

# Optimasi Dimensi Connecting Rod Al2024 dan Tulangan Baja 4340 pada Kawasaki Ninja 150 R Menggunakan ANSYS

**Alfan Ekajati Latief, Nuha Desi Anggraeni**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, ITENAS, Bandung

Email: [alfanekajati@gmail.com](mailto:alfanekajati@gmail.com)

## **ABSTRAK**

*Connecting rod berfungsi menghubungkan piston ke crankshaft, sistem ini membentuk mekanisme sederhana yang mengubah gerak lurus menjadi gerak melingkar ataupun sebaliknya. Umumnya connecting rod dirancang berbenruk I agar kuat dan ringan dengan material baja. Pengurangan massa pada connecting rod dapat mengurangi momen inersia engine, meningkatkan performa dan fuel efficiency engine. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan dimensi optimum connecting road menggunakan material Al 2024 dan tulangan baja 4340. Dimensi optimum harus dapat menahan tegangan dan regangan maksimum yang terjadi pada connecting rod ketika menerima beban tekan dan tarik. Penelitian dilakukan dengan melakukan variasi dimensi profil I dan bentuk tulangan dengan dimensi lain menyesuaikan spesifikasi connecting rod Kawasaki Ninja 150 R. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa connecting rod dengan profil I, bentuk tulangan webbing merupakan tulangan paling optimal dengan ketebalan 8 mm dengan berat total 0,12 Kg.*

**Kata kunci:** connecting rod, tulangan baja, Al2024, ANSYS

## **ABSTRACT**

*The connecting rod serves to connect the piston to the crankshaft; this system forms a simple mechanism that converts straight motion into circular motion or vice versa. Generally, connecting rods are designed to be made in order to be strong and lightweight with steel material. Reducing the mass of the connecting rod can reduce the moment of engine inertia, improve the performance and fuel efficiency engine. This study aims to obtain the optimum dimensions of the connecting road using Al 2024 material and steel reinforcement 4340. The optimum dimension must be able to withstand the maximum stress and strain that occurs in the connecting rod when receiving compressive and tensile loads. The study was conducted by varying the dimensions of profile I and shape of reinforcement with other dimensions adjusting the specifications of the connecting rod Kawasaki Ninja 150 R. The results showed that the connecting rod with profile I, the form of webbing reinforcement was the most optimal reinforcement with a thickness of 8 mm and total mass 0,12 kg.*

**Keywords:** connecting rod, reinforcement steel, Al2024, ANSYS.

## 1. PENDAHULUAN

*Connecting rod* mempunyai fungsi untuk meneruskan daya dari piston ke poros engkol dengan mengubah gerak translasi pada piston menjadi gerak rotasi pada poros engkol. Gaya yang bekerja pada *connecting rod* dihasilkan dari sistem pembakaran yang terdapat di ruang silinder akibat rekasi udara dan gas pembakaran. Oleh karena itu *connecting rod* harus mampu menahan beban tarik, tekan dan tegangan lentur yang muncul akibat gaya dorong maksimum piston dan gaya sentrifugal [1]. Optimalisasi *connecting rod* sudah dimulai pada awal tahun 1983 oleh Webster dan tim, diantaranya dengan menghasilkan produk *connecting rod* dengan waktu yang singkat, membuatnya lebih kuat dan ringan sehingga mendapatkan biaya produksi yang lebih murah, sedangkan untuk sifat mekaniknya desain *connecting rod* diantaranya yaitu beratnya akan sangat berpengaruh terhadap kinerja dari mobil oleh karena itu dampaknya terhadap kredibilitas pembuat mobil [2].

Optimalisasi dengan mereduksi massa *connecting rod*, menyebabkan momen inersia *engine* dapat dikurangi, sehingga akan dihasilkan peningkatan performa dan *fuel efficiency engine*, dengan memperhatikan juga faktor keamanan *design*, karena *connecting rod* mengalami *high compressive load* akibat energi pembakaran bahan bakar di ruang bakar dan *high tensile load* akibat momen inersia *connecting rod* [3].

