

**PENGUJIAN KEKUATAN LELAH BAJA TAHAN KARAT AISI 304
MENGUNAKAN ALAT UJI LELAH TIPE *CANTILEVER*
*ROTATING BENDING***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagai Dari Syarat-syarat yang Diperlukan Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Universitas Teuku Umar

Disusun Oleh :

A Z H A R

NIM : 07C10202028
JURUSAN : TEKNIK MESIN
BIDANG : TEKNIK PEMBENTUKAN DAN MATERIAL



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TEUKU UMAR
ALUE PEUNYARENG – ACEH BARAT
TAHUN 2014**

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Rancang bangun alat penelitian perlu dibuat salah satunya adalah alat pengujian lelah (*fatigue testing*) untuk menunjang penelitian yang berhubungan dengan kegagalan yang disebabkan oleh beban berulang (dinamis), maka kekuatan lelahnya (*fatigue strenght*) perlu diperhitungkan agar komponen-komponen pada suatu kontruksi atau mesin tidak mengalami kegagalan akibat kesalahan desain, oleh karena itu desain dari segi kekuatan lelah harus diperhitungkan seperti perencanaan pada poros kendaraan roda 2, kendaraan roda 4, poros mesin-mesin industri, poros propeler kapal dan perahu nelayan.

Perancangan alat uji lelah tipe *cantilever rotating bending* telah dibuat [1], dengan bagian-bagian mesin Kerangka, Motor Listrik, Poros, Collet, Bearing atau Bantalan, Counter Hours, Pemberat Beban, Baut dan Mur. Proses Pembuatan dan perakitan telah dilakukan menurut spesifikasi desain yang telah ditentukan, uji kelayakan pakai alat ini dilakukan dengan pengujian lelah pada material poros baja tahan karat AISI 304 dan semua komponen telah berfungsi dengan baik [2]. Dengan telah selesainya pembuatan alat pengujian lelah ini, sebelum alat uji ini digunakan secara umum, maka perlu dilakukan tahapan pengujian dan analisa hasil pengujian lelah dalam bentuk kurva S-N.

Pada penelitian ini lakukan tahapan proses pengujian, analisa hasil pengujian dan pengamatan pola patahan spesimen material baja tahan karat AISI 304 dalam lingkungan udara.

1.2. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatas untuk tahapan cara penggunaan alat uji untuk proses pengujian, analisa hasil pengujian dalam bentuk kurva S-N dan pengamatan pola patahan terhadap deformasi yang terjadi pada permukaan patahan material AISI 304 menggunakan alat uji lelah tipe cantilever rotating bending

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian pengujian kekuatan lelah baja tahan karat AISI 304 menggunakan alat uji lelah tipe cantilever rotating bending adalah :

- 1). Mempublikasikan cara penggunaan alat uji lelah tipe cantilever rotating bending yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya.
- 2). Pengujian lelah material baja tahan karat AISI 304 dengan menggunakan alat uji lelah tipe cantilever rotating bending sehingga menghasilkan kurva S-N.
- 3). Pengamatan pola patahan terhadap deformasi yang terjadi pada permukaan patahan spesimen baja tahan karat AISI 304, sehingga diketahui pengaruh pembebanan terhadap pola patahan.

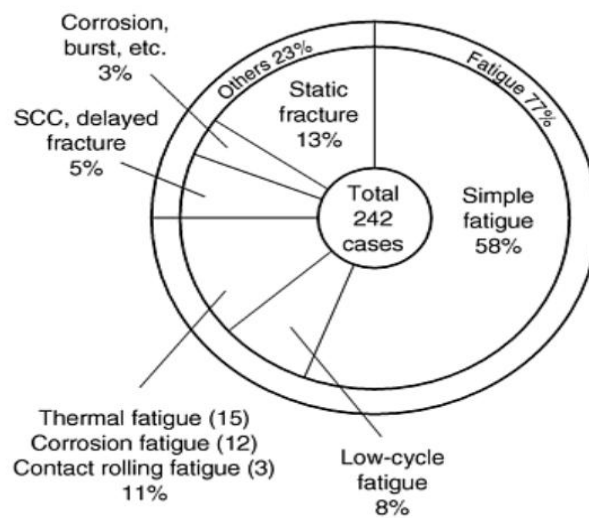
1.4. Manfaat Penelitian

Dengan selesainya penelitian ini diharapkan alat uji lelah tipe cantilever rotating bending ini dapat digunakan oleh peneliti yang lain dengan baik, karena cara penggunaan alat uji ini telah dipublikasikan dan juga dapat diketahui sifat lelah material baja tahan karat AISI 304.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Kelelahan (*Fatigue*) adalah salah satu jenis kegagalan pada komponen akibat beban dinamis (pembebanan yang berulang-ulang atau berubah-ubah). Diperkirakan 50%-90% (Gambar.2.1) kegagalan mekanis adalah disebabkan oleh kelelahan [3].



Gambar 2.1. Distribusi Mode Kegagalan
(Sumber : ASM Vol. 19 Fatigue And Fracture, 1997 hal. 1099)

Fenomena kelelahan logam mulai timbul pada pertengahan abad ke-19 yaitu dengan seringnya terjadi patah pada komponen kereta api dimasa itu [3]:

