PENGARUH QUENCHING TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS BAJA KARBON RENDAH

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi salah satu syarat

memperoleh gelar Sarjana Teknik

Jurusan Teknik Mesin

Disusun oleh :
Jemmy Christian
NIM : 025214011

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA

2007

THE EFFECT OF QUENCHING ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LOW CARBON STEEL

FINAL PROJECT

Presented as partial Fulfillment of the Requirement

to Obtain the *Sarjana Teknik* Degree

in Mechanical Engineering

By :

Jemmy Christian

Student Number : 025214011

MECHANICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
ENGINEERING FACULTY
SANATA DHARMA UNIVERSITY
YOGYAKARTA

2007

TUGAS AKHIR

PENGARUH QUENCHING TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS BAJA KARBON RENDAH

Disusun oleh :

Nama : Jemmy Christian

NIM : 025214011

Telah Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing

(Doddy Purwadianto, S.T., M.T.)

Tanggal 30 Maret 2007

TUGAS AKHIR

PENGARUH QUENCHING TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS BAJA KARBON RENDAH

Dipersiapkan dan ditulis oleh :

Nama : Jemmy Christian

NIM : 025214011

Telah dipertahankan di depan Panitia Penguji

pada tanggal 29 Maret 2007

dan dinyatakan memenuhi syarat

Susunan Panitia Penguji

Ketua	: I Gusti Ketut Puja, S.T., M.T.	.....
Sekretaris	: Wibowo Kusbandono, S.T., M.T.	.....
Anggota	: Doddy Purwadianto, S.T., M.T.	.....

Yogyakarta, 2 April 2007

Fakultas Teknik

Universitas Sanata Dharma Yogyakarta

Dekan

(Ir. Gregorius Heliarko, S.J., S.S., B.S.T., M.A., M.Sc.)

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, Maret 2007

Penulis

Jemmy Christian

Buat mereka yang selalu bertanya
bagaimana Tugas Akhirmu, sudah bab berapa, kapan ujian,
kapan lulus . . . .

Tuhan adalah gembalaku yang baik

kupersembahkan buat :
Tuhan Yesus Kristus
Papa tercinta Ma'at Eliaser Lente
Mama tercinta Bertha Christiana Sannang
Kakak terkasih Yenny Ma'at Lente
My Family
My Friends

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas bimbingan dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Penulis menyadari begitu banyaknya bantuan, bimbingan serta dukungan yang diberikan dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Romo Ir. Gregorius Heliarko, S.J., S.S., B.S.T., M.A., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
2. Bapak Yosef Agung Cahyanta, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
3. Bapak Raden Benedictus Dwiseno Wihadi, S.T., M.Si., selaku dosen pembimbing akademik.
4. Bapak Doddy Purwadianto, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
5. Segenap dosen dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
6. Bapak Martono, Bapak Ronny, Bapak Intan dan semua laboran yang lain.

7. Teman-teman Teknik Mesin yang banyak membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
8. IKAPMAJAYA, Sorowako Community dan Pogung Baru E-46 buat semua kebersamaannya.
9. Papa, Mama, Kakak dan semua keluargaku yang selalu mendukung dalam penyelesaian Tugas Akhir.
10. Semua pihak yang telah banyak membantu penulis dalam penyusunan Tugas Akhir yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari Tugas Akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu saran dan kritik sangat diperlukan demi peningkatan kualitas dikemudian hari.

Yogyakarta, Maret 2007

Penulis

Jemmy Christian

INTISARI

Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh quenching terhadap sifat fisis dan mekanis baja karbon rendah. Benda uji yang digunakan adalah baja karbon rendah dengan kadar 98,81 %Fe, 0,126 %C dan unsur-unsur yang lain.

Proses penelitian ini dilakukan dengan memanaskan benda uji pada suhu 600 ^{0}C dan 920 ^{0}C. Ketika mencapai suhu yang ditentukan, suhu kemudian ditahan selama 50 menit agar suhu pemanasan merata dilanjutkan quenching dengan media air. Pengujian yang dilakukan pada benda uji adalah uji tarik, uji kelelahan, uji kekerasan, uji struktur mikro dan uji struktur makro.

Dari hasil pengujian tarik diperoleh kekuatan tarik baja quenching suhu 920 ^{0}C lebih tinggi dari baja quenching suhu 600 ^{0}C. Kekerasan baja quenching suhu 920 ^{0}C juga lebih tinggi dari baja quenching suhu 600 ^{0}C. Pada uji kelelahan baja quenching suhu 600 ^{0}C mempunyai kekuatan lelah yang lebih baik dari baja quenching suhu 920 ^{0}C. Melalui quenching pada suhu 920 ^{0}C dapat terbentuk martensit pada baja sedangkan dengan quenching pada suhu 600 ^{0}C strukturnya terdiri dari ferrit dan perlit. Semua baja menghasilkan penampang patahan yang terdiri dari 2 daerah yaitu daerah patah awal dan akhir.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
TITLE PAGE ii
HALAMAN PENGESAHAN iii
HALAMAN PENGESAHAN iv
HALAMAN PERNYATAAN v
HALAMAN PERSEMBAHAN vi
KATA PENGANTAR vii
INTISARI ix
DAFTAR ISI x
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR TABEL xiii

BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar belakang penelitian 1
1.2 Tujuan penelitian 1
1.3 Batasan penelitian 2
1.4 Metode penelitian 2
BAB II DASAR TEORI 3
2.1 Produksi Baja 3
2.2 Klasifikasi Baja 3
2.3 Klasifikasi baja karbon biasa (plain carbon steel) 4
2.4 Pengaruh Unsur-Unsur Baja 6
2.5 Baja Perkakas 8
2.6 Baja tahan karat 9
2.7 Perlakuan panas 9
2.7.1 Jenis perlakuan panas 10
2.7.2 Martensit 12
2.7.3 Diagram-Waktu-Temperatur-Perubahan 14
2.8 Pengujian bahan 17
2.8.1 Pengujian tarik 18
2.8.2 Pengujian kelelahan 23
2.8.3 Pengujian kekerasan Brinell 25
2.8.4 Pengujian kekerasan Rockwell 28
2.8.5 Pengujian Struktur Kristal 30
2.9 Patah pada benda uji 30
2.9.1 Kegagalan akibat kelelahan bahan 32
2.9.2 Batas Kelelahan (Endurance Limit) 35
BAB III METODE PENELITIAN 36
3.1 Skema penelitian 36
3.2 Bahan yang digunakan 37
3.3 Peralatan yang digunakan 37
3.4 Pembuatan benda uji (specimen) 38
3.4.1 Bahan pengujian tarik 38
3.4.2 Bahan pengujian kelelahan 39

3.4.3 Bahan pengujian kekerasan 40
3.5 Pengujian bahan 41
3.5.1 Proses perlakuan panas 41
3.5.2 Pengujian tarik 41
3.5.3 Pengujian kelelahan 42
3.5.4 Pengujian kekerasan 42
3.5.5 Pengujian Struktur Mikro 43
3.5.6 Pengujian Struktur Makro 44
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 45
4.1 Hasil uji komposisi 45
4.2 Hasil pengujian bahan 45
4.2.1 Pengujian Tarik 45
4.2.2 Pengujian Kelelahan 47
4.2.2.1 Pengujian kelelahan baja quenching suhu 600 ^{0}C 47
4.2.2.2 Pengujian kelelahan baja quenching suhu 920 ^{0}C 49
4.2.3 Pengujian Struktur Mikro 52
4.2.4 Pengamatan Struktur Makro 53
4.2.5 Pengujian Kekerasan Brinell 55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 60
5.1 Kesimpulan 60
5.2 Saran 61
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Metallographi dari baja dengan bermacam-macam kadar karbon . 5
Gambar 2.2 Diagram Fe-C 12
Gambar 2.3 TTT-Diagram Isothermik baja bukan paduan dengan kadar karbon 0,9 % 15
Gambar 2.4 TTT-Diagram Kontinyu baja bukan paduan dengan kadar karbon 0,9 % 16
Gambar 2.5 TTT-Diagram pengaruh media Quench 16
Gambar 2.6 TTT-Diagram pengaruh ketebalan benda kerja 17
Gambar 2.7 Diagram $\sigma - \varepsilon$ Baja 20
Gambar 2.8 Pengujian kelelahan 24
Gambar 2.9 Prinsip uji kekerasan Brinell 27
Gambar 2.10 Irisan penampang uji Brinell 27
Gambar 2.11 Prinsip pengukuran kekerasan Rockwell 28
Gambar 2.12 Skema perpatahan fatik 34
Gambar 2.13 Diagram S-N untuk logam besi dan bukan besi 35
Gambar 3.1 Uji tarik standar 38
Gambar 3.2 Specimen uji tarik 39
Gambar 3.3 Specimen uji kelelahan standar 39
Gambar 3.4 Specimen uji kelelahan 40
Gambar 3.5 Specimen uji kekerasan 40
Gambar 3.6 Specimen uji struktur mikro 44
Gambar 4.1 Diagram S-N baja quenching suhu 600 ^{0}C 49
Gambar 4.2 Diagram S-N baja quenching suhu 920 ^{0}C 51
Gambar 4.3 Diagram S-N hasil pengujian 51
Gambar 4.4 Struktur mikro baja quenching suhu 600 ^{0}C perbesaran 418× 52
Gambar 4.5 Struktur mikro baja quenching suhu 920 ^{0}C perbesaran 418× 52
Gambar 4.6 Struktur makro baja quenching suhu 600 ^{0}C 53
Gambar 4.7 Struktur makro baja quenching suhu 920 ^{0}C 55
Gambar 4.8 Diagram kekerasan baja quenching 57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Baja menurut SAE dan AISI 8
Tabel 2.2 Diameter penetrator 25
Tabel 4.1 Uji komposisi 45
Tabel 4.2 Uji tarik baja quenching suhu 600 ^{0}C 47
Tabel 4.3 Uji tarik baja quenching suhu 920 ^{0}C 47
Tabel 4.4 Uji kelelahan baja quenching suhu 600 ^{0}C 48
Tabel 4.5 Uji kelelahan baja quenching suhu 920 ^{0}C 50
Tabel 4.6 Baja quenching suhu 600 ^{0}C 56
Tabel 4.7 Baja quenching suhu 920 ^{0}C 57

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang penelitian

Dalam dunia industri logam masih merupakan salah satu bahan yang memegang peranan penting baik sebagai sarana atau komponen pendukung pabrik sampai kepada hasil pabrik itu sendiri yang berupa logam. Logam juga banyak ditemukan di rumah tangga dan fasilitas yang berhubungan dengan aktifitas kehidupan manusia.

Berdasarkan hal tersebut penulis mencoba melakukan penelitian terhadap baja karbon rendah. Selain sebagai salah satu logam yang masih banyak digunakan, sifat-sifat baja dapat diubah jika mengalami perlakuan panas.

1.2 Tujuan penelitian

Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh quenching terhadap sifat fisis dan mekanis baja karbon rendah, yaitu dengan :

1. Membandingkan kekuatan tarik baja quenching suhu 600 ^{0}C dengan baja quenching suhu 920 ^{0}C.
2. Membandingkan kekuatan lelah baja quenching suhu 600 ^{0}C dengan baja quenching suhu 920 ^{0}C.
3. Membandingkan kekerasan baja quenching suhu 600 ^{0}C dengan baja quenching suhu 920 ^{0}C.

4. Membandingkan struktur mikro baja quenching suhu 600 ^{0}C dengan baja quenching suhu 920 ^{0}C.
5. Membandingkan struktur makro baja quenching suhu 600 ^{0}C dengan baja quenching suhu 920 ^{0}C.

1.3 Batasan penelitian

Baja karbon rendah dipanaskan pada suhu 600 ^{0}C dan 920 ^{0}C kemudian diquenching dengan media air. Pemilihan suhu tersebut sebagai perbandingan suhu pemanasan baja.

1.4 Metode penelitian

Metode yang dilakukan adalah dengan membuat specimen dari setiap pengujian. Specimen kemudian dipanaskan dengan suhu yang ditentukan dan dilakukan pengujian yang terdiri dari pengujian tarik, pengujian kelelahan, pengujian kekerasan, pengujian struktur mikro dan struktur makro. Dari hasil pengujian kemudian dilakukan analisa dan pembahasan.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Produksi Baja

Bijih besi hasil tambang dilebur di dalam dapur tinggi (blast furnace) untuk memperoleh besi mentah (pig iron). Besi mentah hasil dapur tinggi masih mengandung unsur-unsur C, Si, Mn, P dan S dengan jumlah cukup besar. Untuk mendapatkan baja sesuai keinginan maka kandungan unsur-unsur tersebut perlu dikurangi. Jadi proses pembuatan baja adalah proses untuk mengurangi kadar C, Si, Mn, P dan.S dari besi mentah lewat oksidasi peleburan.

2.2 Klasifikasi Baja

Baja dapat diklasifikasikan, antara lain :

1. Baja karbon biasa (plain carbon steel)
2. Baja paduan rendah (high-strength, low-alloy steel)
3. low-alloy structural steel
4. Baja tahan karat (stainless steel)
5. Baja tuang/cor (cast steel)
6. Baja perkakas (tool steel)
7. Baja penggunaan spesial/khusus (special purpose steel)

2.3 Klasifikasi baja karbon biasa (plain carbon steel)

Baja karbon adalah baja yang hanya terdiri dari besi (Fe) dan karbon (C) saja tanpa bahan-bahan paduan yang lain. Beberapa unsur yang lain kadang-kadang terdapat pada baja karbon tetapi dengan kadar/prosentanse yang sangat kecil, misalnya Si, Mn, S, P. Berdasarkan tinggi rendahnya prosentase karbon di dalam baja maka baja karbon dikelompokkan sebagai berikut :

1. **Baja karbon rendah (<0,3%C)**

   Karena karbon yang dikandung sangat rendah maka baja ini lunak dan tidak dapat dikeraskan. Baja ini dapat dituang, dikeraskan permukaannya (case hardening), mudah dilas dan ditempa. Baja dengan prosentase karbon di bawah 0,15% memiliki machinability yang jelek (sukar dikerjakan dengan mesin). Baja karbon rendah biasanya dipergunakan untuk konstruksi jembatan, bangunan dan lain-lain.

