

Pengaruh Beban Lentur Pada Poros Stainless Steel Terhadap Siklus Kegagalan Fatik

Muhamad Fitri

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

E-mail: muhamad.fitri@mercubuana.ac.id

Abstrak-- Salah satu penyebab dari kerusakan pada komponen mesin adalah disebabkan oleh kelelahan, yaitu kegagalan pada material akibat beban/ tegangan berulang – ulang (Cyclic stress) meskipun besarnya tegangan tersebut masih di bawah batas kekuatan elastiknya. Karenanya, kelelahan, khususnya pada komponen mesin merupakan sifat yang sangat penting untuk dikaji dan diteliti. Salah satu komponen mesin yang mengalami beban berulang-ulang adalah poros. Akibat beban-beban yang bekerja pada poros meskipun jauh di bawah tegangan luluhnya, poros dapat mengalami kelelahan. Karenanya sebuah poros perlu diuji sifat lelahnya untuk memperkirakan umur poros tersebut saat digunakan nantinya. Pada poros yang berputar ada yang mengalami beban lentur ada yang tidak. Adanya beban lentur pada poros kemungkinan akan menambah pendek umur siklus lelah dari poros. Tujuan dari penelitian ini adalah: Menguji Bagaimana pengaruh beban lentur terhadap umur siklus fatik dari poros Stainless steel SUS 304 untuk kemudian mendapatkan hubungan antara momen lentur yang diberikan dengan umur siklus dalam bentuk persamaan matematis. Pengujian dilakukan untuk 7 macam variasi beban, mulai dari beban 1kg, 1,5kg, 2kg, 2,5kg, 3kg, 3,5kg dan 4 kg, yang mana beban yang diberikan tersebut akan dirasakan sebagai beban lentur oleh poros. Hasil pengujian ini membuktikan bahwa besarnya beban lentur yang dialami oleh suatu poros stainless steel berpengaruh terhadap umur kegagalan fatik poros tersebut, yang mana, semakin tinggi beban yang diberikan maka umurnya semakin pendek. Pengujian spesimen dengan diberi beban terendah sebesar 1 kg yang menghasilkan momen lentur sebesar 0,882 N.m dan tegangan geser sebesar 41,6 Nm, poros dapat beroperasi hingga 32820 siklus. Beban maksimum sebesar 4 kg menghasilkan momen lentur sebesar 3528 Nm, dan tegangan geser sebesar 166,45 N/m² dan kegagalan poros terjadi pada siklus 3702.

Kata kunci: Stainless Steel, Poros, Umur siklus, beban lentur, Kekuatan fatik

Abstract-- One of the causes of failure in machine component is caused by fatigue, The material failure due to repetitive load / stress (Cyclic stress) even though the amount of stress is still below the yield strength. Therefore, the fatigue failure, in engine components is a very important characteristic to be studied and examined. One component of the machine that is experiencing repeated or repetitive loads is shaft. As a result of the loads acting on the shaft even though lower than the yield stress, the shaft can experience a strain. Therefore a shaft needs to be fatigue tested to estimate the life of the shaft when it is used later. Some of rotating shaft undergo the flexural load, and the others do not undergo flexural load. The flexural load on the shaft will likely increase the short fatigue cycle life of the shaft. The purpose of this study is: to examine the influence of bending load on the fatigue cycle life of the stainless steel shaft SUS 304 and then get the relationship between the given bending moment with the cycle life in the form of regression equations. Tests were carried out for 7 kinds of load variations, starting from 1kg, 1.5kg, 2kg, 2.5kg, 3kg, 3.5kg and 4 kg, which become as a bending load to the shaft. The results of this test prove that the magnitude of the flexural load experienced by a stainless steel shaft affects the lifetime of the shaft, which the higher the load is given, the shorter the life span. The lowest load test specimens was 1 kg, produces 0.882 Nm bending moment and 41.6 Nm shear stress. This shaft can operate up to 32820 cycles. A maximum load of 4 kg produces 3528 Nm bending moment, and 166.45 N/m² shear stress and the shaft failure occurs in the 3702 cycle.

