

SURAT KETERANGAN PENGECEKAN SIMILARITY

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Rolan Chrisdiantono
Nim : 03032682125008
Prodi : Teknik Mesin (S2)

Menyatakan bahwa benar hasil pengecekan similarity Skripsi/Tesis/Disertasi/Lap. Penelitian yang berjudul Analisa Permukaan Patah Lelah pada Material Baja ASM A – 36 Menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)* adalah 14 %.

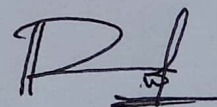
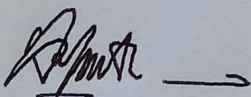
Dicek oleh operator *: 1. Dosen Pembimbing
2. UPT Perpustakaan

Demikianlah surat keterangan ini saya buat dengan sebenarnya dan dapat saya pertanggung jawabkan.

Palembang Juli 2024

Menyetujui
Dosen pembimbing,

Yang menyatakan,



Nama: Dr. Ir. Hendri Chandra, MT
NIP : 196004071990031003

Nama: Rolan Chrisdiantono
NIM : 03032682125008

***Lingkari salah satu jawaban, tempat anda melakukan pengecekan Similarity**

ANALISA_PERMUKAAN_PATAH_LELAH_P ADA_MATERIAL_BAJA_ASTM_A- 36_MENGGUNAKAN_SCANNING_ELECT RON_MICROSCOPE(SEM)

By Rolan k

PENDAHULUAN**1.1 Latar Belakang**

Permintaan terhadap bahan-bahan teknik yang tergolong mempunyai kualitas yang lebih tinggi, misalnya dari segi kemampuan (sifat mekanik), harga yang lebih murah, dan banyak dijual di pasaran, menunjukkan pesatnya perkembangan sektor konstruksi di bidang industri. dunia. Dalam menciptakan inovasi dan siklus, misalnya, Bidang pengembangan, kreasi atau perakitan sangat erat kaitannya dengan sifat mekanik suatu material, khususnya di bidang perancangan material yang semakin menantang untuk dipenuhi oleh material yang ada.

Konstruksi, termasuk bangunan mesin, selalu mengalami beban dinamis dalam pengoperasiannya, baik yang bersifat statis (diam) maupun dinamis (bergerak). Beban tersebut dapat disebabkan oleh faktor-faktor yang sulit dihindari seperti hembusan angin, gelombang laut, permukaan yang tidak rata, dan sebagainya. Penumpukan yang kuat ini membahayakan material.

Karena tegangan yang disebabkan oleh beban dinamis lebih besar daripada tegangan batas lelah material, maka kerusakan yang disebabkan oleh beban dinamis lebih baik dipahami sebagai faktor kelelahan material. Faktor kelelahan harus dibangun untuk mencegah terjadinya kecelakaan yang luput dari perhatian dan kerugian yang lebih besar. Pecahnya merupakan salah satu unsur yang menimbulkan kekecewaan pada suatu material.

Oleh karena itu, untuk menghindari kerugian, industri harus mewaspadaikan mekanisme perambatan retak. Karena ketahanan material terhadap beban berbeda-beda, maka industri perlu mengklasifikasikan material yang digunakan untuk memperpanjang umur material dan meningkatkan efektivitas penggunaannya. Retak dapat disebabkan oleh dua macam beban, yaitu beban statis dan beban dinamis.

Dari deskripsi yang diberikan, terlihat bahwa kegagalan material sering terjadi ketika tegangan yang diterapkan lebih rendah dari kekuatan luluh materialnya. Semakin besar jumlah tumpukannya, kerusakan material akan berkembang lebih cepat. Proses fatigue umumnya melalui tiga tahap: inisiasi retak, perambatan retak, dan akhirnya patah statis. Fenomena fatigue ini disebabkan oleh beban dinamis dan statis yang berulang pada material.

Fatigue sangat dipengaruhi oleh faktor permukaan, di mana kehalusan permukaan konstruksi berpengaruh langsung terhadap umur kelelahan material. Kerusakan akibat fatigue sering diamati dalam bidang teknik, dan sering kali disebabkan oleh ketidaksempurnaan atau cacat pada material serta penumpukan beban selama operasi.

Retakan yang memanjang dapat signifikan mempengaruhi kekuatan struktur material. Pemahaman terhadap penyebaran retakan (garis pantai) penting untuk menganalisis perilaku yang muncul di area retakan logam. Faktor-faktor seperti toleransi kerusakan dan karakteristik perambatan retak dari bahan dasar perlu dipertimbangkan dalam merencanakan umur aman pengoperasian konstruksi.

Dari hasil penelitian sebelumnya, penting untuk memahami mekanisme penyebaran retakan lelah untuk menentukan nilai ketangguhan material (K_{max}). Pengujian ini bertujuan untuk mengeksplorasi kelemahan dengan menggunakan teknik eksperimental. Baja ASTM A-36 dipilih karena kegunaannya yang luas dalam berbagai aplikasi dan desain komponen.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai karakteristik kelelahan pada baja ASTM A-36 dan potensi aplikasinya dalam kondisi operasional yang berbeda.

2 1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagaimana patah lelah dinamis yang dialami material Baja ASTM A – 36 dan karakteristik permukaan patahan pada Baja ASTM A – 36. Sudut pembebanan yang akan dilakukan pada specimen uji *Fatigue* bending yaitu 1°, 2°, dan 3° pada saat pengujian *Fatigue* metode *Repeated* bending.

12 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah perlu diterapkan supaya topik yang dibahas dapat terperinci. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengujian ketahanan lelah yang dilakukan adalah pengujian fatik dengan metode *fatigue bending*.
2. Plat baja karbon ASTM A-36 merupakan spesimen yang akan digunakan.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun beberapa dari tujuan penelitian ini.

