

Analisis Kegagalan Produk Baut Pengikat Pada Unit Fuel Pump Kendaraan Roda Dua

Sutiana¹, Edward Simanjuntak^{1*}

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Kabupaten Bandung Barat, Indonesia

Email: ¹sutiana@polban.ac.id, ^{2*}edward.simanjuntak@polban.ac.id

(* : edward.simanjuntak@polban.ac.id)

Abstrak – Kendaraan mesin bensin merupakan kendaraan yang menggunakan 2 bahan bakar yaitu udara dan bensin. Pada pengujian ini dilihat bahwa pada baut pengikat fuel pump mengalami kerusakan, kerusakan ini perlu dianalisa serta observasi untuk mengetahui kerusakan apa yang terjadi pada komponen baut pengikat tersebut. Metode yang digunakan untuk melakukan penelitian pada komponen baut diantaranya pemeriksaan secara visual, fraktografi, uji kekerasan, dan Analisa uji metode elemen hingga dengan menggunakan software *solidworks*. Dari hasil pengujian fraktografi didapatkan hasil bahwa kerusakan pada baut dikarenakan adanya momen puntir sehingga baut mengalami patah lelah. Bahan yang digunakan pada komponen baut adalah ASTM A36. Untuk memvalidasi material baut serta mengetahui nilai kekerasan dari material ASTM A36 diperlukan pengujian kekerasan dengan menggunakan metode Vickers, dan didapatkan hasil kekerasan pada material ASTM A36 sekitar 259.6 HV. Pengujian selanjutnya adalah menganalisa baut untuk mengetahui momen puntir yang terjadi dengan menggunakan metode elemen hingga dari software solidworks. Setelah dilakukan pengujian metode elemen hingga dengan memberikan gaya torsi sebesar 20 kgf pada komponen baut, komponen baut mengalami patah akibat menahan beban yang berlebih. Dengan demikian, penyebab dari kerusakan pada komponen baut diakibatkan oleh beban momen yang berlebih dan bahan material yang mengalami penurunan kualitas.

Kata Kunci: Sambungan Baut, ASTM A36, Patah Lelah, Metode Elemen Hingga

Abstract – Gasoline engine vehicles are vehicles that use 2 fuels, namely air and gasoline. In this test, it was observed that the fuel pump fastening bolt was damaged. This damage needs to be analyzed and examined to determine the cause of the damage to the fastening bolt component. The methods used to research bolt components include visual inspection, fractography, hardness testing, and Finite element method analysis using Solidworks software. From the results of the fractography test, it was determined that the damage to the bolt was caused by a torsional moment, leading to a fatigue fracture. The material used in the bolt component is ASTM A36. To validate the bolt material and determine the hardness value of the ASTM A36 material, a hardness test using the Vickers method was required, and the hardness results obtained for the ASTM A36 material were around 259.6 HV. The next test was to analyze the bolt to determine the torsional moment that occurred using the FEM method from the SolidWorks software. After the FEM test was carried out by providing a torque of 20 kgf on the bolt component, the bolt component broke due to holding an excessive load. Thus, the cause of damage to bolt components is due to excessive moment loads and material quality degradation.

Keywords: Bolted Connections, ASTM A36, Fatigue Fracture, Finite Element Method

1. PENDAHULUAN

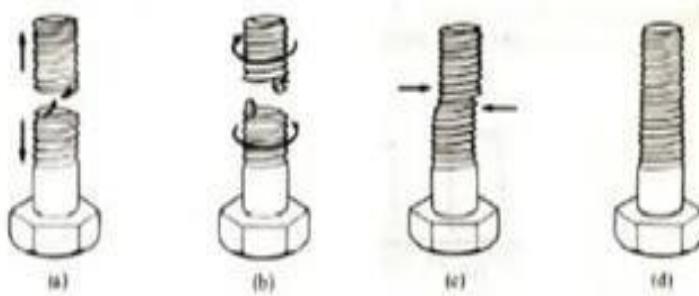
Kendaraan mesin bensin merupakan mesin yang memanfaatkan campuran udara dengan bahan bakar bensin yang mampu menghasilkan tenaga pada kendaraan roda dua. Umumnya kendaraan memerlukan 2 (dua) bahan campuran tersebut di proses di dalam sistem pembakaran melalui karburator atau sistem injeksi sebelum masuk ke ruang bakar. Bahan bakar yang tercampur udara lalu dikompresikan dalam ruang pembakaran, kemudian mengeluarkan percikan api dari busi. Ledakan yang terjadi di dalam ruang bakar mendorong torak, kemudian menggerakan poros engkol yang mendistribusikan ke roda (Amir & Nofriansyah, 2020).

