

Perancangan *Checking Fixture* Sebagai Alat Inspeksi Komponen *Underwing Tank Enclosure* Pada Pesawat *Fixed-Wing*

Samuel Surya Kusuma¹, Ignatius Aris Hendaryanto^{1,*}, Benidiktus Tulung Prayoga¹,
Agustinus Winarno¹

¹Departemen Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada
Bulaksumur, Caturtunggal, Kec. Depok, Kab. Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55821
Email korespondensi: aris.hendaryanto@ugm.ac.id

Abstrak

Underwing tank enclosure adalah salah satu komponen pada pesawat *fixed-wing* yang awalnya dikerjakan oleh perusahaan dirgantara asal Spanyol sehingga seluruh alat bantu dan referensi lainnya tidak dimiliki oleh perusahaan dirgantara asal Indonesia, salah satunya adalah alat bantu proses inspeksi. Penelitian ini bertujuan merancang *checking fixture* guna memenuhi persyaratan dan menunjang proses produksi komponen *underwing tank enclosure* sehingga dihasilkan proses inspeksi komponen yang efisien dan sesuai dengan kebutuhan di perusahaan dirgantara asal Indonesia. Penelitian dilakukan menggunakan perangkat lunak CAD untuk merancang *checking fixture*, dan perangkat lunak CAE untuk menganalisis deformasi *checking plate* dan kekuatan struktur rangka utama *checking fixture* dengan *Finite Element Method (FEM)*. Hasil penelitian ini berupa rancangan *checking fixture* yang menggunakan bantuan *checking pin* untuk melakukan validasi dimensi kontur komponen *underwing tank enclosure* terhadap spesifikasi geometri yang telah ditentukan. Analisis kekuatan struktur menunjukkan hasil tegangan *Von Mises* maksimum sebesar 1,119 MPa, deformasi maksimum sebesar 0,0074696 mm, serta nilai *safety factor* minimum sebesar 211,34, sedangkan analisis deformasi *checking plate* menunjukkan komponen longitudinal *checking plate* hanya mengalami deformasi maksimum sebesar 0,0010525 mm, sehingga struktur rangka utama *checking fixture* dan komponen *checking plate* dinyatakan aman.

Kata kunci: Perancangan, *Checking fixture*, Inspeksi, FEM.

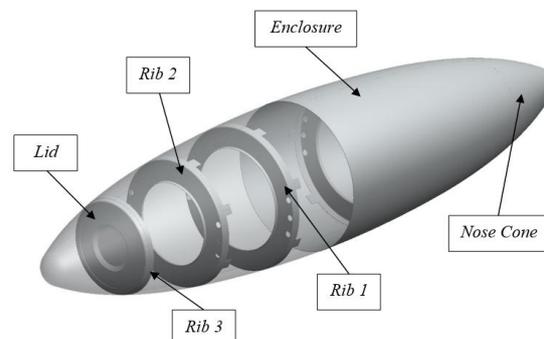
Abstract

The *underwing tank enclosure* is a component of *fixed-wing* aircraft that was originally manufactured by a Spanish aerospace company, so all the tools and references were not available to the Indonesian aerospace company, one of which is the inspection process tool. This study aims to design a *checking fixture* to meet requirements and support the production process of the *underwing tank enclosure* component, ensuring efficient and compliant inspection processes for the Indonesian aerospace company. The research utilized CAD software to design the *checking fixture* and CAE software to analyze the deformation of the *checking plate* and the structural strength of the main *fixture frame* using the *Finite Element Method (FEM)*. The results include a *checking fixture* design employing *checking pins* to validate the dimensional contours of the *underwing tank enclosure* against specified geometric specifications. Structural strength analysis revealed a maximum *Von Mises* stress of 1,119 MPa, a maximum deformation of 0,0074696 mm, and a minimum *safety factor* of 211,34, while the *checking plate* deformation analysis shows that the longitudinal *checking plate* component only experiences a maximum deformation of 0,0010525 mm, confirming that the main structural frame of the *checking fixture* and *checking plate* components are safe.

Keywords: Design, *Checking fixture*, Inspection, FEM.

1. Pendahuluan

Perusahaan dirgantara adalah perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur pesawat terbang dengan salah satu program yang sedang dikembangkan adalah pesawat *fixed-wing*. Pesawat tersebut tersusun dari berbagai komponen, salah satunya adalah *underwing tank* yang berfungsi sebagai tangki bahan bakar eksternal yang digunakan selama penerbangan. Komponen *underwing tank* tersebut ditutup menggunakan *skin* yang dinamakan *enclosure* pada bagian terluarnya yang berfungsi sebagai penutup.



Gambar 1. *Underwing tank*

Komponen *underwing tank enclosure* adalah salah satu dari sekian banyak komponen pada pesawat *fixed-wing* dengan mesin *turboprop* ganda yang dikerjakan oleh perusahaan dirgantara. Komponen tersebut awalnya dikerjakan oleh perusahaan dirgantara asal Spanyol sehingga seluruh alat bantu dan referensi lainnya tidak dimiliki oleh perusahaan dirgantara asal Indonesia. Fasilitas alat pada area produksi tersebut tidak sejalan dengan persyaratan tahapan produksi yang harus dijalankan, salah satunya adalah tahapan inspeksi atau *quality control* sehingga dibutuhkan suatu alat bantu untuk mengatasi hal tersebut.

Kondisi tersebut mengharuskan perusahaan tersebut untuk membuat alat bantu guna memenuhi persyaratan dan menunjang proses produksi komponen *underwing tank enclosure*. Untuk mengatasi permasalahan yang serupa, telah banyak penelitian yang berfokus pada perancangan alat bantu proses inspeksi suatu komponen untuk meningkatkan efisiensi dan menunjang proses produksi komponen tersebut.

