

# ANALISIS TEGANGAN DAN REGANGAN AKIBAT VARIASI NILAI KOEFISIEN GESEK PADA INTERAKSI KONTAK RING PISTON DENGAN CYLINDER LINER MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Zerry Hansnico Christian Mausi Nababan<sup>1)</sup>, I Made Gatot Karohika<sup>2)</sup>, I Made Widiyarta<sup>3)</sup>

Program Studi Teknik mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

*Cylinder liner* merupakan komponen yang berfungsi untuk melindungi bagian dalam blok mesin dari gesekan langsung dengan ring piston sedangkan *ring piston* sendiri ialah komponen yang berfungsi untuk memperkecil celah antara piston dengan *cylinder liner* sehingga tekanan dan temperatur gas di dalam ruang bakar tetap terjaga dalam kondisi optimal. Penelitian ini hendak diteliti bagaimana tegangan dan regangan yang terjadi akibat adanya kenaikan nilai koefisien gesek pada interaksi kontak *ring piston* dengan *cylinder liner*. Pembebanan yang diberikan ialah tekanan 2 MPa kemudian koefisien gesek yang terjadi antara besi cor dengan besi cor dalam kondisi dilumasi yaitu 0.08, 0.1, dan 0.12. Berdasarkan hasil simulasi peningkatan nilai koefisien gesek memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada *cylinder liner*. Pada koefisien gesek 0.08 tegangan yang terjadi pada *cylinder liner* ialah sebesar 162.76 MPa dan regangan sebesar 0.0020007 m/m. Pada koefisien gesek 0.1 tegangan yang terjadi ialah sebesar 163.73 MPa dan regangan sebesar 0.002006 m/m. Pada koefisien gesek 0.12 tegangan yang terjadi ialah sebesar 164.91 MPa dan regangan sebesar 0.0020143 m/m

Kata kunci: *cylinder liner*, *ring piston*, interaksi kontak, tegangan, regangan

## Abstract

*Cylinder liner* is a component that serves to protect the inside of the engine block from direct friction with the piston ring while the piston ring itself is a component that serves to minimize the gap between the piston and the cylinder liner so that the pressure and temperature of the gas in the combustion chamber are maintained in optimal conditions. This study is to investigate how the stress and strain that occurs due to an increase in the value of the coefficient of friction on the contact interaction of the piston ring with the cylinder liner. The loading given is a pressure of 2 MPa then the coefficient of friction that occurs between cast iron and cast iron in lubricated conditions is 0.08, 0.1, and 0.12. Based on the simulation results, increasing the value of the friction coefficient has an effect on increasing the stress and strain values that occur in the cylinder liner. At a friction coefficient of 0.08 the stress that occurs in the cylinder liner is 162.76 MPa and a strain of 0.0020007 m/m. At a friction coefficient of 0.1 the stress that occurs is 163.73 MPa and a strain of 0.002006 m/m. At a friction coefficient of 0.12 the stress that occurs is 164.91 MPa and a strain of 0.0020143 m/m.

Keywords: *cylinder liner*, *piston ring*, *contact interaction*, *stress*, *strain*

## 1. Pendahuluan

Mesin pembakaran dalam ialah salah satu jenis mesin yang umum ditemui dalam kehidupan sehari-hari. Terdapat dua jenis mesin pembakaran dalam yaitu mesin bensin dan mesin diesel. Pada dasarnya kedua mesin tersebut memiliki prinsip kerja yang sama yaitu mengubah energi kimia pada bahan bakar menjadi energi gerak dan panas menggunakan proses pembakaran. Proses pembakaran ini terjadi di dalam blok silinder, di mana di dalam blok silinder ini terdapat sebuah torak yang akan bergerak translasi akibat tekanan hasil proses pembakaran. Gerak translasi inilah yang akan menggerakkan poros engkol guna menggerakkan roda melalui sistem transmisi.