Kondisi dimana terjadi kegagalan pada komponen ini saat dilakukan pengencangan baut sehingga beban yang diterima terlalu besar pada akhirnya komponen tersebut patah akibat momen puntir yang terlalu besar (Ray Adam Baihaqi et al., 2019). Material yang ditentukan sangat berpengaruh terhadap kekuatan dari material tersebut sehingga ketika beban atau gaya yang diterima pada baut akan berasksi, Apabila kekuatan dari material tersebut sudah melewati batas, maka akan terjadi kerusakan sesuai dari gaya yang diberikan (Andika Syahrial Lazuardi, 2018).



Gambar 1. Kendaraan Mesin Bensin

Analisa kegagalan (*Failure Analysis*) merupakan suatu kegiatan untuk mengtahui penyebab kerusakan pada komponen yang mengalami kegagalan (M. N. Setia Nusa, 2023). Analisis kegagalan didefinisikan penyelidikan dan pengujian suatu komponen gagal yang mengarah pada kegagalan (Setia & Pranatal, 2022). Maka dari pada itu, tujuan dari analisis kegagalan ini sebagai mengidentifikasi suatu komponen, mencari tahu penyebab kegagalan dan memberikan Solusi yang dapat mengatasi kegagalan tersebut (Paisal, 2023). Baut merupakan komponen pengikat pada komponen bagian mesin atau peralatan agar komponen tersebut tidak bergerak (Rizal Mustaqim, 2017). Secara umum baut memiliki beberapa jenis diantaranya yaitu: jenis baut hexagonal, jenis baut *carriage bolts*, jenis baut *flange bolt*, dan jenis baut tanam (Sulaeman et al., 2018). Baut tanam adalah baut yang memiliki bagian ulir pada kedua bagian baut. Baut tanam (*socket set screw*) dipakai dengan cara menanamkan baut pada komponen yang digabungkan. Terdapat beberapa jenis kerusakan pada baut diantaranya ditunjukkan pada Gambar 2.



Keterangan:

- (a) Baut putus akibat tarikan;
- (b) Baut putus akibat puntiran;
- (c) Baut tergeser;
- (d) Ulih baut aus.

Gambar 2. Jenis Kerusakan Baut

Pengujian kerusakan yang dialami pada komponen baut tersebut diakibatkan oleh pemberian momen atau puntiran terlalu besar sehingga mengakibatkan kerusakan baut akibat momen puntiran (Brooks & Choudhury, 1993). Kerusakan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

**Gambar 3.** Kondisi Kerusakan Puntiran

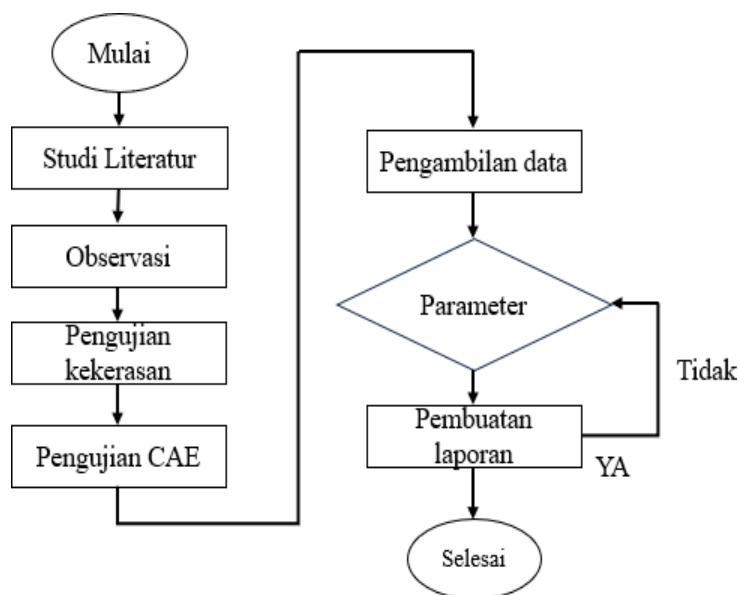
Baut yang banyak digunakan pada motor standar adalah ASTM (*American Standard Testing of Materials*) adalah Baja ASTM A36. Baja ASTM 36 merupakan baja karbon rendah (*mild steel*) dengan kandungan 0.25% - 0.29% dengan kekuatan yang baik dan biasa digunakan dalam industri (Hafidz & Chandra, 2023). Kandungan kimia dari baja ASTM A36 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi dan Ketebalan Pelat

