



ANALISIS KEKUATAN *FISHING TOOLS HOLDER* 50.000 LBS MENGGUNAKAN METODE *FINITE ELEMENT*

Heri Widiatoro^{1,a}, Devi Eka Septiyani Arifin¹, Dibyo Setiawan², Azdane Peprial Indika P.¹

¹Program Studi Sarjana Terapan Teknik Perancangan dan Konstruksi Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung

²Program Studi Sarjana Terapan Proses Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung

Korespondensi:

^aProgram Studi Sarjana Terapan Teknik Perancangan dan Konstruksi Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung

alamat email

heri.widiatoro@polban.ac.id

ABSTRAK

Simulasi numerik elemen hingga (*Finite Element Analysis*, FEA) memiliki fungsi untuk memodelkan sebaran seperti tegangan, *displacement* atau faktor keamanan dari model rancangan dan sebagai validasi hasil analisis terhadap perhitungan manual. Simulasi FEA menggunakan *Software* khusus untuk menghemat waktu dan biaya. Tujuan dari simulasi FEA pada model rancangan ini ialah untuk menganalisis kekuatan model rancangan terhadap suatu deformasi. Pada penelitian ini akan dilakukan uji kekuatan pada salah satu *sub-assembly* pada mesin uji tarik dan uji tekan *fishing equipment* yakni *sub-assembly fishing tools holder*. Hal yang menjadi alasan dilakukannya simulasi yaitu *sub-assembly* tersebut berhubungan langsung dengan gaya tekan atau gaya tarik dengan satuan yang relatif besar. Material yang digunakan untuk rancangan *sub-assembly* ini ialah material *SS400* atau disebut *ASTM A36 Carbon Steel*. Proses simulasi dilakukan sebanyak 25 iterasi menggunakan metode *mesh* berbasis *curvature* dengan pengaturan ukuran *mesh* mulai dari 80 sampai dengan 5 mm. Tegangan maksimum yang terjadi dan mencapai konvergensi terdapat pada ukuran *mesh* 8.5; 8.4; 8.3; 8.2; 8.1; 8 dan 7.9 secara berurutan dengan nilai tegangan masing-masing sebesar 319.9 MPa, 320 MPa, 321.7 MPa, 320.7 MPa, 320 MPa, 317.6 MPa, dan 314.7 MPa. Hasil analisis menunjukkan bahwa desain *fishing tools holder* menghasilkan tegangan maksimum 319,9 MPa pada wilayah konvergen, dengan faktor keamanan (*FoS*) sebesar 0.7. Berdasarkan simulasi ini, rancangan *fishing tools holder* mengalami perubahan bentuk dan ukuran pada bagian pelat depan dan pelat belakang sehingga dapat di implementasikan pada mesin uji tarik dan uji tekan *fishing equipments*.

Kata kunci: simulasi numerik, FEA, *fishing equipments*, *holder*.

ABSTRACT

Finite Element Analysis (FEA) has a function to model distribution such as stress, displacement, or safety factors from design models and as validation of analysis results against manual calculations. FEA Simulation uses specialized Software to save time and cost. The purpose of the FEA Simulation on this design model is to analyze the strength of the design model against deformation. In this study, a strength test will be carried

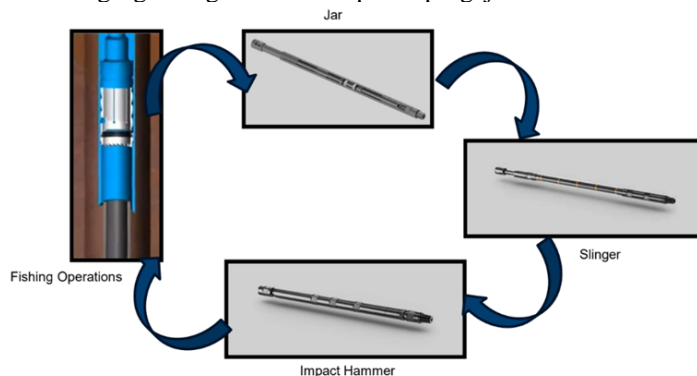
out on one of the sub-assemblies on the fishing equipment tensile and compressive testing machine, namely the fishing tools holder sub-assembly. The reason for the Simulation is that the sub-assembly is directly related to compressive or tensile forces with relatively large units. The material used for this sub-assembly design is SS400 material or ASTM A36 Carbon Steel. The Simulation process was carried out in 25 iterations using the curvature-based mesh method with mesh size settings ranging from 80 to 5 mm. The maximum voltage that occurs and achieves convergence is at a mesh size of 8.5; 8.4; 8.3; 8.2; 8.1; 8 and 7.9 respectively with voltage values of 319.9 MPa, 320 Mpa, 321.7 MPa, 320.7 MPa, 320 MPa, 317.6 MPa, and 314.7 MPa, respectively. The results of the analysis showed that the design of the fishing tools holder produced a maximum voltage of 319.9 MPa in the convergent area, with a safety factor (FoS) of 0.7. Based on this Simulation, the design of the fishing tools holder changes in shape and size on the front plate and rear plate so that it can be implemented on tensile testing machines and press test fishing equipments.

Keywords: numerical Simulation, FEA, fishing equipments, holder.

