

**ANALYSIS STATIC OF CHASSIS ROBOT ARM AS DESIGN
MODIFICATION INDUCTION MELTING FURNACE
MACHINE USING FEA METHOD**
(ANALISIS STATIK RANGKA ROBOT ARM SEBAGAI MODIFIKASI
DESAIN MESIN INDUCTION MELTING FURNACE MENGGUNAKAN
METODE FEA)

Eka Bima Saputra^{1*}, Ahmad Zohari¹, Andriansyah¹, Wahyu Bambang Sulisty¹

¹ Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Gajah Tunggal

Jl. Gajah Tunggal No.16, Alam Jaya, Kec. Jatiuwung, Kota Tangerang, Banten 15133

*Corresponding author: ekabimasaputra13@gmail.com

ABSTRACT

An induction furnace is a melting furnace that uses a heater that can cause work accidents if not careful. The cause of work accidents, especially machines, is mistaken when initially machine-designed. An alternative solution is improvements the machine. The researcher's purpose is to analyze the static design of the robot arm as a modification induction melting furnace machine. The method is to study previous research literature related to static simulation. Based on the static simulation results, it can be concluded that the highest values of simulated stress (von mises) at 5N, 10N, and 15N loads were 13.926Mpa, 27.728Mpa, and 41.531Mpa which were categorized as feasible because they were below yield strength value of 64.205Mpa. In simulation displacement, the design experienced the most significant deformation at a 15N load with a value of 0.337 mm. The FOS (factor of safety) values for each loading were 4.610, 2.315, and 1.474, which fulfills the static load safety requirement of 1.25.

Keywords: Robotic arm; safety factor; static simulation; stress.

ABSTRAK

Tungku induksi merupakan tungku peleburan yang menggunakan heater sebagai pemanas bersuhu tinggi yang mana dapat mengakibatkan kecelakaan kerja apabila tidak dilakukan secara hati-hati. Penyebab kecelakaan kerja yang berasal dari mesin, yaitu kesalahan saat awal mendesain mesin. Solusi alternatif untuk mengatasi kesalahan tersebut adalah improvement pada mesin. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk menganalisis statik desain robot arm sebagai modifikasi mesin induction melting furnace. Metode penelitian ini adalah dengan melakukan studi literatur penelitian sebelumnya terkait dengan simulasi statik. Berdasarkan hasil simulasi statik, dapat disimpulkan bahwa nilai tertinggi simulasi stress (von mises) pada beban 5N, 10N, dan 15N adalah 13,926Mpa, 27,728Mpa, dan 41,531Mpa yang mana berkategori layak karena di bawah nilai yield strength yaitu 64,205Mpa. Pada simulasi displacement, desain mengalami perubahan bentuk yang paling signifikan pada beban 15N dengan nilai 0,337 mm. Nilai FOS (factor of safety) pada setiap pembebanan secara berturut, yaitu 4,610, 2,315, dan 1,474 memenuhi syarat keamanan beban statis sebesar 1,25.

Kata Kunci: Faktor keamanan; lengan robot; simulasi statik; tegangan.

PENDAHULUAN

Saat ini, industri peleburan logam yang semakin maju menimbulkan banyaknya tuntutan terhadap industri peleburan logam, salah satunya adalah teknologi yang digunakan dan peningkatan keselamatan kerja. Mesin peleburan logam dapat mencapai temperatur 1000°C untuk meleburkan suatu logam yang mana temperatur tersebut diperoleh dari pembakaran bahan bakar yang berada dalam tungku pembakaran (Zohari dkk., 2023). Terdapat berbagai jenis tungku peleburan yang digunakan dalam industri peleburan logam, yaitu kupola, tungku api secara langsung, tungku *crucible*, tungku yang menggunakan busur listrik, dan tungku induksi (Triadi & Ambo, 2021). Dalam penelitian ini, tungku peleburan yang digunakan adalah tungku induksi. Tungku atau tanur induksi merupakan salah satu tungku yang menggunakan listrik dengan menerapkan sistem induksi dalam memanaskan logam melalui perantara *heater* (Purwanto & Nasa, 2021). Temperatur yang tinggi akan menjadi resiko dan menimbulkan kecelakaan kerja jika tidak dilakukan dengan berhati-hati. Kecelakaan kerja yang dapat terjadi antara lain terkena cipratan lelehan logam, kulit yang melepuh akibat paparan panas tinggi, dan luka bakar akibat terkena sisi tungku peleburan.

Salah satu penyebab kecelakaan kerja yang sering terjadi adalah desain mesin yang salah dan ketidaksesuaian peralatan kerja (Kristiawan & Abdullah, 2020). Modifikasi atau *improvement* mesin menjadi solusi alternatif untuk menekan terjadinya

kecelakaan kerja yang tinggi, baik secara desain maupun mekanik (Ririh, 2021). Maka dari itu, peneliti akan melakukan modifikasi terhadap desain mesin peleburan logam dengan menambahkan komponen lengan robot atau *robot arm*. Fungsi adanya penambahan *robot arm* adalah untuk membantu proses pemindahan hasil peleburan yang terdapat dalam *crucible* ke tempat pencetakan atau *mould* yang telah disiapkan. Namun sebelumnya, agar desain yang dibuat dapat memenuhi standar kelayakan, maka diperlukan beberapa percobaan atau *experiment*, yaitu dengan melakukan simulasi uji statik.