Nugraha, dkk (2024) merancang *checking fixture* untuk memeriksa komponen *garnish rear door side* yang dapat digunakan untuk mengukur panjang, lebar, dan kontur radius produk [1]. Utomo (2019) mengembangkan *checking fixture* sebagai alat inspeksi komponen *tube brake*, yang menghasilkan modifikasi pada teknik pencekaman *base* dengan *stand*, serta kontur dengan *stand* [2]. Hanandita, dkk (2023) melakukan analisis pada tiga variasi struktur rangka *checking fixture* komponen interior mobil, yang menunjukkan bahwa model variasi kedua lebih unggul [3]. Huzaini (2024) juga melakukan pengujian kekuatan struktur pada rancangan *welding jig* komponen *bracket series penguin dump truck*, dan dihasilkan validasi bahwa rancangan tersebut aman untuk digunakan berdasarkan nilai tegangan *Von Mises*, *deformation*, dan *safety factor* [4].

Meskipun berbagai penelitian telah dilakukan untuk merancang alat bantu proses inspeksi suatu komponen, namun belum ada penelitian yang dilakukan untuk merancang *checking fixture* pada komponen *underwing tank enclosure*, sekaligus melakukan analisis kekuatan struktur rangka utama pada *checking fixture* tersebut. Penelitian ini tentunya sejalan dengan permasalahan yang sedang dialami perusahaan dirgantara asal Indonesia.

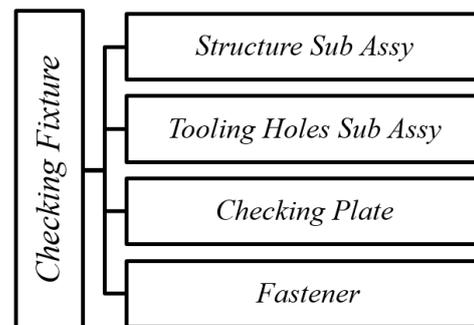
Permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana rancangan alat bantu proses inspeksi komponen *underwing tank enclosure* yang sesuai dengan kebutuhan. Hipotesis untuk menjawab tujuan dari penelitian ini adalah bahwa rancangan alat bantu dapat memenuhi persyaratan tahapan produksi dan menunjang proses inspeksi komponen *underwing tank enclosure*, serta rancangan struktur rangka utama alat bantu dapat menahan beban berat komponen yang ditopang sehingga dinyatakan aman.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk merancang alat bantu proses inspeksi komponen *underwing tank enclosure* berupa *checking fixture*, serta menguji kekuatan struktur rangka utama alat bantu tersebut dengan *Finite Element Method* (FEM). Metode CAD akan digunakan untuk merancang *checking fixture*, sedangkan *Finite Element Method* (FEM) akan digunakan untuk menganalisis kekuatan struktur rangka utamanya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata bagi perusahaan dalam meningkatkan fasilitas yang dapat menunjang proses produksi di area kerja.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa langkah. Langkah pertama adalah identifikasi masalah guna mendefinisikan permasalahan yang ditemukan pada proses inspeksi komponen *underwing tank enclosure*, kemudian melakukan riset dan pengumpulan data pada periode bulan Februari sampai Mei 2024. Data tersebut berupa data teknis perancangan, seperti desain produk, spesifikasi geometri, toleransi, dan sebagainya, serta data lapangan, seperti tahapan produksi, fasilitas produksi, stok material, dan sebagainya.

Tahap selanjutnya adalah merencanakan konsep desain *checking fixture* berdasarkan komponen atau elemen-elemen penyusunnya. Konsep desain *checking fixture* menggunakan konstruksi yang tersusun dari material baja S235JR pada struktur rangka utamanya. Komponen-komponen penyusun *checking fixture* pada *underwing tank enclosure* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Komponen penyusun *checking fixture*

Langkah berikutnya adalah merancang *checking fixture* berdasarkan konsep desain yang telah dibuat. *Structure sub assy* adalah komponen *sub-assembly* pada *checking fixture* yang berfungsi sebagai rangka utama atau konstruksi utama yang menahan atau menopang semua komponen lainnya. *Tooling holes sub assy* adalah komponen *sub-assembly* yang berguna sebagai lokator yang menentukan dan mengarahkan posisi relatif komponen *underwing tank enclosure* terhadap *checking fixture* sehingga memberikan referensi yang akurat dalam proses inspeksi. *Checking Plate* adalah komponen yang

digunakan untuk menginspeksi kontur komponen *underwing tank enclosure* yang dihasilkan setelah proses *stretch forming*. Celah antara *checking plate* dan *underwing tank enclosure* akan diukur menggunakan *checking pin* sebagai nilai validasi apakah kontur *underwing tank enclosure* sudah memenuhi spesifikasi. *Fastener* adalah komponen pengikat yang digunakan untuk menyambungkan satu komponen dengan komponen lainnya pada *checking fixture*, dalam hal ini adalah *bolt, nut, dowel pin, dan threaded rod*.

Toleransi yang digunakan oleh perusahaan dalam proses perancangan serta manufaktur seluruh komponen dan peralatan industri adalah toleransi menurut ISO 2768-1. *Checking fixture* untuk alat inspeksi komponen *underwing tank enclosure* dirancang berdasarkan ISO 2768-1 sebagai acuan nilai toleransi yang digunakan, kecuali pada bagian yang memiliki nilai toleransi khusus tersendiri.