1. PENDAHULUAN

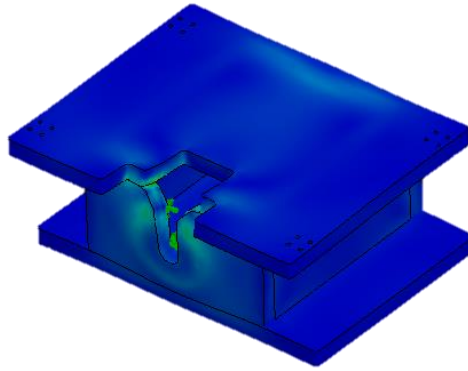
Industri minyak dan gas merupakan salah satu sektor terpenting di dunia, dengan permintaan energi yang terus meningkat. Salah satu aspek penting dalam industri ini adalah kegiatan *fishing job*, dimana kegiatan ini didukung dengan *fishing equipments* yang digunakan untuk mengambil benda-benda yang hilang atau tersangkut di dalam lubang pengeboran, seperti pada Gambar 1. *Fishing tools holder* adalah komponen sub-perakitan dari *fishing tester machine* yang digunakan untuk menahan atau menarik salah satu sisi dari *fishing equipments* untuk memeriksa kebocoran yang terjadi, seperti *fishing jar*, *slinger*, dan *hammer*. Karena sifat dari proses pengujian, dudukan tersebut mengalami gaya dan tekanan tingkat tinggi, yang dapat menyebabkan deformasi atau kegagalan jika desain tidak dioptimalkan. Proses perakitan dari alat ini menggunakan sambungan baut dan las. Untuk sambungan las sangat dipengaruhi oleh sifat kimia dan mekanik elektroda [1] yang disambung las terbukti mempengaruhi efisiensi proses pengelasan [2].

Dalam mendukung kegiatan tersebut, perlu dilakukannya pengujian *pre-job* pada setiap *fishing equipments* yang akan digunakan. Salah satu komponen kritis dari alat pengujian *fishing equipments* adalah dudukan alat *fishing*, yang bertanggung jawab untuk memegang berbagai alat selama proses pengujian tarik dan tekan alat [3].



Gambar 1. Fishing equipment

Mengingat gaya dan tekanan tinggi yang diterima oleh dudukan alat, sangat penting untuk memastikan bahwa desain dudukan dioptimalkan untuk menanggapi kondisi tersebut. *Finite Element Analysis* (FEA) adalah metode simulasi numerik yang dapat memberikan prediksi yang akurat [4]. Dalam hal ini mengenai simulasi numerik perilaku dudukan alat *fishing* dalam berbagai kondisi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis desain dudukan alat *fishing* dengan kapasitas beban 50.000 lbs dengan menggunakan metode FEA seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. FEA pada model

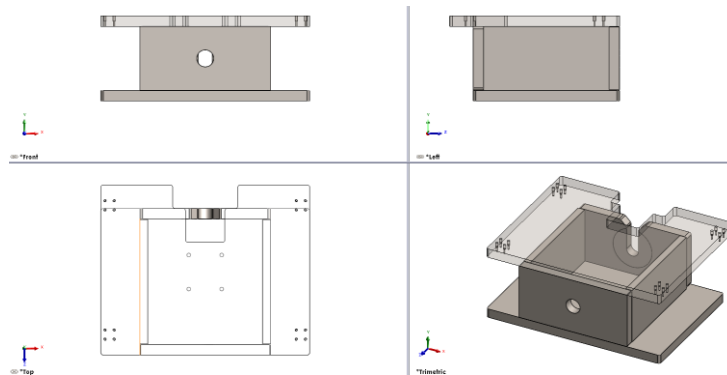
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa desainudukan alat *fishing equipments* dengan menggunakan FEA. Analisis akan dilakukan pada sub-perakitan dudukan yang dirancang khusus untuk menangani kapasitas beban 50.000 lbs. Material yang digunakan untuk dudukan adalah *SS400* atau *ASTM A36 Carbon Steel*, yang biasa digunakan pada industri minyak dan gas karena kekuatannya yang tinggi [5].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pada proses analisa elemen hingga seperti pada Gambar 4. memiliki beberapa tahapan yang dapat merincikan simulasi tersebut ditunjukkan sebagai berikut:

2.1 Tahap *pre-processing*

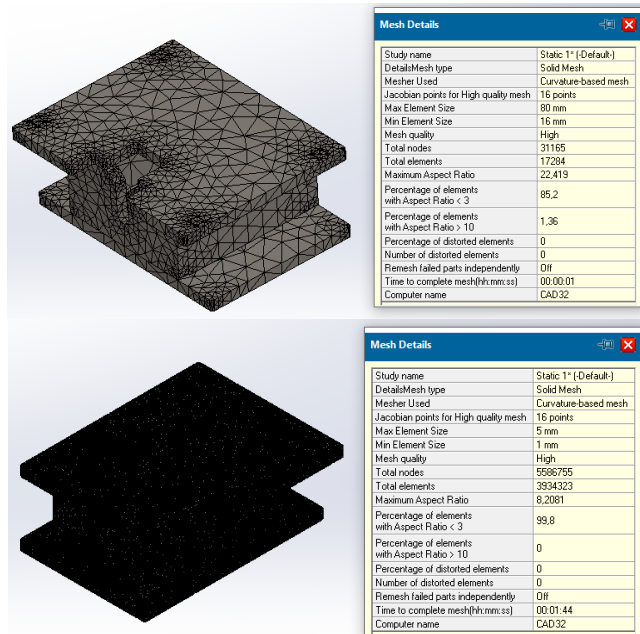
Tahap *pre-processing* adalah tahap awal di mana data persiapan untuk simulasi disiapkan. Ini melibatkan pemodelan geometri objek dengan ukuran model 800×560.52×325 mm, ketebalan terkecil 30 mm seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Model 3D