Komposisi (%)	Tabel Pelat (mm)				
	≤20	20 - 40	40 - 60	60-100	>100
Karbon	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Mangan	0.08	0.08	0.08
			1.20	1.20	1.20
Fosfor	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon	0.004	0.04	0.15	0.15	0.15
	max	max	-	-	-
			0.40	0.40	0.40
karbon	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

2. METODE

Metodologi yang digunakan pada Analisa yang dilakukan penulis adalah dengan menguji kekerasan dari komponen baut dengan metode Vickers, melakukan pemeriksaan dengan fraktografi serta menggunakan pengujian dengan metode elemen hingga.



Gambar 4. Kondisi Kerusakan Puntiran

2.1 Pemeriksaan Fraktografi

Fraktografi merupakan cabang ilmu yang mempelajari permukaan retakan pada suatu komponen yang mengalami patahan atau retakan untuk mengidentifikasi jenis retakan, menentukan penyebab keretakan pada struktur logam, seperti korosi kelelahan, korosi tegangan, atau kerapuhan. Selain itu pemeriksaan fraktografi juga berfungsi untuk menentukan arah retakan dari komponen yang diperiksa.

2.2. Pengujian Kekerasan dengan Metode Vickers Hardness

Pengujian kekerasan *vickers* merupakan metode pengujian kekerasan yang menggunakan *indentor* berlian piramida untuk membuat lekukan pada material yang diuji. Lekukan yang terbentuk kemudian dievaluasi secara optik untuk menentukan kekerasan material. Satuan kekerasan yang diberikan oleh pengujian *Vickers* adalah angka piramida *Vickers* (HV) atau kekerasan piramida intan (DPH). Spesifikasi alat dari yang digunakan pada pengujian kekerasan komponen baut pengikat adalah sebagai berikut:

Alat uji kekerasan : Mitutoyo HM – 122 (*hardness testing*)

Metode Uji : Hardness *Vickers* Waktu 10 detik



Gambar 5. Mesin Uji Keras

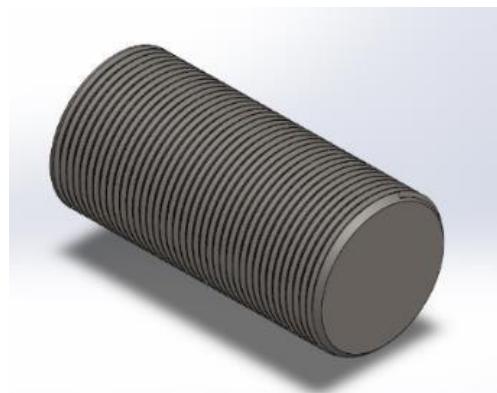
2.3. Metode Elemen Hingga (FEM)

Metode elemen hingga atau *finite element method* merupakan metode untuk mencari penyelesaian yang rumit menjadi lebih sederhana. Pemanfaatan FEM kita dapat menemukan Solusi perkiraan dari Solusi eksak. FEM seringkali digunakan untuk menyempurnakan Solusi perkiraan dengan mengeluarkan lebih banyak Upaya komputasi. Dalam penggunaannya FEM dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu:

Pre-processing meliputi tahapan seperti mendefinisikan *geometry modeler*, mendefinisikan meshing, menentukan material model, mendefinisikan kondisi *geometric elemen*, mendefinisikan setiap konektifitas elemen, dan menentukan kondisi batas serta pembebangan;