Saat ini material yang sering digunakan untuk komponen *connecting rod* adalah baja dan aluminum, hanya saja untuk aluminum dimensi yang dihasilkan lebih besar daripada baja baik itu bagian *small end*, *big end* dan profil penampangnya. Terutama bagian profil penampangnya sehingga tidak signifikan hasil optimasi mereduksi massanya, oleh sebab itu pada penelitian ini dimensi yang dirubah hanya dimensi profilnya saja tanpa merubah dimensi bagian lain pada *connecting rod* ninja 150 R ini dengan menambahkan tulangan baja pada material aluminum untuk mendapatkan hasil massa yang ringan

Dengan mereduksi massa dari *connecting rod* hal yang harus dipertimbangkan adalah *Factor of Safety* (FOS) sebesar 2,1 [4] diharapkan hasil optimasi dimensi *connecting rod* Al2024 dan tulangan baja 4340 pada Kawasaki Ninja 150 R mampu menahan beban yang terjadi di *connecting rod* terutama beban tekan yang terjadi pada bagian *small end*. Dengan memvariasikan bentuk dan dimensi yang optimal pada tulangan, karena pada penelitian sebelumnya dengan material Al2024 dan tulangan hanya ditinjau pengaruh tulangan pada *connecting rod* dapat meningkatkan *safety factor* dan belum mendapatkan nilai *safety factor* diatas 1[5].

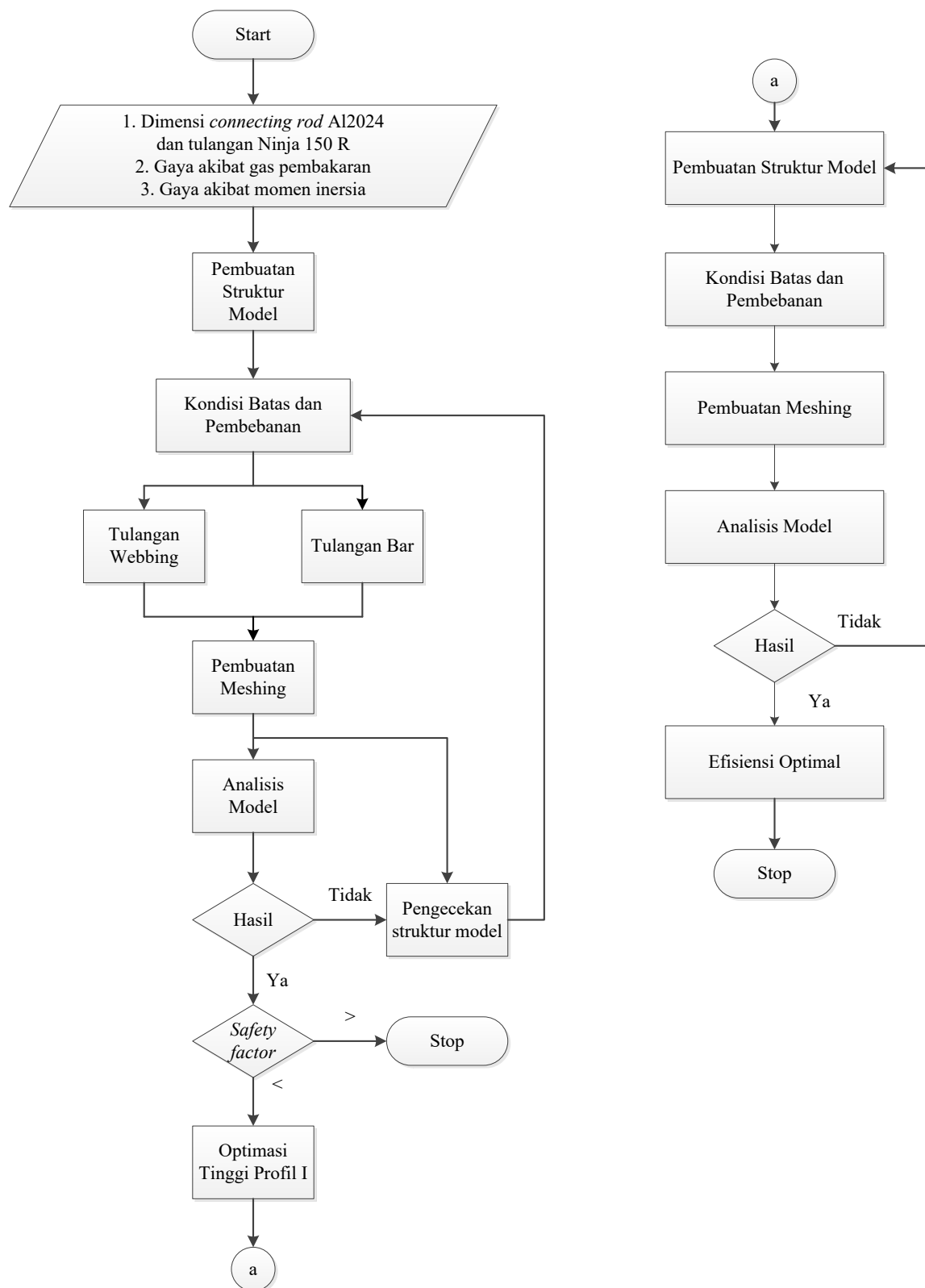
Untuk mendapatkan hasil *safety factor* diatas 1 maka dilakukan perubahan variasi dimensi profil I pada batang aluminum yaitu dimulai dari tebal 6,8 dan 10 mm dengan beban yang sama menggunakan ANSYS, output yang didapat adalah deformasi, regangan dan tegangan maksimum pada *connecting rod*.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Metodologi Penelitian