Tabel 1. Nilai toleransi untuk dimensi linier [5]

Nominal Dimension	Tolerance (±)
0,5 – 6 mm	0,1 mm
> 6 – 30 mm	0,2 mm
> 30 – 120 mm	0,3 mm
> 120 – 400 mm	0,5 mm
> 400 – 1000 mm	0,8 mm
> 1000 – 2000 mm	1,2 mm

Tabel 2. Nilai toleransi untuk dimensi radius eksternal dan *chamfer* [5]

Nominal Dimension	Tolerance (±)
0,5 – 3 mm	0,2 mm
> 3 – 6 mm	0,5 mm
> 6 mm	1 mm

Tabel 3. Nilai toleransi untuk dimensi sudut [5]

Nominal Dimension (length of the shorter side of the angle concerned)	Tolerance (±)
≤ 10 mm	1°
> 10 – 50 mm	0°30'
> 50 – 120 mm	0°20'
> 120 – 400 mm	0°10'
> 400 mm	0°5'

Analisis deformasi *checking plate* dan analisis kekuatan struktur rangka utama dilakukan setelah rancangan *checking fixture* selesai dibuat dan melalui tahap validasi desain. Langkah awal yang dilakukan adalah memodelkan geometri *checking fixture* yang akan dianalisis. Langkah selanjutnya adalah mendefinisikan material baja S235JR yang digunakan pada model struktur rangka utama *checking fixture*, dan material Al 6061-T6 yang akan digunakan pada *checking plate*. *Material properties* baja S235JR dan Al 6061-T6 tersaji dalam Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. *Material properties* baja S235JR [6, 7]

Properties	Value
Density	7850 kg/m ³
Young's Modulus	210 GPa
Poisson's Ration	0,3
Yield Strength	235 MPa
Tensile Strength	360 – 510 MPa
Elongation	26%

Tabel 5. *Material properties* Al 6061-T6 [8, 9]

Properties	Value
Density	2700 kg/m ³
Young's Modulus	68,9 GPa
Poisson's Ration	0,33
Yield Strength	275 MPa
Tensile Strength	310 MPa
Elongation	15%

Langkah selanjutnya adalah *meshing*, yaitu mendiskritisasi atau membagi model menjadi bagian-bagian kecil dengan bentuk yang terdefinisi, seperti *tetrahedron* dan *hexahedron*. Langkah berikutnya adalah menentukan kondisi batas pada model *checking fixture* untuk mensimulasikan bagaimana struktur berinteraksi terhadap kondisi yang ditetapkan, termasuk pembatasan gerak atau gaya yang bekerja pada *checking fixture*. Pembebanan dilakukan pada beberapa area berdasarkan berat komponen yang ditopang oleh struktur rangka utama *checking fixture*.

Tahapan analisis dilakukan untuk mengetahui perilaku atau reaksi struktur *checking fixture* terhadap kondisi pembebanan yang dilakukan. Hasil analisis berupa nilai tegangan *Von Mises*, *deformation*, dan *safety factor* digunakan untuk memastikan apakah *checking fixture* aman untuk digunakan.

Langkah terakhir adalah melakukan validasi pada hasil *safety factor* dengan membandingkan hasil tersebut terhadap hasil perhitungan *safety factor* secara manual. Berikut persamaan yang digunakan:

$$Safety\ Factor = \frac{\sigma_y}{\sigma} \tag{1}$$

Keterangan:

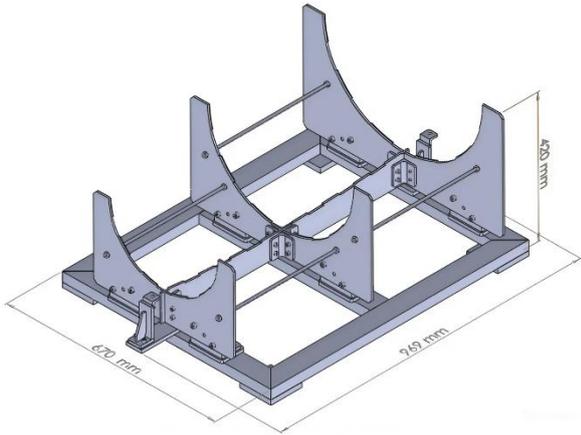
σ_y = Yield strength material (MPa)

σ = Tegangan yang bekerja (MPa)

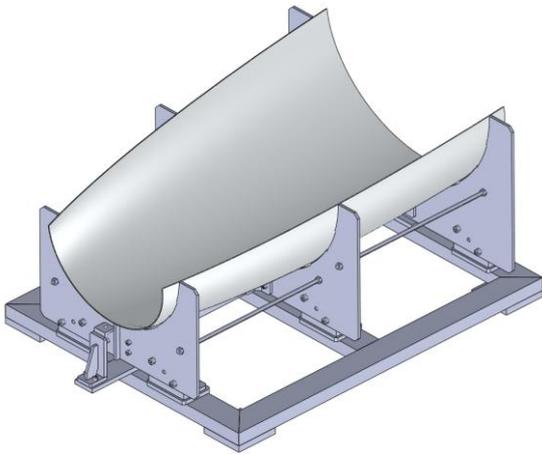
3. Hasil dan Pembahasan

Rancangan *Checking Fixture*

Hasil rancangan keseluruhan *checking fixture* ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Tampak isometri *checking fixture*

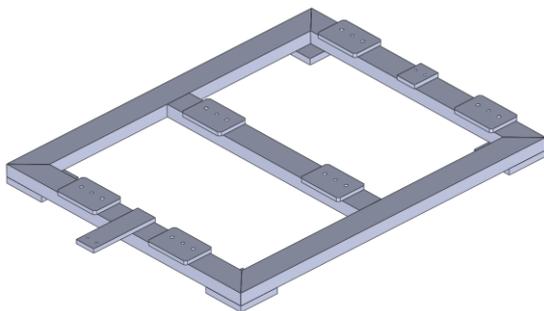


Gambar 4. Tampak isometri *checking fixture* dan *underwing tank enclosure*

Komponen Penyusun *Checking Fixture*

1. *Structure Sub-Assembly*

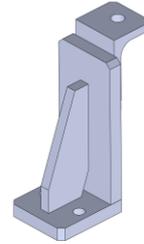
Rancangan struktur rangka utama tersusun dari kombinasi baja *hollow* dan pelat baja dengan material S235JR yang disambungkan menggunakan las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Baja *hollow* yang digunakan berukuran 60 mm × 30 mm × 3 mm, sedangkan pelat baja yang digunakan memiliki tebal 10 mm dan 15 mm. Dimensi nominal struktur rangka utama adalah 833 mm × 670 mm × 55 mm. Hasil perancangan komponen *structure sub-assembly* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. *Structure sub-assembly*

