

***STUDI LITERATUR PERBANDINGAN HASIL UJI LELAH TIPE  
CANTILEVER DAN FOUR ROTATING BENDING  
PADA BAJA TAHAN KARAT AISI 304.***

**TUGAS AKHIR**

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

**Disusun Oleh:**

**DEDI GUSNAWAN HARAHAP**

**NIM : 06C10202026**  
**JURUSAN : TEKNIK MESIN**  
**BIDANG : TEKNIK PEMBENTUKAN DAN MATERIAL**



**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TEUKU UMAR  
ALUE PEUNYARENG – ACEH BARAT  
TAHUN 2015**

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

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]. Penelitian kekuatan lelah baja tahan karat AISI 304 menggunakan alat uji lelah tipe *Cantilever Rotatig Bending* telah dilakukan [3]. Dan pengujian dengan menggunakan material yang sama juga telah dilakukan [4]. Dengan menggunakan alat uji lelah tipe *Four Rotating Bending*.

Pada penelitian ini akan dilakukan kajian terhadap kurva S-N yang dihasilkan oleh kedua alat uji tersebut, yaitu *Cantilever Rotatig Bending* dan tipe *Four Rotating Bending* .

## 1.2. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada:

1. Jenis pengujian adalah uji lelah (*fatigue testing*).
2. Alat uji yang dilakukan adalah *Cantilever Rotati Bending* (CRB) dan *Four Rotati Bending* (FRB).
3. Jenis material yang digunakan adalah Baja AISI 304.

## 1.3. Tujuan Studi Literatur

Tujuan dari studi literatur ini adalah:

1. Mengetahui perbandingan batas kelelahan pada material AISI 304.
2. Mengetahui pola patahan spesimen untuk dua jenis pembebanan.

## 1.4 Manfaat Studi Literatur

Dengan diketahui perbedaan baja kelelahan pada material AISI 304 menggunakan alat uji lelah tipe *Cantilever rotatngi bending* dan *Four rotating bending* dapat dijadikan uji lelah bagi mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar dan lulusan yang bagi mahasiswa yang ingin melakukan penelitian uji lelah juga dalam hal perancangan dan pembuatan alat uji lelah.

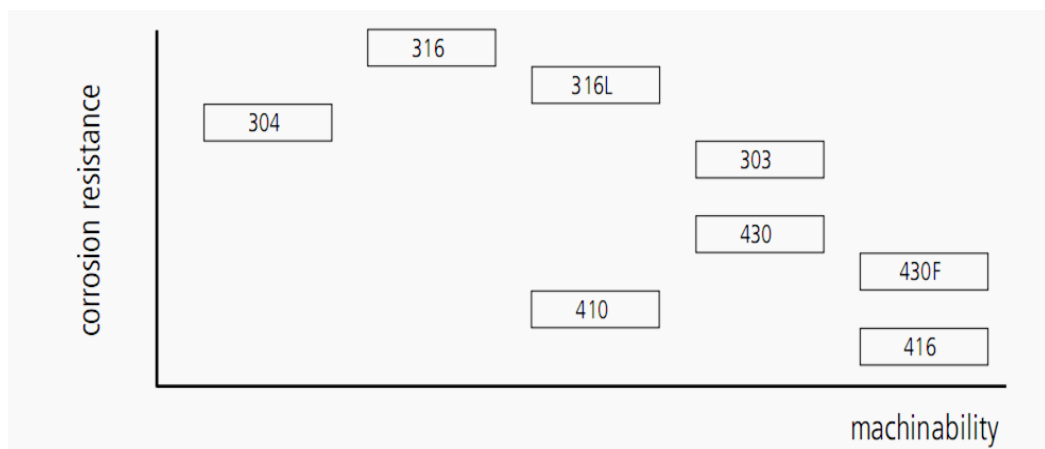
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 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%, chromium 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 ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) jika bereaksi dengan oksigen, jika lapisan ini rusak maka secara spontan akan terbentuk lapisan baru jika kondisi lingkungan mengandung cukup oksigen [3,10].