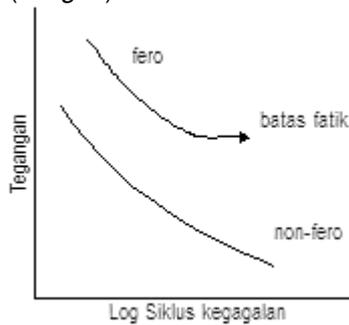
Keywords: Stainless Steel, Shaft, Cycle time, Bending load, Fatigue Strength.

1. PENDAHULUAN

Sifat mekanis material adalah sifat yang diketahui dari hasil penelitian di laboratorium dengan melihat respon material terhadap pembebanan

yang diberikan [1]. Banyak Faktor yang mempengaruhi sifat mekanik material, karenanya penelitian tentang sifat mekanik material merupakan salah satu topik yang terus menerus diteliti oleh para peneliti material [2,3]. Salah satu

sifat mekanis material yang cukup penting adalah Kelelahan (*Fatigue*).



Gambar 1. Kurva S-N

Kelelahan (*Fatigue*) ialah kecenderungan dari logam untuk patah bila menerima tegangan dinamik dan berulang-ulang (*Cyclic stress*) meskipun besarnya beban yang dialami oleh material masih di bawah batas kekuatan tariknya maupun kekuatan luluhnya [1]. Sebagian besar dari kerusakan yang terjadi pada komponen mesin disebabkan oleh kelelahan ini. Karenanya kelelahan merupakan sifat yang sangat penting, tetapi sifat ini juga sulit diukur, disebabkan banyaknya banyak faktor yang mempengaruhinya. Salah satu komponen mesin yang mempunyai kemungkinan untuk mengalami kelelahan adalah poros. Akibat beban yang bekerja pada poros, meskipun jauh di bawah tegangan luluhnya, suatu saat poros dapat mengalami kelelahan. Apalagi bila poros tersebut mengalami tumbukan atau pengaruh konsentrasi tegangan dikarenakan pengecilan diameter seperti pada poros bertangga atau poros mempunyai alur pasak. Selain itu besarnya tegangan yang bekerja pada poros juga berpengaruh terhadap umur fatik poros [4]. Karenanya, pengujian sifat lelah poros ini merupakan hal yang sangat penting untuk diteliti dan dikaji agar faktor faktor yang dapat mengakibatkan terjadinya kegagalan fatik dapat diredam.

Beberapa sifat mekanis pada logam yang lain selain dari sifat *Fatigue* [1,5] antara lain :

a. Kekerasan (*hardness*)

Kekerasan adalah ketahanan suatu material untuk menahan deformasi plastis lokal, seperti goresan atau dekok kecil.

b. Kekuatan (*strenght*)

Kekuatan adalah kemampuan material untuk menahan deformasi plastis (tegangan tanpa kerusakan). Beberapa material seperti baja struktur, besi tempa, aluminium, tembaga dan stainless steel mempunyai kekuatan tarik tinggi yang mana kekuatan tarik dan kekuatan tekannya hampir sama. Karenanya, untuk mengetahui kekuatan suatu material dapat dilakukan dengan tarik, tekan atau geser.

c. Elastisitas

Elastisitas adalah kemampuan suatu bahan untuk kembali ke bentuk semula setelah gaya eksternal dilepas. Elastisitas ini penting pada semua struktur yang mengalami beban berubah-ubah terlebih pada alat dan mesin-mesin presisi.

d. Plastisitas

Plastisitas adalah kemampuan suatu bahan padat untuk mengalami perubahan bentuk tetap pada kerusakan. Kebanyakan material logam, deformasi elastis hanya terjadi sampai regangan kira-kira 0.005. Bila material terus diberikan beban sehingga regagannya melewati titik ini, maka hubungan antara tegangan dan regangan tidak lagi proposioanal sehingga hukum Hooke tidak berlaku lagi.

