. Persentase elemen dengan Aspect Ratio < 3 mencapai 70,6%, yang menandakan mayoritas elemen memiliki bentuk mendekati ideal. Sementara itu, elemen dengan Aspect Ratio > 10 hanya sebesar 7,07%, dan jumlah elemen yang terdistorsi sangat kecil yaitu hanya 0,0515%. Kondisi ini mengonfirmasi bahwa mesh yang terbentuk stabil, tidak mengalami distorsi signifikan, serta layak dan andal untuk digunakan pada tahap simulasi selanjutnya.

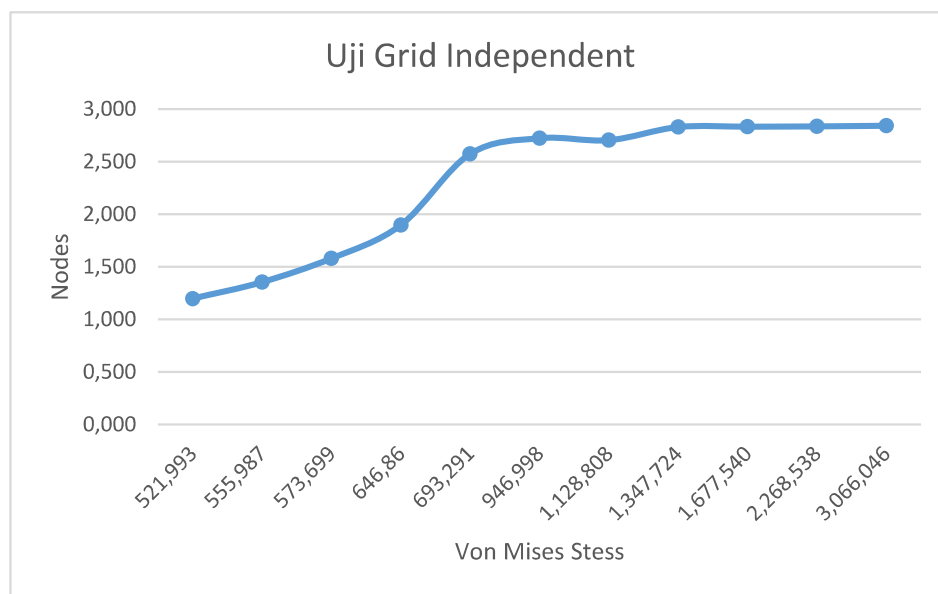
4.2.2 Uji Grid Independent

Pada kondisi boundary condition yang disimulasikan di *Solidworks Static Structural* dilakukan uji mesh dan grid independence test terhadap mesh agar mendapatkan data yang mendekati kondisi asli. Uji Grid Independence dilakukan dengan memvariasikan element size dan mendapatkan jumlah element secara global.

Tabel 4. 1 Uji Grid Independence

No	Elements (mm)	Number of elements	Von.mises Stress (mPa)	Perubahan (%)
1.	10	521,993	1,196	-
2.	9,5	555,987	1,354	13,21%
3.	9	573,699	1,579	16,62%
4.	8,5	646,86	1,896	20,08%

5.	8	693,291	2,572	35,65%
6.	7,5	946,998	2,723	5,87%
7.	7	1,128,808	2,704	0,70%
8.	6,5	1,347,724	2,830	4,66%
9.	6	1,677,540	2,832	0,07%
10.	5,5	2,268,538	2,835	0,11%
11.	5	3,066,046	2,84	0,18%



Gambar 4. 8 Grafik nilai Deformation dan Safety Factor terhadap jumlah element pada simulasi

Tabel 4.1 dan Gambar 4.8 merupakan hasil uji grid independence dengan menggunakan variasi element size menunjukkan hasil output yang tidak terlalu signifikan artinya hal tersebut sudah menggambarkan hasil yang sudah tidak bergantung pada jumlah element.

4.2.3 Konsentrasi Tegangan

Secara jelas memperlihatkan fenomena konsentrasi tegangan (stress concentration) pada struktur jig and fixture. Fenomena ini paling dominan teramati pada area sambungan rangka dan titik kontak clamp dengan benda kerja, di mana terjadi akumulasi tegangan akibat transfer beban langsung.

Terbentuknya konsentrasi tegangan ini dipicu oleh perbedaan distribusi gaya antara area yang menahan beban tinggi dengan area yang relatif bebas beban. Gaya dari benda kerja yang dijepit cenderung “tertumpuk” pada area penahan utama, sehingga menghasilkan distribusi tegangan yang tidak merata dan titik kritis dengan nilai tegangan maksimum.

Konsentrasi tegangan ini merupakan salah satu sumber utama potensi kegagalan struktural pada *jig and fixture*. Oleh karena itu, identifikasi lokasi dengan tegangan tinggi menjadi aspek penting dalam evaluasi desain, agar dapat dilakukan penguatan atau modifikasi untuk mengurangi risiko kerusakan.