1. Mampu memecahkan nilai ketahanan lelah pada Baja ASTM A-36.
2. Menginvestigasi dan menganalisis karakteristik permukaan patahan pada Baja ASTM A-36.

2 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapatkan dari penelitian ini.

1. Sebagai kontribusi untuk ilmu pengetahuan di bidang Teknik Mesin.
2. Sebagai referensi ilmiah terhadap karakteristik permukaan patah pada material baja ASTM A-36.
3. Dapat dijadikan referensi untuk penelitian berikutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Teori

2.1.1 Definisi Fatik

Beban statis atau dinamis biasanya merupakan jenis beban yang diterapkan pada suatu struktur. Sistem pembebanan yang memberikan beban tetap pada suatu komponen disebut beban statis, Beban yang terus berubah dari maksimum ke minimum disebut beban berfluktuasi. Pada tekanan yang sama, bagian yang sering menerima beban dinamis akan memiliki umur pakai lebih pendek dibandingkan bagian yang menerima beban statis, karena mungkin mengalami beban kejut yang tidak terduga.

Komponen akan rusak setelah beberapa siklus pemuatan dinamis. Patah tulang akibat kelelahan adalah patah tulang yang diakibatkan oleh beban yang berulang-ulang (Diharjo K., 1996). Kelelahan terjadi karena jeda yang dimulai di daerah dengan tekanan tinggi. Daerah ini meliputi: ruang, bukaan pada material, permukaan keras, dan lubang di dalam maupun di permukaan luar material. Dengan demikian, kejadian kelemahan adalah patahan yang terus berlangsung lama hingga bagian tersebut tidak dapat lagi menahan beban dan regangan yang lebih tinggi, akhirnya terjadilah retakan statis yang tidak terduga. Durasi jeda ini akan terus bertambah karena penumpukan yang kuat tanpa henti. Yang lebih penting adalah kecukupan penumpukan yang kuat, maka pecahnya akan semakin cepat menyebar (Diharjo K., 1996).

Kegagalan kelelahan mengacu pada kerusakan yang disebabkan oleh beban yang berulang-ulang karena patahan ini biasanya terjadi setelah penggunaan yang cukup lama. Menurut (Sugiarto et al., 2013), kelelahan atau kelelahan adalah suatu proses perubahan struktur permanen terlokalisir secara progresif dalam kondisi yang menghasilkan fluktuasi regangan dan tegangan di bawah kekuatan tarik material pada satu titik atau banyak titik, sehingga dapat mengakibatkan terjadinya retakan atau patah.

6
Progresif artinya proses kelelahan terjadi dalam jangka waktu tertentu atau selama penggunaan, sejak struktur atau komponen tersebut digunakan. Istilah "terlokalisasi" mengacu pada wilayah proses kelelahan yang mengalami tegangan dan regangan tinggi sebagai akibat dari beban eksternal, perubahan geometri, variasi suhu, tegangan sisa, dan ketidaksempurnaan. Sesuai (William D. Menurut Callister dan Rethwisch (2007), tegangan yang diterapkan dapat bersifat aksial, lentur, atau torsi (uji tarik dan kompresi).

14 2.1.2 Baja Karbon

Baja karbon adalah baja yang mengandung karbon dan sedikit komponen paduan untuk meningkatkan keuletan tanpa mengurangi fleksibilitas. Kandungan karbonnya berkisar antara 0,1% - 1,7% (Yuspian dkk, 2017). Berdasarkan kandungan karbon, baja karbon dibagi menjadi:

Baja Karbon Rendah: Mengandung karbon kurang dari 0,3%. Digunakan untuk pembuatan pelat, pipa, dan pekerjaan mesin. Baja Karbon Sedang: Mengandung karbon antara 0,3% - 0,6%. Digunakan untuk peralatan, roda gigi, dan batang penggerak. Baja Karbon Tinggi: Mengandung karbon antara 0,6% - 1,5%. Digunakan untuk peralatan konstruksi suhu tinggi seperti balok besi, bor, dan roller logam.

Menurut Bambang Pratowo dkk (2019), komponen paduan mempengaruhi sifat baja karbondampak komponen paduan terhadap sifat baja karbon adalah sebagai sesuai dengan hal berikut:

1. Komponen Karbon (C): meningkatkan ketahanan terhadap panas, kekuatan, kekerasan dan penggilingan.
2. Komponen silikon (Si): meningkatkan ketahanan terhadap panas dan mengembangkan lebih lanjut sifat keserbagunaan.
3. Fosfor (P): selanjutnya dapat mengembangkan sifat penghalang gesekan. Menambah kekerasan, kekuatan, dan keuletan.
4. Komponen belerang (S): selanjutnya dapat mengembangkan sifat anti gores.
5. Komponen kromium (Cr): dapat meningkatkan kekakuan, keserbagunaan, keausan, dan selanjutnya mengembangkan perlindungan dari intensitas dan kekerasan.
6. Komponen mangan (Mn): bekerja pada sifat melawan keausan,

meningkatkan kekerasan, kekuatan dan kelenturan.

7. Komponen molibden (Mo): membangun sifat perlawanan intensitas dan kekerasan.
8. Unsur tungsten (W): menghasilkan karbida keras yang tahan terhadap suhu tinggi dan sering digunakan dalam baja perkakas dan pemotongan cepat.
9. Komponen Cobalt (Co): mengembangkan lebih lanjut sifat keausan dan kekerasan.

