



Distribusi Tegangan Sambungan Las Terhadap Sudut Sambungan Pelat Badan Kapal Dengan Pemodelan Metode Elemen Hingga

Nur Yanu Nugroho*, Irvan Pramana Putra dan Ahmad Basuki Widodo
Jurusan Teknik Perkapalan Universitas Hang Tuah Surabaya, Indonesia

*nur.yanu@hangtuah.ac.id

Abstrak

Pengelasan adalah proses penyambungan dua logam dengan menggunakan proses panas. Reparasi kapal adalah kegiatan perawatan dan pemeliharaan kapal yang direncanakan secara periodik sesuai persyaratan dari badan klasifikasi. Tidak jarang suatu industri galangan kapal melakukan prosedur replating tidak sesuai peraturan-peraturan yang ada pada badan klasifikasi. Sering ditemukan pada proses replating sambungan pelat memiliki sudut yang kurang dari 90°. Penelitian ini mengeksplorasi pengaruh sudut potong pelat badan kapal terhadap distribusi tegangan dalam sambungan las pelat badan kapal menggunakan metode elemen hingga dengan perangkat lunak simulasi Solidworks menggunakan material ASTM A36, dengan mengambil sudut 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 90°. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan Solidworks dapat diketahui hasil tegangan minimum berada di variasi sudut 30° dengan nilai 92,6 N/mm², dan nilai maksimal berada pada sudut 90° dengan nilai 281 N/mm². Beberapa variasi sudut tersebut untuk yang memenuhi standar dari BKI adalah sudut 80° dan sudut 90° dengan masing masing mempunyai nilai yield strength yang memenuhi standar yang ditetapkan oleh klasifikasi. Untuk memastikan keamanan dan ketahanan plat kapal, disarankan agar pemotongan plat dilakukan pada sudut 80° atau 90°. Sudut-sudut ini tidak hanya memenuhi standar BKI tetapi juga menunjukkan distribusi tegangan yang lebih stabil dan merata, mengurangi risiko kegagalan materia

Kata kunci: pengelasan, distribusi tegangan, ASTM A36, solidworks

Abstract

Welding is the process of joining two metals using a heat process. Ship repair is a planned periodic maintenance and care activity of ships according to the requirements of the classification body. It is not uncommon for a shipyard industry to carry out replating procedures that do not comply with the regulations of the classification body. It is often found that in the replating process, the plate joints have angles of less than 90°. This study explores the effect of the cutting angle of the ship's hull plate on the stress distribution in the ship's hull plate welding joint using the finite element method with Solidworks simulation software using ASTM A36 material, taking angles of 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 90°. Based on the test results using Solidworks, the minimum stress results are at a variation of an angle of 30° with a value of 92.6 N/mm², and the maximum value is at an angle of 90° with a value of 281 N/mm². Some of the angle variations that meet BKI standards are 80° and 90° angles, each of which has a yield strength value that meets the standards set by the classification. To ensure the safety and durability of the ship's plate, it is recommended that the plate be cut at an angle of 80° or 90°. These angles not only meet BKI standards but also show a more stable and even stress distribution, reducing the risk of material failure.

Keywords: welding, stress distribution, ASTM A36, solidworks

1. INTRODUCTION

Pengelasan adalah suatu proses menyatukan 2 buah logam atau lebih menjadi suatu bentuk sambungan dengan menggunakan proses panas. Panas tersebut diperlukan untuk mencairkan bagian logam yang akan disambung dengan elektroda sebagai bahan tambah atau filler [11]. Definisi pengelasan menurut DIN (Deutsche Industrie Norman) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

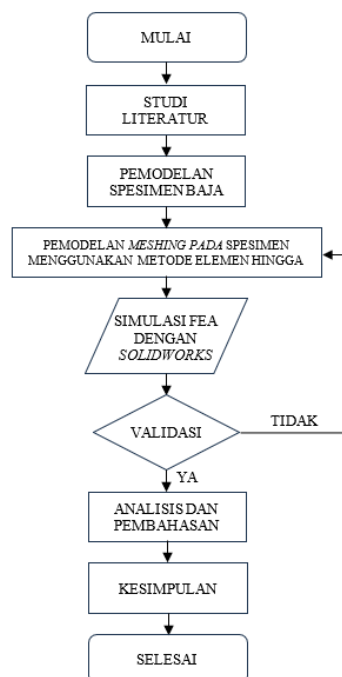
Reparasi kapal adalah kegiatan perawatan dan pemeliharaan kapal yang direncanakan secara periodik sesuai persyaratan dari badan klasifikasi dan pemerintah, yang mana dibutuhkan pada kapal yang sedang annual sampai dengan general docking, selain itu reparasi kapal berguna untuk mengetahui ketidaklayakan pada semua unsur kapal dan juga toleransi yang ditetapkan oleh badan klasifikasi. Reparasi kapal khususnya pada replating, pihak galangan kapal harus mengetahui tentang aturan-aturan dari badan klasifikasi. Tidak jarang suatu industri galangan kapal melakukan prosedur replating tidak sesuai peraturan-peraturan yang ada pada badan klasifikasi. Sering ditemukan pada proses replating sambungan pelat memiliki sudut yang kurang dari 90° dan ditemukan juga sambungan bersudut setengah lingkaran (round) [11].