2. *Tooling Holes Sub-Assembly*

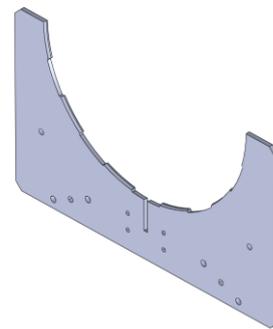
Komponen *tooling holes sub-assembly* terdiri dari beberapa komponen independen yang disambungkan menggunakan las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Komponen tersebut tersusun dari kombinasi pelat baja dengan tebal 8 mm dan pelat baja sudut dengan tebal 5 mm, keduanya menggunakan material S235JR. Hasil perancangan komponen *structure sub-assembly* ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 6. *Front tooling holes sub-assembly*

3. *Checking Plate*

Checking plate adalah komponen yang berhubungan langsung dengan komponen *underwing tank enclosure* untuk proses inspeksi, sehingga material yang digunakan harus disesuaikan dengan material *underwing tank enclosure*, yaitu Al 6061. Material tersebut dapat mengurangi kemungkinan kerusakan *underwing tank enclosure* apabila kedua komponen mengalami gesekan atau benturan. Massa jenis material Al 6061 yang jauh lebih rendah daripada material S235JR juga menjadi pertimbangan pemilihan material tersebut. *Checking plate* menggunakan pelat Al 6061 dengan ketebalan 6 mm, sedangkan dimensi panjang dan lebarnya disesuaikan dengan bagian komponen *underwing tank enclosure* yang diinspeksi. Hasil perancangan komponen *checking plate* ditunjukkan pada Gambar 7.

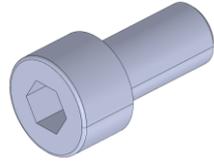


Gambar 7. *Transverse checking plate 1*

4. *Fastener*

Baut M8 dan *dowel pin* Ø 8 mm digunakan untuk menyambungkan *transverse checking plate* dengan struktur rangka utama. Baut M6 digunakan untuk menyambungkan *tooling holes sub-assembly* dengan struktur rangka utama, dan digunakan juga sebagai penguat pada struktur *longitudinal checking plate*. *Threaded rod* M8 dan mur M8 adalah pasangan yang

digunakan untuk menjaga jarak antar *transverse checking plate* agar sesuai dengan spesifikasi, dan sebagai penopang agar strukturnya semakin *rigid*. Pemilihan *fastener* didasarkan pada standarisasi yang dipakai oleh perusahaan, yaitu standar DIN 912, DIN 934, dan DIN 7. Contoh *fastener* yang dipakai pada *checking fixture* ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Hex socket head cap screw M8 × 16 mm

Pemilihan *Checking Pin*

Checking pin adalah komponen yang digunakan untuk melakukan validasi dimensi kontur *underwing tank enclosure* terhadap spesifikasi geometri yang telah ditentukan. Nilai validasi tersebut diambil berdasarkan besar celah antara permukaan komponen *underwing tank enclosure* dengan permukaan *checking plate*. *Checking pin* yang digunakan dalam rancangan *checking fixture* adalah pin dengan model “go no-go pin”, artinya apabila “go pin” berhasil masuk ke dalam celah dan “no-go pin” tidak berhasil masuk, maka dimensi kontur pada bagian tersebut dinyatakan memenuhi spesifikasi. Dimensi celah yang dirancang pada semua *checking plate* adalah 4 mm, sehingga pemilihan “go pin” yang digunakan juga harus berukuran Ø 4 mm. Pemilihan “no-go pin” didasarkan pada nilai toleransi yang ditetapkan pada bagian kontur yang diinspeksi, yaitu ± 1,5 mm pada bagian *transverse checking plate* 1 dan 2, serta ± 2 mm pada bagian *transverse checking plate* 3 dan *longitudinal checking plate*. Berdasarkan hal tersebut, “no-go pin” yang digunakan pada bagian *transverse checking plate* 1 dan 2 memiliki dimensi Ø 5,5 mm, sedangkan untuk bagian bagian *transverse checking plate* 3 dan *longitudinal checking checking plate* memiliki dimensi Ø 6 mm. Penelitian ini menggunakan *standard part* “go no-go pin” dari Katalog Misumi sebagai *checking pin*. “Go no-go pin” yang digunakan berjenis *reversible* dengan kode “KJPRGN”. Gambar 9 menunjukkan *checking pin* yang digunakan dalam proses inspeksi.



Gambar 9. *Checking pin* [10]

Pemilihan *Locating Pin*

Locating pin adalah komponen yang digunakan untuk mengarahkan dan mengunci posisi relatif *underwing tank enclosure* terhadap lubang *tooling holes* atau lokator. *Locating pin* yang digunakan dalam rancangan *checking fixture* berjenis *shouldered* dari Katalog Misumi dengan kode “SFPNATD”. *Locating*

pin tersebut memiliki penampang ulir dengan ukuran M6 sesuai dengan ukuran lubang *tooling holes*, serta membutuhkan pasangan berupa mur agar dapat mengunci posisi relatif *underwing tank enclosure* pada sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z. Gambar 10 menunjukkan *locating pin* yang digunakan dalam rancangan *checking fixture*.