2.1.2 Baja ASTM A-36

Baja ASTM A-36 suatu baja karbon yang diketahui sebagai baja karbon rendah. Baja karbon jenis ini sering digunakan dalam aplikasi dasar seperti konstruksi, kapal, bejana tekan, dan sebagainya. Baja ASTM A-36 pada umumnya juga disebut sebagai pelat baja ringan. Prasyarat pembuatan dan sifat mekanik baja ASTM A-36 ditampilkan pada tabel 2.1 dan 2.2. **Tabel 2.1. Syarat Komposisi Kimia Baja ASTM SA-36 (ASTM A-36)**

Komposisi (%)	Tebal Plat (mm)				
	≤ 20	20-40	40-65	65-100	>100
Karbon (C), Max	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Mangan (Mn), Max			0.18-1.20	0.08-1.20	0.08-1.20
Fosfor (P), Max	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur (S), Max	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon (Si), Max	0.40	0.40 max	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40
Tembaga (Cu), Jika ditentukan	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Tabel 2.2. Syarat *Mechanical Properties* ASTM A-36 (ASTM A-36, 2004)

Sifat Mekanik	Nilai
<i>Ultimate Strength</i> (Mpa)	400-500
<i>Yield Strength</i> (Mpa)	250

Callister dan Rethwisch (2008) menyatakan bahwa struktur mikro baja karbon rendah ASTM A-36 terdiri dari tahapan ferit dan perlit. Dari persepsi tersebut ditemukan bahwa kadar ferit lebih dominan dibandingkan perlit. Fase perlit menempati bagian gelap, sedangkan fase ferit menempati bagian terang. Semakin kecil jumlah perlit, semakin rendah kandungan karbon dalam baja. Begitu pula dengan nilai kekerasan material yang menurun.

2.1.3 Kegagalan *Fatigue*

Kerugian material yang terjadi karena penumpukan atau tekanan yang terus-menerus disebut kelelahan yang terjadi setelah jangka waktu yang lama. Menurut Pratowo dkk. (2019), kelelahan adalah kerusakan suatu material yang disebabkan oleh tegangan-tegangan yang berfluktuasi yang besarnya lebih kecil dari kekuatan luluh atau tegangan tarik maksimum (kekuatan tarik maksimum) material tersebut. Chandra (2019) mengartikan tahapan-tahapan keretakan pada suatu bahan sebagai berikut:

1. Awal retak

Retakan pada permukaan benda lunak atau pada daerah yang terjadi pengurangan tegangan pada benda tersebut, seperti takik atau lubang akibat kompresi, biasanya menandakan kelelahan.

2. Rambatan retak (*Propagation crack*)

Apabila permulaan break kecil terjadi maka akan terjadi fiksasi stres yang akan menyebabkan terjadinya break proliferasi disekitar permulaan break.

3. Patahan terakhir

Kerusakan yang akan terjadi jika telah terjadinya rambatan retak yang menyebar dan sampel material akan mengalami kelelahan setelah itu akan patah secara permanen.

Pengujian kelelahan dapat dilakukan dengan menerapkan suatu beban atau tekanan tertentu sehingga contoh tersebut mengalami kerusakan pada siklus tertentu. Goresan, yaitu garis-garis halus yang tersebar di seluruh permukaan,

merupakan tanda kelelahan yang menyebabkan patah tulang. Jarak antar lurik menunjukkan salah satu pola penumpukan kelelahan (Chandra, 2012).

Perkiraan umur kelelahan dapat dicapai dengan menggunakan tiga metodologi, yaitu pendekatan tekanan, pendekatan regangan, dan pendekatan mekanika patah. Pendekatan tekanan biasanya menggunakan teknik tikungan S-N (Mardhi dan Himawan, 2011).

Tingkat tegangan rata-rata, desain geometrik, efek permukaan, serta variabel metalurgi dan lingkungan merupakan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi umur kelelahan (Callister dan Rethwisch, 2008).

Pengujian hambatan keausan pada baja ASTM A-36 melibatkan aspek contoh standar untuk pengujian Repetead Twist dan Bowling Weakness Machine dengan prinsip JIS Z 2273. (Wiryosumarto dan Okumura, 2000). Menyatakan bahwa logam terkadang pecah karena kekhawatiran yang berulang-ulang yang berada di bawah tekanan yang diperbolehkan.

Efek samping patah yang disebabkan oleh beban luar yang berulang, cacat yang berulang, atau tekanan hangat yang berulang disebut retakan kelemahan. Penghentian kelelahan tidak terjadi jika tekanan yang diulang tidak dapat melampaui nilai tertentu yang disebut sejauh mungkin. Tekanan yang diberikan dapat bersifat hub (lentur dan tekan), puntiran, atau puntir (Callister dan Rethwisch, 2008).

2.2 Perhitungan Tegangan Bending (σ_b) pada Pengujian Fatik

Pengujian kelemahan dilakukan dengan Mesin Revolving Bowling. Apabila benda uji diberi beban puntir, maka akan terjadi momen pembengkokan pada benda uji tersebut.

Permukaan benda uji mendapat beban lentur akibat momen lentur tersebut. Retakan pertama pada permukaan benda uji menunjukkan berakhirnya perambatan retak suatu komponen akibat beban dinamis. Persamaan untuk mencari tekanan puntir dalam pengujian kelemahan adalah sebagai berikut.

Di mana:

σ_b = Tegangan bending (MPa)

M = Momen lentur (N.mm)

y = Setengah dari ketebalan plat uji (1/2 t) (mm)

I = Momen inersia benda uji (mm⁴)

Momen inersia dapat dihitung melalui persamaan berikut.