Dalam proses pengelasan sering terjadi berbagai masalah yang tidak diinginkan dalam sebuah konstruksi sambungan material. Masalah yang sering terjadi pada proses pengelasan antara lain perubahan struktur mikro pada daerah sekitar las, adanya tegangan sisa, proses pengelasannya sudah sesuai prosedur atau belum meliputi teknik pengelasan, pemilihan elektroda dan lain-lain. Kerugian yang besar apabila setiap proses pengelasan tidak diperhitungkan dan dimonitor dengan baik. Oleh karena itu, menganalisis hasil pengelasan dengan simulasi komputer sangat diperlukan untuk meminimalisasi kerugian [7].

Penelitian simulasi pengelasan yang dilakukan dengan software antara lain adalah perancangan welding fixture untuk sambungan cerobong [6], desain kekuatan sambungan hoop pillar dan floor bearer pada struktur rangka bus [9], dan analisis distribusi tegangan pada sambungan las dissimilar antara ASTM A36 steel dan AISI 304 dengan solidworks [7]. Dengan mengambil pijakan dari kajian sebelumnya tentang distribusi tegangan, penelitian ini menandai langkah signifikan menuju pemahaman yang lebih mendalam melalui analisis menggunakan *software*.

2. METHODS

Langkah penelitian untuk mengkaji distribusi tegangan sambungan las terhadap sudut sambungan pelat badan kapal dengan pemodelan metode elemen hingga, dapat dilihat pada diagram alir Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1. Studi literatur

Studi literatur merupakan tahap esensial dalam proses penelitian teknik guna mengidentifikasi tren, metode, serta kekosongan ilmiah pada kajian sebelumnya. Dalam konteks pengelasan struktur kapal, Ma'arif [7] melakukan analisis distribusi tegangan pada sambungan las dissimilar antara baja ASTM A36 dan AISI 304 menggunakan simulasi Solidworks, yang menunjukkan pentingnya karakteristik material terhadap distribusi tegangan. Penelitian serupa oleh Wijaya [13] menekankan bahwa variasi sudut sambungan pelat pada replating kapal mempengaruhi kekuatan mekanik hasil las, terutama pada sudut mendekati 90° yang memberikan hasil lebih stabil. Akin [2] dalam kajiannya mengenai konsep analisis elemen hingga menyatakan bahwa simulasi numerik berbasis perangkat lunak seperti Solidworks memberikan akurasi tinggi dalam memetakan konsentrasi tegangan pada geometri kompleks. Sementara itu, Komara [6] mengembangkan desain welding fixture yang memperlihatkan pentingnya parameter geometri dalam menjamin kualitas hasil sambungan. Merujuk pada hasil-hasil tersebut, penelitian ini berfokus untuk mengevaluasi pengaruh variasi sudut pemotongan pelat terhadap distribusi tegangan dengan pendekatan simulasi berbasis elemen hingga, serta membandingkannya dengan standar kelayakan struktural yang ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).

2.2. Pemodelan spesimen baja

Selanjutnya membuat Pemodelan spesimen baja mengacu pada proses pengembangan model matematika atau fisika yang merepresentasikan perilaku spesimen baja dalam berbagai kondisi. Pemodelan spesimen baja mengacu standar baja ASTM A36 dengan variasi sudut potong pelatnya 30° , 40° , 50° , 60° , 70° , 80° , 90° . Berikut spesifikasi komponen dan sifat mekanik dari baja ASTM A36 yang ditampilkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Komposisi Kimia ASTM A36

Unsur Kimia	Kandungan (%)
Karbon (C)	0,25 – 0,29
Mangan (Mn)	0,60 – 1,20
Fosfor (P), maksimum	0,04
Belerang (S), maksimum	0,05
Silikon (Si),	0,15 – 0,40
Tembaga (Cu), minimum	0,20
Besi (Fe), maksimum	98,00

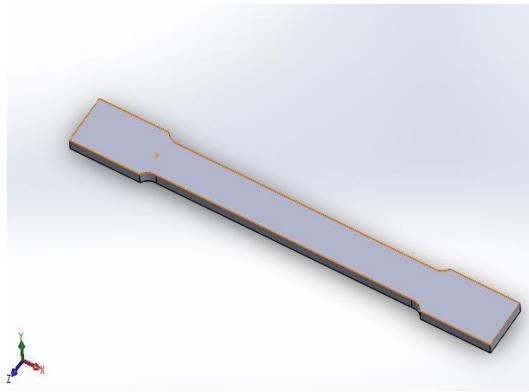
Tabel 2. *Mechanical Properties* ASTM A36

<i>Mechanical Properties</i>	
<i>Tensile Strength</i> (MPa)	400
<i>Yield Strength</i> (MPa)	250
<i>Elongation</i> (%)	20
<i>Shear Strength</i> (MPa)	79.300

- Pembuatan model
Berikut pembuatan spesimen yang digunakan untuk simulasi, dengan ukuran mengacu pada standar ASTM yaitu 450mm x 50 mm x 8 mm.