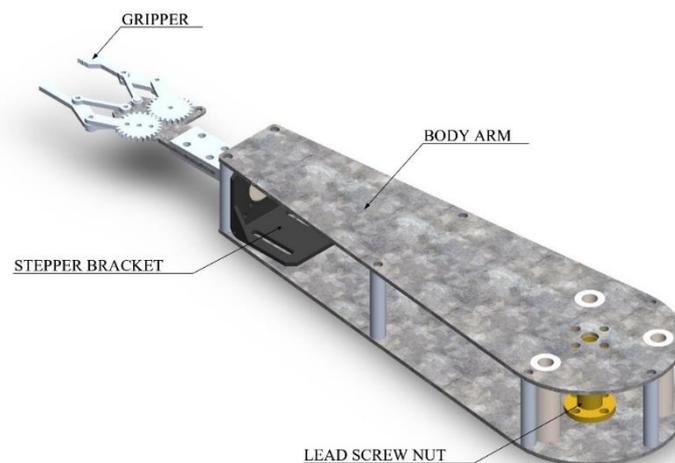
Para peneliti sebelumnya telah melakukan *research* yang sama terkait dengan simulasi uji statik, seperti Putra & Mukhtar (2023), yang menganalisis uji statik *bracket roll* pada mesin tensor dan menghasilkan nilai pembebanan maksimal sebesar 85,551 N/mm² serta faktor keamanan sebesar 3,214. Penelitian lainnya, yaitu Pris dkk. (2019) yang menganalisis uji statik kekuatan *velg* pada material *aluminium alloy* ukuran 17 inc dan mendapatkan nilai *von mises* paling unggul sebesar $9.629e^{+7}$ N/m² serta nilai displacement sebesar $8.576e^{-3}$ mm. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk menganalisis pembebanan statik desain *robot arm* sebagai modifikasi mesin *induction melting furnace*, yang mana dengan adanya modifikasi tersebut diharapkan dapat menekan jumlah kecelakaan kerja khususnya saat proses pemindahan hasil peleburan logam.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan modifikasi desain pada mesin *induction melting furnace* dengan menambahkan lengan robot atau *robot arm* sebagai unit pemindahan hasil peleburan logam. Definisi lengan robot atau *robot arm* adalah suatu sistem lengan robot secara mekanis yang diprogram seperti layaknya lengan dan tangan manusia (Sinaga & Pamungkas, 2020).

Maka dari itu, diperlukan analisis terhadap desain agar tidak terjadi kesalahan secara fungsional dan

struktural. Peneliti melakukan pembuatan desain dan melakukan simulasi statik menggunakan aplikasi *solidwork premium 2018*. Aplikasi tersebut dapat membantu merancang suku cadang dan mengintegrasikannya dalam rancangan piranti melalui proses perakitan (Prasetyadi dkk., 2022). Penggunaan yang praktis dan tampilan yang mudah dipahami menjadi alasan peneliti memilih aplikasi tersebut dalam hal simulasi dan pembuatan desain (Azim dkk., 2022). Desain dari *robot arm* dapat ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Desain *robot arm*

Berdasarkan gambar 1. Dimensi yang digunakan adalah 510,75 x 116,26 x 56,98 mm. Adapun massa dari desain berdasarkan *mass properties* di aplikasi *solidwork premium 2018* adalah 1977,24 gram. Selain itu, salah satu fitur yang ada pada aplikasi *solidwork premium 2018* adalah FEA (*Finite Element Analysis*), yang merupakan suatu *numerical method* yang berfungsi dalam menuntaskan permasalahan permesinan seperti

geometri, pembebanan, dan peralatan dengan material yang sangat kompleks (Nasution & Widodo, 2022). Pemilihan material sebelum melakukan simulasi merupakan hal yang penting dan krusial karena material satu dengan material yang lain memiliki karakteristik yang berbeda sehingga dapat mempengaruhi hasil simulasi pada desain yang dibuat. Dalam hal ini, peneliti menggunakan jenis material

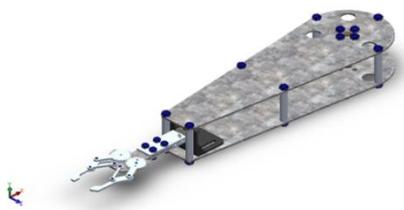
berupa *galvanized steel* pada bagian *body arm*, material *aluminium alloy-1060* pada bagian *gripper*, dan

material *brass* pada bagian *lead screw nut*. Karakteristik dari setiap material tersebut ditunjukkan oleh tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik material *galvanized steel*, *aluminium alloy-1060*, dan *brass* (Arifin dkk., 2022; Klosak dkk., 2020; Maulana dkk., 2021)

<i>Property</i>	<i>galvanized steel value</i>	<i>aluminium alloy value</i>	<i>Brass value</i>	<i>Units</i>
<i>Mass Density</i>	7870	2700	8500	kg/cm ³
<i>Yield Strength</i>	203.9432426	27.5742	239.689	Mpa
<i>Tensile Strength</i>	356.9006745	68.9356	478.413	Mpa
<i>Elastic Modulus</i>	200000	69000	100000	Mpa
<i>Poisson's Ratio</i>	0.29	0.33	0.33	N/A
<i>Shear Modulus</i>	-	27000	37000	Mpa

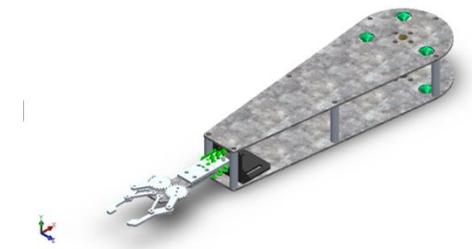
Pada tabel 1. terdapat beberapa *property* dengan perbedaan unit yang mana nantinya akan digunakan sebagai standar acuan dalam pemilihan material simulasi di aplikasi *solidwork premium 2018*. Sebelum dilakukan simulasi, akan dilakukan beberapa perlakuan pada desain *arm robot*, yaitu menentukan *connections*, *fixtures*, *external loads*, dan *mesh*. Penentuan *connections* dapat menggunakan beberapa pilihan penghubung antara komponen satu dengan yang lainnya. Hasil dari proses *connection* ditunjukkan oleh gambar 2.