A. Von Mises

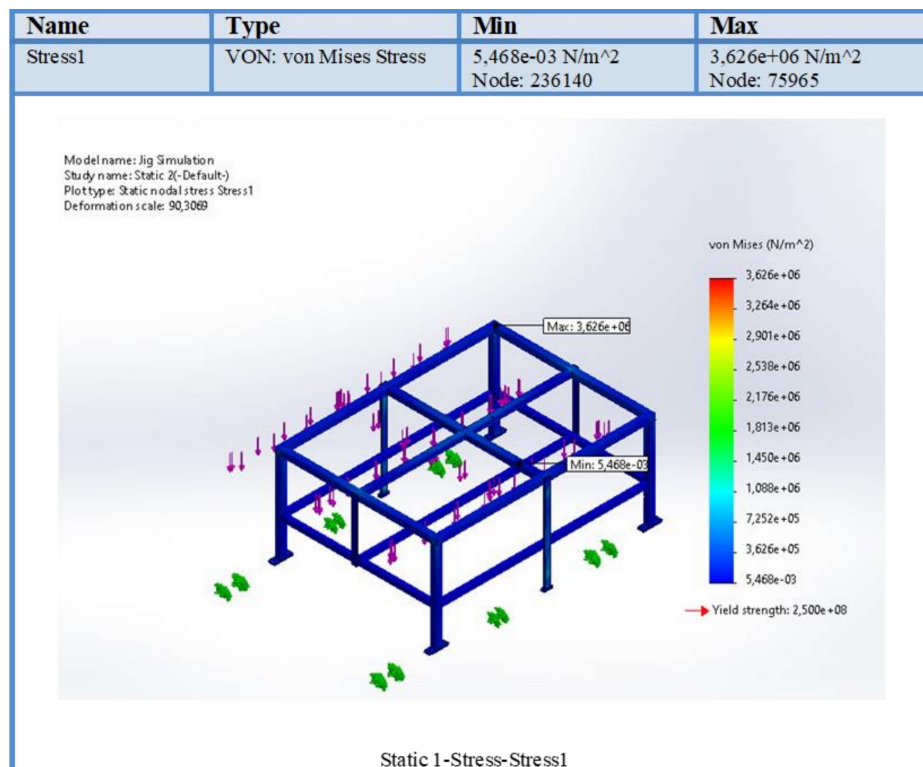
Visualisasi distribusi tegangan *Von Mises* pada struktur *jig and fixture* akibat pembebanan eksternal sebesar 147,15 N. Analisis menunjukkan adanya perbedaan tingkat tegangan pada beberapa bagian frame sebagai dampak dari gaya penjepitan dan tumpuan.

Nilai tegangan maksimum tercatat sebesar $3,626 \times 10^8$ N/m² (ditunjukkan dengan warna merah pada kontur). Tegangan tinggi ini teramati pada area sambungan dan elemen penopang utama yang menerima konsentrasi gaya langsung. Sementara

itu, nilai tegangan minimum mendekati $5,468 \times 10^{-3} \text{ N/m}^2$ (ditunjukkan dengan warna biru tua), yang terutama terlihat pada bagian frame bawah yang relatif jauh dari beban.

Jika dibandingkan dengan nilai *yield strength* material sebesar $2,5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, tegangan maksimum masih berada di bawah batas luluh material. Hal ini menunjukkan bahwa struktur *jig and fixture* masih berada dalam kondisi aman untuk menahan beban kerja yang diberikan.

Perbedaan signifikan antara daerah dengan tegangan tinggi (*high stress area*) dan tegangan rendah (*low stress area*) ini merupakan karakteristik distribusi gaya pada struktur *jig and fixture*. Informasi ini penting sebagai acuan dalam evaluasi kekuatan dan kebutuhan penguatan pada desain dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Von mises

B. Displacement

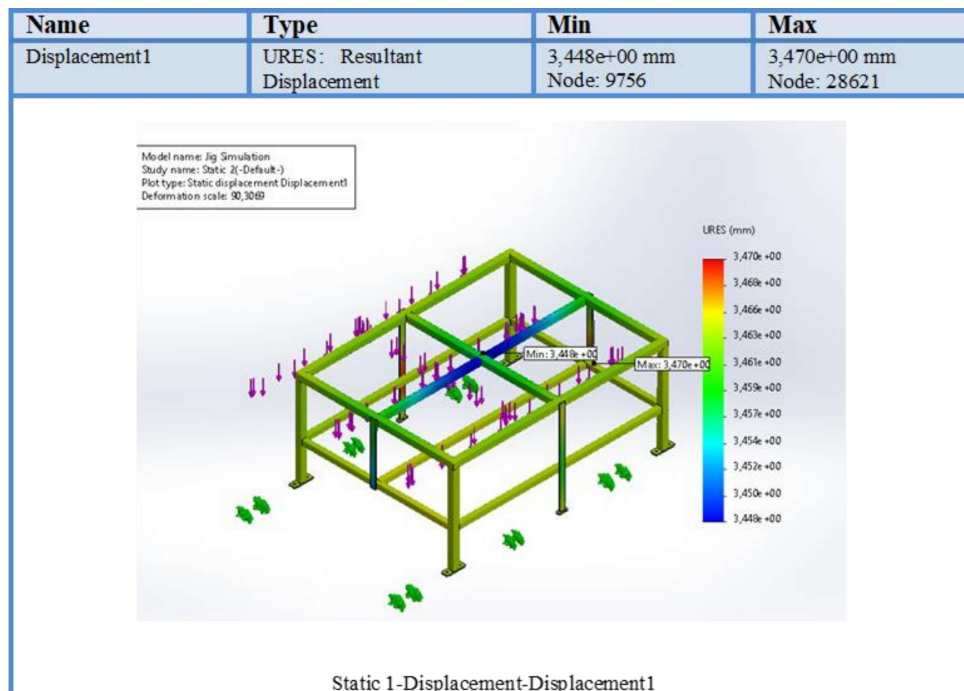
Analisis *displacement* dilakukan pada struktur *jig and fixture* akibat pembebanan eksternal sebesar 147,15 N. Hasil simulasi menunjukkan adanya distribusi perpindahan (*resultant displacement*) yang bervariasi pada beberapa bagian frame.

