

Simulasi Uji Ketahanan dan *Safety Factor* Material S45C Terhadap *Pressure* pada *Clamp* dalam *Jig and fixture* Soldering Kombinasi Menggunakan *SolidWorks*

Febrian Dwi Saputra^{*1}, Siti Adriani^{1*}

* Politeknik Negeri Batam
Program Studi Teknik Mesin
Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia
¹E-mail: febriandwisaputra@gmail.com

Abstrak

Perkembangan industri manufaktur menuntut proses produksi yang semakin efisien, presisi, dan andal. Salah satu upaya untuk mendukung kebutuhan tersebut adalah penerapan *jig and fixture* sebagai alat bantu produksi. Pada *jig soldering* kombinasi, komponen *clamp* berperan menjaga kestabilan benda kerja selama proses penyolderan, sehingga diperlukan material yang memiliki kekuatan mekanis dan ketahanan terhadap pembebanan berulang. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kelayakan material S45C sebagai material *clamp* pada *jig soldering* kombinasi melalui simulasi numerik menggunakan *SolidWorks Simulation* dengan metode *Finite Element Analysis (FEA)*. Simulasi dilakukan dengan pembebanan sebesar 19,62 N untuk menganalisis distribusi tegangan *von mises*, *displacement*, *factor of safety*, serta ketahanan lelah (*fatigue*) berdasarkan *damage plot* dan *life plot*. Hasil simulasi menunjukkan tegangan *von mises* maksimum sebesar 76,830 MPa, *displacement* maksimum 0,137 mm, dan *factor of safety* minimum 6,898, sehingga komponen masih berada di bawah batas luluh material dan dinyatakan aman terhadap pembebanan statis. Analisis *fatigue* menghasilkan nilai *damage plot* sebesar 0,010 serta umur lelah (*fatigue life*) mencapai 99.999.997.952 siklus, jauh melebihi kebutuhan operasional sebesar 324.000 siklus selama lima tahun penggunaan. Berdasarkan hasil tersebut, material S45C dinilai layak digunakan sebagai material *clamp* pada *jig soldering* kombinasi karena mampu memberikan tingkat keamanan yang tinggi terhadap pembebanan statis maupun berulang. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pemilihan material serta pengembangan desain *clamp* yang aman, andal, dan memiliki umur pakai yang panjang pada aplikasi manufaktur.

Kata kunci: S45C, *jig soldering*, *clamp*, *FEA*, tegangan *von mises*, *displacement*, *factor of safety*, *fatigue*.

Abstract

The development of the manufacturing industry demands production processes that are increasingly efficient, precise, and reliable. One approach to meeting these requirements is the implementation of jigs and fixtures as production aids. In a combination soldering jig, the clamp component plays a critical role in maintaining the stability of the workpiece during the soldering process. Therefore, selecting a material with adequate mechanical strength and resistance to cyclic loading is essential. This study aims to evaluate the feasibility of S45C steel as the material for the clamp component in a combination soldering jig through numerical simulation using *SolidWorks Simulation* based on the *Finite Element Analysis (FEA)* method. The simulation was conducted under an applied load of 19.62 N to analyze the *von mises* stress, *displacement*, *factor of safety*, and *fatigue* performance based on *damage plot* and *life plot* analyses. The simulation results showed a maximum *von mises* stress of 76.830 MPa, a maximum *displacement* of 0.137 mm, and a minimum *factor of safety* of 6.898, indicating that the component remained below the material's yield strength and was safe under static loading conditions. The *fatigue* analysis produced a *damage plot* value of 0.010 and an estimated *fatigue life* of 99,999,997,952 cycles, which is significantly higher than the operational requirement of 324,000 cycles over a five-year service period. Based on these results, S45C steel is considered suitable for use as the clamp material in a combination soldering jig because it provides a high level of safety under both static and cyclic loading conditions. The findings of this study are expected to serve as a reference for material selection and the development of safe, reliable, and durable clamp designs for manufacturing applications.

Keywords: S45C, *jig soldering*, *clamp*, *FEA*, *von mises stress*, *displacement*, *factor of safety*, *fatigue*.

1 Pendahuluan

Pesatnya perkembangan industri manufaktur, terutama pada sektor produksi komponen elektronik, memicu persaingan yang semakin ketat sehingga menuntut tingkat efisiensi yang tinggi. Untuk memenuhi kebutuhan pasar yang masif, setiap bagian produksi harus bekerja dengan akurat guna memastikan produk selesai tepat waktu tanpa mengabaikan standar kualitas. Salah satu strategi utama untuk mencapai tujuan ini melibatkan implementasi *jig and fixture* pada proses manufaktur. Inovasi *jig dan fixture* dapat meningkatkan kecepatan produksi hingga 2–3 kali lebih cepat dibanding metode konvensional serta mengurangi cacat produk secara signifikan. Inovasi ini juga menawarkan tingkat presisi lebih tinggi dan biaya produksi yang lebih efisien [1]. Oleh karena itu, penerapan *jig and fixture* menjadi salah satu strategi penting dalam proses manufaktur untuk meningkatkan kualitas sekaligus menekan biaya operasional serta mendorong peningkatan output secara signifikan.

