

## ANALISIS TEGANGAN PADA POROS ENKOL SEPEDA MOTOR HONDA GL PRO NEOTECH MENGGUNAKAN SOLIDWORKS 2021

### STRESS ANALYSIS OF CRANKSHAFT HONDA GL PRO NEOTECH MOTORCYCLES BASED ON SOLIDWORKS 2021

Muhammad Iqbal Iski<sup>(1)</sup>, Delima Yanti Sari<sup>(2)</sup>, Hendri Nurdin<sup>(3)</sup>, Irzal<sup>(4)</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang  
Kampus Air Tawar, Padang 25131, Indonesia

[iqbalfitiski02@gmail.com](mailto:iqbalfitiski02@gmail.com)

[delimayanti@ft.unp.ac.id](mailto:delimayanti@ft.unp.ac.id)

[hens2tmft@ft.unp.ac.id](mailto:hens2tmft@ft.unp.ac.id)

[irzal26@yahoo.com](mailto:irzal26@yahoo.com)

#### Abstrak

Sepeda motor terdapat salah satu komponen penting yaitu poros engkol (*crankshaft*). Poros engkol adalah komponen dengan geometri yang kompleks pada mesin pembakaran, berfungsi mengubah gerak translasi (gerak bolak-balik) piston menjadi gerak berputar terhadap poros. Poros engkol dioperasikan pada putaran tinggi sehingga poros engkol mengalami beban siklus yang cukup besar. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi beban yang terjadi pada poros engkol Honda GL Pro Neotech berbahan material *AISI 1045 Steel, cold drawn* dengan melakukan analisis *static structural* dengan tipe *meshing tetrahedral 3D solid elements* pada poros engkol menggunakan *Solidworks 2021*. Metode penelitian yang digunakan adalah menggunakan simulasi komputer dengan *software* berbasis Metode Elemen Hingga. Dilakukan untuk mendapatkan besarnya nilai tegangan yang terjadi pada lokasi kritis, perpindahan yang terjadi pada poros engkol dan faktor keamanan. Model poros engkol 3D dibuat melalui *software Solidworks 2021*. Beban kemudian diterapkan pada *crankpin* dan kondisi batas diterapkan pada *crank journal*. Hasil yang diperoleh dari analisis tersebut untuk mengetahui distribusi tegangan *Von Mises*, perpindahan dan faktor keamanan pada poros engkol akibat pembebanan secara statik. Gaya reaksi yang disebabkan gaya aksi yang diberikan terhadap *crankpin* sebesar 11.659,28 N. Kesimpulan dari penelitian ini adalah diketahuinya nilai tegangan *Von Mises*, perpindahan, dan faktor keamanan melalui hasil simulasi *Solidworks*. Didapatkan tegangan *Von Mises* maksimum sebesar  $4,777e+01$  N/mm<sup>2</sup> dan tegangan *Von Mises* minimum sebesar  $1,704e-08$  N/mm<sup>2</sup>, perpindahan maksimum diperoleh sebesar  $2,543e-03$  mm dan *FOS (factor of safety)* minimum diperoleh sebesar  $1,109+01$ .

**Kata Kunci :** Honda GL Pro Neotech, Poros Engkol, *Solidworks*, Tegangan *Von Mises*, Perpindahan, *FOS*

#### Abstract

*Motorcycle there is one important part, which is the crankshaft. The crankshaft is composed of a complex geometry in an internal combustion engine, which serves to change the translational (back and forth) movement of the piston into a rotational movement around the shaft. The crankshaft is operated at such a high speed that the crankshaft is subjected to a fairly large cyclic load. The purpose of this paper is to investigate the load that occurs on a Honda GL Pro Neotech crankshaft made of AISI 1045 steel, a cold drawn material by performing a static structural analysis using 3D rigid elements that mesh with a tetrahedral type on the crankshaft using Solidworks 2021. Method The research used is a computer simulation. With a program based on the finite element method. This is done to get the magnitude of the stress value occurring at the critical location, the displacement occurring at the crankshaft and the safety factor. The 3D crankshaft model was created with the Solidworks 2021 software. The load is then applied to the crankshaft and boundary conditions are applied to the crankpin. The results of this analysis are intended to determine the distribution of Von Mises stress, displacement and safety factor on the crankshaft due to static loading. The reaction force generated by the work force applied to the crankshaft is 11,659.28 N. The conclusion of this study is that the value of Von Mises stress, displacement and safety factor is known from Solidworks simulation results. The maximum pressure of Von Mises is  $4.777e + 01$  N/mm<sup>2</sup>, the minimum pressure of Von Mises is  $1.704e-08$  N/mm<sup>2</sup>, the maximum displacement is  $2.543e-03$  mm and the minimum FOS (safety factor) is  $1.109 + 01$ .*

