

## Redesign Jig Side Frame Bogie LRT Jabodebek

Jovial Auliya Furqan<sup>a</sup>, Alfi Tranggono Agus Salim<sup>a</sup>, Indarto Yuwono<sup>a</sup>, Agung Prasetyo Utomo<sup>b</sup>, Umar Muchtar<sup>c</sup>, Dony Saputra<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Perkeretaapian, Politeknik Negeri Madiun, Madiun, Indonesia

e-mail: [jovialfurqan991507@gmail.com](mailto:jovialfurqan991507@gmail.com), [alfitranggono@pnm.ac.id](mailto:alfitranggono@pnm.ac.id), [indarto@pnm.ac.id](mailto:indarto@pnm.ac.id)

<sup>b</sup>Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

e-mail: [aguungprasetyo@ppns.ac.id](mailto:aguungprasetyo@ppns.ac.id)

<sup>c</sup>Departemen Preparation and Support, PT INKA Multi Solusi, Madiun, Indonesia

e-mail: [umr.muchtar@gmail.com](mailto:umr.muchtar@gmail.com)

<sup>d</sup>Departemen Engineering, PT INKA, Madiun, Indonesia

e-mail: [umr.muchtar@gmail.com](mailto:umr.muchtar@gmail.com)

### Kata kunci:

*jig, FEM, simulasi, safety factor, deformasi*

### ABSTRAK

Proses produksi *jig* di PT INKA Multi Solusi (IMS) fokus pada kekuatan, fungsi, dan kecepatan produksi. Permasalahan yang diketahui adalah kekuatan dan biaya produksi *jig* lebih tinggi karena proses produksi tidak banyak pada tahap *trial* dan *error*. Penelitian ini melakukan analisis kekuatan statis *jig side frame bogie Light Rail Train (LRT) Jabodebek* dengan parameter nilai *safety factor* dan deformasi. Keandalan *jig* sesuai kebutuhan diperoleh dengan parameter standar nilai *safety factor* dan deformasi. Tujuan *redesign* adalah efisiensi pengurangan berat. Metode pengujian penelitian ini adalah simulasi pembebanan statis. *Software finite element method (FEM)* digunakan untuk proses pengujian dan dilakukan perhitungan manual pada salah satu kondisi agar diperoleh nilai tegangan untuk dibandingkan dengan hasil simulasi. Hasil analisis berupa desain *jig* dengan nilai *safety factor* dan deformasi sesuai standar. Hasil simulasi desain awal *jig* berupa nilai *safety factor* sebesar 25 dan deformasi maksimal 0,045 mm. Proses *redesign* dilakukan dengan pengurangan dimensi *jig*, sehingga berat *jig* berubah dari 1.066 Kg menjadi 430 Kg. Hasil simulasi *redesign* untuk nilai *safety factor* sebesar 32 dan deformasi maksimal 0,114 mm. Hasil simulasi kedua desain dinyatakan aman karena nilai *safety factor* di atas 2 dan nilai deformasi di bawah 0,5 mm, hasil *redesign* memberikan nilai *safety factor* lebih baik, tetapi nilai deformasi bertambah.

### Keyword:

*jig, FEM, simulasi, safety factor, deformation*

### ABSTRACT

The *jig* production process at PT IMS focuses on strength, function and production speed. The known problem is the higher strength and cost of producing *jigs* because the production process is not much at the *trial* and *error* stage. This study analyzes the static strength of the *jig side frame bogie of the Light Rail Train (LRT) Jabodebek* with the parameters of the *safety factor* and *deformation* values. The *redesigning* aim is weight decreasing efficiency. Static loading simulation method testing process used is conducted by using *Finite Element Method* software. It is counted manually to one of conditions to obtain the voltage value compared to the simulation results. This analysis is in form of measured *jig* design with *safety factor* and *deformation* value. The simulation obtained result in *jig* early design is the *safety factor* value 25 and *deformation* value 0,045 mm. After *jig* dimension decreasing has been conducted, so that the weight of the *jig* changes from 1,066 Kg to 430 Kg.. *Redesigning* result for *safety factor* value is 32 and the maximum *deformation* is 0,114 mm. The results of both simulations are considered as safe because the *safety factor* values are more than 2 and the *deformation* value are less than 0,5 mm. *Redesigning* by decreasing dimension gives better *safety factor* yet the *deformation* value increases.

## 1. PENDAHULUAN

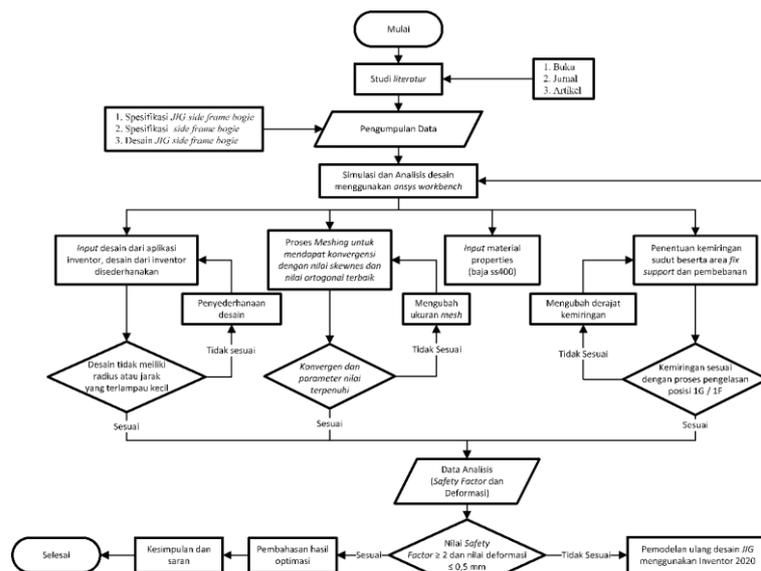
*Light Rail Transit (LRT)* adalah sistem jalur kereta listrik metropolitan yang dikarakteristikan atas kemampuannya menjalankan gerbong atau kereta pendek [1]. Komponen utama penyusun kereta atau LRT adalah bogie [2]. Bogie LRT Jabodebek diproduksi PT INKA. Bogie dengan kualitas tinggi diproduksi dengan bantuan *jig*. *Jig* adalah alat bantu yang memiliki fungsi mencekam dan mengarahkan benda kerja untuk proses manufaktur [3]. Fokus pembuatan *jig* di PT INKA Multi Solusi lebih mengutamakan kekuatan, fungsi dan kecepatan produksi. Proses produksi yang menggunakan tahap *trial* dan *error* tidak banyak karena menambah waktu dan biaya [4]. Ketika produksi tidak melalui tahap *trial* dan *error*, penentuan sejauh mana kekuatan atau keandalan akan sulit. Hal ini mengakibatkan *jig* memiliki kekuatan dan biaya produksi cenderung lebih tinggi. Penelitian yang fokus untuk mengetahui karakteristik *jig* masih sangat jarang ditemui sehingga penelitian relevan yang digunakan diambil dari penelitian struktur. Pembuatan produk perlu dilakukan analisis karena berkaitan dengan tingkat kekuatan dan keselamatan [5].