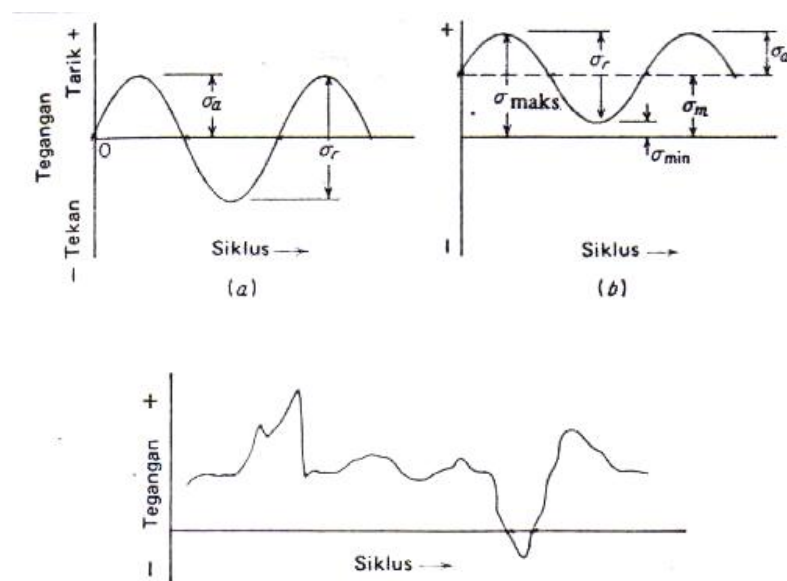
Memiliki sifat mekanik, mampu las, ketahanan korosi dan proses pemesinannya yang baik membuat golongan austenitik terutama AISI 304 menjadi material baja tahan karat yang banyak digunakan dalam dunia industri. Gambar 2.1. Secara umum memperlihatkan rasio ketahanan korosi dan pemesinan baja tahan karat austenitik AISI 304 [3,10].



Gambar 2.1 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 2.2)[11,12,13,14].



Gambar 2.2. Siklus tegangan lelah.

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

Sumber : George E. Dieter, 1992

Gambar 2.2.a menggambarkan suatu siklus bolak-balik yang berbentuk sinusoidal adalah keadaan ideal yang dihasilkan oleh mesin ujilelahtiperotating 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 2.2.b menggambarkan suatu siklus tegangan berulang, dengan tegangan maksimum  $\sigma_{maks}$  dan tegangan minimum  $\sigma_{min}$  tidak sama. Keduanya adalah tegangan tarik.

Gambar 2.21.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*,  $\sigma_m$ ) dan tegangan bolak-balik (*stress amplitude*,  $\sigma_a$ ). Kita juga harus mempertimbangkan batas tegangan (*stress range*,  $\sigma_r$ ) seperti terlihat pada Gambar 2.2.b, batas tegangan ( $\sigma_r$ ) adalah selisih antara tegangan maksimum dan minimum dalam suatu siklus [11,12,13,14].

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

Tegangan bolak – balik ( $\sigma_a$ ) 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 ( $\sigma_m$ ) adalah nilai rata-rata dari tegangan maksimum dan minimum dalam suatu siklus :

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

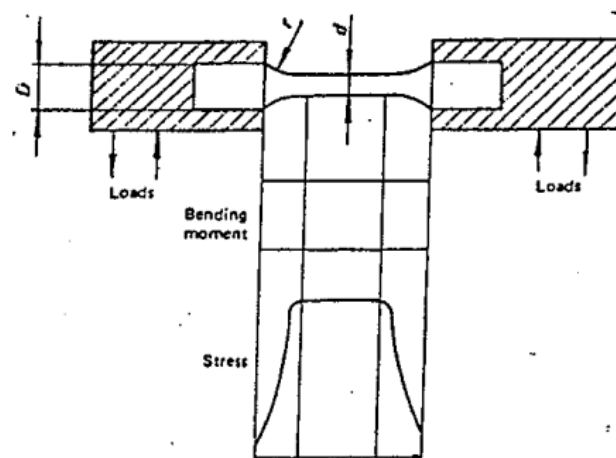
Besaran lain yang dapat digunakan dalam presentasi data adalah rasio tegangan (R) dan rasio amplitude (A) :

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

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

### 2.3. Tegangan Lentur Alat Uji Lelah Tipe *Four Rotating Bending*

Pada pengujian lelahtiperotating bending untuk bentuk benda uji seperti ini tegangan maksimum yang bekerja berada pada daerah L, lihat Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Bentuk tegangan maksimum yang bekerja pada Pengujianlelahtipefour rotatingbending  
Sumber :Anonymous, 1997

Dari hasil pengujian ini akan diperoleh informasi mengenai kekuatan lelah dari bahan dan pada benda uji yang berputar diberikan beban 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 [11,12,13,14] :

$$\sigma = \frac{M.y}{I} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$M = WL \dots\dots\dots (2.7)$$

$$y = \frac{d}{2} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \dots\dots\dots (2.9)$$

Maka akan diperoleh

$$\sigma = \frac{16WL}{\pi \cdot d^3} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :  $\sigma$  = Tegangan lentur ( $\text{kg/cm}^2$ )

M = Momen lentur (Kg.cm)

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

d = Diameter benda uji (cm)

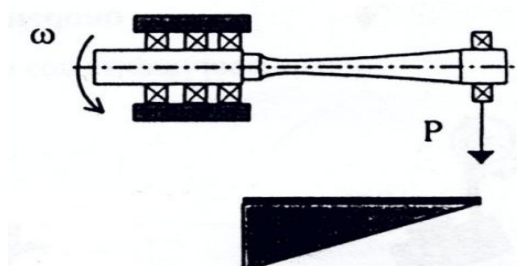
I = Momen inersia ( $\text{cm}^4$ )