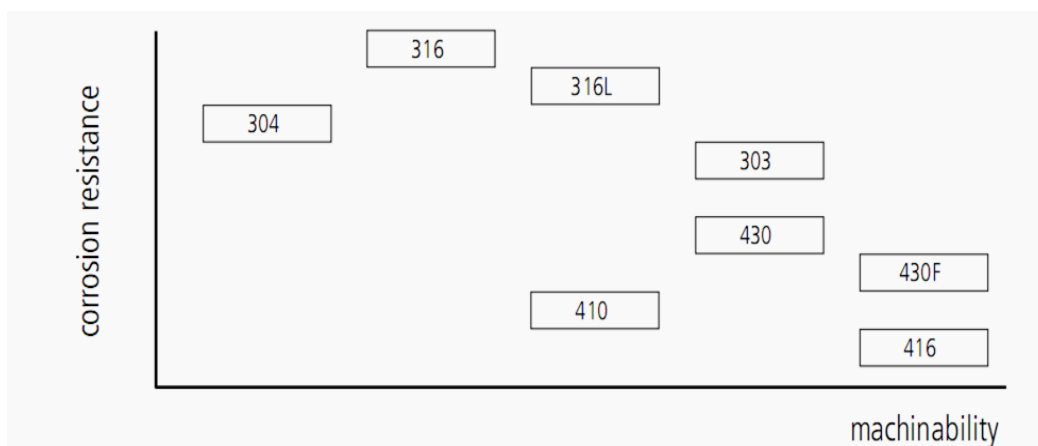
1. Di Versailles (Paris), 1944, menewaskan 40-80 penumpang, akibat patah poros roda.
2. 20 April 1887, 3 orang tewas dan 2 terluka, akibat patah draw bar.
3. 27 Mei 1887, 6 orang tewas, akibat patah roda.

4. 23 Juni 1887, 1 orang tewas, akibat patah rel.
5. 2 Juli 1887, Kecelakaan paling serius, akibat patah poros roda.

2.1. Baja Tahan Karat Austenitik

AISI 304 adalah jenis baja tahan karat austenitik, unsur pembentuk utamanya besi, karbon sangat rendah 0,015-0,15%, khromium berkisar 16,0-28,0% dan nikel 6,0-32,0%. Memiliki ketahanan korosi yang baik karena mengandung unsur kromium yang memiliki karakteristik khusus yaitu membentuk lapisan kromium oksida (Cr_2O_3) jika bereaksi dengan oksigen, jika lapisan ini rusak maka secara spontan akan terbentuk lapisan baru jika kondisi lingkungan mengandung cukup oksigen [4,5].

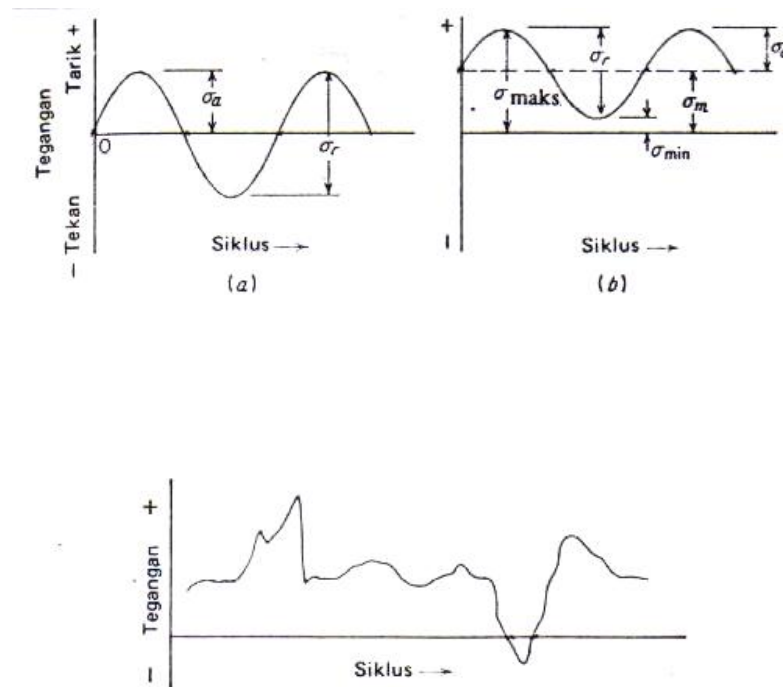
Memiliki sifat mekanik, mampu las, ketahanan korosi dan proses pemesinan yang baik membuat golongan austenitik terutama AISI 304 menjadi material baja tahan karat yang banyak digunakan dalam dunia industri. Gambar 2.2. Secara umum memperlihatkan rasio ketahanan korosi dan pemesinan baja tahan karat austenitik AISI 304 [4,5].



Gambar 2.2 Ketahanan korosi dan rasio pemesinan baja tahan karat austenitik
Sumber : Dumenico Surpi, 2011

2.2. Siklus Tegangan

Definisi singkat mengenai tegangan berfluktuasi yang dapat menyebabkan kelelahan terlihat pada gambar jenis-jenis siklus tegangan yang dapat menyebabkan kelelahan (Gambar 2.3) [6,7,8].



Gambar 2.3. Siklus tegangan lelah.

- (a) Tegangan bolak balik;
- (b) Tegangan berulang;
- (c) Tegangan acak atau tak teratur.

Sumber : George E. Dieter, 1992

Gambar 2.3.a menggambarkan suatu siklus bolak balik yang berbentuk sinusoidal adalah keadaan ideal yang dihasilkan oleh mesin uji lelah tipe *rotating*

bending R.R Moore dan dianggap sebagai putaran poros dengan kecepatan konstan tanpa beban lebih. Untuk tipe ini, tegangan maksimum dan minimum sama besarnya, dimana tegangan minimum adalah tegangan terendah pada suatu siklus. Tegangan tarik dianggap positif dan tegangan tekan dianggap negatif.

Gambar 2.3.b menggambarkan suatu siklus tegangan berulang, dengan tegangan maksimum σ_{maks} dan tegangan minimum σ_{min} tidak sama. Keduanya adalah tegangan tarik.

Gambar 2.3.c menggambarkan suatu siklus tegangan yang acak atau tak teratur, yang mungkin terdapat pada suatu bagian tertentu, seperti pada sayap pesawat yang menerima beban berlebih periodik yang tak terduga besarnya disebabkan oleh hembusan udara yang keras.

