

ANALISIS BENTUK PENAMPANG BULAT, SEGI EMPAT DAN BULAT BERONGGA TERHADAP *FATIGUE FAILURE* DAN TEGANGAN PADA MATERIAL BAJA ST 60

Aspiyansyah ¹⁾, ✉ Adriant Widayat ¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin
Universitas Antakusuma
Jalan Iskandar No 63
Kabupaten Kotawaringin Barat
aspi_pbun@yahoo.co.id
ardip223@gmail.com

Abstract

Metal fatigue is a problem in the use of metals in their applications, especially when they are exposed to cyclic or repetitive loads. This study analyzes the effect of round, rectangular and spherical cross-sections on fatigue failure of ST 60 steel. By providing a fatigue test load of 150 N and a rotating speed of 1500 rpm and a test specimen installation position with a distance of 70 cm, it was found that the round cross-section broke when experiencing 26,471 cycles, the rectangular cross-sectional shape broke when experiencing 115,515 cycles and the hollow round shape broke when experiencing 201,983 cycles. The largest shear stress is generated by a spherical cross-section with a value of 247.7 N/mm² and the lowest is by a material with a hollow spherical cross-section with a value of 194.478 N/mm². Normal stress and the highest shear stress are produced specimens with a spherical cross-sectional shape, this is because the spherical cross-section has a tendency to spread normal stress evenly over its surface.

Keywords: *Fatigue Failure, Steel ST60, Normal Stress, Shear Stress*

1. PENDAHULUAN

Banyak kejadian di dalam mesin atau di lokasi konstruksi yang tidak kita sadari. Seiring waktu, komponen tersebut akan rusak saat mesin atau lokasi konstruksi beroperasi secara normal. Masalah seperti ini merugikan waktu dan biaya tenaga kerja ^[1].

Misalnya, poros suatu mesin tiba-tiba patah ketika dibebani pada beban maksimum. Hal ini disebabkan karena poros dikenai beban yang bervariasi sehingga menyebabkan poros atau kelelahan. Kegagalan kelelahan dimulai dengan retakan kecil. Retakan awal ini sangat kecil sehingga tidak dapat dilihat dengan mata telanjang dan bahkan sedikit sulit ditemukan dengan *Magnaflux* atau *x-ray*. Retakan ini terjadi jika terdapat ketidakteraturan pada material, seperti perubahan penampang, alur, atau lubang ^{[2] [3]}.

Untuk menganalisa ketahanan lelah harus dilakukan proses pengujian untuk merencanakan berapa lama umur pemakaian komponen tersebut. Waktu kerja yang direncanakan memungkinkan untuk mencegah munculnya permasalahan, sehingga fungsi kerja tidak terganggu dan kerugian yang ditimbulkan dapat diminimalkan. Secara khusus, seorang insinyur dengan latar belakang teknik mesin dilatih untuk menganalisis masalah tersebut. Proses pengujian memerlukan alat uji kelelahan yang mensimulasikan sirip uji dalam bentuk prototipe ^[4].

Corresponding Author:

✉ Aspiyansyah

Received on: 2024-04-27

Revised on: 2024-05-05

Accepted on: 2024-05-09

Bahan yang diuji biasanya digunakan pada bagian mesin yang bergerak. Baja ST60 sering digunakan untuk memutar bagian-bagian mesin seperti baling-baling kapal atau bagian-bagian mesin yang menerima beban berat. Kerusakan akibat lelah tidak hanya dipengaruhi oleh kekuatan material, tetapi juga oleh pengaruh temperatur, kekasaran, bentuk penampang, jumlah siklus dan beban yang dapat diterima material ^{[5] [6]}.

Penelitian tentang pengaruh bentuk penampang segitiga, segiempat, segilima, segi delapan dan bulat terhadap fatigue failure berbahan Aluminium sudah ada yang melakukan. Hasil yang didapat dari penelitian tersebut menyatakan bahwa sisi yang lebih banyak akan lebih lama bertahan dari beban berfluktuasi dengan luas penampang yang sama ^[7]. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa bentuk penampang bulat, segi empat dan bulat berongga terhadap *fatigue failure* dan tegangan pada material baja st 60. Hasil penelitian ini diharapkan bisa menjadi acuan bentuk penampang mana yang ideal dalam penggunaan komponen mesin. Bentuk yang akan diuji pada penelitian ini adalah penampang bulat, segi empat dan bulat berlobang.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan material baja ST 60, dimana baja ST 60 adalah baja yang masuk dalam jenis baja karbon sedang. Kandungan komposisi baja disajikan pada Tabel 1 berikut ^[7].