**Keywords :** Honda GL Pro Neotech, Crankshaft, *Solidworks*, *Von Mises stress*, Displacement, *FOS*

## I. Pendahuluan

Sepeda motor merupakan sebuah alat transportasi, dengan penggerak mesin dan digerakan oleh manusia, dengan tujuan untuk membantu memudahkan pekerjaan manusia. Adapun komponen penting yang terdapat pada piston yaitu poros engkol. Poros engkol merupakan bagian penting dari sebuah mesin berfungsi mengubah gerak translasi (gerak bolak-balik) piston ke dalam bentuk gerak memutar terhadap poros (Yu et al., 2007). Poros engkol adalah komponen dengan geometri yang kompleks, meneruskan energi ke roda gila (*flywheel*) yang mentransfer energi ke poros yang terhubung ke mesin yang digerakan. Batang penghubung (*connecting rod*) menyambungkan piston dengan poros engkol pada pin engkol. Beban lentur bekerja langsung ke poros engkol melalui batang penghubung. Poros engkol dioperasikan pada putaran tinggi sehingga poros engkol mengalami beban siklus (beban bolak-balik) yang cukup besar. Poros engkol mengalami beban puntir/torsi, beban bending/lentur, gaya geser dsb. Pembebanan pada poros engkol dan menganalisis kekuatan poros engkol dalam rangka untuk mengetahui dan mengevaluasi kinerjanya dalam hal distribusi tegangan, defleksi, faktor keamanan dsb.

Analisis struktur/komponen dengan beban dan geometri yang cukup kompleks biasanya dilakukan menggunakan Metode elemen hingga. Metode Elemen Hingga adalah tahapan numerik yang diterapkan guna melakukan penyelesaian atas permasalahan pada bidang rekayasa (*engineering*), contohnya analisa tegangan untuk struktur, perpindahan panas, aliran fluida dsb (Lianke et al., 2007). Metode tersebut dipakai untuk mengatasi permasalahan teknik yang tidak bisa dituntaskan melalui penggunaan solusi yang tepat atau analitis. Tujuan dari metode elemen hingga adalah melakukan perhitungan numerik persamaan diferensial parsial untuk memecahkan masalah matematika, digunakannya metode ini untuk menganalisis berbagai masalah struktural dan memberikan dasar teoritis untuk desain.

Peneliti sebelumnya telah melakukan analisis tegangan pada poros engkol, menggunakan berbagai perangkat lunak *FEM*. Menurut (Parman et al., 2014) melakukan analisis statik terhadap poros engkol mesin 4 silinder menggunakan *Catia* untuk pemodelan 3D dan *Ansys*. Analisis poros engkol 5 silinder dilakukan oleh (Yogesh S. Khaladkar, 2014) menggunakan *Solidworks* untuk pemodelan 3D dan *Ansys* untuk analisis statik. Menurut (Bagde & Raut, 2013) melakukan analisis statik dan *fatigue* terhadap poros engkol dengan 1 silinder, menggunakan *PRO-E Wildfire* dan *Ansys*. Menurut (Achmad Zainuri, 2010) menghitung tegangan maksimum dan faktor keamanan untuk poros engkol Daihatsu Zebra Espass memakai *Catia*. (Grujic et al., 2018) melakukan