Nilai *displacement* maksimum tercatat sebesar 3,470 mm (node: 28621), ditunjukkan dengan warna merah pada kontur hasil simulasi. Perpindahan terbesar ini teramati pada bagian atas frame yang langsung menerima pengaruh gaya penjepitan.

Sementara itu, *displacement* minimum bernilai 3,448 mm (node: 9756), yang terletak pada bagian frame bawah dan dekat dengan tumpuan, sehingga relatif lebih kaku terhadap perpindahan.

Perbedaan antara *displacement* maksimum dan minimum sangat kecil (hanya sekitar 0,022 mm). Hal ini menunjukkan bahwa struktur *jig and fixture* memiliki kekakuan yang baik dan deformasi yang terjadi masih seragam serta tidak menimbulkan distorsi berlebih.

Dengan mempertimbangkan nilai *displacement* tersebut, dapat disimpulkan bahwa perpindahan pada struktur masih berada dalam batas yang wajar dan desain *jig and fixture* mampu menahan beban kerja yang diberikan tanpa mengalami deformasi signifikan dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Displacement

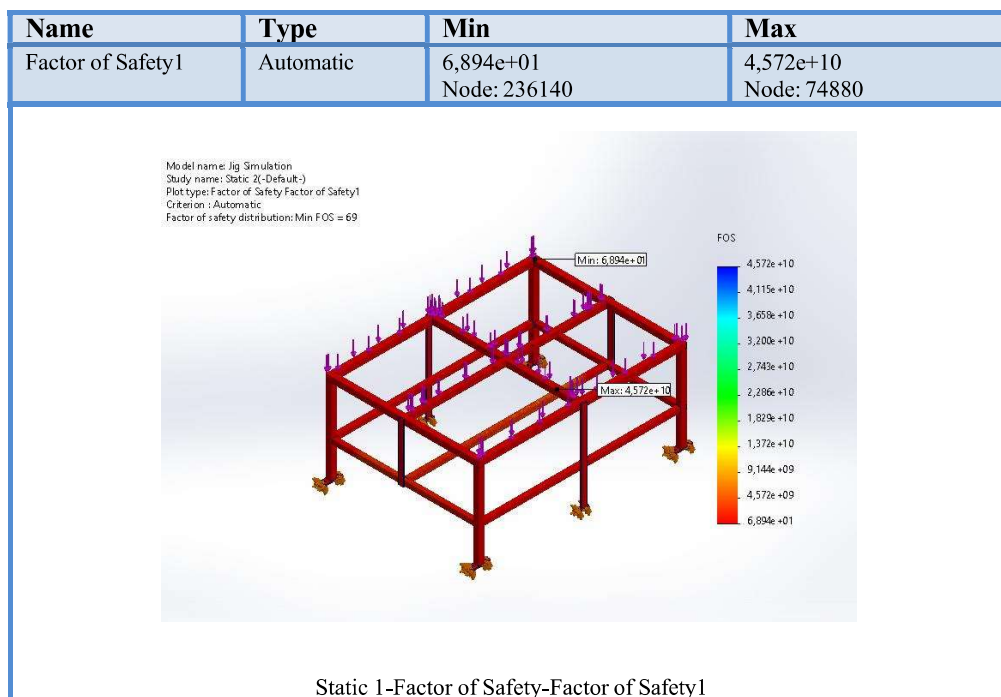
C. Factor of Safety (FOS)

Factor of Safety (FOS) pada *jig and fixture* dilakukan untuk mengevaluasi tingkat keamanan struktur terhadap gaya penjepitan dan beban kerja yang diberikan. Nilai FOS minimum tercatat sebesar $6,894 \times 10^1$ (≈ 69) yang teridentifikasi pada area sambungan utama serta titik kontak antara clamp dan benda kerja. Lokasi ini menjadi pusat konsentrasi beban, di mana gaya eksternal paling besar ditransfer langsung ke elemen penopang utama.