Fokus penelitian ini adalah mengetahui keandalan *jig full weld side frame bogie* LRT Jabodebek. *Jig* menggunakan desain meja *rotary* untuk mempermudah pengelasan. Penelitian dilakukan dengan analisis statis tanpa ada perubahan atau tetap pada struktur [6]. Selanjutnya, *jig* dibuat dengan sudut normal dan sudut dengan kebutuhan pengelasan 1G. Analisis beban digunakan untuk menganalisis nilai *safety factor* dan deformasi. Karenakan tidak ada standar pengujian untuk simulasi *jig*, proses pengujian menggunakan metode simulasi pembebanan statis yang disesuaikan dengan penggunaan aktual *jig*. Penelitian dilakukan dengan dua desain yaitu desain PT IMS dan hasil *redesign jig*. Desain dibuat menggunakan *software autodesk inventor student version 2020* [7] dengan material SS400 dan kondisi sambungan pengelasan diabaikan (dianggap rigid). Fokus penelitian ini adalah mengetahui karakteristik *jig* sehingga penyangga meja *jig* dan deformasi proses pengelasan diasumsikan tidak ada. Tujuan *redesign* adalah untuk mengurangi berat *jig* dengan analisis biaya tidak diperhitungkan.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode dan bahan dipersiapkan agar penelitian yang dilaksanakan efektif dan efisien sehingga menghasilkan *jig* yang memiliki nilai *safety factor* lebih baik dengan desain yang lebih ringan.

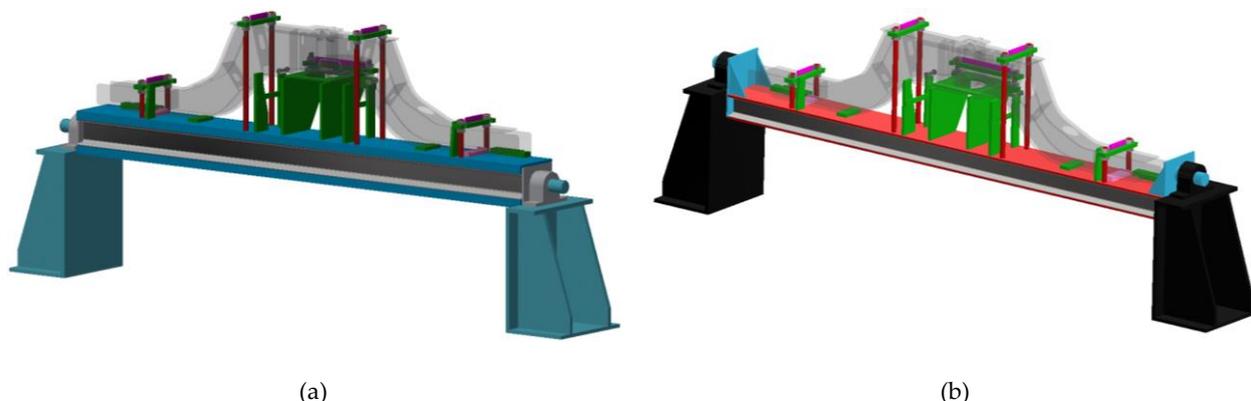
### 2.1. Prosedur penelitian



Gambar 1. Flowchart prosedur penelitian

## 2.2. Objek penelitian

Objek penelitian dalam penelitian ini berupa desain *jig side frame bogie LRT Jabodebek* pada gambar 2 (a) dan hasil *redesign jig side frame bogie LRT Jabodebek* pada gambar 2 (b). Kedua desain *jig* disusun dengan material SS400.



Gambar 2. (a) desain *jig side frame bogie LRT Jabodebek* (b) *redesign jig side frame bogie LRT Jabodebek*  
Sumber: PT INKA Multi Solusi

Kedua gambar adalah desain awal yang digunakan untuk pemodelan sederhana menggunakan *software Finite Element Method (FEM)*. Beban yang digunakan adalah *side frame bogie LRT Jabodebek* dengan material utama S355J2+N. Tabel 1 menunjukkan *data sheet* material yang digunakan pada penelitian. Penggunaan material disesuaikan dengan standar PT IMS sehingga material yang digunakan untuk *redesign jig* adalah SS400.

Tabel 1. *Datasheet* material

<i>Mechanical Properties</i>	<b>S355J2+N</b>	<b>SS400</b>
<i>Young Modulus</i>	210.000 MPa	206.001 MPa
<i>Shear Modulus</i>	77.000 MPa	79.000 MPa
<i>Poisson's Ratio</i>	0.3	0.3
<i>Density</i>	7,80 gr/cm <sup>3</sup>	7,85 gr/cm <sup>3</sup>
<i>Yield Strength</i>	355 MPa	235 MPa
<i>Ultimate Strength</i>	470 MPa	510 MPa

Sumber: MATWEB material property data [8],[9]

## 2.3. Proses pengambilan data

Proses pengambilan data dilakukan melalui dua tahap yaitu perhitungan manual pada satu kondisi kemudian proses simulasi. Selanjutnya, perhitungan pada satu kondisi dibandingkan dengan hasil simulasi pada kondisi yang sama untuk validasi simulasi.

### 2.3.1 Proses perhitungan manual

Sebelum proses simulasi dilakukan perhitungan manual. Perhitungan dilakukan pada satu titik untuk mengetahui besar tegangan yang terjadi. Nantinya, hasil perhitungan manual dibandingkan dengan proses simulasi yang dilakukan dengan *software finite element method*.