Siklus tegangan berfluktuasi dapat dipertimbangkan terhadap dua komponen, yaitu tegangan rata-rata (*mean stress*, σ_m) dan tegangan bolak-balik (*stress amplitude*, σ_a). Kita juga harus mempertimbangkan batas tegangan (*stress range*, σ_r) seperti terlihat pada Gambar 2.3.b, batas tegangan (σ_r) adalah selisih antara tegangan maksimum dan minimum dalam suatu siklus [6,7,8].

$$\sigma_r = \sigma_{maks} - \sigma_{min} \dots \dots \dots 2-1$$

Tegangan bolak – balik (σ_a) adalah setengah dari batas tegangan :

$$\sigma_a = \frac{\sigma_r}{2} = \frac{\sigma_{mak} - \sigma_{min}}{2} \dots \dots \dots 2-2$$

Tegangan rata-rata (σ_m) adalah nilai rata-rata dari tegangan maksimum dan minimum dalam suatu siklus :

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{mak} + \sigma_{min}}{2} \dots\dots\dots 2-3$$

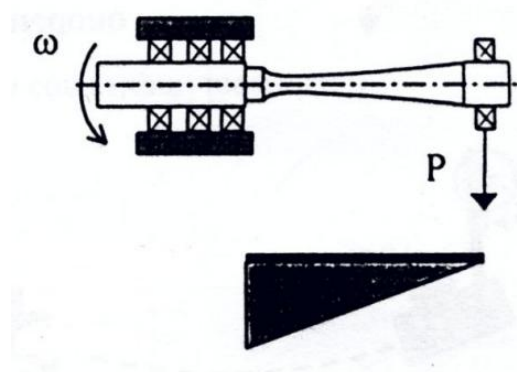
Besaran lain yang dapat digunakan dalam presentasi data adalah rasio tegangan (R) dan rasio amplitude (A) :

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{mak}} \dots\dots\dots 2.4$$

$$A = \frac{\sigma_a}{\sigma_m} = \frac{1-R}{1+R} \dots\dots\dots 2.5$$

2.1. Tegangan Lentur Alat Uji Lelah Tipe Cantilever Rotating Bending

Pengintian pertumbuhan retakan dan penampilan permukaan dari perpatahan tergantung pada bentuk benda uji dan jenis pembebanan yang ada. Penggunaan teknik ini sering dijumpai pada poros propeller, poros roda gigi atau poros kendaraan bermotor dan lain-lain. Pada pengujian lelah cantilever rotating bending untuk bentuk benda uji seperti ini, tegangan maksimum yang bekerja berada pada daerah L lihat Gambar 2.4.[9,10]



Momen Bending
Triangular

Gambar 2.4. Bentuk tegangan maksimum yang bekerja pada
Pengujian lelah cantilever rotary bending
Sumber : K.K. Alaneme, 2011

Dari hasil pengujian ini akan diperoleh informasi mengenai kekuatan lelah dari bahan, dan pada benda uji yang berputar diberikan beban di ujung spesimen maka akan terjadi momen lentur sebesar (M). Tegangan lentur yang terjadi pada permukaan bahan dapat ditentukan dengan menggunakan momen inersia dan jarak melintang benda uji dengan persamaan sebagai berikut [9,10] :

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$M = WL \dots\dots\dots (2.2)$$

$$y = \frac{d}{2} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$I = \frac{\pi.d^4}{64} \dots\dots\dots (2.4)$$

Maka akan diperoleh

$$\sigma = \frac{32WL}{\pi.d^3} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana : σ = Tegangan lentur (kg/cm²)

M = Momen Lentur (Kg.cm)

y = jarak dari titik pusat ke permukaan spesimen (cm)

d = Diameter benda uji (cm)

I = Momen Inersia (cm⁴)

W = Beban yang digunakan (kg)

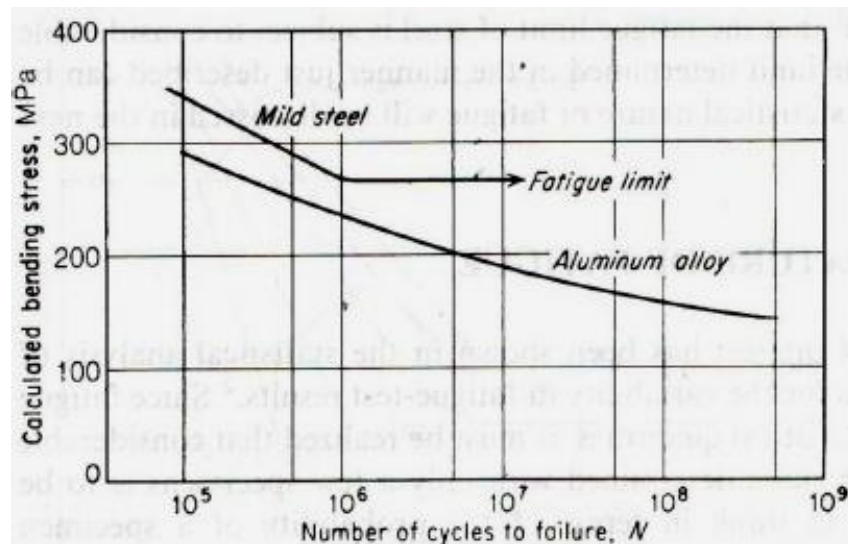
L = Jarak antara beban dan titik area pengujian (cm)

2.3. Kurva S-N

Metode dasar untuk penyajian data kelelahan adalah menggunakan kurva S-N, yaitu pemetaan tegangan (S) terhadap jumlah siklus hingga terjadi kegagalan (N). Nilai tegangan yang diplot dapat berupa nilai tegangan maksimum, minimum atau nilai rata-rata [6,7,8].

