

## Optimasi Desain Rangka Mesin Pengecoran Centrifugal Produk Workroll Jenis Produk Vertical Roll Dengan Metode Elemen Hingga

Muhammad Wahyudi<sup>\*1</sup>, Aji Gumilar<sup>2</sup>, Gemilang Putra<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Manufaktur, Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia

Email: <sup>1</sup>[m.wahyudi@lecturer.unjani.ac.id](mailto:m.wahyudi@lecturer.unjani.ac.id), <sup>2</sup>[aji.gumilar@lecturer.unjani.ac.id](mailto:aji.gumilar@lecturer.unjani.ac.id),  
<sup>3</sup>[gemilangputra1661@gmail.com](mailto:gemilangputra1661@gmail.com)

### Abstrak

Rangka adalah salah satu komponen utama pada mesin centrifugal casting. Salah satu bagian dalam rangka pada mesin centrifugal casting adalah base frame. Material yang digunakan untuk bagian base frame saat ini, yaitu menggunakan material baja wide flange JIS G3192 dengan ukuran batang 250×125. Dalam hasil analisis sebelumnya, didapatkan bahwa material tersebut memiliki nilai kekuatan dan nilai faktor keamanan yang masih jauh melebihi nilai yang dipersyaratkan. Perlu adanya penelitian yang dilakukan dalam bidang optimasi desain, dengan memberikan variasi ukuran batang yang lebih kecil dibanding rancangan sebelumnya. Variasi ukuran tersebut diantaranya ukuran 200mm × 100mm, 150mm × 75mm, dan kombinasi antara ukuran 200 mm × 100mm dan 150mm × 75mm. Dalam penelitian ini metode elemen hingga atau finite element method (FEM) dengan simulasi software Autodesk Inventor menjadi pilihan dalam penyelesaiannya. Simulasi software dilakukan untuk melakukan pengujian kekuatan setiap varian optimasi pada rangka base frame mesin centrifugal casting, sehingga didapatkan nilai tegangan, defleksi, dan safety factor untuk setiap varian optimasi. Hasil dari analisis yang telah dilakukan untuk optimasi desain dengan menggunakan simulasi software, didapatkan 2 varian optimasi yang memenuhi kriteria. Varian tersebut adalah varian optimasi ke-2 dan varian optimasi ke-4. Varian ke-2 memiliki nilai massa sebesar 393,11kg, sedangkan untuk varian ke-4 memiliki nilai massa sebesar 270,54kg. Rancangan rangka base frame mesin centrifugal casting terbaik atau yang paling optimum adalah varian optimasi desain yang ke-4. Walaupun demikian varian ke-2 bisa dijadikan alternatif pilihan.

**Kata kunci:** mesin centrifugal casting, optimasi, rangka, simulasi software

### *The Optimization Design of Frame Centrifugal Casting Machine Workroll Products Types of Vertical Roll Products with The Finite Element Method*

#### *Abstract*

*The frame is one of the main components of a centrifugal casting machine. One of the parts in the frame of a centrifugal casting machine is the base frame. The material currently used for the base frame is JIS G3192 wide flange steel with a bar size of 250×125. In the results of the previous analysis, it was found that this material has strength values and safety factor values that still far exceed the required values. There needs to be research carried out in the field of design optimization, by providing smaller bar size variations compared to previous designs. These size variations include sizes 200mm × 100mm, 150mm × 75mm, and a combination of sizes 200 mm × 100mm and 150mm × 75mm. In this research, the finite element method (FEM) with Autodesk Inventor software simulation is the solution of choice. Software simulations are carried out to test the strength of each optimization variant on the base frame of the centrifugal casting machine, so that stress, deflection and safety factor values are obtained for each optimization variant. The results of the analysis that has been carried out for design optimization using software simulation, obtained 2 optimization variants that meet the criteria. These variants are the 2nd optimization variant and the 4th optimization variant. The 2nd variant has a mass value of 393.11kg, while the 4th variant has a mass value of 270.54kg. The best or most optimal centrifugal casting machine base frame design is the 4th design optimization variant. However, the second variant can be used as an alternative choice.*

**Keywords:** centrifugal casting machine, framework, optimization, simulation software

## 1. PENDAHULUAN

PT. Krakatau Steel merupakan salah satu perusahaan besar Indonesia yang bergerak pada bidang manufaktur logam. Salah satu proses manufaktur yang dilakukan disana, adalah proses pengecoran. Mesin centrifugal casting adalah salah satu mesin yang dimiliki oleh PT, Krakatau Steel dalam melakukan proses produksi. Mesin ini memiliki beberapa komponen utama salah satunya yaitu rangka. Rangka pada mesin centrifugal casting mempunyai fungsi sebagai penyangga dan penopang komponen-komponen utama lain seperti motor, bantalan, drum cetakan, dll. Rangka jua memiliki fungsi untuk menahan beban dan gaya yang bekerja dari komponen-komponen tersebut.

Rangka mesin centrifugal casting produk work roll di PT. Krakatau Steel memiliki desain rangka yang terdiri dari bagian base frame dan top frame. Bagian top frame sebagai bagian untuk pemasangan cover mesin. Sedangkan bagian base frame berfungsi sebagai penyangga dan tempat dipasangnya komponen-komponen mesin sehingga harus mampu menahan beban dari komponen-komponen mesin tersebut.

Material yang digunakan pada rancangan rangka mesin centrifugal casting bagian base frame saat ini menggunakan material baja wide flange JIS G3192 dengan ukuran batang  $250 \times 125$  yang terlihat tidak optimal dan masih memiliki bobot yang terlalu berat. Selain itu, jika ditinjau dari cost effect penggunaan rangka material baja wide flange JIS G3192 dengan ukuran batang  $250 \times 125$  ini berpengaruh pada harga yang relatif lebih tinggi sehingga dinilai terlalu overdesign.

Agar menghasilkan desain yang optimal maka harus melalui tahap optimasi desain. Tahap optimasi desain pada penelitian ini dilakukan dengan memperkecil ukuran pada batang, karena masih memiliki nilai faktor keamanan yang tinggi sehingga memungkinkan untuk dikaji ulang dengan menggunakan model ukuran batang yang lebih kecil dibanding rancangan sebelumnya yaitu ukuran  $200 \times 100$ ,  $150 \times 75$ , dan kombinasi antara  $200 \times 100$  dengan  $150 \times 75$ .

Meskipun dengan memperkecil ukuran batang untuk mendapatkan desain yang optimum, tetapi tetap tidak mengabaikan kekuatan rangka itu sendiri. Kuat yang dimaksud dalam penelitian ini adalah besar nilai tegangan, defleksi/lendutan, serta nilai faktor keamanan yang terjadi pada kondisi rangka ketika diberi beban statis. Dengan itu, peneliti menggunakan metode elemen hingga atau finite element method (FEM) dengan simulasi software dalam penyelesaiannya.

## 2. METODE PENELITIAN

Teknik pengolahan dan analisis data untuk optimasi desain, dilakukan dengan menggunakan pengujian metode elemen hingga simulasi software. Teknik pengolahan data dituangkan dalam sebuah diagram alir Gambar 1 adalah diagram alir untuk optimasi desain rangka mesin pengecoran.

