

## **UMUR LELAH BAJA AISI 1045 AKIBAT PERLAKUAN PANAS HASIL QUENCH DAN QUENCH-TEMPER DENGAN BEBAN LENTUR PUTAR PADA SIKLUS LELAH TINGGI**

### **FATIGUE LIFE OF STEEL AISI 1045 WAS UNDER THE INFLUENCE OF QUENCH AND QUENCH-TEMPER WITH ROTATING BENDING TEST ON HIGH CYCLE FATIGUE**

Soeharto, Liestiana Novika Rakhmatanti

Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Teknik Mesin  
 Jl. Arif Rahman Hakim, Surabaya, 60111  
[harto\\_mdn@yahoo.com](mailto:harto_mdn@yahoo.com), [hartoits@me.its.ac.id](mailto:hartoits@me.its.ac.id)

#### **Abstrak**

Baja AISI 1045 merupakan material yang banyak digunakan dalam dunia industri sebagai komponen kendaraan bermotor yang mengalami beban berulang atau vibrasi.. Sering dijumpai bahwa kerusakan terjadi pada beban dinamik yang jauh lebih rendah dari tegangan statis maksimum material. Pada penelitian ini dilakukan proses quench dan quench-temper pada baja poros AISI 1045 dengan menggunakan temperatur 200°C. Baja hasil proses quench dan quench-temper diuji lelah menggunakan mesin uji lelah *RotatingBending*, kemudian umur lelahnya dibandingkan dengan kondisi awal tanpa perlakuan panas. Baja awal dan baja hasil perlakuan panas diamati struktur mikro dan kekerasannya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa umur lelah baja AISI 1045 cenderung menurun bila kekerasan semakin naik. Pada beban 0,6 $\sigma_u$  untuk spesimen awal, quenching, dan quench-tempering berturut-turut adalah 953.000 siklus, 145.066 siklus dan 564.566 siklus. Spesimen awal didominasi oleh struktur mikro pearlit dan ferit dengan kekerasan rata-rata 21,57 HRc. Spesimen hasil proses quench dominan martensit dengan kekerasan rata-rata 49,65HRc. Spesimen quench-temper dominan martensit temper dengan kekerasan rata-rata 39,13 HRc.

Keyword : AISI 1045, quenching, tempering, struktur mikro, umur lelah

#### **Pendahuluan**

Peran baja sangat penting dalam dunia industri, dimana material tersebut banyak digunakan sebagai komponen mesin pabrik, komponen kendaraan bermotor maupun komponen turbin. Sering dijumpai material pada beban berulang atau vibrasi mengalami kegagalan atau patah tanpa diketahui penyebabnya, misalnya pada komponen kendaraan bermotor, kompresor dan turbin yang merupakan peralatan dengan beban berulang. Kerusakan atau patah terjadi pada beban dinamik, walaupun beban yang diterima oleh poros masih jauh dari tegangan statis maksimum material. Patah tersebut dinamakan patah kelelahan.

Tehreem Kanwal,dkk melakukan perlakuan panas baja Low Carbon Steel (0,20% C) pada temperatur austenitisasi 960°C selama 1 jam kemudian dicelup cepat (*quenching*) ke dalam air dan oli. Setelah spesimen diquench kemudian dievaluasi kekerasan dan kekuatan tariknya, setelah itu spesimen tersebut ditemper pada temperatur 150 – 550°C. Hasil

penelitian menunjukkan bahwa s pesimen material awal mengalami kenaikan kekerasan dari 53,75 HRc menjadi 55,5 HRc dan 68,55 HRc setelah dicelup ke dalam oli dan air. Bagaimanapun, nilai kekerasan agak menurun selama ditemper pada daerah temperatur 150 – 550°C dibandingkan hasil quench. Demikian pula nilai kekuatan tarik setelah diquench mengalami kenaikan dari 853.89 N/mm<sup>2</sup> menjadi 872.75 N/mm<sup>2</sup> dan kekuatan tarik setelah ditemper mengalami penurunan dari 629.91 (pada temperatur temper 150°C) menjadi 579.02 N/mm<sup>2</sup> (pada temperatur temper 550°C). Namun hasil temper menunjukkan kenaikan % perpanjangan (*elongation*) dari 20.1% (hasil quench) menjadi 32.2% pada temperatur temper 550°C (Tehreem Kanwal, dkk, 2009)

Pada penelitian ini akan ditinjau sejauh mana pengaruh sifat fisik struktur mikro akibat perlakuan panas dengan *quenching* dan *quench-tempering* terhadap umur lelah dari baja AISI 1045.