Gambar 2.5. menunjukkan kurva kelelahan untuk logam besi dan bukan besi (*non ferrous*). Siklus S-N yang melampaui batas lelah ($N > 10^7$), baja dianggap mempunyai umur yang tak berhingga atau kegagalan diprediksi tidak

akan terjadi, sedangkan untuk logam bukan besi tidak terdapat batas lelah yang signifikan dengan kurva S-N dengan gradien yang turun sedikit demi sedikit sejalan dengan bertambahnya jumlah siklus.



Gambar 2.5. Kurva kelelahan untuk logam besi dan bukan besi
Sumber : George E. Dieter, 1992

Kekuatan lelah atau batas lelah (*endurance limit*, S_e) adalah tegangan yang memberikan umur tak berhingga. Tegangan dibawah batas lelah akan menyebabkan logam aman terhadap kelelahan, hal ini disebabkan karena gerakan dislokasinya akan terhambat oleh atom-atom asing sehingga tidak akan menghasilkan PSB (*Presistant Slip Band*) [7,8].

2.4. Kekuatan Lelah

Kegagalan yang terjadi pada keadaan beban dinamik dinamakan kegagalan lelah (*fatigue failures*). Pada umumnya kegagalan tersebut hanya terjadi setelah periode pemakaian yang cukup lama, dimana semuanya mengalami

beban berulang dan getaran. Kegagalan lelah adalah hal yang sangat berbahaya karena terjadi tanpa adanya peringatan awal [6,7,8].

Selain variabel tegangan yang mempengaruhi umur lelah dari suatu logam maka ada juga variabel lain seperti [6,7,8,12] :

a. Ukuran benda uji.

Ukuran penampang benda uji juga mempengaruhi kekuatan lelah. Untuk benda uji dengan ukuran penampang besar kekuatan patah lelahnya lebih rendah bila dibandingkan dengan benda uji yang mempunyai penampang kecil. Perubahan ukuran benda uji biasanya mengakibatkan adanya variasi dalam dua faktor. Pertama, penambahan diameter menyebabkan adanya penambahan volume atau luas penampang benda uji dan perubahan luas penampang merupakan hal yang sangat penting, karena biasanya kegagalan lelah mulai terjadi pada permukaan . Kedua, untuk benda uji tak bertakik dan bertakik yang diberi beban lentur atau beban torsi, penambahan diameter biasanya menurunkan gradien tegangan disepanjang diameter dan menambah volume bahan yang mengalami tegangan tinggi.

b. Variabel metalurgi.

Patah lelah juga dipengaruhi oleh karakteristik metalurgi seperti komposisi kimia, inklusi, porositi dan keadaan butir.

c. Korosi.

Serangan korosi pada suatu logam tanpa adanya beban atau tegangan, biasanya mengakibatkan adanya *pit* pada permukaan logam tersebut.

Pit ini akan bertindak sebagai takik dan menyebabkan pengurangan besarnya kekuatan lelah. Jika serangan korosi terjadi secara serentak dan bersamaan dengan pembebanan lelah maka efek kerusakan jauh lebih besar bila dibandingkan dengan efek takik. Selain itu pengamatan dengan bantuan mikroskop menunjukkan bahwa pengaruh lingkungan terhadap perambatan retak lebih besar dari pada pengaruh lingkungan terhadap inisiasi retak.

d. Keausan.

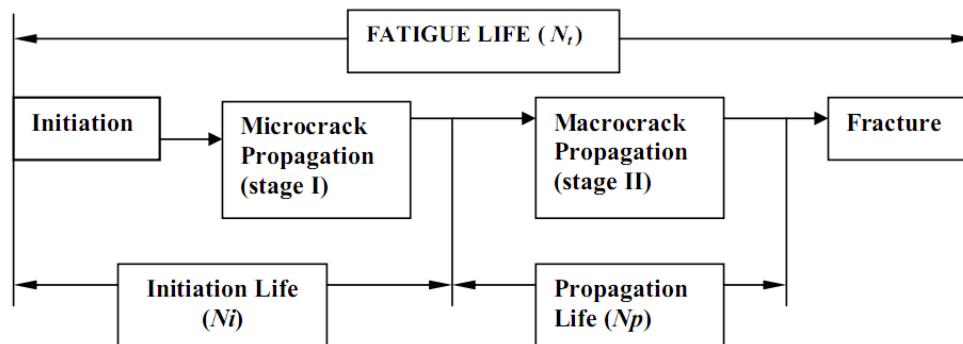
Kerusakan permukaan yang terjadi apabila dua buah permukaan logam saling bersentuhan pada waktu tertentu. Patah lebih sering dimulai pada bekas gesekan tersebut, keausan dapat mengurangi dimensi dan terkonsentrasinya tegangan pada bekas gesekan.

e. Kekasaran permukaan.

Kekasaran permukaan logam biasanya terjadi akibat proses pemesinan, oleh sebab itu pengerjaan permukaan penting untuk ketahanan material terhadap pembebanan dinamis. Pada pengujian dinamis kekuatan patah lelah dari material akan turun dengan adanya goresan-goresan yang semakin dalam karena akan terjadi konsentrasi tegangan disekitar daerah tersebut. Pada permukaan butir, slip jauh lebih mudah terjadi dari pada bagian dalam butir, karena lingkungan berhubungan langsung dengan permukaan. Pemasangan benda uji yang kurang sempurna akan menimbulkan tegangan yang lebih besar pada daerah permukaan, karena itu setiap perubahan pada sifat permukaan akan berubah pula kekuatan lelah bahan.