### 2.1. Pemodelan (Pre-processing)

Pada tahap ini, dilakukan proses pembuatan sketsa sesuai dengan data yang telah dikumpulkan pada rangka mesin centrifugal casting. Data tersebut di rubah menjadi sebuah gambar modeling 3D, dengan proses assembly untuk menjadi satu sistem rangka. Model awal rangka mesin centrifugal casting yang telah berbentuk 3D, selanjutnya dilakukan simulasi software dengan metode stress analysis, dan data hasil dari simulasi awal digunakan sebagai data penunjang pencarian dan perbandingan untuk proses optimasi desain rangka mesin centrifugal casting.

### 2.2. Analisis (Solution)

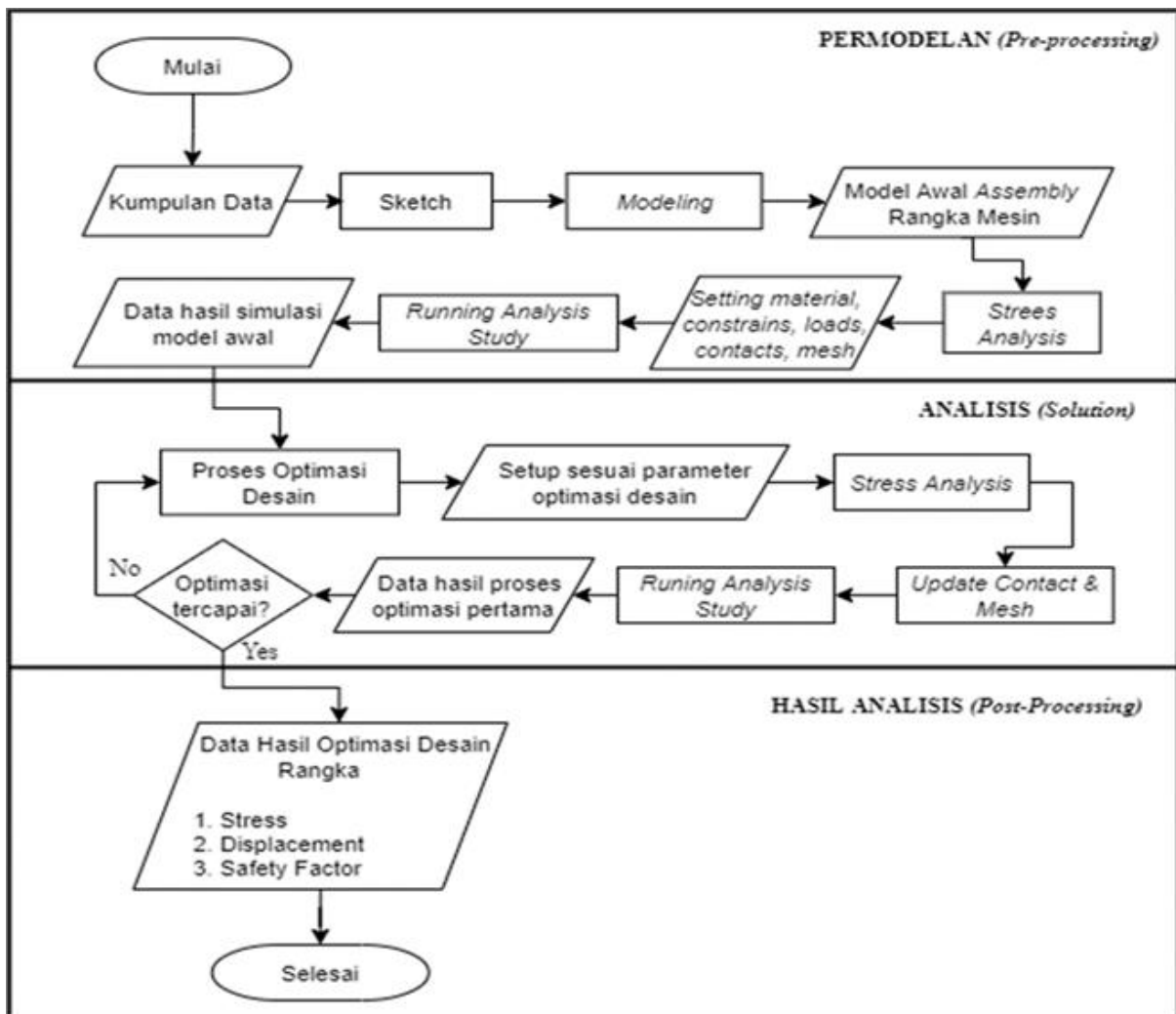
Setelah didapatkan hasil dari permodelan awal, maka tahapan selanjutnya adalah memulai proses optimasi desain dengan melakukan set up parameter optimasi desain. Adapun setup parameter optimasi desain yang dilakukan pada tahap ini yaitu, menentukan parameter variabel desain untuk rangka mesin centrifugal casting dengan memberikan variasi ukuran batang rangka dari model awal. Selanjutnya dilakukan simulasi software dengan metode stress analysis, lalu melakukan running study analysis. Proses tersebut bertujuan untuk mendapatkan hasil untuk proses optimasi pertama. Apabila hasil optimasi pertama belum tercapai sesuai dengan ketentuan parameter optimasi desain, maka langkah selanjutnya harus melakukan proses optimasi desain kembali untuk dilakukan tahapan proses optimasi selanjutnya.

### 2.3. Hasil Analisis (Post-processing)

Apabila hasil optimasi tercapai, maka langkah selanjutnya adalah melakukan reporting data hasil optimasi desain dengan simulasi software. Hal tersebut bertujuan sebagai data penunjang untuk pembahasan pada penelitian ini. Adapun output yang dihasilkan dari hasil proses optimasi desain untuk rangka mesin centrifugal

casting menggunakan simulasi software ini yaitu, nilai stress, displacement, dan safety factor. Data hasil optimasi desain yang didapat dalam simulasi software tersebut, kemudian dianalisa, dibahas, serta ditarik beberapa kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

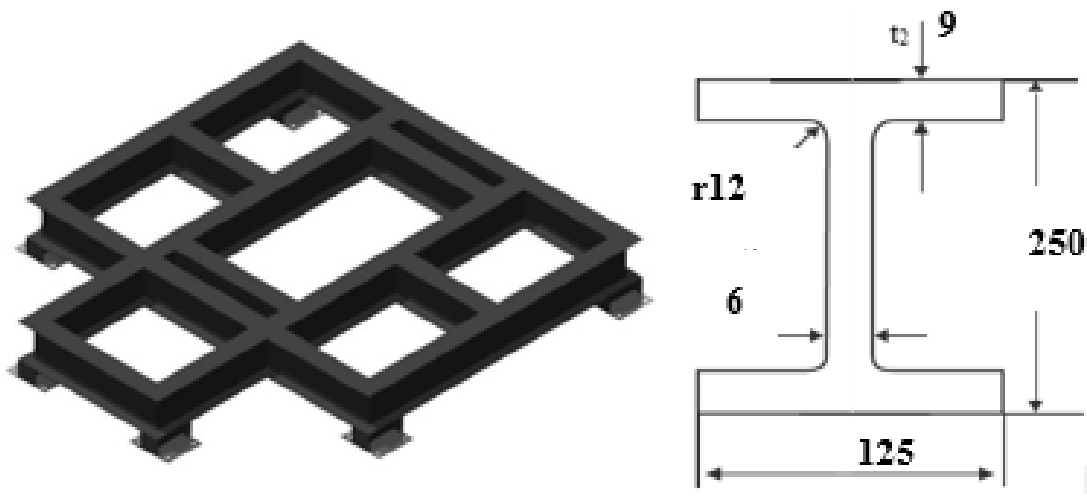
Pada penelitian ini, metode analisis yang digunakan untuk mengetahui kekuatan struktur rangka mesin centrifugal casting adalah menggunakan metode elemen hingga atau finite element analysis (FEA). Ditambah dengan melakukan simulasi menggunakan software komputer. Spesifikasi lengkap alat dan software yang digunakan untuk melakukan simulasi pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Diagram alir pengolahan data dengan simulasi software