Proses perancangan dimulai dari penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya [5] dilakukan perhitungan dimensi profil I *connecting rod* berdasarkan parameter gaya akibat pembakaran (tekanan), gaya akibat momen inersia dan gaya akibat gesekan piston terhadap ruang bakar untuk mendapatkan dimensi profil I untuk bahan Al2024. Selain itu pada bagian *small end* dan *big end* ditambahkan *bushing* untuk menghindari terjadinya gesekan secara langsung antar pada permukaan

material aluminium *connecting rod* dengan kepala silinder (piston) dan *crank shaft*. Untuk material tulangan yang digunakan adalah baja 4340 dan matriks *connecting rod* Al2024. Diagram alir proses optimasi dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1 Flow Chart Proses Optimasi Connecting Rod

## 2.2 Material

Material yang digunakan dikelompokkan ke dalam material komposit menggunakan matriks aluminium 2024 dan baja 4340. Sesuai dengan spesifikasi connecting rod yang membutuhkan rasio kekuatan dan berat yang tinggi, dan harus tahan terhadap kelelahan, maka paduan aluminium dan baja merupakan paduan yang sesuai. Sifat mekanik material Al2024 dan baja 4340 diperlihatkan pada Tabel 1.

**Tabel 1 Sifat Mekanik Material**

Sifat Mekanik	Al2024	Baja 4340
Hardness, Brinell	120	321
Hardness, Rockwell A	46,8	95 (Rockwell B)
Ultimate Tensile Strength	469 MPa	1110 Mpa
Tensile Yield Strength	324 MPa	710 Mpa
Elongation at Break	19 %	13,2 %
Modulus of Elasticity	73,1 GPa	205 GPa
Ultimate Bearing Strength	814 MPa	-
Shear Modulus	28 GPa	80 GPa
Shear Strength	283 MPa	770 MPa

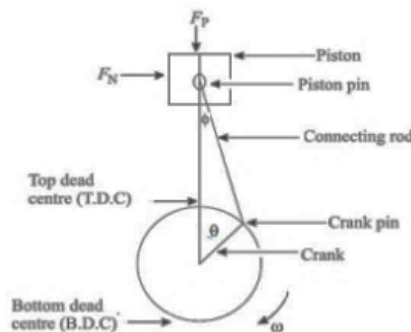
## 2.3 Desain Connecting Rod Al2024

Untuk memudahkan desain *connecting rod*, maka perlu diketahui spesifikasi motor yang diperlihatkan pada Tabel 2.

**Tabel 2 Spesifikasi motor ninja 150 R**

Max power	22,1 kW (30,1) Ps; n = 1050 rpm
Torsi Max	20,5 Nm untuk n = 9,500 rpm
Compression ratio	6,8 : 1
Diameter x langkah	59,0 x 54,4 mm
Displacement	

Gaya-gaya yang terjadi pada *connecting rod* diperlihatkan pada Gambar 2.