Nilai tegangan dihitung melalui beberapa tahap yang saling berkaitan. Perhitungan pertama dilakukan untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada *jig side frame bogie* buatan PT IMS dan perhitungan kedua dilakukan untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada hasil *redesign jig side frame bogie*.

Tahapan yang dilakukan untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada satu titik sebagai berikut [10].

1. Pembuatan diagram bebas kemudian dilanjutkan penentuan reaksi peletakan.
2. Pembuatan diagram geser dan diagram momen.
3. Perhitungan momen inersia.
4. Perhitungan tegangan maksimum.

**2.3.2 Proses simulasi**

Berikut adalah langkah-langkah analisis dan simulasi sederhana menggunakan *software* FEM [11].

- |                       |                           |
|-----------------------|---------------------------|
| 1. Pemilihan Metode   | 4. Proses <i>meshing</i>  |
| 2. Pemilihan Material | 5. <i>Running/Solving</i> |
| 3. Proses Geometri    | 6. Analisis               |

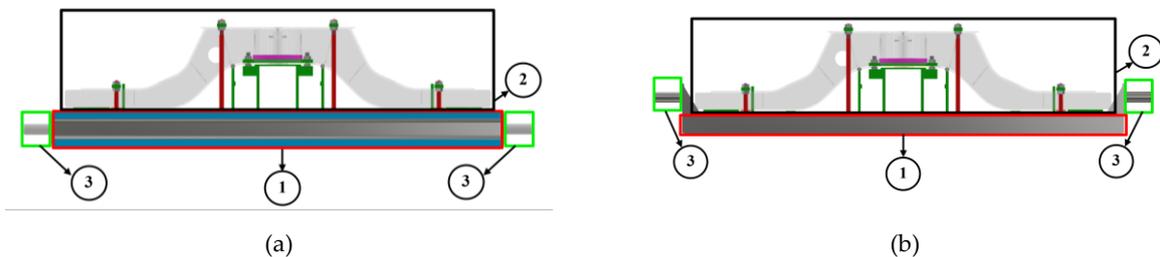
Penelitian dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan *von mises* akibat pembebanan statis, nilai faktor keamanan (*safety factor*), dan deformasi. Hasil nilai tersebut digunakan untuk mendapat desain yang lebih ringan, tetapi memiliki nilai yang sesuai dengan *safety factor* dan deformasi.

**3. HASIL DAN ANALISIS**

Hasil dan pembahasan penelitian ini dimulai dengan memberikan hasil perhitungan teoritis kemudian dilanjut proses simulasi, melakukan *redesign*, dan melakukan analisis *structure redesign*.

**3.1. Perhitungan teoritis**

Pada tahap ini dilakukan perhitungan pada dua desain (desain PT IMS pada gambar 3 (a) dan hasil *redesign* pada gambar 3 (b)). Konstruksi *jig* dibagi 3 bagian yaitu meja *jig side frame bogie* (kotak merah ①), beban *side frame bogie* (warna transparan abu-abu, kotak hitam ②) dan tumpuan meja *jig* (kotak warna hijau ③).



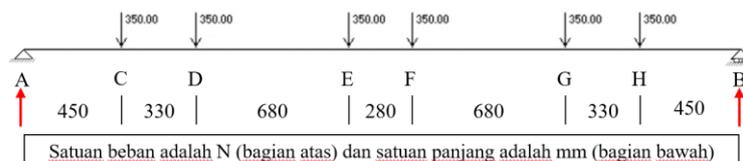
Gambar 3. (a) Konstruksi desain *jig* PT IMS (b) Konstruksi *redesign jig*

Beban utama *jig* berasal dari berat *side frame bogie*, sebesar 213,544 Kg sehingga gaya atau berat ditentukan sebagai berikut menggunakan persamaan (1) [12],

$$\begin{aligned}
 F &= m \times a && (1) \\
 &= 213,544 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 2.092,731 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan dibulatkan ke atas sebesar 2.100 N, gaya tersebut diolah dengan pembagian beban terpusat sebanyak 6 titik pembebanan,

$$\text{Beban tiap titik} = \frac{2.100 \text{ N}}{6} = 350 \text{ N}$$



Gambar 4. Diagram benda bebas *jig side frame bogie*

Berikut adalah hasil reaksi peletakan yang terjadi pada titik A dan B beserta validasi perhitungan.

$$R_A V = \frac{3.360.000 \text{ Nmm}}{3.200 \text{ mm}} = 1.050 \text{ N}$$

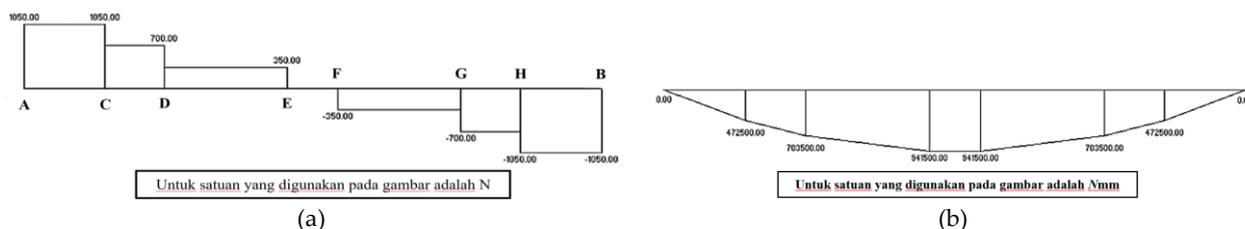
$$R_B V = \frac{3.360.000 \text{ Nmm}}{3.200 \text{ mm}} = 1.050 \text{ N}$$