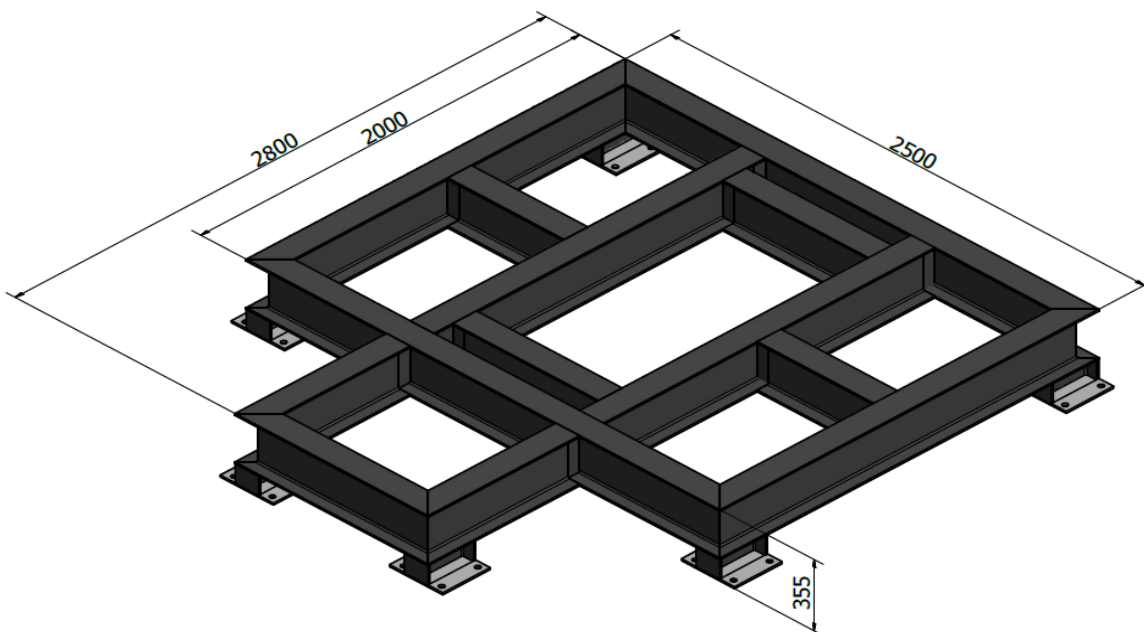
Tabel 1. Alat dan software yang digunakan

Kategori	Spesifikasi
Laptop	System Model: Asus VivoBook 14 X407UF Processor: Intel Core I3-7020U VGA: Nvidia GeForce MX130 Memory: 4GB DDR4, 2133MHz
Software	System: Windows 10, 64bit Software: Autodesk Inventor Version: Student Version Processor: 2 GHz Tahun Rilis: 2021 System: Windows 10, 64-Bit



Gambar 2. Varian pertama pada rangka base frame

Adapun secara umum ukuran dimensi rangka *base frame* yang digunakan pada mesin *centrifugal casting* dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Dimensi umum pada rangka base frame mesin

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

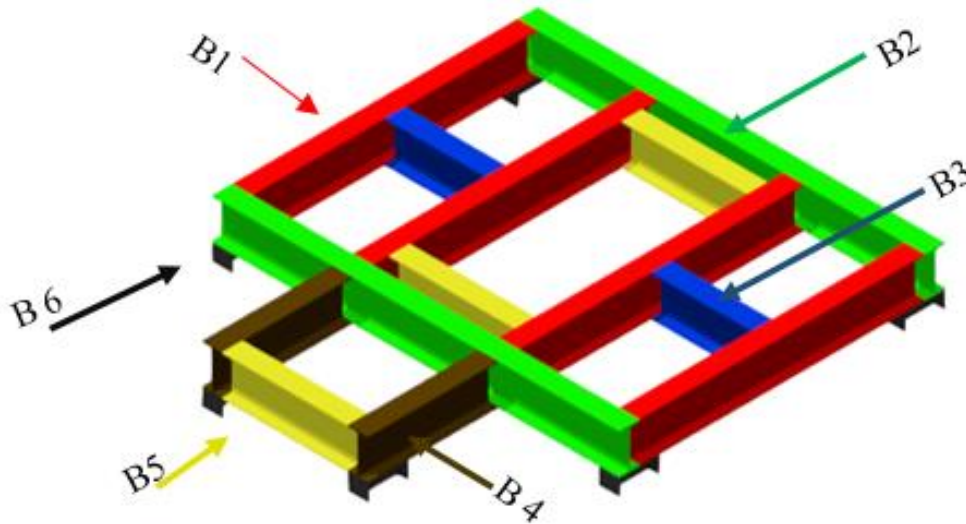
Penelitian ini dilakukan dengan melakukan optimasi desain pada bagian rangka mesin *centrifugal casting*. Proses optimasi desain dilakukan untuk mengurangi bobot atau berat dari rangka pada mesin *centrifugal casting*, dengan tetap memperhatikan kekuatan yang dialami pada rangka mesin. Proses optimasi desain disini terdiri dari empat varian desain yang akan dioptimasi, serta untuk ketentuannya mengacu pada rumusan umum optimasi. Rumusan tersebut yaitu fungsi objektif, variabel desain, dan batasan (*constrain*).

Fungsi objektif pada penelitian ini, yaitu untuk mendapatkan massa rangka *base frame* mesin *centrifugal casting* yang paling minimum. Tetapi hal tersebut juga memperhatikan kekuatan dan beban yang terjadi pada mesin. Adapun fungsi objektif  $f(x)$  untuk menghitung nilai massa pada setiap varian optimasi rangka *base frame* mesin, yaitu sebagai berikut.

$$F(x) = "V \times \rho" \tag{1}$$

Dimana untuk nilai  $V$  merupakan nilai volume pada setiap batang yang terpasang pada rangka. Untuk mengetahui nilai jumlah setiap batang yang terpasang pada rangka maka dilakukan pengelompokan setiap batang. Pengelompokan tersebut, dapat dilihat pada gambar 4. Pada bagian ini dapat diuraikan mengenai hasil dari penelitian beserta pengujian yang telah dilakukan. Selain itu, disampaikan juga mengenai pembahasan dari penelitian maupun pengujian yang telah dilakukan.

Hasil dan pembahasan seharusnya merupakan bab yang paling banyak isinya pada sebuah paper. Isi Hasil dan Pembahasan dapat mencapai 50-65% dari keseluruhan paper.