2.5. Mekanisme Kegagalan Lelah

Kelelahan akan mengakibatkan terjadinya patah lelah. Patah lelah terjadi melalui tiga tahapan, yaitu tahap retak awal (*crack initiation*), tahap penjalaran retak (*crack propagation*), dan tahap patah statis. Setelah retak lelah merambat cukup jauh, maka beban yang bekerja hanya akan didukung oleh penampang tersisa yang belum retak dan akhirnya komponen akan patah (tahap *final failure* atau patah statik) [7,8,11], seperti yang terlihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Fase-fase kegagalan lelah (fatigue)
Sumber : Celalettin, 2002

Tahapan pembentukan retak awal dan penjalaran retakan dalam mekanisme kelelahan logam, membutuhkan waktu sehingga umur lelah dari komponen atau logam, ditentukan dari kedua tahap (Gambar.2.6) tersebut (total *fatigue life*, $N_T = \text{fatigue initiation}, N_i + \text{fatigue propagation}, N_p$) [7,11].

Tanda *ratchet* (*ratchet marks*) menjalar kearah radial dan merupakan tanda penjalaran retakan yang terjadi bilateral dapat lebih dari satu lokasi awal retak, *ratchet marks* ini merupakan pertemuan *beach marks* dari satu lokasi awal retak dengan *beach marks* dari lokasi lainnya [7,11].

Tanda garis-garis pantai (*beach marks*) yang merupakan tanda penjalaran retakan, mengarah tegak lurus dengan tegangan tarik dan setelah menjalar sedemikian hingga penampang yang tersisa tidak mampu lagi menahan beban yang bekerja, maka akhirnya terjadilah patah akhir. Luas daerah antara tahap penjalaran retakan dan tahap patah akhir secara kuantitatif dapat menunjukkan besarnya tegangan yang bekerja. Jika luas daerah tahap penjalaran retakan lebih besar daripada luas daerah patah akhir, maka tegangan yang bekerja relatif rendah, demikian sebaliknya. Tahap I terjadinya kelelahan logam yaitu tahap pembentukan awal retak, lebih mudah terjadi pada logam yang bersifat lunak dan ulet tetapi akan lebih sukar dalam tahap penjalaran retakannya (tahap II), artinya logam-logam ulet akan lebih tahan terhadap penjalaran retakan. Demikian sebaliknya, logam yang keras dan getas, akan lebih tahan terhadap pembentukan awal retak tetapi kurang tahan terhadap penjalaran retakan [11,12].

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

Penelitian di laksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar Meulaboh, dalam periode Januari sampai dengan Maret 2014

3.2. Bahan dan Ukuran Spesimen

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja tahan karat tipe AISI 304 dengan sifat fisik dan komposisi kimia pada Tabel 3.1 dan 3.2.

Tabel 3.1 Sifat fisik baja tahan karat AISI 304.

Modulus Elastisitas E (GPa)	Angka Poisson(n)	Densitas, ρ (Kg/m ³)	Spesific Heat (J/Kg.K)	Konduktivitas (W/mK)
197	0,3	40	500	16,2

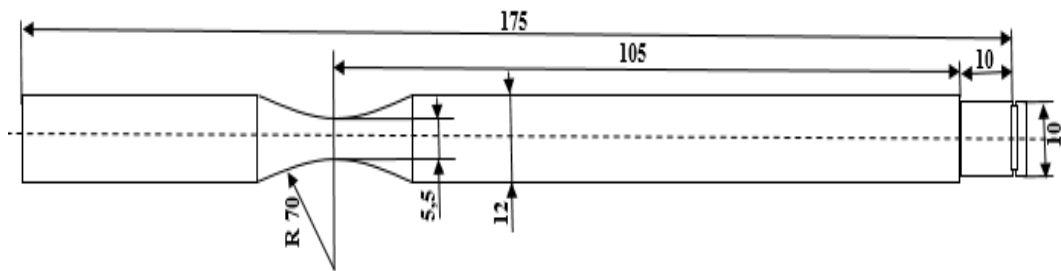
Sumber: www.matweb.com(2009)

Tabel 3.2. Komposisi kimia baja tahan karat AISI 304

Unsur	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Mo	N	dll
Min	-	-	-	18,0	8,0	-	-	-	0,16	-
Max	0,08	2,0	0,75	20,0	10,5	0,045	0,03		0,3	

Sumber : www.matweb.com (2009)

Ukuran spesimen uji lelah (*fatigue testing*) untuk menghasilkan kurva S-N, berdasarkan rekomendasi dari mesin uji lelah dan ASTM E466 (*Continuous Radius*) seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1.[13]



Gambar 3.1. Ukuran spesimen Uji lelah (*Continuous Radius*)

3.3. Peralatan Pengujian

3.3.1. Alat Uji Lelah Tipe Cantilever Rotary Bending

Alat uji yang digunakan untuk mengetahui kekuatan lelah dari spesimen adalah Mesin uji lelah tipe *cantilever rotating bending* yang dilengkapi dengan, *counter* untuk mengetahui siklus lelah spesimen, pengatur beban bending pada spesimen, poros tempat spesimen berputar dan menerima pembebanan dengan spesifikasi alat uji kapasitas beban maksimum 10,5 Kg, daya motor 1 HP, Frekuensi 50 Hz dan putaran mesin 2850 rpm dan rasio tegangan $R=-1$, peralatan uji lelah yang digunakan dalam penelitian ini terlihat pada Gambar 3.2.[2]



Gambar 3.2. Mesin uji lelah tipe *cantilever rotating bending*

3.3.2. Kamera DSLR FujiFilm S100FS

Pola patahan spesimen hasil pengujian di dokumentasikan dalam bentuk foto menggunakan kamera DSLR FujiFilm FinePix S100FS, dengan spesifikasi sensor kamera Super CCD HR 2/3 inci, efektif pixel 11,1 megapixel, lensa Fujinon 14,3 kali optical zoom. Bentuk fisik kamera terlihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. kamera DSLR FujiFilm FinePix S100FS