Validasi perhitungan menggunakan persamaan (2) [12],

$$R_A V + R_B V = P_C + P_D + P_E + P_F + P_G + P_H \quad (2)$$

$$2.100 \text{ N} = 2.100 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

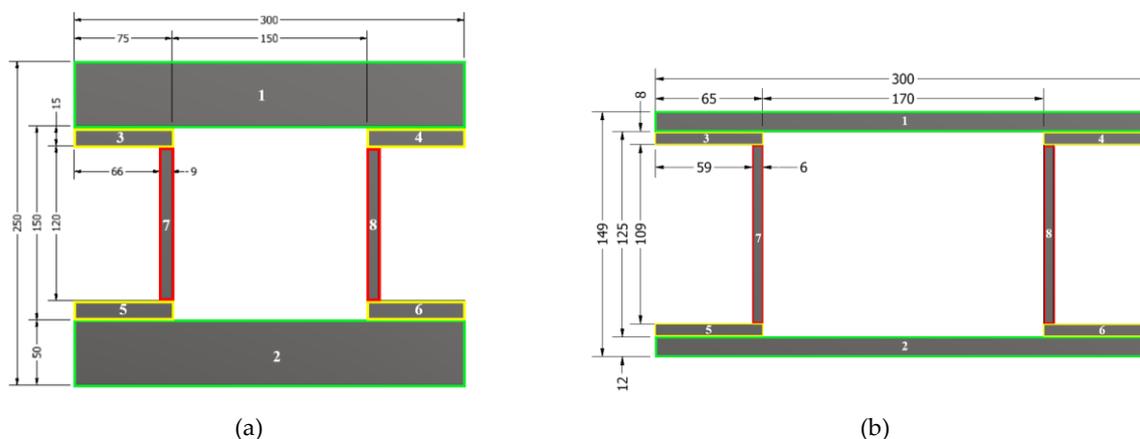
Gambar 5 (a) adalah diagram geser dan gambar 5 (b) adalah diagram momen, dari gambar diketahui bahwa momen maksimal terjadi pada bagian tengah konstruksi *jig* dan gaya yang terjadi besarnya seimbang pada kedua sisi dengan nilai maksimal pada titik A dan B gambar 5 (a).



Gambar 5. (a) Diagram geser (b) Diagram momen

### 3.2. Momen inersia

Desain rangka sebelumnya disederhanakan dengan menghilangkan sudut radius dan kemiringan agar hasil *meshing* tidak rusak. Penyederhanaan desain dilihat pada gambar 6 (a) untuk desain awal *jig* dan gambar 6 (b) untuk hasil *redesign*. Hasil perhitungan momen inersia untuk desain awal sebesar **329.429.500 mm<sup>4</sup>** dan nilai momen inersia untuk hasil *redesign* sebesar **42.295.002 mm<sup>4</sup>**.



Gambar 6. (a) Potongan penampang desain awal (b) Potongan penampang *redesign*

### 3.3. Tegangan maksimum

Tegangan maksimum didapat dari pengolahan nilai momen inersia, sedangkan nilai tegangan maksimum desain awal sebagai berikut menggunakan persamaan 3 [13],

$$\begin{aligned} \sigma_{max} &= \frac{M \times C}{I} \\ &= \frac{941.500 \text{ Nmm} \times 125 \text{ mm}}{329.429.500 \text{ mm}^4} = 0,357 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (3)$$

Hasil perhitungan tegangan maksimum untuk hasil *redesign* sebagai berikut,

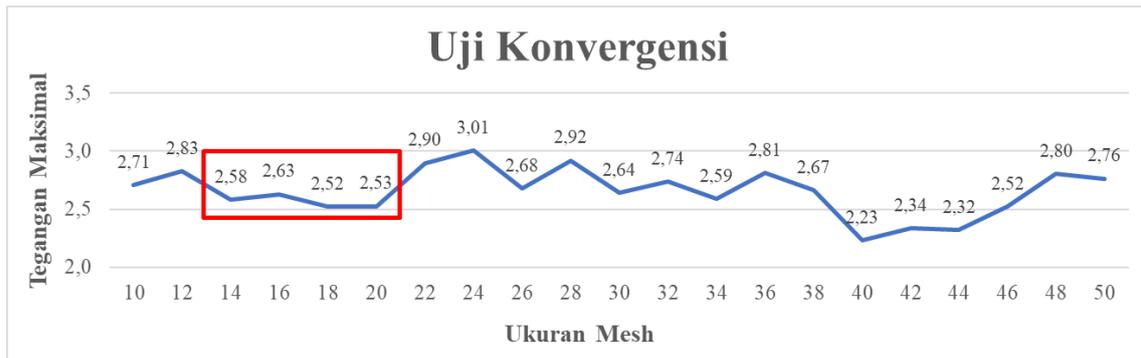
$$\begin{aligned} \sigma_{max} &= \frac{M \times C}{I} \\ &= \frac{941.500 \text{ Nmm} \times 74,5 \text{ mm}}{42.295.002 \text{ mm}^4} = 1,658 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (3)$$

### 3.4. Hasil analisis dengan *software finite element method*

Analisis dilakukan melalui dua tahap, tahap pertama menggunakan desain kerangka meja *jig side frame bogie* milik PT INKA Multi Solusi dan tahap kedua menggunakan hasil *redesign*.

#### 3.4.1 Analisis *jig* milik PT IMS

Tahap awal adalah uji konvergen, hasilnya pada gambar 7 ukuran *mesh* yang digunakan sebesar 18.

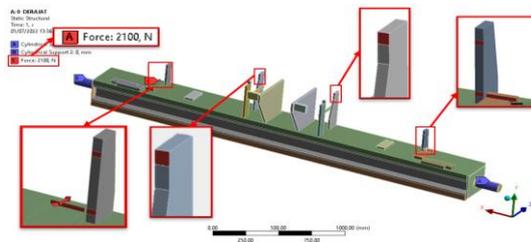


Gambar 7. Grafik uji konvergensi *jig* PT IMS

Simulasi desain *jig side frame bogie* dilakukan sebanyak tiga tahap, pada tahap pertama dilakukan dengan kondisi sudut kemiringan meja *jig* 0°, tahap kedua dengan kondisi sudut 90° dan tahap ketiga dengan kondisi sudut 180°. Kondisi sudut 90° adalah kondisi awal *side frame* diletakkan pada *jig*, kondisi *jig* tegak lurus.

