

**ANALISIS UJI KETAHANAN LELAH BAJA KARBON SEDANG  
AISI 1045 DENGAN *HEAT TREATMENT (QUENCHING)*  
DENGAN MENGGUNAKAN ALAT *ROTARY BENDING***

**Teguh Sugiarto <sup>1)</sup>, Zulhanif <sup>2)</sup> dan Sugiyanto <sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung

<sup>2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung

Jln. Prof.Sumantri Brojonegoro No. 1 Gedung H FT Lt. 2 Bandar Lampung

Telp. (0721) 3555519, Fax. (0721) 704947

E-mail: (Teguh\_rokett@yahoo.co.id) (Hanif@unila.ac.id) (Soegijanto\_mesin@yahoo.com)

***Abstract***

*Fatigue is the one of the main cause from of the material failure. The main of cause failure 90 % caused fatigue. Fatigue is material sructure process changes that is caused by repeatedly load (stress or shear) in a long period of time so it occured crack or break. The reason of this research is to analyze of the fatigue strength medium carbon steel type AISI 1045 with variaton of shaft rotation on rotary bending machine. Fatigue test applied on medium carbon steel type AISI 1045 without heat treatment. This research was conducted with variation of shaft rotation 2880 rpm and continued with load variation 20%, 30%, 40%, 50% and 60 % from material UTS. Specimen that used according ASTM E466 spesimen made by lathe machine. Fatigue test is using by rotary bending machine type fatigue test machine.*

**Keywords:** *Fatigue test, rotary bending, medium carbon steel AISI 1045.*

**PENDAHULUAN**

**Latar Belakang**

Baja sangat memiliki peranan yang penting dalam dunia industri dimana banyak rancangan komponen mesin pabrik menggunakan material tersebut. Sifat mekanik yang dimiliki material ini cukup mampu untuk berbagai penggunaan lapangan dalam berbagai aplikasi. Efisiensi dan efektifitas dari baja itu sendiri selalu menjadi pertimbangan dalam pemilihan material sesuai dengan pemakaiannya.

Pada kasus rancang bangun suatu konstruksi mesin, selalu diperlukan sifat bahan dengan tujuan agar komponen yang dirancang dapat bekerja secara optimal, dan dapat memenuhi persyaratan fungsi dari konstruksi maupun kekuatannya dalam menerima beban.

Sifat yang dikenal dengan kelelahan bahan, perlu diteliti karena sangat penting untuk menentukan umur konstruksi

berdasarkan kelelahan.

Poros berfungsi untuk meneruskan tenaga baik berupa puntiran, torsi maupun bending dari suatu bagian ke bagian yang lain. Akibat beban tersebut poros mengalami pembebanan yang terus berulang. Akibatnya suatu poros sering mengalami kegagalan dalam operasinya. Kegagalan akibat beban berulang sangat tidak diinginkan karena tanda-tanda akan terjadinya kegagalan tidak dapat diketahui secara langsung. Kegagalan ini dapat berupa *crack* yang terus berkembang hingga terjadi perambatan *crack* yang kemudian menjadi patah.

Logam yang mengalami pembebanan dengan tegangan dinamis dan berulang dalam jangka waktu yang lama, perlu dilakukan pengujian untuk memprediksi kegagalan material. Salah satu tipe pengujian untuk memprediksi kegagalan material akibat beban berulang (fatik) adalah pengujian dengan menggunakan mesin uji fatik *rotary bending*. Pengujian ini diharapkan dapat memperkirakan suatu poros yang dengan material baja AISI

1045 dalam mengalami kegagalan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan spesimen yang sesuai dengan standar pengujian sehingga dapat memprediksi kapan suatu logam akan mengalami kegagalan lelah.

### **Tujuan Penelitian**

Menganalisis ketahanan lelah baja sedang AISI 1045 yang diberi *heat treatment* dengan cara pendinginan (*quenching*), dengan menggunakan mesin uji fatik tipe *Rotary Bending*.