3.4. Pengujian Lelah Bahan dalam Lingkungan Udara

Penelitian dilaksanakan pada lingkungan udara, sedangkan faktor putaran dan getaran dikurangi semaksimal mungkin dengan pemasangan spesimen uji *center* pada poros. Pengaruh faktor permukaan spesimen uji diminimalkan dengan proses *grinding* dan *polishing*. Untuk mendapatkan kurva S-N pada lingkungan udara laboratorium Pemberian beban dimulai dari tingkat tertinggi 10Kg hingga tingkatan beban yang paling rendah dimana spesimen melebihi siklus 10^7 pada putaran mesin konstan 2.850 rpm, jumlah siklik spesimen uji dihitung dengan menggunakan *counter hour* hingga spesimen patah dan didapatkan 5 titik

pengukuran untuk lingkungan udara laboratorium (5 spesimen), jumlah spesimen dapat ditambah untuk mendapatkan data yang lebih akurat.

3.5. Variabel yang Diamati

Pengamatan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah hubungan beban terhadap siklus patah material baja tahan karat AISI 304. Data diolah dengan menggunakan program *excel* untuk mendapatkan hubungan pengaruh pembebanan terhadap siklus (Kurva S-N) pada lingkungan udara laboratorium

Rancangan percobaan untuk pengujian kekuatan lelah baja tahan karat AISI 304 dalam lingkungan udara laboratorium dapat dilihat dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Borang data hasil pengujian kekuatan lelah

No. Urut	No. Spesimen	Beban (Kgf)	Tegangan (Mpa)	Jumlah Siklus (N)	Keterangan
1					
2					
Dst					

3.6. Pengamatan Pola Patahan

Patahan permukaan spesimen didokumentasikan dengan menggunakan kamera DSLR FujiFilm FinePix S100FS, dan bentuk patahan permukaan dianalisa berdasarkan bentuk deformasi yang terjadi dipermukaan patahan spesimen.

BAB IV

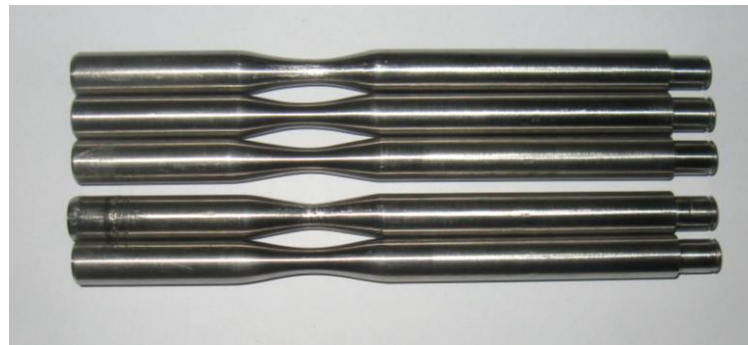
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Proses Pengujian Lelah

Pengujian lelah dengan menggunakan alat uji lelah tipe cantilever rotary bending dan spesimen baja tahan karat AISI 304, dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1). Persiapan spesimen uji

Spesimen yang akan digunakan pada pengujian alat uji lelah tipe cantilever rotary bending dibuat dengan cara dibubut sebanyak 4 buah, sesuai dengan ukuran spesifikasi yang telah ditentukan berdasarkan ASTM E-466. Hasil pembubutan spesimen seperti terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Spesimen pengujian alat uji lelah tipe cantilever rotary bending

2). Pemasangan spesimen pada alat uji lelah

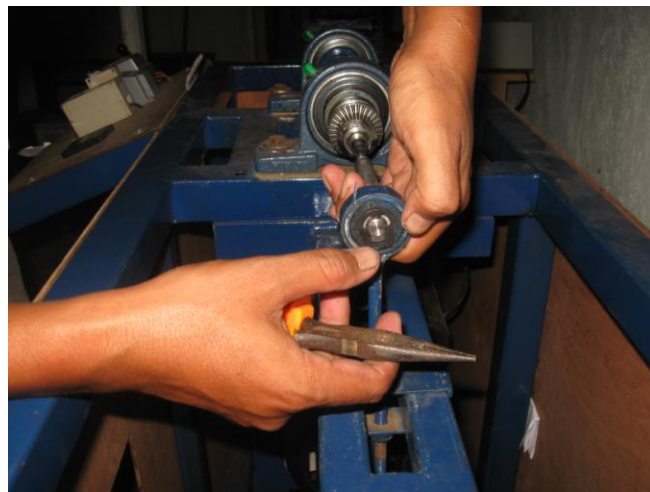
Pemasangan spesimen dilakukan pada pemegang spesimen (collet), dan setelah spesimen diletakkan kemudian dilanjutkan dengan mengunci mulut collet

sehingga spesimen tepat center pada posisi mulut collet, seperti terlihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Pemasangan Spesimen pada Collet

Kemudian dilanjutkan dengan pemasangan beban pada spesimen dengan cara menggantungkan beban pada ujung spesimen yang lainnya, selanjutnya ujung spesimen terhadap beban dikunci dengan menggunakan seklip pengunci, seperti terlihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Pemasangan Seklip Pengunci

3). Pemasangan Beban pada Spesimen

Pemberian beban pada spesimen dilakukan sesuai dengan tingkatan beban yang telah ditentukan yaitu 8 Kg, 6 Kg, 5Kg, 4Kg dan 3Kg, untuk mendapatkan kurva S-N hasil pengujian. Pemasangan beban pada alat uji lelah tipe cantilever rotary bending seperti terlihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Pemasangan beban pada spesimen

4). Menghidupkan alat uji lelah

Langkah terakhir adalah menghidupkan alat uji lelah dengan cara menekan tombol on/off pada alat uji, setelah terlebih dahulu dicek kebenaran dari semua langkah diatas, mesin dihidupkan hingga spesimen patah dan secara otomatis mesin akan berhenti sendiri jika spesimen patah dan jika spesimen tidak patah hingga putaran lebih dari 10^7 maka spesimen dikatakan aman dari kepatahan dan mesin dimatikan, langkah menghidupkan mesin uji lelah seperti terlihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Proses menghidupkan alat uji lelah

5). Pencatatan hasil proses pengujian

Hasil proses pengujian dicatatkan dalam tabel, sesuai dengan tabel yang telah disiapkan seperti terlihat pada Tabel 3.3. dan jika semua spesimen telah diuji maka proses pengujian selesai dan pengujian dapat ditambah untuk mendapatkan hasil pengujian yang lebih akurat.