**Gambar 2 Gaya aksi pada *connecting rod* [6]**

Dengan:

$$F_p = \text{Gaya aksi pada pin piston ( } F_p + F_{inersia} - F_{ges} \text{)} \quad (1)$$

$$F_g = \text{Luas} \times \text{tekanan, } \left( \frac{\pi d^2}{4} \times P_{\max} \right) \quad (2)$$

$P_{\max}$  didapat dari persamaan gas ideal Persamaan Gas Ideal  $P = \frac{m \cdot R \cdot T}{V}$

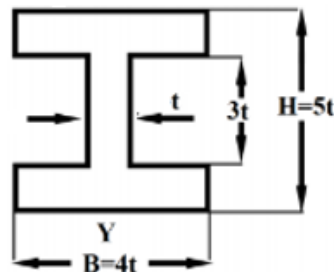
$$F_{\text{inersia}} = m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot R \left( \cos \theta + \frac{\cos 2\theta}{n} \right) \quad (3)$$

- $m_r$  = Masa komponen akibat gerakan naik turun piston, (Masa piston, pin pengunci + 1/3 rd masa dari batang penghubung),
- $\omega$  = Kecepatan sudut engkol
- $\theta$  = Sudut kemiringan engkol pada saat titik mati atas
- $r$  = Radius engkol

$$F_{\text{ges}} = h \cdot 3,14 \cdot d_{\text{piston}} \cdot P_{\text{ring}} \cdot \mu \cdot I \quad (4)$$

- $h$  = Keliling piston
- $d_{\text{piston}} = 59,3$  mm
- $P$  = Tekanan pada ring piston mPa
- $\mu$  = Koefisien gesek ring piston
- $I$  = jumlah ring piston

Profil I *connecting rod* diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Profil I *connecting rod*

Untuk menghitung *shrink fit*, perlu ditentukan besaran deformasi yang diinginkan dengan menggunakan persamaan (5).

$$\delta = \alpha L (\Delta T) \quad (5)$$

dengan,

- $\delta$  = total deformasi yang diinginkan
- $\alpha$  = koefisien pada ekspansi termal
- $L$  = nilai panjang dari bagian termal yang dipanaskan
- $\Delta T$  = perbedaan temperatur

Antara bantalan dan rumah bantalan terjadi tegangan tangensial dan radial, yang dijelaskan dalam persamaan (6) dan (7).

$$S_t = \frac{E + \Delta D}{4 + A} \left[ 1 + \frac{a^2}{b^2} \right] \quad (6)$$

$$S_r = \frac{E + \Delta D}{4 + A} \left[ 1 - \frac{a^2}{b^2} \right] \quad (7)$$

dengan,

- $S_t$  = tegangan tangensial antara bantalan dan rumah bantalan

$S_r$  = tegangan radial antara bantalan dan rumah bantalan

$a$  = jari-jari dalam bantalan

$b$  = jari-jari luar bantalan

$E$  = modulus Elastis

$\Delta D$  = perubahan diameter lubang bagian dalam rumah bantalan

Dari perhitungan-perhitungan yang dilakukan diperoleh dimensi dan parameter *connecting rod* Al2024 [5], diuraikan dalam Tabel 3 dan Tabel 4.

**Tabel 3 Parameter *connecting rod***

Parameters	Size (mm)
Tebal (t)	3,8
Lebar (4t)	15,2
Tinggi (5t)	19
Tinggi <i>small end</i> (H1)	17,1
Tinggi <i>big end</i> (H2)	21
Diameter dalam <i>small end</i>	21
Diameter luar <i>small end</i>	29
Diameter dalam <i>big end</i>	31
Diameter luar <i>big end</i>	41

**Tabel 4 Parameter *bearing***

Parameters	Size (mm)
Panjang <i>small end</i>	18
Diameter dalam <i>small end</i>	19
Diameter luar <i>small end</i>	21,5
Diameter dalam <i>big end</i>	29
Diameter luar <i>big end</i>	31,5
Delta <i>Shrink fit</i>	0,2

Dengan menggunakan persamaan (1) diperoleh gaya-gaya yang bekerja pada *connecting rod* sebagai berikut:

$$F = F_g + F_{in} - F_{ges} = 42.315 + 3.196 - 712,49 = 44813,7 \text{ N}$$

Sehingga diperoleh gaya kompresi yang bekerja pada *connecting rod* besarnya adalah 44813,7 N.