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Kerusakan akibat beban berulang ini disebut patah lelah (*fatigue failures*) karena umumnya perpatahan tersebut terjadi setelah periode pemakaian yang cukup lama. Mekanisme terjadinya kegagalan fatik dapat dibagi menjadi tiga fase yaitu : awal retak (*initiation crack*), perambatan retak (*crack propagation*), dan perpatahan akhir (*fracture failure*).

Fatik atau kelelahan menurut (Zulhanif, 2002) didefinisikan sebagai proses perubahan struktur permanen *progressive localized* pada kondisi yang menghasilkan fluktuasi regangan dan tegangan dibawah kekuatan tariknya dan pada satu titik atau banyak titik yang dapat memuncak menjadi retak (*crack*) atau patahan (*fracture*) secara keseluruhan sesudah fluktuasi tertentu.

*Progressive* mengandung pengertian proses fatik terjadi selama jangka waktu tertentu atau selama pemakaian, sejak komponen atau struktur digunakan. *Localized* berarti proses fatik beroperasi pada luasan lokal yang mempunyai tegangan dan regangan yang tinggi karena : pengaruh beban luar, perubahan geometri, perbedaan temperatur, tegangan sisa dan tidak kesempurnaan diri. *Crack* merupakan awal terjadinya kegagalan fatik dimana kemudian *crack* merambat karena adanya beban berulang. *Fracture* merupakan tahap akhir dari proses *fatigue* dimana bahan tidak dapat menahan tegangan dan regangan yang ada sehingga patah menjadi dua bagian atau lebih.

Secara alami logam berbentuk kristalin artinya atom-atom disusun berurutan.

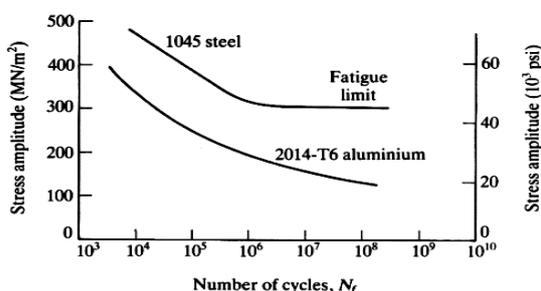
Kebanyakan struktur logam berbentuk poli kristalin yaitu terdiri atas sejumlah besar kristal-kristal yang tersusun individu. Tiap-tiap butir memiliki sifat mekanik yang khas, arah susunan dan susunan tiap arah, dimana beberapa butir diorientasikan sebagai bidang-bidang yang mudah slip atau meluncur dalam arah tegangan geser maksimum. Slip terjadi pada logam-logam liat dengan gerakan dislokasi sepanjang bidang kristalografi. Slip terjadi disebabkan oleh beban siklik *monotonic*.

Ketahanan fatik suatu bahan tergantung dari perlakuan permukaan atau kondisi permukaan dan temperatur operasi. Perlakuan permukaan merubah kondisi permukaan dan tegangan sisa di permukaan. Perlakuan permukaan *shoot peening* menghasilkan tegangan sisa tekan yang mengakibatkan ketahanan lelah yang meningkat (Collins,1981). Sedangkan perlakuan permukaan yang menghasilkan tegangan sisa tarik menurunkan ketahanan *fatigue*-nya. Hal itu terjadi karena pada permukaan terjadi konsentrasi tegangan tekan atau tarik yang paling tinggi.

Pada kondisi permukaan sedang menerima tegangan tarik maka tegangan sisa tekan pada permukaan akan menghasilkan resultan tegangan tekan yang semakin besar. Tegangan tekan akan menghambat terjadinya *initial crack* atau laju perambatan retak. Sehingga ketahanan lelah meningkat, dan akan terjadi sebaliknya apabila terjadi tegangan sisa tarik di permukaan.

Pada dasarnya kegagalan fatik dimulai dengan terjadinya retakan pada permukaan benda uji. Hal ini membuktikan bahwa sifat-sifat fatik sangat peka terhadap kondisi permukaan, yang dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kekasaran permukaan, perubahan sifat-sifat permukaan dan tegangan sisa permukaan (Dieter,1992).

Penyajian data fatik rekayasa adalah menggunakan kurva S-N yaitu pemetaan tegangan (S) terhadap jumlah siklus sampai terjadi kegagalan (N). Kurva S-N ini lebih diutamakan menggunakan skala semi log seperti ditunjukkan pada gambar 1. Untuk beberapa bahan teknis yang penting.