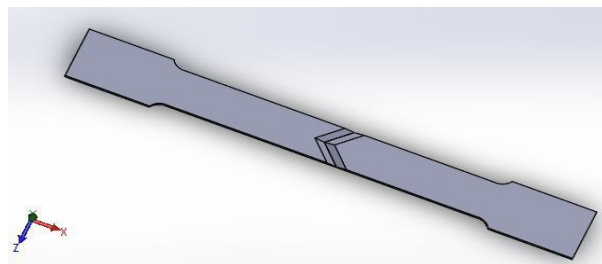


copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



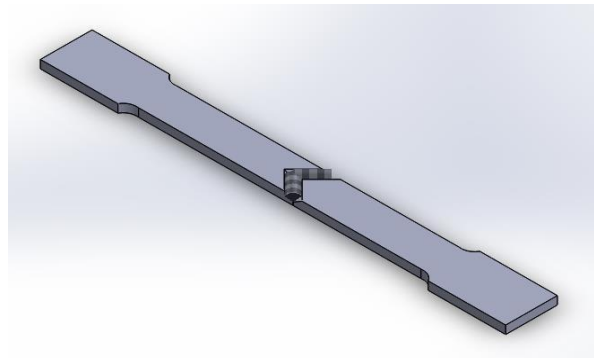
Gambar 2. Pemodelan Menggunakan Software Solidworks

- Pembuatan spesimen dengan sudut potong
Kemudian dilanjutkan pembuatan model spesimen dengan variasi sudut potong 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 90° dengan jarak *root face* 3 mm. Berikut contoh untuk variasi sudut 90°.



Gambar 3. Spesimen dengan Sudut Potong 90°

- Proses pengelasan
Selanjutnya masuk proses pengelasan spesimen yang dilakukan di *assembly*, dengan memasukkan *weld path* pada *bevel* yang menunjukkan lokasi pengelasan tersebut. Berikut contoh pemberian sambungan lasan pada spesimen 90°.



Gambar 4. Pengelasan Pada Spesimen 90°

- Pembuatan geometri/ meshing
Di dalam proses selanjutnya yaitu membuat geometri spesimen atau biasa di sebut proses meshing, proses yang membagi spesimen menjadi elemen elemen yang lebih kecil dan kompleks. Proses dimulai dengan import geometri, pengaturan material, pemilihan tipe elemen, pengaturan ukuran elemen, proses meshing, pemeriksaan kualitas mesh, koreksi mesh, ekspor mesh.
- Simulasi
Setelah didapatkan model spesimen dan meshing tersebut, berikutnya merupakan proses tahapan simulasi static dengan bantuan perangkat lunak Solidworks. Tujuan dilakukan simulasi static yaitu mengetahui nilai

tegangan regangan dan untuk mengidentifikasi area-area dengan konsentrasi tegangan yang paling tinggi yang menyebar keseluruh bagian spesimen.

- Validasi

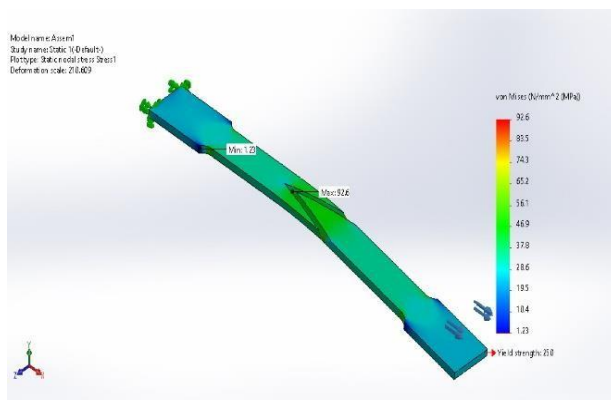
Pada tahapan ini sangat penting untuk memeriksa kembali hasil simulasi agar dapat dilanjutkan ke tahapan selanjutnya. Validasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa hasil simulasi akurat dan dapat diandalkan. Kesesuaian antara hasil simulasi dan data validasi berdasarkan tegangan ijin yang ditentukan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) Vol. II tahun 2022) yang menjadi indikator utama dalam menilai keandalan model dan menjaga kualitas data yang digunakan dalam analisis lebih lanjut.