## 2.4 Perhitungan Material Komposit *Connecting Rod*

Pendekatan perhitungan material komposit untuk mengetahui sifat mekanik dan fisik material Al 2024 dan baja 4340 dengan menggunakan persamaan 8-10 [7]:

Massa jenis material komposit:

$$\rho_c = \rho_m \cdot V_m + \rho_f \cdot V_f \tag{8}$$

Kekuatan tarik material komposit:

$$\sigma_c = \sigma_m \cdot V_m + \sigma_f \cdot V_f \tag{9}$$

Koefisien muai material komposit:

$$\alpha_c = \frac{(\alpha_m \cdot E_m \cdot V_m + \alpha_f \cdot E_f \cdot V_f)}{(E_m \cdot V_m + E_f \cdot V_f)} \tag{10}$$

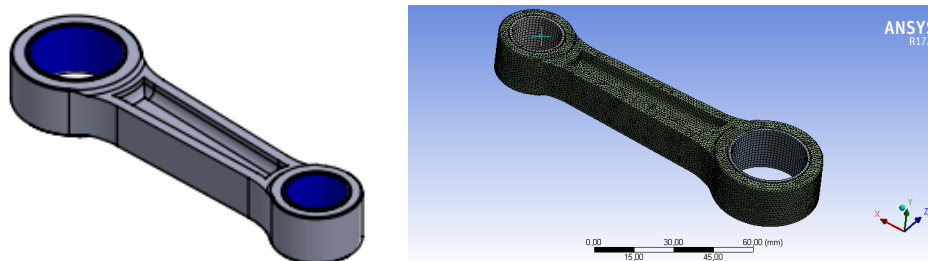
dengan,

$\rho_m$  = massa jenis material matrik

- $\rho_f$  = massa jenis material matrik penguat (*reinforcement*)
- $V_m$  = fraksi volume matrik
- $V_f$  = fraksi volume material matrik penguat (*reinforcement*)
- $\sigma_m$  = kekuatan tarik material komposit matrik
- $\sigma_f$  = kekuatan tarik material penguat (*reinforcement*)
- $\alpha_m$  = koefisien muai matrik material
- $\alpha_f$  = koefisien muai material penguat (*reinforcement*)
- $E_m$  = Modulus elastisitas material matrik
- $E_f$  = Modulus elastisitas material penguat (*reinforcement*)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah mendapatkan dimensi pada connecting rod maka porses berikutnya adalah proses penggambaran geometri menggunakan *software* solidwork 2017, kemudian memasukkan kondisi batas dan beban-beban yang bekerja serta melakukan analisa dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS 17.0. Kemudian proses analisa dijalankan dan *software* ANSYS akan menghitung *output* yang dibutuhkan sesuai jenis analisa yang dilakukan dengan menggunakan asumsi dan kondisi sesuai dengan kondisi operasi, maka hasil yang diperoleh diharapkan akan mendekati dengan kondisi aktual (eksperimen) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Pembuatan geometri *connecting rod* dan proses meshing Al2024

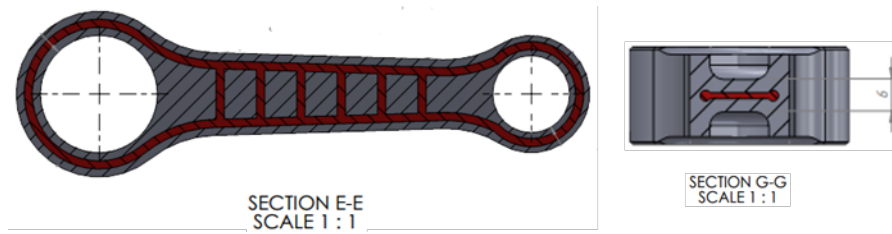
*Mesh* yang digunakan adalah *automatic method* dengan menggunakan metode tersebut menghasilkan nilai *average* diatas 0.8 sehingga tidak perlu menggunakan metode lainnya. *Element size* yang optimal adalah 1,2 mm. Dapat dilihat pada Tabel 5:

Tabel 5 Konvergensi Meshing

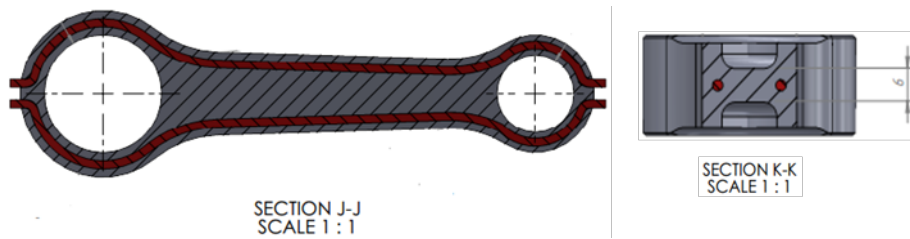
Size Element	Nodes	Element	Orthogonal Q
1,2 mm	241520	154998	0,85717
1,3 mm	196575	124553	0,85421
1,4 mm	161665	100872	0,8498
1,5 mm	131121	81094	0,84637
1,6 mm	110138	67131	0,85082
1,7 mm	94198	57008	0,84682
1,8 mm	81872	49053	0,83991
2,0 mm	61719	36130	0,82909