W = Beban yang digunakan (kg)

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

#### 2.4. 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  
Trianguler

Gambar 2.4. Bentuk tegangan maksimum yang bekerja pada  
Pengujian lelah cantilever rotatingbending  
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] :

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

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

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

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

Maka akan diperoleh

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

Dimana :  $\sigma$  = Tegangan lentur ( $\text{kg/cm}^2$ )

$M$  = Momen Lentur (Kg.cm)

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

$d$  = Diameter benda uji (cm)

$I$  = Momen Inersia (cm<sup>4</sup>)

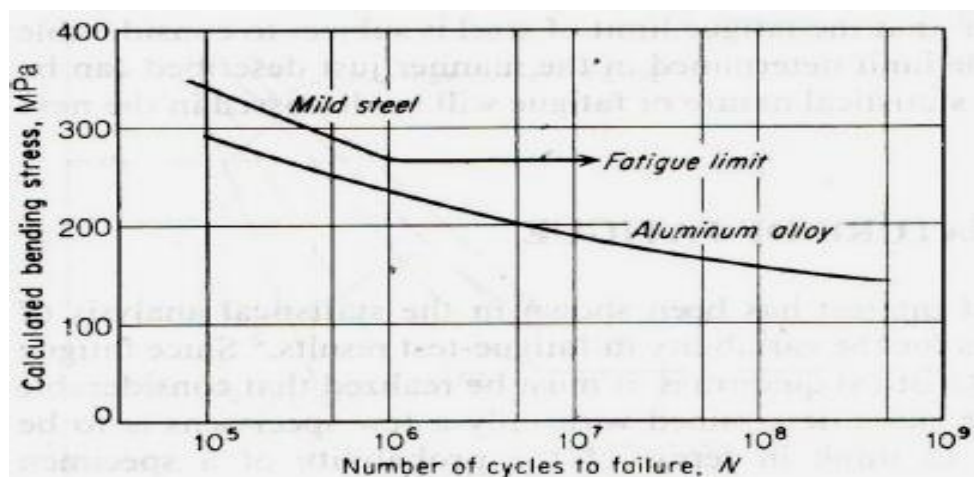
$W$  = Beban yang digunakan (kg)

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

## 2.5. 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 [11,12,13].

Gambar 2.4. menunjukkan kurva kelelahan untuk logam besi dan bukan besi (*non ferrous*). Siklus S-N yang melampaui batas leleh ( $N > 10^7$ ), baja dianggap mempunyai umur yang tak berhingga atau kegagalan diprediksi tidak akan terjadi, sedangkan untuk logam bukan besi tidak terdapat batas leleh 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

Kekuatanlelahataubatas lelah (*endurance limit*,Se) adalahteganganyangmemberikanumurtakberhingga.Tegangandibawahbataslelahanmenyebabkanlogamamanterhadapkelelahan,halinidisebabkankarenagerakandi slokasinyaakanterhambatoleh atom-atomasingsehingtidakakanmenghasilkanPSB (*Presistant Slip Band*) [11,12].

## 2.6. Kekuatan Lelah

Kegagalan yang terjadi pada keadaan beban dinamik dinamakan kegagalan lelah (*fatigue failures*). Pada umumnya kegagalan tersebut hanya terjadisetelah periode pemakaian yang cukup lama, dimana semuanya mengalami beban berulang dan getaran.Kegagalan lelah adalah hal yang sangat berbahaya karena terjaditanpa adanya peringatan awal[11,13,14].

Selain variabel tegangan yang mempengaruhi umur lelah dari suatu logam maka ada juga variabel lain seperti[11,12,13,14] :

### 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 panampang kecil. Perubahan ukuran benda uji biasanya mengakibatkan adanya variasi dalam dua faktor.Pertama, pertambahan diameter menyebabkan adanya pertambahan 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, pertambahan 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 .

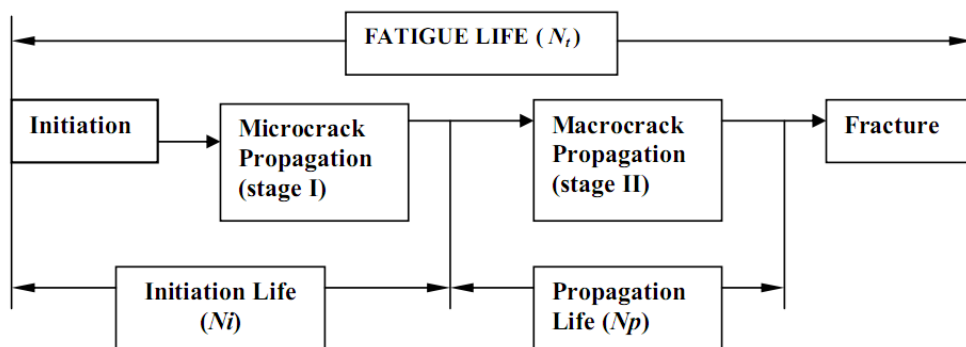
e. Kekasaran permukaan.