3. RESULTS AND DISCUSSION

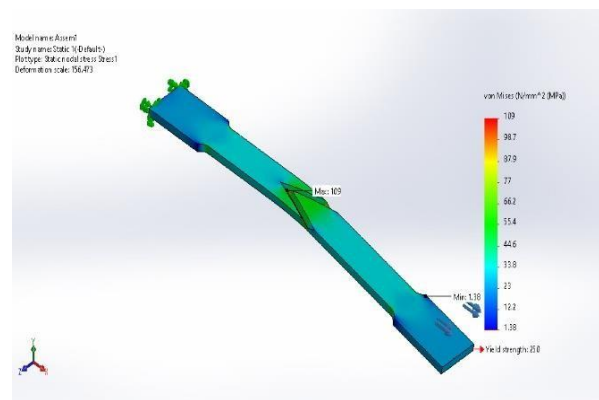
Pada hasil dan pembahasan dengan komponen yang telah dimodelkan menggunakan perangkat lunak *Solidworks* akan dianalisis lebih mendalam. Pemodelan *Solidworks* memberikan kemampuan untuk secara detail memvisualisasikan dan mengukur distribusi tegangan yang terjadi pada struktur komponen tertentu. Analisis ini penting untuk memastikan keandalan dan kekuatan dari desain yang dihasilkan dalam aplikasi *Solidworks*. Hasil pengujian Spesimen yang dilakukan dengan *software solidworks* menggunakan bahan material ASTM A36 yang berisikan data properti dari baja karbon rendah.

3.1. Analisa Hasil Pengujian Tegangan (Stress)

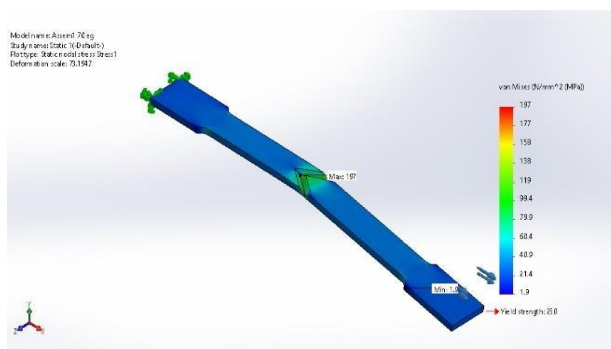
Hasil simulasi yang dilakukan di software solidworks dengan spesimen baja karbon rendah, berikut adalah hasil simulasi dengan mencari nilai tegangan maksimal dan minimal serta konsentrasi tegangan pada area pengelasan.



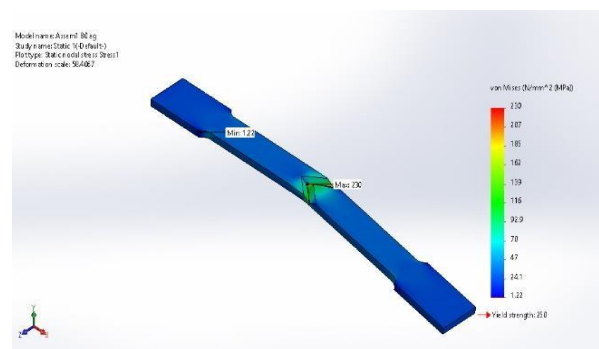
Gambar 7. Hasil Nilai Tegangan Pada Spesimen 50°



Gambar 8. Hasil Nilai Tegangan Pada Spesimen 60°



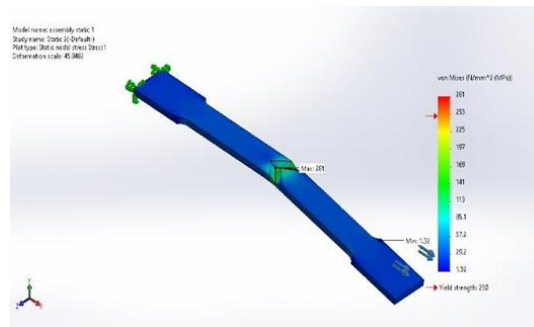
Gambar 9. Hasil Nilai Tegangan Pada Spesimen 70°



Gambar 10. Hasil Nilai Tegangan Pada Spesimen 80°

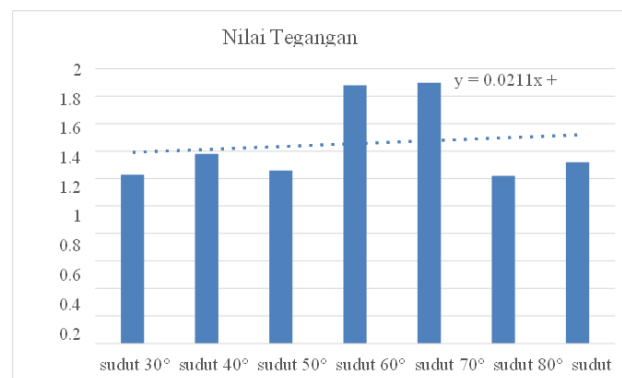


copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



Gambar 11. Hasil Nilai Tegangan Pada Spesimen 90°

Berdasarkan hasil simulasi pada setiap spesimen memiliki tingkat perbedaan dari nilai tegangan yang diuji mengalami perubahan yang memiliki nilai minimum dan maksimum. Seperti terlihat pada spesimen Gambar 11 memiliki nilai tegangan maksimal sebesar 281 MPa yang terjadi pada sudut 90°, dan tegangan minimum pada spesimen Gambar 5 dengan sudut 30° mempunyai nilai sebesar 92,6 MPa. Pada Gambar 12 adalah grafik nilai tegangan maksimal dan minimal yang diberi beban sama yaitu sebesar 10.000 N.