Selanjutnya seperti pada Gambar 4 adalah pembuatan *mesh* dengan parameter *curvature based mesh*, dan penentuan sifat material serta kondisi batas. Tujuan utamanya adalah mempersiapkan model simulasi yang akurat dan representatif, dengan mempertimbangkan faktor seperti keakuratan, kompleksitas geometri, jenis material, dan tujuan analisis yang ingin dicapai. Proses *meshing* yang melibatkan pembagian geometri menjadi sejumlah *mesh* kecil dengan titik/*node* yang saling terhubung. Pada analisis elemen hingga, ukuran *mesh* memegang peranan penting dalam menentukan akurasi dan jumlah *mesh* yang diperlukan. Setiap jenis struktur membutuhkan skema *meshing* yang sesuai, termasuk kepadatan *mesh* yang optimal untuk analisis statis, dampak, dan frekuensi [6]. Penggunaan material dalam analisa struktur sangat mempengaruhi kekuatan dari desain, baik logam maupun komposit [7]. *Software Solidwork Simulation* menyediakan dua metode *meshing*, yaitu metode *h-adaptive* dan *p-adaptive*. Pemilihan ukuran dan jenis *mesh* perlu dipertimbangkan dengan cermat agar hasil analisis mencapai tingkat keakuratan yang tinggi. Sebelum

dilakukan proses *meshing*, model di mungkinkan dapat di sederhakan untuk mempercepat komputasi dengan hasil yang baik juga [8].



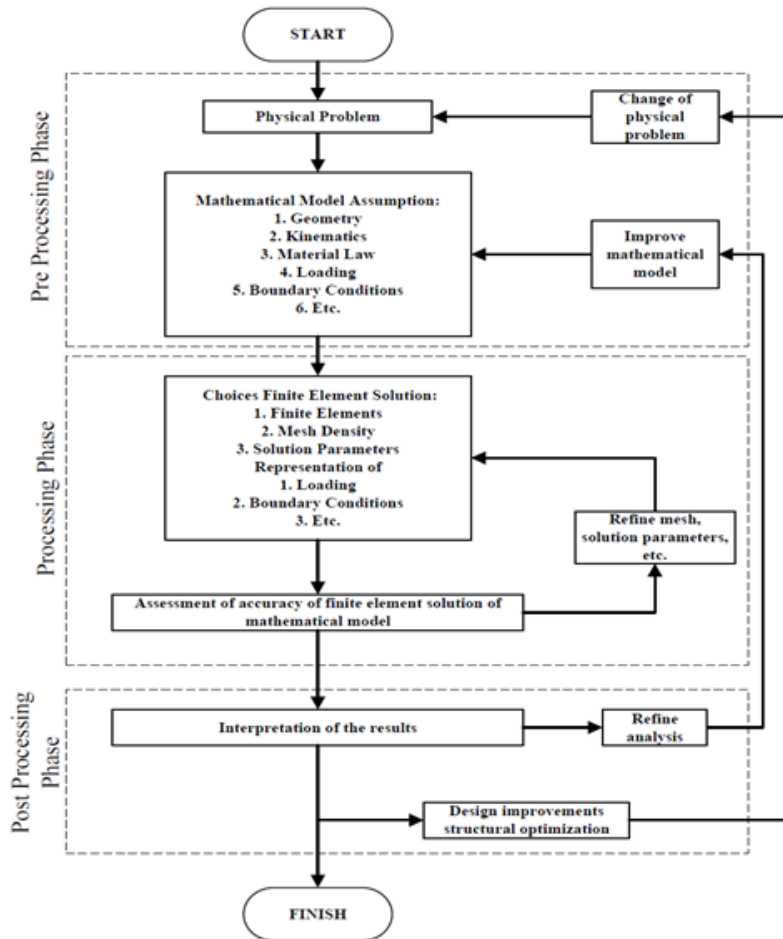
Gambar 4. *Meshing* dengan dimensi maksimal 80 mm dan 5 mm

2.2 Tahap *processing*

Tahap *processing* melibatkan pemecahan model menjadi elemen diskret dan penyelesaian sistem persamaan yang dihasilkan untuk mendapatkan solusi numerik yang merepresentasikan respon struktur terhadap beban yang diberikan. Pengaturan pada *Software Solidworks* dimana *solver* menggunakan *FFEPlus* dan metode *h-adaptive*.

2.3 Tahap *post-processing*

Tahap *post-processing* melibatkan analisis dan interpretasi hasil yang telah diperoleh dari tahap *processing*, di mana solusi numerik berupa distribusi tegangan (MPa), deformasi (mm), dan respon struktur di evaluasi, di visualisasikan, dan di analisis untuk mendapatkan pemahaman yang lebih dalam tentang perilaku struktur yang dianalisis.