Cylinder liner adalah sebuah silinder berlubang yang dilekatkan dan terpasang erat pada blok silinder. Cylinder liner memiliki fungsi yaitu melindungi bagian dalam blok silinder dari gesekan langsung dengan ring piston akibat adanya gerak translasi, dan menjadi rumah bagi piston sedangkan ring piston ialah komponen yang berfungsi untuk

memperkecil celah antara piston dengan cylinder liner sehingga tekanan dan temperatur gas di dalam ruang bakar tetap terjaga dalam kondisi optimal [1].

Piston bergerak translasi saat pembakaran terjadi. Gerakan translasi ini dapat menimbulkan keausan serta tegangan pada dinding cylinder liner bagian dalam. Keausan ini dapat mengakibatkan kelonggaran pada dinding cylinder liner [2]. Kelonggaran ini dapat menimbulkan kebocoran gas, tekanan kompresi, dan tenaga yang dihasilkan juga berkurang yang berujung pada meningkatnya kebutuhan minyak pelumas dan bahan bakar serta berkurangnya umur pakai komponen cylinder liner dan ring piston.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa pengaruh koefisien gesek terhadap tegangan dan regangan yang terjadi pada *cylinder liner* sebagai akibat adanya kontak *sliding*. Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini ialah metode elemen hingga dengan bantuan perangkat lunak *ANSYS Workbench*.

Penelitian ini bertujuan untuk melihat seberapa besar nilai tegangan dan regangan yang terjadi di sepanjang *cylinder liner* sebagai akibat adanya pembebanan berupa tekanan dan koefisien gesek.

Adapun batasan masalah yang ditetapkan dalam penelitian ini ialah sebagai berikut

1. Penelitian ini akan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan perangkat lunak ANSYS Workbench
2. Material yang akan digunakan ialah besi cor kelabu pada *cylinder liner* dan besi cor nodular pada *ring piston*
3. Penelitian ini tidak membahas variasi material
4. Penelitian ini tidak membahas desain
5. Penelitian ini tidak membahas pengaruh suhu

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Tegangan

Tegangan ialah intensitas gaya pada elemen struktur sebagai bentuk reaksi akibat deformasi yang timbul disebabkan oleh bekerjanya beban dari luar [3]. Di bawah ini ialah persamaan tegangan

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dimana :

$\sigma$  = Tegangan normal (N/m<sup>2</sup>)

P = Gaya normal (N)

A = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

### 2.2 Regangan

Regangan sendiri dapat diartikan sebagai pertambahan panjang per satuan panjang, dan bila regangan yang terjadi akibat adanya tegangan normal maka regangan tersebut dapat disebut sebagai regangan normal (*normal strain*) [3]. Persamaan regangan dapat ditulis sebagai berikut

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2)$$

Dimana :

$\varepsilon$  = Regangan (m/m)

$\delta$  = Perubahan Panjang (m)

L = Panjang awal (m)

### 2.3 Tegangan Von Mises

Tegangan Von Mises ialah tegangan tarik uniaksial yang dapat menghasilkan energi distorsi yang sama dengan yang dihasilkan oleh kombinasi tekanan yang bekerja [4]. Persamaan dari tegangan Von Mises ialah sebagai berikut

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (3)$$

### 2.4 Gesekan

Gesekan adalah sebuah fenomena yang terjadi ketika terdapat dua benda yang saling bersinggungan satu sama lain. Sedangkan, gaya gesek ialah gaya yang timbul ketika dua benda tersebut saling bersinggungan [5]. Besar gaya gesek yang dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$f = \mu \cdot N \quad (4)$$

Dimana :

$f$  = Gaya gesek (N)

$\mu$  = Koefisien gesek

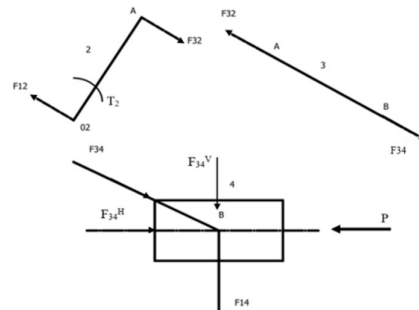
N = Gaya Normal (N)

### 2.5 Tekanan Kontak

Tekanan yang dihasilkan selama proses pembakaran juga turut berdampak pada tekanan ring piston terhadap dinding silinder. Pada mesin diesel, tekanan yang dapat diberikan ring piston terhadap dinding silinder dapat mencapai 2.0 MPa, Tekanan ini sangat bergantung pada kondisi dan mekanisme di dalam ruang bakar [6].