Kadang kala, bila hanya bedasarkan empat sifat mekanis yang telah dijelaskan di atas, kegagalan pada material sulit diprediksi, terutama ketika beban yang dialami oleh material adalah beban yang fluktuatif secara berulang. Hal ini disebabkan karena, pada material yang mengalami pembebanan fluktuatif yang berulang ulang memiliki kecenderungan untuk mengalami kegagalan karena lelah (*Fatigue*). Mekanisme patah lelah terdiri dari tiga tahap, yaitu tahap awal terjadinya retakan (*crack initiation*), tahap penjaralan retakan (*crack propagation*) serta patah akhir atau patah statis akibat dari penampang yang tersisa tidak mampu lagi menerima beban. Umur lelah biasanya dinyatakan sebagai jumlah siklus tegangan yang dicapai sampai spesimen atau komponen patah. Dengan demikian umur total tersebut telah mencakup pula tahap awal retakan dan penjaralan retakan yang bila telah cukup jauh penjaralannya akan menyebabkan patah menjadi dua. Selain itu data kelelahan lain yang penting adalah laju penjaralan retakan (*crack growth rate*). Laju penjaralan retakan inilah yang datanya dapat dipakai untuk memperkirakan umur lelah. Baja memiliki batas kelelahan (*fatigue limit*) atau batas ketahanan (*endurance limit*) yang jelas, sedangkan aluminium tidak mempunyai batas kelelahan yang jelas.

Banyak Faktor yang mempengaruhi sifat mekanik material, hal ini terkadang mengakibatkan kegagalan pada material terjadi di luar dari yang diprediksi oleh para Engineer. Diantara faktor yang mempengaruhi sifat mekanik material yang pernah diteliti adalah suhu material, besar beban, tipe beban dan sebagainya.

Banyak peneliti yang telah melakukan penelitian terkait sifat mekanik material. Diantaranya adalah penelitian tentang kekuatan mekanik pada material polimer penyusun kipas radiator. Material diuji pada dua temperatur yang berbeda,

yaitu 240C dan 900C. Hasil pengujian menunjukkan bahwa regangan patah dan juga kekuatan impak material pada kedua temperature tersebut berbeda secara signifikan. Namun untuk perbedaan kekuatan tariknya pada kedua temperatur tersebut tidaklah signifikan. Dengan kata lain, pada penelitian itu diperoleh bahwa sifat mekanis material dipengaruhi suhu. Pengaruh tersebut ada yang signifikan ada yang tidak [6].

Beban lentur (Bending) adalah keadaan gaya kompleks yang berkaitan dengan melenturnya elemen. Biasanya lentur terjadi pada elemen balok sebagai akibat dari adanya beban transversal (di mana partikel-partikel medium beresilasi di sekitar posisi rata-rata mereka di sudut kanan ke arah rambat gelombang. Aksi lentur menyebabkan material pada satu muka elemen memanjang, mengalami tarik, dan serat pada muka lainnya mengalami tekan [7].

Sifat-sifat mekanik yang dapat diukur dari uji fatik adalah sifat-sifat mekanik yang dapat diukur dari uji puntir adalah modulus geser (G), ultimate torsional shearing (S_{sut}), dan yield torsional shearing strength (S_{sy}) [8]. Berikut adalah penjelasan mengenai sifat-sifat tersebut :

- Modulus geser

Tingkat keelastisan suatu material dalam menerima momen puntir atau lentur, dimana dengan mereferensikan kurva tegangan geser (akibat momen puntir atau lentur) terhadap deformasi dapat dihitung harganya, dengan menggunakan persamaan :

$$\tau = G\gamma \quad (2)$$

dengan :

τ adalah tegangan geser akibat momen puntir atau lentur (MPa)

G adalah modulus geser (MPa/rad)

γ adalah besarnya deformasi sudut (rad)

Salah satu komponen mesin yang mengalami beban puntir adalah poros. Poros adalah suatu bagian stasioner yang berputar, biasanya berpenampang bulat dimana terpasang elemen-elemen seperti roda gigi (gear). Poros bisa menerima beban lenturan, beban tarikan, beban tekan atau beban puntiran yang bekerja sendiri-sendiri atau berupa gabungan satu dengan lainnya [9].