Gambar 2. Penentuan *connections* desain *robot arm*

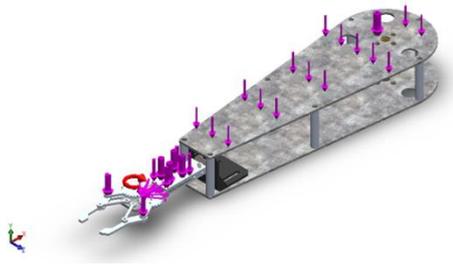
Pada gambar 2, dapat dijelaskan bahwa bagian *gripper* terdiri atas *connections* berupa pin; bagian *arm body*, *bracket stepper*, dan *lead screw nut* berupa *bolt*. Tahap selanjutnya

merupakan pemilihan *fixtures* (pencekaman) yang digunakan untuk mempermudah penetapan pada bagian yang dibuat tidak bergerak atau sebagai tumpuan (Prasetyo dkk., 2020). Desain *robot arm* pada proses *fixtures* ditunjukkan oleh gambar 3.



Gambar 3. Penentuan *fixtures* pada desain *robot arm*

Bagian yang menjadi pencekam atau *fixtures* menurut gambar 3 adalah bagian *linear bearing body arm*, *stepper bracket*, dan *lead screw nut*. Selanjutnya adalah penentuan pembebanan statik (*eksternal loads*). Pada simulasi ini, peneliti akan menetapkan variasi beban pada desain, antara lain 10 N, 15 N, dan 20 N. Proses *external loads* pada aplikasi *solidwork premium 2018* ditunjukkan oleh gambar 4.



Gambar 4. Penentuan *external loads* desain *robot arm*

Berdasarkan gambar 4, pemberian beban dilakukan pada bagian *gripper* dan *body arm* karena bagian-bagian tersebut yang akan menahan massa krusibel berisi leburan logam dan pemindahan krusibel ke percetakan. Setelah dilakukan penentuan *external loads*, proses selanjutnya adalah *meshing* pada desain. Pelaksanaan *meshing* merupakan objek yang dibagi menjadi *part* kecil atau disebut *cell* yang mana banyaknya node menandakan keakuratan pada simulasi dan waktu proses simulasi. (Mungil Kurniawati & Michael Sukanda, 2020). Pengaturan detail proses *meshing* pada desain yang dibuat ditunjukkan oleh tabel 2.

Tabel 2. Detail *meshing* pada desain *robot arm*

Spesifikasi	Keterangan
<i>Mesh Type</i>	<i>Solid Mesh</i>
<i>Mesher Used</i>	<i>Standard Mesh</i>
<i>Jacobian Points</i>	<i>4 points</i>
<i>Element size</i>	5.47096 mm
<i>Tolerance</i>	0.273548 mm
<i>Mesh quality</i>	<i>High</i>
<i>Total nodes</i>	57938
<i>Total elements</i>	29638
<i>Maximum Aspect Ratio</i>	34.486
<i>Percentage of element with Aspect Ratio < 3</i>	77.3

<i>Percentage of element with Aspect Ratio > 10</i>	0.57
--	------

Berdasarkan tabel 2, detail *mesh* yang diperoleh dapat diproyeksikan dalam bentuk *mesh design*. Pembagian elemen-elemen *meshing* tersebut menggunakan standarisasi *solidwork premium 2018*. Hasil *meshing* pada desain *robot arm* dapat ditunjukkan oleh gambar 5.



Gambar 5. Hasil *meshing* desain *arm robot*

Pada gambar 5, terlihat bahwa hasil *meshing* tersebar pada berbagai area menjadi elemen-elemen komponen desain yang kecil, sehingga memungkinkan simulasi pembebanan statik pada desain *arm robot* memiliki keakuratan yang tinggi. Pada simulasi statik desain *robot arm* akan terdapat beberapa warna yang menunjukkan konstanta besaran beban, seperti warna biru tua yang berarti bagian daerah aman, warna hijau muda yang berarti desain mengalami proses pengujian, warna kuning yang berarti desain mengalami tingkat pengujian medium, dan warna merah yang berarti desain mengalami tingkat pengujian maksimum (Basyaruddin, 2022). Nantinya peneliti juga akan menghitung *safety factor* dari desain dengan menggunakan rumus: (Suryady & Nugroho, 2022)

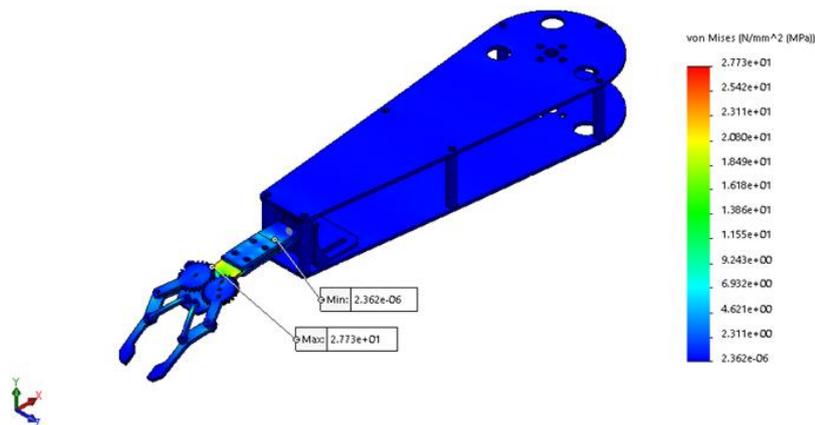
$$\text{safety of factor} = \frac{\text{yield stress material}}{\text{von mises maximal}} \quad (1)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