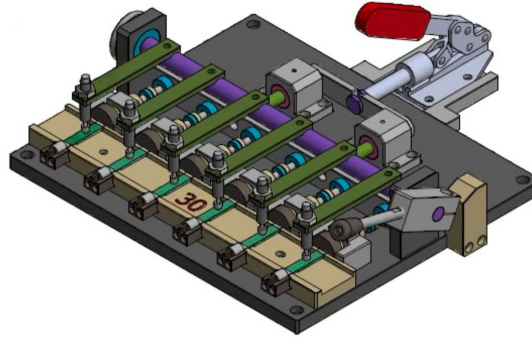
Dalam sistem alat bantu tersebut, pemilihan material menjadi faktor mendasar yang menentukan keberhasilan fungsi komponen. Kekuatan material (*strength*) merupakan salah satu sifat mekanik terpenting dalam pemilihan material suatu perancangan. Kekuatan didefinisikan sebagai kemampuan material untuk menahan deformasi [2]. Hal ini sangat mendukung dalam proses pembuatan *clamp* pada perangkat *jig and fixture soldering* kombinasi, mutu hasil penyolderan dapat dipengaruhi oleh kemampuan sistem *clamp* (penjepit), dikarenakan *Clamp* harus mampu menahan benda kerja serta menahan tekanan berulang selama proses penyolderan berlangsung. Tekanan penjepitan dapat mempengaruhi respon mekanis baja S45C yang ditandai dengan perubahan mikrostruktur material S45C [3]. Pada komponen *clamp jig soldering* dapat mempengaruhi respons mekanis material S45C yang digunakan, sehingga perlu dilakukan evaluasi untuk memastikan keandalan dan keamanan komponen selama proses penggunaan. Melalui analisis menggunakan *SolidWorks Simulation*, penelitian ini difokuskan untuk mengkaji pengaruh tekanan penjepitan terhadap distribusi tegangan (*von Mises stress*), perpindahan (*displacement*), dan faktor keamanan (*factor of safety*) serta pengujian komponen *clamp* melalui uji kelelahan (*fatigue*). Berdasarkan kondisi tersebut, timbul pertanyaan mengenai bagaimana pengaruh tekanan penjepitan terhadap tegangan *von Mises*, *displacement*, *factor of safety*, dan *fatigue* pada komponen *clamp jig soldering* berbahan S45C serta berapa batas yang masih aman untuk diterapkan pada pembuatan *clamp* tanpa menyebabkan kegagalan struktur.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kemampuan komponen *clamp* dalam *jig soldering* menggunakan material S45C melalui analisis virtual menggunakan *SolidWorks Simulation*. Analisis dilakukan untuk memperoleh data terkait distribusi tegangan (*von Mises stress*), perpindahan (*displacement*), faktor keamanan (*factor of safety*), dan kelelahan (*fatigue*) yang terjadi pada siklus penggunaan komponen *clamp*. Simulasi numerik terbukti memberikan hasil yang akurat dengan efisiensi biaya yang lebih tinggi serta mampu mengurangi penggunaan metode konvensional seperti *trial and error* atau pembuatan *prototype* fisik yang memerlukan biaya dan waktu besar [4]. Dengan demikian, metode simulasi dapat diandalkan dalam pemodelan kekuatan material untuk aplikasi industri dan mengurangi ketergantungan terhadap pengujian fisik.

Batasan masalah dalam penelitian ini difokuskan pada analisis kekuatan mekanis komponen *clamp* menggunakan material S45C terhadap satu pembebanan melalui simulasi. Penelitian ini tidak mencakup pengujian dengan pembebanan lain pada komponen. Oleh karena itu, data yang dihasilkan terbatas pada nilai tegangan, deformasi statis, *safety factor*, dan kelelahan yang terjadi pada *clamp*. Penelitian lanjutan diharapkan dapat mengevaluasi ketahanan komponen dan material lain pada *jig and fixture soldering* kombinasi ini dalam jangka waktu operasional yang lebih panjang.

2 Metodologi Penelitian

Rancangan *Jig Soldering* Kombinasi dalam penelitian ini mengadopsi metode pengembangan total (*new design*). Tidak ada proses modifikasi atau replikasi dari produk yang sudah tersedia di pasaran, karena desain ini ditujukan untuk memenuhi kebutuhan khusus sesuai permintaan dan fungsi jig yang akan digunakan.