- Poros Dengan Beban Puntir

Poros dengan beban puntir adalah sebuah poros yang mendapatkan pembebanan utama berupa torsi, seperti pada poros motor dengan sebuah kopling tanpa ada beban di tengahnya [10].

Tegangan geser yang diizinkan τ_a dapat dihitung atas dasar batas kelelahan puntir yang besarnya diambil 40% dari batas kelelahan tarik, yang mana besarnya batas kelelahan tarik adalah 45% dari kekuatan tarik. Jadi batas kelelahan puntir adalah 18% dari kekuatan tarik sesuai dengan standar ASME.

- Poros Dengan Beban Lentur Murni

Poros dengan beban lentur murni adalah beban statis dan juga beban dinamis hanya dilakukan sekedar mencakup beban dinamis secara sederhana saja. Poros tipe ini tidak berputar. Beban yang dialami poros hanya di bagian tengahnya dalam arah tegak lurus poros [10].

- Poros Dengan Beban Puntir Dan Lentur

Besarnya deformasi yang disebabkan oleh momen puntir pada poros harus dibatasi, karena untuk poros yang dipasang pada mesin umum dalam kondisi kerja normal, besarnya defleksi puntiran dibatasi sampai 0,25 atau 0.3 derajat. Untuk poros panjang atau poros yang mendapat beban kejutan atau berulang-ulang, harga tersebut harus dikurangi menjadi 1/2 dari harga di atas (0,25 atau 0.3).

$$\tau_{max} = (5,1/d^3s)\sqrt{M^2 + T^2} \quad (3)$$

Beberapa penelitian terkait sifat leleh Fatik poros telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Penelitian tentang kerusakan poros pompa sentrifugal yang beroperasi di lingkungan korosif juga telah dilakukan. Dari penelitian itu diperoleh kesimpulan bahwa korosi mempunyai andil dalam kegagalan fatik poros [11].

Penelitian lain yaitu tentang Hubungan siklus putaran dan beban terhadap kekuatan bahan pada uji fatik bending. Material yang digunakan sebagai specimen pada penelitian ini adalah ST37 dan ST40. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa makin tinggi tegangan yang diberikan, makin rendah siklus putaran poros. Sebaliknya makin rendah beban yang diberikan, makin tinggi umur siklus kegagalan Fatik putaran poros [4].

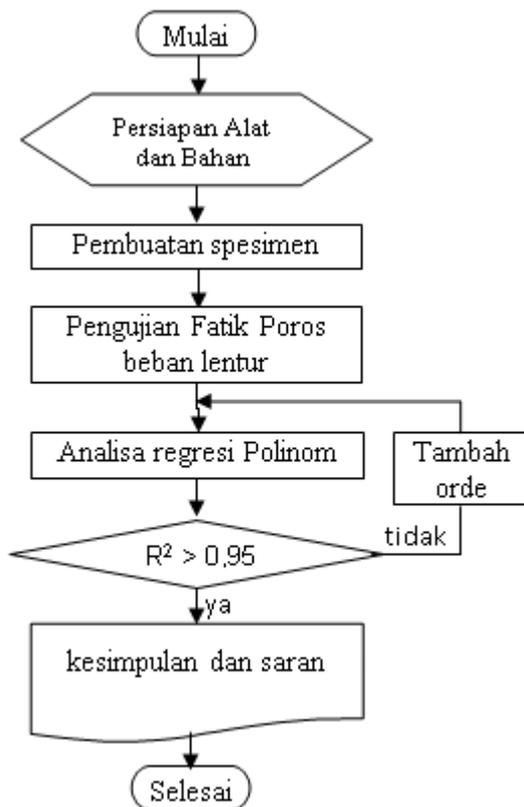
Penelitian-penelitian di atas belum meneliti sifat fatik poros Stainless Steel. Padahal poros pada mesin juga ada yang berbahan stainless steel. Karenanya dalam penelitian ini akan dilakukan penelitian tentang pengaruh beban lentur pada poros Stainless Steel terhadap umur siklus kegagalan fatiknya.