Gambar 1. Kurva S-N

Kurva tersebut didapat dari pemetaan tegangan terhadap jumlah siklus sampai terjadi kegagalan pada benda uji. Pada kurva ini siklus menggunakan skala logaritma. Batas ketahanan fatik (*endurance limit*) baja ditentukan pada jumlah siklus  $N > 10^7$  (Dieter, 1992).

Persamaan umum kurva S-N dinyatakan oleh persamaan (Dowling, 1991).

$$S = B + C \ln(N_f)$$

Dengan :

B dan C adalah konstanta empiris material

Pengujian fatik dilakukan dengan cara memberikan *stress level* tertentu sehingga spesimen patah pada siklus tertentu. (Dieter, 1992) menyatakan untuk mendapatkan kurva S-N dibutuhkan 8-12 spesimen.

Pengujian fatik dilakukan dengan *Rotary Bending Machine*. Jika benda uji diputar dan diberi beban, maka akan terjadi momen lentur pada benda uji. Momen lentur ini menyebabkan terjadinya beban lentur pada permukaan benda uji dan besarnya dihitung dengan persamaan (*international for use of ONO'S*,-)

$$\sigma = \frac{W L / 2}{\pi / 32 d^3} \text{ kg/cm}^2$$

Dengan:  $\sigma$  = Tegangan lentur (kg/cm<sup>2</sup>)

W = Beban lentur (kg)

d = Diameter benda uji (cm)

### Baja AISI 1045

Adapun data-data dari baja ini adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Unsur-unsur pada baja AISI 1045

Unsur	%	Sifat mekanis lainnya
Karbon	0,42 – 0,50	Tensile strength
Mangan	0,60 – 0,90	Yield strength
Fosfor	Maksimum 0,035	Elongation
Sulfur	Maksimum 0,040	Reduction in area
Silicon	0,15 – 0,40	hardness

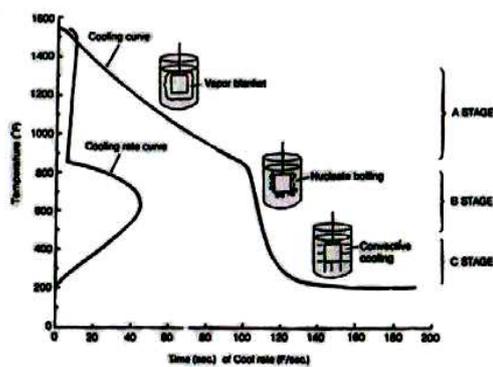
### Quenching

Proses *quenching* melibatkan beberapa faktor yang saling berhubungan. Pertama yaitu jenis media pendingin dan kondisi proses yang digunakan, yang kedua adalah komposisi kimia dan *hardendility* dari logam. *Hardendility* merupakan fungsi dari komposisi kimia dan ukuran butir pada temperatur tertentu. Selain itu, dimensi dari logam juga berpengaruh terhadap hasil proses *quenching*.

*Quenching* yang dilakukan pada logam spesimen panas (setelah proses austenisasi) pada media pendingin akan mengalami mekanisme pendinginan seperti pada Gb. 2, yang memperlihatkan laju pendinginan panas dari logam sebagai fungsi dari temperatur permukaan logam. Gb. 9, juga menghubungkan temperatur permukaan logam dan waktu yang diperlukan pada mekanisme pelepasan panas. Awal pencelupan, logam pertama kali akan diselubungi oleh selubung uap, yang akan pecah saat logam mendingin. Perpindahan panas saat terbentuknya selubung uap ini buruk, dan logam akan mendingin dengan lambat pada tahap ini.

Tahap kedua dari kurva pendinginan dinamakan tahap didih nukleat dan pada tahap ini terjadi perpindahan panas yang cepat karena logam langsung bersentuhan dengan air. Pada tahap ini, logam masih sangat panas dan air akan mendidih dengan hebatnya. Kecepatan pembentukan uap air menunjukkan sangat tingginya laju perpindahan panas. Pada tahap

ketiga, merupakan tahap pendinginan konveksi dan konduksi, dimana permukaan logam telah bertemperatur dibawah titik didih air. Tahap ini hanya mengalami perpindahan panas melalui konveksi dan konduksi.