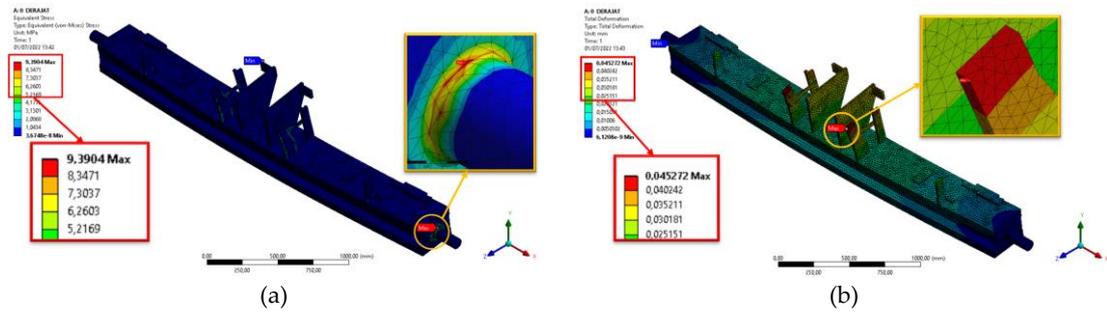
#### a) Kondisi sudut 0°

Untuk pembebanan yang diberikan pada *jig* ada pada gambar 8 dengan beban 2.100 N ke arah sumbu z.



Gambar 8. Pembebanan pembebanan *jig* PT IMS dengan sudut 0°

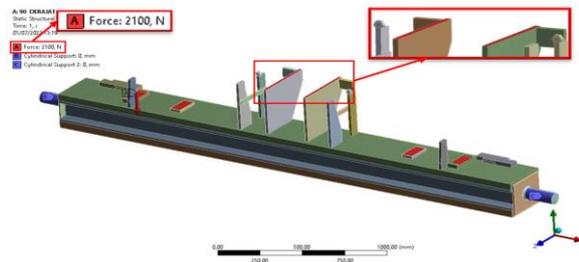
Hasil simulasi dengan kondisi sudut 0° untuk tegangan maksimal sebesar 9,3904 MPa (gambar 9 (a)) dan deformasi maksimal sebesar 0,045272 mm (gambar 9 (b)).



Gambar 9. (a) Tegangan maksimal jig PT IMS dengan sudut  $0^\circ$  (b) Deformasi maksimal jig PT IMS dengan sudut  $0^\circ$

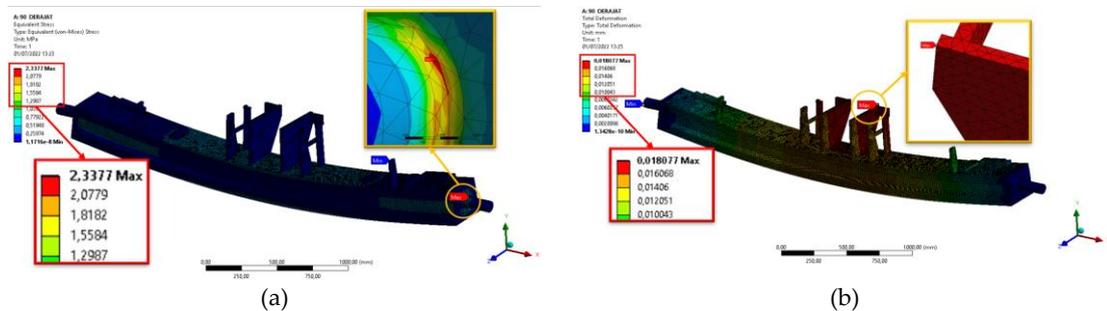
**b) Kondisi sudut  $90^\circ$**

Untuk pembebanan yang diberikan pada jig ada pada gambar 10 dengan beban 2.100 N ke arah sumbu -y. Pada kondisi ini diambil satu sampel data untuk dibandingkan dengan perhitungan manual.



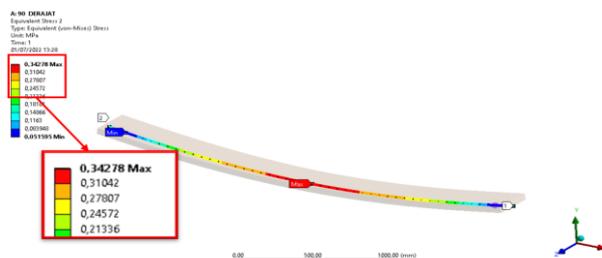
Gambar 10. Pembebanan jig PT IMS dengan sudut  $90^\circ$

Hasil simulasi dengan kondisi sudut  $90^\circ$  untuk tegangan maksimal sebesar 2,3377 MPa (gambar 11 (a)) dan deformasi maksimal sebesar 0,018077 mm (gambar 11 (b)).



Gambar 11. (a) Tegangan maksimal jig PT IMS dengan sudut  $90^\circ$  (b) Deformasi maksimal jig PT IMS dengan sudut  $90^\circ$

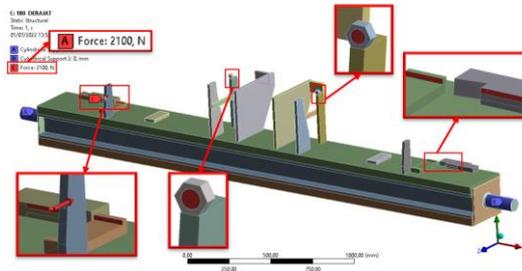
Sampel yang digunakan untuk dibandingkan dengan perhitungan manual adalah tegangan maksimum bending momen meja, sebesar 0,34278 MPa, ada pada gambar 12.



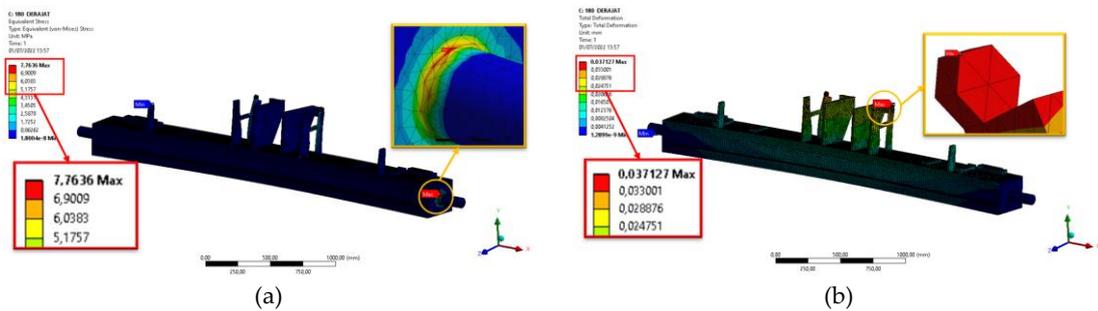
Gambar 12. Tegangan maksimal meja jig PT IMS dengan sudut  $90^\circ$

c) **Kondisi sudut 180°**

Untuk pembebanan yang diberikan pada *jig* ada pada gambar 13 dengan beban sebesar 2.100 N ke arah sumbu -Z. Hasil simulasi dengan kondisi sudut 0° untuk tegangan maksimal sebesar 7,7636 MPa (gambar 14 (a)) dan deformasi maksimal sebesar 0,037127 mm (gambar 14 (b)).