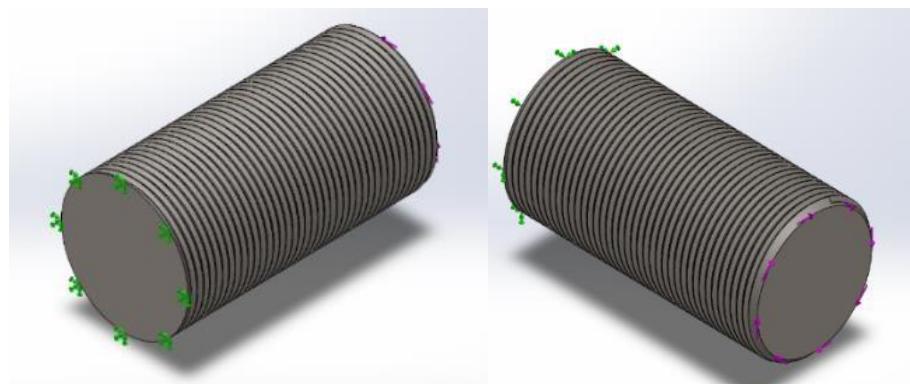
Solution meliputi model solution (*static*, *dynamic*, dll), menghitung variable dengan Solusi, dan menghitung hasil yang diinginkan sesuai Solusi;

Post-processing merupakan tahap terakhir yang akan menampilkan hasil yang sesuai dengan Solusi (*result*).



Gambar 6. Model 3D komponen

Variable pembebangan yang diberikan untuk komponen torsi dengan variasi nilai torsi diambil 10 kgf, 15 kgf, dan 20 kgf. Selain pembebangan berupa torsi diberikan juga *fixture* geometri pada permodelan komponen seperti yang terlihat pada gambar.



Gambar 7. *Fixture* Geometri Pada Komponen dan Pembebangan Pada Komponen

2.4. Diagram Mohr

Diagram *Mohr* atau Lingkaran *Mohr*, adalah alat grafis yang digunakan dalam mekanika material untuk menganalisis keadaan tegangan atau regangan pada suatu titik dalam material. Diagram *Mohr* membantu menentukan nilai tegangan utama (*principal stresses*), tegangan geser maksimum (*maximum shear stress*), dan orientasi bidang bidang utama pada material tersebut.

2.5. Diargam Goodman

Diagram goodman merupakan alat grafis yang digunakan dalam analisis kelelahan material (*fatigue analysis*) untuk mengevaluasi kemampuan suatu material bertahan terhadap siklus pembebanan. Diagram ini memvisualisasikan hubungan antara tegangan rata rata dan tegangan siklik pada komponen yang mengalami pembebanan berulang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada gambar dibawah, merupakan dari pemeriksaan fraktografi dengan permukaan patah lelah (*Fatigue fracture*) dan awal patah dimulai dari Tengah baut (awal patah). Terlihat garis Pantai yang menunjukkan area patah pada baut. Pada kondisi tersebut baut menrima gata momen terlalu besar yang akhirnya terjadi patah lelah.



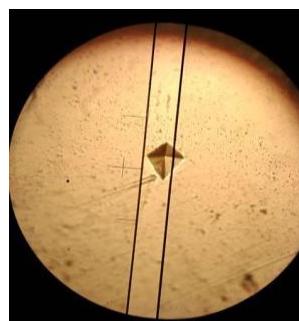
Gambar 8. Pemeriksaan Dengan Fraktografi

3.1 Uji Kekerasan Dengan Metode Vickers

Setelah dilakukan 2 kali pengujian kekerasan dengan metode Vickers. Didapatkan hasil dengan nilai kekerasan, HRC, D1, dan D2 sebagai berikut

Tabel 2. Nilai Kekerasan

No	Kekerasan HV	HR C	D1	D2
	259.6	23.9	35.80	39.79
2	259.7		35.78	39.80



Gambar 9. Visual Kekerasan Vickers

Karena satuan yang digunakan yaitu gram dan mikrometer, maka persamaan bilangan yang digunakan pada kekerasan *Vickers* tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$HV = 1854.4p1/d1^2 \quad (1)$$