Sementara itu, nilai FOS maksimum mencapai $4,572 \times 10^{10}$, yang terlihat pada bagian frame jauh dari titik pembebanan. Kondisi ini menunjukkan bahwa sebagian besar area struktur tidak mengalami beban signifikan, melainkan hanya berfungsi sebagai penyalur gaya ke area yang menerima beban utama.

Perbedaan distribusi FOS yang tajam antara zona dengan nilai rendah (*critical zone*) dan zona dengan nilai sangat tinggi (*passive zone*) memperlihatkan bagaimana

beban terdistribusi dalam keseluruhan struktur *jig and fixture*. Nilai FOS minimum yang jauh di atas batas aman ($FOS > 1$) membuktikan bahwa desain ini sangat aman dan memiliki margin keamanan yang tinggi terhadap potensi kegagalan material. Informasi ini penting sebagai dasar untuk memastikan bahwa struktur *jig and fixture* tetap andal dalam penggunaan operasional dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 *Faktor of safety*

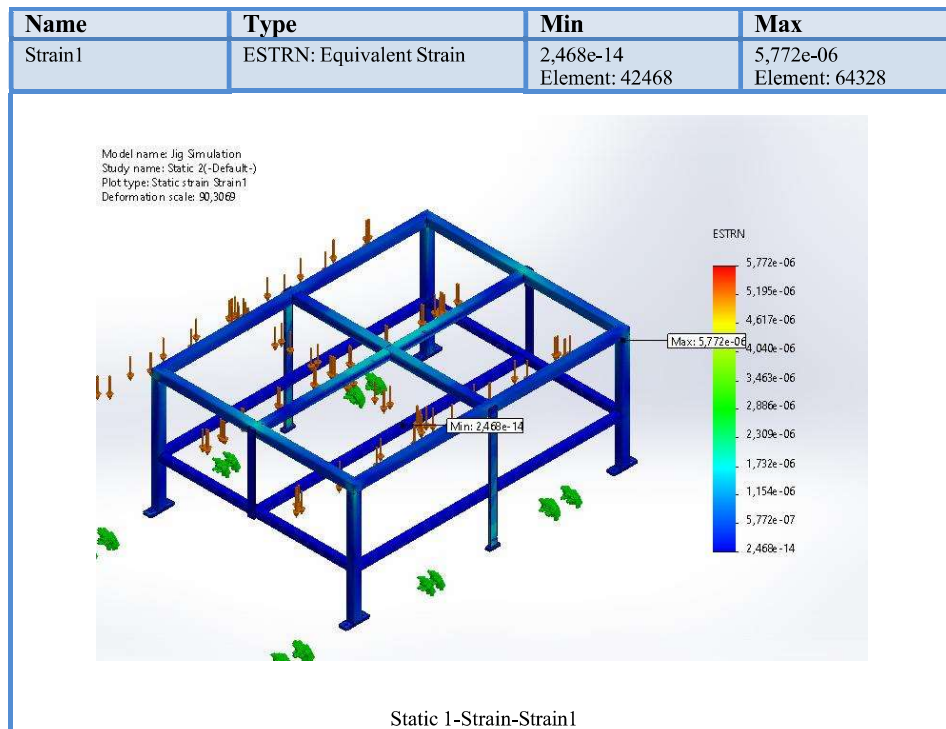
4.2.4 Stress Distribution

Memetakan distribusi tegangan normal (pressure distribution) pada permukaan *jig and fixture* akibat gaya penjepitan dan beban kerja. Tegangan maksimum tercatat sebesar $3,626 \times 10^8$ N/m², yang teridentifikasi pada area sambungan utama serta permukaan kontak clamp dengan benda kerja. Lokasi ini merupakan titik konsentrasi

beban, di mana gaya eksternal yang diberikan terdistribusi langsung ke struktur penopang.

Sementara itu, tegangan minimum mendekati $5,468 \times 10^{-3} \text{ N/m}^2$, terlihat pada bagian frame yang jauh dari titik pembebanan. Kondisi ini menunjukkan bahwa sebagian besar area struktur tidak mengalami tekanan signifikan, melainkan hanya berperan sebagai penyalur gaya ke bagian utama yang menahan beban.

Perbedaan distribusi tegangan yang tajam antara area kontak (high stress zone) dan area penopang pasif (low stress zone) menunjukkan bagaimana beban terdistribusi dalam struktur *jig and fixture*. Informasi ini penting dalam mengevaluasi titik kritis yang berpotensi mengalami kegagalan serta memastikan desain tetap dalam batas aman penggunaan dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 *Strain*