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan umur lelah akibat pengaruh perlakuan *quenching* dan *quench-tempering* dengan temperatur tempering  $200^{\circ}\text{C}$  pada baja AISI 1045 dengan uji lentur putar.

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain :

- 1) Mengetahui pengaruh pembebatan terhadap umur lelah material awal, material *quenching*, dan material *quench-tempering*.
- 2) Membandingkan struktur mikro dan kekerasan pada material awal, material *quenching*, dan material *quench-tempering*, terhadap umur lelahnya.

Kontribusi penelitian ini antara lain :

- 1) Mengembangkan poros yang sederhana tanpa mengabaikan fungsinya, umur yang panjang, tahan terhadap beban lentur putar, sederhana, dan aman terhadap kerusakan.
- 2) Mengembangkan teori dan teknologi terhadap beban lentur putar (*rotating bending*) yang kemudian diaplikasikan pada industri tepat guna lainnya.
- 3) Meningkatkan kualitas keamanan.

## Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

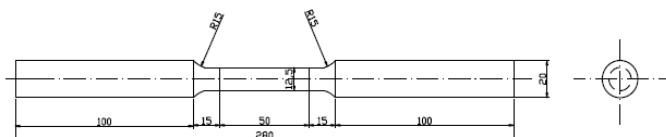
### 1. Material Uji

Material yang diuji dalam penelitian ini adalah Baja Karbon Medium AISI 1045. Material ini banyak digunakan pada komponen mesin, baik poros maupun roda gigi yang terbuat dari Baja Karbon Medium. Komposisi kimia baja karbon AISI 1045 adalah sebagai berikut : C(0.42-0.50%), Mn(0.50-0.80%), Si (maksimum 0.40%), S (0.020-0.040%) , Cr+Mo+Ni (maksimum 0.63%) (ASM Handbook Committe, 2002 )

### 2. Bentuk dan Ukuran Spesimen

#### (a) Pengujian Tarik

Material uji tarik baja karbon AISI 1045 di bentuk berdasarkan standar JIS Z 2201 No 10. B entuk spesimen uji tarik ini mempunyai *gage length* 50 mm dan diameter 12,5 mm. seperti pada gambar 1 dibawah ini :

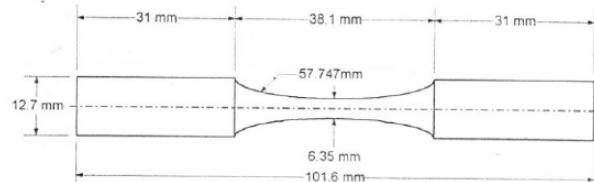


Gambar 1. Spesimen uji tarik

Uji tarik dilakukan pada mesin uji tarik Woolpert Machine tipe 30 TUZ 750 dengan kapasitas 300 kN di laboratorium Metalurgi Teknik Mesin ITS.

#### (b) Pengujian Kelelahan

Mesin yang digunakan dalam uji lelah lentur putar (*rotating bending*) adalah Mesin Uji Lelah *Rotating Beam* model RBF 200 dari *Fatigue Dinamis Inc.*. Pengujian dilakukan dengan pembebatan pada  $0,6\sigma_u$  dan  $0,4\sigma_u$  pada  $R=-1$  dan frekwensi = 50 Hz. Spesimen uji lelah b erdiameter 6,35 mm dan panjang spesimen uji 38,1 mm seperti terlihat pada gambar 2 berikut ini.

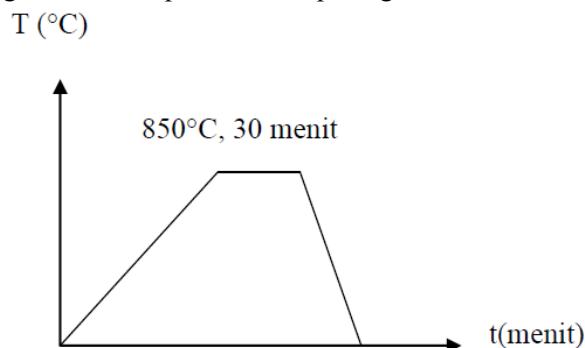


Gambar 2. Spesimen uji lelah

### 3. Perlakuan Panas Pada Spesimen

#### (a) Quenching

Spesimen uji lelah baja karbon AISI 1045 diberi perlakuan panas *quenching* , dimulai dari pemanasan spesimen di dalam dapur sampai temperatur antara  $830-850^{\circ}\text{C}$  dan ditahan selama 30 menit, kemudian dicelup ke dalam air. Perlakuan ini bertujuan untuk mendapatkan struktur mikro austenit yang homogen. Proses dilakukan satu-persatu pada spesimen sampai temperaturnya sama dengan media *quenching*nya. Perlakuan panas pada penelitian ini dapat digambarkan seperti terlihat pada gambar 3 .