Setelah melihat hasil pada penelitian sebelumnya dengan profil I tinggi 3.8 mm didapat safety faktor < 1 [5] maka penelitian ini dilakukan pembuatan profil I dengan tinggi 6 mm dengan membuat 2 jenis

tulangan yaitu tulangan *webbing* dan tulangan bar (Gambar 5 dan 6) dengan material keduanya adalah steel 4340, sedangkan untuk beban tetap di F tekan 44800 N.



Gambar 5 Tulangan webbing



Gambar 6 Tulangan bar

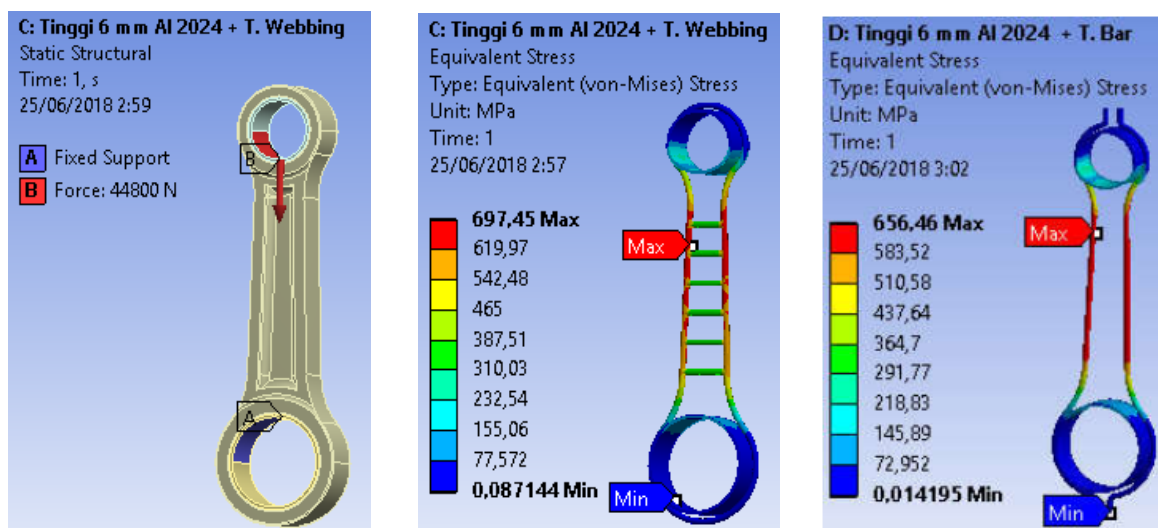
Sifat mekanik tulangan webbing dan bar yang diuraikan di Gambar 5 dan 6, dirangkum dalam Tabel 6:

Tabel 6 Sifat mekanik Al 2024 tulangan webbing dan bar untuk Profil I h 6 mm

Al 2024 + Tulangan (Steel 4340)			
Parameter (satuan)		Tulangan	
		Webbing	Bar
Vserat	(mm <sup>3</sup> )	1198,8	1019,48
Vmatrix	(mm <sup>3</sup> )	30060	30277
Vtotal	(mm <sup>3</sup> )	31258,8	31296,48
Xserat	(%)	3,84	3,26
Xmatrix	(%)	96,16	96,74
σ <sub>u</sub>	(MPa)	493	490
σ <sub>y</sub>	(MPa)	341	338
ρ	(Kg/m <sup>3</sup> )	2974	2945
E	MPa	78158	77397

Hasil simulasi pembebanan maksimum dan tegangan maksimum pada tulangan diperlihatkan pada Gambar 7:





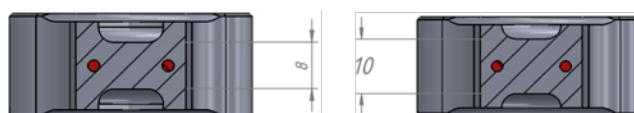
Gambar 7 Kondisi pembebanan dan tegangan maksimum tulangan h 6 mm

Perhitungan safety factor pada profil I tebal 6 mm dengan menggunakan analisis FEA diuraikan pada Tabel 7. Setelah melihat hasil tabel diatas maka tulangan yang optimal adalah tulangan *webbing*, hanya saja nilai SF (*saftey factor*) masih kurang dari 1, sehigga perlu di modifikasi tinggi dari profil I dan memodifikasi jenis material tulangannya.