### 2.6 Analisa Gaya Statis Pada Mekanisme Engkol Peluncur

Analisa gaya pada mekanisme dapat diselesaikan dengan menerapkan persamaan-persamaan keseimbangan apabila jumlah dari yang tidak diketahui tidak lebih dari tiga, namun bila pada suatu badan tunggal terdapat lebih dari tiga jumlah yang tidak diketahui maka harus diperoleh informasi tambahan di tempat lain dengan melihat pada batang lain [7]. Tahap awal dalam analisa gaya statis pada mekanisme engkol peluncur ialah dengan membuat diagram benda bebas. Berikut ialah diagram benda bebas pada mekanisme engkol peluncur :



Gambar 1 Diagram Benda Bebas Engkol Peluncur

### 2.7 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga ialah sebuah metode yang umum digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial parsial atau *Partial Differential Equation (PDE)* secara numerik dalam analisa struktur [8]. Metode ini membagi kontinum menjadi pecahan – pecahan kecil yang lebih mudah dikelola. Pecahan – pecahan kecil ini disebut sebagai elemen. Dengan demikian solusi pada tiap bagian kecil dapat dinyatakan dalam fungsi yang jauh lebih

sederhana dari pada fungsi untuk keseluruhannya. Elemen tadi secara matematis dihubungkan satu sama lain dengan kondisi sedemikian sehingga kompatibel dan berkesinambungan antar satu elemen dengan yang lainnya [9].

### 2.8 Profil Cylinder liner

Cylinder liner umumnya terbuat dari bahan besi cor kelabu (grey cast iron). Di bawah ini merupakan data sifat mekanik besi cor kelabu [10].

Tabel 1 Sifat Mekanik Besi Cor Kelabu

Properties	Metric
Density	6.80 – 7.34 g/cc
Poisson's Ratio	0.24 – 0.33
Elastic Modulus	62.1 – 162 GPa
Tensile Strength Ultimate	115 – 700 MPa
Elongation	1.0 – 15%
Hardness Brinell	120 - 550
Tensile Yield Strength	65.5-420 MPa
Izod	5.42 – 54.2 J
Compressive Yield Strength	1380 MPa

### 2.9 Profil Ring Piston

Umumnya ring piston terbuat dari bahan besi cor nodular. di bawah ini ialah data sifat mekanik besi cor nodular [11].

Tabel 2 Sifat Mekanik Besi Cor Nodular

Properties	Metric
Density	6.64 – 7.42 g/cc
Poisson's Ratio	0.25 – 0.37
Elastic Modulus	63.0 – 172 GPa
Tensile Strength Ultimate	345 – 1650 MPa
Elongation	0.2 – 40.0%
Hardness Brinell	120 - 600
Tensile Yield Strength	172-1450 MPa
Reduction of Area	2.00-10.0 %

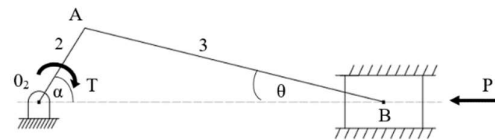
## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Perhitungan Pembebanan

Geometri yang akan dianalisis pada simulasi ini mengambil referensi dari mesin diesel dengan kapasitas 2286 cc. Di bawah ini merupakan data mengenai mesin tersebut :

1. Diameter × Langkah : 91.1 × 95 mm
2. Volume langkah : 2286 cc
3. Daya maksimum : 97.8 dk/3500 rpm
4. Torsi maksimum : 200 Nm/1000 rpm

Pendekatan analisa gaya statis dilakukan sesuai dengan mekanisme engkol peluncur seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah