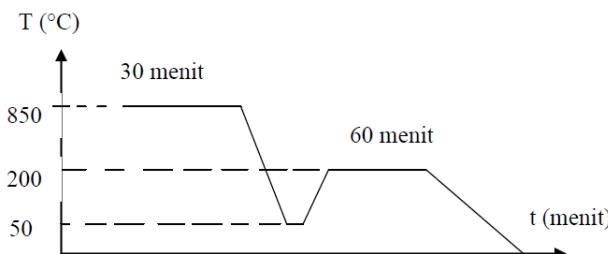


Gambar 3. Proses quench pada baja AISI 1045

#### (b) Quench-Tempering

Pada sebagian spesimen setelah melewati proses quench dilakukan proses temper untuk mendapatkan perbandingan sifat mekanik dan ketahanan lelah. Proses temper dilakukan pada temperatur  $200^{\circ}\text{C}$

selama 60 menit didalam dapur pemanas kemudian didinginkan secara perlahan (gambar 4).



Gambar 4. Proses quench-temper pada baja AISI 1045

#### 4. Langkah-langkah Percobaan

##### (a) Pengamatan Struktur Mikro

Spesimen baja karbon AISI 1045 sebelum dan sesudah pengujian lelah (*fatigue test*) diuji metalografi untuk mendapatkan gambar struktur mikronya. Pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optis dengan perbesaran 500 X.

##### (b) Pengujian Kekerasan

Sebelum dan sesudah material di uji lelah dilakukan uji kekerasan agar dapat diketahui perubahan kekerasan yang terjadi sebelum dan sesudah material di uji lelah. Pengujian ini menggunakan skala Rockwell C.

##### (c) Pengujian Kelelahan

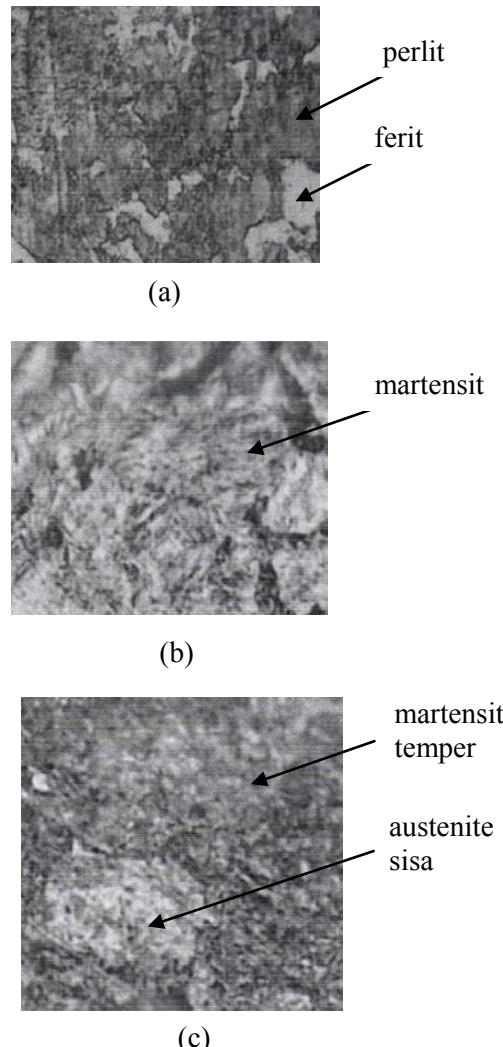
Uji lelah dilakukan pada specimen baja AISI 1045 tanpa perlakuan panas (spesimen awal) dan spesimen yang telah mengalami perlakuan panas dengan menggunakan mesin lentur putar (*rotating bending*) *Rotating Beam* model RBF 200 dari *Fatique Dinamis Inc.* Pengujian dilakukan dengan pembebanan pada  $0,6 \sigma_u$  dan  $0,4 \sigma_u$  pada  $R = -1$  dan frekwensi  $f = 50$  Hz. Tegangan pada pengujian lentur putar dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:  $M = \pi S d^3 / 32$  (ASM Handbook Committe, 2002) atau  $M = 0,0982 S d^3$  dimana :  $M$  = Beban Momen (lb-in)  $d$  = Diameter material uji (in)  $S$  = Tegangan Bending (psi)