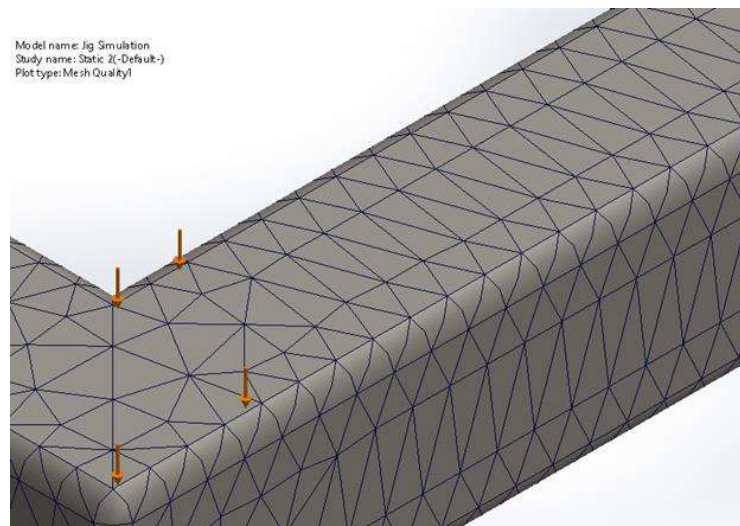
4.3 Hasil Simulasi Meja Robot

Tahapan simulasi menggunakan metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM). Tahapan ini meliputi persiapan model, meshing, penentuan kondisi batas, pembebanan, proses perhitungan, hingga analisis hasil.

4.3.1 Meshing

A. Orthogonal Quality

Kualitas mesh pada model *jig and fixture* ini tergolong sangat baik. Hal ini ditunjukkan dengan status *Mesh Quality: High* pada SolidWorks serta jumlah elemen yang cukup besar, yaitu 201.288 elemen dengan 367.279 node. Persentase elemen dengan Aspect Ratio < 3 mencapai 70,6%, sedangkan elemen dengan Aspect Ratio > 10 hanya 7,07%, dan elemen yang terdistorsi sangat kecil yaitu 0,0515%. Kondisi ini menandakan bahwa *mesh* yang dihasilkan stabil, representatif, serta mampu memberikan hasil simulasi dengan tingkat akurasi yang tinggi dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Pembentukan mesh meja 2

B. Skewness

Analisis mesh pada *jig and fixture* menunjukkan kualitas yang sangat baik. Hal ini ditunjukkan dengan status *Mesh Quality*: High serta jumlah elemen yang cukup besar, yaitu 201.288 elemen dengan 367.279 node. Persentase elemen dengan Aspect Ratio < 3 mencapai 70,6%, yang menandakan mayoritas elemen memiliki bentuk mendekati ideal. Sementara itu, elemen dengan Aspect Ratio > 10 hanya sebesar 7,07%, dan jumlah elemen yang terdistorsi sangat kecil yaitu hanya 0,0515%. Kondisi ini mengonfirmasi bahwa *mesh* yang terbentuk stabil, tidak mengalami distorsi signifikan, serta layak dan andal untuk digunakan pada tahap simulasi selanjutnya.

4.3.2 Konsentrasi Tegangan

Hasil simulasi secara jelas memperlihatkan fenomena konsentrasi tegangan (stress concentration) pada struktur rangka meja. Fenomena ini paling dominan teramati pada area sambungan antara pelat meja dengan kaki penopang, di mana terjadi akumulasi tegangan akibat transfer beban dari permukaan atas meja ke rangka penyangga.

Terbentuknya konsentrasi tegangan ini dipicu oleh perbedaan distribusi gaya antara area yang menahan beban utama dengan bagian rangka yang relatif bebas beban. Beban yang diterima permukaan meja cenderung “tertumpuk” pada titik-titik sambungan, sehingga menghasilkan distribusi tegangan yang tidak merata dan membentuk titik kritis dengan nilai tegangan lokal lebih tinggi.

Kondisi ini menjadi salah satu sumber potensi kegagalan struktural pada meja. Oleh karena itu, identifikasi lokasi dengan konsentrasi tegangan tinggi sangat penting

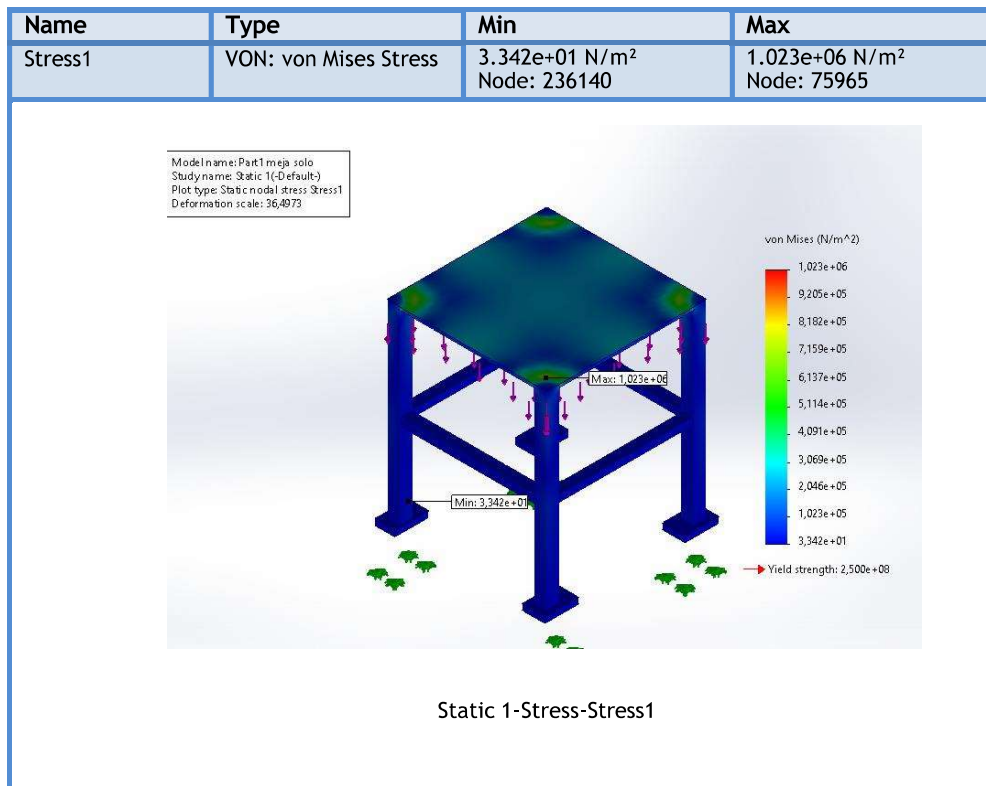
dalam evaluasi desain, agar dapat dilakukan upaya penguatan, seperti penambahan elemen pengaku atau modifikasi geometri, guna mengurangi risiko kerusakan di kemudian hari.