Gambar 2 Mekanisme Engkol Peluncur

Pada analisa ini dikondisikan mekanisme tersebut mengalami beban torsi sebesar 200 Nm dan massa tiap komponen diabaikan

$$T_2 = F_{32} \times O_2A \quad (5)$$

Dimana :

$T_2$  = Torsi yang bekerja

$F_{32}$  = Gaya yang bekerja pada body 2

$O_2A$  = Panjang batang 2

Berikut ialah data mengenai dimensi tiap body pada mekanisme berdasarkan geometri yang akan disimulasikan :

$$O_2 - G_2 : 23.5 \text{ mm}$$

$$O_2 - A : 47 \text{ mm}$$

$$A - G_3 : 83.5 \text{ mm}$$

$$A - B : 167 \text{ mm}$$

maka besar gaya yang bekerja pada *body 2* ialah sebagai berikut :

$$T_2 = F_{32} \times 0.2A$$

$$200 = F_{32} \times 47$$

$$F_{32} = \frac{200}{47}$$

$$F_{32} = \frac{200}{0.047}$$

$$F_{32} = 4255.32 \text{ N}$$

Berdasarkan gaya yang bekerja pada *body 2* maka gaya yang bekerja pada *body 3* dan *4* dapat ditentukan menggunakan persamaan keseimbangan. Berikut ialah gaya yang bekerja pada *body 3* dan *4* :

$$F_{23} = - F_{32}$$

$$F_{23} = - 4255.32$$

$$F_{34} = F_{32}$$

$$F_{34} = 4255.32$$

$$F_{43} = - F_{34}$$

$$F_{43} = - 4255.32$$

Setelah didapatkan besar gaya yang bekerja pada tiap *body*, maka dapat ditentukan gaya tekan ring piston pada dinding *cylinder liner* dengan menggunakan persamaan berikut :

$$F_{34H} = \text{Cos } \theta \times F_{34} \text{ dan } F_{34V} = \text{Sin } \theta \times F_{34} \quad (6)$$

Berdasarkan persamaan di atas, dengan mengasumsikan besar sudut  $\theta$  yang mungkin terjadi yaitu dari 0 sampai dengan maksimum  $30^\circ$  maka gaya maksimum yang dialami *body 4* akibat gaya pada *body 3* ialah sebesar 2127.66 N. Dengan mengetahui besar gaya yang bekerja pada *body 4*, maka dapat ditentukan besar tekanan ring piston pada dinding *cylinder liner*. Tekanan tersebut dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut :

$$P = \frac{F_{34V}}{(D \times t) \times 2} \quad (7)$$

Dimana :

$P$  = Tekanan pada ring piston

$F_{34V}$  = Gaya yang bekerja pada *body 4* arah vertikal

$D$  = Diameter *ring piston*

$t$  = tebal *ring piston*

Berdasarkan persamaan di atas maka besar tekanan *ring piston* pada dinding *cylinder liner* ialah sebagai berikut :

$$P = \frac{F_{34V}}{(D \times t) \times 2}$$

$$P = \frac{2127.66}{(0.0911 \times 0.002) \times 2}$$

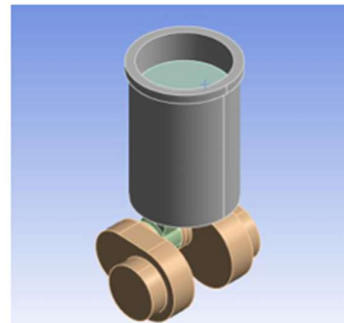
$$P = 5838800 \text{ N/m}^2$$

$$P = 5.8388 \text{ MPa}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, diketahui bahwa tekanan ring piston pada dinding *cylinder liner* ialah sebesar 5.8388 mPa. Tekanan tersebut kemudian akan dibagi dua untuk setiap ring piston sehingga tekanan per ring piston ialah 2.9194 dikombinasikan dengan tekanan kontak pada penelitian ini yaitu 2 MPa sehingga tekanan yang akan diaplikasikan ke dalam simulasi ANSYS ialah sebesar 4.9194 MPa