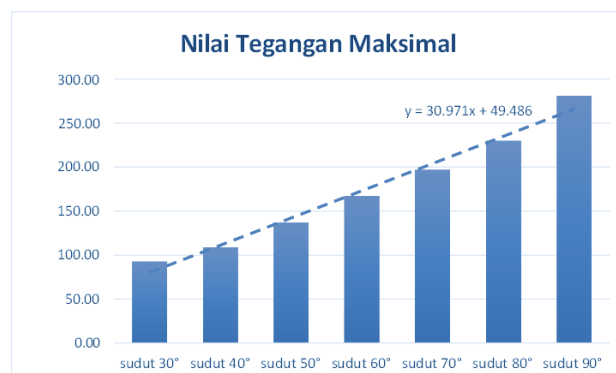


Gambar 12. Grafik Nilai Tegangan Minimal

Dari Gambar 12 ditunjukkan sebuah grafik hubungan antara sudut (dalam derajat) dan nilai tegangan minimal (dalam N/mm² atau MPa). Berdasarkan data pada grafik, dapat disimpulkan bahwa:

- Nilai tegangan minimal bervariasi dengan perubahan sudut.
- Sudut 70° memiliki nilai tegangan minimal tertinggi, yaitu sekitar 1,9 MPa.
- Sudut 40° dan sudut 90° memiliki nilai tegangan minimal yang hampir sama, yaitu sekitar 1,5 MPa.
- Terdapat tren peningkatan nilai tegangan minimal yang diwakili oleh persamaan regresi linier $y=0.0211x+1.3714$

Secara keseluruhan, meskipun terdapat fluktuasi nilai tegangan minimal pada berbagai sudut, terdapat kecenderungan peningkatan nilai tegangan minimal seiring dengan bertambahnya sudut, sesuai dengan persamaan regresi yang diberikan.



Gambar 13. Grafik Nilai Tegangan Maksimal

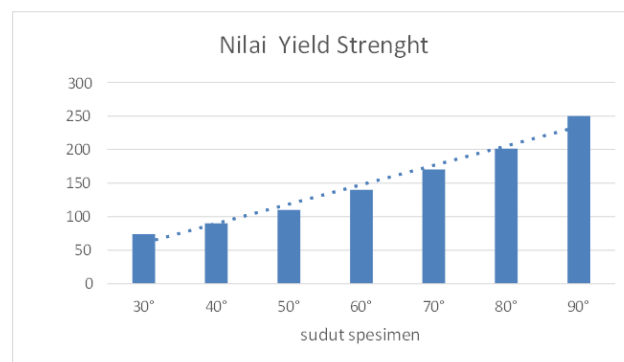


copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Dari Gambar 13 ditunjukkan grafik hubungan antara sudut (dalam derajat) dan nilai tegangan maksimal (dalam N/mm² atau MPa). Berdasarkan data pada grafik, dapat disimpulkan bahwa:

- Nilai tegangan maksimal meningkat seiring dengan bertambahnya sudut.
- Pada sudut 30°, nilai tegangan maksimal terendah adalah 92,6 MPa.
- Nilai tegangan maksimal terus meningkat pada sudut 40°, 50°, 60°, 70° dan 80° mencapai puncaknya pada sudut 90° dengan 281 MPa.
- Tren peningkatan nilai tegangan maksimal dapat direpresentasikan oleh persamaan regresi linier $y=30.971x+49.486y$

Secara keseluruhan, terdapat korelasi positif antara sudut dan nilai tegangan maksimal, dimana nilai tegangan maksimal cenderung meningkat secara signifikan dengan bertambahnya sudut.