Gambar 1 . Design jig

Proses pengembangan dilakukan melalui diskusi bertahap mulai dari perumusan konsep, analisis awal, hingga pembuatan visualisasi 3D yang terlihat pada gambar 1. Pendekatan ini dipilih agar setiap komponen dapat dirancang secara tepat sesuai spesifikasi teknis dan batasan mekanis tanpa bergantung pada desain produk yang telah ada sebelumnya. Pada pengujian ini diberikan beban sebesar 19,62 N pada *clamp*, Pemberian beban tersebut berdasarkan kebutuhan dan permintaan *client* terhadap pembuatan *jig soldering* tersebut, bertujuan mengetahui batas kemampuan material terhadap tekanan yang akan disimulasikan secara berulang. Untuk mengevaluasi kelayakan desain komponen *clamp* pada *jig soldering* kombinasi saat menerima beban penjepitan, pengujian dilakukan melalui metode simulasi numerik berbasis *Finite Element Analysis* (FEA). Data utama yang diperoleh dan dianalisis dari hasil simulasi ini adalah *Displacement* (Pergeseran/Defleksi), *Safety Factor* (Faktor Keamanan), dan kelelahan (*fatigue*). Serta dalam pembuatan *jig and fixture* ini memiliki target operasi dan penggunaan dalam rentang waktu berdasar data yang bisa didapatkan dari *client* agar dapat memperkirakan batas penggunaan dan mengetahui kemampuan komponen dalam menjalankan operasi. Pada tabel 1 menunjukkan siklus operasi penggunaan *jig and fixture*. Berdasarkan data tersebut, jig digunakan maksimal sebanyak 9 kali dalam 1 jam, dengan proses penekanan berulang maksimum pada komponen *clamp* sebanyak 27 kali. Data tersebut didapatkan berdasarkan target penggunaan *jig and fixture* pada perusahaan *client* yang memperkirakan penggunaan selama 5 tahun, dalam periode pemakaian 5 tahun diperkirakan akan terjadi maksimum 324.000 kali penekanan berulang pada komponen *clamp*.

Tabel 1 . siklus penggunaan jig and fixture

Periode operasi	Penggunaan jig and fixture	Tekanan berulang maksimum
1 jam	9 Siklus	27 kali
8 jam	72 Siklus	216 Kali
25 hari kerja (1 bulan)	1.800 Siklus	5.400 Kali
300 hari kerja (1 tahun)	21.600 Siklus	64.800 Kali
1500 hari kerja (5 tahun)	108.000 Siklus	324.000 Kali

Displacement adalah perubahan posisi koordinat pada titik-titik elemen komponen *clamp* ketika menerima beban gaya tekan aksial maupun radial. Pada alat bantu *jig soldering* kombinasi, analisis *displacement* sangat penting untuk dilakukan karena dengan adanya pergeseran pada *clamp* dapat mempengaruhi akurasi posisi komponen elektronik yang sedang disolder (menyebabkan cacat produk seperti *misalignment*)

Safety Factor (SF) merupakan rasio antara kekuatan maksimum material (dalam hal ini menggunakan *Yield Strength* atau batas luluh material *clamp*) terhadap tegangan kerja maksimum (*Von-Mises Stress*) yang terjadi akibat gaya penjepitan. Analisis SF bertujuan untuk memastikan bahwa komponen *clamp* tidak mengalami kegagalan struktural atau deformasi plastis selama proses *soldering* berlangsung.

Simulasi *fatigue* dilakukan untuk menganalisis umur lelah komponen, mengetahui jumlah siklus pembebanan yang mampu ditahan, serta mengevaluasi keamanan komponen saat menerima beban penjepitan secara berulang selama proses produksi. Selain itu, simulasi ini bertujuan untuk memperkirakan umur pakai dan tingkat kerusakan yang dapat terjadi seiring waktu penggunaan .

