

ISSN 2087-3336 (Print) | 2721-4729 (Online)

TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi dan Informatika

Volume 10, Nomor 1, Januari 2023, hlm. 38-50

<http://jurnal.sttcileungsi.ac.id/index.php/tekno>

DOI: 10.37373

Analisis static pada aluminium 5052 dengan variasi sudut menggunakan solidworks

Solidworks static study of aluminum 5052 at various angles

Joni Arif*, Pungkas Prayitno, Halan Al Hafidh

*Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sutomo, Indonesia

*Jl. Raya Jakarta km 5, No.6, Kalodran, Kec. Walantaka, Kota Serang, Banten, Indonesia 42183

*Koresponden email: Joniarif10105@unpam.ac.id

Artikel dikirim: 07/28/2022

Artikel direvisi: 25/08/2022

Artikel diterima: 26/08/2022

ABSTRAK

Pengelasan merupakan proses penyambungan secara permanen atau lebih material logam dengan ikatan metalurgi yang dihasilkan pada waktu logam dalam keadaan lumer atau cair. AA5052 jenis paduan dengan kekuatan tertinggi dari kelas yang lebih tidak dapat diolah panas. Kekuatan kelelahannya lebih tinggi dari kebanyakan kelas aluminium lainnya. Alloy 5052 memiliki ketahanan yang baik terhadap atmosfer laut dan korosi air asin, serta kemampuan kerja yang sangat baik. Itu dapat dengan mudah di gambar atau dibentuk menjadi bentuk yang rumit. *Finite Element Analysis (FEA)* jenis perangkat lunak yang memudahkan untuk menganalisa simulasi diantaranya *solid mechanics, thermal analysis, heat transfer, fluid mechanics, electromagnetics*. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui beban dan pengaruh tegangan pada variasi kampuh dengan pengujian *static* di solidworks, serta untuk mengetahui pengaruh beban dan tegangan terhadap faktor keamanan pada variasi sudut kampuh menggunakan solidworks. Metode yang digunakan melalui pendekatan 3D, membuat mesh, membuat simulasi beban *static*. Hasil analisis tegangan maksimum untuk sudut 60° sebesar 33.146 Mpa, sudut 70° sebesar 33.059 Mpa, sudut 80° sebesar 33.006 Mpa, sudut 90° sebesar 33.078 Mpa dan tegangan minimum sudut 60° sebesar 0.571 Mpa, sudut 70° sebesar 0.193 Mpa, sudut 80° sebesar 0.559 Mpa, sudut 90° sebesar 0.518 Mpa. Perubahan (*displacement*) maksimum sehingga terjadi deformasi plastis ditunjukkan dengan warna merah 0.010 mm dan perubahan minimum ditunjukkan dengan warna biru 0,001 mm. Dari analisis yang dilakukan, perubahan yang diijinkan ketika dikenai beban yaitu dengan jarak *displacement* 0,07 mm. Hasil analisa ini diharapkan dapat menjadi masukan yang baik untuk struktur yang sudah dibuat maupun yang akan dikembangkan baik dalam proses keselamatan maupun pemilihan material.

Kata kunci: Beban static; *finite element analysis*; aluminium 5052; simulasi.

ABSTRACT

In the process of welding, metallic materials are permanently joined or joined together via metallurgical bonds created when the metal is molten or liquid. The least heat treatable alloy kind, AA5052, has the maximum strength. In comparison to most other aluminum grades, it has a higher fatigue strength. Alloy 5052 has great workability and good resistance to saltwater and marine atmosphere corrosion. It is simple to sketch or form into intricate shapes. Software known as Finite Element Analysis (FEA) makes it simple to evaluate simulations in a variety of fields, such as solid mechanics, thermal analysis, heat transport, fluid mechanics, and electromagnetics. With static testing on Solidworks, this study aimed to evaluate the load and the influence of stress on the variation of the seam as well as the impact of load and stress on the safety factor on variations in the angle of the seam. A mesh is created using a 3D methodology to simulate a static load. The results of the analysis show that the maximum stress at 60 degrees, 70 degrees, 80 degrees, and 90 degrees is 33,146 MPa, the minimum stress at 60 degrees is 0.571 MPa, the maximum stress at 70 degrees is 0.193 MPa, the maximum stress at 80 degrees is 0.559 MPa, and the minimum stress at 90 degrees is 0.518 MPa. maximal displacement. The minimum change is displayed in blue and the minimum displacement at which plastic deformation takes place is shown in red. Based on the analysis completed, a displacement distance of 0.07 mm is the maximum



TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi & Informatika is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

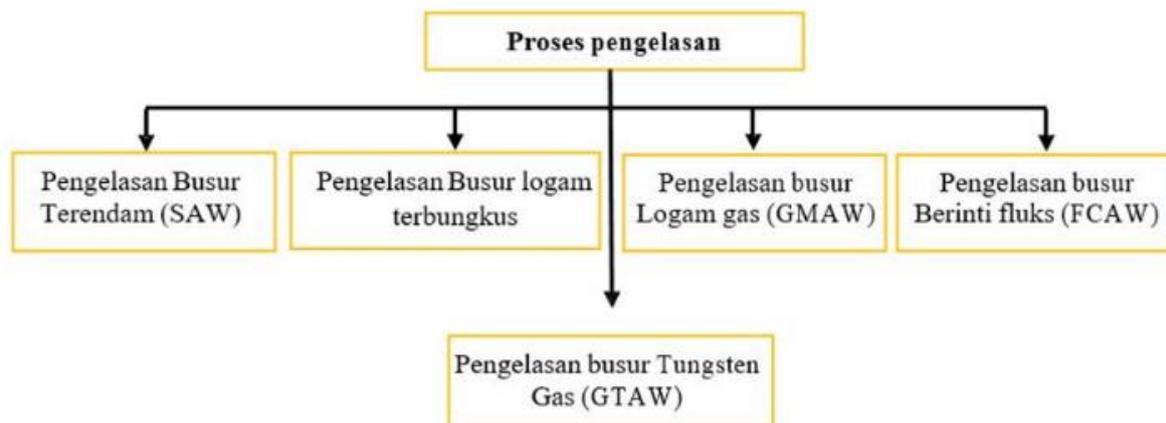
change that can occur when a load is applied. The outcomes of this research should provide useful information for existing or future constructions, both in terms of the choice of materials and the safety process.

Keywords: Simulation; aluminum 5052; finite element analysis; static load.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di bidang konstruksi semakin maju tidak dapat dipisahkan dari pengelasan karena mempunyai peranan penting dalam rekayasa dan reparasi logam. Pengelasan merupakan proses penyambungan secara permanen atau lebih material logam dengan ikatan metalurgi yang dihasilkan pada waktu logam dalam keadaan lumer atau cair [1]. Guna memperoleh hasil yang maksimal diperlukan pengetahuan yang mendalam baik pengetahuan tentang material maupun pengetahuan tentang proses pengelasan [2].