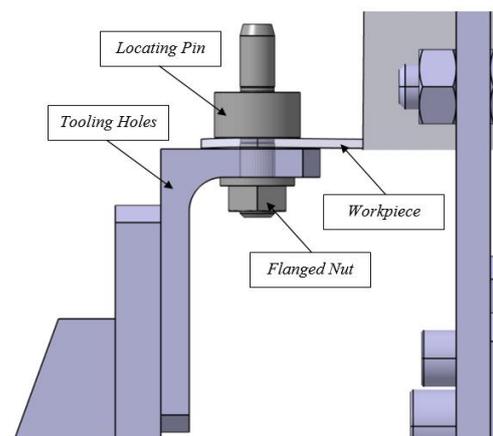


Gambar 10. *Locating pin* [11]

Metode Inspeksi Komponen

1. *Positioning*

Komponen *underwing tank enclosure* harus diposisikan pada posisi relatifnya terhadap *checking fixture* sehingga didapatkan referensi yang akurat dalam proses inspeksi. *Underwing tank enclosure* dikunci pada bagian depan dan belakang menggunakan *locating pin* pada posisi relatif terhadap lubang *tooling holes* atau lokator. Kombinasi ulir dan *shoulder*, serta penggunaan *flanged nut* pada *locating pin* memungkinkan *underwing tank enclosure* terkunci pada sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z. Hal tersebut akan menghasilkan posisi *underwing tank enclosure* yang sesuai dengan geometri yang diinspeksi, yaitu tiga bagian melintang dan satu bagian memanjang. Gambar 11 menunjukkan konfigurasi *positioning* komponen *underwing tank enclosure* terhadap *checking fixture*.

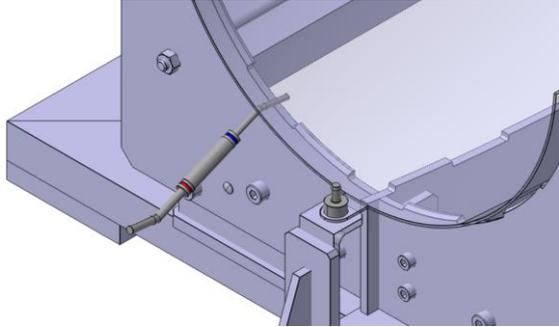


Gambar 11. *Positioning underwing tank enclosure*

2. Pengecekan Kontur

Pengecekan kontur *underwing tank enclosure* dilakukan apabila komponen sudah berada pada posisi relatifnya. Pengecekan dilakukan dengan cara memasukkan *checking pin* ke dalam celah antara

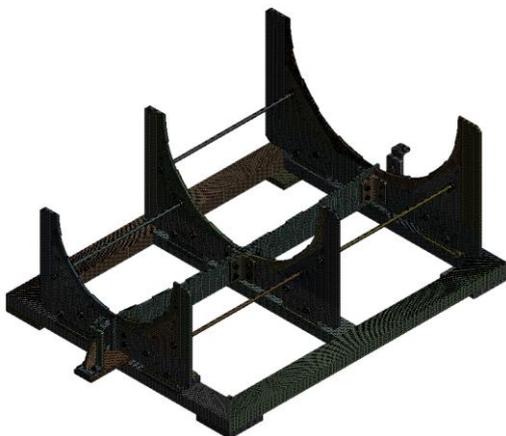
underwing tank enclosure dan *checking plate*, apabila “go pin” berhasil masuk ke dalam celah dan “no-go pin” tidak berhasil masuk, maka dimensi kontur pada bagian tersebut dinyatakan memenuhi spesifikasi dan tidak perlu dilakukan perbaikan. Gambar 12 menunjukkan ilustrasi pengecekan kontur *underwing tank enclosure*.



Gambar 12. Pengecekan kontur *underwing tank enclosure*
Analisis Deformasi *Checking Plate*

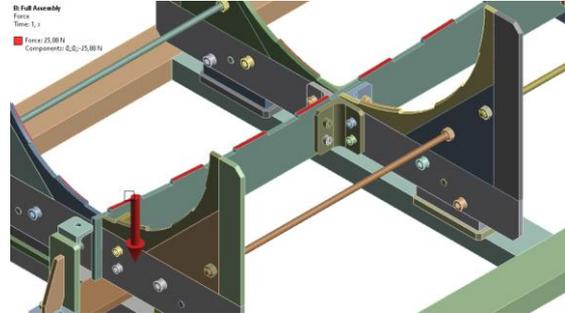
Analisis deformasi pada *checking plate* adalah langkah tambahan yang dilakukan setelah didapatkan hasil pada analisis kekuatan struktur. Analisis yang dilakukan adalah analisis *static structural* menggunakan Metode Elemen Hingga atau *Finite Element Method* (FEM) melalui perangkat lunak CAE untuk mengetahui apakah terjadi defleksi pada komponen *checking plate* yang berpotensi mengakibatkan kegagalan fungsi komponen. Parameter yang dicari pada tahap ini berupa nilai *deformation* yang terjadi pada masing-masing *checking plate*.

Langkah pertama adalah memodelkan geometri *checking fixture* ke dalam perangkat lunak CAE. Model yang digunakan adalah rancangan keseluruhan *checking fixture* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Material baja S235JR dan Al 6061-T6 perlu didefinisikan pada model tersebut sesuai dengan material masing-masing komponen penyusunnya. *Meshing* dilakukan menggunakan jenis *mesh hexa dominant* dengan ukuran elemen global sebesar 4 mm. Gambar 13 menunjukkan visualisasi hasil *meshing*.