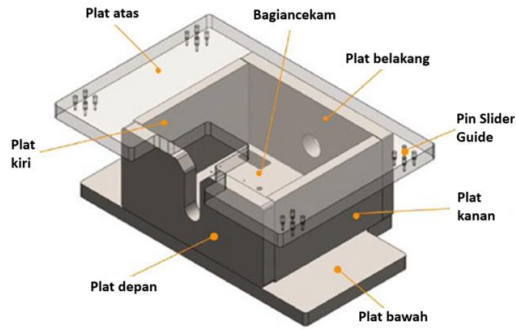


Gambar 5. Diagram alir metodologi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

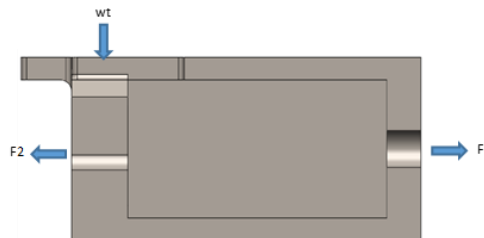
3.1 Pre-processing Step

Pada tahap ini, dilakukan pembuatan model 3D yang lebih rinci dari bagian *Fishing tools holder* dengan tujuan untuk mendapatkan informasi yang lebih terperinci mengenai arah dan distribusi gaya yang bekerja pada struktur tersebut. *Fishing tools holder* ini telah dirancang dengan kapasitas untuk menahan tegangan tarik dan tekan hingga 50.000 lbs. Dimensi pelat bagian depan yang digunakan untuk memasukkan *test cap* adalah 54 mm dengan diameter *groove test cap* sebesar 52 mm. Selain itu, *holder* ini juga dirancang untuk menahan beban minimal 80 kg selama proses pengujian. Dalam Gambar 6, dapat dilihat model 3D dari *fishing tools holder* yang digunakan dalam mesin uji tarik dan uji tekan pada *Fishing Equipments*.



Gambar 6. Model 3D fishing tools holder

Pada gambar model di atas, Gambar 6 terlihat bahwa pelat bagian depan akan mengalami tegangan tarik karena berhubungan langsung dengan *test cap* yang menahan *fishing equipment* dengan wilayah tegangan berbentuk lingkaran. Sementara itu, gaya tarik pada *test cap holder* terjadi pada bagian yang berhubungan langsung dengan aktuator hidrolik. Berikut ini di tunjukkan hasil pendistribusian gaya tarik dalam pengujian tarik dan tekan pada *test cap holder* seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. TCH free body diagram

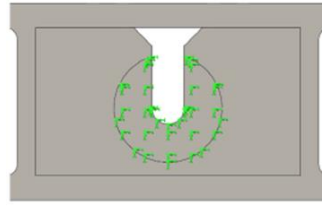
Pada pengujian tarik *fishing equipment*, gaya diaplikasikan pada bagian belakang pelat yang terhubung dengan aktuator hidrolik, dan diteruskan ke *test cap holder* untuk menahan *fishing equipment*. Wilayah gaya yang terjadi berbentuk lingkaran, sementara pada bagian depan pelat, terjadi gaya tarik yang berlawanan yang dihasilkan oleh *test cap*. Tegangan normal (1), deformasi (2) dapat dihitung dengan rumus:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{M \times c}{I_{xx}} \quad (1)$$

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A} \quad (2)$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan didapat hasil tegangan normal sebesar 110 MPa dengan pertimbangan *safety factor* bernilai 4. Berdasarkan model *test cap* yang telah dibuat seperti pada Gambar 8, luas wilayah yang terhubung langsung dengan pelat bagian depan dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$A = \left(\frac{\pi}{4} d1^2\right) - \left(\frac{\pi}{4} d2^2\right) = \left(\frac{\pi}{4} \times 127^2\right) - \left(\frac{\pi}{4} \times 76^2\right) = 8107 \text{ mm}^2 \quad (3)$$

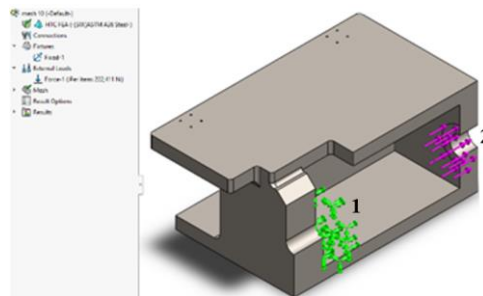


Gambar 8. Luas wilayah kontak

3.2 Simulation Step

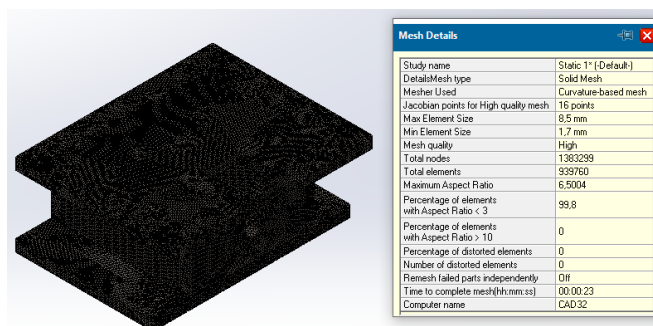
Proses simulasi numerik dilakukan menggunakan *Solidworks Simulation* sebagai alat utama. Tahap awal melibatkan penyederhanaan geometri *holder* agar mempermudah analisis. Selanjutnya, dibuat studi baru dengan menggunakan simulasi statik umum (*general simulation static*) dan ditetapkan parameter tertentu, termasuk *mesh* berbasis kurvatur dengan 10 ukuran elemen yang berbeda.