#### Hasil dan Pembahasan

##### 1. Analisa Strukturmikro

Dari hasil pengamatan metalografi, diperoleh foto strukturmikro spesimen. Dalam hal ini struktur mikro yang diamati meliputi struktur mikro material awal sebelum perlakuan panas, material dengan perlakuan panas proses quench (*quenching*), dan material

dengan perlakuan panas proses quench-temper. Foto struktur mikro hasil uji metalografi ditunjukkan pada gambar 5.

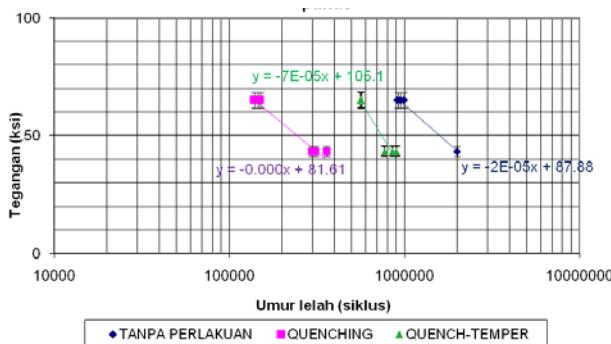


Gambar 5. Strukturmikro s pesimen uji : (a) material awal, (b) material hasil proses quench, (c) material hasil proses quench-temper.

Strukturmikro material awal tanpa perlakuan panas dominan perlite dan ferit (gambar 5a), yang cenderung tangguh dan ulet. Hasil proses temper dengan temperatur  $200^\circ\text{C}$  merubah struktur mikro yang sebelumnya adalah martensit (gambar 5b) berubah menjadi black martensit yang berwarna gelap (gambar 5c) martensit temper ini sifatnya lebih ulet dari martensit hasil quench (Callister, William D,2007) yang membuat umur lelah material quench-temper lebih baik dari pada hasil quench saja. Pada gambar 4.1b martensit hasil quench memiliki bentuk seperti jarum yang membuat material lebih mudah patah saat diuji lelah. Sedangkan material awal didominasi oleh ferit dan perlit yang membuatnya tetap keras tetapi juga cukup ulet , sehingga umur lelahnya paling baik.

## 2. Komparasi Pengaruh Pembebaan Terhadap Umur Lelah

Uji lelah dilakukan untuk memperoleh harga umur lelah spesimen yang berupa kekuatan lelah (*fatigue strength*) pada  $0,4 \sigma_u$  dan  $0,6 \sigma_u$  lalu di plot dalam grafik tegangan dan umur lelah (S-N Diagram) seperti terlihat pada gambar 6.



**Gambar 6..** Grafik beban tegangan terhadap umur lelah spesimen uji dengan perbedaan perlakuan panas

Dari gambar 6 pada ketiga material, spesimen hasil quench-temper memiliki nilai gradien terkecil, dimana rata-rata umur lelah pada tiap pembebaan memiliki selisih 35,5%. Ditunjukkan dengan umur lelah pada  $0,4 \sigma_u$  memiliki rata-rata 875.766 siklus, sedangkan pada  $0,6 \sigma_u$  memiliki rata-rata 564.566 siklus. Pada spesimen uji awal tanpa perlakuan panas selisih umur lelah 48,48% ditunjukkan dengan umur lelah pada  $0,4 \sigma_u$  memiliki rata-rata 2.000.000 siklus, sedangkan pada  $0,6 \sigma_u$  memiliki rata-rata 953.000 siklus. Spesimen hasil proses quench memiliki selisih umur lelah 54,81% ditunjukkan dengan umur lelah pada  $0,4 \sigma_u$  memiliki rata-rata 321.066 siklus, sedangkan pada  $0,6 \sigma_u$  memiliki rata-rata 145.066 siklus. Dari ketiga macam spesimen tersebut jika diberikan pertambahan beban, maka umur lelah material quench-temper lebih baik dari pada material awal tanpa perlakuan dan material hasil proses quench.