Adapun hasil pengujian awal yang dicatat adalah massa beban yang digunakan selama pengujian dalam satuan kilogram (Kg) dan jumlah waktu hingga spesimen patah dalam satuan detik.

6). Konversi satuan beban Kg terhadap MPa

Data hasil pengujian awal dalam satuan kilogram (Kg) dikonversikan ke dalam satuan Mpa dengan menggunakan persamaan 2.5., menggunakan dimensi dan ukuran spesimen yang digunakan dalam penelitian ini. Contoh perhitungan

tegangan maksimum yang bekerja pada spesimen uji lelah dapat di hitung sebagai berikut :

Diketahui : Beban yang digunakan $W = 8 \text{ Kg}$

Jarak antara beban dan titik pengujian $L = 11 \text{ cm}$

Diameter benda uji $d = 0,55 \text{ cm}$ dan $\pi = 3,14$

Maka akan diperoleh

$$\sigma = \frac{32WL}{\pi.d^3}$$

$$\sigma = \frac{(32)(8Kg)(11cm)}{(3,14)(0,55cm)^3}$$

$$\sigma = \frac{2816 \text{ Kg. cm}}{0,5224}$$

$$\sigma = 5390,505 \text{ Kg/cm}^2$$

Konversi satuan Kg/cm^2 ke Mpa dimana $1 \text{ Kg/cm}^2 = 0,098 \text{ Mpa}$, maka

$$\sigma = 5390,505 \text{ Kg/cm}^2 \times 0,098$$

$$\sigma = 528,26 \text{ MPa}$$

7). Konversi satuan waktu detik terhadap jumlah putaran

Data awal yang didapatkan dari pengujian lelah dalam satuan detik dimana 1 angka yang ditunjukkan oleh counter hour sama dengan 35 detik, dan

karena kondisi counter hour tidak bisa di reset maka data pengujian adalah angka akhir yang ditunjukkan counter dikurangi dengan data awal pengujian.

Salah satu contoh hasil perhitungan jumlah siklus pengujian, misal angka awal di counter hour 1097 dan angka akhir 1100, maka :

$$\begin{aligned}\text{Angka digit pengujian} &= \text{angka akhir} - \text{angka awal} \\ &= 1100 - 1097 \\ &= 3 \text{ digit}\end{aligned}$$

Satu digit angka menunjukkan 35 detik, maka :

$$\begin{aligned}\text{Waktu patah} &= 3 \text{ digit} \times 35 \text{ detik} \\ &= 105 \text{ detik}\end{aligned}$$

1 menit = 60 detik, maka 105 detik = 1 menit 45 detik, maka dengan data motor listrik 2850 rpm didapatkan putaran (siklus) spesimen hingga patah adalah :

$$\begin{aligned}\text{Siklus} &= 1,75 \times 2850 \text{ rpm} \\ \text{Siklus} &= 4987,5 \text{ putaran}\end{aligned}$$

4.2. Hasil Pengujian Lelah

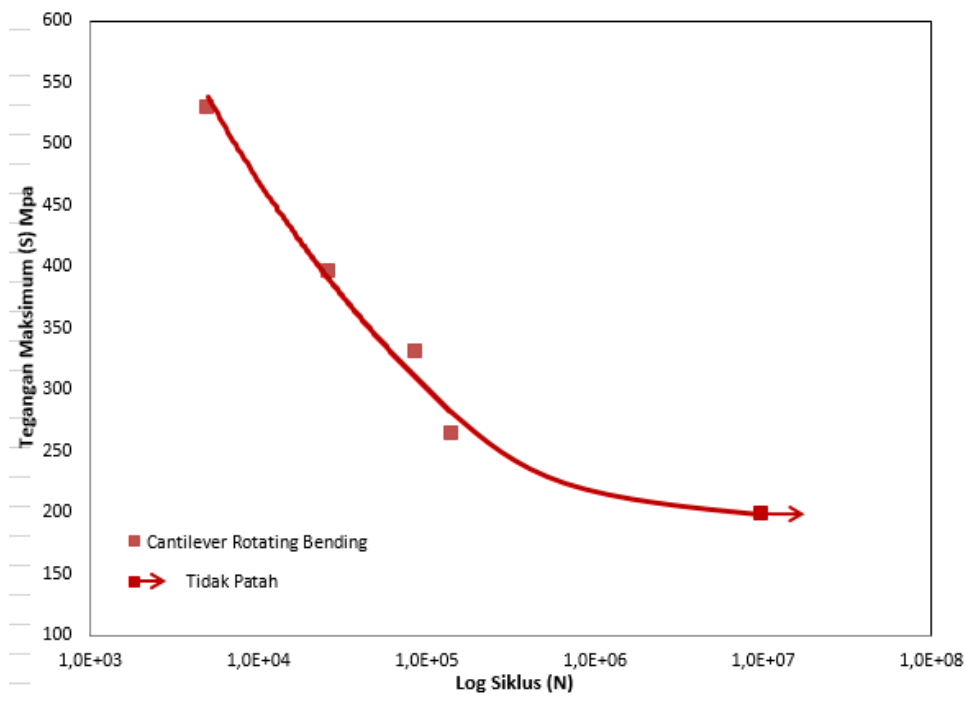
Penelitian terhadap kekuatan lelah baja tahan karat AISI 304 telah dilakukan pada lingkungan udara, menggunakan mesin uji lelah tipe *cantilever rotating bending*. Hasil pengujian lelah di tampilkan dalam bentuk tabel seperti terlihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil pengujian lelah baja tahan karat tipe AISI 304 pada lingkungan udara