analisis tegangan poros engkol mesin IC menggunakan *Inventor* dan *Ansys*. Menurut (Meng et al., 2011) deformasi maksimum terletak di antara *main bearing journal*, *crankpin* dan *crank cheeks* pada poros engkol. Menurut (Shenoy & Fatemi, 2006) model poros engkol 3 dimensi menggunakan *software Ansys* mengalami tegangan tinggi yang terkonsentrasi di *the knuckles of the crank arm* dan *the main journal*. Menurut (Zhou et al., 2010) konsentrasi tegangan poros engkol terjadi pada *fillet* leher spindel dan *fillet crankpin*. Menurut (F. H. Montazersadgh & Fatemi, 2007) analisis beban dinamis poros engkol terjadi tekanan pada semua siklus, efek putaran mesin dan beban torsi pada tegangan. (F. Montazersadgh & Fatemi, 2007) melakukan survei literatur yang berfokus pada kelelahan pada baja tempa dan besi cor. Solanki menyajikan tinjauan literatur tentang poros engkol. (Solanki et al., 2011) menghitung hubungan antara modal getaran dan distorsi tegangan lemparan engkol. (Karthick et al., 2022) melakukan analisis tegangan dan defleksi menggunakan *software Ansys* dengan bahan poros engkol *EN8* dan *AISI 4130*. (Muhammad et al., 2020) melakukan analisis untuk mencari nilai kelelahan, kegagalan dan analisis harmonik. (Qu, 2021) melakukan analisis modal menggunakan *software Ansys*.

Penelitian ini dilakukan analisis statik pada poros engkol Honda Gl Pro Neotech, menggunakan *software Solidworks* dengan tujuan untuk mengetahui distribusi tegangan, perpindahan dan faktor keamanan pada poros engkol.

### A. Tegangan

Gaya yang diterapkan pada batang atau pelat, maka gaya reaksinya terjadi dari arah yang berlawanan. Pada bidang penampang batang, setiap komponen akan sama-sama menyerap gaya. Intensitas beban seperti yang ditunjukkan oleh gaya dan dibagi dengan area di mana gaya beroperasi adalah apa yang dikenal sebagai tegangan. Berbagai koneksi tersedia berdasarkan beban yang ditentukan. Istilah "tegangan langsung" mengacu pada bagian dari tegangan yang berada pada sudut tegak lurus terhadap bidang di mana ia beroperasi. Tegangan tarik hadir selama pembebanan tarik, sedangkan tegangan tekan hadir selama pembebanan tekan.

### B. Tegangan Gabungan

Tegangan normal terjadi disebabkan oleh gaya tarik atau momen lentur. Adanya gaya geser dan puntiran juga bisa menyebabkan tegangan geser. Tegangan utama (*principal stresses*).

Tegangan maksimum

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Tegangan minimum

$$\sigma_{min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Dimana :

- $\sigma_x$  = Tegangan normal dalam arah x (N/mm<sup>2</sup>)
  - $\sigma_y$  = Tegangan normal dalam arah y (N/mm<sup>2</sup>)
  - $\tau_{xy}$  = Tegangan geser (N/mm<sup>2</sup>)
- (Beer et al., 2004)

**C. Teori Von Mises**

Von Mises mengajukan teori kegagalan material, pada tahun 1913 yang menyatakan bahwa luluh akan terjadi pada suatu benda jika tegangan yang diserap benda tersebut melebihi kekuatan luluh benda. Faktor keamanan bahan yang digunakan pada suatu barang sering diprediksi menggunakan hipotesis Von Mises.

**D. Regangan**

Strain atau regangan memiliki lambing yaitu  $\epsilon$ . Regangan untuk sebuah benda terjadi ketika benda berubah panjangnya karena adanya beban aksial.

Regangan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}$$

Dimana :

- $\epsilon$  : Regangan
  - $\sigma$  : Tegangan (N/m<sup>2</sup>)
  - $E$  : Modulus elastisitas (N/m<sup>2</sup>)
- (Beer et al., 2004)

**E. Faktor Keamanan**

Faktor keamanan adalah untuk memastikan bahwa desain kami tidak gagal atau aman jika terjadi keadaan di mana sistem menerima beban yang tidak dihitung. Persamaan yang digunakan sebagai berikut :

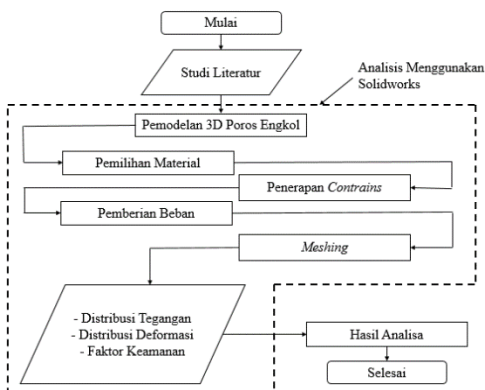
$$\text{Factor Of Safety} = \frac{\text{Yield Strength}}{\text{Desain Load}}$$

(Beer et al., 2004)

**II. Metode Penelitian**

**A. Flow Chart**

Penelitian ini dijelaskan melalui *flow chart* analisis statik pada tegangan poros engkol Honda GL Pro Neotech.