A. Von Mises

Visualisasi distribusi tegangan *Von Mises* pada struktur meja akibat pembebanan eksternal memperlihatkan adanya perbedaan tingkat tegangan pada beberapa bagian rangka. Analisis menunjukkan bahwa tegangan maksimum tercatat sebesar $1,023 \times 10^6$ N/m² (ditunjukkan dengan warna merah pada kontur). Tegangan tinggi ini teramati pada area sambungan antara pelat meja dengan kaki penopang yang menerima konsentrasi gaya langsung. Sementara itu, tegangan minimum tercatat sebesar $3,342 \times 10^1$ N/m² (ditunjukkan dengan warna biru tua), yang terutama terlihat pada bagian rangka bawah yang relatif jauh dari sumber beban.

Jika dibandingkan dengan nilai *yield strength* material sebesar $2,5 \times 10^8$ N/m², tegangan maksimum yang timbul masih jauh berada di bawah batas luluh. Hal ini menunjukkan bahwa struktur meja dalam kondisi aman untuk menahan beban kerja yang diberikan.

Perbedaan signifikan antara daerah dengan tegangan tinggi (*high stress area*) dan tegangan rendah (*low stress area*) ini memperlihatkan karakteristik distribusi gaya pada struktur meja. Informasi ini menjadi acuan penting dalam evaluasi kekuatan serta pertimbangan penguatan desain, terutama pada area sambungan yang berpotensi mengalami akumulasi tegangan dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Von mises meja 2

B. Displacement

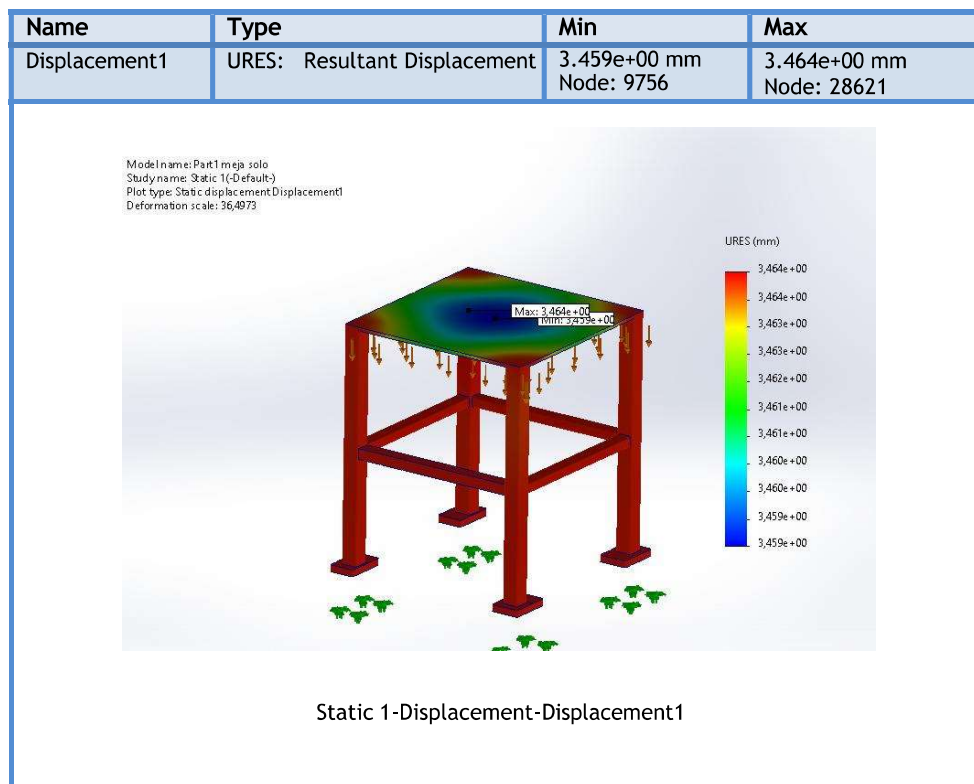
Analisis *displacement* dilakukan pada struktur meja akibat pembebanan eksternal. Hasil simulasi menunjukkan adanya distribusi perpindahan (resultant *displacement*) yang bervariasi pada beberapa bagian rangka.