Gambar 4. Pengelompokan tiap batang pada rangka base frame mesin

Adapun tabel jumlah tiap batang yang terpasang pada rangka *base frame* mesin, setelah dilakukan pengelompokan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Jumlah tiap batang pada rangka base frame mesin

No	Batang	Jumlah
1	B1	4
2	B2	2
3	B3	2
4	B4	2
5	B5	3
6	B6	6

Setelah mengetahui jumlah setiap batang yang terpasang pada rangka *base frame* mesin, maka untuk mengetahui nilai  $F(x)$  dapat menggunakan persamaan berikut:

$$F(x) = (4VB1 + 2VB2 + 2VB3 + 2VB4 + 3VB5 + 6VB6) \times \rho \quad (2)$$

Dimana:

$$V = L \times A \quad (3)$$

Maka:

$$F(x) = (4(LB1 \times AB1) + 2(LB2 \times AB2) + 2(LB3 \times AB3) + 2(LB4 \times AB4) + 3(LB5 \times AB5) + 6(LB6 \times AB6)) \times \rho \quad (4)$$

Adapun hasil dari perhitungan massa setiap varian optimasi rangka *base frame* mesin dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan massa setiap varian optimasi rangka base frame mesin

Varian Optimasi	No Batang	Panjang (L) [m]	Luas Penampang (A) [m <sup>2</sup> ]	Massa Jenis (ρ) [Kg/m <sup>3</sup> ]	Total Massa [Kg]
Varian 1	Batang 1	1,750	0,003766	7.850	206,94
	Batang 2	2,500			147,82
	Batang 3	0,615			36,36
	Batang 4	0,800			47,30
	Batang 5	0,769			68,20
	Batang 6	0,100			17,74
	Total berat varian 1				
Varian 2	Batang 1	1,800	0,002716	7.850	153,51
	Batang 2	2,500			106,60
	Batang 3	0,6405			27,31
	Batang 4	0,800			34,11
	Batang 5	0,819			52,38
	Batang 6	0,150			19,19
	Total berat varian 2				
Varian 3	Batang 1	1,850	0,001785	7.850	103,69
	Batang 2	2,500			70,06
	Batang 3	0,665			18,65
	Batang 4	0,800			22,42
	Batang 5	0,869			36,53
	Batang 6	200			16,81
	Total berat varian 3				
Varian 4	Batang 1	1,850	0,001785	7.850	103,69
	Batang 2	2,500			70,06
	Batang 3	0,665			18,65
	Batang 4	0,800			22,42
	Batang 5	0,869			36,53
	Batang 6	200			19,19
	Total berat varian 4				

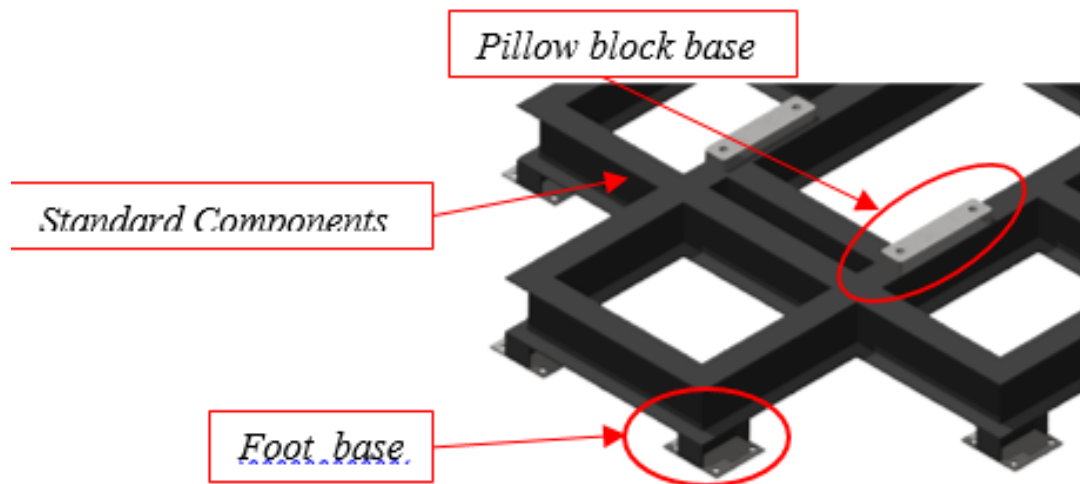
Variabel desain merupakan parameter yang diubah untuk mendapatkan kombinasi disain yang paling baik. Variabel desain pada penelitian ini yaitu, mengubah ukuran standar *steel class wide flange* untuk keempat varian optimasi desain ukuran 250×125, 200×100, 150×75, dan kombinasi antara 200×100 dengan 150×75.

Kendala (*Constrain*) merupakan batasan disain, pada umumnya meliputi kriteria disain yang diinginkan. *Safety of factor* (faktor keamanan), *displacement* (defleksi), merupakan parameter *constrain* yang digunakan pada penelitian ini. Adapun ketentuan *constrain* untuk optimasi ini secara spesifik dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Parameter constrain untuk setiap varian optimasi

Parameter	Ketentuan	Persamaan
<i>Safety Factor</i>	Sf > 1,5	$Sf = \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{kerja}}$
<i>Displacement</i>	$\Delta_{max} < \Delta_{ijin}$	$\Delta_{ijin} = \frac{l}{180}$

Setup simulasi *software* untuk keempat varian optimasi desain ini terdiri dari modeling, setup material, setup tumpuan (*constraints*), setup pembebanan (*loads*), dan setup *mesh*. Pemodelan 3 dimensi pada penelitian ini, komponen batang yang terpasang pada rangka *base frame* mesin *centrifugal casting* menggunakan *standart components* dan *custom components*. *Custom components* merupakan komponen yang perlu digambar ulang permodelannya. Adapun *custom components* pada bagian rangka *base frame* mesin ini adalah, komponen *pillow block base*, dan *foot base*. Untuk *standart components* dan *custom components* yang terpasang pada rangka *base frame* mesin, dapat dilihat pada gambar 5.



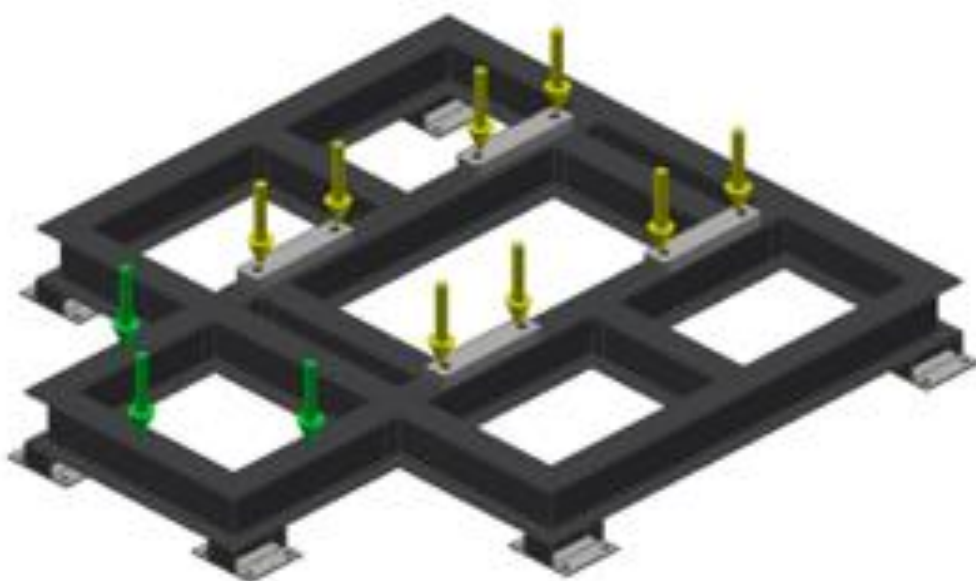
Gambar 5. Permodelan rangka base frame mesin

Rancangan rangka *base frame* pada mesin *centrifugal casting* menggunakan material SS400 JIS G3101. Adapun data sifat mekanik material dari SS400 JIS 3101 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Sifat mekanik material SS400 JIS 3101

Sifat mekanik	Nilai	Satuan
<i>Young Modulus</i>	190-210	Gpa
<i>Possion Ratio</i>	0,26	
<i>Shear Modulus</i>	79	GPa
<i>Density</i>	7850	Kg/m <sup>3</sup>
<i>Yield Strength</i>	235	MPa
<i>Tensile Strength</i>	400 – 510	MPa

Pada penelitian ini, letak tumpuan tersebut diberikan di keenam kaki pada rangka mesin dengan tipe *fixed constraints*. Adapun arah untuk penempatan posisi pembebanan dilihat pada Gambar 6. Arah pembebanan warna kuning merupakan arah beban area 1 serta arah pembebanan warna hijau merupakan arah beban area 2.