Pengelasan adalah salah satu metode untuk menyambung logam yang paling populer dan paling sering ditemui. Perkembangan saat ini, aplikasi pengelasan sering dihadapkan pada sambungan logam tidak sejenis atau dissimilar. Secara umum las dibedakan dalam 4 kelompok yaitu, *Gas Welding*, *Arc Welding* (Las Listrik), Las Tekan, dan las *high-Energy beam welding* [3]. Ke-4 kelompok pengelasan tersebut masih terdapat jenis-jenis pengelasan di setiap kelompoknya, seperti kelompok Arc Welding yang paling umum digunakan oleh individu maupun industry memiliki beberapa jenis metode, antara lain; *Shielded metal arc welding* (SMAW), *Gas-tungsten arc welding* (GTAW), *Gas-metal arc welding* (GMAW), *Flux-cored arc welding* (FCAW), *Submerged arc welding* (SAW) [4]. Beberapa klasifikasi proses pengelasan, antara lain lihat gambar 1.



Gambar 1. Pembagian proses pengelasan

Paduan AA5052 jenis paduan pada kekuatan tertinggi dari kelasnya sebesar 170 Mpa, yang lebih tidak dapat diolah panas. Kekuatan kelelahannya lebih tinggi dari kelas aluminium lainnya. Alloy 5052 memiliki ketahanan yang baik terhadap atmosfer laut dan korosi air asin, serta kemampuan kerja yang sangat baik.

Beberapa *software* yang pernah digunakan untuk simulasi hasil pengelasan antara lain adalah ANSYS [5] dengan simulasi distribusi beban panas saat pengelasan. Software berikutnya adalah *Solidworks Simulation* [6] yaitu dengan simulasi pembebanan pada sambungan las jenis fillet. Selain itu, software lainnya adalah Autodesk Inventor [7] yaitu analisis crane kapasitas 10 ton dengan metode elemen hingga. Ada juga software yang baru-baru ini digunakan untuk simulasi yaitu *MSC Mars* dan *Simufact Welding* [8] untuk simulasi sambungan las *butt joint*. Simulasi yang paling sering dilakukan adalah uji tarik [9] dan penyebaran panas [10].



SolidWorks salah satu *software* perangkat lunak berbasis otomasi dalam pembuatan model solid 3D [11]. *Finite Element Analysis* (FEA) perangkat lunak yang memudahkan untuk menganalisa *simulasi solid mechanics*, tetapi juga untuk *thermal analysis, heat transfer, fluid mechanics*, dan bahkan *electromagnetics*. Terdapat 3 langkah utama yang harus diketahui yaitu: *Pre processing*, Solusi, dan *Post processing*. Dalam suatu model dalam proses sangatlah penting. Serta dalam sebuah solusi elemen hingga sempurna dihitung adalah benar tidak ada nilai, jika masalah tersebut salah [12]. Langkah tersebut meliputi: masalah menentukan geometris, elemen jenis (s) yang digunakan, sifat dari unsur-unsur material yang digunakan, sifat geometris pada elemen (panjang, luas, dan sejenisnya), mesh model, kondisi batas serta beban yang dianalisis [11], [13].

Penelitian simulasi pengelasan yang dilakukan dengan *software Solidworks* antara lain adalah perancangan *welding fixture* untuk sambungan cerobong [14], desain kekuatan sambungan hoop pillar dan *floor bearer* pada struktur rangka bus [15], analisis statis pada mesin penghalus *roll conveyor* [16], Oleh karena itu, *software solidworks* sudah terbukti bisa digunakan untuk melakukan analisis simulasi proses pengelasan.

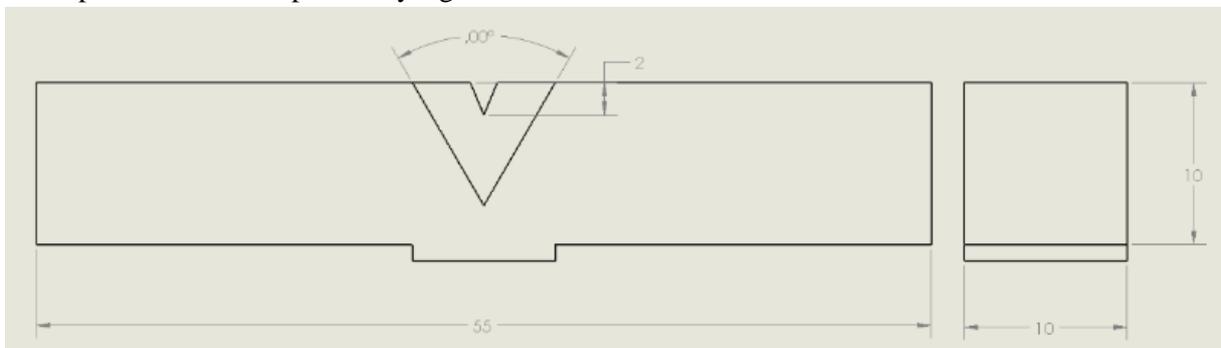
Penelitian ini memiliki beberapa hal yaitu berkaitan dengan Bagaimana menganalisa statis pada material AA5052 dengan variasi sudut dengan menggunakan salah satu perangkat lunak (*software*) *solidworks* 2017. Tujuan penelitian untuk mengetahui beban dan pengaruh tegangan pada variasi kampuh dengan pengujian static di *solidworks* serta untuk mengetahui pengaruh beban dan tegangan terhadap faktor keamanan pada variasi sudut kampuh menggunakan *solidworks*. Manfaat penelitian yang berkaitan dengan pembebanan secara statis menggunakan pemodelan dalam *software engineering* dan nilai bagaimana reaksi dan nilai yang didapat dengan menggunakan *software solidworks* 2017.

Berdasarkan latar belakang diatas, peneliti ingin mengetahui sebab-sebab yang mempengaruhi kekuatan dari penyambungan (pengelasan), penelitian ini akan memvariasikan sudut kampuh V yang berbeda dengan simulator *solidworks* 2017.