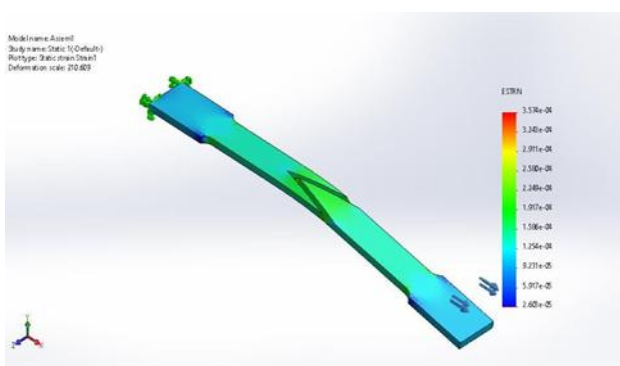


Gambar 14. Grafik Nilai *Yield Strenght*

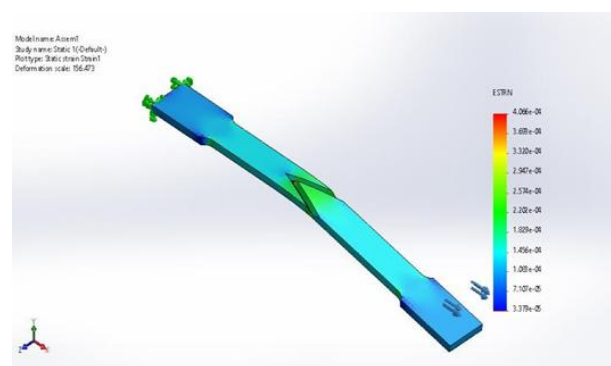
Pada Gambar 14 ditunjukkan grafik hubungan antara sudut pengelasan (dalam derajat) dengan nilai tegangan regangan (*yield strength*) yang diukur dalam N/mm² (MPa). Dari grafik tersebut, terlihat bahwa nilai tegangan regangan meningkat seiring dengan bertambahnya sudut pengelasan. Pada sudut 30°, nilai tegangan regangan adalah sekitar 70 MPa. Nilai ini terus meningkat hingga mencapai sekitar 250 MPa pada sudut 90°. Garis putus-putus pada grafik menunjukkan tren peningkatan tegangan regangan dengan bertambahnya sudut pengelasan, mengindikasikan bahwa sudut pengelasan yang lebih besar cenderung menghasilkan nilai tegangan regangan yang lebih tinggi.

3.2. Hasil Pengujian Regangan (*Strain*)

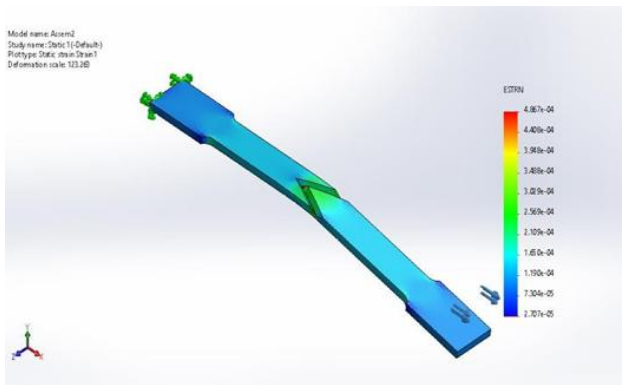
Berikut adalah hasil nilai regangan yang didapat dari *software solidworks* dengan nilai beban yang diberikan sama yaitu sebesar 10.000 N.



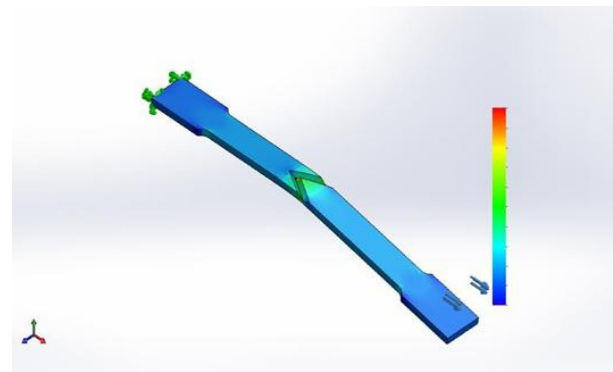
Gambar 15. Hasil Nilai Regangan Pada Spesimen 30°



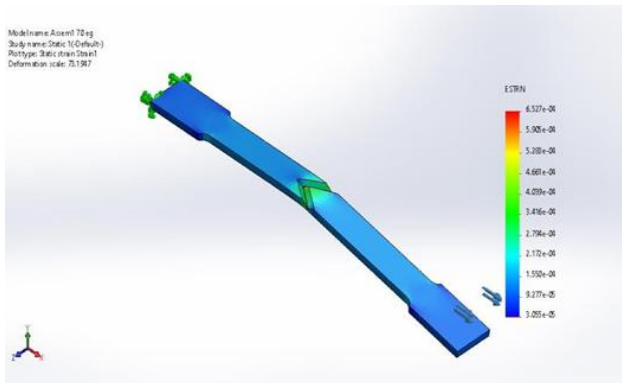
Gambar 16. Hasil Nilai Regangan Pada Spesimen 40°



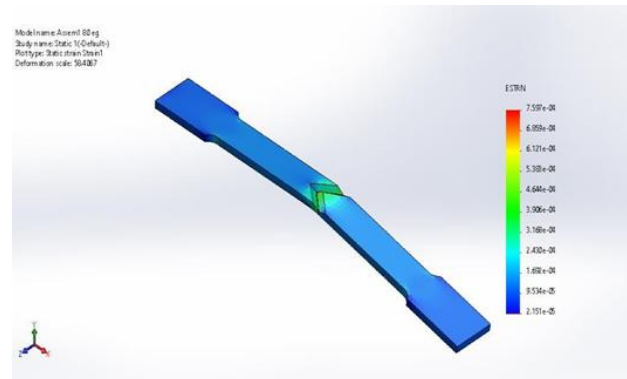
Gambar 17. Hasil Nilai Regangan Pada Spesimen 50°