Gambar 6. Arah dan posisi pembebanan pada simulasi software

Besar pembebanan yang diinput pada saat proses simulasi disesuaikan dengan jumlah dari komponen yang terpasang pada rangka base frame mesin centrifugal casting. Adapun massa dari komponen-komponen ini dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Massa yang diterima pada rangka

No.	Area Pembebanan	Komponen	Jumlah	Massa (Kg)	Massa Total (Kg)
1	Beban Area 1	Drum Set	1	489	489
		Mold (Cetakan)	1	900	900
		Produk	2	600	1200
		Pillow Block Bearing	4	33	132
		Shaft	2	72	144
		Roda Roll	4	59	236
		Driven Pulley	1	13	13
2	Beban Area 2	Motor	1	1	540
		Driver Pulley	1	56	56

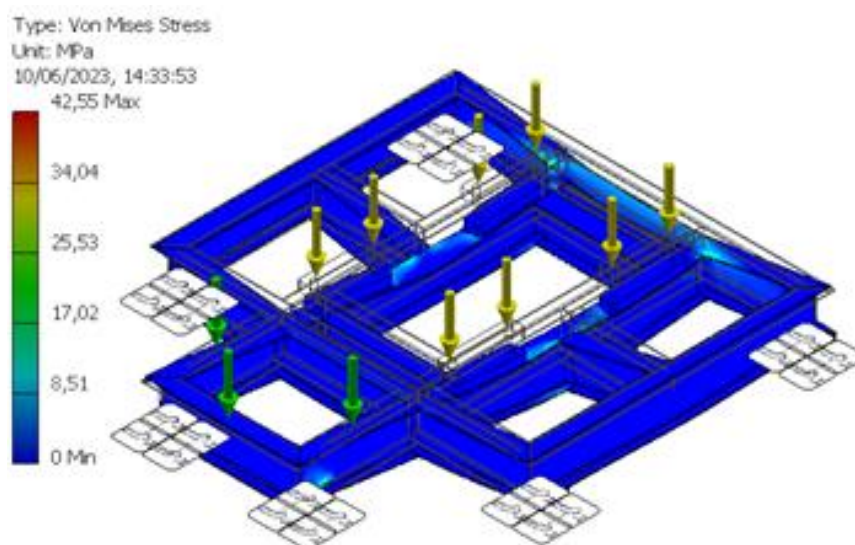
Setup mesh pada penelitian ini, untuk ukuran rata-rata element menggunakan ukuran sebesar 0,1mm. Setelah dilakukan proses meshing, struktur rangka base frame mesin menghasilkan element dan nodes. Adapun jumlah element dan nodes yang dihasilkan dari proses meshing yang telah dilakukan pada masing-masing varian optimasi dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Jumlah elements & nodes pada setiap varian

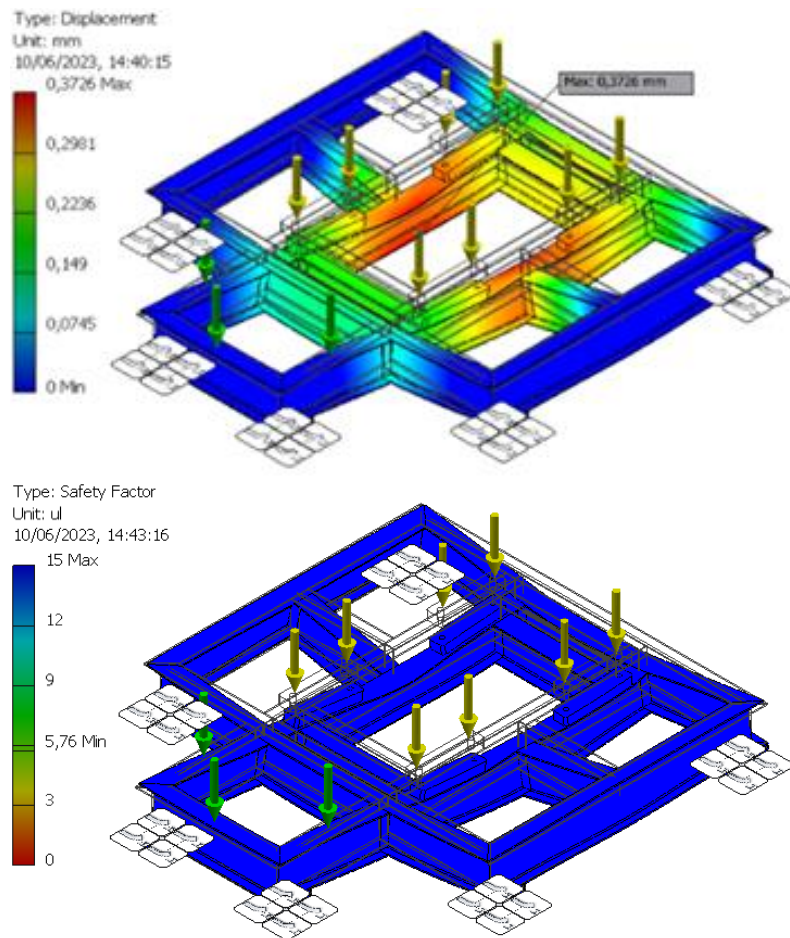
No	Varian Optimasi	Jumlah	
		Elements	Nodes
1	Varian 1	54.726	112.732
2	Varian 2	60.286	123.125
3	Varian 3	52.179	107.397
4	Varian 4	52.616	109.666

Setelah dilakukan simulasi stress analysis pada setiap varian rangka optimasi, didapatkan hasil analysis report. Adapun nilai yang didapat dari hasil simulasi ini terbagi menjadi 3 bagian yaitu, stress, displacement, dan safety factor. Berikut ini merupakan hasil pada setiap varian rangka optimasi dari analysis report, pada simulasi yang telah dilakukan.