2. METODE PENELITIAN.

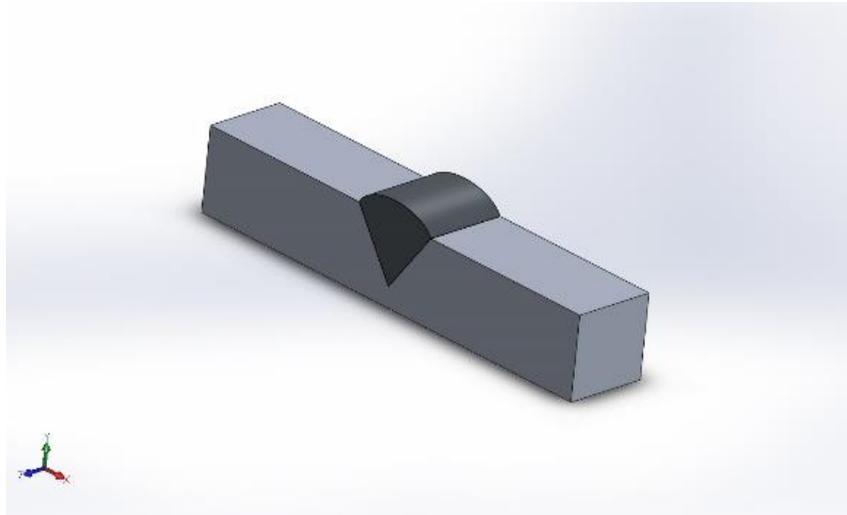
Penelitian ini menggunakan dua metode, yaitu metode studi literatur dan simulasi *software engineering*. Metode studi literatur dilakukan dengan mempelajari referensi yang menunjang pengamatan dan penelitian tentang analisa struktur pembebanan di pengelasan. Metode simulasi dilakukan dengan menggunakan salah satu perangkat lunak (*software*) pada komputer yaitu *solidworks simulation* 2017. Metode ini dilakukan untuk melihat dan mengamati perubahan (*deformasi*) yang terjadi pada saat simulasi dilakukan.

2.1 Spesifikasi model spesimen yang akan di simulasi



Gambar 2. Model spesimen dalam bentuk 2D

Gambar 2 menjelaskan spesifikasi dan ukuran yang akan digunakan dalam penelitian ini. Dengan ukuran P x L x T (55 mm x 10 mm x 10 mm), ukuran variasi sudut 60°, 70°, 80°, 90° sedangkan gambar 3 menjelaskan model bentuk 3D yang akan digunakan dalam simulasi.



Gambar 3. Model spesimen menggunakan *software solidworks*

2.2 Mechanical properties AA5052

Tabel 1. *Mechanical properties AA5052*

Property	Value	Units
Elastic Modulus	70000	N/mm ²
Poisson's Ratio	0.33	N/A
Shear Modulus	27000	N/mm ²
Mass Density	2840	kg/m ³
Tensile Strength	170	N/mm ²
Compressive Strength		N/mm ²
Yield Strength	70	N/mm ²
Thermal Expansion Coefficient	2.23e-005	/K
Thermal Conductivity	170	W/(m·K)
Specific Heat	864	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A

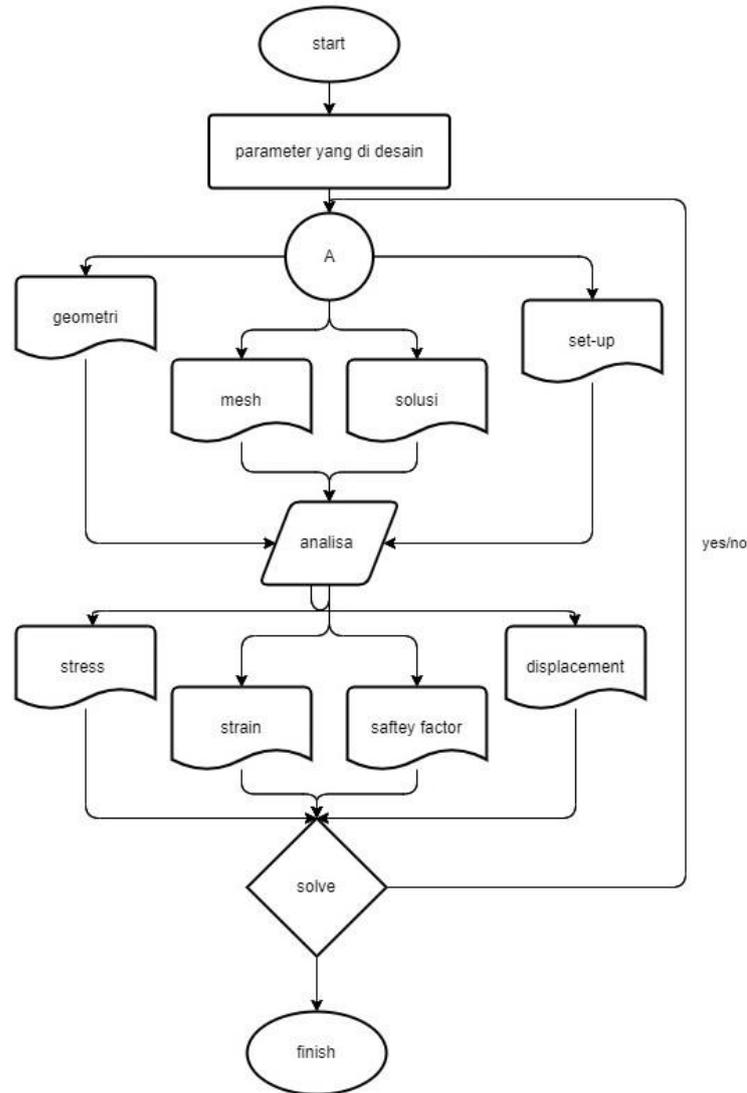
Dengan menggunakan tabel 1 sifat-sifat dari bahan yang berkaitan dengan kelakuan (behavior) terhadap pembebanan mekanik pada material sebab agar peneliti mudah untuk mengetahui jenis kekuatan maupun spesifikasi yang dibutuhkan untuk penelitian ini.

2.3 Diagram alir simulasi

Tahapan-tahapan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- a. Menentukan parameter design dimana sebelum pembuatan dan simulasi.
- b. Menentukan geometri, dimana bertujuan untuk menentukan titik atau bagian mana yang menjadi pondasi atau terkunci.
- c. Menentukan mesh, untuk bertujuan seberapa padat material yang akan di teliti (simulasi).
- d. Menentukan solusi, dimana bertujuan mendapatkan hasil sebelum simulasi yang setup.
- e. Menentukan setup, bertujuan memeriksa hasil sebelum dianalisis.
- f. Dianalisa disesuaikan dari parameter dari geometri, mesh, solusi, set-upnya.
- g. Menampilkan hasil simulasi, pada tahap ini ditampilkan hasil dari simulasi yang telah dilakukan.

- h. Analisis diantaranya *stress*, *strain*, *safety factor*, *displacement*, tahap ini adalah tahap terakhir yang berisi analisis simulasi yang telah dilakukan.
- i. Melakukan simulasi input, pada tahap ini dipastikan apakah input yang dimasukkan sudah sesuai dengan yang ditentukan. Apabila sudah sesuai, maka akan dilanjutkan ke tahap selanjutnya, namun apabila belum sesuai harus diulangi dari proses.