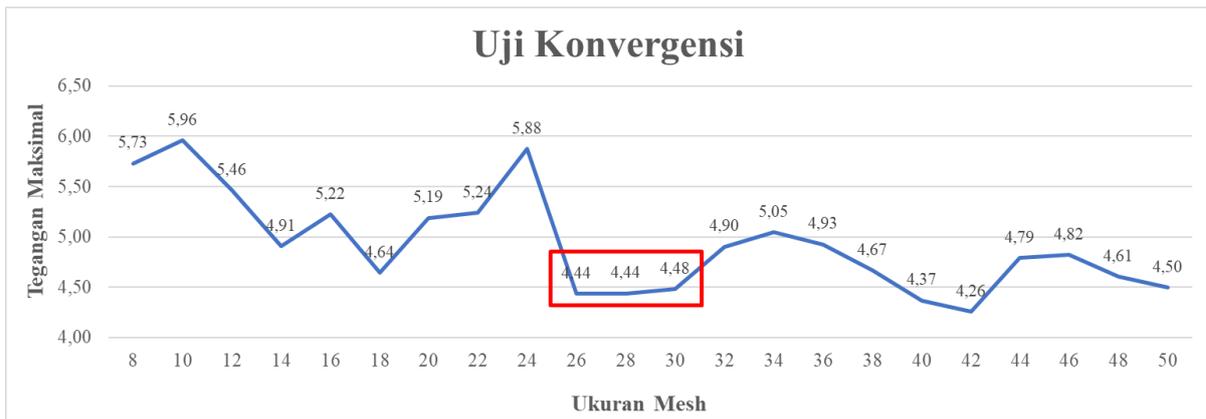
Gambar 13. Pembebanan pembebanan *jig* PT IMS dengan sudut 180°



Gambar 14. (a) Tegangan maksimal *jig* PT IMS dengan sudut 180° (b) Deformasi maksimal *jig* PT IMS dengan sudut 180°

3.4.2 Analisis hasil *redesign jig*

Tahap selanjutnya adalah simulasi *redesign* sehingga diketahui karakteristiknya. Ukuran *mesh* terbaik hasil uji konvergen sebesar 26, didapat dari nilai konvergen dalam kotak warna merah pada grafik gambar 15.

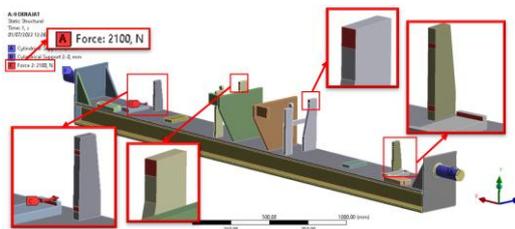


Gambar 15. Grafik uji konvergensi *redesign jig*

Kondisi untuk simulasi *redesign* sama dengan kondisi sebelumnya.

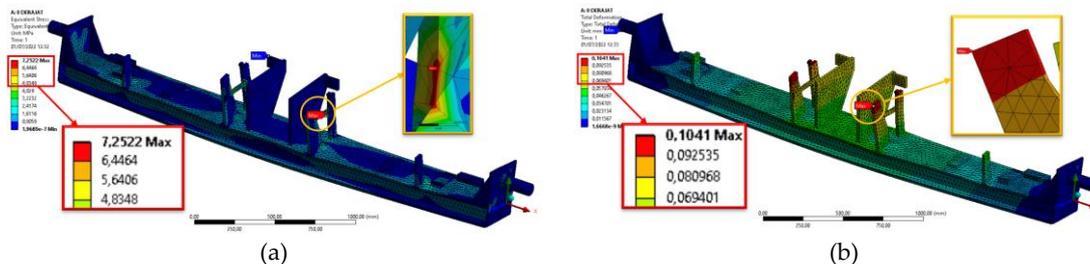
a. **Kondisi sudut 0°**

Pembebanan yang diberikan pada *jig* ada pada gambar 16 dengan beban sebesar 2.100 N ke arah sumbu Z.



Gambar 16. Pembebanan pembebanan *redesign jig* dengan sudut 0°

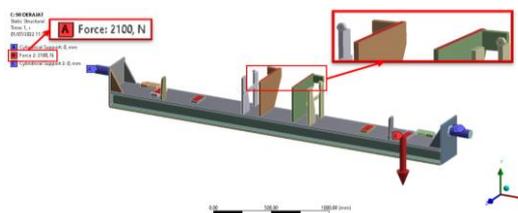
Hasil simulasi dengan kondisi sudut 0° untuk tegangan maksimal sebesar 7,2522 MPa (gambar 17 (a)) dan deformasi maksimal sebesar 0,1041 mm (gambar 17 (b)).



Gambar 17. (a) Tegangan maksimal *redesign jig* dengan sudut 0° (b) Deformasi maksimal *redesign jig* dengan sudut 0°

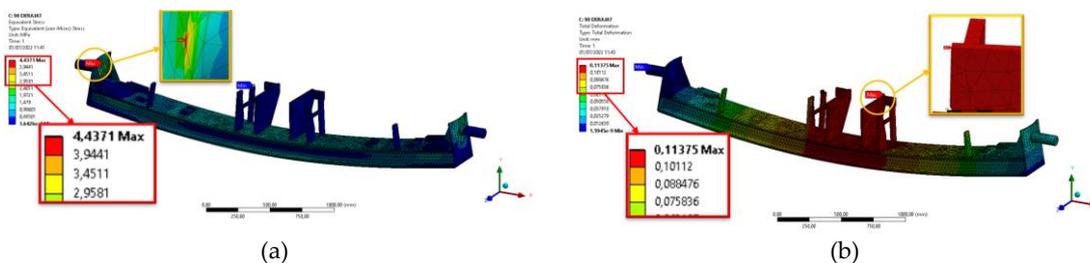
**b. Kondisi sudut 90°**

Pembebanan yang diberikan pada *jig* ada pada gambar 18 dengan beban sebesar 2.100 N ke arah sumbu -y. Pada kondisi ini, diambil satu sampel data untuk dibandingkan dengan perhitungan manual.