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 terjadidari 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.

## 2.7. Mekanisme Kegagalan Lelah

Kelelahan akan mengakibatkan terjadinya patah lelah. Patah lelah terjadi melalui tiga tahapan, yaitu tahap retak awal (*crackinitiation*), tahap penjalaran retak (*crackpropagation*), 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) [13,15,16].

Adapun fase-fase kegagalan lelah (*fatigue*) seperti yang terlihat pada Gambar 2.5 berikut ini:



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.2.5) tersebut (total *fatigue life*,  $N_T = \text{fatigue initiation}, N_i + \text{fatigue propagation}, N_p$ ) [13,15,16].

Tandaratchet (*ratchet marks*) menjalar ke arah radial dan merupakan tanda penjalaran retakan yang terjadi bilateral dapat lebih dari satu lokasi awal retak, *ratchetmarks* ini merupakan pertemuan *beach marks* dari satu lokasi awal retak dengan *beachmarks* dari lokasi lainnya [13,15,16].

Tanda garis-garis pantai (*beachmarks*) 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 [13,15,16].

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar Meulaboh, dalam periode Agustus sampai dengan Desember 2014 dimulai dari persiapan, studi pendahuluan, analisa data hingga menghasilkan Kurva S<sub>N</sub> Untuk Material AISI 304.

#### 3.2. Bahan dan Ukuran Spesimen

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Herdi Susanto dan Azhar yakni baja tahan karat tipe AISI 304 dengan sifat fisik dan komposisi kimia ditunjukkan pada Tabel 3.1 dan 3.2 berikut ini:

Tabel 3.1. Sifat fisik baja tahan karat AISI 304.

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

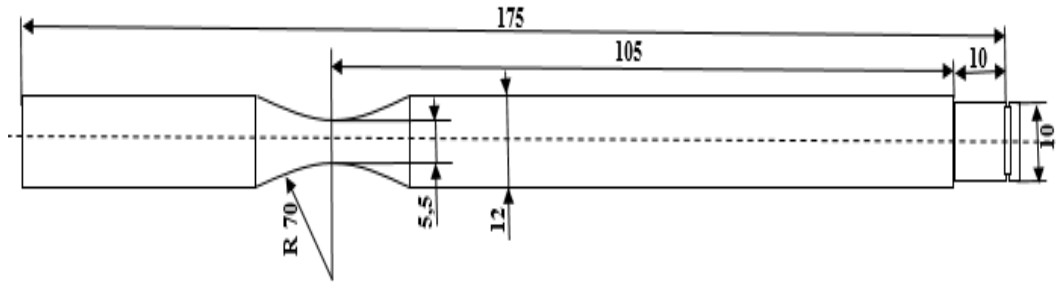
Sumber: [www.matweb.com](http://www.matweb.com) (2009)

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](http://www.matweb.com) (2009)

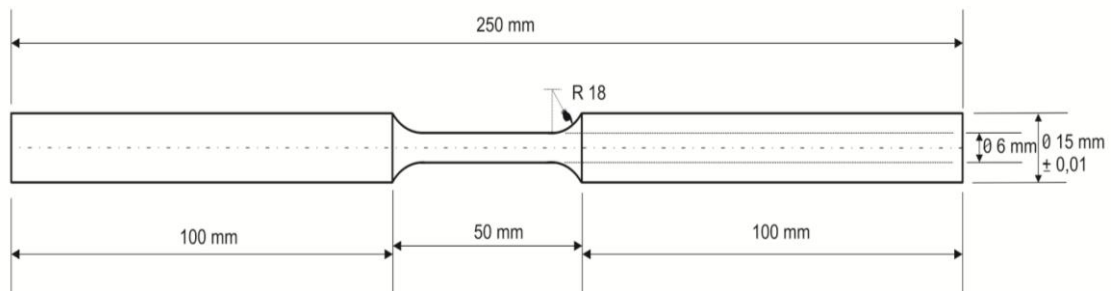
Ukuran spesimen uji lelah (*fatigue testing*) untuk menghasilkan kurva S-N, berdasarkan rekomendasi dari mesin uji lelah tipe *Cantilever Rotating Bending* dan ASTM E466. Adapun ukuran bahan pada penelitian ini adalah seperti terlihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut:



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

Sumber : Herdi Susanto, 2012

Ukuran spesimen uji lelah (*fatigue testing*) untuk menghasilkan kurva S-N, berdasarkan rekomendasi dari mesin uji lelah tipe *Four Rotating Bending* dan ASTM E466 adalah seperti terlihat pada Gambar 3.2.