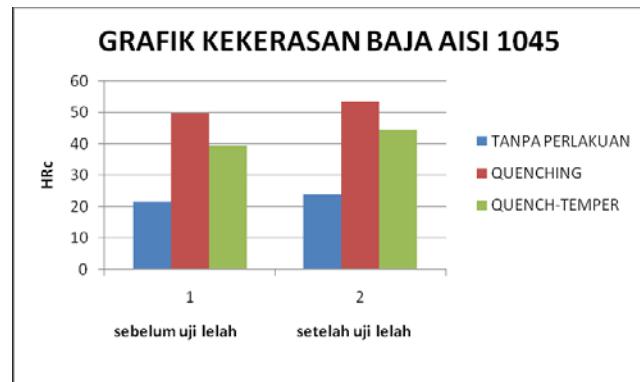
## 3. Komparasi Umur Lelah Material Awal Dengan Umur Lelah Material Setelah Mengalami Perlakuan Panas.

Pengaruh perlakuan panas terhadap umur lelah baja AISI 1045 dapat diketahui dengan membandingkan kurva S-N spesimen uji awal dengan spesimen uji yang telah diberi perlakuan panas. Berdasarkan data uji lelah pada ketiga macam spesimen dapat dibuat kurva tegangan-umur lelah (kurva S-N), seperti pada gambar 6.

Gambar 6. menunjukkan bahwa umur lelah material uji berturut-turut dari tinggi ke rendah adalah spesimen uji awal (tanpa perlakuan), spesimen uji quench-temper dengan temperatur temper  $200^{\circ}\text{C}$ , spesimen uji proses quench. Dari grafik tersebut dapat diketahui pula pada tegangan yang sama besar, material hasil proses quench memiliki umur lelah paling rendah dibanding material tanpa perlakuan dan quench-temper. Perlakuan panas pada material baja AISI 1045 m engakibatkan perubahan pada strukturmikronya. Pada hasil perlakuan panas proses quench diperoleh struktur akhir martensit yang dominan, tampak bahwa martensit (bagian yang berwarna gelap dan tajam) terbentuk lebih banyak. Hal ini disebabkan karena pada proses pendinginan dilakukan pada laju yang relatif cepat sehingga kesempatan untuk terbentuknya martensit lebih banyak. Pada material yang mengalami proses quench-temper sebagian martensit bertransformasi menjadi martensit temper yang lebih ulet sehingga dapat menaikkan umur lelahnya.

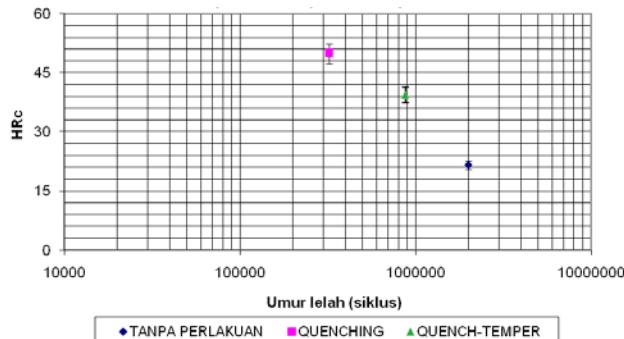
## 4. Komparasi Pengaruh Kekerasan Material Awal Dengan Kekerasan Material Setelah Mengalami Perlakuan Panas Terhadap Umur Lelah

Hasil pengujian kekerasan spesimen pada ketiga macam perlakuan panas ditunjukkan pada gambar 7.



**Gambar 7.** Grafik kekerasan material uji dengan perbedaan perlakuan panas.

Sedangkan hubungan antara kekerasan dan umur lelah material uji dengan perbedaan perlakuan panas dapat dilihat pada gambar 8 dibawah ini.