Nilai *displacement* maksimum tercatat sebesar 3,470 mm (node: 28621), yang ditunjukkan dengan warna merah pada kontur hasil simulasi. Perpindahan terbesar ini teramati pada bagian permukaan atas meja, tepat pada area yang menerima beban secara langsung. Sementara itu, *displacement* minimum bernilai $3,342 \times 10^{-2}$ mm

(node: 9756), yang terletak pada bagian kaki meja yang menempel pada tumpuan, sehingga relatif lebih kaku terhadap perpindahan.

Perbedaan antara *displacement* maksimum dan minimum sangat signifikan, namun tetap berada dalam rentang deformasi yang aman. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur meja memiliki kekakuan yang cukup baik, dengan deformasi yang terdistribusi merata tanpa menimbulkan distorsi berlebih.

Dengan mempertimbangkan nilai *displacement* tersebut, dapat disimpulkan bahwa perpindahan pada struktur meja masih berada dalam batas yang wajar dan desain rangka mampu menahan beban kerja yang diberikan tanpa mengalami deformasi signifikan dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4. 15 *Displacement meja 2*

C. Factor of Safety (FOS)

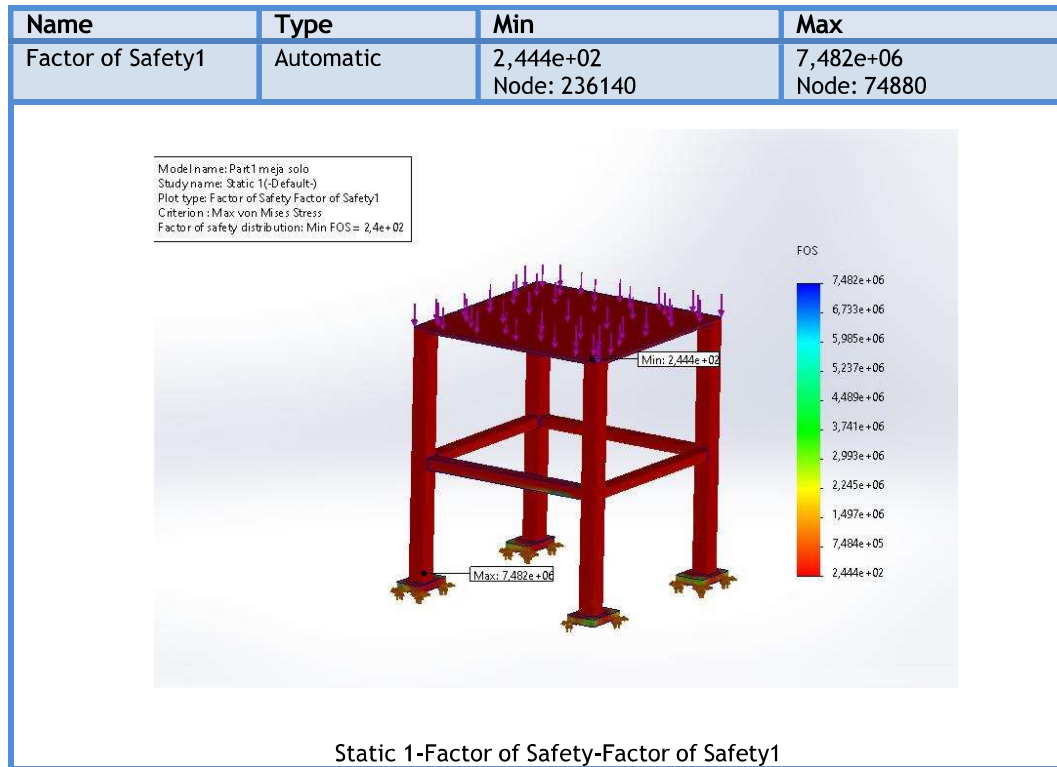
Analisis Factor of Safety (FOS) pada struktur meja dilakukan untuk mengevaluasi tingkat keamanan desain terhadap beban kerja yang diberikan, menggunakan kriteria Maximum *Von Mises Stress*.

Nilai FOS minimum tercatat sebesar 2.444×10^2 (atau 244.4). Nilai ini teridentifikasi pada area plat atas di bawah area pembebanan (panah ungu), yang merupakan titik konsentrasi tegangan tertinggi. Lokasi ini menjadi pusat konsentrasi beban, di mana gaya eksternal paling besar ditransfer langsung ke elemen penopang utama.