No. Urut	No. Spesimen	Beban (Kg)	Tegangan (MPa)	Jumlah Siklus (N)	Keterangan
01	02	8	528,26	4988	Patah
02	03	6	396,19	26591	Patah
03	04	5	330,16	86450	Patah
04	05	4	264,13	141313	Patah
05	06	3	198,10	1000020	Tidak Patah

4.3. Kurva S-N Hasil Pengujian

Data pengujian lelah baja tahan karat AISI 304 tersebut diatas ditampilkan dalam bentuk kurva S-N sebagai mana ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Kurva S-N baja tahan karat AISI 304 di lingkungan udara

Gambar 4.6. menunjukkan kurva S-N dari baja tahan karat AISI 304, terlihat bahwa garis kurva pada lingkungan udara laboratorium dengan batas lelah (*endurance limit*) 198,10 MPa, hal ini menunjukkan bahwa kekuatan lelah baja tahan karat AISI 304 untuk kasus cantilever rotary bending dalam lingkungan udara baik diaplikasikan pada tegangan dibawah 198,10 Mpa.

4.4. Pengamatan Pola Patahan Spesimen

Baja tahan karat AISI 304 dalam lingkungan udara jika mengalami beban lelah, menunjukkan pola patahan yang berbeda sesuai dengan jumlah beban yang diberikan, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.



Gambar 4.7. Pola patahan spesimen dengan beban 8 Kg

Jika semakin besar beban yang diberikan maka pola patahan menunjukkan pola deformasi yang semakin besar terjadi pada permukaan patahan, dan sebaliknya jika beban yang diberikan semakin kecil maka deformasi yang terjadi dipermukaan patahan semakin kecil.



Gambar 4.7. Pola patahan spesimen dengan beban 4 Kg

Pola patahan ini menunjukkan bahwa jika terjadi kasus perpatahan dengan beban lelah dalam suatu mesin-mesin industri dan lainnya, maka dari pola patahannya dapat diketahui bahwa jika mesin bekerja dengan beban overload (beban lebih) maka pola patahan akan menunjukkan deformasi yang besar pada permukaan patahan komponen mesin.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan :

- 1) Tahapan proses cara penggunaan alat uji lelah tipe cantilever rotary bending telah dipublikasikan
- 2) Perilaku kurva S-N baja tahan karat AISI 304 dengan batas lelah (*endurance limit*) pada lingkungan udara 198,10 MPa
- 3) Pola patahan menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diberikan maka pola patahan menunjukkan pola deformasi yang semakin besar terjadi pada permukaan patahan, dan sebaliknya jika beban yang diberikan semakin kecil maka deformasi yang terjadi dipermukaan patahan semakin kecil

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan, maka disarankan untuk penelelitian berikutnya :

- 1) Untuk pengembangan lebih lanjut disarankan dengan menggunakan material yang berbeda sehingga didapatkan hasil kurva S-N dengan variasi yang berbeda untuk memudahkan validasi alat uji.
- 2) Disarankan validasi alat uji dilakukan dengan menggunakan tipe alat uji yang sama sehingga memudahkan dalam hal validasi alat uji.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Jufriadi dan H. Susanto, 2013, *Rancangan Alat Uji Lelah (Fatigue Testing) Tipe Cantilever Rotary Bending*, Makalah Ilmiah Teknik Mesin Universitas Teuku Umar, Meulaboh
- [2]. G. Maulana dan H. Susanto, 2014, *Pembuatan dan Perakitan Alat Uji Lelah (Fatigue Testing) Tipe Cantilever Rotary Bending*, Makalah Ilmiah Teknik Mesin Universitas Teuku Umar, Meulaboh
- [3]. *ASM Handbook Vol 19, 1997, Fatigue and Fracture, ASM International*
- [4]. Michael F. McGuire, 2008, *Stainless Steels For Design Engineering*, ASM International, United State of Amerika
- [5]. Dumenico Surpi, 2011, *Stainless Steels*, Gruppo Lucefin, Italy
- [6]. George E. Dieter, 1992, alih bahasa Djaprie, Sriati, *Metalurgi Mekanik*, Erlangga, Jakarta.
- [7]. Julie A. Bannantine et. al, 1990, *Fundamental of Metal Fatigue Analysis*, Prentice-Hall, New Jersey.
- [8]. Jaap Schijve, 2009, *Fatigue of Structures and Materials*, Springer Science, Netherlands.
- [9]. Alaneme, K.K. 2011. *Design of a Cantilever - Type Rotating Bending Fatigue Testing Machine*. Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, Vol. 10, No.11, pp.1027-1039
- [10]. Indra hasan, 2006, *Kekuatan Lelah Baja HQ 705 dan Baja Thyrodur 1730 di Lingkungan Kelembaban Tinggi*, Tesis Pascasarjana Universitas Sumatera Utara, Medan.
- [11]. Calaletin Karaagac, 2002, *Fracture And Fatigue Analysis Of An Agitator Shaft With A Circumferential Notch*, Tesis, Dokuz Eylul University.
- [12]. Herdi Susanto, 2012, *Perilaku Kekuatan Lelah Baja Tahan Karat AISI 304 dalam Lingkungan Air Laut Buatan*, Tesis Pasca Sarjana Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh
- [13]. ASTM E 466 – 96, *Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials*.