### 3.1. Hasil Simulasi Software Varian Ke-1





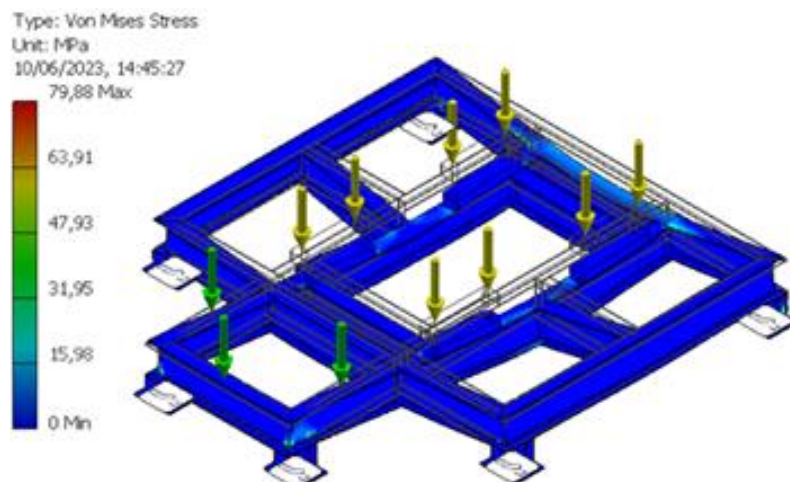


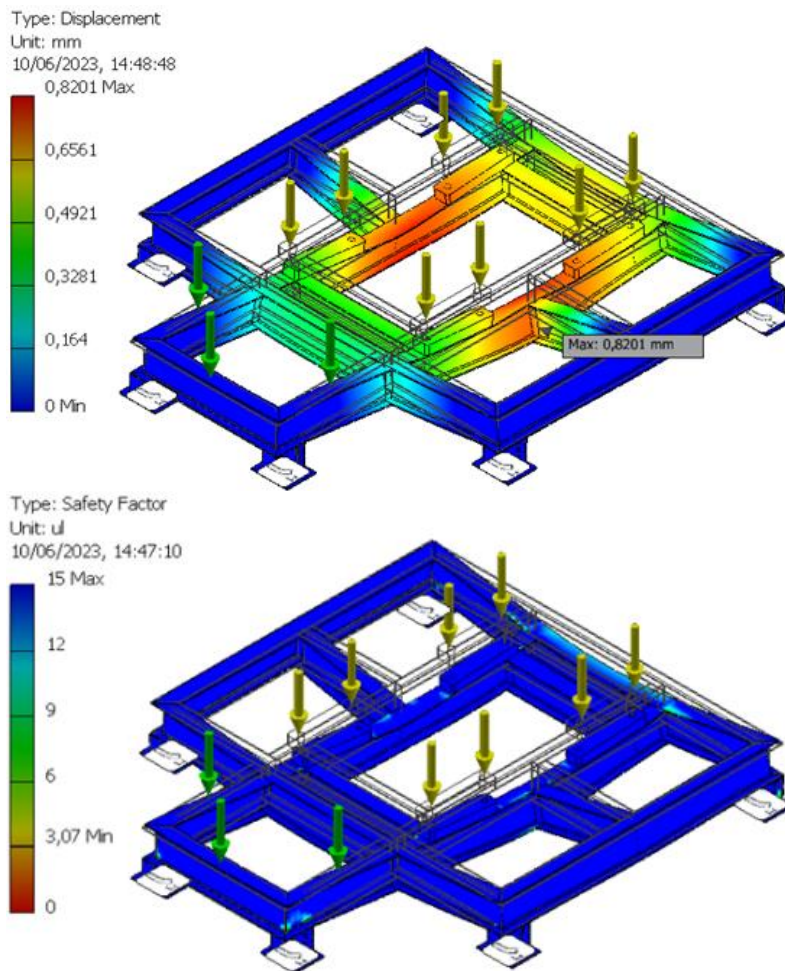
Gambar 7. Hasil simulasi *software* varian optimasi ke-1

Tabel 8. Nilai hasil simulasi *software* varian optimasi ke-1

Parameter	Nilai
<i>Von Mises Stress Max.</i> (MPa)	42,55
<i>Displacement Max.</i> (mm)	0,3726
<i>Safety Factor</i>	5,76

### 3.2. Hasil Simulasi Software Varian Ke-2



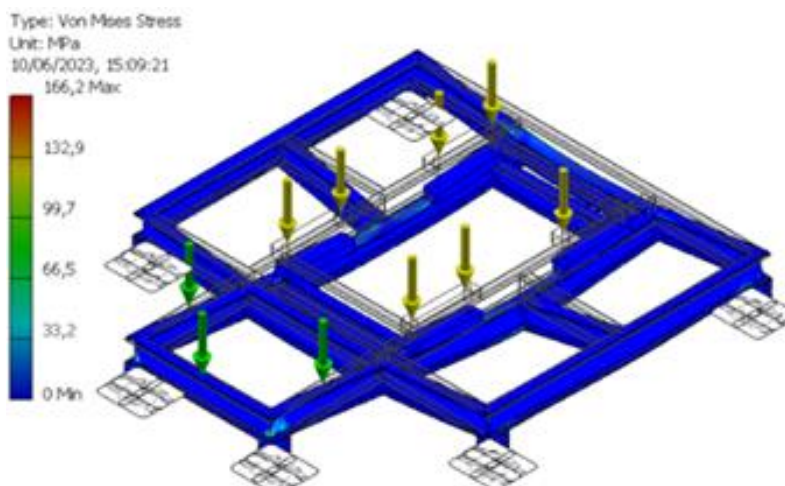


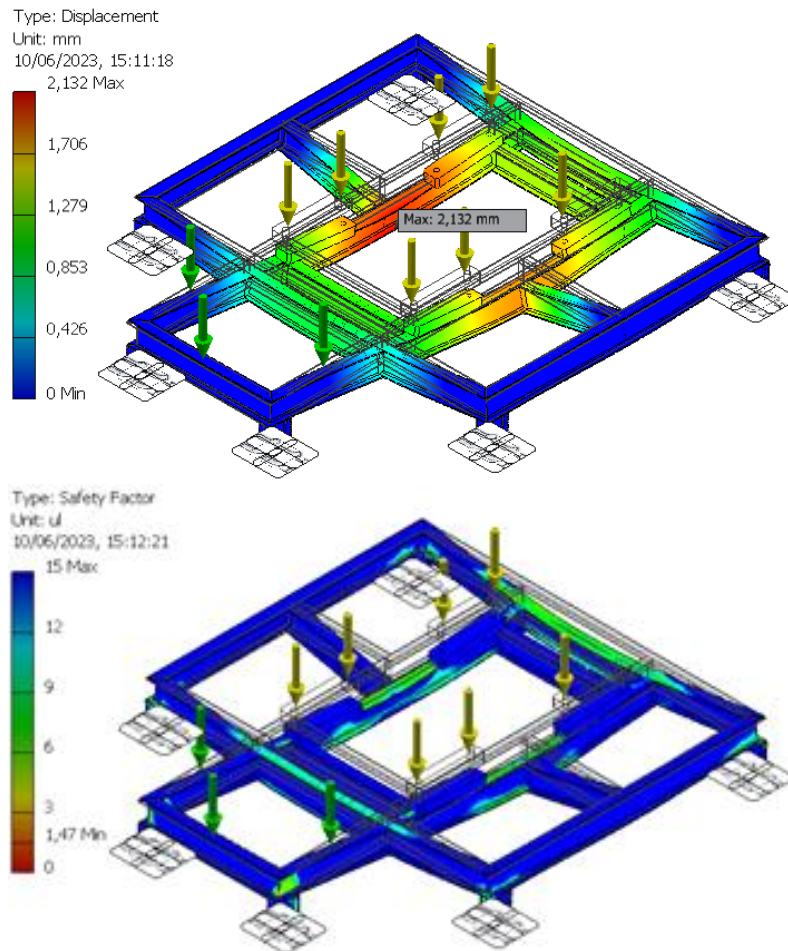
Gambar 8. Hasil simulasi software varian optimasi ke-2