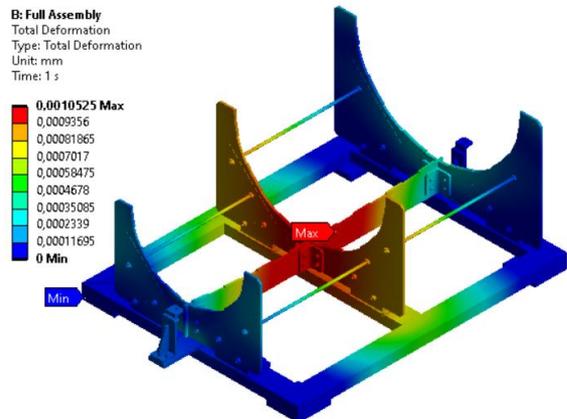
Gambar 13. Hasil *meshing* analisis deformasi *checking plate*

Titik tumpuan geometri *checking fixture* didefinisikan sesuai dengan area atau bagian yang menopang seluruh *checking fixture*, yaitu pada permukaan bawah komponen (*base plate*). Pembebanan pada analisis deformasi *checking plate* dilakukan berdasarkan beban berat komponen *underwing tank enclosure* sebesar 25,88 N. Lokasi dan arah pembebanan ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Pembebanan analisis deformasi *checking plate*

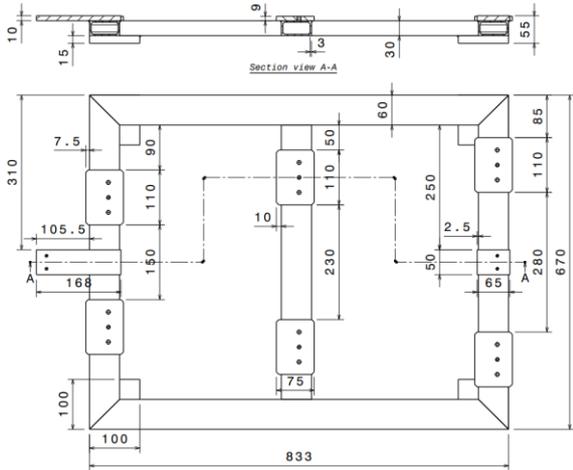
Analisis deformasi *checking plate* dilakukan berdasarkan beban berat komponen *underwing tank enclosure* sebesar 2,639 kg (25,88 N) dengan lokasi pembebanan pada semua permukaan *checking plate* yang menopang atau mengalami kontak secara langsung dengan komponen *underwing tank enclosure*. Nilai deformasi maksimum yang terjadi pada rancangan keseluruhan *checking fixture* ketika menerima beban tersebut adalah sebesar 0,0010525 mm yang berada pada komponen *longitudinal checking plate*. Semua *transverse checking plate* juga mengalami deformasi, namun nilainya tidak melebihi deformasi yang terjadi pada *longitudinal checking plate*. Berdasarkan nilai deformasi maksimum tersebut dapat disimpulkan bahwa deformasi yang terjadi pada *checking plate* relatif sangat kecil dan masih dalam kondisi deformasi elastisnya sehingga tidak menimbulkan kerusakan atau kegagalan pada komponen tersebut. Hasil nilai *deformation* pada analisis deformasi *checking plate* dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Hasil nilai *deformation* rancangan keseluruhan

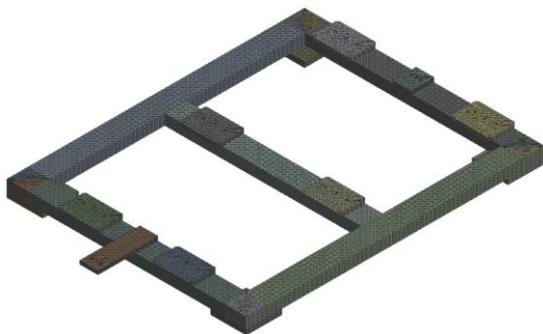
Analisis Kekuatan Struktur

Analisis kekuatan struktur dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan struktur rangka utama *checking fixture* atau dalam hal ini adalah komponen *structure sub-assembly*. Analisis yang dilakukan adalah analisis *static structural* menggunakan *Finite Element Method* (FEM) melalui perangkat lunak CAE. Kekuatan struktur rangka utama *checking fixture* dapat diketahui berdasarkan nilai tegangan *Von Mises*, *deformation*, dan *safety factor* yang didapatkan dari analisis.



Gambar 16. Geometri *structure sub-assembly*

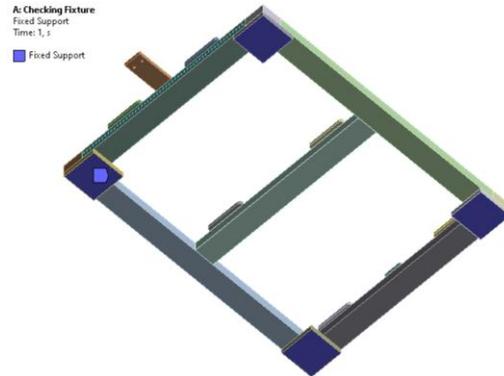
Langkah pertama adalah memodelkan geometri struktur rangka utama *checking fixture* ke dalam perangkat lunak CAE. Langkah selanjutnya adalah mendefinisikan *material properties* baja S235JR ke dalam perangkat lunak CAE untuk menyelesaikan perhitungan matematika yang dimodelkan. Langkah berikutnya adalah melakukan *meshing* menggunakan jenis *mesh hexa dominant* dengan ukuran elemen global sebesar 4 mm. Visualisasi hasil *meshing* ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Hasil *meshing*