Sehingga rata-rata diagonal

$$\frac{35.80 + 39.79}{2} = 37.795$$

$$d = 37.795$$

$$\frac{1.85 \times 0.2}{(37.795 \times 10^{-3})^{-2}} = 37.795$$

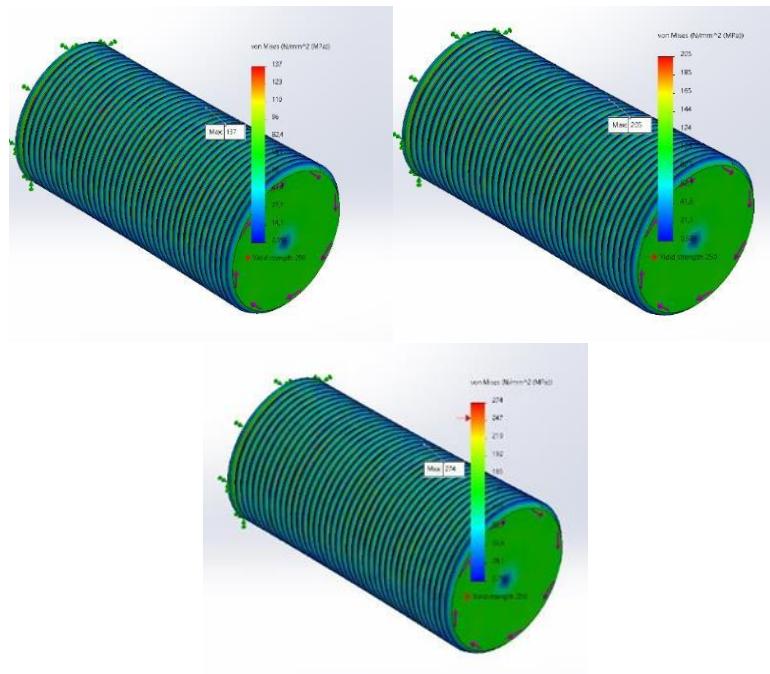
Berdasarkan rumus diatas, dibuktikan bahwa nilai HV yang didapat adalah sama dengan hasil dari pengujian, dinyatakan bahwa kekerasan pada komponen baut sekitar 259.6 HV

3.2 Pengujian CAE dengan Metode Elemen Hingga

Hasil dari pengujian *CAE* pada model yang telah diberikan beban sebesar 10kgf, 15kgf dan 20 kgf dengan menggunakan metode *FEM* adalah sebagai berikut

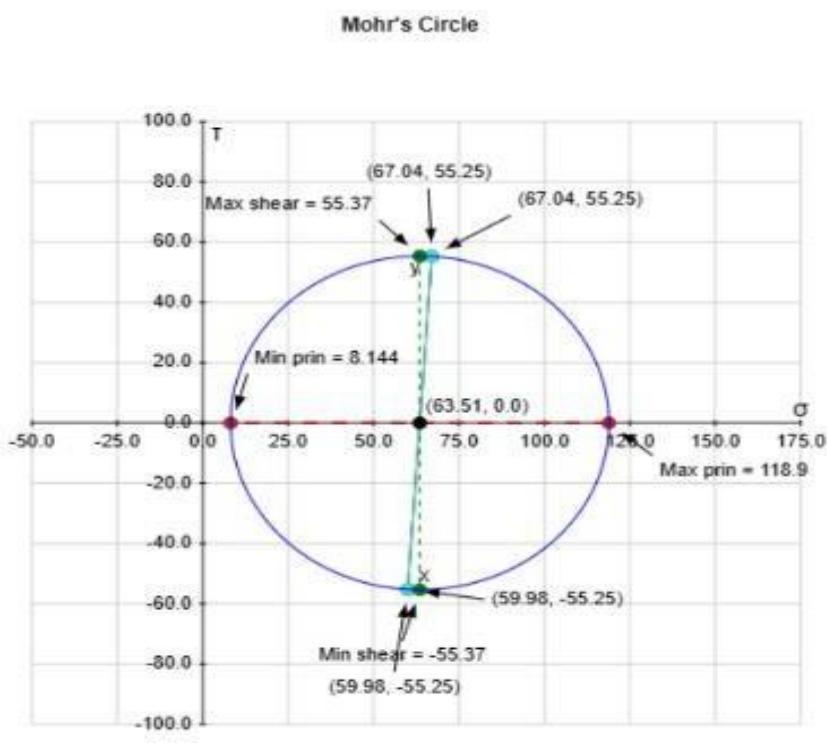
Tabel 3. Nilai Kekerasan

No	Momen Torsi (N.m)	Maksimum stress (Mpa)	Yield Strength
1	10 kgf	137	
2	15 kgf	205	250
3	20 kgf	274	



