

**THE EFFECTS OF TEMPER ON THE HARDNESS
AND TENSILE STRENGTH OF THYRODUR 2379
STEEL ALLOYS**

**TUGAS AKHIR
Nomor Soal: 189 / FT.USD / TM / Oktober / 2001**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar sarjana Teknik Mesin
Program Studi Teknik Mesin**



Oleh :
Nama : I Wayan Gede Eka Sukaryana
NIM : 995214148
NIRM : 993051123109120148

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

2002



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS SANATA DHARMA

Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman – Yogyakarta
Telp. (0274) 883037, 886530; Fax (0274) 886529; E-mail: teknik@usd.ac.id

TUGAS AKHIR PROGRAM S-1 JURUSAN TEKNIK MESIN

Nomor : 189 / FT.USD / TM / Oktober / 2001

Diberikan kepada :
Nama Mahasiswa : I Wayan Gede Eka Sukaryana
Nomor Mahasiswa : 995214148
NIRM : 993051123109120148
Jurusan : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Mata Kuliah : Bahan Teknik Manufaktur
Judul / Naskah Soal :

Pengaruh Suhu Temper Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik Baja THYRODUR 2379

Tanggal dimulai : 8 Oktober 2001

Dosen Pembimbing Kedua

(I Gusti Ketut Puja, S.T., M.T.)

Yogyakarta, 16 Oktober 2001
Dosen Pembimbing Utama

(Dr. Ir. Viktor Malau, DEA.)

TUGAS AKHIR


THE EFFECTS OF TEMPER ON THE HARDNESS AND TENSILE STRENGTH OF THYRODUR 2379 STEEL ALLOYS

Oleh :

Nama : I Wayan Gede Eka Sukaryana
NIM : 995214148
NIRM : 993051123109120148

Telah disetujui untuk diuji oleh :

Pembimbing Utama



(Dr. Ir. Viktor Malau, DEA)

Tanggal,..... 4 Juli 2002

Pembimbing Kedua



(I Gusti Ketut Puja, S.T., M.T.)

Tanggal,..... 4 Juli 2002

TUGAS AKHIR
Nomor Soal: 189 / F.T.USD / TM / Oktober / 2001

**THE EFFECTS OF TEMPER ON THE HARDNESS
AND TENSILE STRENGTH OF THYRODUR 2379
STEEL ALLOYS**

Dipersiapkan dan ditulis oleh :

Nama : I Wayan Gede Eka Sukaryana
NIM : 995214148
NIRM : 993051123109120148

Telah dipertahankan di depan panitia penguji

Pada tanggal, 24 Juli 2002

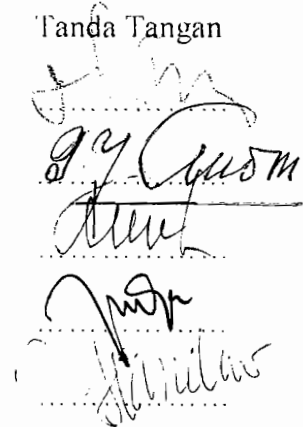
Dan dinyatakan memenuhi syarat

Susunan Panitia Penguji

Nama Lengkap

Ketua : Ir. Greg. Harjanto
Sekretaris : Ir. P. J. Soedarjana
Anggota 1 : Dr. Ir. Viktor Malau, DEA.
Anggota 2 : I Gusti Ketut Puja, S.T., M.T.
Anggota 3 : Budi Setyahandana, S.T., M.T.

Tanda Tangan



15 AUG 2002

Yogyakarta,.....

Fakultas Teknik

Universitas Sanata Dharma



Ir. Greg. Harjanto

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas terselesainya Tugas Akhir ini dengan baik. Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar sarjana di Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta pada Program Studi Strata-I.

Penulis mengambil judul Tugas Akhir: “Pengaruh Suhu Temper Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik Baja Thyrodur 2379”, dan data untuk Tugas Akhir ini penulis peroleh dari serangkaian penelitian yang dilakukan pada Laboratorium Logam Universitas Sanata Dharma dan Laboratorium Bahan Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna, untuk itu dengan segala kerendahan hati dan dengan lapang dada penulis mengharapkan masukan dan saran untuk penyempurnaan isi Tugas Akhir ini.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Rektor Universitas Sanata Dharma.
2. Ir. Greg. Harjanto, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma.
3. Budi Setyahandana, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma.
4. Dr. Ir. Viktor Malau, DEA., selaku pembimbing utama.
5. I Gusti Ketut Puja, S.T., M.T., selaku pembimbing kedua.
6. Para pegawai Laboratorium Logam Universitas Sanata Dharma.