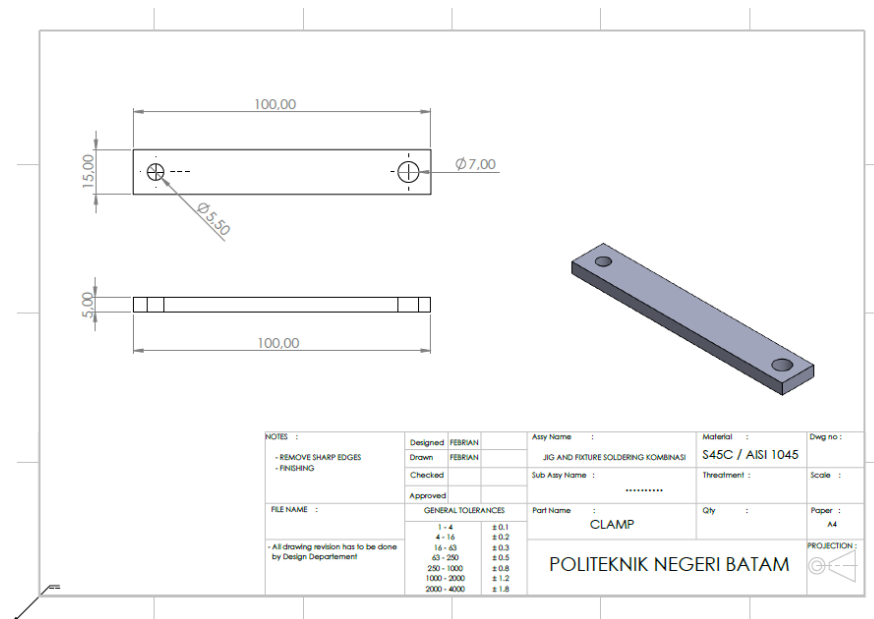
Pemilihan material untuk komponen *clamp* pada perancangan *jig soldering* kombinasi didasarkan pada pertimbangan kekuatan mekanis, serta sifat kemudahan dalam proses pemesinan (*machinability*). Pada penelitian ini, material yang digunakan adalah baja karbon sedang / menengah (*medium carbon steel*) standar Jepang JIS G4051 (S45C), dan dalam pemilihan material AISI 1045 standar amerika pada *solidworks* yang memiliki perbandingan tingkat kekuatan elastis ditunjukkan pada tabel material *properties* tabel 2 .

Tabel 2 . Material properties

Sifat Mekanik	S45C (JIS G4051)	AISI 1045 (<i>Solidworks</i>)	Units
Kandungan Karbon (C)	0,42–0,48	0,43–0,50	%
<i>Elastic Modulus</i>	2.05×10^{11}	2.05×10^{11}	N/m ²
<i>Poisson's Ratio</i>	0.29	0.29	N/A
<i>Shear Modulus</i>	8.0×10^{10}	8.0×10^{10}	N/m ²
<i>Mass Density</i>	7850	7850	kg/m ³
<i>Tensile Strength</i>	625000000	625000000	N/m ²
<i>Compressive Strength</i>	-	-	-
<i>Yield Strength</i>	530000000	530000000	N/m ²
<i>Thermal Expansion Coefficient</i>	1.15E-05	1.15E-05	/K
<i>Thermal Conductivity</i>	49.8	49.8	W/(m·K)
<i>Specific Heat</i>	486	486	J/(kg·K)
<i>Material Damping Ratio</i>	-	-	-

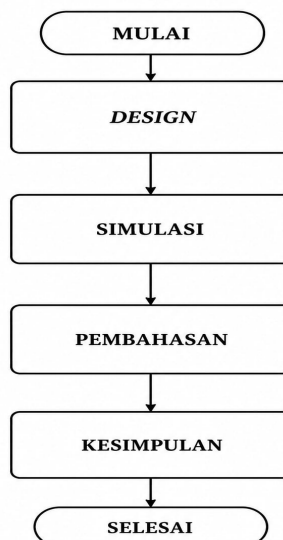
S45C dan AISI 1045 memiliki karakteristik yang identik (*equivalent*) karena keduanya sama-sama memiliki kandungan unsur karbon rata-rata sebesar 0,45%, Yang secara fungsionalitas teknik setara (*equivalent*) dengan spesifikasi AISI 1045 pada *solidworks* [5]. Dan sudah sesuai untuk dilakukan simulasi menggunakan *solidworks*.

Dalam pembuatan *design* terdapat ukuran yang tertuju pada *Drawing* 2D dengan dimensi komponen *clamp* panjang 100 mm x lebar 15 mm x tebal 5 mm, Dan material yang digunakan untuk dilakukan simulasi menggunakan *Solidworks* adalah AISI 1045 diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 2. Design 2D clamp

Alur penelitian pada gambar 3 dimulai dari tahap *design* untuk merancang komponen *jig and fixture*. Selanjutnya, desain yang telah dibuat dianalisis melalui simulasi menggunakan *SolidWorks Simulation* untuk mengetahui respons komponen terhadap beban kerja. Hasil simulasi kemudian dibahas dan dianalisis berdasarkan parameter yang diperoleh. Tahap terakhir adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan.