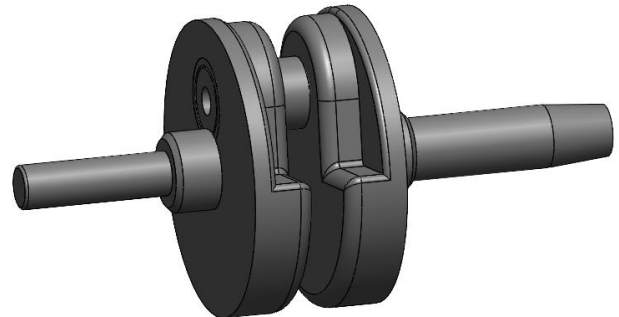


**Gambar 2.1 Flow chart penelitian**

**B. Model Input**

Model poros engkol CAD yang dilakukan pada perangkat lunak Solidworks. Solidworks adalah perangkat lunak pemodelan solid dari penggabungan *dassault system*.

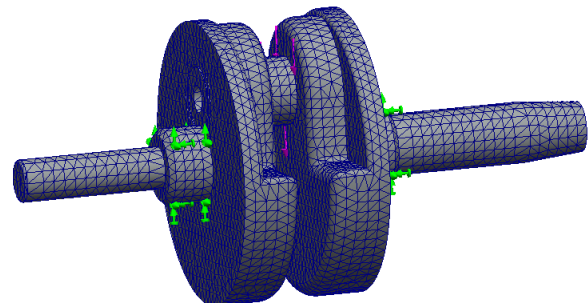
Melalui perangkat lunak Solidworks, model poros engkol dibuat, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2. Model keseluruhan poros engkol**

**C. Meshing**

Meshing adalah proses membagi elemen menjadi elemen yang lebih kecil, semakin besar tingkat kehalusan *mesh* semakin baik hasil analisis yang dihasilkan. Gambar 2.3 menunjukkan model *meshed* di Solidworks. Poros engkol disatukan oleh tipe *meshing tetrahedral 3D solid elements* dengan ukuran 4 mm, jumlah node sebanyak 98581, dan jumlah elemen sebanyak 63887.



**Gambar 2.3. Meshing**

**D. Material Properties**

Material yang digunakan untuk poros engkol adalah *AISI 1045 Steel, cold drawn*. Seperti pada Tabel 2.1

**Tabel 2.1 AISI 1045 Steel, cold drawn**

Property	Value	Units
Elastic Modulus	205000	N/mm <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0,29	N/A
Shear Modulus	80000	N/mm <sup>2</sup>
Mass Density	7850	Kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	625	N/mm <sup>2</sup>
Yield Strength	530	N/mm <sup>2</sup>

## E. Penerapan Beban

Beban yang dialami poros engkol terutama berasal dari tekanan silinder gas. Menurut parameter mesin dan perhitungan dinamika, beban maksimum batang penghubung mesin mencapai 20000 N. Karena kerusakan poros engkol terutama disebabkan oleh tekukan, gaya puntir roda gila ke engkol tidak diperhitungkan untuk sementara. Sederhananya, untuk silinder pengapian bahwa ketika batang penghubung adalah beban maksimum piston berada di titik mati atas (Haifen, 2007).