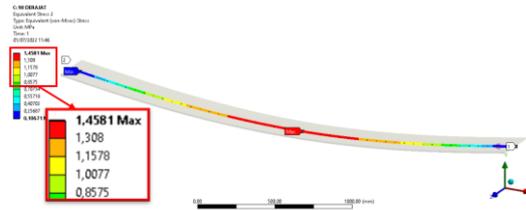


Gambar 18. Pembebanan pembebanan *redesign jig* dengan sudut 90°

Hasil simulasi dengan kondisi sudut 90° untuk tegangan maksimal sebesar 4,4371 MPa (gambar 19 (a)) dan deformasi maksimal sebesar 0,11375 mm (gambar 19 (b)). Tegangan maksimum bending pada meja untuk validasi sebesar 1,4581 MPa (gambar 20).



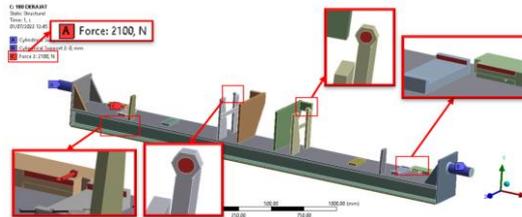
Gambar 19. (a) Tegangan maksimal *redesign jig* dengan sudut 90° (b) Deformasi maksimal *redesign jig* dengan sudut 90°



Gambar 20. Tegangan maksimal meja *redesign jig* dengan sudut 90°

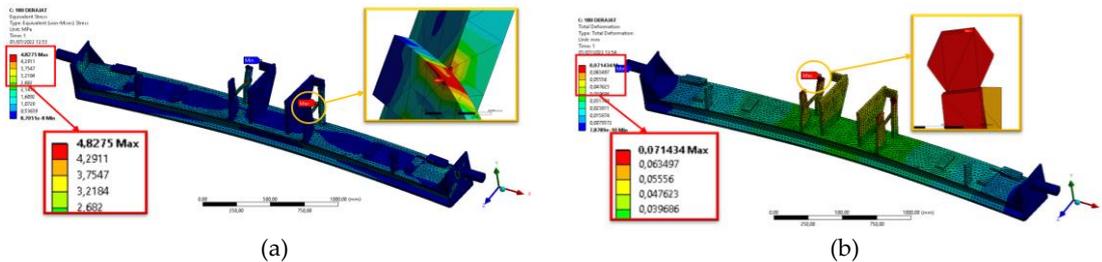
c. Kondisi sudut 180°

Pembebanan yang diberikan pada *jig* ada pada gambar 21 dengan beban sebesar 2.100 N ke arah sumbu -z.



Gambar 21. Pembebanan pembebanan *redesign jig* dengan sudut 180°

Hasil simulasi dengan kondisi sudut 0° untuk tegangan maksimal sebesar 4,8275 MPa (gambar 22 (a)) dan deformasi maksimal sebesar 0,071434 mm (gambar 22 (b)).



Gambar 22. (a) Tegangan maksimal *redesign jig* dengan sudut 180° (b) Deformasi maksimal *redesign jig* dengan sudut 180°

3.5. Validasi hitungan teoritis dan simulasi

Hasil perbandingan nilai antara simulasi dan perhitungan terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Validasi perhitungan

No	Jenis <i>jig</i>	Hasil simulasi	Hasil perhitungan teoritis	Selisih perhitungan
1	<i>Jig</i> milik PT IMS	0,343 MPa	0,357 MPa	0,014 MPa
2	<i>Redesign jig</i>	1,458 MPa	1, 658 MPa	0,200 MPa

Hasil simulasi dan perhitungan *jig* milik PT IMS didapat bahwa galat yang terjadi adalah 4%. Karena nilai kurang dari 5%, nilai hasil dinyatakan baik [10][14]. Pada hasil simulasi dan perhitungan *redesign jig*, diketahui bahwa galat yang terjadi adalah 12%, hasil ini kurang baik karena ada penambahan *stiffener* yang tidak masuk pada perhitungan manual, tetapi hasil perhitungan dapat diterima karena selisih yang kecil sebesar 0,2 MPa.

### 3.6. Validasi hasil sesuai keberterimaan

Syarat keberterimaan desain *jig* ditentukan oleh 2 parameter yaitu *safety factor* dan deformasi. Besar nilai *safety factor* sesuai kondisi penggunaan *jig* minimal 2 berdasar referensi yang digunakan [15][16], dan nilai deformasi di PT IMS diharuskan berada di bawah 0,5 mm [4].

Tabel 3. Hasil Simulasi *Jig*

No	Jenis <i>Jig</i>	Kondisi Kemiringan Meja	Hasil Simulasi	
			Tegangan Maksimal (MPa)	Deformasi Maksimal (mm)
1	Desain <i>jig</i> PT	0°	9,390	0,045
2	INKA Multi	90°	2,338	0,018
3	Solusi	180°	7,764	0,037
4	Hasil <i>redesign jig</i>	0°	7,252	0,104
5		90°	4,437	0,114
6		180°	4,828	0,071

Tabel nilai maksimal digunakan untuk menentukan *safety factor* dan deformasi maksimal. Berikut adalah nilai *safety factor jig* PT IMS.

$$\text{Safety factor} = \frac{\sigma \text{ yield}}{\sigma \text{ von mises}} = \frac{235}{9,390} = 25$$

Untuk nilai *safety factor* hasil *redesign jig* sebesar

$$\text{Safety factor} = \frac{\sigma \text{ yield}}{\sigma \text{ von mises}} = \frac{235}{7,252} = 32$$

Seluruh nilai *safety factor* di atas 2 sehingga seluruhnya dinyatakan aman. Nilai *safety factor* yang didapat tinggi karena desain *jig* harus *rigid* agar mampu mempertahankan bentuk hasil pengelasan yang sesuai (terhindar dari deformasi pada proses las). Tahap berikutnya adalah meninjau batas deformasi yang diizinkan dengan deformasi hasil simulasi. Nilai deformasi seluruhnya dinyatakan aman karena di bawah 0,5 mm.