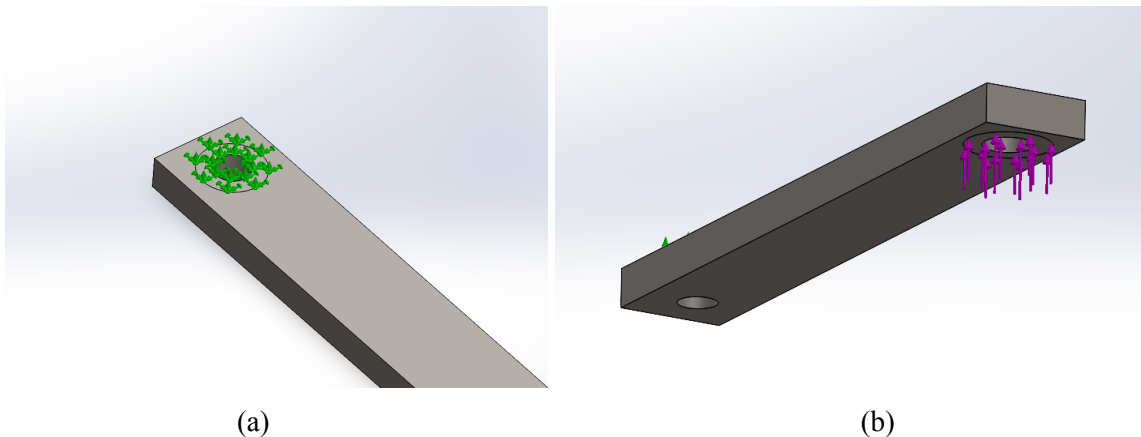
Gambar 3 . Diagram alir penelitian

3. Analisa Data dan Pembahasan

Simulasi dilakukan untuk mengetahui tingkat kekuatan komponen. Dalam simulasi dilakukan beberapa pengujian seperti *displacement*, *von mises stress*, *safety factor*, dan *fatigue* yang disimulasikan menggunakan *software Solidworks*

Pemberian *Fixtures - Fixed Geometry and External Loads – force*.

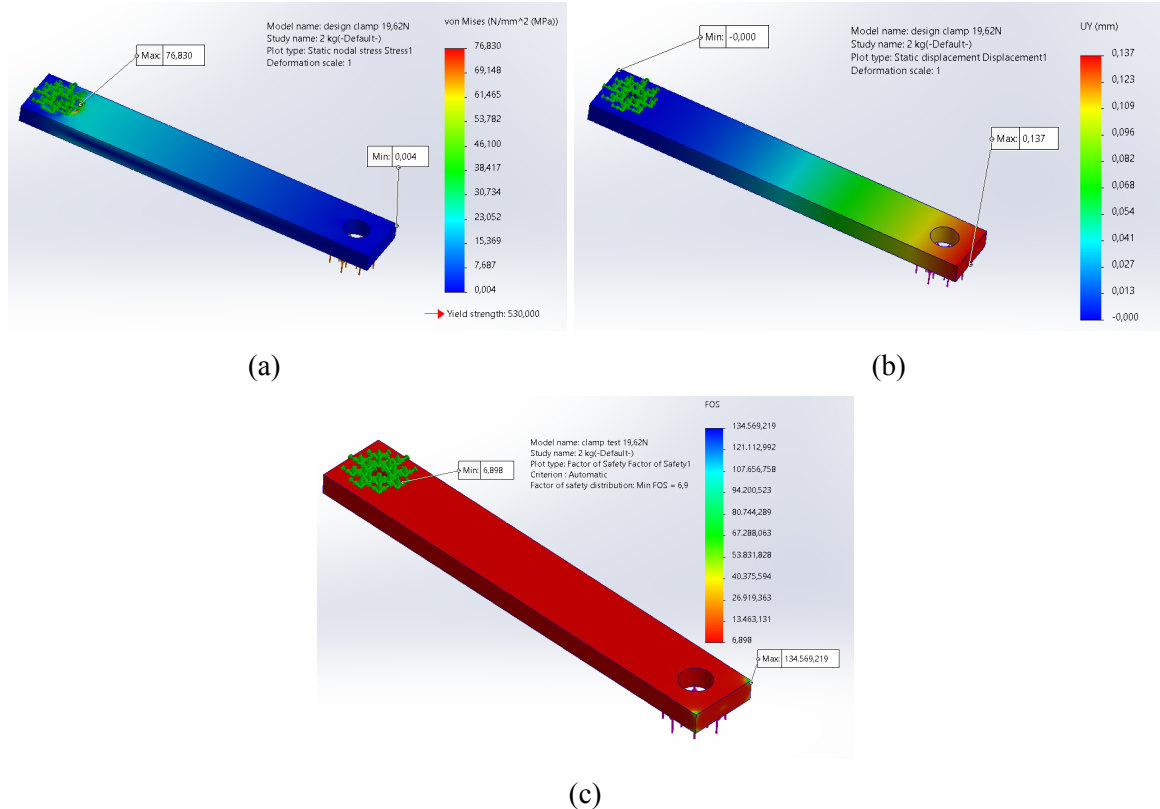
Pengujian komponen *clamp* menggunakan material AISI 1045 *solidworks* yang akan disimulasikan melalui bagian atas *drill hole* berukuran 5,5 mm sebagai *Fixtures - fixed Geometry* yang ditunjukkan pada gambar 4 (a), posisi tersebut dilakukan *split line* pada design yang disesuaikan dengan ukuran *washer* komponen *clamp* tersebut. Lalu *External Loads – Force* diberikan pada bagian *split line* drill hole 7 mm dari bagian bawah komponen mengarah ke atas seperti yang ditunjukkan gambar 4 (b). *Split line* tersebut telah sesuai dengan titik fokus tumpuan pembebanan *clamp* yang akan dihubungkan dengan *standart part* milik *client* dengan pergerakan sesuai dengan yang dihasilkan dari *design Jig Soldering* kombinasi tersebut. *Force* yang diberikan dalam simulasi ini 19,62 N sesuai dengan permintaan dan kebutuhan *client* pada PT. X. Hingga dapat menghasilkan nilai *Von mises* (tegangan), *Displacement* (perpindahan), dan *Factor of Safety* (faktor keamanan) berdasarkan tingkat elastis material pada komponen *clamp*.