### 3.2 Prosedur Simulasi

Simulasi diawali dengan membuat model geometri yang akan disimulasikan. Model geometri tersebut dibuat menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor 2022. Di bawah ini ialah geometri yang akan disimulasikan

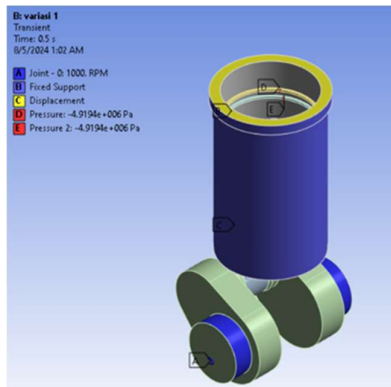


Gambar 3 Geometri yang Hendak Disimulasikan

Geometri yang telah dibuat kemudian akan di-input ke dalam perangkat lunak Ansys Workbench. Geometri tersebut akan diberikan beban sesuai dengan batasan masalah yang telah ditentukan. Penelitian ini akan menggunakan analisa transient structural. Berikut ialah langkah-langkah yang diterapkan pada penelitian ini

1. Export geometri yang telah dibuat ke dalam format "step" agar dapat dibaca pada perangkat lunak Ansys Workbench.

- Buka perangkat lunak Ansys Workbench R2 2021
- Masuk ke pilihan simulasi transient structural.
- Masukkan sifat mekanik dari geometri yang akan disimulasikan.
- Masukkan Geometri yang akan disimulasikan
- Aplikasikan kondisi batas seperti tekanan, koefisien gesek, putaran pada *crankshaft* dan tumpuan.



Gambar 4 Kondisi Batas yang Akan Diterapkan

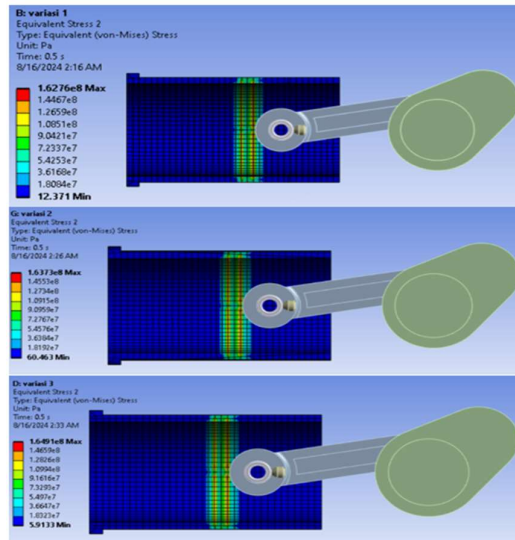
- Kemudian lakukan *meshing* dengan metode *hex-dominant*. Kualitas *meshing* yang hendak dicapai ialah *excellent* pada standar *skewness* dengan rentang nilai di bawah 0.25.
- Lalu pilih solusi yang hendak diketahui dari proses simulasi.
- Setelah hasil didapat akan dilakukan analisa guna mengambil kesimpulan.

#### 4. Hasil Dan Pembahasan

Di bawah ini ialah hasil *transient structural*. Hasil yang didapat ialah *equivalent stress*, *equivalent strain*, *total deformation*.

Tabel 3 Tegangan Von Mises

Equivalent Von Mises Stress (Mpa)		
no	koefisien gesek	pembebanan
		tekanan : 2MPa kecepatan : 1000 rpm
1	0.08	162.76
2	0.1	163.73
3	0.12	164.91