7. Nur Setyo Wahyu Anggoro dan rekan-rekan mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma atas dukungan, bantuan dan kerjasamanya.

Akhirnya, semua yang telah penulis susun dalam Tugas Akhir ini semoga dapat memberikan sumbangan bantuan bagi rekan-rekan dan semua yang berkepentingan.

Yogyakarta, Juli 2002



I Wayan Gede Eka Sukaryana

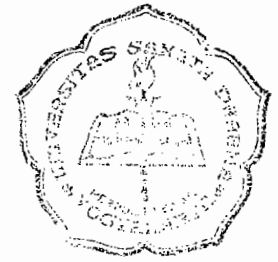
MOTTO

“ Perkaya diri dengan kepandaian dan kebijaksanaan,
Untuk mencapai proses kehidupan yang berkualitas,
Ketenangan dan kejernihan mengendalikan emosi,
Dan keberanian menghasilkan pengetahuan baru. “

(Wayn S. Saiya)

PERSEMBAHAN

1. Ibu, Bapak, uwak Putu, dan dik Ari yang tersayang.
2. Almamater Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.



DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Halaman Soal	ii
Halaman Pengesahan Dosen Pembimbing	iii
Halaman Pengesahan Dosen Penguji	iv
Kata Pengantar	v
Halaman Motto dan Persembahan	vii
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xiii
Inti Sari	xv
Abstract	xvi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Penelitian	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Batasan Masalah	2
BAB II. DASAR TEORI	4
2.1. Pengertian Baja	4
2.2. Sifat-sifat Penting Baja	4
2.3. Pengaruh Unsur-unsur Paduan pada Baja	7
2.4. Macam-macam Perlakuan Panas pada Baja	8

2.5. Baja Perkakas Dingin	10
2.6. Pengujian Kekerasan Vickers	13
2.7. Pengujian Tarik	16
BAB III. METODE PENELITIAN	19
3.1. Bahan Pengujian	19
3.2. Alat-alat yang Dipergunakan	19
3.3. Cara Pengujian	21
3.3.1. Stress-Relief Annealing	21
3.3.2. Hardening	21
3.3.3. Tempering	23
3.3.4. Pengujian Kekerasan Vickers	24
3.3.5. Pengujian Tarik	25
3.3.6. Uji Struktur Mikro	25
3.4. Analisis Hasil Pengujian	26
3.5. Skema Jalan Penelitian	27
BAB IV. DATA, HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN	28
4.1. Pengujian Kekerasan Vickers	28
4.1.1. Benda Uji Kondisi Mula-mula	28
4.1.2. Benda Uji Setelah Quench	29
4.1.3. Benda Uji Setelah Temper	29
4.2. Pengujian Tarik	33
4.2.1. Benda Uji Kondisi Mula-mula	33
4.2.2. Benda Uji Setelah Quench	34

4.2.3. Benda Uji Setelah Temper	35
4.3. Pengujian Struktur Mikro	42
BAB V. KESIMPULAN	46
Daftar Pustaka	47
Lampiran 1 Spesifikasi Mesin Uji	48
Brosur Thyrodur 2379	49

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2-1. Diagram keseimbangan besi karbon	6
Gambar 2-2. Pengaruh kadar karbon terhadap	9
temperatur pembentukan martensit pada	
baja paduan tinggi	
Gambar 2-3. Pengujian kekerasan Vickers	15
Gambar 2-4. Benda uji tarik standar ASTM A370	16
Gambar 2-5. Diagram hubungan antara tegangan dan regangan	18
pada uji tarik	
Gambar 3-1. Pengaruh tebal benda uji terhadap <i>holding time</i>	23
pada proses hardening baja THYRODUR 2379	
Gambar 3-2. Diagram <i>temperature-time-sequence</i> pada	24
heat treatment baja THYRODUR 2379	
Gambar 3-3. Skema jalan penelitian	27
Gambar 4-1. Perbandingan angka kekerasan rata-rata	31
baja THYRODUR 2379	
Gambar 4-2. Diagram hubungan persentase beban maksimum	33
dan pertambahan panjang pada uji tarik untuk	
benda uji kondisi mula-mula pada sampel A1	
Gambar 4-3. Diagram hubungan persentase beban maksimum	34
dan pertambahan panjang pada uji tarik untuk	
benda uji setelah <i>quench</i> pada sampel B3	
Gambar 4-4. Diagram hubungan persentase beban maksimum	36
dan pertambahan panjang pada uji tarik untuk	
benda uji setelah <i>temper</i> 150°C pada sampel C2	

