



**ANALISIS KEKUATAN LELAH *CONNECTING ROD* DENGAN
VARIASI MATERIAL BERBASIS METODE ELEMEN HINGGA**

SKRIPSI

MUHAMMAD AFIFF KUSUMAH

2210311082

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

2026



**ANALISIS KEKUATAN LELAH *CONNECTING ROD* DENGAN
VARIASI MATERIAL BERBASIS METODE ELEMEN HINGGA**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik**

MUHAMMAD AFIFF KUSUMAH

2210311082

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

2026

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Muhammad Afiff Kusumah
NIM : 2210311082
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisis Kekuatan Lelah *Connecting Rod* dengan Variasi Material Berbasis Metode Elemen Hingga

Telah berhasil dipertahankan dihadapan para penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.



Muhammad Arifudin Lukmana S.T., M.T.

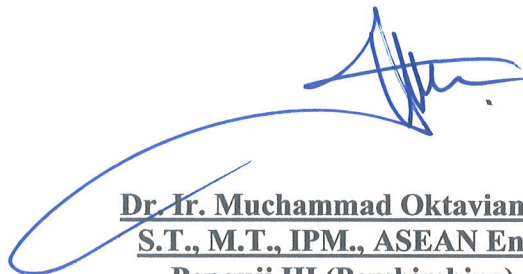
Penguji Utama



Dr. Damora Rhakasywi S.T., M.T.
Penguji Lembaga



Dr. Eng. Ir. Teguh Firmansyah S.T.,
M.T., IPM.
Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ir. Muchammad Oktaviandri
S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.
Penguji III (Pembimbing)



Ir. Fahrudin S.T., M.T.
Kepala Program Studi S-1 Teknik
Mesin

Ditetapkan di: Jakarta

Tanggal Ujian: 10 Juni 2026

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

ANALISIS KEKUATAN LELAH *CONNECTING ROD* DENGAN VARIASI MATERIAL BERBASIS METODE ELEMEN HINGGA

Skripsi diajukan oleh:

Nama : Muhammad Afiff Kusumah
NIM : 2210311082
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisis Kekuatan Lelah *Connecting Rod* dengan Variasi
Material Berbasis Metode Elemen Hingga

Telah dikoreksi atau diperbaiki oleh penulis sesuai arahan dari dosen pembimbing dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.

Disetujui oleh,

Pembimbing I



Dr. Ir. Muchammad Oktaviandri S.T.,
M.T., IPM., ASEAN Eng.

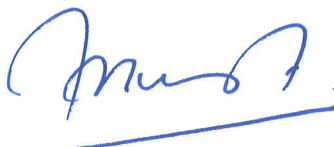
Pembimbing II



Sigit Pradana S.T., M.T.

Mengetahui,

Kepala Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta



Ir. Fahrudin S.T., M.T.

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Muhammad Afiff Kusumah

NIM : 2210311082

Program Studi : Teknik Mesin

Bilamana dikemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan saya ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses dengan ketentuan yang berlaku

Jakarta, 10 Juni 2026

Yang menyatakan,

Muhammad Afiff Kusumah

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta. Saya yang akan bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Afiff Kusumah

NIM : 2210311082

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Mesin

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-Exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“ANALISIS KEKUATAN LELAH *CONNECTING ROD* DENGAN VARIASI MATERIAL BERBASIS METODE ELEMEN HINGGA”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan) dengan Hak Bebas Royalti ini, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 10 Juni 2026