Data material *ASTM A36* diterapkan pada komponen *fishing tools holder* karena material ini umum digunakan dalam bentuk pelat. Batasan *fixed* (no. 1) ditetapkan pada pelat bagian depan karena simulasi ini dilakukan dalam kondisi statik atau diam. Beban eksternal (no. 2) diberikan dalam bentuk gaya 222.411 kN pada pelat bagian belakang, rincian posisi dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Kondisi batas

Setelah menetapkan batasan pada komponen *fishing tools holder*, dilakukan pengukuran *meshing* sebanyak 25 kali dengan pengaturan *global size*, dengan ukuran terbesar 80 mm dan ukuran terkecil 5 mm. *Mesh* parameter yang digunakan adalah *curvature-based mesh* dimana proses *meshing* pada komponen *fishing tools holder* dapat dilihat pada Gambar 10, total elemen 939.760, aspek rasio < 3 sebesar 99,8%.



Gambar 10. Meshing dengan ukuran 8,5 mm.

Proses komputasi *Solidworks Simulation* dapat dilakukan setelah proses *meshing* pada komponen *fishing tools holder* selesai. Selanjutnya, hasil komputasi dari setiap simulasi di dokumentasikan untuk analisis lebih lanjut.

3.3 Post-processing Step

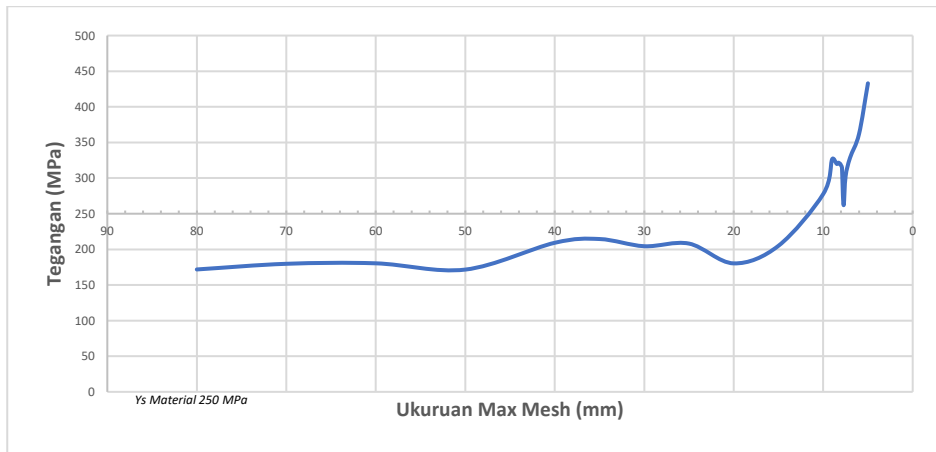
Hasil dari analisis komponen *fishing tools holder* ini menghasilkan nilai tegangan, deformasi, beserta regangan. Namun, yang menjadi perhatian pada penelitian ini adalah ingin mengetahui dan mencari nilai tegangan yang

konvergen beserta deformasi yang terjadi apakah komponen tersebut aman atau tidak. Hasil studi konvergensi dioptimalkan dengan mengubah ukuran *mesh* dan ukuran lapisan [9]. Tegangan yang konvergen terjadi pada ukuran *mesh* 7.9-8.5 mm secara berurutan adalah 314.7 MPa dan 319.9 MPa, secara lengkap terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tegangan maksimum

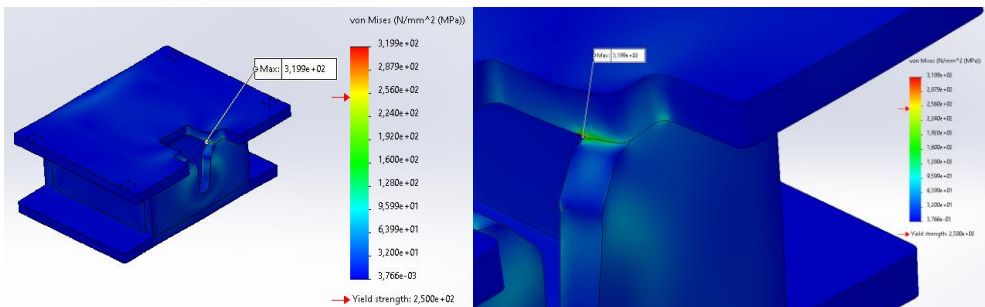
No.	Ukuran <i>Mesh</i> Max-Min (mm)	Tegangan (MPa)	Error
1	80-16	171.8	0
2	70-14	179.7	4.6
3	60-12	180.4	0.4
4	50-10	171.6	-4.9
5	40-8	209.2	21.9
6	35-7	214.5	2.5
7	30-6	204.4	-4.7
8	25-5	208.1	1.8
9	20-4	180.3	-13.4
10	15-3	205	13.7
11	10-2	277.6	35.4
12	9-1.8	326.5	17.6
13	8.5-1.7	319.9	-2.0
14	8.4-1.68	320	0.0
15	8.3-1.66	321.7	0.5
16	8.2-1.64	320.7	-0.3
17	8.1-1.62	320	-0.2
18	8-1.6	317.6	-0.7
19	7.9-1.58	314.7	-0.9
20	7.8-1.56	276.2	-12.2
21	7.7-1.54	262.6	-4.9
22	7.5-1.5	302.3	15.1
23	7-1.4	328.5	8.7
24	6-1.2	361.7	10.1
25	5-1	433	19.7