Gambar 4. (a) *fixed Geometry* (b) *External Loads – Pressure*

Berdasarkan hasil simulasi *static* pada *clamp Jig Soldering* Kombinasi menggunakan material AISI 1045, diperoleh hasil analisis yang ditampilkan pada Gambar 5.

Pada Gambar 5(a) ditunjukkan distribusi tegangan *von mises* pada komponen akibat pembebanan statis. Konsentrasi tegangan terjadi pada daerah yang menerima beban dan berada di sekitar area *fixed geometry* karena area tersebut mengalami momen lentur terbesar. Semakin jauh dari titik *fixed geometry*, tegangan menurun seiring beban yang terdistribusi lebih merata. Pola ini menunjukkan bahwa komponen masih bekerja dalam daerah elastis material. Gambar 5 (b) menunjukkan *displacement* akibat pembebanan statis, di mana perbedaan warna menggambarkan besarnya perpindahan pada setiap bagian komponen. *Displacement* terbesar terjadi pada area pembebanan, sedangkan bagian sekitar *fixed geometry* tidak mengalami perpindahan. Kondisi ini menunjukkan bahwa perpindahan meningkat seiring bertambahnya jarak dari *fixed geometry* akibat efek lentur dari komponen, sehingga mengindikasikan komponen memiliki kekakuan yang memadai untuk mempertahankan fungsinya selama proses penjepitan. Selanjutnya, Gambar 5(c) memperlihatkan distribusi *factor of safety* pada area komponen sebagai indikator tingkat keamanan terhadap pembebanan statis. Daerah dengan *factor of safety* terendah berada pada lokasi yang mengalami konsentrasi tegangan tertinggi karena menerima beban paling besar, sedangkan bagian lainnya memiliki *margin* keamanan yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa beban yang bekerja masih berada dalam kapasitas kekuatan komponen, sehingga komponen memiliki tingkat keamanan yang memadai dan risiko kegagalan akibat pembebanan statis relatif rendah.



Gambar 5. (a) Von Misses (b) Displacement (c) factor of safety
Tabel 3. Hasil simulasi clamp jig soldering kombinasi

No	19,62 N	Maksimum	Minimum	Nilai
(a)	Von misses	76,830	0,004	Mpa
(b)	Displacement	0,137 mm	0,000 mm	mm
(c)	Factor of safety	134.569,219	6,898	-

Hasil simulasi *von mises stress* dapat dilihat pada tabel 3 memperoleh tegangan maksimum sebesar 76,830 MPa dan tegangan minimum sebesar 0,004 MPa. Karena nilai tegangan *von mises* maksimum lebih rendah daripada nilai *yield strength* material, maka tegangan yang terjadi masih berada di bawah batas luluh material. Dengan demikian, material masih mampu menerima pembebanan sebesar 19,62 N tanpa mengalami kegagalan akibat tegangan yang melebihi batas kekuatan luluhnya.

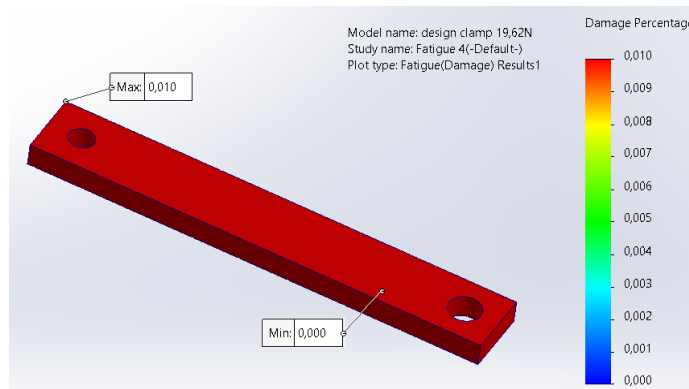
Hasil simulasi *displacement* yang ditunjukkan pada Tabel 3 memperoleh nilai maksimum sebesar 0,137 mm dan nilai minimum sebesar 0 mm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa deformasi akibat pembebanan relatif kecil sehingga tidak memengaruhi fungsi penjepitan maupun stabilitas komponen. Kondisi ini mengindikasikan bahwa komponen masih memiliki kekakuan yang memadai dan bekerja dalam daerah elastis material.