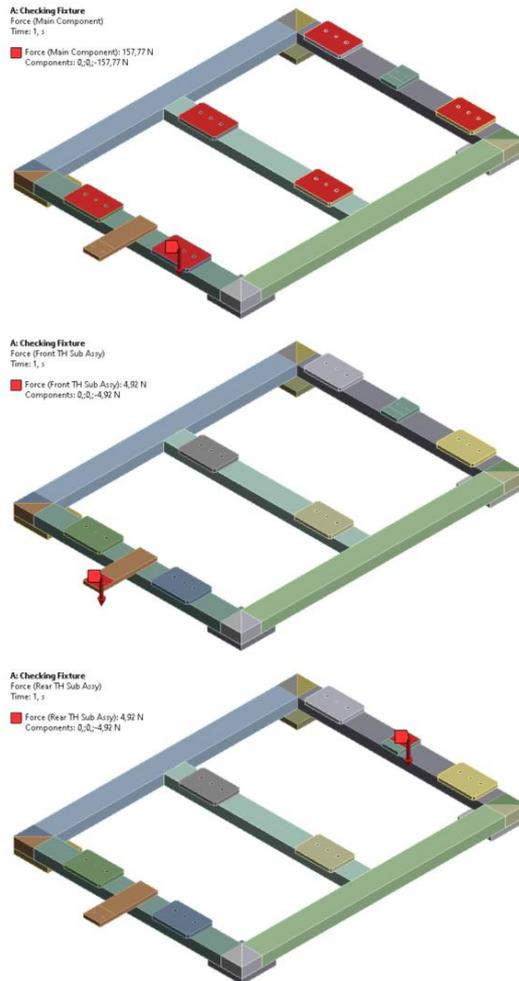
Langkah selanjutnya adalah mendefinisikan kondisi batas berupa titik tumpuan atau *fixed support* untuk membatasi pergerakan komponen. Komponen struktur rangka utama *checking fixture* dimodelkan dalam keadaan tidak bergerak, artinya semua derajat kebebasan (*degrees of freedom*) komponen tersebut dibatasi sepenuhnya, baik secara translasi maupun rotasi. Titik tumpuan geometri struktur rangka utama

checking fixture berada pada permukaan bawah komponen seperti ditunjukkan pada Gambar 18.



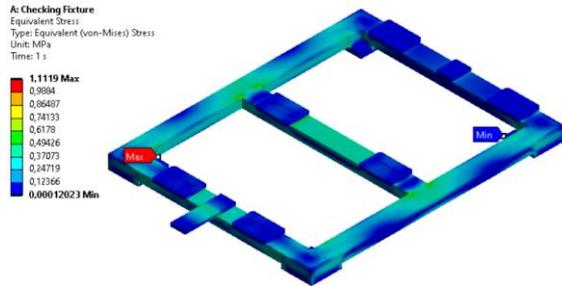
Gambar 18. Titik tumpuan geometri

Langkah terakhir adalah mendefinisikan pembebanan pada geometri. Komponen beban dikelompokkan menjadi dua, yaitu komponen utama dan komponen *tooling holes sub-assembly*. Keduanya tidak saling berhubungan secara langsung, maka pendefinisian juga harus saling dipisahkan. Gaya berat komponen utama sebesar 157,77 N, sedangkan gaya berat komponen *tooling holes sub-assembly* sebesar 4,92 N. Lokasi dan arah pembebanan ditunjukkan pada Gambar 19.



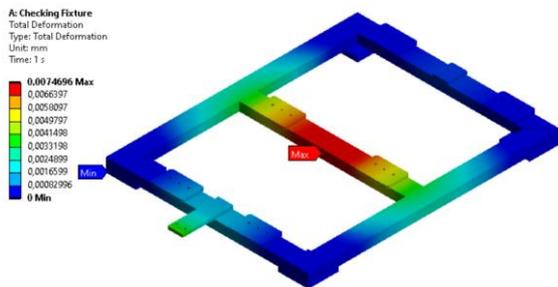
Gambar 19. Lokasi dan arah pembebanan

Hasil analisis kekuatan struktur rangka utama *checking fixture* menunjukkan nilai tegangan *Von Mises* minimum sebesar 0,00012023 MPa, serta nilai tegangan *Von Mises* maksimum sebesar 1,1119 MPa. Menurut Hibbeler (2014), kegagalan suatu material terjadi apabila nilai tegangan yang bekerja pada suatu material melebihi atau sama dengan nilai *yield strength* maksimum material tersebut [12]. Berdasarkan teori Hibbeler dan hasil tegangan *Von Mises* maksimum yang nilainya masih sangat jauh di bawah kekuatan luluh atau *yield strength* material baja S235JR sebesar 235 MPa, dapat disimpulkan bahwa struktur rangka utama *checking fixture* masih sangat kuat dan aman. Hasil nilai tegangan *Von Mises* dapat dilihat pada Gambar 20.



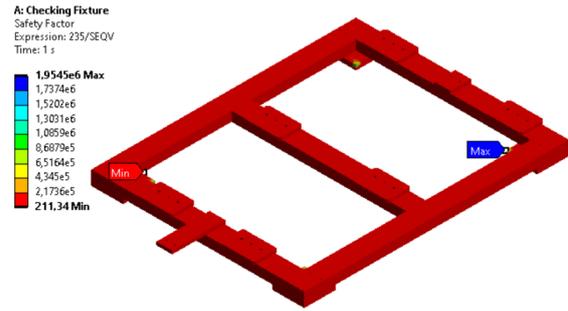
Gambar 20. Hasil nilai tegangan *Von Mises*

Analisis kekuatan struktur rangka utama *checking fixture* dilakukan menggunakan tiga lokasi beban statis, yaitu satu beban komponen utama dengan total berat sebesar 16,082 kg (157,77 N), serta dua beban komponen tooling holes sub-assembly dengan masing-masing berat sebesar 0,501 kg (4,92 N). Nilai deformasi maksimum yang terjadi pada struktur rangka utama *checking fixture* ketika menerima beban tersebut adalah sebesar 0,0074696 mm. Berdasarkan nilai deformasi maksimum tersebut dapat disimpulkan bahwa deformasi yang terjadi pada struktur rangka utama *checking fixture* relatif kecil dan masih dalam kondisi deformasi elastisnya sehingga tidak menimbulkan kerusakan atau kegagalan pada komponen tersebut. Hasil nilai *deformation* dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Hasil nilai *deformation*

Safety factor atau faktor keamanan adalah parameter yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat keamanan suatu struktur. Nilai *safety factor* minimum yang dihasilkan melalui analisis kekuatan struktur dengan Metode Elemen Hingga adalah 211,34 seperti yang ditampilkan pada Gambar 22.