Gambar 4. Diagram alir

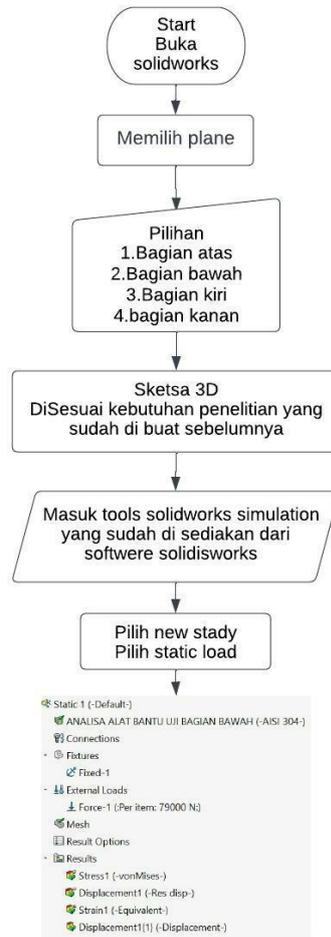
2.4 Langkah pemodelan dan simulasi

Langkah-langkah pada gambar 5 adalah langkah bagan pemodelan dan cara simulasi pengujian dalam *software simulation* adalah:

Langkah pemodelan dan simulasi:

1. Membuka solidworks 2017.
2. Pilih "folder part" yang telah dibuat sebelumnya.
3. Pilih plane posisi yang akan dipilih.
4. Pilih posisi "3D"
5. Lalu masuk toolbar bagian atas solidworks add-ins setelah itu klik "solidworks simulation".
6. Pilihan "fixture" lalu klik "fixed geometry"
7. Pilih "new study" bagian atas toolbar.

8. Pilih “static load” selanjutnya “*external load*” sesuai kebutuhan pada penelitian.
9. Pilih “*mesh*” untuk melihat kerapatan material.
10. Setelah itu disimulasikan



Gambar 5. Bagan langkah langkah simulasi

Analisis simulasi dilakukan dengan menggunakan *fitur statis* oleh *software SolidWorks 2017*. Simulasi dengan software ini berguna menjalankan analisis untuk membuktikan validitas dari sebuah desain [17]. Hasil data dari fitur statis ini yaitu dapat diketahui parameter nilai sebagai berikut:

- a) *Strain* (regangan) Regangan dapat dikatakan tingkat deformasi yang dapat memanjang, memendek, membesar, mengecil, dan sebagainya.
- b) *Displacement* (perpindahan) Yaitu perpindahan material dari titik awal ke titik akhir yang sudah terkena gaya tekan atau beban (*force*) dari proses pengepresan.
- c) *Stress* (tegangan) Tegangan itu sendiri merupakan gaya reaksi atau gaya yang bekerja untuk mengembalikan suatu benda, kepada bentuk semula persatuan luas yang terbagi rata pada permukaannya [18].

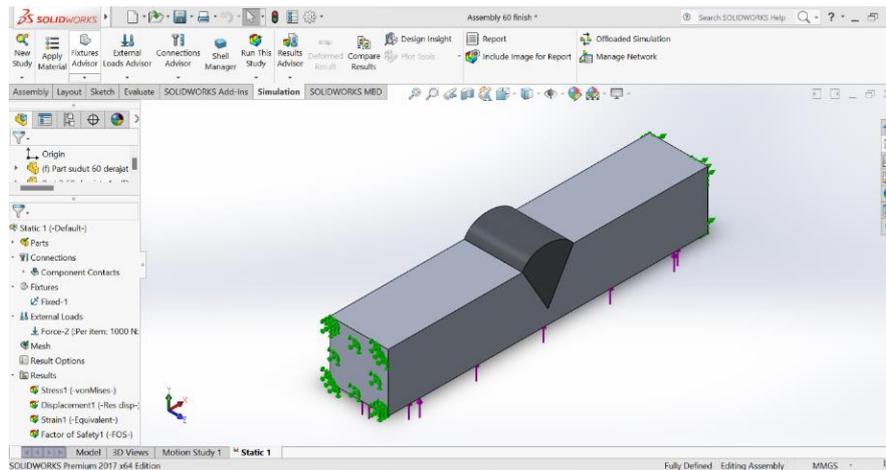
Selain itu, tujuan dari fitur ini yaitu untuk mengetahui tegangan yang dilakukan oleh *software SolidWorks* menggunakan metode analisis elemen hingga. Analisis elemen hingga merupakan teknik numerik matematis untuk menghitung kekuatan dan perilaku struktur komponen teknik dengan membagi objek menjadi bentuk jala (*mesh*). Analisis statis menggunakan metode elemen hingga yaitu teknik yang menentukan tegangan pada material dan struktur yang mengalami beban atau gaya statis maupun dinamis, sehingga mengetahui karakteristik kekuatan spesimen dalam menerima yang diakibatkan oleh setiap gaya yang bekerja pada spesimen tersebut [19].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah proses perhitungan dengan *software Solidworks 2017* telah selesai sampai akhir, maka hasil analisis dan simulasi dapat diketahui yaitu nilai-nilai maksimum dan minimum yang dapat dilihat secara langsung pada tampilan *Solidworks 2017*. Sedangkan untuk hasil yang lebih detail dapat dilihat dalam *stress analysis report* yang telah peneliti susun tersendiri dalam lampiran. Dari hasil analisa static dengan *software Solidworks 2017* dapat diketahui tegangan maksimal dan minimal yang terjadi pada struktur objek yang dianalisa tersebut.

3.1 Penentuan *restrain* (tumpuan)

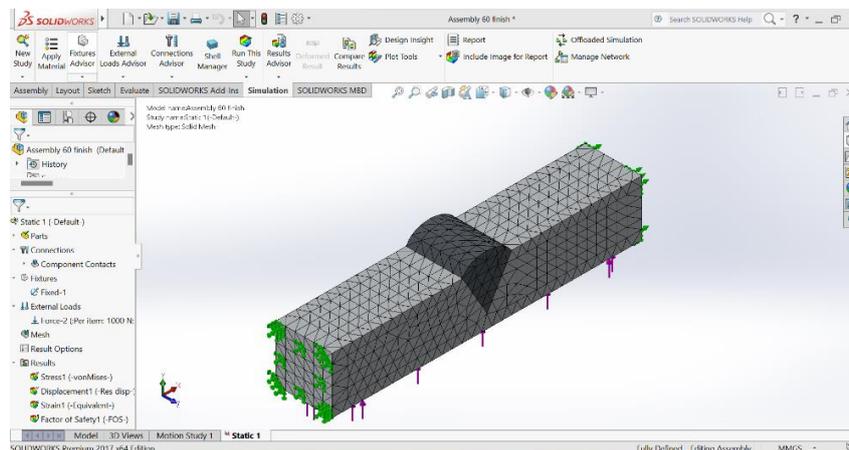
Tipe *restrain* yang digunakan adalah *fixed*. Lihat gambar 6 terdapat tumpuan dan torsi yang ditentukan.