Tabel 1. Komposisi Baja ST 60

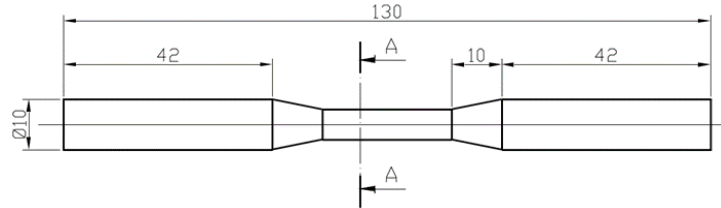
Unsur	Komposisi (%)	Unsur	Komposisi (%)
Fe	98,46	V	0,00
S	0,011	Mn	0,697
Al	0,000	Mo	0,006
C	0,564	W	0,03
Ni	0,036	P	0,006
Nb	0,01	Cu	0,004
Si	0,142	Ti	0,00
Cr	0,040		

Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji fatik tipe pembebanan di ujung dengan spesimen benda uji dijepit dibagian *collet holder* sedangkan pada bagian ujung bertumpu pada *floating bearing*. Beban diberikan pada *floating bearing*, sehingga batang akan mengalami beban lentur. Alat uji terlihat pada Gambar 1 berikut ini.



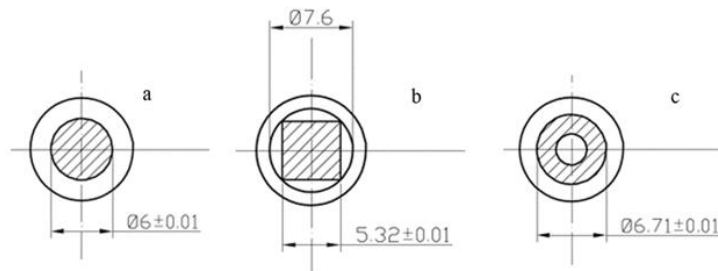
Gambar 1. Mesin uji fatik tipe pembebanan di ujung

Beban yang diberikan pada untuk pengujian sebesar 150 N, kecepatan putar 1500 rpm dan jarak 70 mm. Bentuk penampang dan ukuran spesimen^[8] terlihat pada Gambar 2 berikut ini .



Gambar 2. Spesimen pengujian (dalam mm)

Bentuk Penampang spesimen untuk pengujian fatik dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Bentuk penampang a. Bulat, b. Segi empat, dan c. Bulat berongga (dalam mm)

Umur fatik (t) dari suatu benda didapat menggunakan persamaan (1):

$$t = \frac{\text{Jumlah siklus}}{\text{Kecepatan rotasi}} \quad (1)$$

Untuk mencari tegangan normal (σ) suatu titik pada penampangnya atau jarak vertikal suatu titik terhadap titik berat penampang (pusat/sumbu putar), maka di gunakan persamaan (2):

$$\sigma = \frac{M_L \times c}{I} \quad (2)$$

Dimana σ = Tegangan normal (N/mm^2), M_L = Momen lentur (Nmm), C = Jarak vertikal suatu titik terhadap pusat (mm) dan I = Momen inersia penampang (mm^4).

Momen inersia penampang bulat menggunakan persamaan (3):

$$I = \pi \cdot D^4 / 64 \quad (3)$$

Dimana I = Momen inersia (mm^4), π = 3,14 dan D = Diameter lingkaran (mm)

Untuk menentukan tegangan geser dari spesimen uji digunakan persamaan tegangan geser maksimum penampang bulat dapat dilihat pada persamaan (4):

$$\tau_{\max} = \frac{16}{\pi \times d^3} \times \left(\sqrt{M^2 + T^2} \right) \quad (4)$$

Dimana τ_{\max} = tegangan maksimum (N/mm^2), $\pi = \text{Phi}$ (3,14), d = diameter (mm), M = Momen lentur (Nmm) dan T = Torsi (Nmm)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Jumlah Siklus dan Umur Fatik

Umur fatik untuk penampang bulat, penampang segiempat, dan penampang bulat berongga yang di uji sampai patah dihitung menggunakan persamaan (1). Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Jumlah siklus dan Umur fatik

Bentuk Penampang	Beban (Newton)	Kecepatan Putar (rpm)	Jarak Beban (mm)	Jumlah Siklus	Umur Fatik
Bulat	150	1.500	70	26.471	17 Menit 39 detik
Segi Empat	150	1.500	70	115.515	1 Jam 17 menit
Bulat Berongga	150	1.500	70	201.983	2 Jam 14 menit 39 detik

Tabel 2 diatas menunjukkan bahwa dengan bahan, beban, jarak, luas penampang, dan kecepatan putar yang sama memperlihatkan bahwa bentuk penampang berpengaruh terhadap umur fatiknya. Bentuk penampang bulat patah saat mengalami 26.471 siklus, bentuk penampang segiempat patah saat mengalami 115.515 siklus dan bentuk bulat berongga patah saat mengalami 201.983 siklus. Bentuk penampang bulat memiliki umur 17 menit 39 detik, penampang segiempat memiliki umur 1 jam 17 menit dan penampang bulat berongga memiliki umur fatik 2 jam 14 menit 39 detik.