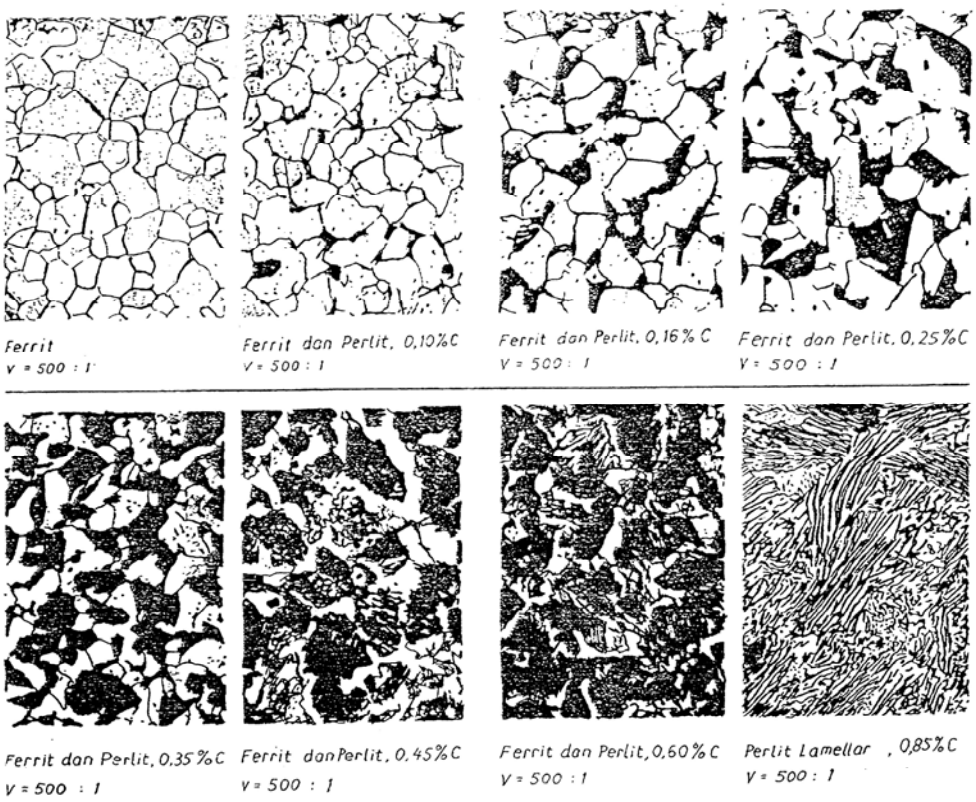
2. **Baja karbon sedang (0,3<C<0,7%)**

   Jenis baja ini lebih keras, dapat dikeraskan dan ditempering. Sifat-sifat lain dari baja ini adalah dapat dilas dan dikerjakan pada mesin dengan baik.

3. **Baja karbon tinggi (0,7<C<1,7%)**

   Baja ini lebih cepat dikeraskan daripada jenis yang lain karena kadar karbon yang lebih tinggi. Penggunaan jenis baja ini sangat terbatas karena memiliki machinability dan weldability yang jelek dan sukar dibentuk. Baja karbon tinggi biasanya dipergunakan untuk pegas/per, alat-alat pertanian dan lain-lain.

Dengan naiknya kadar karbon (%C) maka bertambah besarlah noda flek hitam (flek perlit) bersama ini berkurang flek putih (ferrit = besi murni). Pada saat kadar karbon mencapai 0,85%, maka besi dalam keadaan jenuh terhadap karbon. Struktur seperti ini disebut perlit lamellar, yaitu campuran yang sangat halus dan berbentuk batang-batang kristal. Campuran kristal tersebut terdiri dari ferrit dan sementit. Jadi jika kadar karbon bertambah besar sementit akan berkurang dan flek-flek perlit akan bertambah. Kadar karbon mencapai jenuh jika sudah sebesar 0,85% dengan demikian kekerasan baja akan bertambah.



Gambar 2.1 Metallographi dari baja dengan bermacam-macam kadar karbon

2.4 Pengaruh Unsur-Unsur Baja

Pengaruh unsur-unsur pada baja, antara lain :

1. Unsur Sulfur (S)

Kadar sulfur harus dibuat sekecil mungkin karena akan unsur S akan menurunkan kualitas baja. Kadar S dalam jumlah banyak menjadikan baja rapuh pada suhu tinggi (panas).

2. Unsur Phosfor (P)

Kadar phosfor harus dibuat sekecil mungkin karena unsur P akan menurunkan kualitas baja. Kadar P dalam jumlah banyak menjadikan baja rapuh pada suhu rendah (dingin). Kadang-kadang unsur P perlu ditambahkan pada baja agar mudah dikerjakan dengan mesin perkakas dan juga mendapatkan ukuran tatal lebih kecil ketika dikerjakan dengan mesin otomatis.

3. Unsur Mangan (Mn)

Semua baja mengandung Mn karena diperlukan dalam proses pembuatan baja. Kadar Mn lebih kecil dari 0,6% tidak dianggap sebagai unsur paduan karena tidak mempengaruhi sifat baja secara mencolok. Unsur Mn dalam proses pembuatan baja berfungsi sebagai deoxider (pengikat O_2) sehingga proses peleburan dapat berlangsung baik. Kadar Mn rendah dapat juga menurunkan kecepatan pendinginan kritis.

4. Unsur Silikon (Si)

Unsur Si selalu terdapat pada baja. Unsur ini menurunkan laju perkembangan gas sehingga mengurangi sifat berpori baja. Si akan

menaikkan tegangan tarik, menurunkan kecepatan pendinginan kritis. Unsur Si harus selalu ada dalam baja walaupun dalam jumlah kecil untuk memberi sifat mampu las dan mampu tempa pada baja.

5. Nikel (Ni)

Unsur Ni memberi pengaruh sama seperti Mn yaitu menurunkan suhu kritis dan kecepatan pendinginan kritis. Kadar Ni cukup banyak menjadikan baja austenit pada suhu kamar. Ni membuat struktur butiran halus dan menaikkan keuletan baja.

6. Molibden (Mo)

Molybden berperan dalam pembentukan karbida. Sehingga Mo dapat meningkatkan kekerasan baja, ketahanan terhadap keausan, meningkatkan ketangguhan dan kekuatan pada temperatur tinggi.

7. Wolfram (W)

Wolfram dapat membentuk karbida. Sehingga baja paduan W dapat menaikkan kekerasan baja dan kemampuan potong.

8. Vanadium (V)

Vanadium berperan dalam pembentukan karbid. Vanadium membuat baja menjadi tahan panas, menaikkan kemampuan potong dan tahan aus.

Tabel 2.1 Klasifikasi Baja menurut SAE dan AISI

AISI Number	Tipe
1XXX	Baja Karbon (Carbon Steels)
10XX	Plain Carbon Steel
11XX	Free Cutting (S)
12XX	Free Cutting (S) dan (P)
13XX	Mn tinggi (High manganese) (1,6 - 1,9%Mn)
2XXX	Baja Nikel (Nickel Steels) (3,5 - 5.0%Ni)
3XXX	Nickel - Chromium (1,0 - 3,5%Ni;0,5 - 1,75%Cr)
4XXX	Molybdenum
40XX	Mo (0,15 - 0,30%Mo)
41XX	Mo,Cr (0,08 - 0,35%Mo;0,4 - 1.1%Cr)
43XX	Mo,Cr,Ni (1,65 - 2%Ni;0,4 - 0,9%Cr;0,2 - 0,3%Mo)
44XX	Mo (0,35 - 0,6%Mo)
46XX	Mo,Ni (low) (0,7 - 2%Ni;0,15 - 0,3%Mo)
47XX	Mo,Cr,Ni (0,9 - 1,2%Ni;0,35 - 0,55%Cr;0,15 - 0,4%Mo)
49XX	Mo,Ni (high) (3,25 - 3.75%Ni;0,2 - 0,3%Mo)
5XXX	Chromium
50XX	Cr (0,2 - 0,6%Cr)
51XX	Cr (0,7 - 1,15%Cr)
6XXX	Chromium - Vanadium
61XX	Cr,V (0,5 - 1,1%Cr;0,1 - 0,15%V)
8XXX	Ni,Cr,Mo
9XXX	Baja lain
92XX	High Silicon (1,2 - 2,2%Si)
93XX	Ni,Cr,Mo (3 - 3,5%Ni,...)
94XX	Ni,Cr,Mo (0,3 - 0,6%Ni,…)

2.5 Baja Perkakas

Baja perkakas mengandung unsur-unsur Mo, W, Cr dan V dengan jumlah cukup besar sehingga baja menjadi lebih keras dan tahan terhadap keausan.

Baja perkakas pada umumnya mempunyai syarat-syarat sebagai berikut :

1. Kemampuan mempertahankan kekerasan dan kekuatan pada suhu tinggi.
2. Kemampuan terhadap beban kejut.

3. Kemampuan untuk mempertahankan diri terhadap keausan dan gesekan.

2.6 Baja tahan karat

Baja tahan karat mempunyai daya tahan terhadap korosi yang berbeda tergantung pada kandungan kromium (Cr). Baja austenitik termasuk group baja Cr-Ni (seri 300). Baja ferritik (seri 400) tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas.

Baja tahan karat dapat dibedakan atas :

1. Baja tahan karat austenitik
2. Baja tahan karat ferritik
3. Baja tahan karat martensitik

2.7 Perlakuan panas

Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisis logam tersebut. Maksud dari perlakuan panas pada logam, antara lain :

1. Meningkatkan kekerasan.
2. Meningkatkan kemampuan potong.
3. Melunakkan baja dan memudahkan pemesinan lebih lanjut.
4. Menghilangkan tegangan dalam.
5. Memperbesar atau memperkecil besar butir.
6. Meningkatkan ketangguhan.

2.7.1 Jenis perlakuan panas

Jenis-jenis perlakuan panas, antara lain :

1. Anil (Annealing)

Baja dipanaskan sedikit di atas suhu kritis dibiarkan sampai suhu merata dan dilanjutkan dengan pendinginan secara perlahan-lahan sampai suhu di bagian luar dan dalam kira-kira sama.

Tujuan annealing adalah pelunakan sehingga baja yang keras dapat dikerjakan melalui pemesinan atau pengerjaan dingin.

2. Normalisasi (Normalisation)

Proses pemanasan baja 30 ^{0}C-50 ^{0}C di atas daerah kritis dan ditahan dalam beberapa waktu kemudian disusul dengan pendinginan dalam udara. Tujuan dari normalisasi adalah menghilangkan tegangan dalam.

3. Pengerasan (Hardening)

Proses pemanasan baja sampai suhu di daerah kritis atau di atas daerah kritis ditahan dalam beberapa waktu kemudian disusul dengan pendinginan cepat (quenching).

Tujuan dari perlakuan panas ini untuk membuat baja menjadi keras.

4. Tempering

Proses pemanasan kembali baja yang sudah dikeraskan pada suhu di bawah suhu kritis disusul dengan pendinginan perlahan. Baja yang sudah diquenching menjadi sangat keras tetapi bersifat rapuh sehingga tidak sesuai bagi kebanyakan penggunaan.

Tujuan dari perlakuan panas ini untuk menghilangkan/mengurangi tegangan dalam,.

menurunkan kekerasan dan menaikkan keuletan.

Berdasarkan temperatur pemanasan ada 3 macam tempering untuk baja, yaitu :

a) Tempering temperatur rendah (150 ^{0}C-350 ^{0}C)

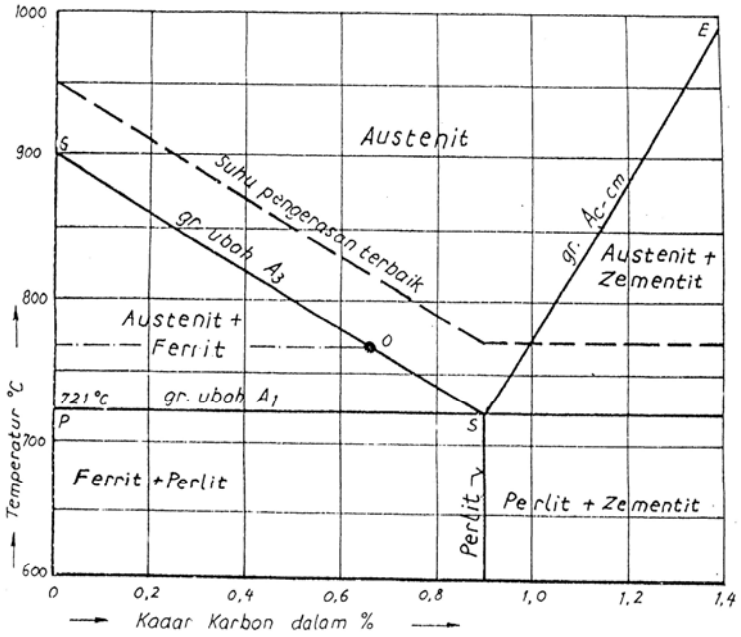
Tujuannya untuk menghilangkan tegangan dalam dan menaikkan keuletan tanpa mengubah struktur dan kekerasan.

b) Tempering temperatur sedang (350 ^{0}C-450 ^{0}C)

Tujuannya untuk mengurangi kekerasan dan menaikkan keuletan.

c) Tempering temperatur tinggi (450 ^{0}C-650 ^{0}C)

Tujuannya untuk memperoleh keseimbangan antara kekuatan dan keuletan bahan.



Gambar 2.2 Diagram Fe-C

2.7.2 Martensit

Martensit adalah suatu struktur yang harus dimiliki baja agar memperoleh kenaikan kekerasan yang sangat besar. Martensit terbentuk ketika Besi γ yang memiliki kadar karbon tertentu didinginkan secara mendadak. Atom karbon yang terletak pada pusat kubus-kubus elementar yang berstruktur fcc tidak sempat keluar dari kubus-kubus elementar tersebut ketika didinginkan secara mendadak. Dengan turunnya temperatur maka struktur fcc (besi γ) kembali ke struktur bcc (besi α). Akibat tertinggalnya atom-atom C besi yang terbentuk kembali memiliki struktur jaringan atom yang tidak normal, yaitu berbentuk tetragonal (bentuk kubus yang ditarik ke satu arah). Adanya atom C yang berlebihan itu menyebabkan timbulnya tegangan pada jaringan atom. Tegangan dalam inilah yang menjadikan benda padat bersifat lebih keras. Martensit sendiri berstruktur jarum karena jaringan atomnya berbentuk tetragonal. Baja yang didinginkan secara mendadak harus dari daerah austenit. Oleh karena itu ferrit harus dirubah dahulu menjadi austenit. Jika bahan tidak berstruktur fcc (struktur austenit) maka perubahan tidak akan terjadi. Baja yang diaustenitkan harus diquenching dengan kecepatan pendinginan yang cukup tinggi. Kecepatan pendinginan ini paling tidak harus sama dengan kecepatan pendinginan kritis (kira-kira 100 ^{0}C). Dengan bantuan diagram Fe-C temperatur pengerasan dari baja karbon dapat ditentukan.