Gambar 6. Tumpuan dan gaya yang ditentukan

3.2 *Mesh*

Lihat gambar 7 *meshing* merupakan proses membagi-bagi model/benda menjadi beberapa elemen yang dibatasi oleh suatu *boundary*. Tipe mesh yang digunakan adalah *Solid Mesh*.



Gambar 7. *Mesh*.

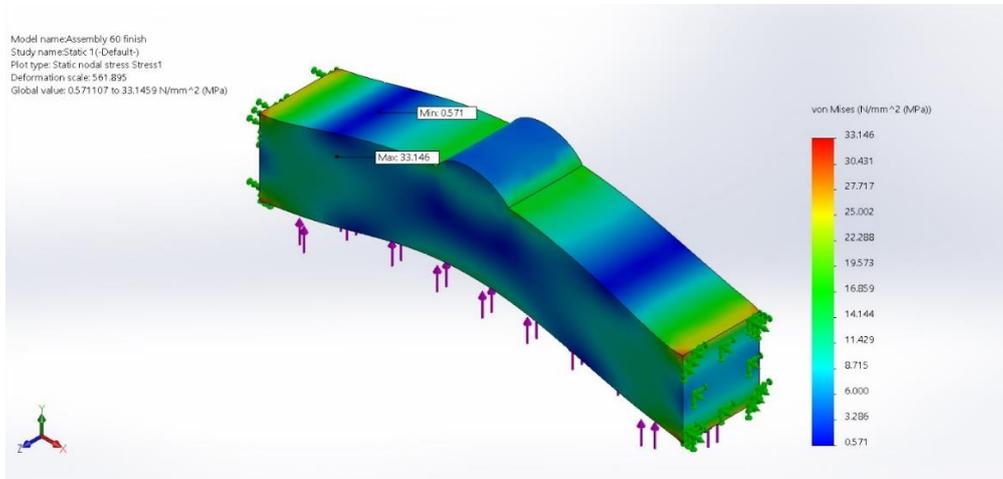
Spesimen yang sudah dilakukan proses running, maka akan diperoleh data simulasi:

- Stress* (tegangan) dengan tipe VON: *Von Mises Stress* (N/mm^2).
- Displacement* dengan tipe URES: *Resultant Displacement*.
- Strain* (regangan) dengan tipe ESTRN: *Equivalent Strain*.
- Factor of Safety* (FOS) atau faktor keamanan.

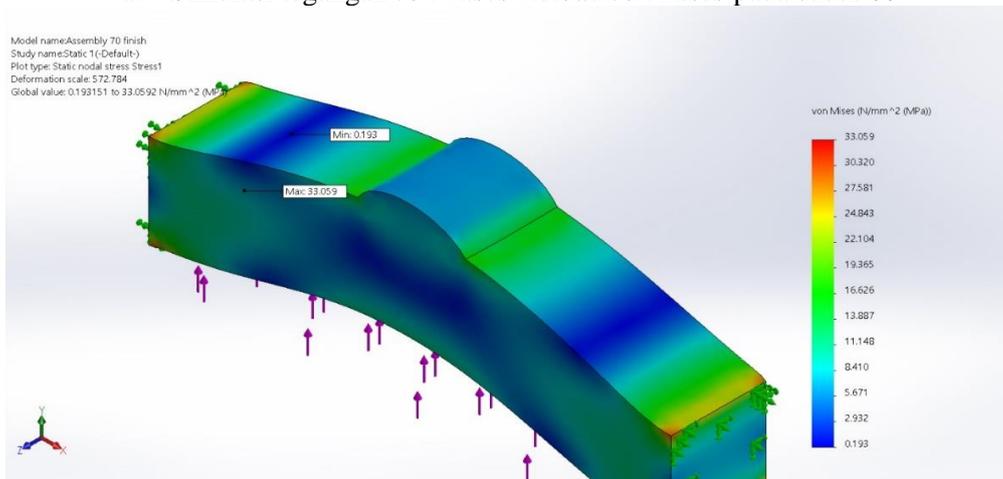
Kebutuhan dalam analisis uji *impact* pada spesimen ini adalah besarnya tegangan yang terjadi pada bagian impact (bagian A apabila dilihat pada gambar 1). Oleh karena itu, dari keempat data yang

dihasilkan, hanya akan menampilkan hasil simulasi stress untuk melihat distribusi tegangan dan simulasi *factor of safety* untuk melihat titik kritis spesimen. Hasil simulasi stress dengan variasi sudut kampuh yang diberikan dapat dilihat pada gambar 8.

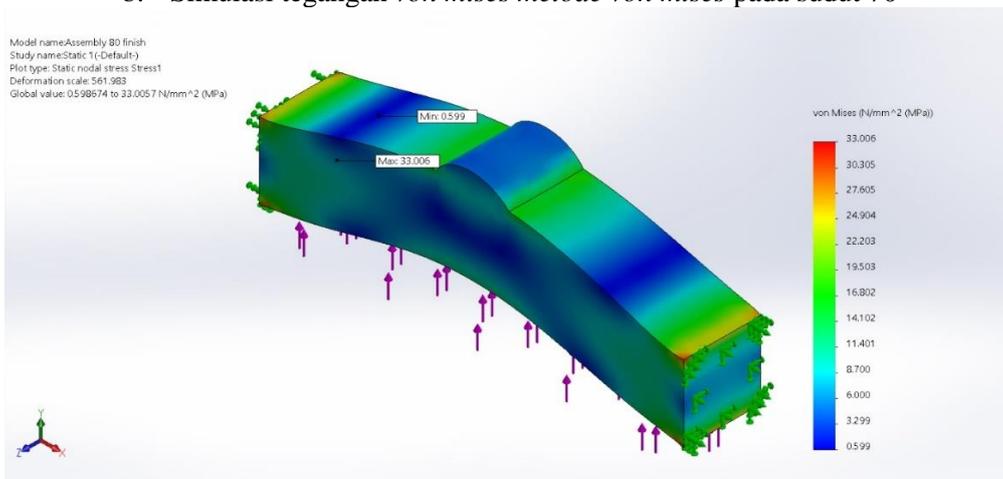
a) *Stress* (tegangan) dengan tipe VON: *Von Mises Stress* (N/mm^2)