Hasil penelitian membuktikan bahwa penampang bulat berongga lebih memiliki umur fatik lebih besar daripada segiempat dan penampang segiempat lebih besar daripada penampang bulat^[9]. Benda uji yang mengalami tegangan yang lebih besar akan lebih cepat mengalami kegagalan fatiknya, dari hasil yang didapatkan beban yang diterima oleh penampang bulat berongga lebih kecil, maka proses rambatan retaknya akan lebih lama karena tegangan yang diterima lebih kecil^{[10] [11]}. Ini membuktikan bahwa ada pengaruh bentuk penampang dengan luas penampang yang sama terhadap umur fatiknya, karena semakin besar tegangan yang diterima maka semakin kecil usia pemakaian^{[12] [13]}.

3.2. Bentuk Penampang Terhadap Tegangan Normal (σ) dan Tegangan Geser (τ).

Dari hasil perhitungan besarnya tegangan normal dan tegangan geser yang dihasilkan dengan memvariasikan bentuk penampang yaitu, bulat, segi empat dan bulat berongga di sajikan pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Nilai Tegangan Normal dan Tegangan Geser

Bentuk Penampang	Beban (Newton)	Kecepatan Putar (rpm)	Jarak Beban (mm)	Tegangan Normal (N/mm ²)	Tegangan Geser (N/mm ²)
Bulat	150	1500	70	495,149	247,700
Segi Empat	150	1500	70	418,414	209,207
Bulat Berongga	150	1500	70	368,936	194,478

Bentuk penampang sangat berpengaruh terhadap nilai tegangan normal dan tegangan geser yang terjadi pada penampang bulat, segi empat dan bulat berongga. Tegangan normal berpenampang bulat menghasilkan tegangan normal sebesar 495,149 N/mm², penampang segi empat menghasilkan tegangan normal sebesar 418,414 N/mm², sedangkan penampang bulat menghasilkan tegangan normal sebesar 368,936 N/mm². Tegangan geser terbesar dihasilkan oleh penampang bulat dengan nilai 247,700 N/mm² dan terendah dimiliki material dengan penampang bulat berongga dengan nilai 194,478 N/mm². Tegangan normal dan tegangan geser tertinggi dihasilkan spesimen dengan bentuk penampang bulat hal ini karena penampang bulat mempunyai kecenderungan untuk menyebarkan tegangan normal secara merata di permukaannya. Distribusi tegangan normal yang seragam mengurangi kemungkinan terjadinya kelelahan pada titik tertentu dalam struktur ^[14]. Untuk rambatan retaknya pada dasarnya sama yaitu dimulai dari sisi terluar menuju ke titik pusat sumbu putarnya, akan tetapi berbeda dengan bentuk penampang bulat berongga yang arah rambatannya dari sisi yang terlemah menuju ke sisi lainnya dan searah melewati sumbu putarnya, hal ini akan memperlama laju rambatan retak karena jarak rambatan lebih panjang daripada penampang bulat dan segiempat ^[15]. Sedangkan untuk penampang segiempat didapat tekstur penampang retakan tidak merata, hal ini mengakibatkan lamanya laju rambatan retak ^[16]. Berbeda dengan penampang bulat, arah rambatannya konstan dan mengarah dari sisi terluar menuju ke pusat sumbu putar, hal ini akan mempercepat laju rambatan retak yang berujung pada kegagalan fatik ^[17].