2. METODOLOGI

2.1 Diagram alir penelitian

Diagram alir penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 2. Penelitian diawali dengan persiapan

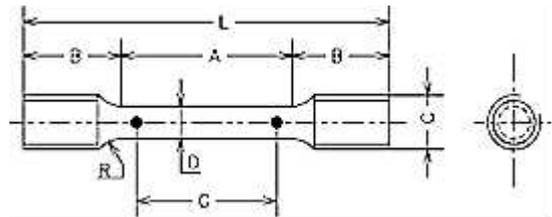
bahan dan alat untuk kemudian dilakukan pembuatan sampel spesimen dengan dimensi sesuai gambar 4 sebanyak 7 kombinasi specimen yang masing masingnya terdiri dari 3 buah spesimen. Selanjutnya dilakukan pengujian Fatik puntir pada spesimen. Dari hasil pengujian ini akan diperoleh umur fatik spesimen untuk tiap-tiap kekuatan fatik tertentu. Dari Data tersebut selanjutnya dilakukan analisis menggunakan Microsoft Excell untuk mendapatkan kurva S-N regresi dari hasil pengujian, sekaligus dengan persamaan regresinya. Persamaan regresi tersebut selanjutnya dapat digunakan untuk memprediksi umur fatik dari poros stainless steel SUS 304 yang mengalami beban lentur.



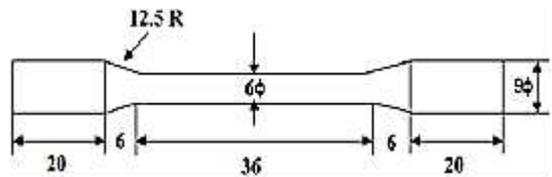
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

2.2. Pembuatan spesimen

Spesimen disiapkan dari material stainless steel 304, dibubut hingga membentuk ukuran sesuai standar spesimen alat uji fatik beban lentur seperti gambar 3 dan 4. Spesimen disiapkan sebanyak 21 buah spesimen, yang nantinya akan digunakan untuk 7 jenis beban yang berbeda.



Gambar 3. Spesimen Uji Puntir atau Lentur ASTM standart E 8 [7].



Gambar 4. Spesimen Uji Puntir atau Lentur.

2.3 Prosedur pengujian

Setelah disiapkan 21 buah sampel dari material stainless steel 304, selanjutnya dilakukan pengujian fatik untuk specimen pertama dengan memasang spesimen pada pencekam dan di kunci erat. Beri beban lentur sebesar 1 kg, kemudian mesin dihidupkan bersamaan dengan dihidupkannya penghitung waktu untuk memulai pengujian. Sambil mesin berputar, keadaan sampel specimen diamati terus hingga spesiemen uji tersebut bengkok atau patah yang menandakan telah terjadi kegagalan fatigue. Dan bila itu telah terjadi, mesin segera dimatikan. Umur siklus dicatat dan material diberi nomor 1 untuk pengujian pertama. Selanjutnya dilakukan pengujian specimen dengan cara yang sama dengan beban yang sama sebanyak 3 kali. Pengujian selanjutnya, dilakukan untuk beban 1,5 kg dengan menambahkan beban pada pengujian sebelumnya sebesar 0,5kg. Pengujian dilakukan dengan cara yang sama sebanyak 3 sampel. Pengujian dilakukan terus dengan menambahkan beban sebesar 0,5 kg dengan cara yang sama, hingga beban 4 kg. Data tiap kombinasi specimen di rata-rata kemudian hasil rata-rata tersebut dimasukkan dalam table. Selanjutnya data tersebut dianalisis menggunakan regresi polinom dimulai dengan polinom orde 1. Bikla didapatkan nilai koefisien dedterminasi kurang dari 0,95, maka analisis diulangi dengan meningkatkann orde polinom hingga didapatkan nilai koefisien determinasi lebih dari 0,95.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian

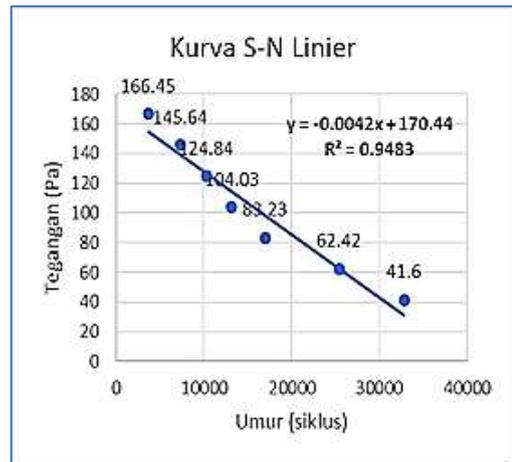
Pada pengujian ini, spesimen diuji dengan mesin uji fatik puntir sampai mengalami kegagalan (patah) seperti diperlihatkan pada gambar 5.

Jumlah siklus yang dihasilkan dicatat pada kolom terakhir tabel 1. Hasilnya seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

kolom sebelah kanan.



Gambar 5. Foto Patahan spesimen material stainless steel 304 dengan beban berbeda-beda



Gambar 6. Kurva S-N material hasil pengujian poros stainless steel SUS 304 dengan Regresi Linier

Tabel 1. Hasil pengujian spesimen material stainless steel 304 dengan diameter penampang spesimen 6mm

No	Beban (kg)	Momen (Nm)	Stress (N/m ²)	Umur Siklus
1	4	3,53	166,45	3702
2	3,5	3,09	145,64	7288
3	3	2,65	124,84	10.280
4	2,5	2,21	104,03	13.182
5	2	1,76	83,23	16.980
6	1,5	1,32	62,42	25.440
7	1	0,88	41,6	32.820

Perhitungan momen lentur dan tegangan geser yang dialami oleh material

Untuk beban sebesar 1 kg, momen lentur dan tegangan yang dihasilkan dihitung sebagai berikut:

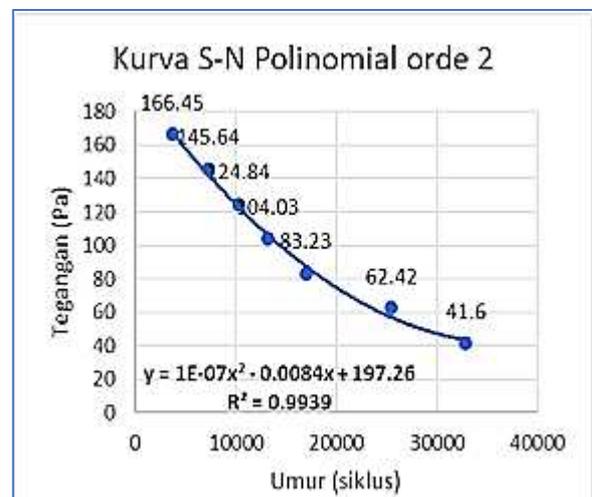
$$\begin{aligned}
 M &= F \cdot x \\
 &= M \cdot g \cdot x \\
 &= 1 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/S}^2 \times 90 \text{ mm} \\
 &= 882 \text{ N.mm} \\
 &= 0,882 \text{ Nm} \\
 \tau &= \frac{32 M}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 (882)}{3,14 \cdot 6^3} \\
 &= \frac{28.224 \text{ Nmm}}{678,24 \text{ mm}^3} \\
 &= 41,6 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka untuk pengujian dengan berat beban 1,5 kg, 2 kg, 2,5 kg, 3 kg, 3,5 kg dan 4 kg didapatkan momen dan tegangan seperti dalam tabel 1. Hasil pengujian umur siklus material juga terdapat dalam Tabel 1