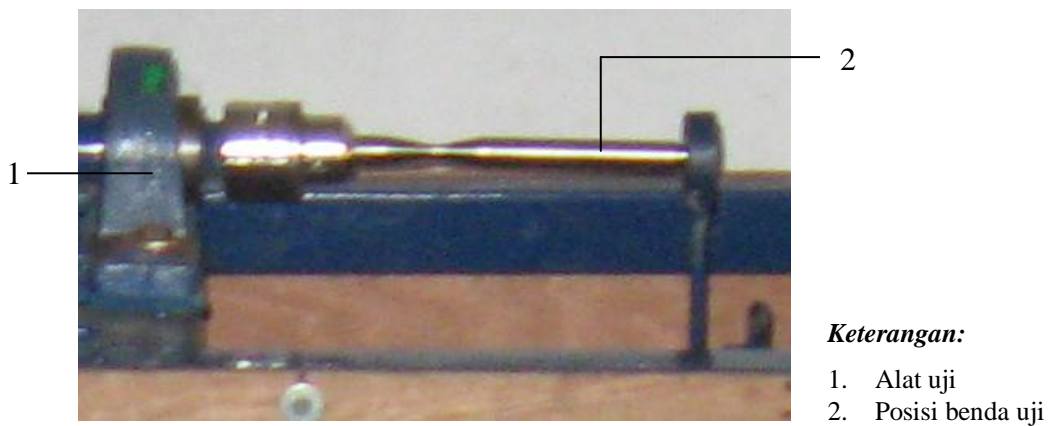
Gambar 3.2. Ukuran spesimen Uji lelah korosi (*Tangentially Blending Fillets*)

Sumber : Azhar, 2014



### 3.3 Posisi Penempatan Benda Uji Dan Proses Pengujian.

Posisi penempatan benda uji dan Proses pengujian lelah tipe cantilever rotating bending ditunjukkan pada gambar 3.3 berikut :

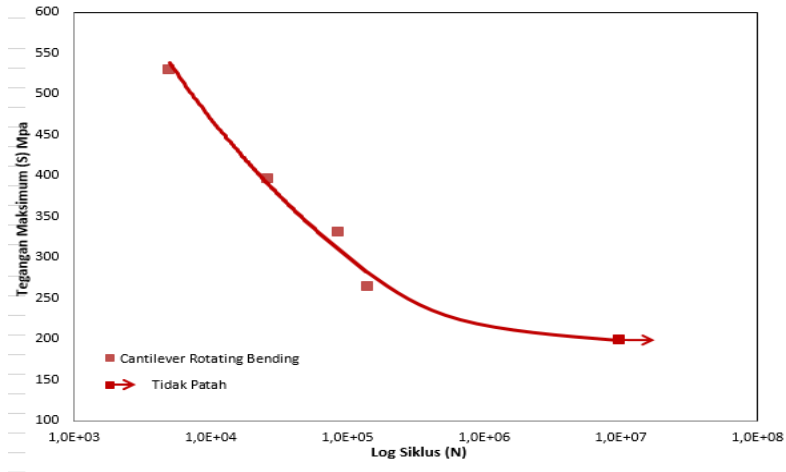


Gambar: 3.3. Posisi benda uji dan Proses Pengujian Lelah tipe CRB  
Sumber : (Azhar,2014)

### 3.4. Hasil Kurva S-N

#### 3.4.1. Hasil kurva S-N *Cantilever Rotating Bending*

Hasil penelitian kurva S-N *cantilever rotating bending* yang telah dilakukan oleh Azhar seperti terlihat pada gambar 3.4.

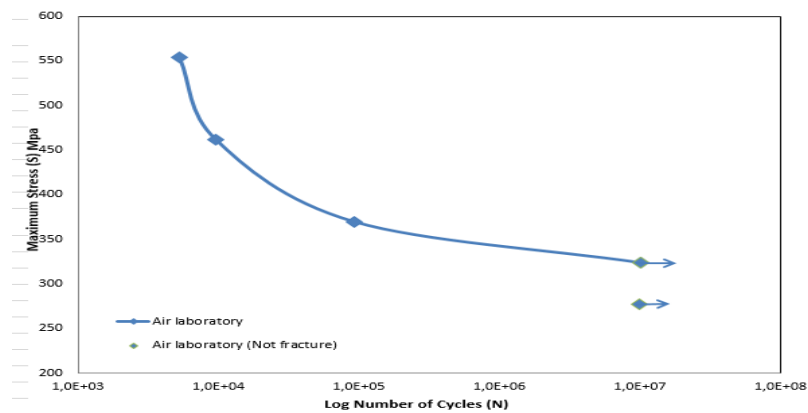


Gambar 3.4. Kurva S-N baja tahan karat AISI 304 di lingkungan udara

Sumber : (Azhar,2014)

#### 3.4.2. Hasil Kurva S-N *Four Rotating Bending*

Hasil kurva S-N four rotating bending yang telah dilakukan oleh Herdi Susanto ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Gambar kurva S\_N .