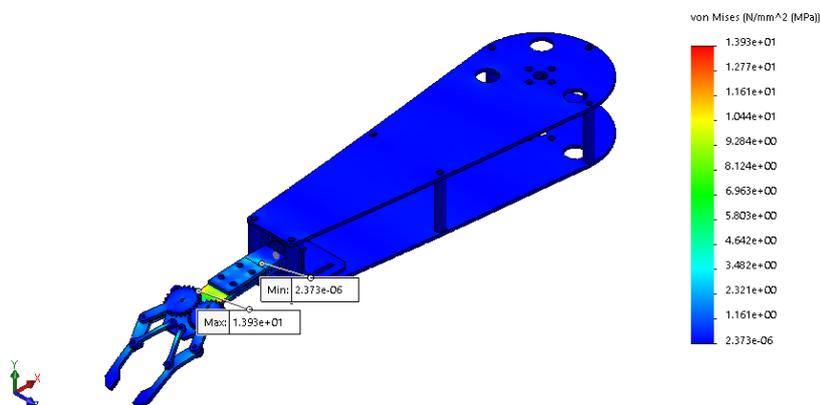
Simulasi yang dilakukan oleh peneliti merupakan simulasi pembebanan statik yang terdiri atas *stress (von mises)* dan *displacement*. Selain itu, peneliti juga mengkalkulasi nilai FOS (*factor of safety*) pada masing-masing pembebanan khususnya bagian *gripper arm robot*. Variasi pembebanan pada simulasi diterapkan pada nilai 5 N, 10 N, dan 15 N.

Hasil Simulasi *Stress (Von Mises)*

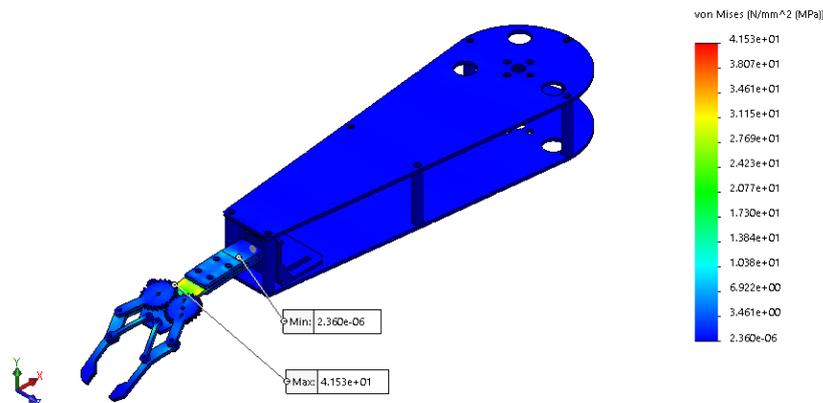
Pengertian simulasi *stress (von mises)* merupakan simulasi yang berfungsi sebagai cara untuk memperkirakan tingkat luluh dari material terhadap beban sampel uji tarik uniaksial (Hapidansyah & Abizar, 2022). Nilai *stress (von mises)* digunakan untuk mengkalkulasikan nilai FOS (*factor of safety*) sebagai acuan keamanan dan penentuan material pembuatan rangka. Simulasi *stress (von mises)* yang dihasilkan pada pembebanan 5 N, 10 N, dan 15 N secara berturut ditunjukkan oleh gambar 6, gambar 7, dan gambar 8.



Gambar 6. Hasil simulasi *stress (von mises)* pada beban 5 N



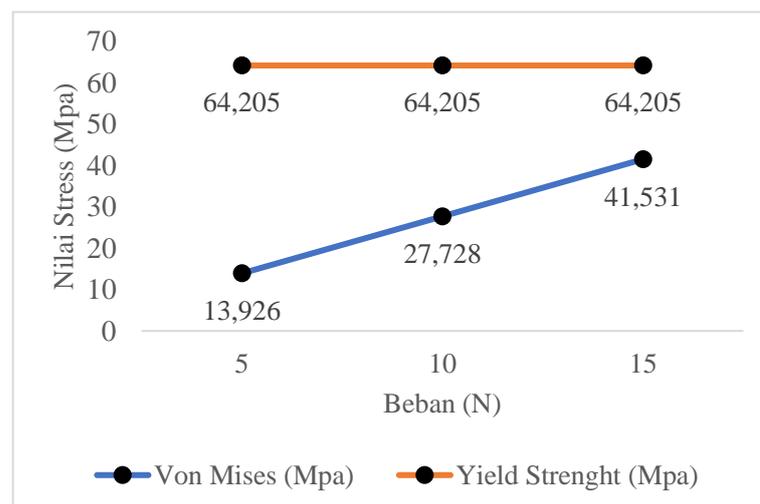
Gambar 7. Hasil simulasi *stress (von mises)* pada beban 10 N