Penelitian ini menerapkan beban kompresi yang dialami piston pada motor 4 langkah sebesar 1,4 MPa. Maka persamaan yang digunakan :

$$F = P \times A$$

Dimana :

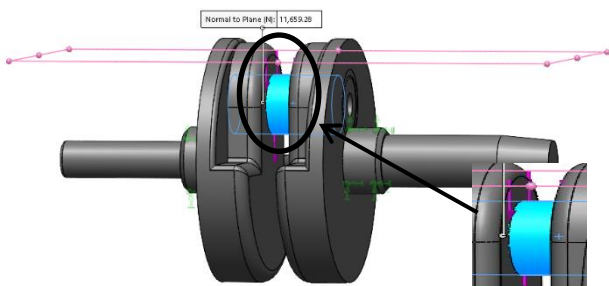
$F$  : Gaya radial (N)

$P$  : Kompresi atau tekanan (N/mm<sup>2</sup>)

$A$  : Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

(Beer et al., 2004)

Gaya-gaya dari batang penghubung bekerja pada *crankpin*. Gaya pada *crankpin* dihitung dengan bantuan perhitungan teori analitik. *Crankpin* mengalami gaya maksimum 11659,28 N. Gaya yang diterapkan pada permukaan *crankpin* dalam arah vertikal ke bawah untuk mensimulasikan skenario sebenarnya dari poros engkol dan *crankpin*. Di bawah Gambar. 2.4 menunjukkan Beban dalam warna biru bekerja pada *crankpin* dari poros engkol.



Gambar 2.4. Input Load

## F. Constrain

Simulasi sebuah desain poros engkol dilakukan terhadap gaya yang bekerja dari tekanan gas dan penghubung batang, kedua sisi poros engkol dibatasi ke segala arah, tidak memiliki 3 derajat kebebasan. Dalam elemen padat tidak ada derajat rotasi. Oleh karena itu, tiga DOF translasi seperti arah x, y dan z ditetapkan ke segala arah (Gadge et al., 2018) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.

Definisi kondisi batas memiliki korelasi langsung dengan jenis pembangkitan model *meshing*. Ketika kondisi batas ditentukan, beberapa asumsi yang disederhanakan diberikan dalam paper ini (Guangyan, 2008) :

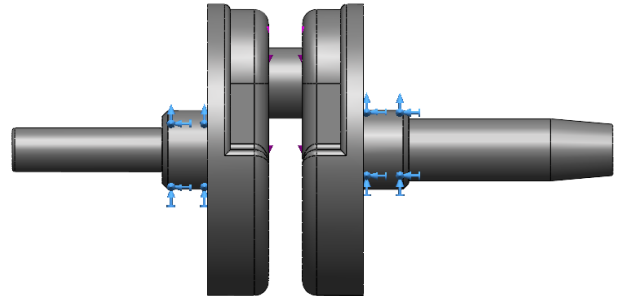
1. Beban torsi dan beban *bending* tidak

diperhitungkan.

2. Beban yang bekerja bukan beban terpusat.

3. Reaksi tumpuan dan tegangan batang penghubung tidak dilibatkan dalam perhitungan.

Penelitian ini dilakukan dengan jenis *constrain* adalah *fixed geometry*, di kekang untuk gerak translasi dan gerak rotasi arah x, y, z.

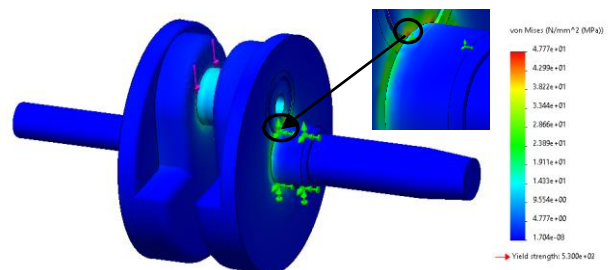


Gambar 2.5 Penerapan batas

## III. Hasil dan Pembahasan

Penerapan beban dan kondisi batas telah ditentukan, selanjutnya untuk perhitungan elemen hingga. Dengan poros engkol, bahannya adalah *AISI 1045 Steel*, modulus elastisitas 205 Gpa, rasio poisson 0.29 dan densitas 7850 kg/m<sup>3</sup>. Setelah perhitungan menggunakan *Solidworks* diperoleh grafik tegangan, perpindahan, dan faktor keamanan poros engkol, seperti pada Gambar 3.1, 3.2 dan 3.3.