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad 2.2$$

Di mana:

b = Lebar spesimen (mm)

h = Tinggi spesimen (mm)

Momen lentur dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.3.

$$M = \frac{\theta}{\theta_{maks}} \times r \quad 2.3$$

Di mana:

θ = Sudut pembebanan (°)

θ_{maks} = Pembebanan maksimum (15°)

r = *Repeating moment* (2 kgf.m = 19613,3 Nmm)

Repeating moment didapat dari spesifikasi mesin uji *fatigue* yang digunakan sebesar ± 2 kgf. m

$$\text{Repeating moment} = 2 \text{ kgf.m}$$

$$2 \text{ kgf.m} = 2 \text{ kg} \times 9,80665 \text{ m/s}^2 \times 1000 \text{ mm}$$

$$= 19613,3 \text{ Nmm}$$

2.3 Mekanisme Penjalaran Retak

Patah tulang terjadi ketika tegangan menyebabkan benda padat terpisah atau terbelah menjadi dua bagian atau lebih. Interaksi istirahat yang terdiri dari pengembangan istirahat memerlukan sejumlah besar siklus. Break spread yang terjadi pada tahap ini sangat lamban. Faktor-faktor berikut menunjukkan kegagalan kelelahan (Dieter, 1986):

1. Pengintian awalan retak (*Initial crack*).
2. Adanya break engendering ditunjukkan oleh jejak sisi laut (*Propagation crack*).
3. Daerah patah terakhir (*Final failure*)

Dalam kebanyakan kasus, karakteristik bidang rekahan dari area rekahan pada bahan yang sama dengan karakteristik rekahan pada uji tumbukan atau uji ketangguhan rekahan adalah sama. Menurut (Dieter, 1986) bidang patahan tampak kasar atau berserabut.

2.4 Prediksi Umur Lelah Komponen

Adapun suatu hal yang dapat mempengaruhi batas ketahanan suatu material adalah :

1. Temperatur operasi.
2. Ketelitian proses pengerjaan.
3. Bentuk dan ukuran spesimen
4. Berkelanjutan, yaitu ada tidaknya rongga
5. Beban (jenis beban, frekuensi siklus beban, pola beban, rasio beban, dan ragam beban).

2.5 Karakteristik Makroskopis Perambatan Retak Fatik

Berikut ini adalah ciri-ciri makroskopis kelelahan logam:

1. Tidak terdapat distorsi plastis berskala besar.
2. Terdapat indikasi 'garis pantai' (ocean side prints), yang menunjukkan sebaran patahan berlawanan dengan tekanan lentur. Pada saat segmen melintang tidak mampu menahan beban yang diberikan, akhirnya terjadi keretakan atau pecah statis (Abrianto, 2009).

2.6 Kurva S-N

Kurva S-N adalah diagram yang menunjukkan hubungan antara kekuatan fatigue (S: Kekuatan) dan jumlah siklus penumpukan (N: Jumlah Siklus Tekanan). Selama pengujian, geometri, perlakuan permukaan, kondisi pembebanan, suhu, dan proses perlakuan material diperhitungkan sehingga kurva S-N memberikan banyak informasi tentang sifat kelelahan material.

Namun, kurva S-N memiliki kelemahan karena tidak dapat mengantisipasi distorsi plastis dan dampak tekanan normal lingkungan (Mardhi dan Himawan, 2011). Kurva S-N digunakan untuk material yang mengalami beban berulang dengan intensitas serupa, di mana benda uji dibebani sejumlah N hingga terjadi keruntuhan untuk memperoleh kurva. Rentang tegangan S (tegangan maksimum-tegangan minimum) mempengaruhi besarnya N. Dengan amplitudo pembebanan yang konstan, kurva S-N memberikan informasi karakteristik kelelahan (Amirudin, An, dan Lubis, 2018).

Pemeriksaan keausan bagian tergantung pada tikungan S-N bahan tersebut. Tikungan S-N sebagian besar diperoleh dari sistem pengujian sehingga ukuran perlawanan kelelahan dapat diukur. Menurut Zhao dkk. (2017), kurva S-N menggambarkan hubungan antara batas kelelahan material dan tingkat tegangan yang diberikan. Jumlah siklus kegagalan akan berkurang jika tekanannya meningkat. Untuk baja, tikungan S-N menjadi stabil pada tingkat tegangan yang rendah, yang sudah diketahui secara luas.

Kurva S-N, atau kurva tegangan (S) terhadap jumlah siklus (N) hingga kegagalan, digunakan untuk menghitung batas kelelahan material besi dan non-besi. Pada kurva ini, siklus menggunakan skala logaritmik. Batas kelelahan tidak sepenuhnya ditentukan oleh jumlah siklus $N > 10^7$ (Callister dan Rethwisch, 2008).

Berikut rumus daripada mencari tegangan siklus pada uji *fatigue* ditunjukkan padapersamaan.

$$N = t x n \quad 2.7$$

Di mana:

N = Siklus

t = Waktu (detik)

n = Putaran Motor (rpm)

2.7 Kajian Pustaka

Selanjutnya adalah kajian pustaka sebagai salah satu cara pandang dalam ujian yang diselesaikan yang diperoleh dari beberapa sumber, misalnya proposisi, catatan harian yang berkaitan dengan kekuatan kelelahan dan dampak terapi intensitas terhadap materi. Audit penulisan pada ujian ini adalah sebagai berikut:

1. Jurnal "Analisis Pengujian Fatigue Bahan Tembaga Menggunakan Mesin Rotary Bending Fatigue" ditulis oleh Amiruddin, A., dan Lubis, F.A. pada tahun 2018. Dari hasil uji keletihan, contoh tembaga 7060 dengan beban 10 kg menghasilkan tekanan sebesar 34,226 MPa, 78840 siklus dalam 59,15 menit. Dengan beban 11 kg menghasilkan tekanan 37,648 MPa, 69542 siklus dalam 54,27 menit. Beban 12 kg menghasilkan tekanan 41,071 MPa, 47340 siklus dalam 37,47 menit. Beban 13 kg menghasilkan tekanan 44,494 MPa, 36254 siklus dalam 28,28 menit. Beban 14 kg menghasilkan tekanan 47,916 MPa, 32204 siklus dalam 20,57 menit. Sehingga, dengan bertambahnya beban, siklus dan waktu habis pada material tembaga 7060 menjadi lebih cepat.
2. Jurnal berjudul "Investigasi Kepraktisan Pemeriksaan Material Sebagai Backhoe Dapat Menekan Item Chamber yang Digerakkan". Dari hasil eksperimen dan estimasi, dapat disimpulkan bahwa pemecahan kelemahan dimulai dari permukaan dan pembersihan. Pemesinan atau pengamplasan permukaan dapat memperpanjang umur kelemahan suatu komponen. Hasil pemeriksaan ini bermanfaat dalam bidang perawatan mesin. Ketika bagian yang berputar dan menerima beban lemah dirawat atau didukung dengan baik, disarankan untuk menghaluskan permukaan untuk mencegah kerusakan awal dan kerusakan kecil pada struktur tersebut. Setelah menyelesaikan pengujian, diketahui hubungan antara siklus putaran dan beban terhadap kekuatan material pada pengujian kelemahan puntir. Informasi dari hasil pengujian menyatakan bahwa:

- a) Jumlah siklus putaran terbesar adalah 15085,9 dengan beban 9,81 N dan jumlah siklus putaran paling minimal adalah 2199,28 dengan beban 2,34 N pada material St 37. Pada material St 40, jumlah siklus putaran terendah adalah 2080,4 dengan beban 29,43 N, sedangkan jumlah siklus putaran tertinggi adalah 6954,48 dengan beban 9,81 N.
- b) Contoh 1 menunjukkan tekanan kenaikan terbesar yaitu 2,34 N/mm² dengan variasi pola sebesar 2080,4 dan tekanan terkecil sebesar 0,34 N/mm² dengan variasi pola sebesar 6954,48. Untuk contoh kedua, tekanan tertinggi sebesar 2,34 N/mm² dengan jumlah siklus sebesar 2199,28 dan tekanan terkecil sebesar 0,34 N/mm² dengan jumlah siklus sebesar 15085,93.
- c) Bahan uji menggunakan baja St 37 dengan nilai kekerasan (HRC) sebesar 40,98 yang memiliki jenis patah lebih lemah dibandingkan baja St 40 dengan nilai kekerasan (HRC) 39,90 yang memiliki retak lebih lunak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian Fatik

Data hasil pengujian diperoleh setelah dilakukannya pengujian kelelahan di fasilitas Penelitian Material Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dengan menggunakan Mesin Uji *Repeated Torsion and Bending Fatigue Testing Machine*.

Tabel 4.1 Data hasil pengujian *fatigue*

Sampel	Sudut Lendutan	Waktu Fatik (Detik)
Sampel 1	1°	2700
Sampel 2	2°	1680
Sampel 3	3°	600

Setelah mengetahui data dari pengujian fatik, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui siklus dan tegangan yang terjadi pada Baja ASTM A-36 berdasarkan sudut yang telah ditentukan. Spesifikasi mesin uji fatik dilaboratorium Material Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya yaitu:

$$N = t \times n \quad 4.1$$

4.1.1 Perhitungan Siklus

Untuk siklus pada speimen dengan pembebanan sudut 1°

$$N = \text{Waktu fatik (menit)} \times \text{Putaran (rpm)}$$

$$N = 45 \text{ (menit)} \times 3000 \text{ rpm}$$

$$N = 135000 \text{ siklus}$$

Untuk siklus pada spesimen dengan pembebanan sudut 2°

$$N = \text{Waktu fatik (menit)} \times \text{Putaran (rpm)}$$

$$N = 28 \text{ (menit)} \times 3000 \text{ rpm}$$

$$N = 84000 \text{ siklus}$$

Untuk siklus pada spesimen dengan pembebanan sudut 3°

$$N = \text{Waktu fatik (menit)} \times \text{Putaran (rpm)}$$

$$N = 10 \text{ (menit)} \times 3000 \text{ rpm}$$

$$N = 30000 \text{ siklus}$$

Jadi untuk nilai siklus pengujian *fatigue* Baja ASTM A-36 pada sudut lengkung 1° spesimen yang patah *fatigue* dalam rentang waktu 45 menit atau 2700 detik mendapatkan siklus sebesar 135000 siklus, pada sudut lengkung 2° spesimen yang patah *fatigue* dalam rentang waktu 28 menit atau 1680 detik mendapatkan siklus sebesar 84000 siklus, pada sudut lengkung 3° spesimen yang patah *fatigue* dalam rentang waktu 10 menit atau 600 detik mendapatkan siklus sebesar 30000 siklus. Untuk nilai siklus pada lengkungan 1° , 2° , dan 3° dihitung dengan persamaan yang sama.

4.1.2 Perhitungan Sudut

Sudut 1°

$$\theta = \frac{1\pi}{180} = 0,0174 \text{ rad}$$

Sudut 2°

$$\theta = \frac{2\pi}{180} = 0,0349 \text{ rad}$$

Sudut 3°

$$\theta = \frac{3\pi}{180} = 0,0523 \text{ rad}$$

4.1.3 Momen Lentur

Untuk menghitung tegangan bending, dihitung terlebih dahulu momen lentur menggunakan Persamaan 3.3.

$$M = \frac{\theta}{\theta_{maks}} \times r \quad 4.2$$

Di mana:

θ = Sudut pembebanan (°)

θ_{maks} = Pembebanan maksimum (15°)

r = *Repeating moment* (2 kgf.m = 19613,3 Nmm)

Sehingga momen lentur dari masing-masing sudut pembebanan untuk pengujian *fatigue* adalah sebagai berikut.