Gambar 8. Hasil simulasi *stress* (*von mises*) pada beban 15 N

Berdasarkan simulasi *stress* (*von mises*) dengan pembebanan 5 N, 10 N, dan 15 N yang ditampilkan pada gambar 6, gambar 7, dan gambar 8 didapatkan nilai tertinggi pada masing-masing pembebanan secara berturut adalah 13,926 Mpa; 27,728 Mpa; dan 41,531 Mpa. Sebaliknya, nilai terendah yang didapatkan berdasarkan simulasi yang ditampilkan pada gambar 6, gambar 7, dan gambar 8 secara berturut

adalah 2,372 Mpa; 2,362 Mpa; dan 2,359 Mpa. Indikator keberhasilan simulasi *stress* (*von mises*) adalah apabila nilai *stress* tidak melebihi *yield strength* yang ditetapkan. Standar nilai *yield strength* material yang digunakan adalah 64,205 Mpa. Perbandingan hasil simulasi *stress* (*von mises*) dan nilai *yield strength* pada desain *robot arm* dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Perbandingan nilai *stress* (*von mises*) dengan *yield strength*

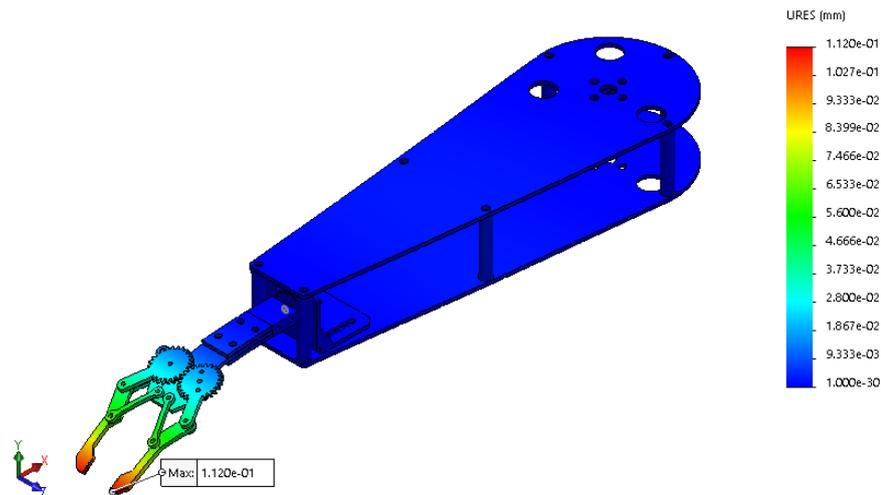
Pada gambar 9 dapat disimpulkan bahwa nilai *stress* (*von mises*) pada masing-masing pembebanan tidak melebihi *yield strength* yang

ditetapkan. Maka dari itu, desain robot arm dinyatakan layak untuk menerima pembebanan 5 N, 10 N, dan 15 N.

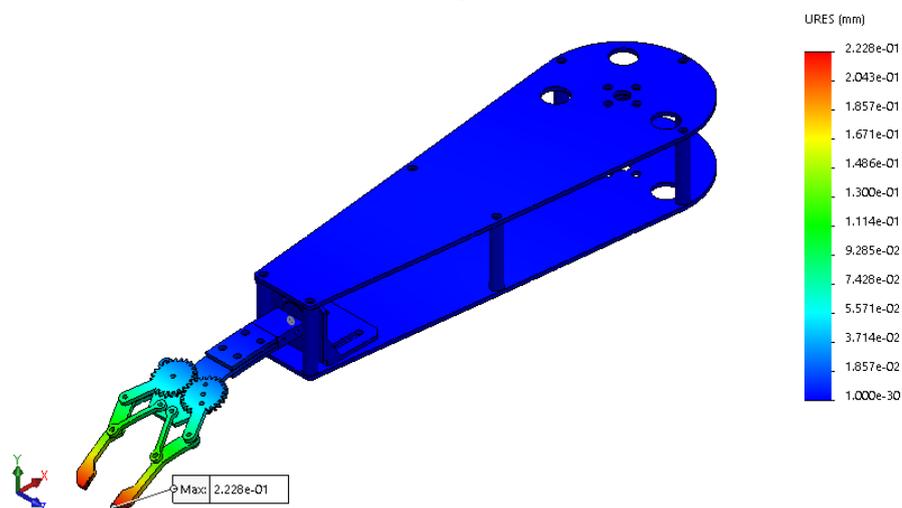
Hasil Simulasi *Displacement*

Simulasi *displacement* adalah terjadi bentuk yang berubah dalam kurun waktu sesaat karena benda dikenakan beban pada *point* tertentu (Ramadhan & Nugroho, 2023). Sebagian besar

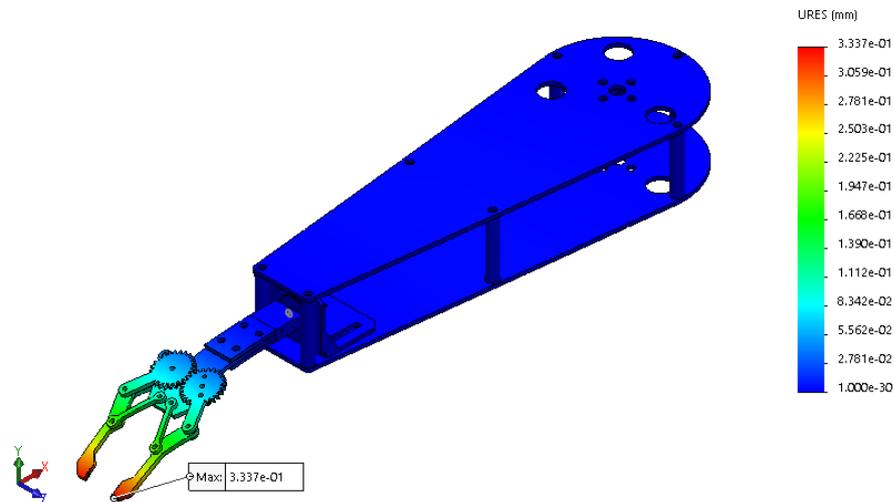
displacement terjadi di bagian *connections* yang terdapat pada *gripper robot arm*. Hasil simulasi *displacement* pada beban 5 N, 10 N, dan 15 N ditunjukkan secara berturut pada gambar 10, gambar 11, dan gambar 12.