Sumber : (Herdi Susanto,2012)

### **3.5. Analisa Perbandingan Kurva S<sub>N</sub>**

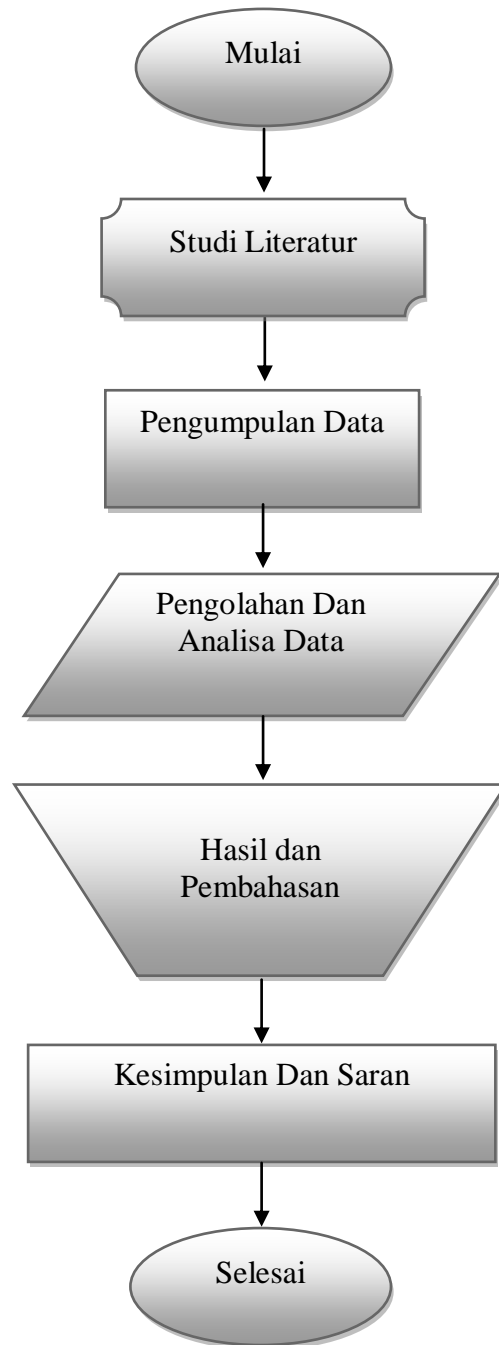
Analisa perbandingan untuk kedua kurva S<sub>N</sub> dilakukan terhadap perbedaan batas lelah (*enduroce limit*) material baja tahan karat AISI 304 dengan standar ukuran spesimen berujuk pada ASTM E466 yang telah dilakukan pengujian oleh Herdi Susanto dan Azhar. Adapun langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Mengumpulkan data-data hasil pengujian.
- Menganalisa hasil pengujian berdasarkan data-data yang diperoleh.
- Membandingkan hasil uji dari masing-masing alat uji.
- Membuat kurva S<sub>N</sub> hasil pengujian.

### **3.6. Pengamatan Pola Patahan**

Pengamatan pola patahan dilakukan dengan mengamati permukaan patahan spesimen untuk kedua tipe pembeban baik dengan alat uji tipe *Cantilever Rotating bending* dan tipe *Four Rotating Bending*. untuk selanjutnya dilakukan pembahasan disimpulkan.

### 3.7. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.6. Diagram alir penelitian.

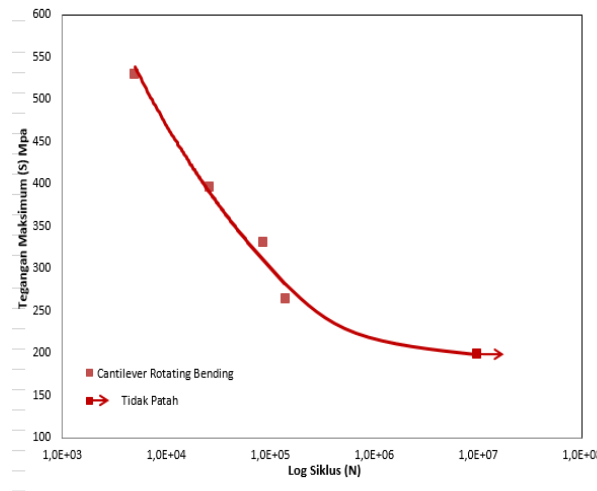
## BAB IV

### HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil Data Literatur

##### 4.1.1. Hasil Data Literatur Kurva S<sub>N</sub> *Cantilever Rotating Bending*

Hasil data literatur kurva S<sub>N</sub> baja tahan karat AISI 304 pada lingkungan udara untuk tipe pengujian lelah tipe *cantilever rotating bending* didapatkan dari pengujian azhar [6] hasil pengujian seperti terlihat pada gambar 4.1 berikut ini.