### 3.7. Perbandingan desain awal dan hasil *redesign jig*

Tabel 4. Perbandingan desain awal dan *redesign jig*

No	Komponen/kondisi	Sebelum <i>redesign</i>	Setelah <i>redesign</i>
1	Dimensi pelat atas dan bawah meja	50 mm × 300 mm × 3.200 mm	2 mm × 300 mm × 3.200 mm
2	Dimensi <i>canal</i>	150 mm × 75 mm × 9 mm × 3.200 mm	2 mm × 65 mm × 6 mm × 3.200 mm
3	Luas potongan bidang meja	36.117,832 mm	10.621,516 mm
4	<i>Center of gravity</i>	Tidak sesuai	Sesuai
5	Berat	1.066,682 Kg	430,571 Kg
6	<i>Safety factor</i> maksimal	25	32
7	Deformasi maksimal	0,045 mm	0,114 mm

Setelah proses *redesign* menghasilkan perbedaan dimensi dan kondisi tumpuan *jig*, perbedaan diketahui dalam tabel 3.3 No. 1 hingga No. 4. Hasil *redesign* mengalami penurunan berat sebesar 636,111 Kg, hal ini mengakibatkan momen berkurang karena satuan untuk momen adalah satuan berat dikali jarak [12]. Penurunan besar momen juga menurunkan nilai tegangan yang terjadi sehingga *safety factor* hasil *redesign* meningkat sebesar 7 (tabel 3.3 No 6). Selain penurunan berat, hasil *redesign jig* memberikan kondisi tumpuan silinder yang sesuai dengan *center of gravity*. Hal ini mengakibatkan tegangan maksimal berpindah posisi pada sudut kemiringan meja *jig*  $0^\circ$  dan  $180^\circ$ . Kondisi awal pada sambungan tumpuan dan meja kemudian berpindah pada sambungan pendorong dan *stopper*. Nilai deformasi yang bertambah diakibatkan oleh kekakuan meja *jig* berkurang. Berkurangnya nilai tersebut karena penggunaan dimensi terutama ketebalan meja menjadi lebih kecil atau tipis.

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan hasil penelitian adalah sebagai berikut.

1. Hasil simulasi pembebanan statis dilakukan dengan penyesuaian keadaan yang terjadi di lapangan dengan parameter input yang ada pada *software finite element method*. Hasil akhir simulasi dilakukan validasi dengan perhitungan manual yang dilakukan pada satu titik. Dalam hal ini, titik yang digunakan adalah tegangan maksimal pada meja. Setelah proses validasi simulasi dan perhitungan terpenuhi, dilanjutkan validasi terhadap batas nilai *safety factor* dan deformasi maksimal yang diizinkan. Hasil simulasi digunakan untuk mengetahui karakteristik komponen yang dibuat sehingga material yang akan digunakan tidak memiliki dimensi berlebih.
2. Hasil analisis pembebanan statis pada *jig side frame bogie* LRT Jabodebek buatan PT INKA Multi Solusi dinyatakan aman, terlihat nilai yang didapat sesuai standar (lebih dari 2 untuk *safety factor* dan di bawah 0,5 mm untuk deformasi maksimal) [4],[15],[16]. Nilai *safety factor* hasil simulasi sebesar 25 dan deformasi maksimal yang terjadi sebesar 0,045 mm.
3. Setelah dilakukan *redesign*, dihasilkan penurunan material dengan dimensi lebih kecil dan hasil analisis pembebanan statis dinyatakan aman [4],[15],[16]. Nilai *safety factor* hasil simulasi sebesar 32 dan deformasi maksimal sebesar 0,114 mm. Hasil *safety factor* yang didapat lebih baik karena nilai momen lebih kecil. Hal itu dikarenakan berat meja berkurang dan kondisi tumpuan silinder sudah sesuai dengan *center of gravity*. Nilai deformasi meningkat karena kekakuan menurun akibat dimensi diperkecil.

#### REFERENCES

- [1] Kittelson & Associates. 1999. *Transit Capacity and Quality of Service Manual*. Kittelson & Associates, Inc.
- [2] Perkasa, M., & Sulistiyo, W. 2019. Optimalisasi Desain Struktur Bogie Las Light Rail Transit (LRT) Menggunakan Perhitungan Finite Element Method (FEM). *Journal of Technical Engineering: Piston*, 2, 24–31.
- [3] Hoffman, E. G. 1996. *Jig and Fixture Design*. Delmar Cengage Learning.
- [4] Muchtar, U. 2021. Preparation and Support INKA Multi Solusi [Komunikasi pribadi].
- [5] Irawan, A. P. 2017. *Perancangan dan Pengembangan Produk Manufaktur* (1 ed.). Penerbit ANDI.
- [6] Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. 2011. *Shigley's mechanical engineering design* (9th ed). McGraw-Hill.
- [7] Autodesk 2019. *Inventor 2020 Student Version*.
- [8] Matweb. 2021. Matweb Material Property Data. Matweb Material Property Data. <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=3c36b268408a4cc1ae7f789bd605d6c6> (akses 18 Desember 2021).
- [9] Material, W. 2021. Jis G3101 Ss400 Steel Equivalent Material Properties Specification Composition Density Strength. The Word Material. <https://www.theworldmaterial.com/jis-g3101-ss400-steel-equivalent-material/> (akses 24 Desember 2021).

- [10] Hanif anwar, M. 2017. Analisis Kekuatan Struktur Bogie Frame Metro Kapsul Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga.
- [11] Gamayel, A., & Octavianus, G. 2021. Tutorial Ansys Workbench Untuk Bidang Mekanikal. Media Sains Indonesia.
- [12] Wesli. 2010. Mekanika Rekayasa (Pertama). Graha Ilmu.
- [13] Popov, Egor p. 1984. Mekanika Teknik (Mechanics of Material) (Kedua). Erlangga.
- [14] Pratama, H. W. 2015. Analisa Dan Verifikasi Hasil Perhitungan Pada Komponen Mesin Hammer Mill Menggunakan Ansys 16.0. 94.
- [15] Dobrovolsky, V. 1964. Machine Elements. Mir.
- [16] Moaveni, Saeed. 1999. Finite Elemen Analysis Theory and Application With Ansys. Prentice Hall.