Pada proses pengerasan yang biasa ketika benda kerja diquenching bagian permukaanlah yang mula-mula berubah menjadi martensit sedangkan bagian intinya masih berupa austenit. Inti ini baru kemudian berubah menjadi martensit. Perubahan bagian inti dari austenit mejadi martensit selalu disertai dengan

pertambahan volume yang mengakibatkan timbulnya tegangan yang harus cukup diperhatikan pada lapisan permukaan yang sudah lebih dahulu menjadi martensit. Tegangan inilah yang mengakibatkan terjadinya deformasi misalnya pembengkokan dan benih-benih keretakan.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam proses pengerasan, antara lain :

1. Pemanasan sampai temperatur pengerasan harus merata. Adanya bahaya retak yang diakibatkan oleh pemanasan yang tidak merata tersebut karena disebabkan oleh tegangan yang berlebih di suatu tempat.
2. Waktu panas terdiri dari waktu pemanasan sampai temperatur pengerasan dan waktu tahan pada temperatur pengerasan. Waktu tahan tersebut dihitung untuk setiap 10 mm tebal dinding.benda kerja. Waktu tahan pada baja terdiri atas :
    a) Untuk baja bukan paduan atau baja paduan rendah waktu tahannya 5 menit/10mm tebal dinding.
    b) Untuk baja paduan tinggi waktu tahannya 10 menit/10 mm tebal dinding.
3. Temperatur pengerasan merupakan faktor yang sangat penting agar proses pengerasan berhasil baik. Jika temperatur pengerasan terlalu rendah maka perubahan menjadi struktur austenit tidak berlangsung sepenuhnya sehingga kekerasan maksimum tidak dapat dicapai. Jika temperatur pengerasan terlalu tinggi kekerasan maksimum dapat diacapai akan tetapi benda menjadi berstruktur butiran kasar dan rapuh.

4. Memilih media quenching yang tepat.

2.7.3 Diagram-Waktu-Temperatur-Perubahan

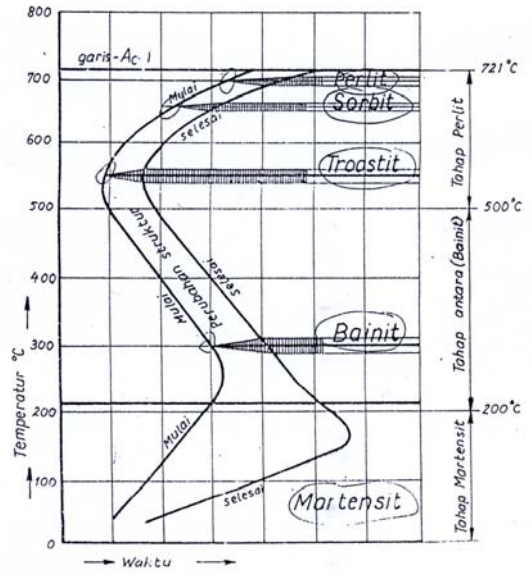
Time-Temperature-Transformation-Diagram disingkat TTT-Diagram. Ada 2 jenis TTT-Diagram yang terkenal, yaitu :

1. TTT-Diagram Isothermik
2. TTT-Diagram Kontinyu

Setiap baja memiliki gambar TTT-Diagram yang berbeda satu sama lain, termasuk baja paduan.

a. TTT-Diagram Isothermik

Batang-batang baja percobaan yang kecil didinginkan dengan jalan dimasukkan ke dalam air, dari daerah austenit (di bawah garis Ac1) sampai ke bermacam-macam temperatur. Titik ubahnya terletak diantara 2 kurva yang berbentuk S. Perubahan struktur mulai pada kurva di sebelah kiri dan berakhir pada kurva di sebelah kanan. Dari penyelidikan metallographi terhadap batang-batang baja percobaan, maka diketahui bahwa struktur yang terbentuk adalah perlit, sorbit, trostit dan bainit.

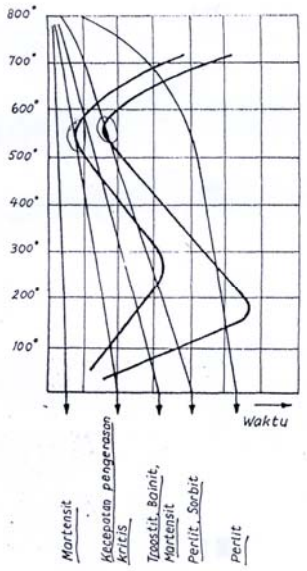


Gambar 2.3 TTT-Diagram Isothermik baja bukan paduan dengan kadar karbon 0,9 %

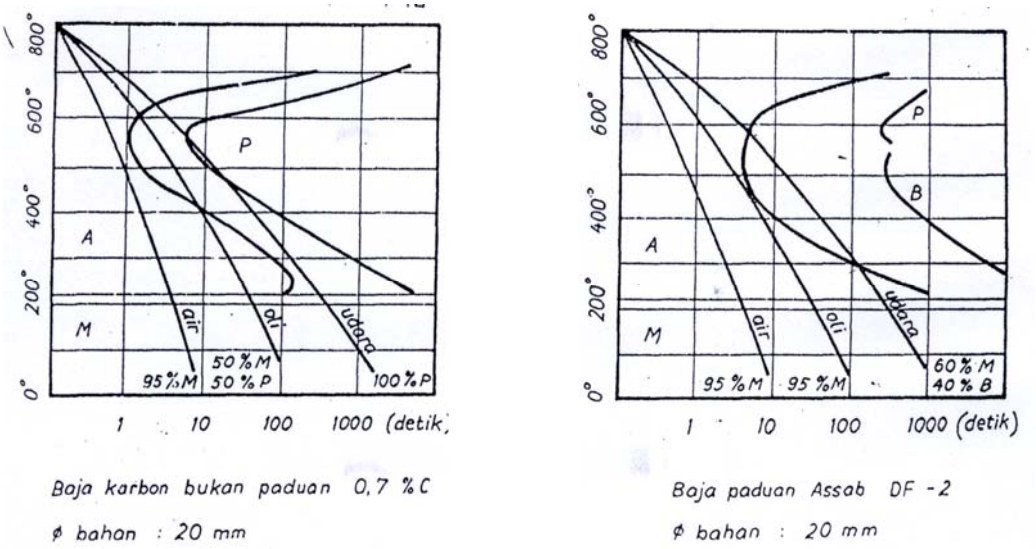
b. TTT-Diagram Kontinyu

Batang-batang percobaan dipanaskan sampai daerah Austenit dan kemudian didinginkan dengan kecepatan yang berbeda-beda. Jika pendinginan sedemikian cepat sehingga garis pendinginan tidak memotong kurva S tetapi menyinggung bagian atas dari kurva S di sebelah kanan maka sebelum mencapai daerah martensit struktur akhir yang terbentuk adalah struktur martensit. Jadi kecepatan pengerasan kritis dapat didefinisikan seperti di atas. Jika garis pendinginan memotong kurva S di atas daerah martensit, maka sekurang-kurangnya satu bagian dari Austenit berubah menjadi salah satu dari struktur, yaitu bainit, trostit, sorbit dan perlit sesuai dengan

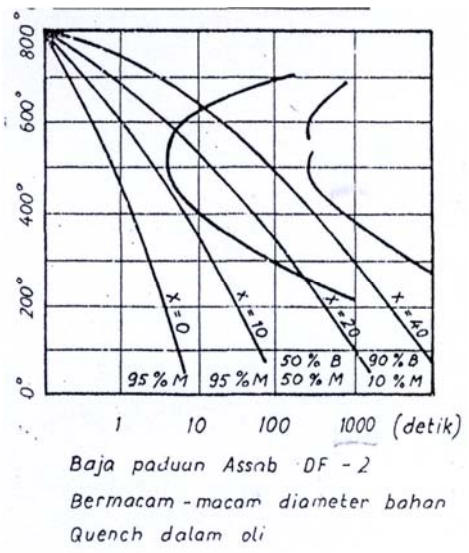
temperatur-perubahan. Terjadinya struktur campuran ini mengakibatkan berkurangnya kekerasan baja.



Gambar 2.4 TTT-Diagram Kontinyu baja bukan paduan dengan kadar karbon 0,9 %



Gambar 2.5 TTT-Diagram pengaruh media Quench



Gambar 2.6 TTT-Diagram pengaruh ketebalan benda kerja

2.8 Pengujian bahan

Pengujian bahan dimaksudkan untuk mengetahui sifat-sifat bahan dari bahan yang diuji.

Sifat-sifat suatu bahan, antara lain :

1. Sifat mekanis
    a) Tegangan tarik
    b) Tegangan kelelahan
    c) Kekerasan, dll
2. Sifat kimia
    a) Tahanan korosi
    b) Stabilitas
    c) Tahanan pada oksidasi, dll

3. Sifat fisik
    a) Panas spesifik
    b) Kerapatan
    c) Konduktifitas lstrik, dll

Pengujian mekanis dapat dibedakan atas 2 jenis, yaitu :

1. Pengujian yang bersifat merusak (destruktif) benda uji antara lain :
    a) Uji tarik
    b) Uji kelelahan
    c) Uji geser, dll
2. Pengujian yang bersifat tak merusak (non destrukif) benda uji antara lain :
    a) Uji kekerasan (Brinell, Rockwell, Vickers, Knoop)
    b) Uji ultrasonik
    c) Uji magnetografis, dll

2.8.1 Pengujian tarik

Benda uji diberi beban/gaya tarik secara perlahan-lahan dari nol sampai maksimum dan akhirnya benda uji putus. Beban tarik yang bekerja pada benda uji akan menimbulkan pertambahan panjang disertai pengecilan diameter benda uji.

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{A}$$

$$\sigma_B = \frac{F_B}{A}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \times 100\%$$

Dengan :

A = Luas penampang benda uji (mm^2)

D = Diameter benda uji (mm)

ΔL = Pertambahan panjang (mm)

ε = Regangan (%)

σ_1 = Tegangan tarik (kg/mm^2)

σ_B = Tegangan patah (kg/mm^2)

F_1 = Beban maksimum (kg)

F_B = Beban patah (kg)

Perbandingan antara pertambahan panjang (ΔL) dengan panjang awal benda uji (L) disebut regangan (ε).

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Perbandingan antara perubahan penampang setelah pengujian dan penampang awal (sebelum pengujian) disebut kontraksi (ψ)

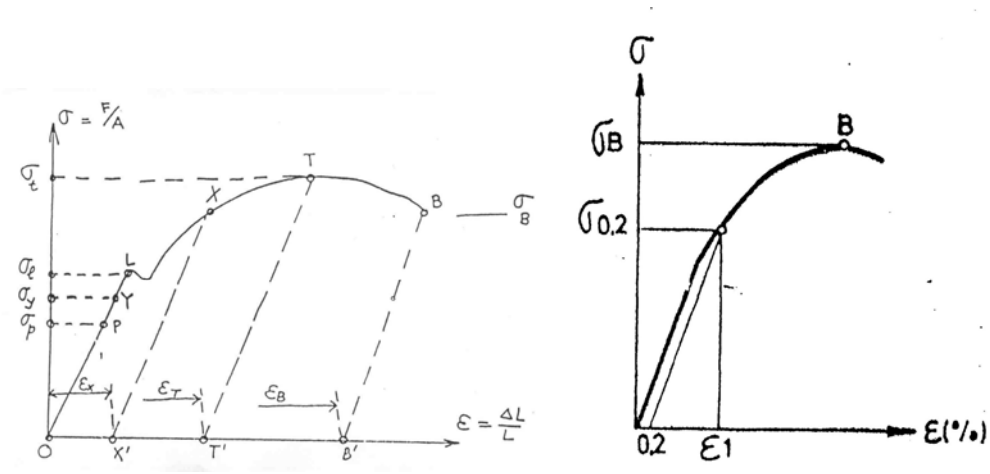
$$\psi = \frac{A_0 - A_f}{A_0}$$

Dengan :

A_0 = luas penampang awal benda uji

A_f = luas penampang akhir benda uji

Hubungan antara tegangan yang timbul σ (σ = F/A) dan regangan yang timbul (ε) selama pengujian dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.7 Diagram σ – ε Baja

Hubungan σ dan ε uji tarik benda liat.

σ_p : tegangan proporsional

σ_y : tegangan elastis

σ_l : tegangan luluh

σ_t : tegangan tarik

σ_B : tegangan patah

ε_X, ε_T, ε_B : masing-masing merupakan regangan pada saat pembebanan berada pada titik X,T,B (XX' // TT' // BB' // PO).

Tegangan pada titik P disebut tegangan batas proporsional (σp) yaitu tegangan tertinggi dimana hukum Hooke masih berlaku/dipenuhi.

Hukum Hooke :

$$\Delta L = \frac{1}{E}\frac{F.L}{A} = \frac{F.L}{E.A}$$

Dengan mengambil

$\sigma = \frac{F}{A}$ dan $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$, maka hukum Hooke di atas dapat dinyatakan dalam bentuk $\sigma = \varepsilon E$

Apabila beban tarik diperbesar sampai titik Y (ada pertambahan panjang ΔL) kemudian beban diturunkan sampai titik O (beban ditiadakan) maka benda uji akan kembali ke panjang semula (L). Tetapi bila pembebanan sudah berada di atas titik Y (dengan pertambahan panjang tertentu) kemudian diturunkan sampai titik O (beban ditiadakan) maka benda uji tidak akan kembali panjang semula. Dalam hal ini benda uji telah mempunyai regangan permanen atau disebut juga regangan plastis.dalam kondisi ini dapat disimpulkan bahwa titik Y merupakan titik batas elastis benda uji dan tegangan pada titik Y disebut tegangan elastis bahan (σ_y).