Tabel 9. Nilai hasil simulasi *software* varian optimasi ke-2

Parameter	Nilai
<i>Von Misses Stress Max.</i> (MPa)	79,88
<i>Displacement Max.</i> (mm)	0,8201
<i>Safety Factor</i>	3,07

### 3.3. Hasil Simulasi Software Varian Ke-3



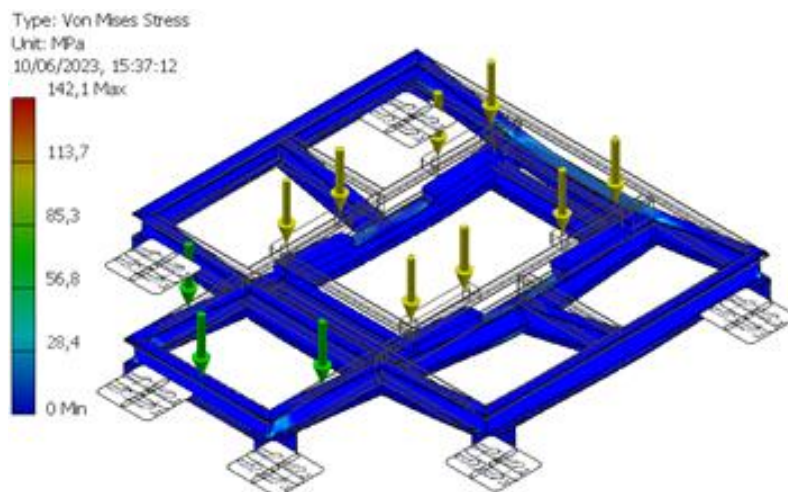


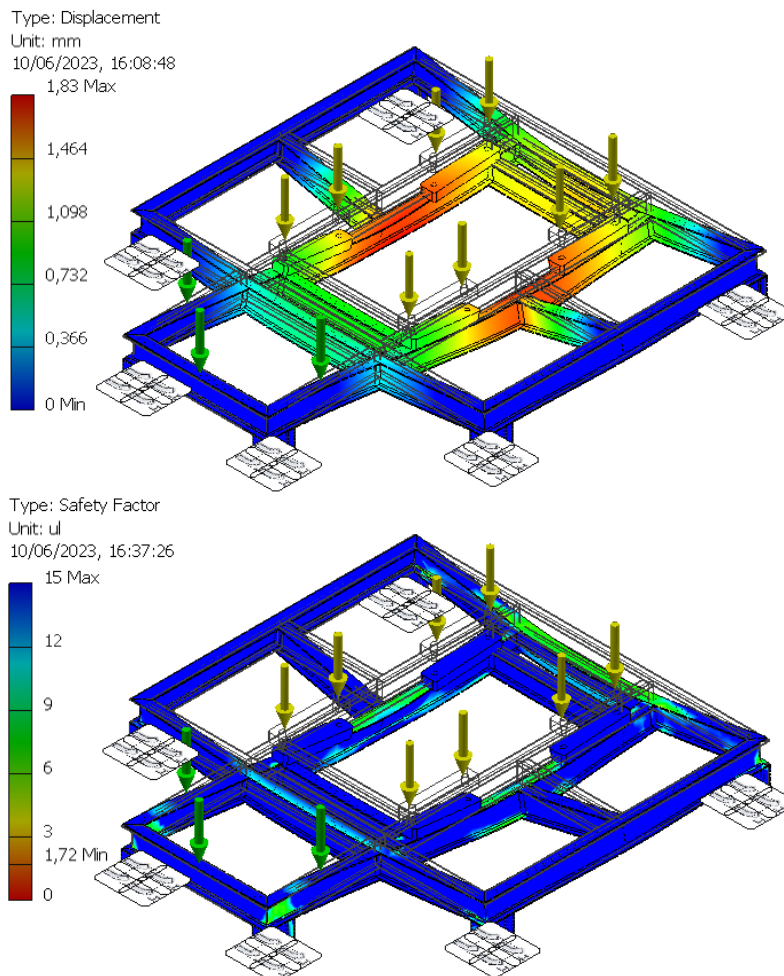
Gambar 9. Hasil simulasi software varian optimasi ke-3

Tabel 10. Nilai hasil simulasi *software* varian optimasi ke-3

Parameter	Nilai
<i>Von Misses Stress Max.</i> (MPa)	166,2
<i>Displacement Max.</i> (mm)	2,132
<i>Safety Factor</i>	1,47

### 3.4. Hasil Simulasi Software Varian Ke-4





Gambar 10. Hasil simulasi software varian optimasi ke-4

Tabel 11. Nilai hasil simulasi *software* varian optimasi ke-4

Parameter	Nilai
<i>Von Misses Stress Max.</i> (MPa)	142,1
<i>Displacement Max.</i> (mm)	1,83
<i>Safety Factor</i>	1,72

Nilai dari analisis yang telah dilakukan, kemudian disajikan kedalam sebuah tabel. Adapun tabel keputusan pemilihan varian hasil optimasi desain dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Tabel keputusan pemilihan varian hasil optimasi desain

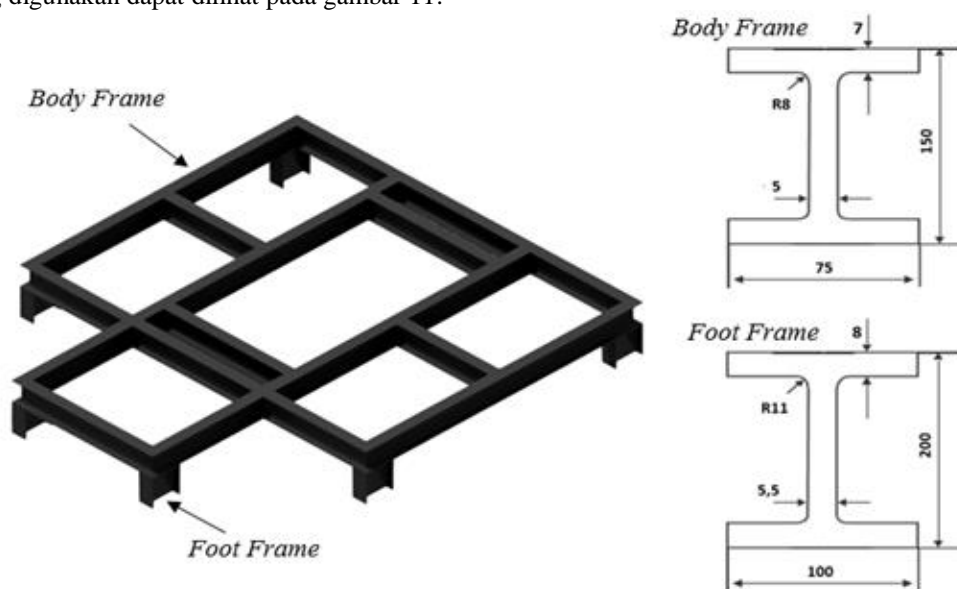
Varian Optimasi	Massa [Kg]	Faktor Keamanan		Defleksi [mm]		Hasil (Memenuhi/Tidak)
		Hasil Simulasi	Batasan ( <i>Constrain</i> )	Hasil Simulasi	Batasan ( <i>Constrain</i> )	
Varian 1	524,36	5,76	1,5	0,3726	9,72	Memenuhi
Varian 2	393,11	3,07	1,5	0,8201	10	Memenuhi
Varian 3	268,17	1,47	1,5	2,132	10,27	Tidak
Varian 4	270,54	1,72	1,5	1,83	10,27	Memenuhi

Berdasarkan tabel 12, semua varian memenuhi batasan yang telah ditetapkan kecuali varian ke-3. Varian tersebut memiliki massa rangka *base frame* mesin yang paling ringan, yaitu sebesar 268,17 Kg dan nilai faktor keamanannya 1,47. Meskipun varian tersebut memiliki massa yang paling ringan, tetapi tidak memenuhi kriteria optimasi desain karena nilai faktor keamanannya tidak memenuhi batas minimum faktor keamanan yang telah ditetapkan. Nilai factor keamanan yang ditetapkan, yaitu harus diatas 1,5.