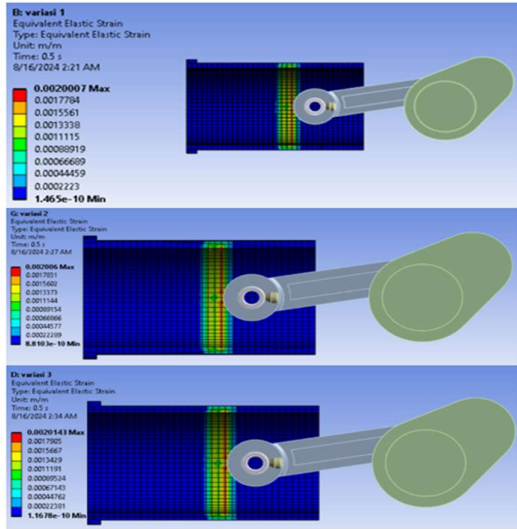


Gambar 5 Kontur Tegangan pada *Cylinder Liner*

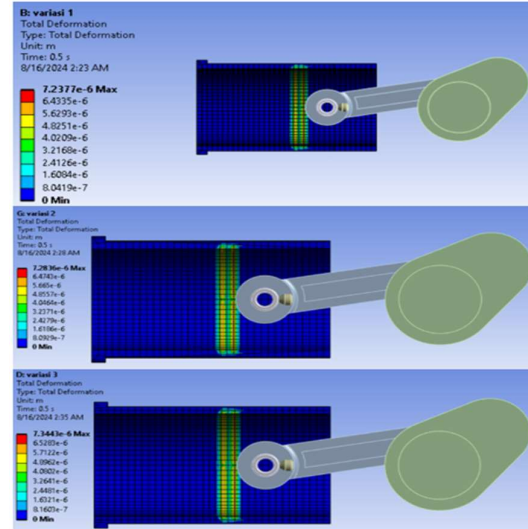
Gambar di atas ialah gambar mengenai kontur tegangan yang terjadi pada *cylinder liner* sebagai akibat adanya pembebanan. Warna merah menunjukkan bagian *cylinder liner* yang mengalami tegangan maksimum sedangkan warna biru menunjukkan bagian yang mengalami tegangan minimum Berdasarkan hasil simulasi dapat dilihat pada tabel terjadi kenaikan nilai tegangan sebagai akibat kenaikan nilai koefisien gesek. Pada koefisien gesek 0.08 tegangan yang terjadi ialah 162.76 MPa kemudian pada koefisien gesek 0.1 tegangan meningkat menjadi 163.73 MPa dan terakhir pada koefisien 0.12 tegangan meningkat menjadi 164.91 MPa. Tegangan tertinggi terjadi pada bagian yang tengah mengalami kontak dengan *ring piston*.

Tabel 4 Regangan Von Mises

Equivalent Von Mises Strain (m/m)		
no	koefisien gesek	pembebanan
		tekanan : 2MPa kecepatan : 1000 rpm
1	0.08	0.0020007
2	0.1	0.002006
3	0.12	0.0020143



Gambar 6 Kontur Regangan pada Cylinder Liner



Gambar 7 Kontur Deformasi pada Cylinder Liner

Gambar di atas ialah gambar mengenai kontur regangan yang terjadi pada cylinder liner sebagai akibat adanya pembebanan. Warna merah menunjukkan bagian cylinder liner yang mengalami regangan maksimum sedangkan warna biru menunjukkan bagian yang mengalami regangan minimum Berdasarkan hasil simulasi dapat dilihat pada tabel terjadi kenaikan nilai regangan sebagai akibat kenaikan nilai koefisien gesek. Pada koefisien gesek 0.08 regangan yang terjadi ialah 0.0020007 m/m kemudian pada koefisien gesek 0.1 regangan meningkat menjadi 0.002006 m/m dan terakhir pada koefisien 0.12 regangan meningkat menjadi 0.0020143m/m. Regangan tertinggi terjadi pada bagian yang tengah mengalami kontak dengan ring piston.

Gambar di atas ialah gambar mengenai kontur deformasi yang terjadi pada cylinder liner sebagai akibat adanya pembebanan. Warna merah menunjukkan bagian cylinder liner yang mengalami deformasi maksimum sedangkan warna biru menunjukkan bagian yang mengalami deformasi minimum Berdasarkan hasil simulasi dapat dilihat pada tabel terjadi kenaikan nilai deformasi sebagai akibat kenaikan nilai koefisien gesek. Pada koefisien gesek 0.08 regangan yang terjadi ialah 0.0072377 m kemudian pada koefisien gesek 0.1 regangan meningkat menjadi 0.0072836 m dan terakhir pada koefisien 0.12 regangan meningkat menjadi 0.0073443 m. Deformasi tertinggi terjadi pada bagian yang tengah mengalami kontak dengan ring piston.