Tegangan maksimum σ_t disebut juga kekuatan tarik (tensile strength = ultimate stress) merupakan tegangan tertinggi yang dimiliki benda uji sebagai reaksi terhadap beban yang diberikan.Setelah titik T, tegangan turun dan benda uji akhirnya putus pada saat tegangan σ_B. Selama pembebanan berlangsung dari titik O sampai titik T, diameter benda uji mengecil secara seragam (terjadi pertambahan panjang). Selama pembebanan berlangsung dari titik T sampai titik B, diameter benda uji berubah tidak seragam melainkan terjadi pengecilan setempat lebih cepat dibandingkan dengan tempat-tempat lainnya. Pengecilan

diameter setempat ini disebut “necking” dan pada akhirnya benda uji putus pada daerah necking tersebut.

Hukum Hooke hanya berlaku pada benda-benda yang memiliki batas proporsional seperti baja lunak, sedang pada benda-benda yang tidak memiliki batas proporsional seperti besi tuang dan tembaga hukum Hooke tidak berlaku.

Sifat-sifat dari beban tarik, antara lain :

1. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas adalah ukuran kekakuan suatu bahan. Makin besar modulus elastisitasnya maka makin kecil regangan elastis yang dihasilkan akibat pemberian tegangan. Modulus elastisitas ditentukan oleh gaya ikat antar atom. Karena gaya-gaya ini tidak dapat diubah tanpa terjadi perubahan mendasar sifat bahannya, maka modulus elastisitas merupakan salah satu dari banyak sifat-sifat mekanik yang tidak mudah diubah. Sifat ini hanya sedikit berubah oleh adanya penambahan paduan, perlakuan panas atau pengerjaan dingin.

2. Batas proporsional

Batas proporsional adalah tegangan tertinggi untuk daerah hubungan proporsional antara tegangan-regangan. Harga ini diperoleh dengan cara mengamati penyimpangan dari bagian lurus kurva tegangan regangan. Apabila tegangan-tegangan yang diberikan tidak melebihi proporsional maka bahan tidak akan mengalami deformasi dan akan kembali ke bentuk semula.

3. Batas elastis

Batas elastis adalah tegangan terbesar yang masih dapat ditahan suatu bahan tanpa terjadi regangan sisi permanen yang terukur pada saat beban ditiadakan.

4. Kekuatan luluh

Kekuatan luluh adalah tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah kecil deformasi plastis yang ditetapkan. Titik l yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 dinamakan batas lumer (yield point). Pada umumnya banyak logam tidak memiliki titik/batas lumer atau luluh yang jelas, terutama logam-logam yang rapuh. Definisi yang sering digunakan untuk sifat ini adalah kekuatan luluh ofset ditentukan oleh tegangan yang berkaitan dengan perpotongan antara kurva tegangan-regangan dengan garis yang sejajar dengan elastis ofset kurva oleh regangan tertentu. Ofset biasanya ditentukan sebagai regangan 0,2 atau 0,1 persen seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7.

5. Tegangan tarik maksimum

Tegangan tarik maksimum adalah beban tarik maksimum yang dapat ditahan material sebelum patah.

2.8.2 Pengujian kelelahan

Pengujian kelelahan adalah pengujian terhadap bahan yang diberi beban dinamis.Bahan yang mendapatkan beban lengkung dan putaran secara terus menerus akan menyebabkan kondisi tarik dan tekan. Kondisi ini akan berlangsung

berulang-ulang hingga pada akhirnya sampel mengalami kelelahan dan akhirnya patah.

Rumus mencari tegangan :

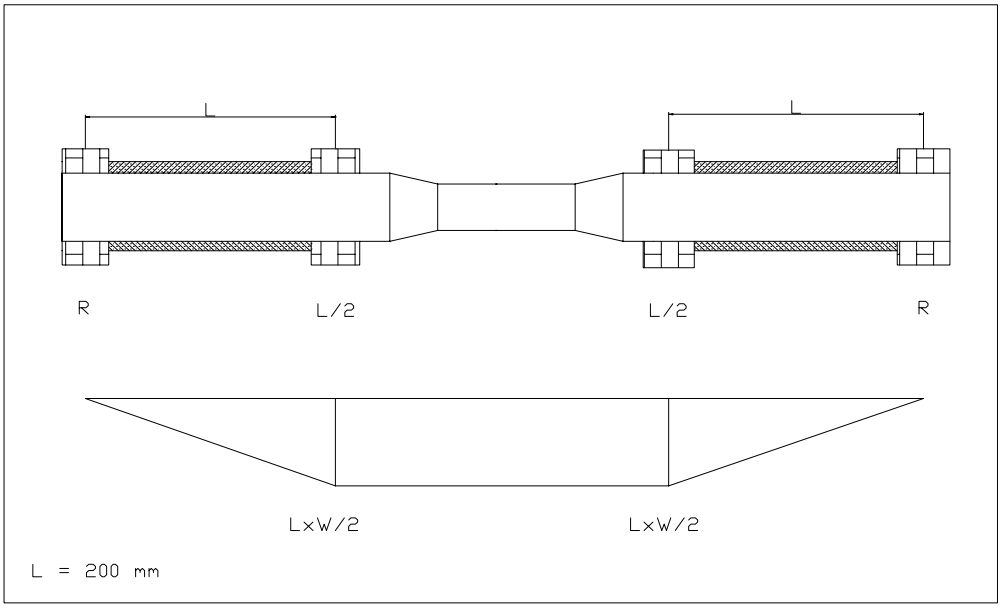
$$\sigma = \frac{W \times \frac{l}{2}}{\frac{\pi}{32} \times d^3} \quad kg/mm^2$$

Dengan :

l = Jarak antar tumpuan (mm)

d = diameter ukur (mm)

W = Beban pada pengujian tarik (kg)



Gambar 2.8 Pengujian kelelahan

2.8.3 Pengujian kekerasan Brinell

Pengujian kekerasan Brinell adalah pengujian yang bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu bahan dalam bentuk daya tahan terhadap bola baja yang ditekankan pada permukaan bahan uji.

Rumus kekerasan Brinell

$$HB = \frac{P}{\frac{\pi}{2} D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)} \quad \frac{kg}{mm^2}$$

Dengan :

P = Gaya bekerja pada penetrator (kg)

D = Diameter penetrator (mm)

d = diameter bekas injakan/penekanan (mm)

Tabel 2.2 Diameter penetrator

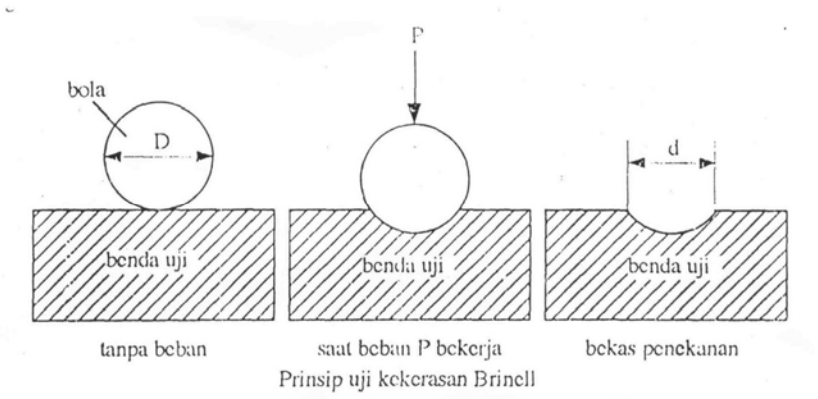
Tebal benda uji (mm)	**Diameter penerator (mm)**
1 -3	D = 2,5
3 - 6	D = 5
> 6	D = 10

HB rata-rata	$\frac{P}{D^2}$	**Bahan**
20 - 80	5	Alumunium,tembaga
80 - 160	10	Kuningan,paduan Cu
160	30	Baja,besi cor

Diameter penetrator (D) (mm)	$\frac{P}{D^2} = 5$	$\frac{P}{D^2} = 10$	$\frac{P}{D^2} = 30$
	Gaya (kg)		
2,5	31,25	62,5	187,5
5	125	250	750
10	500	1000	3000

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pengujian kekerasan Brinell, antara lain:

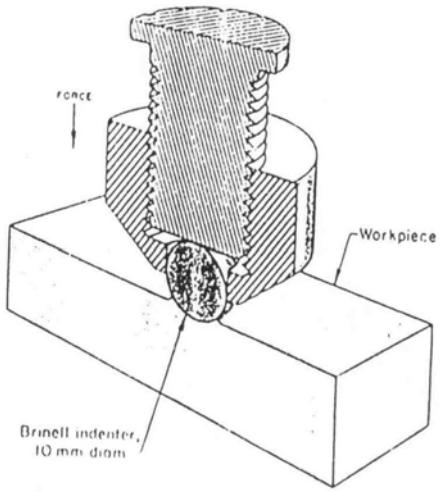
1. Beban uji dipilih sesuai dengan jenis logam benda uji dan diameter penetrator agar bekas luka tekan d memenuhi syarat yaitu 0,2D < d < 0,5D.
2. Pada umumnya pusat tempat pengujian berjarak sekurang-kurangnya 2d dari tepi material uji dan jarak tempat pengujian yang satu terhadap yang lain sekurang-kurangnya 3d.
3. Lama pengujian (pembebanan uji) adalah :
    a) semua jenis baja : 15 detik
    b) logam bukan besi : 30 detik
4. Pengujian kekerasan Brinell hanya digunakan pada material yang memiliki kekerasan Brinell sampai dengan 400 HB. Jika lebih dari 400 HB maka dipakai pengujian Rockwell atau Vickers.



Gambar 2.9 Prinsip uji kekerasan Brinell

Kekurangan-kekurangan pada pengujian kekerasan Brinell, antara lain :

1. Bila baja kurang keras maka pengujian kurang tepat/teliti.
2. Bekas injakan kadang-kadang terlalu besar.
3. Di sekitar bekas penekanan terjadi kenaikan permukaan benda uji sehingga mengurangi ketelitian pengukuran bekas injakan.



Gambar 2.10 Irisan penampang uji Brinell

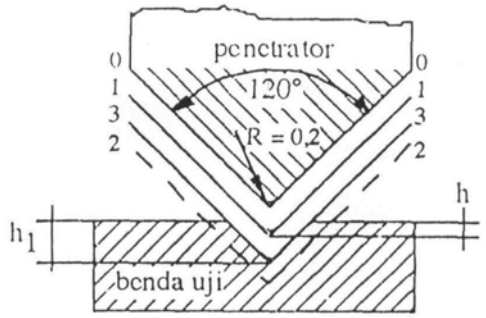
2.8.4 Pengujian kekerasan Rockwell

Penetrator yang digunakan, yaitu :

1. Bola baja dikeraskan dengan diameter 1/16 inci yang dinyatakan dengan skala B (ball).Lebih lanjut disebut dengan kekerasan RB.
2. Kerucut intan dengan sudut puncak 1200 dengan pembulatan pada ujungnya dengan radius pembulatan 0,2mm dan selanjutnya dinyatakan dengan skala C (cones).

Pada pengujian Rockwell dilakukan, antara lain :

1. Mengukur dalamnya penetrator masuk ke dalam benda uji (bukan luas penampang injakan). Pada benda uji dari bahan lunak penetrator masuk lebih dalam dibandingkan dengan bahan keras.
2. Menggunakan beban awal dan beban utama. Pengukuran kekerasan benda uji dimulai saat penggunaan beban utama.



Gambar 2.11 Prinsip pengukuran kekerasan Rockwell

Keterangan :

1-1 : penekanan penetrator saat beban awal.

2-2 : penekanan penetrator saat beban utama.

3-3 : bekas penekanan beban utama.

Rumus kekerasan Rockwell (R)

$$R = \frac{K - (h_1 - h)}{C}$$

Dengan :

K : suatu konstanta,

K = 0,26 untuk penetrator bola baja

= 0,20 untuk penetrator kerucut intan.

C : Harga penunjukan pembagian skala dial indikator untuk penekanan penetrator

= 0,002mm.

Keuntungan dan kelemahan penggunaan uji Rockwell dibandingkan dengan uji Brinell, antara lain :

keuntungan

1. Bekas injakan penetrator lebih kecil dan juga dengan beban yang digunakan.
2. Pembacaan harga kekerasan lebih cepat.
3. Dapat digunakan untuk pengujian logam-logam keras.

kelemahan

1. Penunjukan harga kekerasan benda uji kurang tepat karena adanya sedikit debu antara benda uji dan penetrator.

2. Ukuran bekas injakan relatif kecil. Karena itu perlu diketahui terlebih dahulu berapa kira-kira kekerasan bahan yang akan diuji untuk memilih dengan tepat penetrator yang akan digunakan.

2.8.5 Pengujian Struktur Kristal

Pengujian Struktur Kristal yang biasa dilakukan ada 2, yaitu :

1. Pengujian Struktur Mikro

   Pengujian ini untuk menentukan kualitas suatu bahan melalui pengamatan struktur mikro di bawah mikroskop cahaya.

2. Pengujian Struktur Makro

   Pengujian ini dilakukan dengan mengambil gambar atau foto dari patahan suatu benda uji.dari patahan dapat dilihat besar butir kristal dan warna dari patahan.

2.9 Patah pada benda uji

Patahan pada bahan biasanya dimulai karena adanya retak pada permukaan dan melalui proses yang tergantung pada pembebanan dan siklus. Patahan biasanya dimulai dari permukaan dimana lenturan dan puntiran akan menyebabkan konsentrasi

tegangan pada bagian tertentu sehingga menyebabkan patahan pada bagian tersebut.

Ketelitian pengerjaan dan kehalusan permukaan harus diperhatikan karena berpengaruh terhadap kelelahan suatu bahan. Patahan adalah merupakan

perambatan sejumlah dislokasi yang bersama-sama membentuk retak sehingga akan terjadi perpatahan karena pengaruh tegangan geser pada bahan sewaktu terjadi puntiran

Perpatahan bahan dapat dibedakan atas 2, yaitu :

1. Perpatahan getas (cleavage fracture)

   Perpatahan getas adalah bentuk perpatahan paling getas yang terjadi di dalam material kristalin. Karakteristik dari patah getas adalah berhubungan dengan bidang kristalografik secara khusus. Patahan ini menghasilkan bentuk patahan yang rata dan memberikan warna yang terang pada permukaan patah. Patah getas.yang terjadi pada material ulet disebabkan karena beroperasi pada suhu yang rendah dan laju pembebanan yang tinggi.

2. Perpatahan ulet (ductile fracture)

   Perpatahan ulet atau liat terjadi ketika specimen ditarik dengan beban yang dapat menyebabkan perpanjangan dan konsentrasi lokal pada suatu titik. Perpatahan ulet terjadi pada pengujian tarik.