Berdasarkan hasil simulasi *factor of safety* pada tabel 3, diperoleh nilai minimum sebesar 6,898 dan nilai maksimum sebesar 134.569,219. Nilai minimum tersebut menunjukkan bahwa komponen memiliki tingkat keamanan yang baik terhadap pembebanan yang diberikan karena nilainya >1 . Semakin besar nilai *safety factor*, semakin besar pula kemampuan komponen dalam menahan beban sebelum mengalami kegagalan. Nilai itu membuktikan bahwa komponen *clamp* dapat dinyatakan aman terhadap pembebanan 19,62 N berdasarkan hasil analisis faktor keamanan.

Berdasarkan simulasi *static* komponen *clamp* dengan pembebanan sebesar 19,62 N, menunjukkan nilai yang masih berada dalam batas elastis material serta tidak menunjukkan indikasi terjadinya kerusakan atau kegagalan berdasarkan parameter *von Mises stress*, *displacement*, dan *factor of safety*. Namun, karena komponen *jig and fixture* mengalami pembebanan berulang selama proses penggunaannya, diperlukan pengujian *fatigue* untuk mengevaluasi ketahanan komponen terhadap pembebanan serta memperkirakan umur lelah dan potensi kerusakan akibat penggunaan berulang.

Simulasi *fatigue* pada komponen *clamp Jig Soldering* Kombinasi dilakukan untuk mengevaluasi ketahanan komponen terhadap pembebanan berulang. Hasil simulasi melalui *Damage Plot* dan *Life Plot* sebagai dasar untuk mengetahui tingkat kerusakan serta perkiraan umur lelah komponen.

Damage plot atau Plot kerusakan biasanya menggambarkan akumulasi kerusakan atau kelelahan dalam bentuk persentase umur lelah yang telah digunakan oleh material [6]. Warna biru menunjukkan area dengan tingkat kerusakan yang nol, sedangkan warna yang merah menunjukkan area dengan tingkat kerusakan tertinggi, seperti ditunjukkan pada Gambar 6

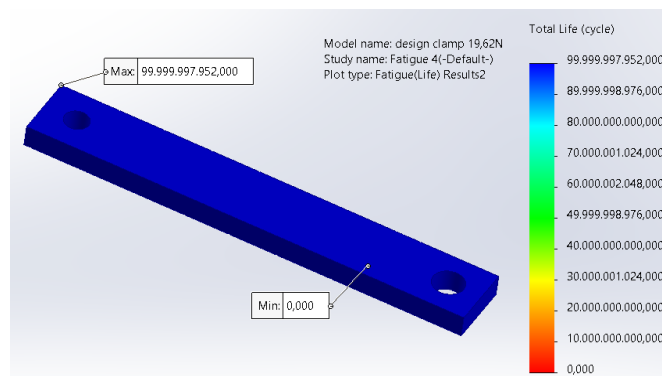


Gambar 6. Damage plot

Plot kerusakan merupakan alat yang berguna dalam proses perancangan produk karena membantu perancang untuk memahami bagaimana suatu struktur akan merespons beban tertentu. Selain itu, plot ini juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi area yang memerlukan perbaikan atau perubahan desain guna mengoptimalkan kinerja dan kekuatan produk. Berdasarkan hasil simulasi pada gambar 6, hanya terdapat sedikit yang mengalami perubahan atau secara visual tidak menunjukkan adanya kerusakan. Oleh karena itu, tidak diperlukan perubahan desain. Berdasarkan hasil simulasi, nilai *damage plot* yang diperoleh adalah 0,010. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kerusakan pada komponen akibat pembebanan berulang masih relatif rendah. Kondisi ini mengindikasikan bahwa komponen clamp memiliki kemampuan yang baik dalam mempertahankan kondisi strukturnya selama menerima pembebanan fatigue sesuai dengan kondisi simulasi.

Life plot merupakan visualisasi umur suatu komponen selama berada dalam kondisi kerja. Dalam proses simulasi kekuatan menggunakan SolidWorks, *life plot* digunakan untuk memvisualisasikan umur suatu struktur atau komponen berdasarkan beban atau gaya tertentu [7]. *Life plot* menunjukkan area pada model yang memiliki umur lebih pendek atau lebih panjang dibandingkan dengan area lainnya.

Hasil simulasi *life plot* pada Gambar 7 menunjukkan bahwa keseluruhan area komponen memiliki umur yang sangat panjang dan dapat disebutkan sebagai komponen dengan ketahanan tidak terbatas atau *infinite life*. Hal ini juga ditunjukkan dalam penelitian static sebelumnya. Pada *life plot*, warna yang ditampilkan pada model menunjukkan umur setiap titik pada model [8].