Momen lentur pada sudut 1°

$$M = \frac{1}{15} \times 19613,3 = 1307,55 \text{ Nmm}$$

Momen lentur pada sudut 2°

$$M = \frac{2}{15} \times 19613,3 = 2615,10 \text{ Nmm}$$

Momen lentur pada sudut 3°

$$M = \frac{3}{15} \times 19613,3 = 3992,66 \text{ Nmm}$$

4.1.4 Perhitungan Tegangan Bending (σ_b)

Berdasarkan nilai-nilai yang didapat dari perhitungan di atas, maka nilai pengujian *fatigue* pada baja ASTM A-36 ditunjukkan dalam Tabel 4.2. Dari hasil yang ditunjukkan bahwa semakin besar pembebanan sudut maka siklus patah semakin kecil. Hal ini dikarenakan tegangan kerja yang terjadi berbanding lurus dengan sudut yang diberikan pada pengujian ketahanan lelah/*fatigue*.

Perhitungan tegangan bending pada pengujian *fatigue* metode *repeated bending* menggunakan Persamaan 3.4.

$$\sigma_b = \frac{M \times y}{I} \quad 4.3$$

Di mana:

σ_b = Tegangan bending (MPa)

M = Momen lentur (Nmm)

y = Setengah dari ketebalan plat uji (1/2 t) (mm)

I = Momen inersia benda uji (mm⁴)

Momen inersia dapat dihitung melalui Persamaan 3.5.

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad 4.4$$

Di mana:

b = Lebar spesimen (mm)

h = Tinggi spesimen (mm)

Maka besarnya momen inersia pada spesimen pengujian *fatigue* JIS Z 2202 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} I &= \frac{30 \text{ mm} \times (5 \text{ mm})^3}{12} \\ &= 312,5 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Sehingga tegangan bending pada masing-masing sudut pembebanan adalah sebagai berikut:

Tegangan bending pada sudut 1°

$$\sigma_b = \frac{1307,55 \text{ Nmm} \times 2,5 \text{ mm}}{312,5 \text{ mm}^4} = 10,46 \text{ MPa}$$

Tegangan bending pada sudut 2°

$$\sigma_b = \frac{2615,10 \text{ Nmm} \times 2,5 \text{ mm}}{312,5 \text{ mm}^4} = 20,92 \text{ MPa}$$

Tegangan bending pada sudut 3°

$$\sigma_b = \frac{3992,66 \text{ Nmm} \times 2,5 \text{ mm}}{312,5 \text{ mm}^4} = 31,94 \text{ MPa}$$

4.2 Data Hasil Perhitungan Pengujian *Fatigue*

Data hasil perhitungan pengujian ini didapat setelah melakukan pengujian *fatigue* metode *repeated bending* di Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya. Menggunakan mesin *Repeated Torsion and Bending Fatigue Testing Mesin*.

Tabel 4.2 Hasil pengujian *fatigue* spesimen baja ASTM A-36

Sudut	Waktu (detik)	Putaran (rpm-rps)	Siklus	Tegangan (MPa)
1°	2700	3000-50	135000	10,46
2°	1680	3000-50	84000	20,92
3°	600	3000-50	30000	31,94

Berdasarkan hasil dari data perhitungan pengujian *fatigue* yang telah didapat pada pengujian spesimen Baja ASTM A-36 yang memiliki nilai siklus tertinggi yaitu pada spesimen dengan sudut 1° yang patah *fatigue* dalam rentang waktu 45 menit atau 2700 detik dengan kecepatan putaran 3000 rpm mendapatkan siklus sebesar 135000 siklus dan tegangan 10,46 MPa, sedangkan pada spesimen dengan sudut 2° yang patah *fatigue* dalam rentang waktu 28 menit atau 1680 detik dengan kecepatan putaran 3000 rpm mendapatkan siklus sebesar 84000 siklus dan tegangan 20,92 MPa, serta nilai siklus terendah terdapat pada spesimen dengan sudut 3° yang

patah *fatigue* dalam rentang waktu 10 menit atau 600 detik dengan kecepatan putaran 3000 rpm mendapatkan siklus sebesar 30000 siklus dan tegangan 31,94 MPa.

Hasil pengujian *fatigue* pada masing-masing spesimen yang mempunyai variasi sudut pembebanan didapatkan hasil siklus dan tegangan yang kemudian dirumuskan ke dalam kurva S-N pengujian *fatigue* sehingga dapat dilihat batas lelah dari spesimen tersebut. Kurva S-N pada pengujian *fatigue* ASTM A-36 ditunjukkan pada Gambar 4.3.

4.3 Kurva S-N

Dari data hasil perhitungan pengujian *fatigue* atau patah lelah yang telah dilakukan diketahui Siklus yang terjadi (N) dan Tegangan (N/mm^2) untuk masing-masing spesimen, kemudian data diplot kedalam kurva S-N pengujian *fatigue* untuk mengetahui batas lelah kekuatan material.

Dari kurva S-N hasil perhitungan pengujian *fatigue* atau lelah pada Baja ASTM A-36, dapat dilihat perbandingan antara siklus dengan tegangan. Pada grafik Kurva S-N tersebut:

Garis warna merah dengan tegangan 31,94 MPa mendapatkan 30.000 siklus. Garis warna hijau dengan tegangan 20,92 MPa mendapatkan 84.000 siklus, yang lebih besar daripada garis merah. Garis warna biru dengan tegangan 10,64 MPa mendapatkan siklus paling tinggi, yaitu 135.000 siklus.