Hal-hal yang dapat menyebabkan patahan pada bahan, antara lain :

1. Komposisi bahan

   Komposisi bahan sangat berpengaruh karena setiap bahan mempunyai karakteristik masing-masing. Pengaruh campuran pada bahan juga dapat memberikan kelebihan dan kekurangan pada bahan tersebut.

2. Perlakuan panas

Perlakuan panas biasanya dilakukan untuk mengendalikan besar butir benda uji dan memperbaiki struktur pada bahan. Pada struktur yang halus akan memberikan keuletan yang lebih menjamin.

3. Pengerasan

Deformasi plastis yang kecil pada temperatur ruang akan meningkatkan keuletan. Tetapi pada umumnya deformasi yang digunakan untuk pengerasan dapat merapuhkan logam karena terjadi pembentukan dislokasi yang saling berpotongan dan juga kekosongan.

2.9.1 Kegagalan akibat kelelahan bahan

Kegagalan lelah sering digolongkan sebagai akibat dari siklus, umur, dan waktu penggunaan bahan. Bahan dengan daerah umur panjang merupakan perancangan yang melampaui batas siklus tegangan lelah disebut sebagai kegagalan bersiklus tinggi. Sedangkan pada bahan dengan daerah umur pendek dan biasa diproduksi massal disebut sebagai kegagalan bersiklus pendek.

Perkembangan retak kecil yang tidak dapat dilihat dengan mata telanjang dapat mengakibatkan kegagalan lelah. Kegagalan lelah terjadi karena pengaruh pemusatan tegangan pada daerah retak dan merambat pada penampang bahan. Retak ini dapat disebabkan dari ketidakmulusan bahan, goresan pada permukaan akibat pengerjaan dan lubang akibat pengecoran.

Hal-hal yang berpengaruh pada kegagalan lelah, antara lain :

1. Pengaruh Ukuran

Ukuran suatu bahan sangat berpengaruh dalam pengujian kelelahan. Perubahan luas penampang akan mempengaruhi perubahan volume sehingga mengakibatkan perbedaan tegangan.

2. Pengaruh Permukaan Bahan

Kondisi permukaan bahan merupakan faktor utama muncul atau tidak retakan awal pada bahan. Kehalusan dan kekasaran permukaan bahan sangat berpengaruh pada pengujian kelelahan. Pada permukaan yang kasar akan banyak terdapat ketidakrataan permukaan. Hal ini dapat menimbulkan retakan pada permukaan bahan. Pada permukaan yang halus akan sedikit terdapat lubang atau bekas sayatan. Makin halus ukuran butiran maka makin tinggi kekuatan fatik pada temperatur tertentu.

Ada beberapa hal yang mempengaruhi kelelahan pada permukaan bahan, yaitu :

a) Tegangan sisa permukaan

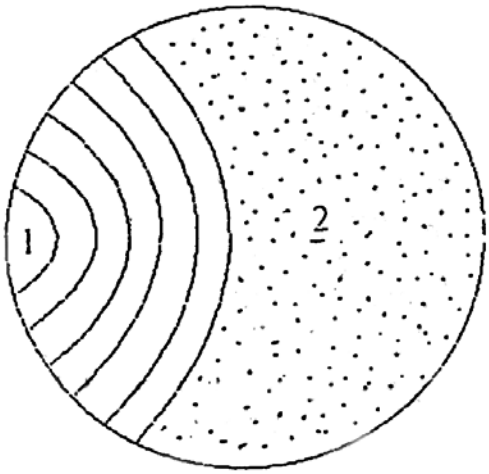
Pembentukan tegangan sisa pada permukaan dapat meningkatkan ketahanan lelah bahan. Tegangan ini dihasilkan oleh beban luar (tarik dan tekan). Dengan adanya tegangan sisa akan memperkecil celah pada suatu titik di permukaan. Oleh karena itu perlu adanya perimbangan antara tegangan sisa tekan dengan tegangan sisa tarik agar tahan terhadap kelelahan.

b) Perubahan permukaan

Perubahan permukaan dapat terjadi karena proses perlakuan panas dalam pembentukan bahan tersebut. Hal ini biasanya dilakukan dalam peleburan awal untuk mendapatkan komposisi bahan sesuai dengan yang diinginkan. Proses pelapisan permukaan ini pada kelanjutannya akan menentukan pertambahan atau pengurangan kekuatan lelah bahan.

3. Lingkungan

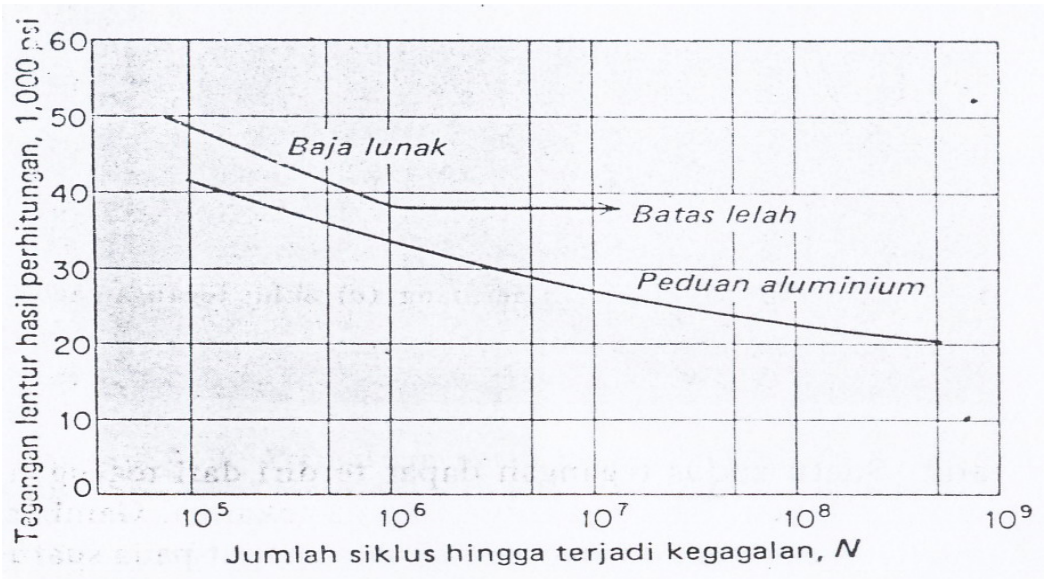
Lingkungan dapat mempengaruhi fatik dimana lingkungan tersebut dapat menimbulkan korosi pada bahan. Serangan korosi yang terjadi serempak dengan pembebanan fatik akan menyebabkan efek kerusakan yang lebih parah. Hal ini biasanya disebabkan oleh media cair namun demikian udara juga dapat menyebabkan korosi.



Gambar 2.12 Skema perpatahan fatik

2.9.2 Batas Kelelahan (Endurance Limit)

Dalam menentukan batas kelelahan kita perlu menyelesaikan semua pengujian terlebih dahulu dan kemudian baru membuat diagram S-N sehingga dapat kita ketahui ketahanan terhadap kelelahan. Pada grafik akan terlihat garis mendatar setelah diberi tegangan dan jumlah siklus antara satu juta sampai sepuluh juta dianggap bahan sudah melalui ketahanan lelahnya. Tegangan maksimum yang diberikan kepada benda uji dan yang tidak mengakibatkan kepatahan lelah untuk jumlah pergantian beban (cycle) yang tak terbatas dinamakan Fatique Limit (batas lelah) atau Endurance Limit.

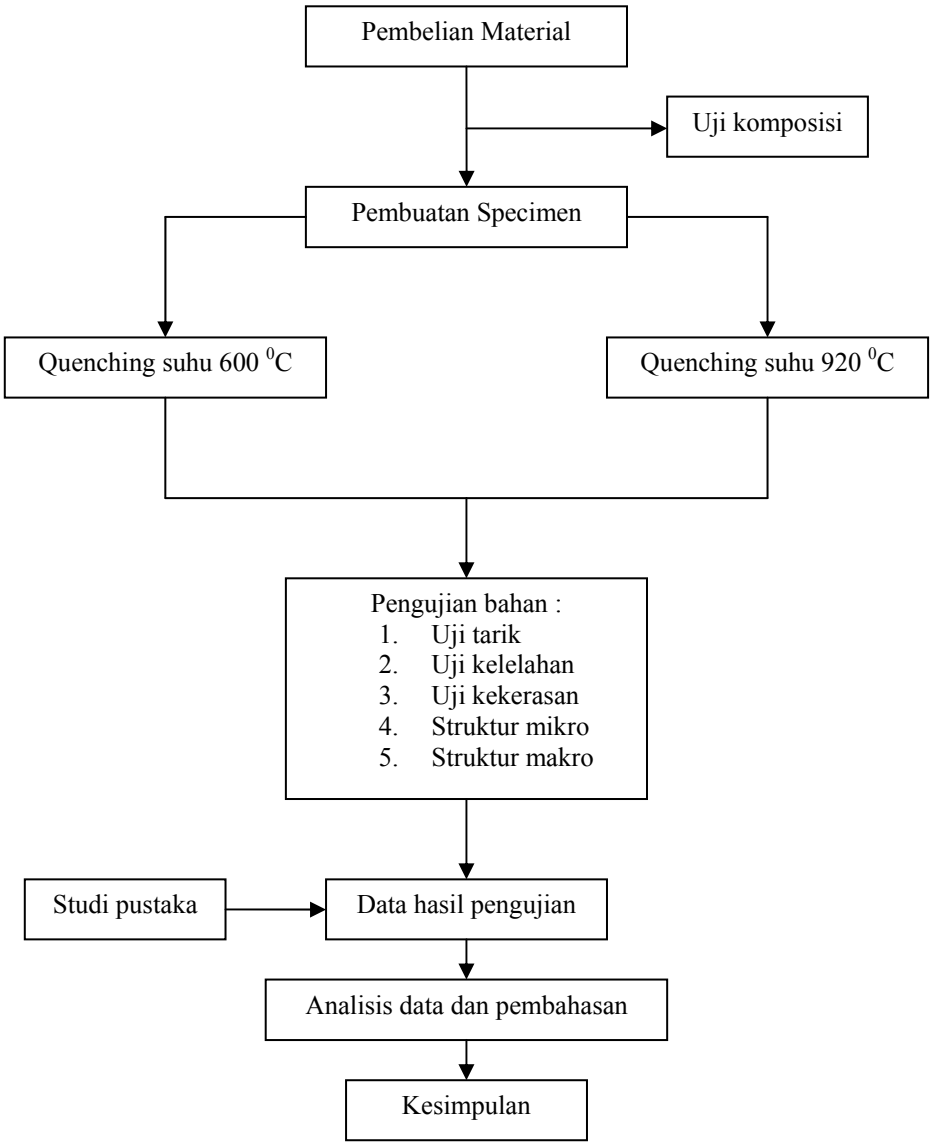


Gambar 2.13 Diagram S-N untuk logam besi dan bukan besi

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Skema penelitian



3.2 Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan adalah baja karbon rendah. Bahan yang diperoleh masih dalam bentuk batangan dengan panjang 6 m dan diameter 16 mm. Bahan tersebut kemudian dibubut untuk tiap pengujian.

3.3 Peralatan yang digunakan

Dalam mendukung pengujian dan penelitian baja karbon rendah ini digunakan peralatan-peralatan, antara lain :

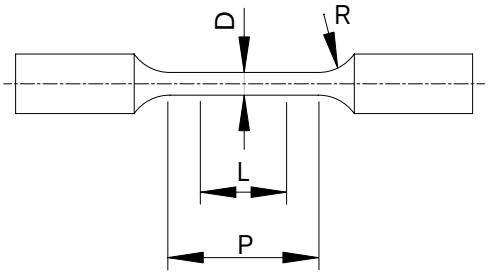
1. Oven untuk perlakuan panas milik Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma.
2. Mesin uji tarik milik Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma.
3. Mesin uji kelelahan (Rotary Bending Fatique Testing Machine) milik Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma.
4. Alat uji kekerasan Brinell (Brinell MOD 100 MR) milik Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma.
5. Kamera untuk pemotretan milik Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma.
6. Mikroskop untuk pengujian Struktur Mikro milik Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma.
7. Foto untuk Struktur Makro.
8. Lampu baca
9. Jangka sorong

10. Autosol
11. Amplas waterproof (500 cw,800 cw,1000 cw).

3.4 Pembuatan benda uji (specimen)

3.4.1 Bahan pengujian tarik

Bahan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah. Bahan dibubut dengan standar uji tarik JIS Z 2201.



satuan:mm

Gambar 3.1 Uji tarik standar

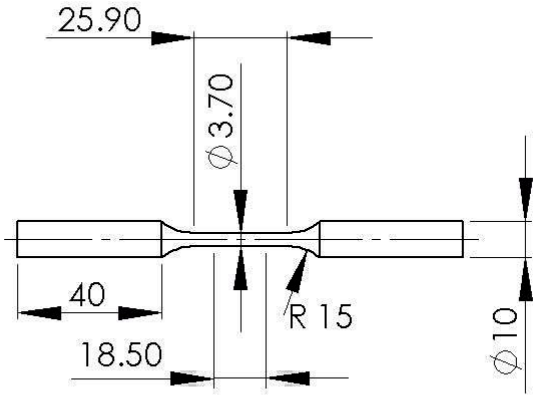
Dengan :

D = diameter ukur (mm)

L = 5 D

P = 5,5 ~ 7 D

R = radius 15 mm atau lebih.



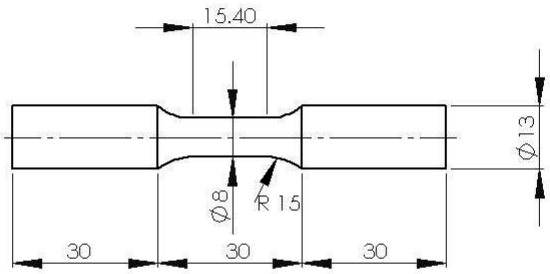
satuan : mm

Gambar 3.2 Specimen uji tarik

Jumlah bahan uji tarik sebanyak 4 buah yaitu 2 buah untuk quenching suhu 600 ^{0}C dan 2 buah untuk quenching suhu 920 ^{0}C.