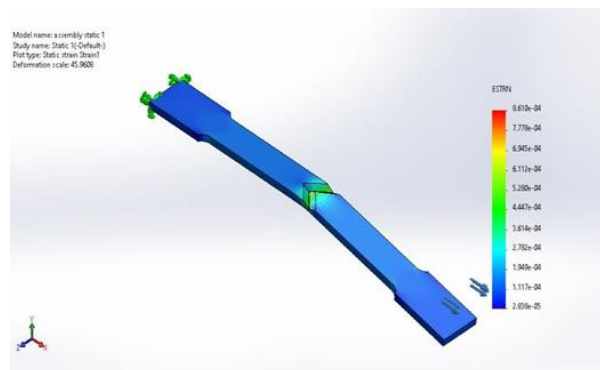
Gambar 18. Hasil Nilai Regangan Pada Spesimen 60°



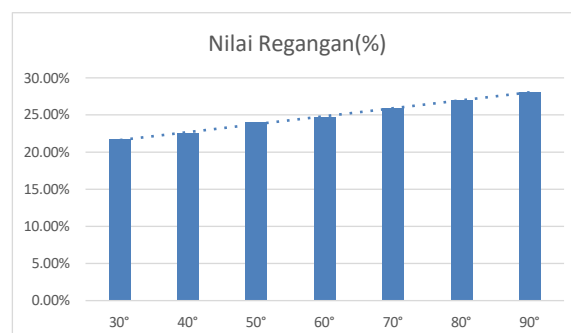
Gambar 19. Hasil Nilai Regangan Pada Spesimen 70°



Gambar 20. Hasil Nilai Regangan Pada Spesimen 80°



Gambar 21. Hasil Nilai Regangan Pada Spesimen 90°

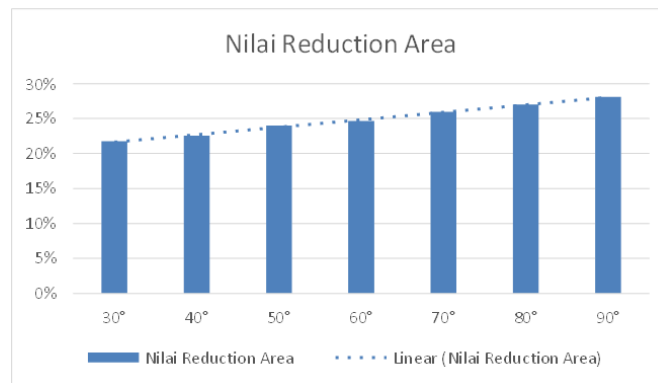


Gambar 22. Grafik Nilai *Yield Strenght*

Berdasarkan Gambar 22 ditunjukan grafik regangan dalam persentase yang mana semakin besar sudut nya semakin berkurang perpanjangan yang dialami spesimen baja tersebut. Di dalam grafik ditunjukkan nilai terbesar ada pada sudut 90° yaitu 28,09% dan yang terkecil pada sudut 30° dengan nilai 21,74%.



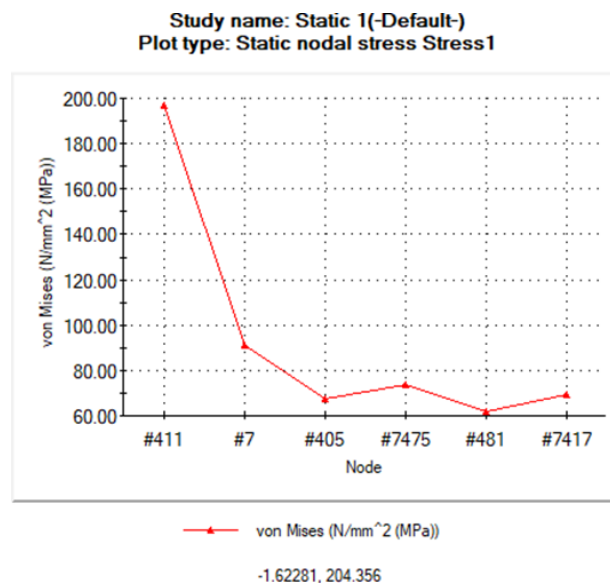
copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



Gambar 23. Grafik Nilai *Reduction of Area*

3.3. Hasil Analisa Konsentrasi Tegangan

Hasil simulasi di daerah yang telah dilakukan pengelasan menunjukkan adanya fokus pada analisis tegangan dan regangan untuk menentukan dampaknya pada bagian yang disambungkan melalui proses pengelasan. Setiap titik pengambilan data memberikan informasi mengenai konsentrasi tegangan dan regangan yang disimulasikan, mempermudah pemahaman tentang tingkat tegangan dan regangan yang terjadi. Gambar 24 memberikan petunjuk distribusi tegangan dan regangan hasil simulasi.