Jadi, semakin kecil tegangan yang diberikan pada specimen, semakin besar jumlah siklus yang didapat. Sebaliknya, semakin besar tegangan yang diberikan pada specimen, semakin kecil jumlah siklus yang didapat.

4.4 Pengamatan Visual Permukaan Patah Pengujian *Fatigue*

Kualitas permukaan pecah dari contoh uji kelelahan yang memanfaatkan strategi membungkuk terus dengan perubahan titik susun 1° , 2° dan 3° dalam ulasan ini ditampilkan pada Gambar 4.3 hingga 4.5.

Callister dan Rethwisch (2008) memahami bahwa permukaan patahan terdiri dari tiga fase, yaitu tahap nukleasi patahan, tahap wilayah, dan tahap retakan terakhir. Permukaan retakan yang mengalami keausan digambarkan dengan permukaan yang rata dan halus, sedangkan permukaan retakan terakhir, yaitu retakan statis, digambarkan dengan bentuk retakan yang terpelintir secara plastis.

Pengujian kelelahan strategi memutar lanjutan dalam tinjauan ini menggunakan mesin dengan proporsi tekanan yang setara dengan tidak ada apa pun. Hal ini terlihat dari perkembangan contoh balok besi yang bergerak ke bawah (posisi negatif) menuju posisi tidak bias (nol).

Chandra (2023) menyatakan bahwa dengan asumsi penilaian permukaan pecahnya kelelahan sebagai persepsi struktur skala penuh tidak terlalu jelas, maka atribut retakan keausan sebagai jejak sisi laut diperoleh dengan asumsi pengujian diselesaikan dalam kondisi di mana proporsi tekanan setara dengan tidak ada. ($R = 0$) sedangkan jejak sisi laut akan terlihat lebih jelas dengan asumsi uji kelemahan telah dilakukan. pada proporsi tegangan $R = -1$. Namun hal ini tidak mengurangi indikasi permukaan patah lelah yang telah disebutkan sebelumnya.

Pada Gambar 4.3 dengan pembebanan sudut 1° perambatan retak tampak lebih luas karena tegangan dan pembebanan sudut yang lebih kecil sehingga jumlah siklus yang dihasilkan akan lebih besar dan perambatan retak akan lebih lama, sedangkan pada Gambar 4.5 dengan pembebanan sudut 3° menghasilkan nilai siklus terkecil yang mengakibatkan perambatan retak berlangsung cepat sehingga perambatan retaknya lebih sedikit.

4.5 Analisis Hasil Data dan Pembahasan

Hasil yang diperoleh pada pengujian *fatigue*, semakin besar pembebanan sudut maka didapatkan nilai siklus yang ²⁴semakin besar. Hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian *fatigue* pada pembebanan sudut 1° yang patah *fatigue* dalam rentang waktu 45 menit atau 2700 detik dengan kecepatan putaran 3000 rpm mendapatkan siklus sebesar 135000 siklus dan tegangan 10,46 MPa, sedangkan pada spesimen dengan sudut 2° yang patah *fatigue* dalam rentang waktu 28 menit atau 1680 detik dengan kecepatan putaran 3000 rpm mendapatkan siklus sebesar 84000 siklus dan tegangan 20,92 MPa, serta nilai siklus terendah terdapat pada

spesimen dengan sudut 3° yang patah *fatigue* dalam rentang waktu 10 menit atau 600 detik dengan kecepatan putaran 3000 rpm mendapatkan siklus sebesar 30000 siklus dan tegangan 31,94 MPa. Dari hasil pengamatan makro pada spesimen baja ASTM A – 36Pola ² perpatahan spesimen pada pembebanan dengan sudut yang berbeda memang menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam proses kegagalan. Umumnya, proses kegagalan pada *fatigue* terbagi menjadi tiga tahap utama: inisiasi retak, perambatan retak, dan akhirnya patah akhir.

1. **Awal Retak (Inisiasi Retak):** Pada awal retak, terdapat perbedaan signifikan tergantung pada sudut pembebanan. Misalnya, pada sudut 1° , area inisiasi retak umumnya lebih kecil karena siklus pertama merupakan siklus terbesar, yang dapat memicu retakan awal secara lebih dramatis.
2. **Perambatan Retak:** Selanjutnya, proses perambatan retak dapat berbeda tergantung pada sudut pembebanan. Pada sudut 2° , wilayah perambatan retak mungkin lebih kecil dan lebih terfokus, sementara pada sudut 3° , wilayah ini dapat sedikit lebih luas karena dampak getaran dan tumpukan yang lebih besar pada spesimen.
3. **Patah Akhir:** Pada tahap akhir, daerah retakan terakhir akan menjadi lebih luas dengan sudut pembebanan yang lebih besar. Ini karena spesimen mungkin mengalami kelelahan lebih cepat dan patah pada saat yang lebih dini akibat tegangan yang diterapkan.

Dengan demikian, sudut pembebanan yang berbeda dapat mempengaruhi tidak hanya lokasi inisiasi retak tetapi juga pola perambatan retak dan akhirnya patah akhir spesimen. Pengetahuan ini penting untuk memahami karakteristik kelelahan material pada berbagai kondisi pembebanan dan dapat membantu dalam merancang konstruksi yang lebih tahan lama dan aman dari kerusakan akibat *fatigue*.