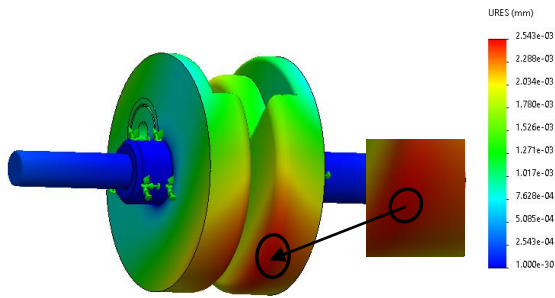
Distribusi tegangan statik yang terjadi pada poros engkol akibat pembebanan atau tekanan dari piston bisa diperhatikan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1. Tegangan Von Mises

Hasil tegangan *Von Mises* maksimum sebesar 4,777e+01 N/mm<sup>2</sup> dan hasil tegangan *Von Mises* minimum sebesar 1,704e-08 N/mm<sup>2</sup>.

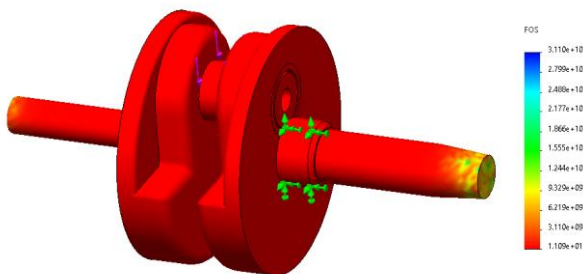
Perpindahan maksimal yang terjadi pada poros engkol sebesar 2,543e-03 mm dan perpindahan minimum sebesar 1,000e-30 mm. Bisa diperhatikan pada Gambar 4.2.



**Gambar 3.2. Perpindahan**

Plot kontur perpindahan ditunjukkan pada gambar di atas ini. Perpindahan maksimum yang ditunjukkan oleh poros engkol adalah  $2,543e-03$  mm.

Faktor keamanan terjadi pada poros engkol maksimum sebesar  $3,110+10$  dan faktor keamanan minimum sebesar  $1,109+01$ . Bisa diperhatikan pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3. Faktor keamanan**

Analisis *Solidworks* difokuskan pada *crankpin* yang sudah diassembly dengan poros engkol dan nantinya menciptakan gaya reaksi yang disebabkan oleh gaya aksi yang diberikan pada *crankpin* dengan nilai 11.659,28 N.

#### IV. Kesimpulan

Hasil proses hitung secara teoritis dan analisis menggunakan *Solidworks* yang dilaksanakan, maka dapat diambil kesimpulan dimana akibat pemberian beban gaya radial dengan nilai 11.659,28 N yang berlangsung untuk poros engkol sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis dengan *Solidworks* diperoleh tegangan maksimum sebesar  $4,777e+01$  N/mm<sup>2</sup> dan tegangan minimum sebesar  $1,704e-08$  N/mm<sup>2</sup>.
2. Perpindahan yang terjadi menggunakan analisis *Solidworks* diperoleh sebesar  $2,543e-03$  mm.
3. Faktor keamanan hasil analisis dengan *Solidworks* diperoleh sebesar  $3,110+10$ .

#### Referensi

Achmad Zainuri. (2010). Tegangan Maksimum Dan Faktor Keamanan Pada Poros Engkol Daihatsu Zebra Espass Berdasarkan Metode Numerik. *Momentum*, 6(2), 42–47.

<http://www.capellagroup.com/cm/sp>

Bagde, B. J., & Raut, L. P. (2013). Finite Element Structural and Fatigue Analysis of Single Cylinder Engine Crank Shaft. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2(7), 1540–1544.

Beer, F. P. (Ferdinand P., Johnston, E. R. (Elwood R., DeWolf, J. T., Prasad, N. S., & Krishnamurthy, S. (2004). *Mechanics of materials : [in SI units]*. Tata McGraw-Hill.

Gadge, L., Gadagey, K. K., & Jamra, S. (2018). *Finite Element Analysis of Two Wheeler Honda Bike Crank Shaft*. 5, 37–42.

Grujic, I., Glisovic, J., Stojanovic, N., Davinić, A., Grujić, I., Glišović, -Jasna, Stojanović, -Nadica, Davinić, -Aleksandar, Pešić, -Radivoje, Narayan, -Sunny, & Usman KAISAN, -Muhammad. (2018). Stress Analysis of the Crankshaft of Ic Engine. *Machine Design*, 10(2), 69–72.