Dari data yang ditunjukkan pada Tabel 1 tampak bahwa umur siklus spesimen dipengaruhi oleh beban / tegangan yang diberikan. Makin besar tegangan yang diberikan maka umur siklusnya akan makin pendek. Kurva S-N yaitu kurva yang menunjukkan hubungan antara tegangan yang dialami oleh material dengan umur siklus material tersebut. Diawali dengan regresi linier, Untuk spesimen yang digunakan dalam penelitian ini, kurva S-N Linier adalah digambarkan seperti pada gambar 6.

Dengan menggunakan Microsoft Excell, akan didapat grafik hubungan antara tegangan dengan umur siklus kegagalan fatik dari poros stainless steel. Persamaan regresi linier dari grafik tersebut adalah sbb:

$$\begin{aligned}
 Y &= - 0,0042 X + 170,44 \\
 \text{Dimana : } X &= \text{Umur siklus (Siklus)} \\
 Y &= \text{Kekuatan Fatik (MPa)}
 \end{aligned}$$



Koefisien determinasi dari persamaan tersebut adalah 0,9483, masih di bawah 0,95 artinya tingkat keakuratan persamaan regresi ini tidak sampai 95%, yaitu hanya adalah 94,83%.

Karena itu dicoba membuat persamaan regresi polinom dengan mulai dari orde 2. Hasil analisis regresi polinom orde 2 ini diperlihatkan pada gambar 7.

4. KESIMPULAN

1. kukan maka dapat disimpulkan material spesimen stainless steel 304 yang di uji dengan 7 kali pengujian dan diberi beban yang berbeda dapat diperoleh dengan hasil sebagai berikut :
 - a. Pengujian spesimen pertama diberi beban 1 kg dengan jumlah putaran 32.820 putaran, mempunyai nilai momen 0,882 N.m², dan tegangan geser sebesar 41,6 MPa.
 - b. Pengujian spesimen kedua diberi beban 1.5 kg dengan jumlah putaran 25.440 putaran, mempunyai nilai momen 1,323 N.m², dan tegangan geser sebesar 62,42 MPa.
 - c. Pengujian spesimen ketiga diberi beban 2 kg dengan jumlah putaran 16.980 putaran, mempunyai nilai momen 1,764 N.m², dan tegangan geser sebesar 83,23 MPa.
 - d. Pengujian spesimen keempat diberi beban 2.5 kg dengan jumlah putaran 13.182 putaran, mempunyai nilai momen 2,205 N.m², dan tegangan geser sebesar 104,03 MPa.
 - e. Pengujian spesimen kelima diberi beban 3 kg dengan jumlah putaran 10.280 putaran, mempunyai nilai momen 2,646 N.m², dan tegangan geser sebesar 124,84 MPa.
 - f. Pengujian spesimen keenam diberi beban 3.5 kg dengan jumlah putaran 7.288 putaran, mempunyai nilai momen 3,087 N.m², dan tegangan geser sebesar 145,64 N/m².
 - g. Pengujian spesimen ketujuh diberi beban 4 kg dengan jumlah putaran 3702 putaran, mempunyai nilai momen 3,528 N.m², dan tegangan geser sebesar 166,45 N/m².
2. Setelah pengujian dilakukan, maka dapat diketahui bahwa besarnya beban lentur yang dialami oleh sebuah poros stainless steel berpengaruh terhadap umur kegagalan fatik poros tersebut, makin tinggi beban lentur maka umurnya semakin pendek.