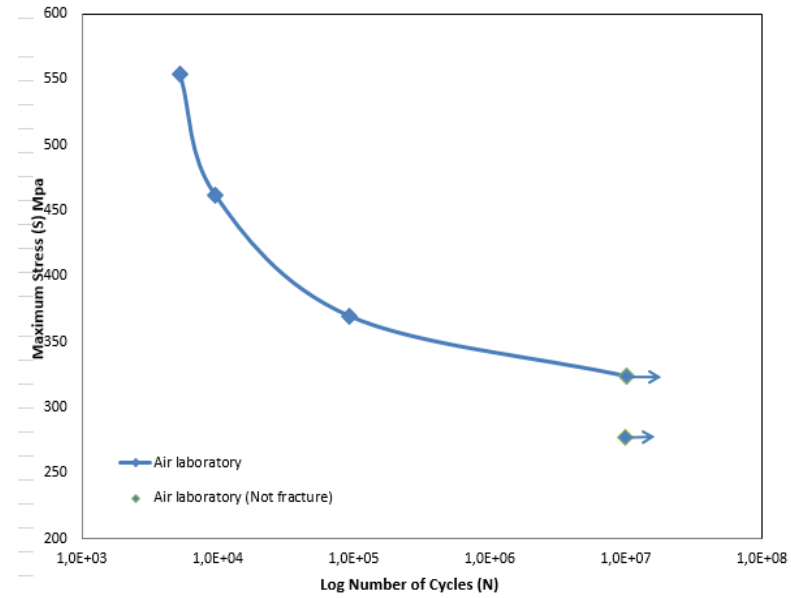


Gambar : 4.1. Kurva S<sub>N</sub> baja tahan karat AISI 304 dilingkungan udara

Sumber : Azhar, 2013

##### 4.1.2. Hasil Data Literatur Kurva S<sub>N</sub> *Four Rotating Bending*

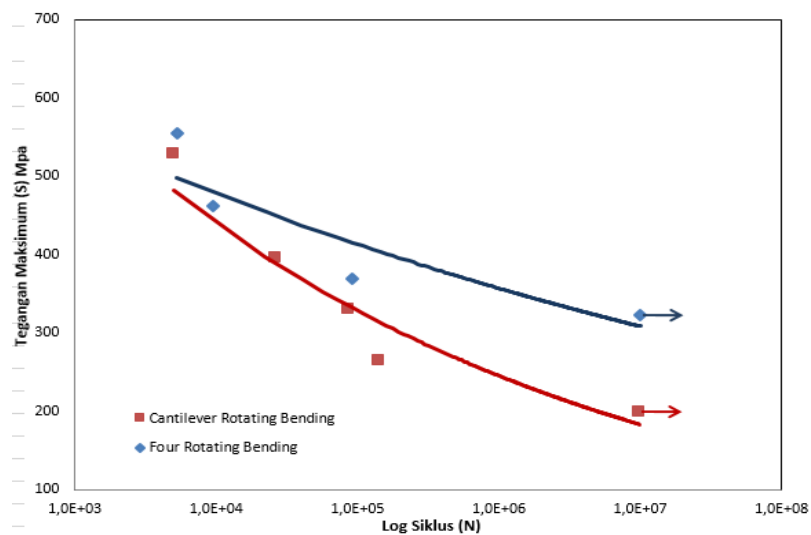
Kurva S-N untuk baja tahan karat AISI 304 yang dilakukan pengujian dengan menggunakan alat uji lelah tipe *Four Rotating Bending* didapat dari penelitian Herdi Susanto [7]. Adapun data kurva S-N menggunakan alat uji lelah tipe *Four Rotating Bending* diperlihatkan pada gambar 4.2 pada halaman 20.



Gambar :4.2. Analisa perbandingan kurva S-N.

Sumber : Herdi Susanto, 2012

Kurva S-N yang dihasilkan dari pengujian lelah menggunakan alat uji lelah tipe *Cantilever* dan *Four Rotating Bending* tersebut, direferensikan dalam satu kurva. Hasil gabungan dari kedua kurva tersebut ditunjukkan pada gambar 4.3 berikut ini:



Gambar : 4.3. Hasil penggabungan kedua kurva S-N

Sumber : Hasil penelitian

Dari gambar 4.3. terlihat bahwa kurva S-N untuk pengujian lelah tipe *Four rotating bending* memiliki batas lelah (*endurance limit*) 198,10 Mpa. Sedangkan untuk kurva S-N pengujian lelah tipe *Cantilever Rotating Bending* yaitu 323,34 Mpa.

## 4.2 Pengamatan Pola Patahan Spesimen

### 4.2.1 Pola Patahan Spesimen Cantilever Rotating Bending

Baja tahan karat AISI 304 dalam lingkungan udara bersifat ulet dan *deformasi plastis* terjadi pada saat pengujian hingga patah, temperatur pada spesimen tidak terjadi peningkatan. 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 4.4 dibawah ini:



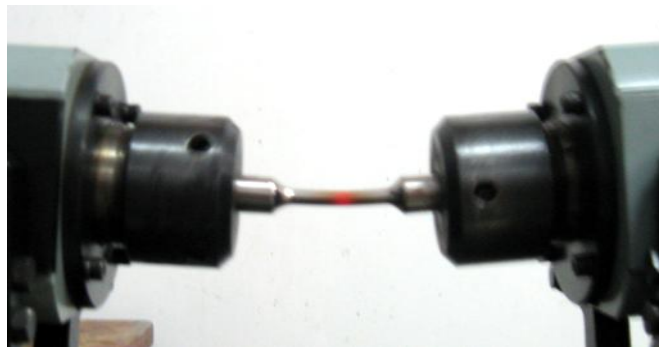
Gambar : 4.4. Pola patahan spesimen dengan alat uji tipe CRB, dengan beban 8kg pada tegangan maksimum 198,10 Mpa.