Sebaran tegangan hasil simulasi menunjukkan bahwa daerah konvergen terjadi pada *meshing* dengan ukuran antara 7.9-8,5 mm dimana perubahan data yang ditampilkan tidak lebih dari 10% seperti terlihat pada Gambar 10. Berdasarkan hasil data tersebut digunakan referensi tegangan sesungguhnya hasil simulasi yaitu ukuran *mesh* yang terbesar dari *range* data konvergen yaitu 8.5 mm dengan tegangan sebesar 319.9 MPa. Perubahan dan perbedaan tegangan yang terjadi selama komputasi tentunya dipengaruhi oleh ukuran *mesh* dari elemen [10]. Selain itu, simulasi juga dipengaruhi oleh jenis elemen, *1D*, *2D* atau *3D* [11].



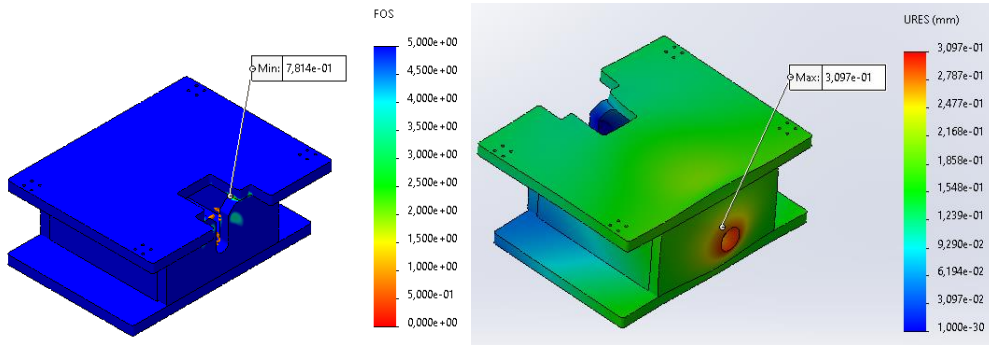
Gambar 11. Grafik konvergen

Hasil simulasi dengan ukuran *mesh* 8,5 mm terlihat seperti pada Gambar 11. Tegangan terbesar 319.9 MPa terjadi pada pertemuan antara bagian pelat Atas dan pelat depan. Tegangan lentur dari material *ASTM A36* adalah 250 MPa, artinya tegangan yang terjadi melampaui tegangan lentur material dapat dikatakan bahwa konstruksi tidak aman. Dimana untuk kasus dinamik, tegangan sisa tetap ada di dalam material bahkan setelah gaya eksternal dihilangkan. Tegangan ini muncul sebagai akibat dari deformasi plastis lokal yang dipicu oleh deformasi plastis terkait manufaktur. Berbagai prosedur manufaktur seperti pengelasan, pembentukan logam, dan perlakuan panas berkontribusi terhadap deformasi plastis [12]. Pada model simulasi ini untuk bagian sambungan las, tegangan sisa yang timbul akibat perpindahan panas *non-linier* selama proses sambungan las menyebabkan cacat las seperti retak korosi tegangan, retak akibat hidrogen, dan berkurangnya kekuatan lelah [13].



Gambar 12. Tegangan maksimum pada ukuran *mesh* 8,5 mm.

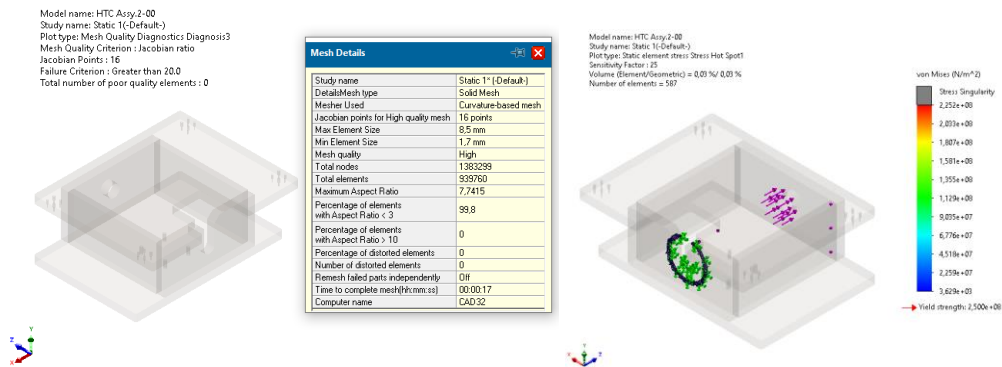
Hasil faktor keamanan (*Factor of Safety*/FoS) terkecil yang diperoleh dari hasil simulasi pada ukuran *mesh* 8.5 mm adalah 0.7. Nilai *displacement* yang diperoleh dari hasil analisis cenderung sangat kecil yaitu sebesar 0,3 mm terletak pada bagian Pelat bagian belakang, searah dengan besar gaya yang mengenai bagian Pelat belakang seperti yang terlihat pada Gambar 13.



Gambar 12. Faktor keamanan (kiri) dan displacement pada mesh 8,5 mm (kanan).