Yang menyatakan,



Muhammad Afiff Kusumah

ANALISIS KEKUATAN LELAH *CONNECTING ROD* DENGAN VARIASI MATERIAL BERBASIS METODE ELEMEN HINGGA

Muhammad Afiff Kusumah

ABSTRAK

Connecting rod merupakan salah satu komponen penting pada motor pembakaran dalam yang berfungsi untuk meneruskan gaya dari piston ke *crankshaft*. Komponen ini bekerja pada kondisi pembebanan siklik yang tinggi, sehingga berpotensi mengalami kegagalan akibat kelelahan (*fatigue*). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis serta membandingkan kekuatan lelah, distribusi tegangan, faktor keamanan (*safety factor*), dan umur lelah (*fatigue life*) pada *connecting rod* dengan variasi material AISI 4340, 42CrMo4, dan Aluminium 7075 menggunakan metode elemen hingga. Penelitian dilakukan melalui pemodelan geometri tiga dimensi yang mengacu pada *connecting rod* Honda Brio, kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak ANSYS 2023 R1. Simulasi dilakukan dengan kondisi *transient structural* pada kecepatan 4800 rpm dan gaya tekan gas sebesar 18.700 N. Untuk memastikan hasil yang akurat, dilakukan uji konvergensi *mesh* dan diperoleh ukuran elemen optimal sebesar 0,94 mm. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh material memiliki nilai tegangan von Mises yang masih berada di bawah batas kekuatan luluhnya, sehingga aman terhadap deformasi plastis. Material AISI 4340 dan 42CrMo4 mampu mencapai umur lelah hingga 10^7 siklus yang menunjukkan kondisi *infinite life* dalam batas analisis. Sementara itu, Aluminium 7075 menunjukkan performa yang lebih rendah terhadap pembebanan berulang dengan adanya area kritis pada komponen. Berdasarkan nilai *safety factor*, material 42CrMo4 memiliki tingkat keamanan paling tinggi dibandingkan material lainnya, sehingga dapat dipertimbangkan sebagai material yang paling optimal untuk aplikasi *connecting rod* pada kondisi pembebanan yang dianalisis.

Kata Kunci: *Connecting Rod, Fatigue, FEM, Internal Combustion Engine*

FATIGUE STRENGTH ANALYSIS OF CONNECTING ROD WITH MATERIAL VARIATIONS BASED ON FINITE ELEMENT METHOD

Muhammad Afiff Kusumah

ABSTRACT

The connecting rod is a critical component in internal combustion engines that functions to transmit force from the piston to the crankshaft. This component operates under high cyclic loading conditions, which makes it susceptible to fatigue failure. This study aims to analyze and compare the fatigue strength, stress distribution, safety factor, and fatigue life of a connecting rod using different materials, namely AISI 4340, 42CrMo4, and Aluminum 7075, through the Finite Element Method (FEM). The research was conducted by developing a three-dimensional geometric model based on a Honda Brio connecting rod, followed by numerical simulation using ANSYS 2023 R1. The analysis was performed under transient structural conditions with a rotational speed of 4800 rpm and a gas pressure force of 18,700 N. To ensure the accuracy of the results, a mesh convergence study was carried out, resulting in an optimal element size of 0.94 mm. The simulation results indicate that all materials exhibit von Mises stress values below their respective yield strengths, indicating safe operation against plastic deformation. Both AISI 4340 and 42CrMo4 materials achieve a fatigue life of up to 10^7 cycles, indicating infinite life within the scope of the analysis. In contrast, Aluminum 7075 shows lower performance under cyclic loading, with critical regions identified on the component. Based on the safety factor evaluation, 42CrMo4 demonstrates the highest level of safety among the materials studied, making it the most suitable candidate for connecting rod applications under the given loading conditions.

Kata Kunci: *Connecting Rod, Fatigue, FEM, Internal Combustion Engine*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Kekuatan Lelah *Connecting Rod* dengan Variasi Material Berbasis Metode Elemen Hingga**”. Sholawat serta salam semoga tercurahkan kepada Rasulullah Muhammad Shalallahu ‘Alaihi Wa Salam yang telah memberikan syafaat kepada seluruh umatnya.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada program studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta. Melalui kata pengantar ini, penulis ingin berterima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam proses penyusunan hingga penyelesaian skripsi ini. Adapun seluruh pihak yang dimaksud antara lain:

1. Kedua orang tua penulis, Ayah dan Mamah yang selalu memberikan doa, dukungan moral, dan materil sehingga penulis dapat menyelesaikan studi ini dengan sangat baik.
2. Bapak Dr. Ir. Muchammad Oktaviandri S.T., M.T., IPM., ASEAN. Eng. selaku dosen pembimbing I yang telah membantu, mengarahkan, dan memberikan dukungan dalam penulisan skripsi ini.
3. Bapak Sigit Pradana S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II sekaligus dosen pembimbing akademik yang telah membantu dan mengarahkan penulisan sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Fahrudin S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin, beserta segenap dosen, tenaga pendidik, dan karyawan Fakultas Teknik yang bersedia membagi pengetahuan, pengalaman, dan banyak bantuan selama perkuliahan.
5. Kakak Perempuan yang selalu memberikan doa, dukungan moral, serta materil sehingga penulis dapat menyelesaikan studi ini dengan baik.

6. Sahabat penulis yakni Umar Yafi, Arsyad Aufa, Alif Ramadhan, Aiman Ash, Mikhail Galang, Rizki Fitriadi, Royyan Adnanda, Faishal Rahmy, Farhan Mukti, Faiz Ata, Khiair Mumtaz, Sayyaf Zuhdi, Althea Nira, Ferry Maulidin, Umar Rafif, Rossa Cantara, Kayla Azzahra, Anisa Rahmah dan Keluarga Besar Teknik Mesin OPTIMIS 2022 yang sudah menemani penulis, memberikan dukungan dan doa guna kelancaran perkuliahan sampai dengan penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari berbagai pihak guna penyempurnaan laporan ini di masa mendatang. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan menjadi referensi yang berguna untuk semua pihak.

Jakarta, Juni 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terdahulu	7
2.2 <i>Connecting Rod</i>	18
2.2.1 Pengertian <i>Connecting Rod</i>	18
2.2.2 Material <i>Connecting Rod</i>	20
2.2.3 AISI 4340	21

2.2.4. Baja 42CrMo4.....	22
2.2.5. Aluminium 7075.....	22
2.2.6. Gaya-Gaya yang Bekerja pada <i>Connecting Rod</i>	23
2.2 Kekuatan <i>Fatigue</i>	25
2.3 Tegangan Von Mises dan <i>Principal Stress</i>	27
2.4 <i>Safety Factor</i> (Faktor Keselamatan).....	28
2.5 Metode Elemen Hingga (<i>Finite Element Method</i> , FEM)	29
2.5.1 Pengertian Metode Elemen Hingga	29
2.5.2 Tipe-tipe Elemen.....	30
2.5.3 <i>Boundary Condition</i> (Kondisi Batas)	32
2.5.4. Verifikasi Model.....	35
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	39
3.2 Identifikasi Masalah	40
3.3 Studi Literatur.....	40
3.4 Pengambilan Data Geometri.....	40
3.5 Desain <i>Connecting Rod</i>	41
3.6.1 Spesifikasi Mesin.....	42
3.6.3 Pemodelan Komponen Pendukung.....	43
3.7 Simulasi <i>Connecting Rod</i>	43
3.7.1 <i>Pre-Processing</i>	44
3.7.2 <i>Processing</i>	50
3.7.3 <i>Post-Processing</i>	51
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1. Pengambilan Data Geometri <i>Connecting Rod</i>	52
4.1.1 Pengukuran Dimensi.....	52