<https://doi.org/10.24867/MD.10.2018.2.69-72>

Guangyan, P. (2008). *The Design of TBD620 Single Cylinder Diesel Engine, the Analysis of Perfomance and the Analysis of the Infinite Element of Main Part of the Movement*.

Haifen, S. (2007). The FEM Analysis of the 6105 Engine Crankshaft Based on Ansys. *Internal Combustion Engine Parts*, 2, 18–20.

Karthick, L., Stephen leon, J., ravi, R., Michel, J., Mallireddy, N., & Vadivukarasi, L. (2022). Modelling and analysis of an EN8 crankshaft in comparison with AISI 4130 crankshaft material. *Materials Today: Proceedings*, 52, 1036–1040. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.10.484>

Lianke, S., Tang-Bin, Dongxin, X., & Xigeng, S. (2007). FEA Optimal Design of Diesel Engine Crankshaft. *Tractor Farm Transporter*, 34(3), 54–55.

Meng, J., Liu, Y., & Liu, R. (2011). Finite Element Analysis of 4-Cylinder Diesel Crankshaft. *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*, 3(5), 22–29. <https://doi.org/10.5815/ijigsp.2011.05.04>

Montazersadgh, F., & Fatemi, A. (2007). Stress analysis and optimization of crankshafts subject to dynamic loading. *Final Project Report Submitted to the Forging Industry Educational Research Foundation and American Iron and Steel Institute, The University of Toledo, August*, 10–45. [http://www.a-sp.org/~media/Files/Autosteel/Programs/Long Products/crankshaft\\_full\\_report\\_2.pdf](http://www.a-sp.org/~media/Files/Autosteel/Programs/Long Products/crankshaft_full_report_2.pdf)

Montazersadgh, F. H., & Fatemi, A. (2007). Dynamic

- load and stress analysis of a crankshaft. *SAE Technical Papers*, 1–8.  
<https://doi.org/10.4271/2007-01-0258>
- Muhammad, A., Ali, M. A. H., & Shanono, I. H. (2020). Fatigue and harmonic analysis of a diesel engine crankshaft using ansys. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 371–376.  
[https://doi.org/10.1007/978-981-15-0950-6\\_56](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0950-6_56)
- Parman, S., Ari-Wahjoedi, B., & Ismail, A. J. (2014). Finite element analysis of a four-cylinder four stroke gasoline engine crankshaft. *MATEC Web of Conferences*, 13, 2–6.  
<https://doi.org/10.1051/mateconf/20141304004>
- Qu, Z. (2021). The Modal Analysis of the parallel bars of the crankshaft of a Mini Air Compressor on ANSYS. *Journal of Physics: Conference Series*, 1965(1).  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1965/1/012151>
- Shenoy, P. S., & Fatemi, A. (2006). Dynamic analysis of loads and stress in connecting rods. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 220(5), 615–624.  
<https://doi.org/10.1243/09544062JMES105>
- Solanki, A., Tamboli, K., & Zinjuwadia, M. J. (2011). Crankshaft Design and Optimization- A Review. *National Conference on Recent Trends in Engineering and Technology, May*, 1–5.
- Yogesh S. Khaladkar. (2014). Design, Analysis & Balancing of 5 Cylinder Engine Crankshaft. *Ijmer*, 4(12), 73–77.  
[http://www.ijmer.com/papers/Vol4\\_Issue12/Version-3/K0412\\_03-7377.pdf](http://www.ijmer.com/papers/Vol4_Issue12/Version-3/K0412_03-7377.pdf)
- Yu, S., Chen, R., Xu, H., & Huichao, L. (2007). Finite Element Analysis of a Stagger Crankshaft Based on ANSYS. *Neiranji Gongcheng (Chinese Internal Combustion Engine Engineering)*, 28(2), 65–67.
- Zhou, X., Cai, G., Zhang, Z., International, Z. C.-2010 2nd, & 2010, undefined. (n.d.). The whole crankshaft model for dynamic simulation analysis of the diesel engine. *Ieeexplore.Ieee.Org*. Retrieved August 2, 2022, from  
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5473362/>