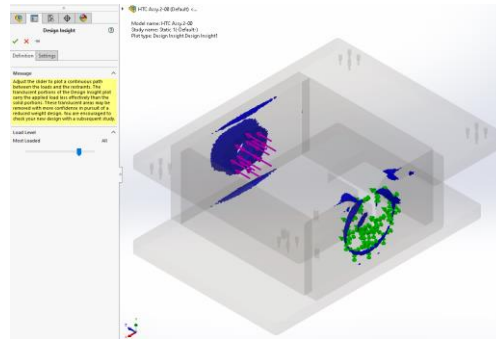
Hasil simulasi diatas perlu di validasi dengan mengevaluasi kualitas hasil *meshing* dan identifikasi *Stress hot spot*. *Meshing* yang didapatkan dari hasil simulasi dengan ukuran *mesh* 8,5 mm menunjukkan persentase elemen dengan aspek rasio bentuk *mesh* yang kurang dari 3 adalah sebesar 99.8 %. Hasil ini memberikan informasi lain bahwa bentuk dan kerapatan *mesh* yang sudah dilakukan sudah sangat baik. Kualitas elemen yang rusak atau tidak baik sebesar 0.2 % atau tidak ada sama sekali, dimana yang terjadi pada bagian *edge* dari model yang sangat kecil. Validasi tersebut menunjukkan bahwa akurasi data yang di ditampilkan terhadap proses simulasi merupakan tahapan umum dalam FEA [14].

Berdasarkan identifikasi dengan menggunakan *Stress hot spot*, menunjukkan bahwa dengan ini dapat mengidentifikasi elemen yang berdekatan dengan daerah tegangan yang tinggi. *Gradien* tegangan tinggi ini terjadi antara elemen dengan nilai tegangan yang berbeda secara signifikan dan dapat menunjukkan adanya *singularitas* tegangan atau konsentrasi tegangan. Hasil menunjukan sebanyak 587 elemen atau sangat kecil sekali 0.06% (Total elemen 939.760) yang berdekatan daerah tegangan yang tinggi atau bisa terjadi *singularity stress*, seperti terlihat pada Gambar 13.



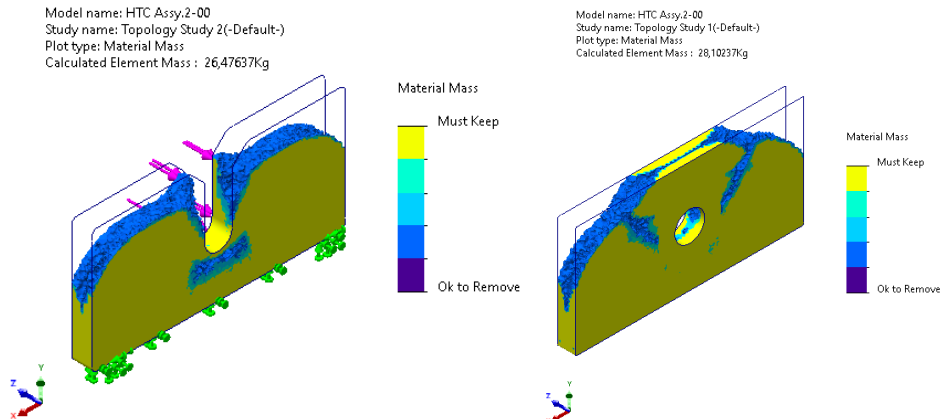
Gambar 13. Validasi kualitas mesh (kiri) dan stress hot spot (kanan)

Hasil simulasi menunjukkan bahwa model secara sebaran tegangan yang terjadi sangat tidak aman karena faktor keamanan dibawah 1, oleh karena itu perlu dilakukannya perbaikan atau perancangan ulang dari alat tersebut. Salah satu perbaikannya adalah melakukan optimasi pada desain bentuk dengan *topology study*. Hasil dari optimasi dari *topology study* adalah mendapatkan bentuk dengan target penurunan massa sebesar 30% dan penuruan tegangan kurang dari 80% dari *yealds strenght* material menjadi 200 MPa. *Design insight* dari model ini yang mejadi fokus dari optimasi adalah pada bagian Pelat depan dan Pelat belakang. Pada bagian tersebut cenderung dominan terdampak akibat dari gaya-gaya luar, atau terjadi tegangan yang maksimal seperti pada Gambar 14.



Gambar 14. Design insight

Rekomendasi yang diberikan berdasarkan dari hasil *topology study* seperti pada Gambar 14 yaitu bentuk Pelat depan dan Pelat belakang mengalami perubahan dimana ada beberapa bagian dari kedua pelat tersebut perlu dihilangkan dengan tetap mempertahankan kemampuan pelat dalam menahan atau merespon dari tegangan yang terjadi akibat gaya luar. Pelat depan dengan bentuk dan ukuran yang baru hasil *topology study* ini memiliki berat sebesar 26.47 Kg sebelumnya 35.54 Kg sedangkan untuk Pelat belakang memiliki berat sebesar 28.10 Kg (37.42 Kg.), dimana materialnya tetap menggunakan *ASTM A36* yang masih memiliki sifat *ductile* dan mekanik yang baik [15].