4.2 Pemodelan Geometri 3D	53
4.2.1 Pemodelan Komponen Pendukung <i>Boundary Condition</i>	55
4.3 Penentuan Parameter Pembebanan.....	56
4.3.1 Perhitungan Gaya Gas Pada Piston.....	56
4.3.2 Penentuan Putaran Mesin.....	56
4.4 Simulasi FEM.....	57
4.4.1 Verifikasi <i>Mesh</i>	57
4.4.2 <i>Boundary Condition</i>	59
4.4.3 <i>Processing</i>	64
4.4.4 <i>Post-Processing</i>	65
4.5 Analisis Komparatif Kekuatan Lelah Material <i>Connecting Rod</i>	69
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. (a) Pemodelan FEM dan <i>Meshing</i> dan (b) Skema Pembebanan (Nkrumah et al., 2023).	8
Gambar 2. 2 (a) <i>Meshing</i> pada geometri <i>connecting rod</i> (b) dan (c) Distribusi <i>stress</i> Von Mises <i>fatigue</i> material Al6061 + 20% SiC dengan kondisi <i>small-end fixed</i> dan <i>big-end fixed</i> (Kumar Manav et al., 2023).	10
Gambar 2. 3 <i>Mesh</i> Model pada (a) AISI 4340 dan (b) AISI 1050 (Frătia et al., 2019).	11
Gambar 2. 4 Perbandingan perkembangan retak mikro pada permukaan <i>forged</i> 4340 (c) dan <i>machined</i> 1050 (d) (Frătia et al., 2019).	12
Gambar 2. 5 Model Geometri (a) dan Model <i>Mesh</i> Tetrahedral (b) (Meena et al., 2023).	13
Gambar 2. 6 Pemodelan <i>Mesh</i> Tetrahedral pada <i>I-section Connecting Rod</i> (Tiwari et al., 2023).	14
Gambar 2. 7 Tegangan maksimum, yang menjadi indikator awal kelelahan material untuk <i>I-section</i> dan <i>H-section</i> (Tiwari et al., 2023).	14
Gambar 2. 8 Lokasi yang biasanya terjadi pada bagian-bagian <i>connecting rod</i> (a) dan Model <i>Mesh</i> Hexahedral pada geometri (b) (Xu et al., 2024).	16
Gambar 2. 9 Titik kegagalan pada node 35.137 (a) dan Jumlah siklus beban per putaran dan jumlah siklus hingga kegagalan (b) (Xu et al., 2024).	17
Gambar 2. 10 Penempatan <i>Connecting Rod</i> pada Motor Pembakaran Dalam (R. C. McCune & G. A. Weber, 2001).	19
Gambar 2. 11 Perbedaan Geometri <i>I-Beam</i> dan <i>H-Beam Connecting Rod</i> (Jefferson Bryant, 2025).	20
Gambar 2. 12 <i>Free Body Diagram</i> untuk gaya yang bekerja pada <i>Connecting Rod</i> (Khurmi & Gupta, 2005).	23
Gambar 2. 13 <i>Endurance</i> atau <i>fatigue limit</i> pada diagram S-N (Khurmi & Gupta, 2005). ...	27
Gambar 2. 14 Variabel yang diketahui pada diagram S-N Sumber: (Calculation & Analysis Software, 2021).	27
Gambar 2. 15 (1) 1D Elemen (2) 2D Elemen dan (3) 3D Elemen (Madier, 2020).	32
Gambar 2. 16 Load sebesar 450 N diterapkan pada geometri Sumber: (Ibrahim et al., 2019).	34