Untuk varian ke-1, varian ke-2, dan varian ke-4 memiliki hasil yang memenuhi semua batasan (*constrain*) yang telah ditetapkan. Varian ke-1 memiliki nilai massa sebesar 524,36 Kg, varian ke-2 memiliki nilai massa sebesar 393,11kg, sedangkan untuk varian ke-4 memiliki nilai massa sebesar 270,54kg.

Berdasarkan pembahasan tersebut, maka hasil rancangan rangka *base frame* mesin *centrifugal casting* terbaik atau yang paling optimum adalah varian optimasi desain yang ke-4. Varian tersebut mempunyai massa yang paling minimum, dari ketiga varian yang memenuhi kriteria optimasi yang telah ditetapkan.

Adapun permodelan 3D rangka *base frame* mesin *centrifugal casting* varian ke-4, beserta standar ukuran profil yang digunakan dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Permodelan 3D varian terpilih dan ukuran profil yang digunakan

#### 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian untuk optimasi desain pada rangka base frame mesin centrifugal casting dengan simulasi software menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor, dapat disimpulkan bahwa, Optimasi desain pada penelitian ini mengacu pada rumusan umum optimasi. Fungsi objektif, yaitu untuk mendapat nilai minimum berat pada rangka. Constraint (batasan), yaitu nilai Safety Factor yang didapatkan tidak kurang dari 1,5, dan nilai defleksi maksimum tidak lebih dari nilai defleksi izin. Variabel desain, yaitu variasi ukuran baja wide flange untuk empat varian desain optimasi menggunakan baja wide flange ukuran 250×125, 200×100, 150 x 75, dan kombinasi antara 200×100 dengan 150×75. Hasil massa rangka base frame mesin centrifugal casting varian ke-1 sebesar 524,36 kg, varian ke-2 sebesar 393,11 kg, varian ke-3 sebesar 268,17 kg, dan varian ke-4 sebesar 270,54 kg. Semua varian memenuhi nilai batasan (constrain) faktor keamanan dan defleksi yang telah ditetapkan, kecuali varian ke-3. Meskipun Massa rangka base frame mesin yang paling minimum terdapat pada varian ke-3, tetapi untuk varian tersebut tidak memenuhi kriteria. Nilai faktor keamanan varian ke-3 adalah 1,47, nilai tersebut tidak memenuhi batas minimum yang telah ditetapkan yaitu harus diatas 1,5. Hasil rancangan rangka base frame mesin centrifugal casting setelah dilakukan optimasi didapatkan hasil rancangan terbaik atau yang paling optimum, yaitu varian optimasi desain yang ke-4 karena mempunyai massa yang paling minimum dari ketiga varian yang memenuhi kriteria optimasi yang telah ditetapkan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Agus, "Optimasi Desain," Malang: Universitas Widyagama Malang, 2018.
- [2] P. Federal, "About Federal Pipe Centrifugal Casting Machine Co., Ltd. Retrieved from Federal Pipe Centrifugal Casting Machine Co.," (December, 12) 2017. Ltd: <https://www.centrifugalcastmachine.com/about/>
- [3] J. Shigley and L. D. Mitchell, *Perencanaan Teknik Mesin (Mechanical Engineering Design); Alih Bahasa Gandhi Harahap*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1986.
- [4] A. P. Joko, "APLIKASI METODE ELEMEN HINGGA ( MEH ) PADA STRUKTUR RIB BODI ANGKUTAN PUBLIK," Surakarta: Universitas Sebelas Maret, 2010.

- 
- [5] L. U. Tekno, *Training Modul Autodesk Inventor Professional 2015*. Jakarta: PT. Tekno Logika Utama, 2015
- [6] T. Miyachi, M. Iida, T. Fukuda, and T. Arai, "Nondimensional maximum pressure gradient of tunnel compression waves generated by offset running axisymmetric trains," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 157, 2016.
- [7] S. B. Yao, D. L. Guo, Z. X. Sun, D. W. Chen, and G. W. Yang, "Parametric design and optimization of high speed train nose," *Optimization and Engineering*, vol. 17, no. 3, 2016.
- [8] X. Sun, X. Han, C. Dong, and X. Li, "Applications of Aluminum Alloys in Rail Transportation." [Online]. Available: [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com).
- [9] "An Introduction to Structural Optimization."
- [10] Y. C. Ku et al., "Optimal cross-sectional area distribution of a high-speed train nose to minimize the tunnel micro-pressure wave," *Structural and Multidisciplinary Optimization*, vol. 42, no. 6, 2010.
- [11] J. Lee and J. Kim, "Approximate optimization of high-speed train nose shape for reducing micropressure wave," *Structural and Multidisciplinary Optimization*, vol. 35, no. 1, 2008.
- [12] S. Krajnović, "Shape optimization of high-speed trains for improved aerodynamic performance," *Proc Inst Mech Eng F J Rail Rapid Transit*, vol. 223, no. 5, 2009.
- [13] S. Krajnović, "Shape optimization of high-speed trains for improved aerodynamic performance," *Proc Inst Mech Eng F J Rail Rapid Transit*, vol. 223, no. 5, 2009.
- [14] K. Cui, X. P. Wang, S. C. Hu, T. Y. Gao, and G. Yang, "LNEE 148 -Shape Optimization of High-Speed Train with the Speed of 500kph."
- [15] S. Yao, D. Guo, and G. Yang, "Three-dimensional aerodynamic optimization design of high-speed train nose based on GA-GRNN," *Sci China Technol Sci*, vol. 55, no. 11, 2012.
- [16] Y.-C. Ku, M.-H. Kwak, H.-I. Park, and D.-H. Lee, "Multi-Objective Optimization of High-Speed Train Nose Shape Using the Vehicle Modeling Function," 2010.
- [17] V. V. Vytla, P. G. Huang, and R. C. Penmetsa, "Multi Objective Aerodynamic Shape Optimization of High Speed Train Nose Using Adaptive Surrogate Model," 2010. Surya I, dan Heru S B R / EE Conference Series 06 (2023)641
- [18] S. B. Yao, D. L. Guo, Z. X. Sun, G. W. Yang, and D. W. Chen, "Multi-objective optimization of the streamlined head of high-speed trains based on the Kriging model," *Sci China Technol Sci*, vol. 55, no. 12, 2012.
- [19] "ANSYS Workbench Documentation." E. A. Shams and A. Rizaner, "A novel support vector machine based intrusion detection system for mobile ad hoc networks," *Wirel. Networks*, vol. 24, no. 5, pp. 1821–1829, 2018, doi: 10.1007/s11276-016-1439-0.