Gambar 2, Mekanisme pendinginan, dibagi dalam 3 tahapan (Nugroho,2005)

### Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis suatu logam dan paduannya. Pengujian ini paling sering dilakukan karena merupakan dasar pengujian-pengujian dan studi mengenai kekuatan bahan. Pada pengujian tarik beban diberikan secara kontinyu dan pelan-pelan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji. Kemudian dapat dihasilkan tegangan dan regangan.

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A_0}$$

Dimana :

$\sigma_u$  = Tegangan tarik maxsimal (MPa)

$P_u$  = Beban tarik (kN)

$A_0$  = Luasan awal penampang (mm<sup>2</sup>)

Regangan yang dipergunakan pada kurva diperoleh dengan cara membagi perpanjangan panjang ukur dengan panjang awal, persamaanya yaitu:

$$\epsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100$$

Dimana:

$\epsilon$  = Regangan (%)

$L_0$  = Panjang awal (mm)

$L_f$  = Panjang akhir (mm)

Pembebanan tarik dilaksanakan dengan mesin pengujian tarik yang selama pengujian akan mencatat setiap kondisi bahan sampai terjadinya tegangan ultimate, juga sekaligus akan menggambarkan diagram tarik benda uji, adapun panjang  $L_f$  akan diketahui setelah benda uji patah dengan menggunakan pengukuran secara normal tegangan ultimate adalah tegangan tertinggi yang bekerja pada luas penampang semula. Diagram yang diperoleh dari uji tarik pada umumnya digambarkan sebagai diagram tegangan regangan.

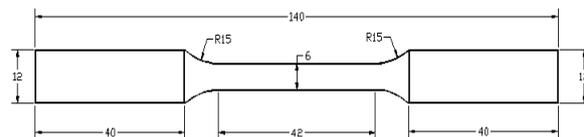
### Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini :

#### 1. Uji tarik

Bentuk dan ukuran benda uji

Bentuk dan ukuran benda uji tarik berdasarkan standar JIS Z2201 No. 14A



Gambar 3. Benda uji tarik.

Benda uji tarik dibuat dengan mesin bubut konvensional selanjutnya diuji tarik dengan menggunakan mesin *Servo Pilser*. Dari pengujian tarik yang dilakukan dapat ditentukan tegangan *ultimate* dan tegangan *yield* bahan uji. Pengujian dilakukan pada bahan uji yang telah diberi perlakuan panas. Hasil dari pengujian ini dipakai sebagai acuan untuk menentukan beban yang dipakai pada pengujian fatik.

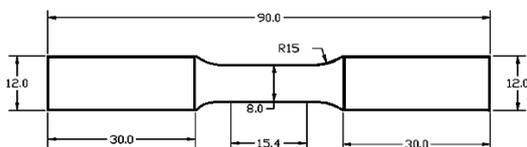
#### 2. Mesin Uji Fatik Tipe *Rotary Bending*

a. Motor listrik

b. Cekam dan indikator pencatat siklus

- c. Chasis
- d. Beban / pemberat

3. Spesimen (AISI 1045)



Gambar 4. Benda uji fatik standar ASTM E 466

**Prosedur Pengujian**

Pengujian ini dilakukan uji tarik untuk mengetahui nilai dari *ultimate tensile strength* (UTS). Nilai UTS dari spesimen diperoleh dari data spesifikasi bahan. Setelah diketahui nilai UTS kemudian melakukan pengujian uji fatik dengan mesin uji fatik tipe *rotary bending*, dengan lama waktu pengujian fatik maksimal selama 3 jam. Adapun langkah-langkah pengambilan data adalah sebagai berikut :

1. Setelah diketahui nilai UTS dari data spesifikasi spesimen, maka dapat ditentukan berat beban yang akan diberikan yaitu sebesar 20%, 30%, 40%, dan 50%, 60% dari nilai UTS spesimen.
2. Memasang spesimen pada mesin uji fatik.
3. Memasang beban.
4. Menghidupkan mesin bersamaan dengan menghidupkan penghitung waktu untuk memulai pengujian.
5. Melihat putaran motor secara berkala sebanyak ± 5 kali.
6. Saat material patah matikan motor dan penghitung waktu.
7. Catat waktu dan rpm yang diperoleh dari indikator.
8. Tandai material untuk pengujian pertama.
9. Ulangi langkah 2-7 untuk pengujian menggunakan beban selanjutnya.
10. Catat seluruh data dan kejadian selama pengambilan data.