Gambar 22. Hasil nilai *safety factor*

Huzaini (2024) menyebutkan bahwa nilai *safety factor* perlu divalidasi menggunakan perhitungan secara manual untuk memastikan akurasi hasil simulasi atau analisis yang telah dilakukan. Proses validasi ini penting untuk memastikan bahwa rancangan yang dihasilkan dapat dipercaya dan memenuhi standar keamanan yang telah ditetapkan, dengan demikian maka validasi *safety factor* menjadi kunci dalam menjaga integritas dan kelayakan suatu sistem atau struktur sebelum digunakan secara praktis [4]. Rusydi (2023) juga melakukan metode validasi yang sama, yaitu melakukan perhitungan dengan membandingkan nilai *yield strength* material dengan tegangan maksimum yang terjadi pada struktur [13]. Berikut adalah validasi nilai *safety factor* berdasarkan perhitungan secara manual:

$$\text{Safety Factor} = \frac{\sigma_y}{\sigma}$$

$$\text{Safety Factor} = \frac{235 \text{ MPa}}{1,1119 \text{ MPa}}$$

$$\text{Safety Factor} = 211,34$$

Berdasarkan hasil *safety factor* pada analisis Metode Elemen Hingga dan perhitungan secara manual, didapatkan hasil yang sama. Hasil *safety factor* minimum sebesar 211,34 dapat dikatakan sangat baik karena nilainya jauh di atas nilai minimum yang dianjurkan. Nilai *safety factor* minimum yang dihasilkan sangat tinggi karena tegangan maksimum yang terjadi sangat kecil. Menurut Dobrovolsky (1978), nilai *safety factor* minimum yang dianjurkan pada pembebanan statis adalah 1,25 – 2,00 [14], sehingga berdasarkan analisis kekuatan struktur yang dilakukan, struktur rangka utama *checking fixture* masih sangat aman jika diberikan beban sesuai kondisi yang telah didefinisikan. Visualisasi hasil *safety factor* dapat dilihat pada Gambar 22.

4. Kesimpulan

Rancangan *checking fixture* sesuai dengan yang direncanakan. *Checking pin* digunakan untuk melakukan validasi dimensi kontur *underwing tank enclosure* terhadap spesifikasi geometri yang telah ditentukan. Pengecekan kontur *underwing tank enclosure* dilakukan dengan cara memasukkan *checking pin* (*go no-go pin*) ke dalam celah antara *underwing tank enclosure* dan *checking plate*, apabila “*go pin*” berhasil masuk ke dalam celah dan “*no-go pin*” tidak berhasil masuk, maka dimensi kontur

underwing tank enclosure pada bagian tersebut dinyatakan memenuhi spesifikasi.

Struktur rangka utama *checking fixture* dan komponen *checking plate* dinyatakan aman untuk digunakan berdasarkan hasil analisis dan perhitungan manual yang dilakukan. Hasil analisis kekuatan struktur menunjukkan tegangan *Von Mises* maksimum sebesar 1,1119 MPa, *deformation* maksimum sebesar 0,0074696 mm, serta nilai *safety factor* minimum sebesar 211,34, sedangkan hasil analisis deformasi *checking plate* menunjukkan komponen *longitudinal checking plate* hanya mengalami deformasi maksimum sebesar 0,0010525 mm.

Daftar Pustaka

- [1] A. Nugraha, K. Ismartaya, M. D. P. Madewa, Y. Nugroho and A. Rinanto, "Perancangan Checking Fixture untuk Pengecekan Komponen Garnish Rear Door Side Produk PT XYZ," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 1-6, 2024.
- [2] Y. S. A. Utomo, "Perancangan Checking Fixture sebagai Alat Inspeksi Part di PT Sanoh Indonesia," Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2019.
- [3] H. S. Hanandita, Ubaidillah, A. R. Prabowo, B. W. Lenggana, A. Turnip and E. Joelianto, "Static Structural Analysis of Checking Fixture Frame of Car Interior Using Finite Element Method," *Journal of Automotive Experiences*, vol. 6, no. 3, pp. 652-668, 2023.
- [4] M. L. Huzaini, "Perancangan Welding Jig pada Bracket Series Penguin Dump Truck," Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2024.
- [5] International Organization for Standardization, ISO 2768-1: Tolerances for Linear and Angular Dimensions Without Individual Tolerance Indications, Switzerland: International Organization for Standardization, 1989.
- [6] European Committee for Standardization, EN 10025-2: Technical Delivery Conditions for Non-alloy Structural Steel, European Committee for Standardization, 2004.
- [7] M. Ergun and S. Ates, "Effect of Loading Type and Distance between Load Impact Points on Fatigue Behaviour of Notched Beam," in *3rd International Conference on Advanced Engineering Technologies*, Bayburt, 2019.
- [8] T. Surdia and S. Saito, Pengetahuan Bahan Teknik, 4th ed., Jakarta: Pradnya Paramita, 1999.
- [9] Aerospace Specification Metals Inc., "Aluminum 6061-T6," [Online]. Available: <https://asm.matweb.com>. [Accessed 05 March 2025].
- [10] MISUMI Indonesia, "GO / NO-GO Pins - Reversible," [Online]. Available: <https://id.misumi-ec.com>. [Accessed 11 March 2025].
- [11] MISUMI Indonesia, "Locating Pins - Shouldered," [Online]. Available: <https://id.misumi-ec.com>. [Accessed 22 March 2025].
- [12] R. C. Hibbeler, *Mechanics of Materials*, 9th ed., New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2014.
- [13] M. I. Rusydi, "Analisis Factor of Safety pada Alat Cleaning Mold," *Jurnal Ilmu Teknik Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 12-19, 2023.
- [14] V. Dobrovolsky, K. Zablonky, S. Mak, A. Radchik and L. Erlikh, *Machine Elements*, Moscow: Peace Publisher, 1978.