Tabel 7 Analisis FEA pada profil I tebal 6 mm

Parameter	Tebal Profil I 6 mm AlCu + Tulangan	
	Webbing	Bar
Deformasi (mm)	0,25787	0,26091
Stress (MPa)	697,45	656,46
Strain	0,0047703	0,004894
Safety Factor	0,98746	0,96874

Pada tahap berikutnya akan dibuatkan simulasi untk jenis *connecting rod* profil I dengan variasi tinggi 8mm dan 10 mm, dengan material untuk tulangan *webbing* baja 4340 seperti Gambar 8..



Gambar 8 Profil I tebal 8 mm dan tebal 10 mm

Sifat mekanik material komposit profil I dengan tebal 8 mm dan 10 mm diuraikan dalam Tabel 8. Sedangkan hasil analisis dengan menggunakan ANSYS diuraikan dalam Tabel 9.

Tabel 8 Material komposit profil I tebal 8 mm dan 10 mm

Al 2024 + Tulangan Baja 4340			
Parameter (satuan)		Jenis Profil I (mm)	
		h 8	h 10
Vserat	(mm <sup>3</sup> )	1198,8	1198,8
Vmatrix	(mm <sup>3</sup> )	31521	32981
Vtotal	(mm <sup>3</sup> )	32719,8	34179,8
Xserat	(%)	3,66	3,51
Xmatrix	(%)	96,34	96,49

Tabel 9 Analisis ANSYS komposit profil I tebal 8 mm dan 10 mm

Al 2024 + Tulangan Baja 4340			
Parameter (satuan)		Jenis Profil I (mm)	
		h 8	h 10
Massa	(kg)	0,12135	0,12541
Deformasi	(mm)	0,238	0,222
Stress	(MPa)	634,33	583,17
Strain		0,004091	0,003789
Safety Factor		1,03	1,03

Dari Tabel 9 nilai SF (*safety factor*) diatas 1 maka didapat tulangan yang optimal adalah jenis profil ketinggian 8 mm dan 10 mm, hanya saja jika dilihat dari berat total nya profil ketinggian 8 mm lebih ringan dibandingkan dengan profil 10 mm.

#### 4. KESIMPULAN

Pemilihan jenis tulangan yang baik adalah jenis tulangan webbing, memiliki tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit. Pengujian simulasi *connecting rod* menghasilkan dimensi yang optimal untuk menahan beban yang terjadi pada *connecting rod*, dan di dapat jenis tulangan webbing dengan dimensi tebal profil I tinggi 8 mm dengan berat total 0,12 kg.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. S. Shenoy, "Dynamic Load Analysis and Optimization of Connecting Rod," University of Toledo, Ohio, 2004.
- [2] T. G. Thomas, S. Srikari dan M. L. J. Suman, "Design of Connecting Rod for Heavy Duty Applications Produced by Different," *Sastech Journal*, vol. 10, no. 1, pp. 1-7, 2011.
- [3] K. S. Kumar, K. T. Reddy dan S. Hussain, "Modelling and Analysis of Two Wheeler Connecting Rod," *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, vol. 2, no. 5, pp. 3367-3371, 2012.
- [4] P. S. Shenoy dan A. Fatemi, "Connecting Rod Optimization for Weight and Cost Reduction," *SAE Technical Paper*, pp. 1-8, 2005.
- [5] A. E. Latief, "Perancangan, Pengembangan dan Analisa Struktur Connecting Rod dengan Material Al 2024 dan Tulangan Menggunakan Metode Elemen Hingga," Institut Teknologi

Bandung, Bandung, 2018.

- [6] A. Kumar, P. P. Bhingole dan D. Kumar, "Dynamic Analysis of Bajaj Pulsar 150cc Connecting Rod Using ANSYS 14.0," *Asian Journal of Engineering and Applied Technology*, vol. 3, no. 2, pp. 19-24, 2014.
- [7] S. S. Rinju dan S. Sujith, "Finite Element Analysis of Metal Matrix Composite Connecting Rod and Comparison with Conventional AISI 4140 Alloy Steel Connecting Rod," *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, vol. 2, no. 11, pp. 481-490, 2016.