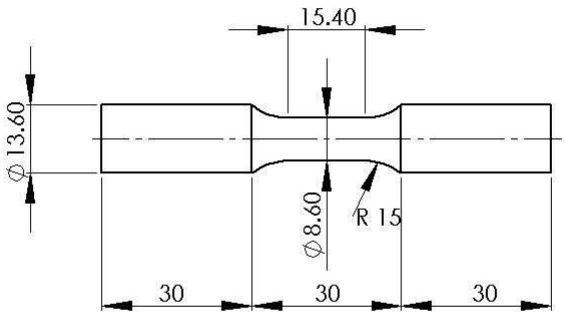
3.4.2 Bahan pengujian kelelahan

Bahan dibubut dengan standar uji kelelahan JIS Z 2274.



satuan : mm

Gambar 3.3 Specimen uji kelelahan standar

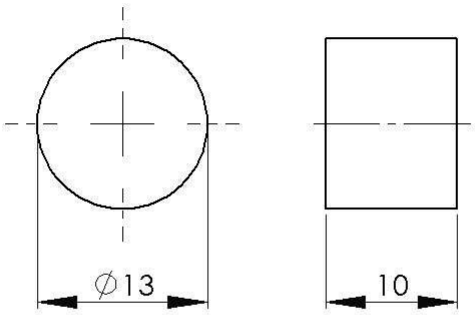


satuan : mm

Gambar 3.4 Specimen uji kelelahan

3.4.3 Bahan pengujian kekerasan

Untuk memperoleh bahan pengujian kekerasan bahan dipotong dengan panjang 10 mm dan diameter 13 mm. Jumlah specimen uji kekerasan yaitu 3 buah untuk quenching suhu 600 ^{0}C dan 3 buah untuk quenching suhu 920 ^{0}C.



satuan : mm

Gambar 3.5 Specimen uji kekerasan

3.5 Pengujian bahan

3.5.1 Proses perlakuan panas

Pada penelitian ini semua benda uji dipanaskan pada suhu 600 ^{0}C dan 920 ^{0}C kemudian diquenching dengan media air. Saat oven mencapai suhu yang ditentukan suhu ditahan selama 50 menit agar suhu pemanasan merata.

Alat yang digunakan, antara lain :

1. Oven
2. Alat penjepit benda uji.
3. Bak penampungan air.

3.5.2 Pengujian tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk menentukan sifat-sifat mekanis material antara lain kekuatan tarik dan regangan.

Proses pengujian sebagai berikut :

1. Benda uji dipasang pada penjepit atas dan bawah pada alat uji tarik. Benda uji diusahakan dalam posisi yang tepat agar kedudukan benda uji benar-benar vertikal. Setelah itu penjepit dikencangkan.
2. Benda uji diberi beban tarik sehingga benda uji akan bertambah panjang dan akhirnya putus. Putus diharapkan berada di bagian panjang ukur benda uji. Jika terjadi di luar panjang ukur maka pengujian dinyatakan gagal dan harus diganti dengan benda uji yang baru.
3. Beban tarik maksimum dan kekuatan tarik maksimum setelah benda uji putus dicatat.

4. Pertambahan panjang yang tertera pada mesin uji dicatat.

3.5.3 Pengujian kelelahan

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan batas lelah suatu material dengan suatu pembebanan.

Proses pengujian sebagai berikut :

1. Benda uji dipasang pada penjepit kiri dan kanan pada mesin uji. Kedudukan benda uji diusahakan horisontal setelah itu penjepit dikencangkan.
2. Benda uji diberi beban sampai benda uji mengalami kelelahan dan akhirnya patah.
3. Patah diharapkan berada di bagian panjang ukur benda uji.
4. Setelah benda uji patah data berupa siklus dan beban kemudian dicatat.

3.5.4 Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan Brinell adalah pengujian yang bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu bahan dalam bentuk daya tahan terhadap bola baja yang ditekankan pada permukaan bahan uji.

Proses pengujian sebagai berikut :

1. Benda uji kekerasan yang dipersiapkan harus rata dan bersih. Benda uji dipoles dengan autosol agar mengkilap dan memudahkan pembacaan di loop.

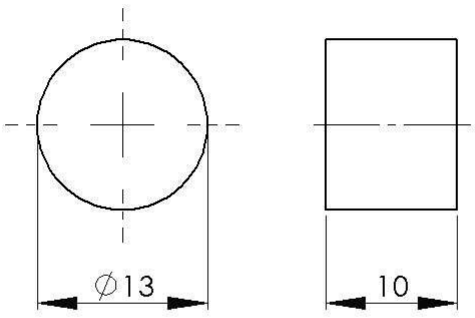
2. Benda uji diletakkan di atas anvil. Untuk mengatur gerakan anvil dapat dilakukan yaitu :
    a) Untuk gerak ke atas putar roda pengatur anvil searah jarum jam.
    b) Untuk gerak ke bawah putar roda pengatur anvil berlawanan arah jarum jam.
3. Pilih beban dan penetrator sesuai dengan petunjuk. Pengujian ini menggunakan diameter penetrator 2,5 mm dan beban 187,5 kg.
4. Anvil dinaikkan perlahan-lahan sampai benda uji menyentuh bagian penetrator. Sebelum melakukan penekanan jarum penunjukan harus berada pada angka nol.
5. Lakukan penekanan sesuai dengan beban yang ditentukan dan ditahan selama 15 detik.
6. Setelah selesai kemudian dilakukan pengamatan diameter bekas injakan dengan menggunakan loop berskala. Hasil pengukuran digunakan untuk mencari nilai kekerasan.
7. Lakukan pengujian di daerah benda uji yang lain.

3.5.5 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian ini untuk menentukan kualitas suatu bahan melalui pengamatan struktur mikro di bawah mikroskop cahaya.

Proses pengujian sebagai berikut :

1. Permukaan benda uji dihaluskan dengan amplas waterproof dari ukuran paling kasar sampai paling halus (500 cw, 800 cw, 1000 cw).
2. Setelah halus permukaan benda uji dipoles dengan autosol dan digosok dengan kain sampai bekas pengamplasan hilang dan mengkilap.
3. Dilakukan pengetsaan dengan HNO_3 dan alkohol pada permukaan benda uji dan didiamkan selama 60 detik. Setelah itu benda uji dicelup dalam alkohol.
4. Permukaan yang telah dietsa diamati dengan mikroskop dan dilakukan pemotretan.



satuan : mm

Gambar 3.6 Specimen uji struktur mikro

3.5.6 Pengujian Struktur Makro

Pada pengujian Struktur Makro dilakukan pemotretan terhadap struktur patahan dari benda uji. Benda uji yang digunakan dari pengujian kelelahan.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil uji komposisi

Dari hasil pengujian diketahui unsur paduan sebagai berikut :

Tabel 4.1 Uji komposisi

Unsur	%
Fe	98,81
C	0,126
Si	0,055
Mn	0,464
P	0,023
S	0,022
Ni	0,214
Cr	0,029
Mo	0,074
Cu	0,129
Nb	0,01
W	0,05

4.2 Hasil pengujian bahan

4.2.1 Pengujian Tarik

Dari hasil pengujian tarik dapat diketahui angka peak dan break. Angka peak menunjukkan besarnya beban yang dapat diterima oleh benda uji. Jika diberikan beban yang melebihi beban maksimum maka dapat menyebabkan benda uji putus. Angka break menunjukkan titik jenuh dari benda uji setelah melewati beban maksimum yang dapat diterima oleh benda uji.

Perhitungan

Dari data pengujian tarik maka dapat dilakukan perhitungan mengenai tegangan maksimum, tegangan patah, regangan dan beban maksimum untuk penentuan beban awal pada pengujian. Perhitungannya sebagai berikut :

Tegangan maksimum ($\sigma_{maksimum}$)

$$\sigma_{maks} = \frac{P_{maksimum}}{A_0}$$

$$A_0 = \frac{\pi}{4} \times 3{,}60^2 = 10{,}17 \text{ mm}^2$$

Sehingga :

$$\sigma_{maks} = \frac{523{,}10}{10{,}17} = 51.42 \text{ kg/mm}^2$$

Dengan :

σ_{maks} = Tegangan tarik maksimum (kg/mm^2)

P_{maks} = Beban maksimum (kg)

A_0 = Luas penampang spesimen (mm^2)

Regangan (ε)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{3{,}80}{25{,}30} \times 100\%$$

$$= 15{,}02\ \%$$

Dengan :

ε = Regangan (%)

L_0 = Panjang ukuran awal (mm)

Data hasil pengujian

Tabel 4.2 Uji tarik baja quenching suhu 600 ^{0}C

No	D (mm)	Ao (mm2)	Lo (mm)	ΔL (mm)	P maks (kg/mm2)	σ maks (kg/mm2)	ε (%)
1	3,60	10,17	25,30	3,80	523,10	51,42	15,02
2	3,70	10,75	25,30	4,30	554,30	51,58	17,00
rata-rata					538,70	51,50	16,01

Tabel 4.3 Uji tarik baja quenching suhu 920 ^{0}C

No	D (mm)	Ao (mm2)	Lo (mm)	ΔL (mm)	P maks (kg/mm2)	σ maks (kg/mm2)	ε (%)
1	3,50	9,62	25,10	3,40	566,10	58,87	13,55
2	3,60	10,17	25,10	3,80	568,70	55,90	15,14
rata-rata					567,40	57,38	14,34

4.2.2 Pengujian Kelelahan

4.2.2.1 Pengujian kelelahan baja quenching suhu 600 ^{0}C

Dari hasil dari pengujian tarik diperoleh tegangan tarik maksimum 51,50 kg/mm^2. Dalam penentuan beban awal dipilih 80% dari tegangan tarik maksimum, sehingga diperoleh :

$$\sigma = 80\% \times 51{,}50 \text{ kg/mm}^2 = 41{,}2 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{\frac{W}{2} \times L}{\frac{\pi}{32} \times d^3} (kg/mm^2)$$

$$41{,}2 = \frac{\frac{W}{2} \times 200}{\frac{\pi}{32} \times (8)^3}$$

W = 20,69 kg

diambil

W = 21 kg

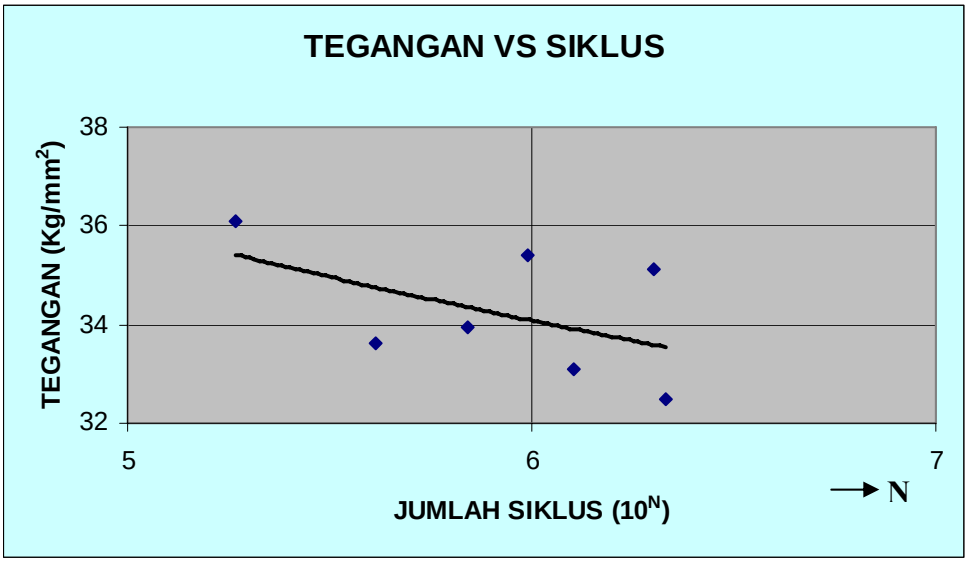
Besarnya beban awal untuk pengujian kelelahan adalah sebesar 21 kg dan selanjutnya beban diturunkan sampai siklus aman perancangan yaitu sebesar 2.000.000 atau lebih dengan beban bervariasi. Dengan beban sebesar 21 kg dimungkinkan dapat menyebabkan bahan akan mengalami kelelahan dan patah.

Data hasil pengujian

Tabel 4.4 Uji kelelahan baja quenching suhu 600 ^{0}C

No	**d (mm)**	**W (kg)**	**σ (kg/mm^2)**	**N (siklus)**
1	8,4	21	36,11	185.635
2	8,5	20,25	33,60	413.178
3	8,4	19,75	33,96	691.997
4	8,25	19,5	35,39	982.934
5	8,4	19,25	33,10	1.274.344
6	8,2	19	35,12	1.996.654
7	8,4	18,9	32,50	2.138.885

Selanjutnya data hasil pengujian tersebut disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara tegangan (S) dengan jumlah siklus (N) seperti dibawah ini :



Gambar 4.1 Diagram S-N baja quenching suhu 600 ^{0}C

4.2.2.2 Pengujian kelelahan baja quenching suhu 920 ^{0}C

Dari hasil dari pengujian tarik diperoleh tegangan tarik maksimum 57,38 kg/mm^2. Dalam penentuan beban awal dipilih 80% dari tegangan tarik maksimum, sehingga diperoleh :

$$\sigma = 80\% \times 57{,}38 \text{ kg/mm}^2 = 45{,}904 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{\frac{W}{2} \times L}{\frac{\pi}{32} \times d^3} (kg / mm^2)$$

$$45{,}904 = \frac{\frac{W}{2} \times 200}{\frac{\pi}{32} \times (8)^3}$$

W = 23,06 kg

diambil

W = 23 kg

Besarnya beban awal untuk pengujian kelelahan adalah sebesar 23 kg dan selanjutnya beban diturunkan sampai siklus aman perancangan yaitu sebesar 2.000.000 atau lebih dengan beban bervariasi. Dengan beban sebesar 23 kg dimungkinkan dapat menyebabkan bahan akan mengalami kelelahan dan patah.