**PEMBAHASAN**

Dari pengujian fatik pada Baja AISI 1045 yang telah dilakukan diperoleh hasil pengujian

sebagai berikut :

**Baja karbon sedang AISI 1045 (raw material)**

Tabel 2. Hasil peengujian baja karbon sedang AISI 1045 (raw material)

No	$\sigma$ (MPa)	Siklus	Rpm	t (menit)
1	125	519120	2882	180
2	187,5	518940	2881	180
3	250	205703,4	2882	71,4
4	312,5	127184,4	2883	44,1
5	375	89342	2881	31

Dari hasil pengujian kelelahan (fatik) yang dilakukan terhadap benda uji disajikan dalam bentuk kurva S-N yang terlihat pada gambar 5 berikut ini:



Gambar 5. Kurva S-N pengujian kelelahan (fatik) baja karbon sedang AISI 1045, (raw material)

Dari diagram S-N yang terlihat pada gambar 16 dapat ditentukan persamaan garisnya dengan menggunakan semi log. Persamaan garis tersebut secara umum dinyatakan oleh *dowling* adalah sebagai berikut:

$$S = B + C \ln (N_f)$$

Garis log yang terbentuk merupakan pendekatan tiga titik hubungan tegangan dan siklus patah yang diperoleh dari pengujian. Garis log yang terbentuk terdapat penyimpangan pada pengujian dengan tegangan 312,5 MPa dimana garis log berada diatas. Garis log diatas menunjukkan siklus patah yang terjadi pada waktu pengujian lebih

cepat. Hal ini dikarenakan penjaralan *crack* yang terjadi lebih cepat.

Dari grafik diatas diperoleh persamaan untuk baja karbon sedang AISI 1045 (*raw material*) adalah:

$$\sigma = -148 \ln(N_f) + 2066 \quad (3)$$

Persamaan 3 dapat digunakan untuk menentukan batas ketahanan *fatigue* (*endurance limit*) dimana batas ketahanan fatik (*endurance limit*) dari baja karbon sedang AISI 1045 ditentukan oleh banyaknya siklus ( $N_f$ ). Cara mencari banyaknya siklus dari persamaan 3 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \sigma &= -148 \ln(N_f) + 2066 \\ 148 \ln(N_f) &= 2066 - \sigma \\ \ln(N_f) &= \frac{2066 - \sigma}{148} \end{aligned}$$

Tegangan yang besar akan menghasilkan siklus patah yang rendah, sesuai dengan persamaan 3 menunjukkan tegangan berbanding terbalik dengan siklus patah.

Dengan menggunakan persamaan 3 (tiga) maka dapat ditentukan siklus patah pada pengujian dengan tegangan yang diberikan 312,5 MPa sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sigma &= -148 \ln(N_f) + 2066 \\ -148 \ln(N_f) &= \sigma - 2066 \\ \ln(N_f) &= (\sigma - 2066) / -148 \\ \ln(N_f) &= (312,5 \text{ MPa} - 2066) / -148 \\ N_f &= 139800,68 \text{ siklus} \end{aligned}$$

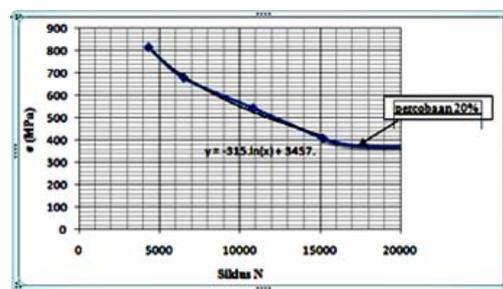
Siklus yang diperoleh adalah 139800,68 siklus, sedangkan pada pengujian diperoleh siklus 127184,4 siklus, ini berarti siklus pada pengujian lebih rendah. Jika dilihat pada tabel 6 menunjukkan pada pengujian dengan tegangan 312,5 MPa memiliki kekasaran permukaan yang lebih tinggi dari 5 pengujian yang lain.