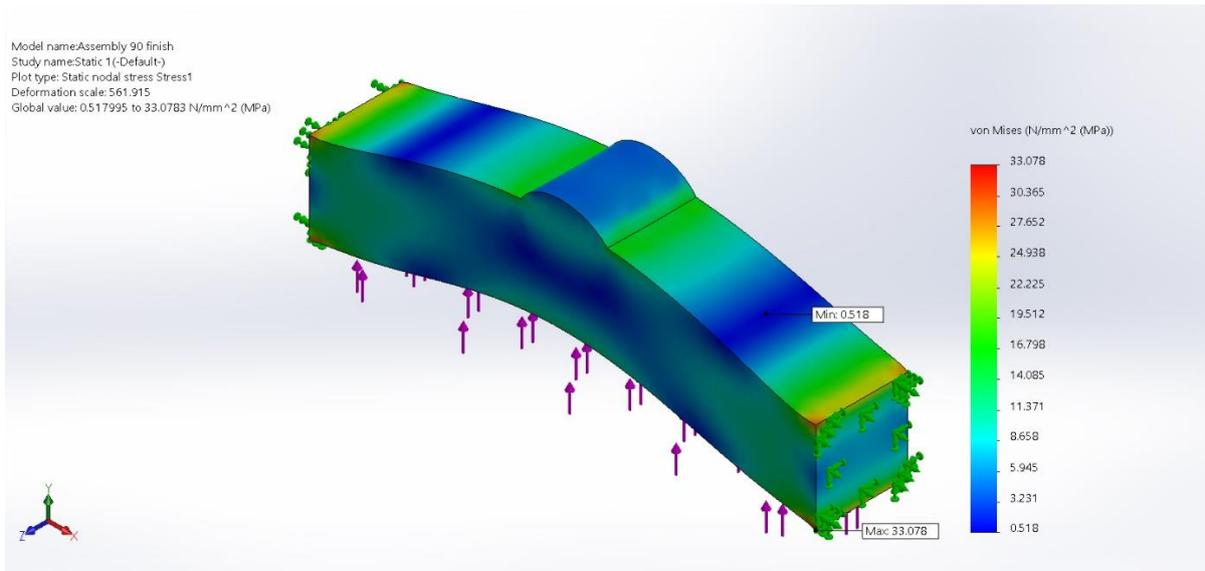
a. Simulasi tegangan *von mises* metode *von mises* pada sudut 60°



b. Simulasi tegangan *von mises* metode *von mises* pada sudut 70°



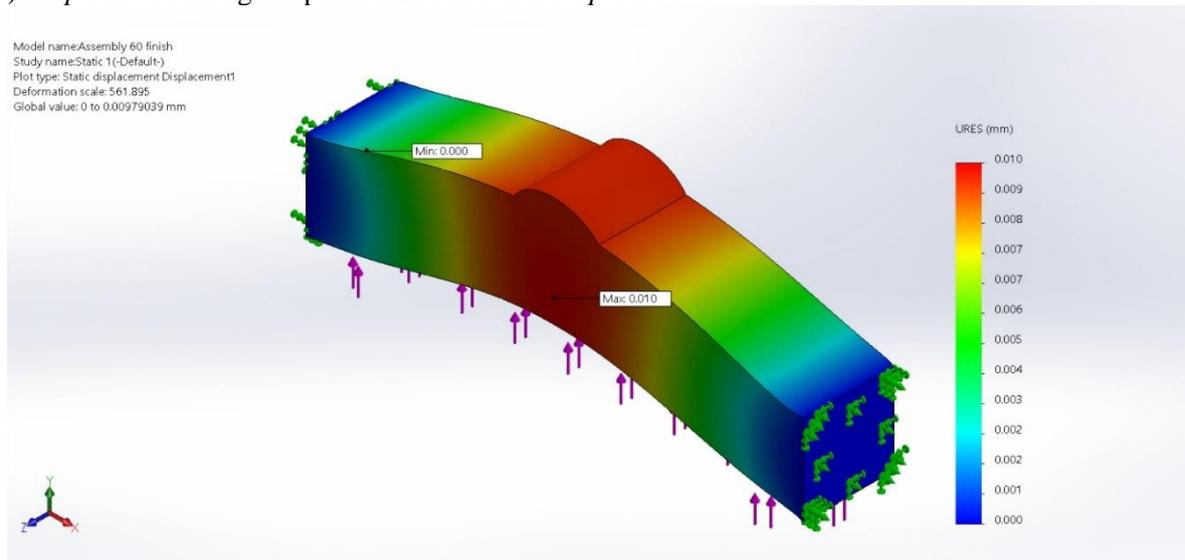
c. Simulasi tegangan *von mises* metode *von mises* pada sudut 80°

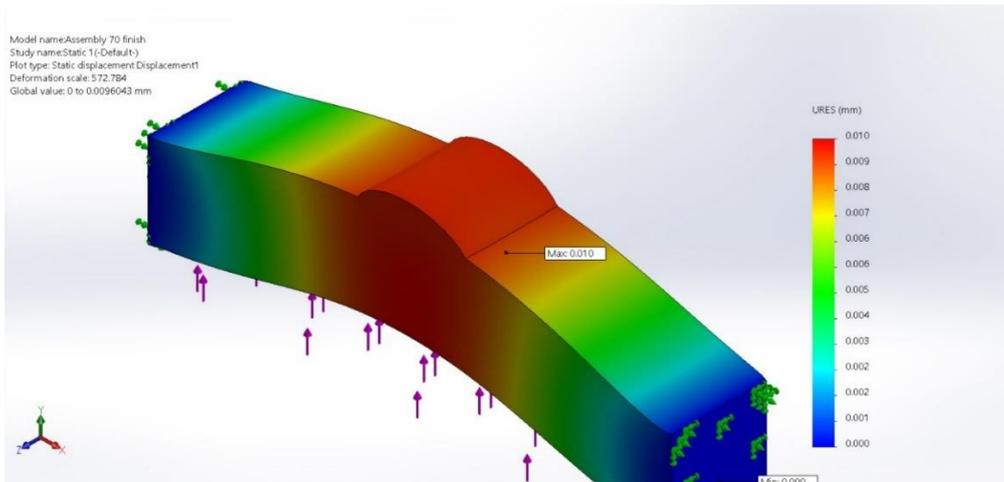
d. Simulasi tegangan *von mises metode von mises* pada sudut 90°Gambar 8. Hasil *simulasi stress* dengan variasi sudut kampuh

Analisis distribusi tegangan menggunakan *software Solidworks 2017*, ditunjukkan dengan warna merah pada tegangan maksimum, dan warna biru pada tegangan minimum. Dari analisis yang dilakukan didapatkan hasil tegangan maksimum dilihat dari kiri atas untuk sudut 60° sebesar 33.146 Mpa, sudut 70° sebesar 33.059 Mpa, sudut 80° sebesar 33.006 Mpa, sudut 90° sebesar 33.078 Mpa dan tegangan minimum sudut 60° sebesar 0.571 Mpa, sudut 70° sebesar 0.193 Mpa, sudut 80° sebesar 0.559 Mpa, sudut 90° sebesar 0.518 Mpa.