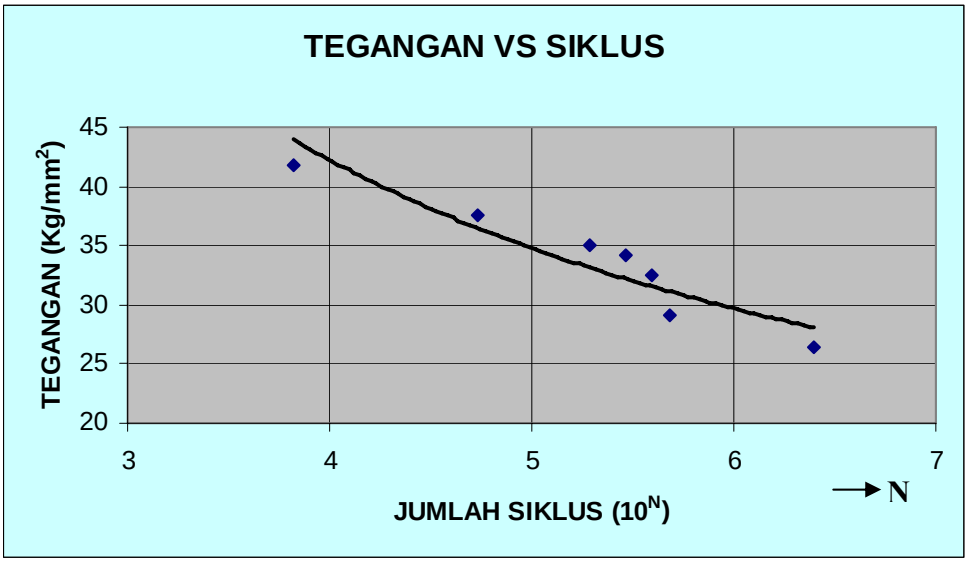
Data hasil pengujian

Tabel 4.5 Uji kelelahan baja quenching suhu 920 ^{0}C

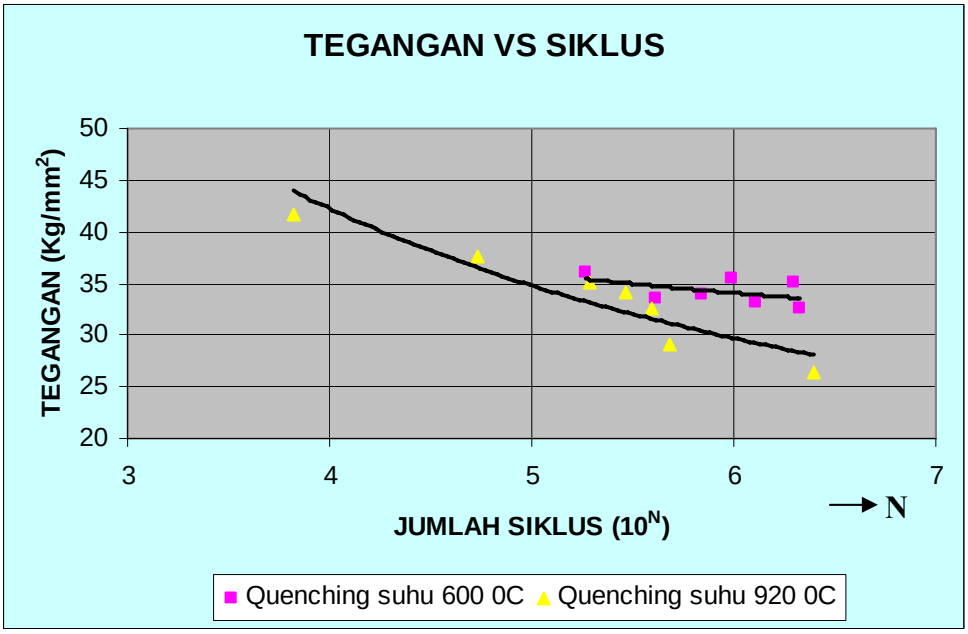
No	**d (mm)**	**W (kg)**	**σ (kg/mm^2)**	**N (siklus)**
1	8,25	23	41,74	6.668
2	8,15	20	37,65	53.460
3	8,2	19	35,12	195.002
4	8,2	18,5	34,19	288.735
5	8,3	18,25	32,53	390.760
6	8,15	15,5	29,18	483.321
7	8,15	14	26,36	2.512.785*

* benda uji tidak patah

Selanjutnya data hasil pengujian tersebut disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara tegangan (S) dengan jumlah siklus (N) seperti dibawah ini :



Gambar 4.2 Diagram S-N baja quenching suhu 920 ^{0}C

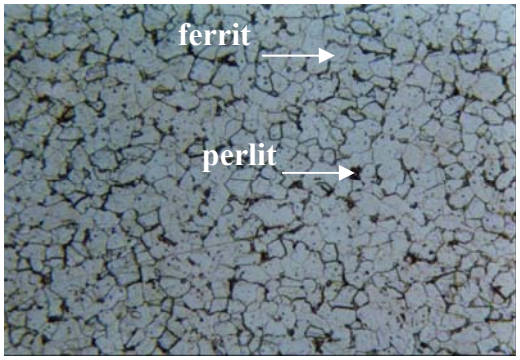


Gambar 4.3 Diagram S-N hasil pengujian

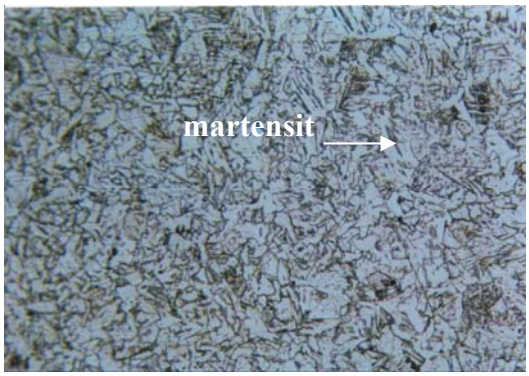
Diagram S-N hasil pengujian menunjukkan perbandingan uji kelelahan baja quenching suhu 600 ^{0}C dan baja quenching suhu 920 ^{0}C.

4.2.3 Pengujian Struktur Mikro

Tujuan dari pengujian struktur mikro ini adalah untuk mengetahui hubungan struktur mikro yang diperoleh dari komposisi kimia bahan uji. Analisis pengujian ini disajikan dalam bentuk gambar yang diambil dengan menggunakan kamera khusus untuk pemotretan. Gambar hasil pemotretan dengan menggunakan mikroskop pada bahan uji dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.4 Struktur mikro baja quenching suhu 600 ^{0}C perbesaran 418×



Gambar 4.5 Struktur mikro baja quenching suhu 920 ^{0}C perbesaran 418×

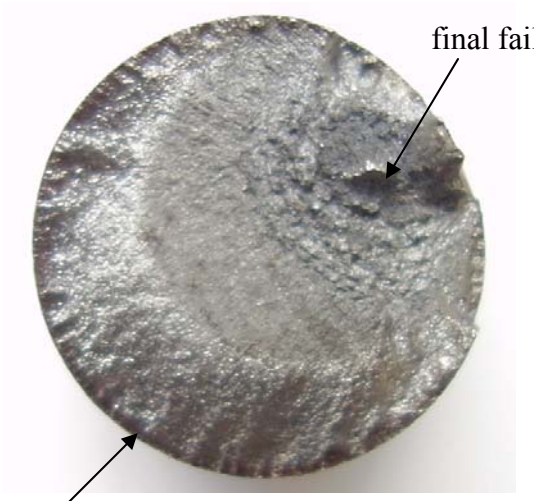
4.2.4 Pengamatan Struktur Makro

Dari hasil pemotretan penampang patahan pada benda uji dapat dilihat berbagai bentuk patahan yang berbeda-beda. Perbedaan ini disebabkan beban yang dipasang pada pengujian kelelahan berbeda-beda pula.

Pengamatan struktur patahan ini dilakukan pada permukaan patah hasil pengujian kelelahan pada siklus rendah dan tinggi.

Hasil dari pengamatan bentuk patahan yang terjadi ditunjukkan pada gambar-gambar di bawah ini :

a



b

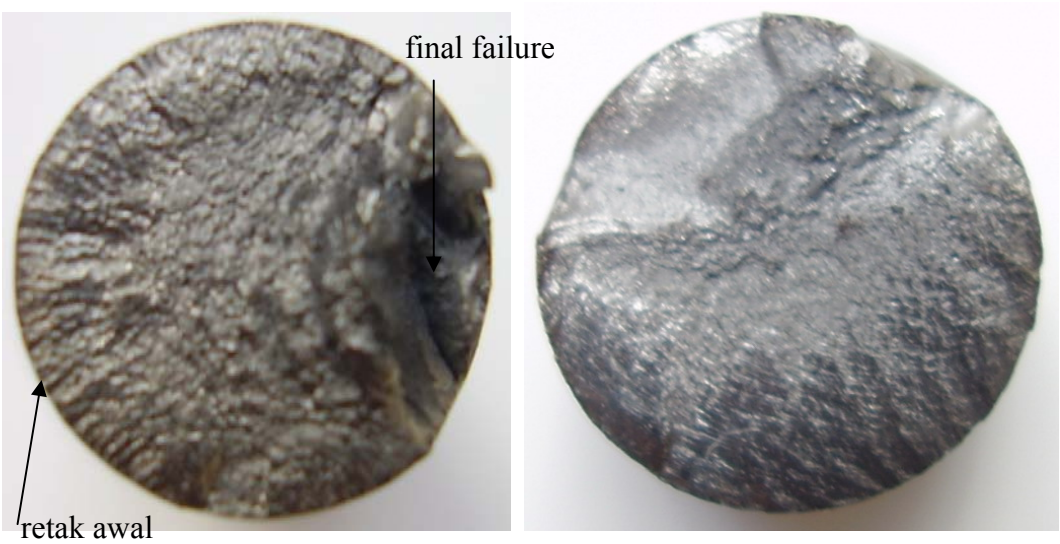
c

Gambar 4.6 Struktur makro baja quenching suhu 600 ^{0}C

a.Penampang patahan lelah baja quenching suhu 600 ^{0}C dengan tegangan lengkung 36,11 kg/mm² dan 185.635 siklus.

b.Penampang patahan lelah baja quenching suhu 600 ^{0}C dengan tegangan lengkung 33,60 kg/mm² dan 413.178 siklus.

c.Penampang patahan lelah baja quenching suhu 600 ^{0}C dengan tegangan lengkung 32,50 kg/mm² dan 2.138.885 siklus.



d e

Gambar 4.7 Struktur makro baja quenching suhu 920 ^{0}C

d.Penampang patahan lelah baja quenching suhu 920 ^{0}C dengan tegangan lengkung 41,74 kg/mm² dan 6.668 siklus.

e.Penampang patahan lelah baja quenching suhu 920 ^{0}C dengan tegangan lengkung 29,18 kg/mm² dan 483.321 siklus.

4.2.5 Pengujian Kekerasan Brinell

Tujuan pengujian kekerasan Brinell adalah untuk mengetahui sifat logam dan memeriksa kualitas logam. Pada pengujian ini dilakukan pengujian kekerasan brinell sebanyak 11 titik terhadap masing-masing perlakuan. Hasil pengujian kekerasan ditunjukan pada tabel dibawah ini :

Rumus kekerasan Brinell

$$HB = \frac{P}{\frac{\pi}{2} D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)} \quad \frac{kg}{mm^2}$$

Dengan :

P = Gaya bekerja pada penetrator (kg)

D = Diameter penetrator (mm)

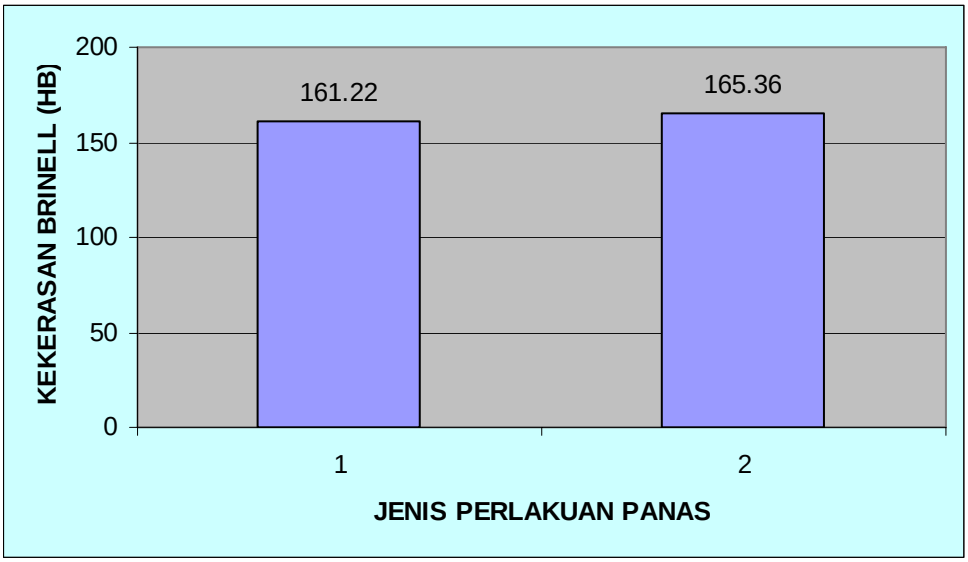
d = diameter bekas injakan/penekanan (mm)

Tabel 4.6 Baja quenching suhu 600 ^{0}C

No	**P (kg)**	**D (mm)**	**π**	**d (mm)**	**HB (kg/mm^2)**	**rata-rata (kg/mm^2)**
1	187,5	2,5	3,14	1,17	164,34	161,22
2	187,5	2,5	3,14	1,18	161,39	
3	187,5	2,5	3,14	1,18	161,39	
4	187,5	2,5	3,14	1,14	173,68	
5	187,5	2,5	3,14	1,15	170,49	
6	187,5	2,5	3,14	1,15	170,49	
7	187,5	2,5	3,14	1,15	170,49	
8	187,5	2,5	3,14	1,23	147,66	
9	187,5	2,5	3,14	1,22	150,27	
10	187,5	2,5	3,14	1,22	150,27	
11	187,5	2,5	3,14	1,21	152,95	

Tabel 4.7 Baja quenching suhu 920 ^{0}C

No	P (kg)	D (mm)	π	d (mm)	HB (kg/mm^2)	rata-rata (kg/mm^2)
1	187,5	2,5	3,14	1,15	170,49	
2	187,5	2,5	3,14	1,18	161,39	
3	187,5	2,5	3,14	1,16	167,37	
4	187,5	2,5	3,14	1,15	170,49	
5	187,5	2,5	3,14	1,15	170,49	
6	187,5	2,5	3,14	1,15	170,49	165,36
7	187,5	2,5	3,14	1,15	170,49	
8	187,5	2,5	3,14	1,21	152,95	
9	187,5	2,5	3,14	1,15	170,49	
10	187,5	2,5	3,14	1,18	161,39	
11	187,5	2,5	3,14	1,21	152,95	



Gambar 4.8 Diagram kekerasan baja quenching

Keterangan :

1. Baja quenching suhu 600 ^{0}C.
2. Baja quenching suhu 920 ^{0}C.

Pembahasan

Dari hasil uji tarik dapat diketahui uji tarik tertinggi diperoleh baja quenching suhu 920 ^{0}C dengan kekuatan tarik 57,38 kg/mm^2. Pada baja quenching suhu 600 ^{0}C dengan kekuatan tariknya 51,50 kg/mm^2. Dari hasil uji kekerasan dapat dilihat kekerasan tertinggi dimiliki baja quenching suhu 920 ^{0}C dengan kekerasan 165,36 HB. Pada baja quenching suhu 600 ^{0}C kekerasannya 161,22 HB.