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisa pengaruh penampang bulat, segi empat dan bulat belobang terhadap terhadap *fatigue failure* baja ST 60. Dengan memberikan beban pengujian sebesar 150 N dan kecepatan putar 1500 rpm, dan posisi pemasangan benda uji dengan jarak 70 cm didapatkan bahwa dari hasil pengujian penampang bulat patah saat mengalami 26.471 siklus, bentuk penampang segi empat patah saat mengalami 115.515 siklus dan bentuk bulat berongga patah saat mengalami 201.983 siklus. Bentuk penampang bulat memiliki umur 17 menit 39 detik, penampang segiempat memiliki umur 1 jam 17 menit dan penampang bulat berongga memiliki umur fatik 2 jam 14 Tegangan normal berpenampang bulat menghasilkan tegangan normal sebesar 495,149 N/mm², penampang segi empat menghasilkan tegangan normal sebesar 418,414 N/mm², sedangkan penampang bulat menghasilkan tegangan normal sebesar 368,936 N/mm². Tegangan geser terbesar dihasilkan oleh penampang bulat dengan nilai 247,7 N/mm² dan terendah dimiliki material dengan penampang bulat berongga dengan nilai 194,478 N/mm². Tegangan normal dan tegangan geser tertinggi dihasilkan spesimen dengan bentuk penampang bulat hal ini karena penampang bulat mempunyai kecenderungan untuk menyebarkan tegangan normal secara merata di permukaannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. T. Minh and V. A. Zorin, "System for recognising and monitoring the technical condition of construction machines," in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, 2023, p. 1054.
- [2] C. Bhattacharya, S. Dharmadhikari, A. Basak, and A. Ray, "Early detection of fatigue crack damage in ductile materials: A projection-based probabilistic finite state automata approach," *ASME Lett. Dyn. Syst. Control*, vol. 1, no. 4, p. 41003, 2021.
- [3] L. G. Di Maggio, "Analytical and Numerical Methods for Assessing the Fatigue Life of Threaded Bores." Politecnico di Torino, 2019.
- [4] A. Fajri, A. R. Prabowo, N. Muhayat, D. F. Smaradhana, and A. Bahatmaka, "Fatigue analysis of engineering structures: State of development and achievement," *Procedia Struct. Integr.*, vol. 33, pp. 19–26, 2021.
- [5] M. S. Rahimova and S. I. Mansurova, "Methods for calculating the fatigue strength of machine parts," *Nafta-Gaz*, vol. 78, 2022.
- [6] W. Jing, P. Wang, and N. Zhang, "Study on damage fatigue test method of metal materials for rotating machinery," *Int. J. Mater. Prod. Technol.*, vol. 66, no. 1, pp. 17–30, 2023.
- [7] G. S. Al-Marahleh and K. Abushgair, "Experimentally investigation effect of geometrical cross-section on fatigue strength of aluminum alloy (6063)," *Rev. Adv. Mater. Sci*, vol. 27, pp. 90–98, 2011.
- [8] E. I. E. O. G. Cross, "Section On Fatigue Strength Of Aluminum Alloy (6063) Ghazi S," *Al-Marahleh Khaleel Abus. Receiv. July*, vol. 19, 2010.
- [9] Y. Duan, H. Lei, and S. Jin, "Experimental Study on Fatigue Performance of Welded Hollow Spherical Joints Reinforced by CFRP," *Coatings*, vol. 12, no. 10, p. 1585, 2022.
- [10] Y. Wang, X. Yi, J. Han, and Y. Xia, "Acoustic emission and computed tomography investigation on fatigue failure of fissure-contained hollow-cylinder granite: Cavity diameter effect," *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.*, vol. 45, no. 8, pp. 2243–2260, 2022.
- [11] J. Papuga, M. Vargas, and M. Růžička, "Wiles of Using Hollow Specimens for Fatigue Tests," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 732, pp. 71–76, 2015.
- [12] R. Späth and M. Steinebrunner, "Using 3D-scanners and finite element method to assess the fatigue life of welded joints based on the actual geometry of seam welds: realistic modelling of notches at the weld toe," *Materwiss. Werksttech.*, vol. 54, no. 4, pp. 459–465, 2023.
- [13] Y. Tokita, N. Yamaguchi, T. Shiozaki, and Y. Tamai, "Improvement of Fatigue Life of Arc Welded T-joints by Local Shape Change Near the Joint Line," *Int. J. Automot. Eng.*, vol. 13, no. 3, pp. 147–154, 2022.
- [14] M. S. N. Rausch and I. M. Mensinger, "Fatigue design using the structure stress concept for welded metal structures," in *IABSE Congress-Christchurch, New Zealand*, 2021.
- [15] N. Ihara, T. Iwamoto, and K. Nishimura, "Crack Propagation Behavior in Rotational Bending Fatigue Test of Nitrocarburized JIS SCM420 Steel," *ISIJ Int.*, vol. 63, no. 8, pp. 1421–1426, 2023.
- [16] Z. Shi *et al.*, "Crack initiation induced by twin-martensite and inclusion in rotatory bending fatigue of a high nitrogen martensite bearing steel," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 861, p. 144402, 2022.
- [17] W. Guo, H. Cao, Y. Zi, and Z. He, "Material analysis of the fatigue mechanism of rollers in tapered roller bearings," *Sci. China Technol. Sci.*, vol. 61, pp. 1003–1011, 2018.