Tabel 5 Total Deformasi

Total Deformasi (mm)		
no	koefisien gesek	pembebanan
		tekanan : 2MPa kecepatan : 1000 rpm
1	0.08	0.0072377
2	0.1	0.0072836
3	0.12	0.0073443

## 5. Simpulan

Berdasarkan hasil simulasi dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan nilai tegangan, regangan, dan deformasi yang dialami oleh *cylinder liner*. Hal ini memungkinkan karena terjadi peningkatan nilai koefisien gesek. Peningkatan nilai koefisien ini berdampak pada peningkatan gaya gesek sehingga pembebanan yang dialami oleh ring piston pun ikut meningkat.

Besar nilai tegangan yang terjadi pada *cylinder liner* sebagai akibat kenaikan nilai koefisien gesek masih berada di bawah nilai *tensile yield strength*. Seperti tertera pada data sifat mekanik bahwa nilai *tensile yield strength* besi cor kelabu ialah 242.75 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan nilai koefisien gesek tidak menyebabkan kegagalan pada *cylinder liner*. Nilai deformasi juga menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi pada *cylinder liner* tergolong kecil bahkan mendekati nol.

**Daftar Pustaka**

- [1] Widiyarta, I. M., & Adiatmika, I. K. 2012. *Keausan Cylinder Liner Akibat Beban Kontak Luncur Ring Piston*. Universitas Udayana. Jimbaran
- [2] Tjahjono, T. *Analisis Keausan Pada Dinding Silinder Mesin Diesel*. Media Mesin: Majalah Teknik Mesin, 6(2), 78–83. <https://doi.org/10.23917/mesin.v6i2.2894>
- [3] Gere, J. M., & Timoshenko, S. P. 2000. *Mekanika Bahan Jilid 1 Edisi 4*. In Erlangga. Jakarta
- [4] Ichlas Imran, A. 2017. *Simulasi Tegangan Von Mises Dan Analisa Safety Factor Gantry Crane Kapasitas 3 Ton*. Dinamika, 8(2).
- [5] Khafidh, M., & Jamari, D. 2012. *Analisa Karakteristik Minyak Pelumas Pertamina Meditran Sx Sae 15w-40 Menggunakan Tribometer Pin-On-Ring*. (Doctoral Dissertation, Mechanical Engineering Departement, Faculty Engineering Of Diponegoro University).
- [6] Yamagata, H. 2005. *The Science And Technology Of Materials In Automotive Engines*. Elsevier Science
- [7] Gasni, D. 2007. *Karakteristik Mesin Pemotong Ubi Talas Dengan Mekanisme Engkol Peluncur*. , 2(27), 62–68.
- [8] Jokosisworo, S., & Sebastian, J. 2012. *Analisa Fatigue Kekuatan Stern Ramp Door Akibat Beban Dinamis Pada Km. Kirana I Dengan Metode Elemen Hingga Diskrit Elemen Segitiga Plane Stress*. Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Kelautan, 8(3), 119–125. <https://doi.org/10.14710/kpl.v8i3.3185>
- [9] Hadipratomo, W. 2005. *Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga*. Danamartha Sejahtera Utama. Bandung
- [10] MatWeb. 2015. *Overview of Materials for Gray Cast Iron*. <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=f3cd25980ab24fdaa5893252cd2bc192>  
(Diakses : 8 Agustus 2024, 14.15)
- [11] MatWeb. 2024. *Overview of Materials for Ductile Iron*. <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=9d44544b44a44addaae133fb3ae3fcf9>  
(Diakses : 8 Agustus 2024, 14.30)



**Zerry Hansnico Christian Mausi Nababan**

Menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2019 sampai 2024

Bidang penelitian yang diminati yaitu Rekayasa Manufaktur.