Gambar 10. Tegangan Maksimum Pembekalan 10, 15 dan 20 Kgf

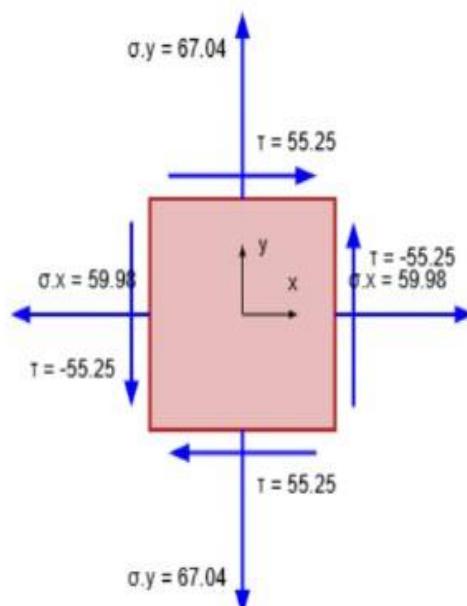
3.3 Lingkaran Mohr



Gambar 11. Lingkaran Mohr

Dari Lingkaran mohr dapat disimpulkan bahwa tegangan geser maksimal adalah 55.37 Mpa

Unrotated Element (Black Line in Mohr's Circle)

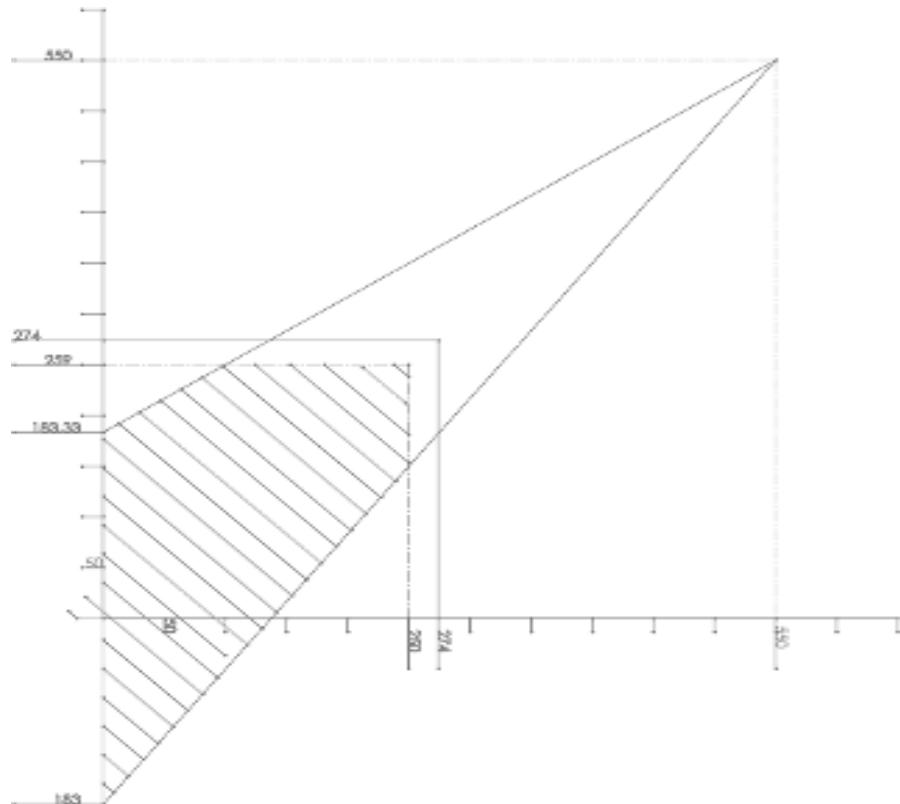


Gambar 12. Tegangan Yang Terjadi Pada Material

Tegangan yang terjadi didapatkan dari hasil pengujian metode elemen hingga dengan beban 20kgf didapatkan hasil berupa:

- a. *Normal Stress X* : 59.980 Mpa
 - b. *Normal Stress Y* : 67.040 Mpa
 - c. *Shear Stress on Y Face* : 55.253 Mpa