Gambar 24. Grafik Nilai Konsentrasi Tegangan Spesimen Sudut 70°

Berdasarkan hasil simulasi yang sudah di uji memiliki nilai tegangan yang sudah diberi titik node pada area yang berdekatan dengan area pengelasan. Titik konsentrasi tegangan bisa dilihat pada Gambar 24 dimana memiliki nilai minimum 60 MPa dengan titik node #481 dan nilai maksimum 197 MPa dengan titik node #411.

4. CONCLUSION

Dari hasil pengujian melalui software Solidworks diperoleh nilai perbandingan dengan sudut pemotongan 30o, 40o, 50o, 60o, 70o, 80o dan 90o dengan menggunakan material plat baja karbon rendah yaitu ASTM A36 dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Metode elemen hingga telah digunakan untuk memodelkan dan menganalisis distribusi tegangan pada plat kapal dengan berbagai sudut pemotongan.



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

- Simulasi dilakukan pada sudut pemotongan mulai dari 30° hingga 90° dengan interval 10° untuk mendapatkan gambaran lengkap mengenai pengaruh sudut pemotongan terhadap distribusi tegangan.
- Berdasarkan pengujian tarik simulasi dengan beberapa variasi sudut menghasilkan nilai tegangan yang berbeda-beda. Ditemukan nilai tegangan minimum pada variasi sudut 30 derajat dengan nilai 92,6 N/mm² dan nilai tegangan maksimum pada variasi sudut 90 derajat dengan nilai 281 N/mm².
- Berdasarkan rumus tegangan yang mempengaruhi nilai tegangan adalah luas penampang spesimen, dengan itu maka karena luas penampang sudut 90 lebih kecil maka memiliki nilai tegangan yang terbesar.
- Dengan beberapa variasi sudut tersebut untuk yang memenuhi standar dari BKI adalah sudut 80o dan sudut 90o dengan masing masing mempunyai nilai yield strength yang memenuhi standar yang ditetapkan oleh klasifikasi.
- Untuk memastikan keamanan dan ketahanan plat kapal, disarankan agar pemotongan plat dilakukan pada sudut 80° atau 90°. Sudut-sudut ini tidak hanya memenuhi standar BKI tetapi juga menunjukkan distribusi tegangan yang lebih stabil dan merata, mengurangi risiko kegagalan material.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abidin, M.Z.A.Z., & Adji, S.W., “Analisa *Performance Propeller B-Series* dengan Pendekatan *Structure dan Unstructure Meshing*”, Jurnal Teknik ITS, 1(1), G241-G246, 2012.
- [2] Akin, J. E., “*Finite Element Analysis Concepts: Pada Spesimen Via SolidWorks*”, USA: *World Scientific Publishing*, 2010.
- [3] Alip, M., “Teori dan Praktik Las”, Penerbit: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, 1989.
- [4] Anggraini, R., Hidayat, M.I.P., & Kurniawan, B.A., “Analisis Frekuensi Optimum Pengujian *Horizontal Fatigue* Pada Berbagai Rangka Sepeda Tipe *Trekking* dengan Metode Elemen Hingga”, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November 2016.
- [5] Bachtiar, “Modul Ajar Praktek Las”, Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, 2012.
- [6] Komara, A.I., “Aplikasi Metoda VDI 2222 Pada Proses Perancangan *Welding Fixture* untuk Sambungan Cerobong dengan Teknologi CAD/CAE”, *Cylinder: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 1(2), 1-8, 2014.
- [7] Ma'arif, S., “Distribusi Tegangan Pada Sambungan Las *Dissimilar* Antara ASTM A36 Steel dan AISI 304 dengan *Solidworks*”, *Seri Seminar Nasional Universitas Tarumanagara (SERINA UNTAR 2022)* Hal. 307-316, 2022.
- [8] Munir, A., “Analisa *Buckling* Pada Material ASTM 304 dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga”, (*Doctoral Dissertation*), Surabaya: Universitas Muhammadiyah Surabaya, 2019.
- [9] Sasmito, A., “Disain Kekuatan Sambungan *Hoop Pillar* dan *Floor Bearer* Pada Struktur Rangka Bus Menggunakan *Solidworks*”, *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, 9(1), 657- 670, 2018.
- [10] Siswanti, H., & Musta'in, M., “Analisis Tegangan dan Deformasi Pada *Plat Sandwich* Struktur Kapal yang Mengalami Kerusakan Retak Pada *Core Material*”, *Wave: Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*, 16(1), 33-42, 2022.
- [11] Suwahyo, N.M., “Mengelas dengan Las Busur Listrik Manual:”, Yogyakarta: Insania, 2011.
- [12] Wijaya, F., “Pengaruh Variasi Sudut Sambungan Pelat Badan Kapal Pada *Replating* Terhadap Kekuatan Mekanik Pengelasan SMAW”, (Skripsi - S1) Surabaya: Universitas Hang Tuah, 2020.
- [13] Wiryosumarto, H., Okumura, T., “Teknologi Pengelasan Logam”, Jakarta: PT Pradnya Paramita, 2000.