3. Persamaan regresi dari poros Stainless steel:

$$Y = 1 \times 10^{-7} X^2 - 0,0084 X + 197,26$$

Dimana : X = Umur siklus (siklus)

Y = Kekuatan Fatik (Pa)

Selanjutnya persamaan regresi ini dapat digunakan untuk menghitung umur fatik dari poros stainless steel yang mengalami pembebanan dalam bentuk tegangan. Tegangan yang diberikan dimasukkan sebagai variabel Y.dalam persamaan regresi, kemudian dicari nilai x dari persamaan regresi tersebut. Nilai x yang diperoleh nantinya adalah merupakan umur siklus fatik dari poros yang mengalami pembebanan sebesar nilai beban yang dimasukkan dalam persamaan regresi tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Callister WD dan Rethwisch DG. 2011. Materials Science and Engineering, Eight Edition. SI Version. Eighth edition. John Wiley & Sons, Inc.
- [2]. Ruhyat, Nanang; AJI, Agung Pramu. (2013) Analisa Perbandingan Mechanical Dan Electrical Properties Terhadap Penambahan Jumlah Kandungan Oksigen Pada Batang Tembaga Diameter 8mm. SINERGI, [S.l.], v. 17, n. 3, p. 262-267, oct. 2013. ISSN 24601217. Available at: <<https://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/sinergi/article/view/779/654>>.
- [3]. Noviyanto, Alfian. The Effect of Polysilazane On The Densification And Mechanical Properties Of Sicf/Sic Composites. Sinergi, [S.L.], V. 24, N. 1, P. 11-16, Dec. 2019. Issn 24601217. Available at: <<https://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/sinergi/article/view/5670/3156>>. Date accessed: 29 sep. 2020. doi:http://dx.doi.org/10.22441/sinergi.2020.1.002.
- [4]. Wahyudi TC dan Nugroho E. 2014. Hubungan siklus putaran dan beban terhadap kekuatan bahan pada uji fatik bending. Jurnal ilmiah TURBOISSN 2301-6663 Vol.3 No. 1 hal 33-40.
- [5]. Dieter, G.E. 1997. Metalurgi Mekanik. Erlangga, Jakarta.
- [6]. Diniardi, E., Ramadhan , & A.I., Basri, H. 2014. Analisis Kekuatan Mekanik dan Struktur Mikro pada Material Polimer Penyusun Kipas Radiator. Jurnal Teknologi. Universitas Muhamadiyah Jakarta. 6(1): 55-67.

- [7]. Jatmiko S. dan Jokosisworo S. 2008. Analisa Kekuatan Puntir dan Kekuatan Lentur Putar Poros Baja ST 60 Sebagai Aplikasi Perancangan Bahan Poros Baling-Baling Kapal. Jurnal ilmu Pengetahuan dan teknologi kelautan "KAPAL". 5(1). Semarang. Universitas Diponegoro.
- [8]. Gunawan, I. 2014, Pengujian Alat Uji Fatik Puntir. Skripsi program studi teknik mesin Universitas Batam. Batam.
- [9]. Mananoma F, Sutrisno A, dan Tangkuman S (2017) Perancangan Poros transmisi dengan daya 100 HP. Jurnal online Poros Teknik Mesin. Vol.6 Nomor 1 halaman 1-9.
- [10]. Kiyokatsu, S. 1997. Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin. Terjemahan Oleh Sularso. Penerbit PT. Pradnya Paramita.
- [11]. Iskandar Azis (2015) Analisa kerusakan poros pompa sentrifugal yang beroperasi di lingkungan korosif. Jurnal Lentera, volume 15 no 13. Halaman 66-74.