3.4 Diagram Goodman



Gambar 13. Diagram *goodman*

Diagram Goodman bertujuan untuk mengetahui nilai maksimal fatigue pada material dan titik fatigue yang terjadi pada komponen Baut yang menerima tegangan maksimal sebesar 274 MPa. Pada diagram tersebut dapat disimpulkan bahwa tegangan maksimal yang terjadi pada Baut Berada diatas tegangan fatigue izin. Maka, material tersebut mengalami patah lelah.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pengamatan baut pengikat pada fuel pump motor roda dua dapat disimpulkan bahwa baut pada pengikat patah disebabkan oleh patah lelah akibat beban momen yang melewati batas *yield strength* dari material yang digunakan baut; diketahui bahwa jenis kerusakan yang terjadi pada baut adalah akibat momen puntir; dilakukan pemeriksaan fraktografi untuk melihat kondisi dari patahan baut; hasil dari pengujian kekerasan dengan metode *vickers* pada bahan ASTM A36 adalah 259.6 HV; hasil dari pengujian CAE dengan menggunakan metode FEM adalah baut tidak dapat menerima beban puntir sebesar 20kgf yang mengakibatkan baut patah; hasil dari Pengujian dengan lingkaran Mohr didapatkan bahwa nilai tegangan geser maksimal adalah 55.37 Mpa. Nilai tersebut kecil dikarenakan baut patah bukan dikarenakan tegangan geser, tetapi karena tegangan puntir; hasil dari pengujian dengan menggunakan Diagram *Goodman* didapatkan bahwa Tegangan maksimal dari baut telah melebihi dari tensile strength material, yang artinya sudah ada diatas dari tegangan fatigue izin.

REFERENCES

- Amir, A., & Nofriansyah, M. (2020). Uji Performa Sepeda Motor Sport Sistem Programmed Fuel Injection (Pgm-Fi) Satu Silinder 150 Cc Menggunakan Bahan Bakar Bensin Ron 92. *Motor Bakar : Jurnal Teknik Mesin*, 3(2). <https://doi.org/10.31000/mbjtm.v3i2.3340>
- Andika Syahrial Lazuardi. (2018). Perencanaan Sambungan Mur Dan Baut Pada Gerobak Sampah Motor. *Teknik Mesin ITN Malang*, 01(01), 21–26.
- Brooks, C. R., & Choudhury, A. (1993). Failure Analysis of Engineering Materials. In McGraw-Hill (Ed.), *McGraw-Hill* (Vol. 0, Issue 0). McGraw-Hill. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bpj.2015.06.056%0Ahttps://academic.oup.com/bioinformatics/article-abstract/34/13/2201/4852827%0Ainternal-pdf://semisupervised-3254828305/semisupervised.ppt%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.str.2013.02.005%0Ahttp://dx.doi.org/10.10>
- Hafidz, M. D., & Chandra, H. (2023). Karakteristik Patah Dan Ketahanan Lelah Besi Cor Malleable. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 14(1), 307–315. <https://doi.org/10.21776/jrm.v14i1.1292>
- M. N. Setia Nusa. (2023). Kerusakan Pada Material Baut Pin Akibat Patah Lelah = Cause of Pin Bolt Failure Is Fatigue Fracture. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 9(3), 105–114. <https://doi.org/10.29122/mipi.v9i3.2845>
- Paisal. (2023). Analisis Kekuatan Sambungan Baut Yang Searah Dan Melintang Gaya Batang. *Journal Mechanical Engineering*, 1(1), 42–47.
- Ray Adam Baihaqi, Herman Pratikno, & Yoyok Setyo Hadiwidodo. (2019). Analisis Sour Corrosion pada Baja ASTM A36 Akibat Pengaruh Asam Sulfat dengan Variasi temperatur dan Waktu Perendaman di Lingkungan Laut. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2).
- Rizal Mustaqim, A. (2017). *Analisa Kegagalan Baut Joint Riding Gear Pada Mesin Granulator (Studi Kasus PT. Petrokimia Gresik)*.
- Setia, C. D., & Pranatal, E. (2022). Analisa Cacat Pengelasan Smaw Pada Posisi 2G Pada Baja Material a36 Dengan Variasi Arus Dan Sudut Pengelasan. *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan (SEMITAN)*, 1(1), 257–263. <https://doi.org/10.31284/j.semitan.2022.3262>
- Sulaeman, M., Budiman, H., & Koswara, E. (2018). Proses Uji Dimensi, Uji Kekerasan dengan Metode Rockwell dan Uji Komposisi Kimia pada Cangkul di Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM) Bandung. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 10(1), 539–543. <https://jurnal.polban.ac.id/proceeding/article/view/1460>