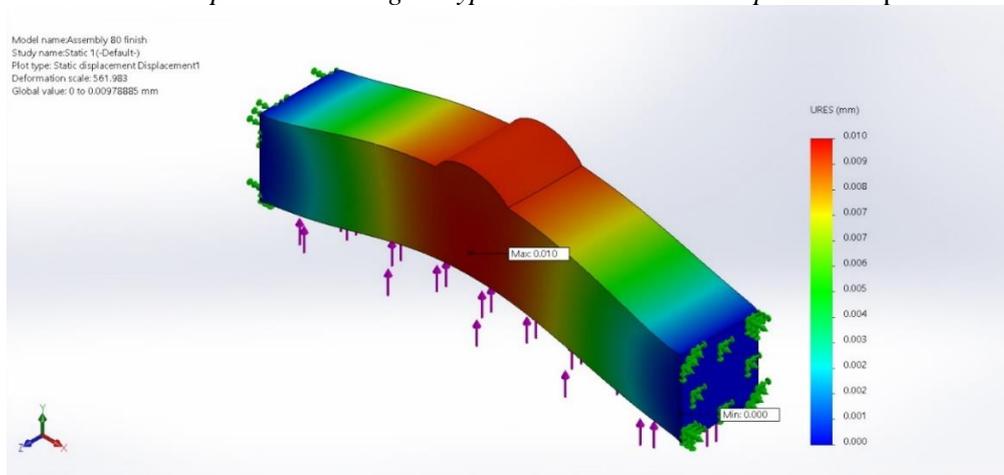
Gambar 9 dapat di analisis perubahan (*displacement*) maksimum sehingga terjadi deformasi plastis ditunjukkan dengan warna merah 0,010 mm dan perubahan minimum ditunjukkan dengan warna biru 0,001 mm. Dari analisis yang dilakukan, perubahan yang diijinkan ketika dikenai beban yaitu dengan jarak *displacement* 0,07 mm. Pada daerah berwarna biru muda adalah daerah elastis. Sedangkan daerah berwarna hijau adalah daerah transisi elastis dan plastis. Pada daerah kuning material sudah bersifat plastis atau tidak dapat dikembalikan ke bentuk semula.

b) *Displacement* dengan tipe URES: *Resultant Displacement*

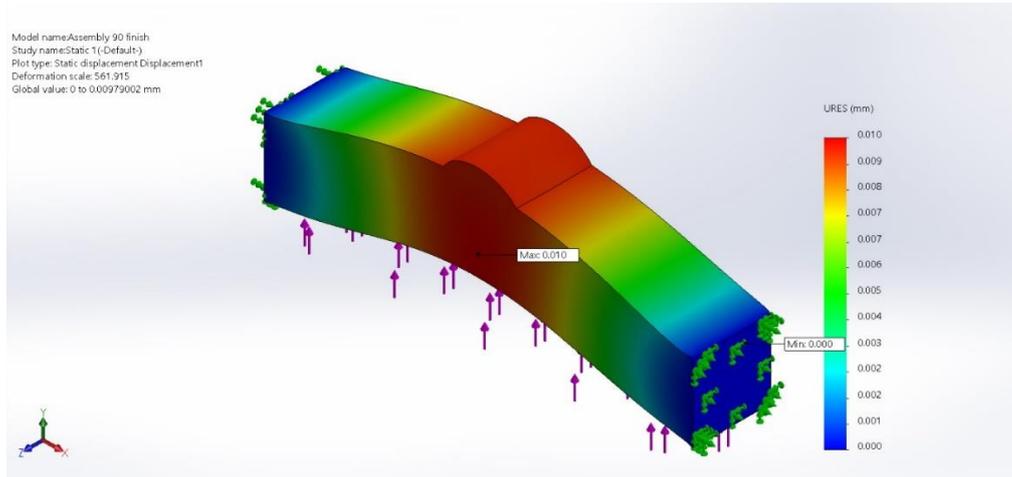
a. Simulasi *displacement* dengan tipe URES: *resultant displacement* pada sudut 60°



b. Simulasi *Displacement* Dengan Type URES: *Resultant Displacement* pada sudut 70°



c. Simulasi *displacement* dengan type URES: *resultant displacement* pada sudut 80°



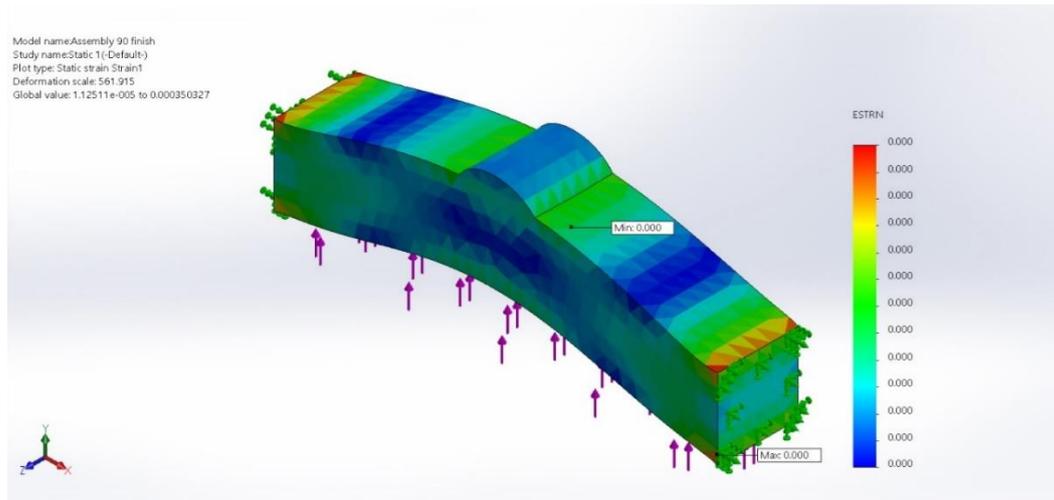
d. Simulasi *displacement* dengan type ures: *resultant displacement* pada sudut 90°

Gambar 9. Hasil *simulasi displacement* dengan variasi sudut kumpuh

Pada daerah merah material sudah mengalami fraktur atau patah. Perubahan diatas 1 mm material akan patah. Hal ini menunjukkan bahwa material dan spesimen yang akan dibuat dalam kategori aman.

c) *Strain* (regangan) dengan type ESTRN: *Equivalent Strain*.

Gambar 10 dapat dianalisis regangan *ekivalen* secara luas digunakan untuk mewakili status material untuk material ulet. Secara umum menentukan material tersebut ulet atau getas. Dalam



d. *Equivalent strain model spesimen sudut 90°*

Gambar 10. Hasil simulasi *strain* dengan variasi sudut kampuh.