**Baja karbon sedang AISI 1045 *heat treatment* (*quenching*).**

Tabel 3. Hasil pengujian baja karbon sedang AISI 1045 *heat treatment* (*quenching*)

No	$\sigma$ (MPa)	siklus	Rpm	t (menit)
1	271,53	518760	2882	180
2	407,295	15182,87	2881	5,27
3	543,06	10836,32	2882	3,76
4	678,825	6515,58	2883	2,26
5	814,59	4321,5	2881	1,5

Dari hasil pengujian kelelahan (*fatigue*) yang dilakukan terhadap benda uji disajikan dalam bentuk kurva S-N yang terlihat pada gambar 6 berikut ini:



Gambar 6. Kurva S-N pengujian kelelahan (*fatigue*) baja karbon sedang AISI 1045, *heat treatment* (*quenching*).

Dari diagram S-N pada gambar 17 dapat kita lihat garis log yang terbentuk merupakan pendekatan empat titik hubungan tegangan dan siklus patah yang diperoleh dari pengujian, garis log yang terbentuk terdapat penyimpangan pada pengujian dengan tegangan 543,06 MPa, dimana garis log berada dibawah. Garis log dibawah menunjukkan siklus patah yang terjadi pada waktu pengujian lebih lambat. Hal ini dikarenakan penjaralan *crack* yang terjadi dapat bertahan lebih lama.

Dari grafik diatas diperoleh persamaan untuk baja karbon sedang AISI 1045 *heat treatment* (*quenching*) adalah:

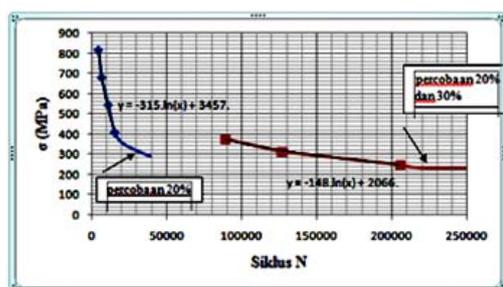
$$\sigma = -315 \ln(N_f) + 3457 \quad (4)$$

Dengan menggunakan persamaan 4 (empat) maka dapat ditentukan siklus patah berdasarkan pada pengujian dengan tegangan yang diberikan 543,06 MPa sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \sigma &= -315 \ln(N_f) + 3457 \\ -315 \ln(N_f) &= \sigma - 3457 \\ \ln(N_f) &= (\sigma - 3457) / -315 \\ \ln(N_f) &= (543,06 \text{ MPa} - 3457) / -315 \\ N_f &= 10410,84338 \text{ siklus} \end{aligned}$$

Siklus yang diperoleh adalah 10410,84338 siklus, sedangkan pada pengujian diperoleh siklus 10836,32 siklus, ini berarti siklus pada pengujian lebih tinggi. Jika dilihat pada tabel 7 menunjuk kan pada pengujian dengan tegangan 543,06 MPa memiliki kekasaran permukaan yang lebih rendah dari 5 pengujian yang lain.

Berikut adalah gambar grafik gabungan antara baja karbon sedang AISI 1045 (*raw material*) dengan baja karbon sedang AISI 1045 *heat treatment (quenching)*.



Gambar 7. Kurva S-N pengujian kelelahan (fatik).

■ Baja karbon sedang AISI 1045 *heat treatment (quenching)*  
■ Baja karbon sedang AISI 1045 *raw material*



Gambar 8. Perpatahan permukaan spesimen uji.

Dapat dilihat pada patahan benda uji, pada pengujian dengan pembebanan 40% dari UTS ditunjukkan pada gambar 19 dan 20 diatas dapat

dilakukan pengamatan struktur makronya menunjukkan bahwa terjadi awal *crack* dan terus berkembang hingga penampang yang tersisa tidak kuat lagi menahan beban dan terjadi perpatahan akhir.