Gambar 10. Hasil simulasi *displacement* pada beban 5 N



Gambar 11. Hasil simulasi *displacement* pada beban 10 N

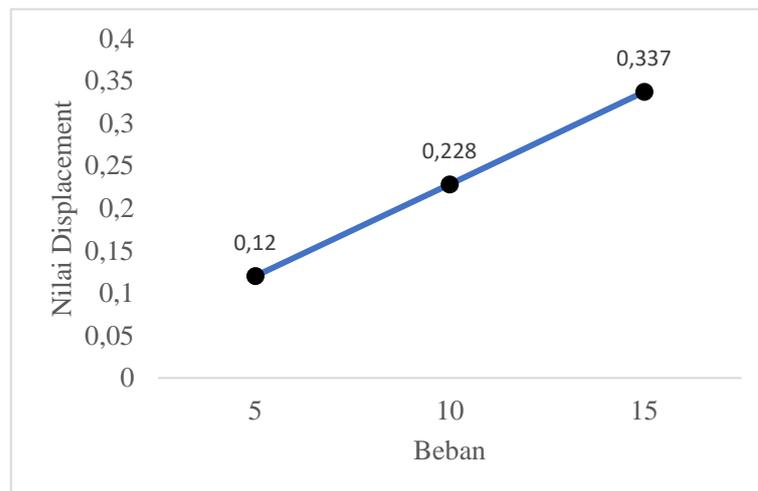


Gambar 12. Hasil simulasi *displacement* pada beban 15 N

Hasil simulasi *displacement* berdasarkan gambar 10, gambar 11, dan gambar 12 didapatkan nilai *max displacement* secara berturut pada masing-masing pembebanan adalah 0,120 mm, 0,228 mm, dan 0,337 mm. Pada gambar 12 diperoleh hasil *displacement* terbesar dengan beban

15 N dan nilai 3,337e-01 mm atau 0,337 mm. Sebaliknya, hasil *displacement* terkecil diperoleh pada beban 5 N (gambar 10) yang memiliki nilai 1,120e-01 mm atau 0,120 mm.

Adapun keseluruhan hasil simulasi *displacement* dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Hasil simulasi *displacement* pada masing-masing beban

Berdasarkan teori *displacement*, semakin besar nilai *displacement* yang dihasilkan, maka semakin besar pula bentuk yang berubah dan

sebaliknya (Felani & Al-Janani, 2021). Sehingga pada gambar 13, perubahan bentuk yang paling signifikan terjadi pada pembebanan 15 N.

Perhitungan FOS (*factor of safety*)

FOS (*factor of safety*) adalah suatu cara untuk mengevaluasi elemen mesin yang direncanakan agar keamanannya terjamin yang mana berdasarkan teori Mott beban statis pada perencanaan struktur dengan kepercayaan tinggi memiliki nilai *safety of factor* adalah 1,25 hingga 2,0 (Roswandii & Rahmat, 2020). Perhitungan FOS atau faktor keamanan pada masing-masing pembebanan dilakukan dengan menggunakan persamaan (1).

1. FOS pada beban 5 N

Diketahui bahwa nilai *yield strength* material adalah 64.205 Mpa dan nilai *von mises maximal* pada beban 5 N adalah 13,926 Mpa. Sehingga, perhitungan FOS (*factor of safety*) menjadi sebagai berikut:

$$safety\ of\ factor = \frac{yield\ stress\ material}{von\ mises\ maximal} \quad (1)$$

$$safety\ of\ factor = \frac{64,205\ Mpa}{13,926\ Mpa}$$

$$safety\ of\ factor = 4,610$$

2. FOS pada beban 10 N

Diketahui bahwa nilai *yield strength* material adalah 64.205 Mpa dan nilai *von mises maximal* pada beban 10 N adalah 27,728 Mpa.

Sehingga, perhitungan FOS (*factor of safety*) menjadi sebagai berikut:

$$safety\ of\ factor = \frac{yield\ stress\ material}{von\ mises\ maximal} \quad (1)$$

$$safety\ of\ factor = \frac{64,205\ Mpa}{27,728\ Mpa}$$

$$safety\ of\ factor = 2,315$$

3. FOS pada beban 15 N

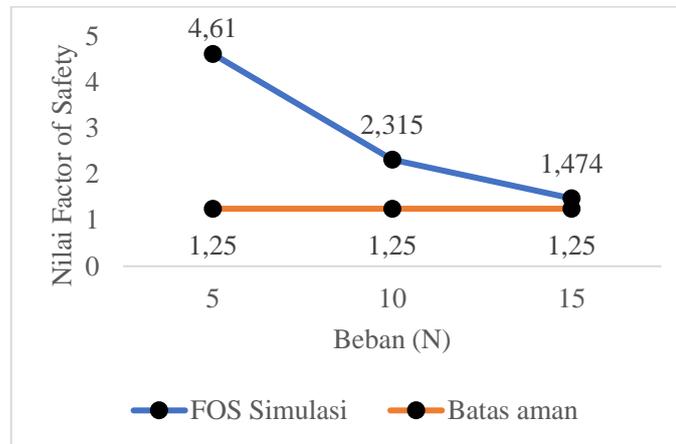
Diketahui bahwa nilai *yield strength* material adalah 64.205 Mpa dan nilai *von mises maximal* pada beban 15 N adalah 43,531 Mpa. Sehingga, perhitungan FOS (*factor of safety*) menjadi sebagai berikut:

$$safety\ of\ factor = \frac{yield\ stress\ material}{von\ mises\ maximal} \quad (1)$$