Gambar 7. Life plot

Berdasarkan *life plot* yang ditunjukkan pada Gambar 7, hasil simulasi menunjukkan umur lelah komponen mencapai 99.999.997.952 siklus. Nilai tersebut jauh melebihi kebutuhan maksimum penggunaan komponen dalam perencanaan penelitian, yaitu sebesar 324.000 siklus. Hasil ini menunjukkan bahwa komponen telah mencapai kondisi *fatigue limit* dengan praktis *infinite life* dalam pengujian, yaitu kondisi ketika tegangan kerja berada di bawah batas lelah material sehingga pembebanan berulang tidak menyebabkan kegagalan akibat kelelahan dalam rentang siklus pengujian. Serta, selama simulasi *fatigue* tidak terindikasi terbentuknya *initial crack* pada area kritis komponen, yang menunjukkan bahwa tegangan akibat pembebanan berulang belum cukup untuk menginisiasi retak sebagai tahap awal kegagalan lelah. Dengan demikian, perbandingan antara hasil simulasi dan kebutuhan siklus penggunaan menunjukkan bahwa komponen memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap pembebanan berulang dan diperkirakan mampu beroperasi secara aman sepanjang umur rancangannya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi numerik menggunakan *SolidWorks Simulation*, tekanan penjepitan sebesar 19,62 N pada komponen *clamp* berbahan S45C yang direpresentasikan menggunakan material AISI 1045 menghasilkan tegangan *von mises* maksimum sebesar 76,830 MPa, *displacement* maksimum sebesar 0,137 mm, dan *factor of safety* minimum sebesar 6,898. Berdasarkan aspek mekanis, nilai tegangan yang dihasilkan masih berada di bawah *yield strength* material sebesar 530 MPa, *displacement* yang terjadi relatif kecil sehingga tidak memengaruhi fungsi penjepitan, serta nilai *factor of safety* yang lebih besar dari satu menunjukkan bahwa komponen tidak berpotensi mengalami kegagalan struktur akibat pembebanan statis. Hasil simulasi *fatigue* juga menunjukkan nilai *damage plot* sebesar 0,010 dan *life plot* mencapai 99.999.997.952 siklus, jauh melebihi kebutuhan operasional sebesar 324.000 siklus, sehingga komponen telah mencapai *fatigue limit (infinite life)* tanpa terindikasi terbentuknya *initial crack*. Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa tekanan penjepitan sebesar 19,62 N masih dalam batas yang aman untuk diterapkan pada pembuatan dan pengoperasian *clamp* berbahan S45C berdasarkan aspek mekanis, karena mampu memberikan nilai *von mises*, *displacement*, *factor of safety*, dan *fatigue* yang memenuhi kriteria keamanan struktur dalam proses manufaktur.

5. Daftar Pustaka

- [1] M. K. Alfath, R. Ghalidzh Annur, M. Sheva Wibowo, and N. Ihsan, "Systematic Review of Jig and Fixture Design Innovation in Improving the Efficiency of Automotive Component Manufacturing Process."
- [2] E. Kurniawan, "Perancangan Jig Assy Knuckle Type 5 Cavity."
- [3] S. Sakuri *et al.*, "The Effect of Shot Peening Hardening Treatment on Pressure Variation on Mechanical Properties and Microstructure of S45C Steel," 2023. [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>
- [4] I. Surya *et al.*, "Analisis Kekuatan Tarik Baja Karbon Sedang S45C Berdasarkan Eksperimen dan Simulasi Numerik Menggunakan SolidWorks," 2025.
- [5] S. Intan¹, B. Tangaran, and A. Kasa, "Analisa Sifat Mekanik Baja Karbon S45C Dengan Perlakuan Tempering."
- [6] H. Nasrullah, D. Yuvenda, A. Efendi, D. Jatmoko, and H. Hasiffurozi, "Fatigue Analysis on Wheels with Finite Element Method using Solidworks Software," Oct. 24, 2023. doi: 10.20944/preprints202310.1538.v1
- [7] P. O. Chikelu, S. C. Nwigbo, O. W. Obot, P. C. Okolie, and J. L. Chukwuneke, "Modeling and simulation of belt bucket elevator head shaft for safe life operation," *Sci. Rep.*, vol. 13, no. 1, Dec. 2023, doi: 10.1038/s41598-022-26060-x.
- [8] A. Z. Hameed, J. Kandasamy, S. Aravind Raj, M. A. Baghdadi, and M. A. Shahzad, "Sustainable Product Development Using FMEA ECQFD TRIZ and Fuzzy TOPSIS," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 21, Nov. 2022, doi: 10.3390/su142114345.