Dapat dilihat patahan benda uji pada gambar 20 yaitu baja AISI 1045 (*raw material*), pada pengamatan struktur makro menunjukkan permukaan hasil pengujian *fatigue* adalah rata, tidak terjadi sobekan dan garis-garis pantai. Hal ini menunjukkan bahwa baja karbon sedang AISI 1045 (*raw material*) termasuk baja yang getas.

Sedangkan patahan benda uji pada gambar 19 baja AISI 1045 *heat treatment (quenching)* dapat dilihat pada pengamatan struktur makro menunjukan permukaan hasil pengujian *fatigue* adalah rata, tidak terjadi robekan, garis-garis pantai dan permukaan patahan lebih rata dibandingkan dengan baja AISI 1045 (*raw material*), tidak terdapat tonjolan-tonjolan pada permukaan patahan benda uji, hal ini menunjukkan bahwa baja karbon sedang AISI 1045 *heat treatment (quenching)* lebih getas dibandingkan dengan baja karbon sedang AISI 1045 (*raw material*). penjalaran *crack (crack propagation)* tidak bertahan lama ini ditunjukkan dengan lebih kecilnya daerah patah fatik daripada daerah perpatahan statik.

### SIMPULAN

Dari hasil penelitian, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Baja AISI 1045 (*raw material*) yang mampu pengujian fatik selama 3 jam pada tegangan 20% dan 30% dari UTS.
2. Pada baja AISI 1045 *heat treatment (quenching)* yang mampu pengujian fatik selama 3 jam pada tegangan 20% dari UTS.
3. Baja karbon sedang AISI 1045 (*raw material*) lebih baik untuk komponen struktur yang mengalami lelah, dibandingkan dengan baja karbon sedang AISI 1045 *heat treatment (quenching)*.

4. Baja karbon sedang AISI 1045 heat treatment (*quenching*) lebih getas dibandingkan dengan baja karbon sedang AISI 1045 (*raw material*).

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Collins, J.A., 1981, *Failure of Material in Mechanical Design, Analysis Prediction and Prevention*, John Willey & Son, Inc US.
- [2] Dieter, George E., 1992, *Metalurgi Mekanik*, Jilid 1, edisi ketiga, alih bahasa oleh Sriati Djafrie, Erlangga, Jakarta.
- [3] Dowling, N.E., 1991, *Mechanical Behaviour of Material*, Prentice, New Jersey.
- [4] Sastrawan, Iwayan Gede Budi. 2010., Teses: *Analisis Kekuatan Fatik Baja Karbon Sedang AISI 1045 Dengan Type Rotary Bending*. Bandar Lampung. Universitas Lampung.
- [5] Hotta, S., Saruki, k., and Arai, T., 1995, *Endurance Limit of Thin Hard Coated Steels in Bending Fatigue, Surface and Coating Tecnology*, 70,121-129.
- [6] International For Use of ONO'S, *High Temperature Rotating Bending Fatigue Testing Machine*, Model H6
- [7] Nugroho, Sri. 2005. *Pengaruh Media Quenching Air Tersirkulasi (circulated water) Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Pada Baja AISI 1045 Volume 7*. Semarang. Staf pengajar UNDIP.
- [8] Satoto, Ibnu. 2002. *Kekuatan Tarik, Struktur Mikro, dan Struktur Makro Lasan Stainless Steel Dengan Las Gesek (friction welding)*. Yogyakarta. Universitas Muhammadiyah.
- [9] Sisworo dan Sudjito. 2009. *Ketahanan Fatik Rotary Bending*. <http://aguskreatif.blogspot.com>. Diakses pada 31 Maret 2011.
- [10] Van, V. 2005. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Erlangga. Jakarta..
- [11] Wordpress. 2009. *Sifat Material*. <http://lulyly4.wordpress.com>. Diakses pada 10 April 2011
- [12] Zulhanif. 2002., Teses: *Pengaruh Implantasi Ion Cromium Terhadap Ketahanan Fatigue Baja Karbon Rendah*. Yogyakarta. Universitas Gajah Mada.