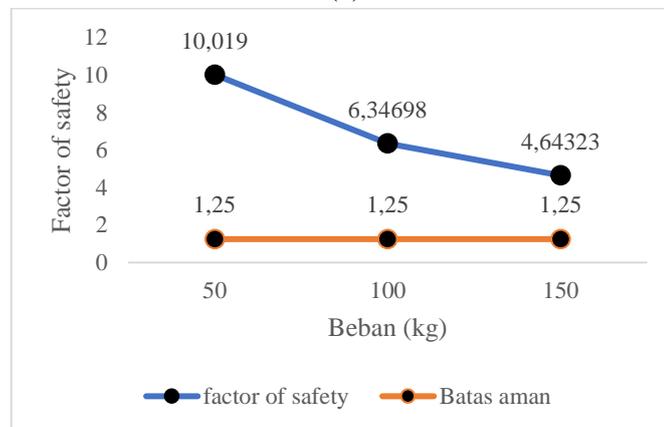
$$safety\ of\ factor = \frac{64,205\ Mpa}{43,531\ Mpa}$$

$$safety\ of\ factor = 1,474$$

Berdasarkan perhitungan FOS (*factor of safety*) yang telah dilakukan, maka didapatkan nilai FOS pada masing-masing pembebanan, yaitu 4,610; 2,315; dan 1,474. Adapun perbandingan nilai FOS (*factor of safety*) simulasi dengan nilai batas aman dapat dilihat pada gambar 13.



(a)



(b)

Gambar 13. Perbandingan nilai FOS (*factor of safety*) dengan batas aman (a) simulasi statik desain *robot arm* dan (b) simulasi statik alat *compact heat induction press* (Zohari dkk., 2023)

Pada gambar 13, baik gambar (a) dan (b) menunjukkan bahwa nilai FOS (*factor of safety*) simulasi memiliki nilai $>1,25$ atau di atas batas aman, sehingga desain aman untuk dilanjutkan pada proses manufacturing. Pada gambar 13 (a) nilai *factor of safety* terbesar terjadi pada beban 5 N dengan nilai 4,61. Pada gambar 13 (b), nilai *factor of safety* terbesar pada beban 50 kg dengan nilai 10,019. Dengan demikian, semakin tinggi nilai *factor of safety*, maka perencanaan elemen mesin yang digunakan semakin baik

dan aman (Simbolon & Kurniawan, 2022).

KESIMPULAN

Simulasi statik yang telah dilakukan pada desain *robot arm* berdasarkan variasi pembebanan dapat disimpulkan bahwa nilai tertinggi simulasi *stress (von mises)* pada masing-masing pembebanan adalah 13,926 Mpa; 27,728 Mpa; dan 41,531 Mpa yang mana masih dalam kategori layak karena berada di bawah standar nilai *yield strength* material yaitu 64,205 Mpa. Pada simulasi *displacement*, desain *robot arm*

mengalami perubahan bentuk yang paling signifikan terjadi pada beban yang paling besar, yaitu 15 N dengan nilai 0,337 mm. Maka dari itu, sesuai dengan *displacement theory* bahwa semakin besar nilai suatu beban, maka semakin besar pula nilai *displacement* dan bentuk yang berubah pada desain. Pada perhitungan nilai FOS (*factor of safety*) yang dilakukan pada masing-masing pembebanan menunjukkan bahwa nilai FOS (*factor of safety*) pada perencanaan elemen mesin desain *robot arm* aman untuk dilanjutkan pada proses *manufacturing*. Nilai FOS (*factor of safety*) pada masing-masing pembebanan secara berturut, yaitu 4,610; 2,315; dan 1,474 yang mana memenuhi syarat keamanan pada simulasi beban statis sebesar 1,25. Dengan demikian, desain *robot arm* pada mesin *induction melting furnace* layak dan aman digunakan sebagai modifikasi desain yang mana dengan adanya modifikasi tersebut diharapkan dapat menekan terjadinya kecelakaan kerja khususnya pada saat pemindahan hasil peleburan logam.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, A. C., Bisono, R. M., & Rezika, W. Y. (2022). Static Loading Analysis of Chips Chopper Machine Design with Feeder Spring Addition. *International Journal of Science, Engineering, and Information Technology*, vol. 6, no. 2, pp. 307–312.
<https://journal.trunojoyo.ac.id/ijseit>
- Azim, M., Lapisa, R., Ambiyar, Sari, D. Y., & Asnil. (2022). Rancang Bangun dan Analisis Performa Perangkat Solar Termal Sebagai Sumber Pemanas Air. *VOMEK*, vol. 4, no. 3, pp. 6–11.
- Basyaruddin. (2022). Analisa Rancangan Kekuatan Bahan Pada Model Lengan Excavator Dengan Menggunakan Software Solidwork. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik*, vol. 2, no. 5, pp. 325–339.
- Felani, A., & Al-Janani, D. H. (2021). Analisis Statis Konstruksi dan Lance Tube Sootblower Tipe Motorised Rotary Menggunakan Software Solidworks 2016. *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 12, no. 2, pp. 243–250.
<https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2021.012.02.1>
- Hapidansyah, R., & Abizar, H. (2022). Analisis Simulasi Statik Poros Generator 500 Watt Menggunakan Material Aisi 1020 dan Aluminium Alloy 6061. *Jurnal Teknik Mesin UNISKA*, vol. 7, no. 2, pp. 65–71.
- Klosak, M., Jankowiak, T., Rusinek, A., Bendarma, A., Sielicki, P. W., & Tomasz Lodygowski. (2020). Mechanical Properties of Brass under Impact and Perforation Tests for a Wide Range of Temperatures : Experimental and Numerical