Sementara itu, nilai FOS maksimum mencapai 7.482×10^6 , yang terlihat pada bagian kaki tiang/tumpuan di area yang paling stabil dan jauh dari pembebanan langsung. Kondisi ini menunjukkan bahwa sebagian besar area struktur memiliki tingkat keamanan yang luar biasa tinggi, karena hanya berfungsi sebagai penyalur gaya ke area yang menerima beban utama.

Perbedaan distribusi FOS yang sangat tajam antara zona dengan nilai rendah (*critical zone*) dan zona dengan nilai sangat tinggi (*passive zone*) memperlihatkan bagaimana beban terdistribusi dalam keseluruhan struktur.

Nilai FOS minimum sebesar 244.4 yang jauh di atas batas aman ($FOS > 1.0$) membuktikan bahwa desain ini sangat aman dan memiliki margin keamanan yang ekstrem terhadap potensi kegagalan material. Informasi ini penting sebagai dasar untuk memastikan bahwa struktur meja tetap andal dan kokoh dalam penggunaan operasional dapat dilihat pada Gambar 4.16.



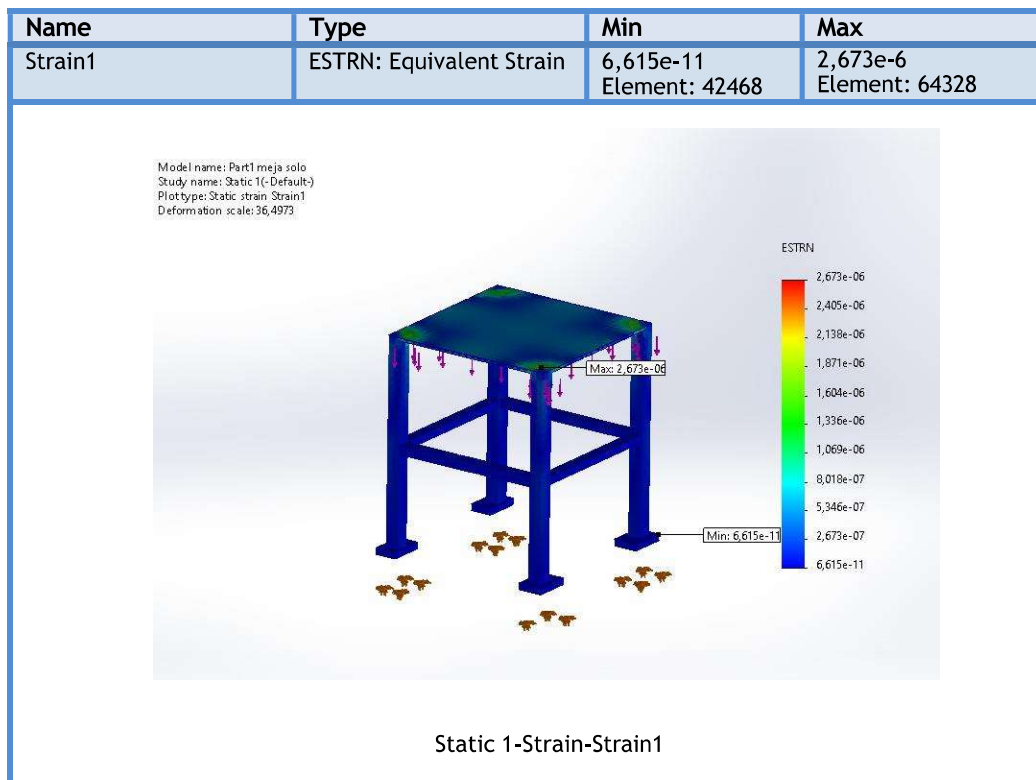
Gambar 4. 16 *Factor of safety meja 2*

4.3.3 Stress Distribution

Pemodelan distribusi tegangan normal pada struktur meja akibat beban eksternal memperlihatkan adanya variasi tekanan pada permukaan dan rangka penopang. Tegangan maksimum tercatat sebesar $6,615 \times 10^6$ N/m², yang teridentifikasi pada area sambungan utama antara pelat meja dan kaki penopang. Lokasi ini merupakan titik konsentrasi beban, di mana gaya eksternal yang diterima permukaan meja terdistribusi langsung ke rangka penyangga.

Sementara itu, tegangan minimum bernilai sekitar $2,6743 \times 10^{-11}$ N/m², yang terlihat pada bagian rangka bawah yang relatif jauh dari titik pembebanan. Kondisi ini menunjukkan bahwa sebagian besar area struktur tidak mengalami tekanan signifikan, melainkan hanya berfungsi sebagai penyalur gaya menuju bagian utama yang menahan beban.

Perbedaan distribusi tegangan yang cukup tajam antara area sambungan (high stress zone) dan area rangka pasif (low stress zone) menjelaskan bagaimana beban terdistribusi dalam struktur meja. Informasi ini penting sebagai dasar evaluasi titik kritis yang berpotensi mengalami konsentrasi tegangan serta memastikan bahwa desain meja masih berada dalam kondisi aman untuk digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 *Strain meja 2*