**Gambar 8.** Grafik kekerasan terhadap umur lelah material uji dengan perbedaan perlakuan panas

Dari gambar 7 dan 8 grafik kekerasan material awal dan material dengan perlakuan panas tampak bahwa dengan perlakuan panas berupa proses quench yang diberikan pada material awal akan menaikkan nilai kekerasan dan mengurangi umur lelah. Selanjutnya bila setelah diquench material tersebut mengalami proses temper pada temperatur  $200^{\circ}\text{C}$ , maka nilai kekerasannya akan turun dibandingkan dengan material yang hanya diquench saja, tetapi mengalami kenaikan umur lelah. Hal ini disebabkan karena pada material yang keras mempunyai sifat lebih getas daripada material yang lunak, sedangkan material getas relatif mempunyai umur lelah lebih pendek daripada material ulet. Oleh karena itu, material hasil proses quench memiliki umur lelah paling pendek dibandingkan material awal tanpa perlakuan panas maupun material hasil quench-temper. Material yang mengalami proses quench mempunyai nilai kekerasan tinggi dan apabila diproses temper, maka nilai kekerasannya turun tetapi mengalami kenaikan umur lelah.

## Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Perlakuan panas pada material baja AISI 1045 berpengaruh terhadap kecenderungan gradien dari kurva S-N. Semakin kecil gradien material maka semakin kecil pengaruh perbedaan pembebangan terhadap umur lelah, sehingga material dengan proses quench-temper memiliki kekuatan lelah lebih baik daripada material awal tanpa perlakuan dan material hasil proses quench.
2. Perlakuan panas pada material baja AISI 1045 berpengaruh terhadap umur lelah. Material yang mengalami proses quench akan mengalami penurunan umur lelah, tetapi material yang ditemper setelah diquench mengalami kenaikan umur lelah dibandingkan dengan material yang diquench saja.
3. Pada material baja AISI 1045 setelah mengalami perlakuan panas terjadi perubahan strukturmikro. Material awal tanpa perlakuan panas dominan

pearlit dan ferit, yang cenderung tangguh dan ulet. Material hasil proses quench dominan martensit yang bersifat getas, sehingga umur lelahnya turun. Material hasil quench-temper dominan martensit temper yang lebih ulet dari pada martensit hasil quench, sehingga dapat meningkatkan umur lelahnya.

## Ucapan Terima kasih

Puji syukur ke hadirat Tuhan YME atas terselesainya penelitian dan paper seminar ini. Tak lupa penulis juga menyampaikan rasa terima kasih dan apresiasi yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah ikut membantu baik berupa tenaga maupun pikiran hingga selesaiya penelitian ini dengan baik. Mudah-mudahan hasil penelitian ini dapat menambah pengetahuan dan bermanfaat bagi para pembaca sekalian.

## Nomenklatur

f	Frequency (Hz)
M	Momen bending (lb.in)
N	Number of cycles (cycles)
R	Stress ratio
d	Diameter (in)
S	Stress (psi)
HRc	Rockwell hardness

## Greek letters

$\sigma_u$	Ultimate strength (N/mm <sup>2</sup> )
$\pi$	Constant number = 3,14

## Referensi

ASM Handbook Committe, *Failure Analysis and Prevention*, 9th edition, American Society for Metal, Vol. 11(2002)

Avner, Sidney H, *Introduction To Physical Metallurgy*, Second Edition, Mc Graw.Hill International Book Company, Tokyo (1982)

Callister, William D,Jr, *Materials Science And Engineering*, 7th ed. John Willey & Sons,Inc. USA (2007)

Colangelo, V.J , *Analysis of Metallurgical Failures*, second edition, 3rd edition. Singapura : John Wiley & Sons, Inc. (1989)

Edmondsa D.V., Hea K., Rizzo F.C., De Coomanc B.C., Matlock D.K., Speer J.G., *Quenching and Partitioning Martensite—A Novel Steel Heat*

Treatment, Materials Science and Engineering A  
438–440, 25–34, Elsevier B.V, UK(2006)

Fuchs, H.O, dan Stephens, R. I, *Metal Fatigue In Engineering*, New York : John Wiley & Sons, Inc. (1980)

Juvinal, R.C, dan Marshek, K.M, 2000, *Fundamentals of Machine Component Design*, 3rd edition. New York : John Wiley & Sons, Inc.

Tehreem Kanwal, Rabia Nazir, Saba Zulqernain, A. Salam, Javaid Ahmad, *Quench Hardening and Tempering Behaviour of A Low Carbon Steel*, Journal of Pakistan Institute of Chemical Engineers , Vol. XXXVII, Faculty of Engineering and Technology, University of the Punjab, Lahore (2009).

Tira Andalan Steel, PT, *High Quality Machinery Steel*, Indonesia (2006)

Willem, N,Easley, J.T, dan Rolfe, S.T, *Strength of Materials*, New York : McGraw- Hill,Inc.(1981)