Gambar 2. 17 Pemodelan <i>Contact</i> pada <i>Sphere</i> dan <i>Flat Surface</i> pada FEM Sumber: (Kalifa et al., 2025).	35
Gambar 2. 18 Kurva Konvergensi <i>Mesh</i> pada FEM (Madier, 2020).	36
Gambar 2. 19 Bentuk elemen dan <i>skewed</i> yang ideal (ANSYS, 2025).	37
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.	39
Gambar 3. 2 <i>Free Body Diagram</i> dari <i>Connecting Rod</i>	42
Gambar 3. 3 Diagram Alir Simulasi FEM.	44
Gambar 3. 4 Kurva S-N AISI 4340 Sumber: (Nascimento et al., 2001).	46
Gambar 3. 5 Kurva S-N 42CrMo4 Sumber: (Basavaraj et al., 2021).	47
Gambar 3. 6 Kurva S-N Aluminium 7075 Sumber: (Yang et al., 2019).	48
Gambar 4. 1 (a) Jangka Sorong dan (b) Komponen <i>Connecting Rod</i>	52
Gambar 4. 2 (a) Desain Isometric <i>Connecting Rod</i> dan (b) Gambar Teknik <i>Connecting Rod</i>	54
Gambar 4. 3 Komponen <i>Assembly Piston</i> , <i>Piston Pin</i> , <i>Crankshaft</i> , dan <i>Connecting Rod</i>	55
Gambar 4. 4 Penerapan <i>Meshing</i> 3D Tetrahedral Pada Komponen <i>Assembly Connecting Rod</i> , <i>Piston Pin</i> , dan <i>Piston</i>	57
Gambar 4. 5 Grafik hubungan antara tegangan von Mises dengan ukuran elemen.	59
Gambar 4. 6 Pemberian <i>Joints</i> pada (a) <i>Crankshaft</i> pada <i>Ground</i> , (b) <i>Revolute Connecting Rod</i> pada <i>Crankshaft</i> , (c) <i>Revolute Connecting Rod</i> pada <i>Piston Pin</i> , (d) <i>Revolute Piston Pin</i> pada <i>Piston</i> , dan (e) <i>Translational Ground</i> pada <i>Piston</i>	62
Gambar 4. 7 Penerapan <i>Force</i> dan <i>Rotational Velocity</i> pada <i>Boundary Condition</i>	63
Gambar 4. 8 Pengaturan <i>Time Step</i> pada Simulasi <i>Transient Connecting Rod</i>	64
Gambar 4. 9 Pengaturan <i>Weak Springs</i> dan <i>Large Deflection</i> pada <i>Solver Controls</i>	64
Gambar 4. 10 Pengaturan <i>Nonlinear Controls</i> untuk Full Newton-Rapshon.	65
Gambar 4. 11 (a) <i>Contour</i> Tegangan von Mises, (b) <i>Contour Fatigue Life</i> , dan (c) <i>Contour Safety Factor</i> dari <i>Connecting Rod</i> Material AISI 4340.	66
Gambar 4. 12 (a) <i>Contour</i> Tegangan von Mises, (b) <i>Contour Fatigue Life</i> , dan (c) <i>Contour Safety Factor</i> dari <i>Connecting Rod</i> Material 42CrMo4.	67
Gambar 4. 13 (a) <i>Contour</i> Tegangan von Mises, (b) <i>Contour Fatigue Life</i> , dan (c) <i>Contour Safety Factor</i> dari <i>Connecting Rod</i> Material Aluminium 7075.	69
Gambar 4. 14 Grafik Komparatif Tegangan von Mises pada Variasi Material.	70

Gambar 4. 15 Grafik Komparatif Data S-N Variasi Material.	71
Gambar 4. 16 Grafik Komparatif Nilai <i>Safety Factor</i> Hasil ANSYS Pada Variasi Material.	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Penelitian Terdahulu.....	17
Tabel 2. 2 Jenis-jenis Constraint (Madier, 2020).....	32
Tabel 2. 3 Nilai Kualitas <i>Cell</i> Berdasarkan Skewness (ANSYS, 2025).....	37
Tabel 3. 1 Data Parameter Geometri dan Ukuran <i>Connecting Rod</i>	41
Tabel 3. 2 Spesifikasi Mesin Honda Brio.	42
Tabel 3. 3 Sifat Mekanis AISI 4340.	45
Tabel 3. 4 Sifat Mekanis 42CrMo4.	46
Tabel 3. 5 Sifat Mekanis Aluminium 7075.....	47
Tabel 3. 6 Studi Konvergensi <i>Mesh</i>	49
Tabel 3. 7 Spesifikasi Perangkat yang digunakan.....	50
Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Geometri.....	53
Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran Konvergensi <i>Mesh</i>	58
Tabel 4. 3 Tabel Hasil Kekuatan Lelah Variasi Material <i>Connecting Rod</i> Berdasarkan Tegangan von Mises.	71
Tabel 4. 4 Konversi <i>Life Cycle</i> Terhadap Jarak Tempuh.	73

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Project di Halaman ANSYS Workbench.

Lampiran 2 Data Material Properties Pada ANSYS Workbench.

Lampiran 3 Force Convergence Pada Tahap Processing.

Lampiran 4 Setup Simulasi ANSYS.