- Approach. *Materials*, vol. 13, no. 5821, pp. 1–15.
- Kristiawan, R., & Abdullah, R. (2020). Faktor Penyebab Terjadinya Kecelakaan Kerja Pada Area Penambangan Batu Kapur Unit Alat Berat PT. Semen Padang. *Jurnal Bina Tambang*, vol. 5, no. 2, pp. 11–21.
- Maulana, Iham T., Zohari, A., Wardoyo, A. S., & Heryanto, P. A. (2021). Analisa Desain Rangka Alat Compact Heat Induction Press Menggunakan Metode Finite Element Analysis. *Jurnal Engine : Energi, Manufaktur, Dan Material*, vol. 5, no. 2, pp. 83–89.
- Mungil Kurniawati, D., & Michael Sukanda, J. (2020). Simulasi Numerik Pengaruh Aspect Ratio dan Sudut Serang Terhadap Performa Turbin Angin Sumbu Vertikal H-Rotor. *ROTASI*, vol. 22, no. 1, pp. 22–28.
- Nasution, A. R., & Widodo, E. (2022). Numerical Analysis of Low Carbon Steel Tensile Strength Using Software (SolidWorks). *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, vol. 7, no. 1, pp. 1–6. <https://doi.org/10.21070/r.e.m.v7i1.1629>
- Prasetyadi, A., Ekaputra, I. M. W., Setyahandana, B., Puja, I. G. K., Mardikus, S., Wihadi, R. B. D., Winarbawa, H., & Rines, R. (2022). Pandangan Siswa Terhadap Desain Berbantuan Komputer Dalam Pelatihan Solidworks di SMK Nusantara Kudus. *Abdimas Altruistis: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 5, no. 1, pp. 42–46. <https://doi.org/10.24071/aa.v5i1.3892>
- Prasetyo, E., Hermawan, R., Ridho, M. N. I., Hajar, I. I., Hariri, H., & Pane, E. A. (2020). Analisis Kekuatan Rangka Pada Mesin Transverse Ducting Flange (TDF) Menggunakan Software Solidworks. *Rekayasa*, vol. 13, no. 3, pp. 299–306. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v13i3.8872>
- Pris, F. R., Suyitno, B. M., & Suhadi, A. (2019). Analisis Kekuatan Velg Aluminium Alloy 17 Inc dari Berbagai Desain Menggunakan Metode Finite Element Analysis (FEA). *Jurnal Ilmiah TEKNOBIZ*, vol. 9, no. 2, pp. 33–39.
- Purwanto, D., & Nasa, R. A. (2021). Perancangan Tungku Pemanas Dengan Menggunakan Kanthal A1. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, vol. 22, no. 1.
- Putra, Y. A., & Mukhtar, M. N. A. (2023). Analisis Statik Bracket Roll Brush Mesin Tensor

- Menggunakan Metode Fea. *ELEMEN: JURNAL TEKNIK MESIN*, vol. 10, no. 1, pp. 57–63.
<https://doi.org/10.34128/je.v10i1.246>
- Ramadhan, A. R. A., & Nugroho, E. A. (2023). Proses Pembuatan Dan Analisis Static Pada Horz Cam Masema Aw6035-Sr Menggunakan Software Solidworks 2019 di PT. Wotosindo Metal Pratama. *Jurnal Ilmiah Teknik*, vol. 2, no. 2, pp. 17–26.
- Ririh, K. R. (2021). Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Menggunakan Metode HIRARC dan Diagram Fishbone pada Lantai Produksi PT DRA Component Persada. *Go-Integratif: Jurnal Teknik Sistem Dan Industri*, vol. 2, no. 2, pp. 135–152.
<https://doi.org/10.35261/gijtsi.v2i2.5658>
- Roswandii, I., & Rahmat. (2020). Analisis Beban Pada Hook Pembalik Produk Aheet Dengan Software Solidwork 2018. *PRIMA*, vol. 17, no. 1, pp. 10–18.
- Sinaga, M. A. H. K., & Pamungkas, D. S. (2020). Invers Kinematik Robot Arm 4 DOF Menggunakan Sensor Leap Motion. *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) Ke-6 ISAS Publishing Series: Engineering and Science*, vol. 6, no. 1, pp. 363–371.
- Simbolon, S., & Kurniawan, B. (2022). Simulasi Kekuatan Rangka Mesin Press Papan Komposit dengan Variasi Tekanan Menggunakan Software Solidworks. *PISTON: Journal of Technical Engineering*, vol.6, no.1, pp.59–68.
- Suryady, S., & Nugroho, E. A. (2022). Simulasi Faktor Keamanan Dan Pembebanan Statik Rangka Pada Turbin Angin Savonius. *Jurnal Jukim*, vol. 1, no. 2, pp. 42–48.
- Triadi, M. T., & Ambo, S. N. (2021). Aplikasi Perhitungan Komposisi Material Pengecoran Logam (Casting) Berbasis Android. *JUST IT*, vol. 12, no. 1, pp. 24–30.
<https://jurnal.umj.ac.id/index.php/just-it/index>
- Zohari, A., Maulana, I.T., Saputra E.B. & Wardoyo A. S. (2023). The Analysis effectiveness of heat rate in 1000°C furnace by considering the dimensions of walls melting container. *TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi Dan Informatika*, vol. 10, no. 1, pp. 124–131.
<https://doi.org/10.37373/tekno.v10i1.395>