Gambar 15. Topology study plat depan dan plat belakang

4. KESIMPULAN

Hasil simulasi numerik dari 25 percobaan menggunakan metode *mesh* berbasis *curvature* dengan tujuan mencapai tegangan yang konvergen terdapat pada ukuran *mesh* 8,5 (319.9 MPa), 8,4 (320 MPa), 8,3 (321.7 MPa), 8,2 (320.7 MPa), 8,1 (320 MPa), 8 (317.6 MPa) dan 7,9 (314.7 MPa). Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran *mesh* yang digunakan, semakin tinggi tingkat akurasi yang tercapai. Tegangan maksimum yang terjadi pada *fishing tools holder* berada di atas batas tegangan luluh material *ASTM A36* sebesar 250 MPa, dan deformasi yang dihasilkan sebesar 0.309 mm. Faktor Keamanan (FoS) terkecil yang diperoleh pada ukuran *mesh* 8,5 mm sebesar 0,78 belum memenuhi persyaratan untuk beban statis (1-4) dan dinamis (4-8). Namun demikian perlu ada perbaikan atau perancangan ulang yang harus dilakukan, terutama pada bagian Pelat depan dan Pelat belakang yang mengalami perubahan bentuk dan ukuran dimana terjadi penurunan massa mencapai 25-26% namun tetap dapat mempertahankan kemampuan dalam merespon gaya-gaya luar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. R. Abdurahman, Sukarman, Apang Djafar Shieddieque, Safril, Dibyo Setiawan, "Evaluasi Kekuatan Uji Tarik Pada Proses Pengelasan Busur Listrik Beda Material SPHC dan S30-C," vol. 1,

- no. 2, pp. 29–37, 2021, doi: doi.org/10.36805/jtmmx.v1i2.1395.
- [2] M. M. Ali and M. M. Khalifa, “Effects of Welding Parameters on Characterization and Mechanical Properties of Steel 37 Weldments,” *JES. J. Eng. Sci.*, vol. 48, no. 2, pp. 212–221, 2020, doi: 10.21608/jesaun.2020.188012.
- [3] T. Okviyanto *et al.*, “Analisis Struktur Mikro Terhadap Hasil Ekperimental Sambungan Las Smaw Pada Baja Karbon St 37 Informasi Artikel Abstrak,” vol. 4, no. 2, pp. 2723–3359, 2023.
- [4] A. F. Mohamed and A. F. Mohamed, “Finite Element Analysis for Stresses in Thin-Walled Pressurized Steel Cylinders,” *Int. J. Sci. Eng. Res.*, vol. 9, no. 3, 2018, [Online]. Available: <http://www.ijser.org>
- [5] G. F. O. Ferreira, M. L. Ribeiro, A. J. M. Ferreira, and V. Tita, “Computational analyses of composite plates under low-velocity impact loading,” *Mater. Today Proc.*, vol. 8, pp. 778–788, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2019.02.020.
- [6] Y. Liu and G. A. Glass, “Choose the Best Element Size to Yield Accurate FEA Results While Reduce FE Models’s Complexity,” *Br. J. Eng. Technol.*, vol. 1, no. May, pp. 13–28, 2013, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/262562063_choose_the_best_element_size_to_yield_accu_rate_fea_results_while_reduce_fe_model’s_complexity
- [7] M. Imran, R. Khan, and S. Badshah, “Vibration analysis of cracked composite laminated plate and beam structures,” *Rom. J. Acoust. Vib.*, vol. 15, no. 1, pp. 3–13, 2018.
- [8] K. Zheng and X. Xu, “Experimental and numerical study on the mechanical behavior of composite steel structure under explosion load,” *Materials (Basel)*, vol. 14, no. 2, pp. 1–24, 2021, doi: 10.3390/ma14020246.
- [9] M. Bhandari, “Analysis of Functionally Graded Material Plate under Transverse Load for Various Boundary Conditions,” *IOSR J. Mech. Civ. Eng.*, vol. 10, no. 5, pp. 46–55, 2013, doi: 10.9790/1684-1054655.
- [10] A. Dutt, “Effect of Mesh Size on Finite Element Analysis of Beam,” *Int. J. Mech. Eng.*, vol. 2, no. 12, pp. 8–10, 2015, doi: 10.14445/23488360/ijme-v2i12p102.
- [11] C. M. Wai, A. Rivai, and O. Bapokutty, “Modelling optimization involving different types of elements in finite element analysis,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 50, no. 1, 2013, doi: 10.1088/1757-899X/50/1/012036.
- [12] M. K. A. Abdul Razab, S. Mamat, M. I. Ahmad, and N. S. Mohd Nasir, “Variant analysis in coarse grain heat affected zone of low carbon steel,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 238, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1757-899X/238/1/012016.
- [13] M. Abambres and M. R. Arruda, “Finite element analysis of steel structures - A review of useful guidelines,” *Int. J. Struct. Integr.*, vol. 7, no. 4, pp. 490–515, 2016, doi: 10.1108/IJSI-07-2015-0020.
- [14] S. J. Vaghela and S. Kumanan, “Finite Element Analysis of Submerged Arc Welding,” no. April, 2013.
- [15] F. Restu, R. Hakim, and F. S. Anwar, “Analisa Kekuatan Material ASTM A36 pada Konstruksi Ragum terhadap Variasi Gaya Cekam dengan Menggunakan Software SolidWorks 2013,” *J. Integr.*, vol. 9, no. 2, p. 113, 2017, doi: 10.30871/ji.v9i2.444.