Berdasarkan pengamatan hasil pada pengujian faktografi menggunakan *Scanning Electron Magnetic (SEM)* pada spesimen baja ASTM A – 36 dengan pembesaran 50x pada *Initial crack* terjadi pembentukan pola yang beraturan pada spesimen sudut 1° diikuti juga dengan spesimen sudut 2° , dan 3° . Dengan pembesaran 500x pada spesimen dengan sudut 1° , 2° , dan 3° perambatan retak

dapat dilihat dari tanda striasi yang dihasilkan pada permukaan patahan yang menunjukkan pertumbuhan retak fatik secara bertahap dengan bantuan *Scanning Electron Microscope (SEM)*.

Gambar 4.7: Pada perambatan retak permukaan dengan sudut 1° , permukaan terdiri dari ferrit (berwarna putih) dan pearlite (berwarna hitam). Fase austenit pada pembesaran 500x menunjukkan bahwa matriks yang dominan adalah pearlite.

Gambar 4.9: Pada perambatan retak permukaan dengan sudut 2° , ditemukan grafit yang cenderung halus mengikuti pola pearlite. Terdapat sedikit sementit yang hadir pada ferrit (berwarna putih) dan pearlite (berwarna hitam). Struktur mikro menunjukkan dominasi pearlite, yang menghasilkan kombinasi pearlite halus dan kasar serta garis butir di sekitarnya.

Gambar 4.11: Pada perambatan retak permukaan dengan sudut 3° , terlihat grafit yang berbentuk membulat dikelilingi oleh fasa ferrit dan pearlite. Jumlah grafit yang terbentuk hanya sedikit. Fasa pearlite sangat mendominasi, dengan kombinasi pearlite kasar dan halus.

Kesimpulannya, pengamatan dengan SEM pada berbagai sudut perambatan retak menunjukkan variasi dalam struktur mikro material, terutama dalam hal distribusi ferrit, pearlite, dan grafit, yang sangat mempengaruhi karakteristik retakan dan kekuatan material.

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian hasil pengujian dan pemeriksaan yang dilakukan pada penelitian ini, dapat menghasilkan beberapa kesimpulan berikut:

1. Semakin besar pembebanan sudut maka tegangan yang dihasilkan semakin besar, sedangkan siklus yang dihasilkan akan semakin kecil. Dapat dilihat dari struktur makro yang didapat, pola yang dihasilkan dari setiap spesimen memiliki pola yang berbeda.
2. Setelah melakukan pengujian pada spesimen Baja ASTM A - 36, model kegagalan yang terjadi yaitu kegagalan *fatigue* atau spesimen mengalami kelelahan karena fluktuasi beban dinamis yang berulang-ulang, yang ditandai dengan adanya *initial crack*, perambatan retak yang lambat dan daerah patah mendadak di area patah akhir pada pengamatan *Scanning Electron Microscope (SEM)*.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya diharapkan agar memberikan perlakuan panas pada spesimen sebelum diuji agar dapat dilihat perbedaan hasil daripada pengujian.

ANALISA_PERMUKAAN_PATAH_LELAH_PADA_MATERIAL_BA... 36_MENGGUNAKAN_SCANNING_ELECTRON_MICROSCOPE...

ORIGINALITY REPORT

14%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	ojs.ummetro.ac.id Internet	168 words — 3%
2	repository.unsri.ac.id Internet	78 words — 2%
3	repository.its.ac.id Internet	55 words — 1%
4	fdocumenti.com Internet	48 words — 1%
5	e-journal.urecol.org Internet	45 words — 1%
6	jurnal.ubl.ac.id Internet	40 words — 1%
7	etd.repository.ugm.ac.id Internet	28 words — 1%
8	eprints.umm.ac.id Internet	26 words — 1%
9	docplayer.info Internet	18 words — < 1%

10	repository.unisma.ac.id Internet	17 words — < 1%
11	pt.scribd.com Internet	16 words — < 1%
12	123dok.com Internet	14 words — < 1%
13	text-id.123dok.com Internet	14 words — < 1%
14	cevin-taziex.blogspot.com Internet	11 words — < 1%
15	repository.upnjatim.ac.id Internet	11 words — < 1%
16	www.slideshare.net Internet	11 words — < 1%
17	ejournal.itn.ac.id Internet	10 words — < 1%
18	erepo.unud.ac.id Internet	10 words — < 1%
19	mafiadoc.com Internet	10 words — < 1%
20	mechajtm.org Internet	10 words — < 1%
21	pdffox.com Internet	10 words — < 1%

pdfslide.net

- 22 Internet 10 words — < 1%
-
- 23 vdocuments.net Internet 9 words — < 1%
-
- 24 www.scribd.com Internet 9 words — < 1%
-
- 25 Bachry Fahmiansyah. "Pengaruh Rasio Geometri Alur Pasak Poros Terhadap Kegagalan Fatigue", Machine : Jurnal Teknik Mesin, 2022 Crossref 7 words — < 1%
-
- 26 Pramuko Ilmu Purboputro, Patna Partono, Radix Ekaputra. "The analysis of carbon carburizing of ST 60 steel with 80 mesh due to hardness and microstructure", JTTM : Jurnal Terapan Teknik Mesin, 2022 Crossref 7 words — < 1%
-
- 27 Restyarno Agung Nugroho, Priyo Tri Iswanto. "Analisis Kegagalan Pada Komponen Poros Pompa Industri", Proceedings Series on Physical & Formal Sciences, 2021 Crossref 6 words — < 1%
-
- 28 Wahyono Wahyono, Eko Nugroho, Sulis Dri Handono, Eko Budiyanto. "Analisa uji ketahanan fatigue Aluminium scrap hasil remelting sepatu rem (brake shoe) terhadap variasi beban menggunakan tipe rotary bending", ARMATUR : Artikel Teknik Mesin & Manufaktur, 2020 Crossref 6 words — < 1%