Dari analisis yang dilakukan, daerah berwarna biru muda adalah daerah elastis sedangkan pada daerah merah material sudah mengalami fraktur atau patah. Dalam analisa tidak terjadi patah yang berwarna merah tapi regangan maksimum berwarna hijau. Artinya spesimen tersebut dikategorikan ulet tapi bila ada perubahan diatas 1 mm material akan patah.

4. SIMPULAN

Berdasarkan dari uraian pembahasan analisis static pada aluminium 5052 dengan variasi sudut kampuh menggunakan solidworks, maka dapat ditarik kesimpulan secara keseluruhan bahwa: 1). hasil tegangan maksimum untuk sudut 60° sebesar 33.146 Mpa, sudut 70° sebesar 33.059 Mpa, sudut 80° sebesar 33.006 Mpa, sudut 90° sebesar 33.078 Mpa dan tegangan minimum sudut 60° sebesar 0.571 Mpa, sudut 70° sebesar 0.193 Mpa, sudut 80° sebesar 0.559 Mpa, sudut 90° sebesar 0.518 Mpa. 2) Perubahan (*displacement*) maksimum sehingga terjadi deformasi plastis ditunjukkan dengan warna merah 0.010 mm dan perubahan minimum ditunjukkan dengan warna biru 0,001 mm. Dari analisis yang dilakukan, perubahan yang diijinkan ketika dikenai beban yaitu dengan jarak *displacement* 0,07 mm

REFERENSI

- [1] N. A. Bahry and A. S. Nurrohkayati, "Analisis Perubahan Temperatur Mata Pahat Karbida Pada Proses Pembubutan Baja AISI 1045 Dengan FEM-Simulation di PT . X Analysis of Changes in Carbide Cutting Tool Temperature in AISI 1045 Steel Turning Process With FEM-Simulation at PT . X," vol. 9, pp. 65–73, 2022.
- [2] A. K. Senapati, A. Bhatta, S. Mohanty, P. C. Mishra, and B. C. Routra, "An Extensive Literature Review on the Usage of Fly Ash as a Reinforcing Agent for Different Matrices," *Int. J. Innov. Sci. Mod. Eng.*, no. 3, 2014.
- [3] P. Agustiar, W. Pracoyo, and F. Azharul, "Jurnal Rekayasa Material , Manufaktur dan Energi FT-UMSU Jurnal Rekayasa Material , Manufaktur dan Energi FT-UMSU," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi* <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>, vol. 2, no. 2, pp. 131–139, 2019.
- [4] M. A. I. Afit Reni Prastiwi, "Analisa pengaruh variasi ketebalan plat terhadap kekuatan tarik pada sambungan las butt joint mild steel ss 400," *Jptm*, vol. 08, no. 03, 2019.
- [5] F. Ardianto, "Tugas akhir analisis kekuatan pengelasan plat baja karbon rendah dengan metode elemen hingga menggunakan software (solidworks)," 2021.
- [6] F. Azharul, Rahmawati, Choiruddin, and Wilarso, "RANCANG BANGUN ALAT KALIBRASI PENGUKUR SUHU BERBASIS DIGITAL TEMPERATUR CONTROLLER," *TEKNOSAINS J. Sains, Teknol. dan Inform.*, vol. 8, no. 2, 2021, doi: 10.37373/tekno.v8i2.103.
- [7] A. Sasmito, "DISAIN KEKUATAN SAMBUNGAN HOOP PILLAR DAN FLOOR BEARER

- PADA STRUKTUR RANGKA BUS MENGGUNAKAN SOLIDWORKS,” *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 9, no. 1, 2018, doi: 10.24176/simet.v9i1.2023.
- [8] S. Tegangan and S. Dan, “Pada Pengelasan Sudu Turbin Berbahan Inconel 792 Dengan Metode Finite Element,” 2016.
- [9] M. Mijajlovic[´], D. Milc[´]ic[´], and M. Milc[´]ic[´], “Numerical simulation of friction stir welding,” *Therm. Sci.*, vol. 18, no. 3, 2014, doi: 10.2298/TSCI1403967M.
- [10] E. Feulvarch, J. C. Roux, and J. M. Bergheau, “A simple and robust moving mesh technique for the finite element simulation of Friction Stir Welding,” *J. Comput. Appl. Math.*, vol. 246, 2013, doi: 10.1016/j.cam.2012.07.013.
- [11] S. Harun and Y. Burhanuddin, “Pemodelan dan Simulasi Urutan Pengelasan Bilah Roda Traktor Berbasis Metoda Elemen Hingga,” *J. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 2, 2011, doi: 10.9744/jtm.12.2.109-118.
- [12] Firmansyah Azharul, Mohammad Fadel, and Rahmawati, “MENGHITUNG TEGANGAN STATIK PADA STRUKTUR RANGKA SEPEDA BMX MENGGUNAKAN SOFTWARE CATIA,” *TEKNOSAINS J. Sains, Teknol. dan Inform.*, vol. 7, no. 2, 2020, doi: 10.37373/tekno.v7i2.28.
- [13] S. P. Pratama, “Computational Fluid Dynamic (CFD) Analysis of Turbo Cyclone and Intake Manifold Spacer on Honda Supra Fit,” vol. 3, no. April, pp. 9–18, 2022.
- [14] H. S. Syamsul Ma’arif, R. Soelarso Pani, Moch. Chamim Chamim, “Prediction of Distortion Behavior due to Load Thermal Laser Welded Low Carbon Steel with Stainless Steel 304 based on Computation Simulation,” 2019, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/334963914_Prediction_of_Distortion_Behavior_due_to_Load_Thermal_Laser_Welded_Low_Carbon_Steel_with_Stainless_Steel_304_based_on_Computation_Simulation.
- [15] Mubarok saiful, “Pengaruh Variasi Material Dan Beban Keamanan Pada Desain Pencakar Inner Puller Bearing Berbasis Simulasi Menggunakan solidwork,” *Unnes*, 2019.
- [16] M. Muchid, A. J. Suwondo, and E. Hardjoko, “Analisa Static Pada Mesin Penghalus Roll Conveyor Menggunakan Solidwork,” *J. Semin. Nas.*, 2018.
- [17] 2020 Mukhtar dkk, “Rancang bangun gearbox untuk turbin angin savonius vertikal (tasv) menggunakan metode fea 1),” *urnal Tek. Mesin*, vol. 7, no. 2, 2020.
- [18] M. M. Munir, Q. Qomaruddin, and R. Winarso, “Perancangan Dan Simulasi Punch Mesin Pres Batako,” *J. Crankshaft*, vol. 2, no. 1, pp. 87–92, 2019, doi: 10.24176/crankshaft.v2i1.3096.
- [19] F. M. Mwema, “Transient Thermal Modeling in Laser Welding of Metallic/Nonmetallic Joints Using <i>SolidWorks</i> Software,” *Int. J. Nonferrous Metall.*, vol. 06, no. 01, 2017, doi: 10.4236/ijnm.2017.61001.