Dari penampilan patahan lelah dapat dilihat ada 2 daerah. Pada daerah 2 relatif mulus, di sini retak fatik merambat perlahan-lahan. Pada daerah 1 menampilkan perpatahan transkristalin yang kasar dan kegagalan bersifat mendadak. Kemulusan daerah 2 semakin meningkat seiring peningkatan jumlah siklus seperti ditunjukkan pada Gambar 4.6c.

Pada pengujian kelelahan, baja quenching suhu 600 ^{0}C mempunyai kekuatan lelah yang lebih baik dengan 2.138.885 siklus pada beban 18,9 kg. Hal ini berhubungan dengan ketangguhan baja. Salah satu cara menyatakan ketangguhan adalah meninjau luas keseluruhan daerah di bawah kurva σ-ε. Luas ini menunjukkan jumlah energi tiap satuan volume yang dapat dikenakan kepada

bahan tanpa mengakibatkan pecah. Apabila dibandingkan dengan baja quenching suhu 920 ^{0}C yang ditunjukkan pada Gambar 2 dalam lampiran dapat dilihat baja quenching suhu 920 ^{0}C memang memiliki kekuatan luluh dan kekuatan tarik lebih tinggi. Akan tetapi baja quenching suhu 600 ^{0}C lebih liat dan memiliki perpanjangan total lebih besar. Luas keseluruhan daerah di bawah kurva σ-ε lebih besar untuk baja quenching suhu 600 ^{0}C. Oleh karena itu baja quenching suhu 600 ^{0}C merupakan baja yang lebih tangguh. Hal lain yang dapat mengakibatkan baja quenching suhu 920 ^{0}C paling rendah dalam kekuatan lelah adalah struktur yang rapuh. Melalui proses quenching dapat dimungkinkan baja menjadi keras tetapi rapuh. Kerapuhan ini dapat dilihat juga melalui diagram σ-ε uji tarik baja quenching suhu 920 ^{0}C yang ditunjukkan pada Gambar 2 dalam lampiran. Dari diagram tersebut dapat dilihat baja quenching suhu 920 ^{0}C tidak memiliki batas lumer/luluh (yield point). Pada umumnya logam yang tidak memiliki batas lumer adalah logam yang rapuh.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Baja quenching suhu 920 ^{0}C memiliki kekuatan tarik sekitar 57,38 kg/mm^2 sedangkan pada baja quenching suhu 600 ^{0}C kekuatan tariknya sekitar 51,50 kg/mm^2.
2. Pada uji kelelahan dengan mengambil beban yang sama yaitu 19 kg, baja quenching suhu 600 ^{0}C mempunyai kekuatan lelah yang lebih baik dari baja quenching suhu 920 ^{0}C yaitu tegangan lengkungnya 35,12 kg/mm² pada 1.996.654 siklus sedangkan pada baja quenching suhu 920 ^{0}C tegangan lengkungnya 35,12 kg/mm² pada 195.002 siklus.
3. Baja quenching suhu 920 ^{0}C memiliki kekerasan sekitar 165,36 HB sedangkan pada baja quenching suhu 600 ^{0}C kekerasannya sekitar 161,22 HB.
4. Dengan proses quenching pada suhu 600 ^{0}C belum terbentuk struktur martensit sedangkan pada baja quenching suhu 920 ^{0}C sudah terbentuk struktur martensit.
5. Baja quenching suhu 600 ^{0}C dan 920 ^{0}C memiliki penampang patahan lelah yang hampir sama dimana terdiri dari 2 daerah. Dalam jumlah siklus yang hampir sama tingkat kehalusan dari daerah patahan juga hampir sama.

5.2 Saran

1. Proses pengerjaan bahan uji harus dilakukan dengan teliti karena berpengaruh pada hasil pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

Amstead B.H, Ostwald P.F, Begeman M.L, 1981, *Teknologi Mekanik*, Alih Bahasa oleh Sriati Djaprie, Edisi VII, Erlangga, Jakarta.

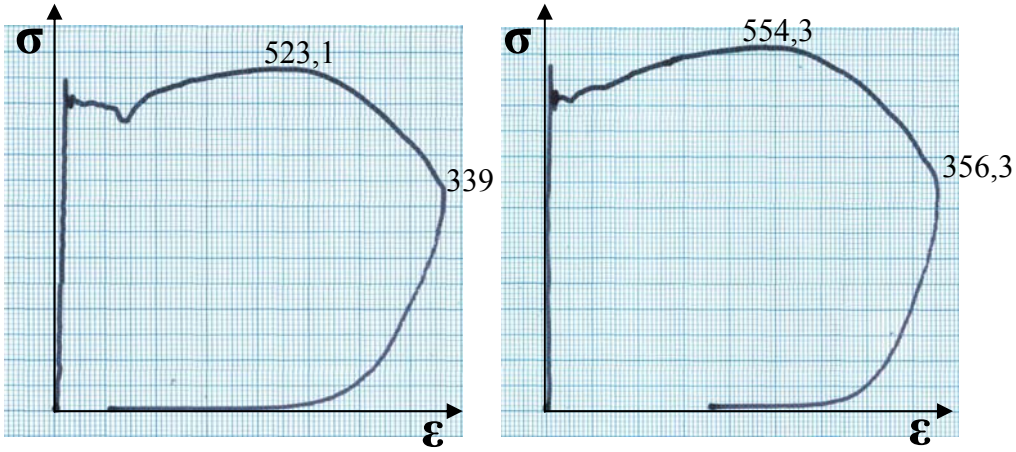
Budi Setyahandana. *Metalurgi Fisik*, Diktat Kuliah Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta.

Dieter G.E, 1991. *Metalurgi Mekanik*, Edisi III, Alih Bahasa oleh Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta.

Smallman R.E, Bishop R.J, 1991. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*, Alih Bahasa oleh Sriati Djaprie, Edisi VI, Erlangga, Jakarta.

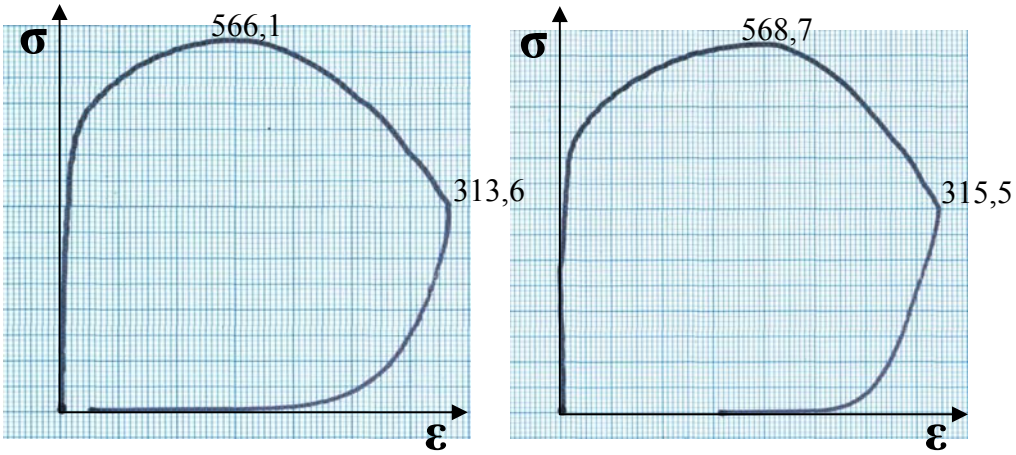
Suroto A, *Ilmu Logam dan Metalurgi*, ATMI, Surakarta.

LAMPIRAN



1 2

Gambar 1 Diagram σ-ε baja quenching suhu 600 ^{0}C



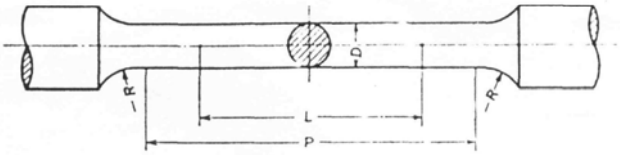
1 2

Gambar 2 Diagram σ-ε baja quenching suhu 920 ^{0}C

(14) No. 14 Test Piece

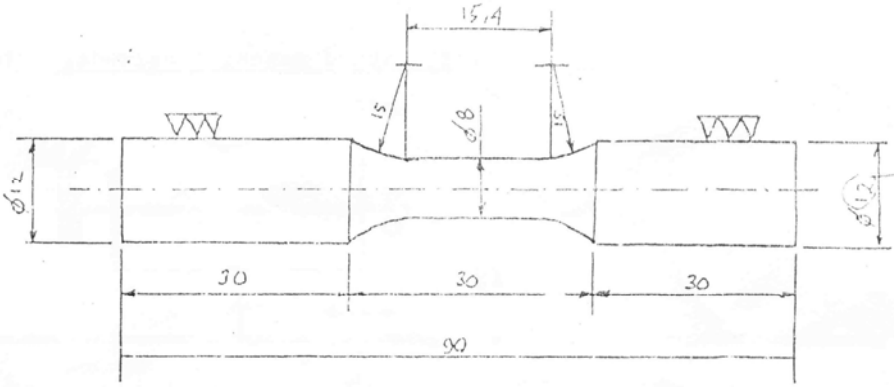
(a) No. 14 A Test Piece This test piece shall be principally used for tension test of steel.

Fig. 14



Gauge length	$L = 5\ D$
Length of parallel portion	$P = (5.5 \sim 7)\ D$, preferably $7\ D$
Diameter	D shall comply with the specification of the standards for materials.
Radius of shoulder	$R = 15$ mm or more

Gambar 3 JIS Z 2201



Gbr. BENDA UJI FATIG SESUAI STANDAR JIS Z 2274

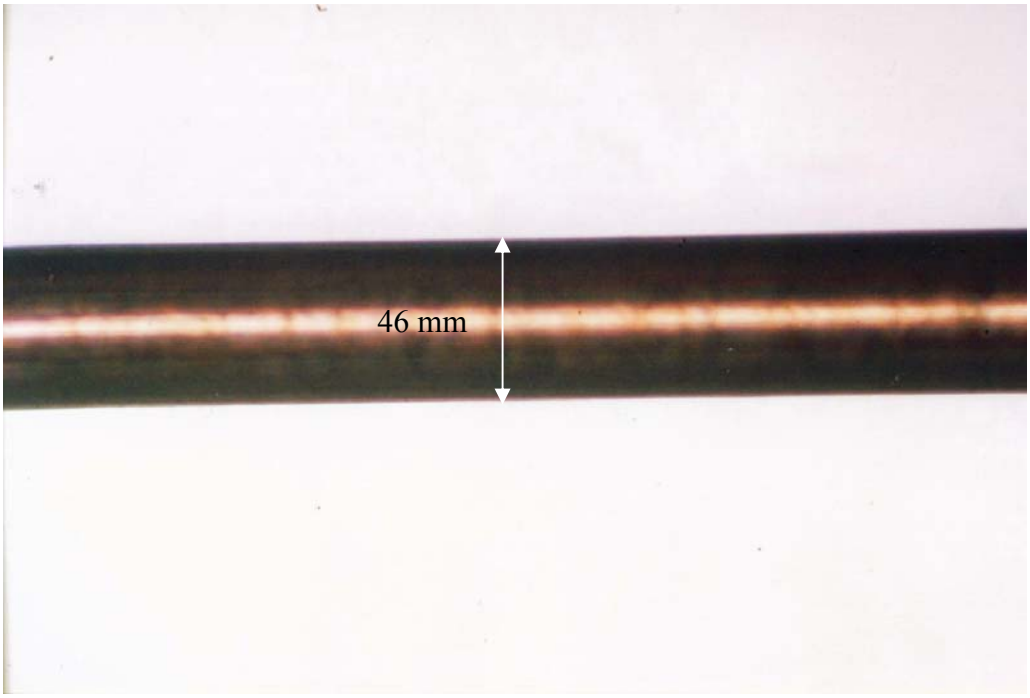
Gambar 4 JIS Z 2274

Gambar 5 Loop Berskala

Gambar 6 Alat Uji Kekerasan Brinell

Gambar 7 Alat Uji Struktur mikro

Gambar 8 Alat Uji Tarik



Gambar 9 Foto 3R perbesaran 200 pada mikroskop

COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
SAMPLE NAME : BJ KRBN RDH JEMMY CHRISTIAN SADAR.
FURNACE : KL1460B-01/120
OPERATOR : EKO C.
Alloy : SC Mode :PA 4-Jan-1980 Time 21:45

Burn 1									
Fe	98.82	C	0.129	Si	0.053	Mn	0.456	P	0.024
S	0.023	Ni	0.208	Cr	0.028	Mo	0.073	Cu	0.127
Al	< 0.000	Nb	0.01	V	< 0.00	W	0.05	Ti	< 0.00
Burn 2									
Fe	98.80	C	0.126	Si	0.055	Mn	0.468	P	0.023
S	0.022	Ni	0.216	Cr	0.030	Mo	0.074	Cu	0.130
Al	< 0.000	Nb	0.01	V	< 0.00	W	0.05	Ti	< 0.00
Burn 3									
Fe	98.80	C	0.122	Si	0.056	Mn	0.468	P	0.023
S	0.021	Ni	0.219	Cr	0.030	Mo	0.074	Cu	0.130
Al	< 0.000	Nb	0.01	V	< 0.00	W	0.05	Ti	< 0.00
Average									
Fe	98.81	C	0.126	Si	0.055	Mn	0.464	P	0.023
S	0.022	Ni	0.214	Cr	0.029	Mo	0.074	Cu	0.129
Al	< 0.000	Nb	0.01	V	< 0.00	W	0.05	Ti	< 0.00

PT. ITOKOH CEPERINDO