Sumber : (Azhar,2014)

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.

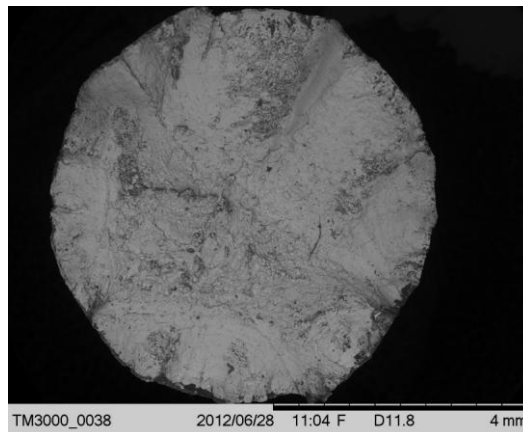
#### 4.2.2 Pola Patahan Spesimen Four Rotating Bending.

Baja tahan karat AISI 304 dalam lingkungan udara bersifat ulet, deformasi plastis dan tegangan geser yang terjadi sangat besar ini dapat dilihat dari proses pengujian dimana sebelum patah temperatur meningkat seiring waktu di area uji spesimen Gambar 4.5. dan foto permukaan patahan juga menunjukkan pola kegagalan ulet (*ductile failure*) seperti terlihat pada Gambar 4.6.



Gambar: 4.5. Visual peningkatan temperatur dengan tipe FRB pada area uji spesimen baja tahan karat AISI 304 pada tegangan maksimum 323,24Mpa

Sumber : Herdi Susanto,2012



Gambar :4.6. Pola patahan spesimen dengan alat uji tipe FRB. Dengan Spesimen baja tahan karat AISI 304 dalam lingkungan udara pada tegangan maksimum 323,24 MPa

Sumber : Herdi susanto, 2012



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan berdasarkan literatur dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Untuk pengujian lelah menggunakan material baja AISI 304, dengan alat uji lelah tipe *Cantilever Rotating Bending* dan tipe *Four Rotating Bending* menghasilkan kurva S-N yang berbeda.
2. Pengujian lelah dengan alat uji tipe *Cantilever Rotating Bending* memiliki batas lelah sebesar 198,10 Mpa. Sedangkan dengan alat uji tipe *Four Rotating Bending* memiliki batas lelah adalah sebesar 323,24 Mpa. Dengan demikian terjadi selisih batas kelelahan yaitu sebesar : 125,24 Mpa.
3. Pola patahan menunjukkan bahwa deformasi lebih besar terjadi pada pengujian tipe *four Rotating bending* bila dibandingkan dengan alat uji lelah tipe *Cantilever Rotating Bending*.
4. Temperatur spesimen meningkat pada pengujian *four rotating bending* sedangkan pada pengujian *Tipe Cantilever rotati bending* tidak terjadi peningkatan temperatur.

#### 5.2. Saran

Diharapkan kedepannya dapat dilakukan menganalisa perbandingan terhadap tegangan yang bekerja dari kedua alat tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Jufriadi dan H. Susanto, 2013, *Rancangan Alat Uji Lelah (Fatigue Testing) Tipe Cantilever Rotary Bending*, Tugas Akhir 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*, Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Teuku Umar, Meulaboh.
3. Michael F. McGuire, 2008, *Stainless Steels For Design Engineering*, ASM International, United State of Amerika.
4. DumenicoSurpi, 2011, *Stainless Steels*, GruppoLucefin, Italy.
5. George E. Dieter, 1992, alihbahasaDjaprie, Sriati, *MetalurgiMekanik*, Erlangga, Jakarta.
6. 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.
7. Indra Hasan, 2006, *Kekuatan Lelah Baja HQ 705 dan Baja Thyrodur 1730 di Lingkungan Kelembaban Tinggi*, Tesis Pasca sarjana Universitas Sumatera Utara, Medan.
8. Calaletin Karaagac, 2002, *Fracture And Fatigue Analysis Of An Agitator Shaft With A Circumferential Notch*, Tesis, Dokuz Eylul University.
9. Herdi Susanto, 2012, *Perilaku Kekuatan Lelah Baja Tahan Karat AISI 304 dalam Lingkungan Air Laut Buatan*, Tesis Pasca Sarjana Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
10. ASTM E 466 – 96, *Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials*.