Gambar 4–5.	Diagram hubungan persentase beban maksimum dan pertambahan panjang pada uji tarik untuk benda uji setelah <i>temper</i> 250°C pada sampel D3	37
Gambar 4–6.	Diagram hubungan persentase beban maksimum dan pertambahan panjang pada uji tarik untuk benda uji setelah <i>temper</i> 350°C pada sampel E3	38
Gambar 4–7.	Diagram hubungan persentase beban maksimum dan pertambahan panjang pada uji tarik untuk benda uji setelah <i>temper</i> 450°C pada sampel F3	40
Gambar 4–8.	Perbandingan besarnya kekuatan tarik rata-rata baja THYRODUR 2379	41
Gambar 4–9.	Foto struktur mikro benda uji kondisi mula-mula	43
Gambar 4–10.	Foto struktur mikro benda uji setelah <i>quench</i>	43
Gambar 4–11.	Foto struktur mikro benda uji setelah <i>temper</i> 150°C	44
Gambar 4–12.	Foto struktur mikro benda uji setelah <i>temper</i> 250°C	44
Gambar 4–13.	Foto struktur mikro benda uji setelah <i>temper</i> 350°C	45
Gambar 4–14.	Foto struktur mikro benda uji setelah <i>temper</i> 450°C	45

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2-1. Pengaruh unsur-unsur paduan pada baja	7
Tabel 2-2. Contoh perlakuan panas dan sifat-sifat mekanis baja pegas	10
Tabel 2-3. Contoh komposisi kimia dan penggunaan	11
baja perkakas dingin	
Tabel 2-4. Pencapaian dan kondisi perlakuan panas baja perkakas dingin	12
sesuai dengan tabel 2-3	
Tabel 2-5. Pengaruh beban uji dan diagonal bekas luka indentor	14
terhadap harga kekerasan makro Vickers	
Tabel 4-1. Data dan hasil uji kekerasan Vickers benda uji	28
kondisi mula-mula	
Tabel 4-2. Data dan hasil uji kekerasan Vickers benda uji	29
setelah <i>quench</i>	
Tabel 4-3. Data dan hasil uji kekerasan Vickers benda uji	29
setelah <i>temper</i> 150°C	
Tabel 4-4. Data dan hasil uji kekerasan Vickers benda uji	30
setelah <i>temper</i> 250°C	
Tabel 4-5. Data dan hasil uji kekerasan Vickers benda uji	30
setelah <i>temper</i> 350°C	
Tabel 4-6. Data dan hasil uji kekerasan Vickers benda uji	31
setelah <i>temper</i> 450°C	
Tabel 4-7. Data dan hasil uji tarik untuk benda uji kondisi mula-mula	34
Tabel 4-8. Data dan hasil uji tarik untuk benda uji setelah <i>quench</i>	35
Tabel 4-9. Data dan hasil uji tarik untuk benda uji setelah <i>temper</i> 150°C	36
Tabel 4-10. Data dan hasil uji tarik untuk benda uji setelah <i>temper</i> 250°C	38

Tabel 4-11. Data dan hasil uji tarik untuk benda uji setelah <i>temper</i> 350°C	39
Tabel 4-12. Data dan hasil uji tarik untuk benda uji setelah <i>temper</i> 450°C	40

INTI SARI

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh suhu temper terhadap kekerasan permukaan, kekuatan tarik dan struktur mikro baja Thyrodur 2379. Sifat fisis dan mekanisnya menjadi faktor penunjang yang penting dalam aplikasinya.

Proses penelitian dimulai dengan pemotongan benda uji sepanjang kurang lebih 203 mm berjumlah 18 buah. Bentuk dan geometri uji tarik sesuai standar ASTM A370. *Stress-Relief Annealing* dilakukan pada keseluruhan benda uji sebagai kondisi mula-mula. Sebagian potongan benda uji tarik digunakan sebagai benda uji kekerasan dan struktur mikro. Uji kekerasannya menggunakan skala kekerasan mikro Vickers. Seluruh spesimen uji dibagi menjadi 6 kelompok yang masing-masing terdiri dari 3 buah. Kelompok pertama dikondisikan mula-mula dan kelompok kedua diberi proses *quench*, sedangkan empat kelompok sisanya diberi proses *temper* dengan tingkatan suhu yang bervariasi mulai dari 150°C, 250°C, 350°C dan 450°C.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa kekerasan terendah dimiliki oleh benda uji kondisi mula-mula sebesar 287 VHN sedangkan angka kekerasan tertinggi ternyata dimiliki oleh benda uji yang diberi proses *temper* 250°C sebesar 652 VHN. Kekuatan tarik benda uji kondisi mula-mula adalah yang terendah sebesar 74 kg/mm². Kekuatan tarik tertinggi dimiliki oleh benda uji yang diberi proses *temper* 250°C sebesar 163 kg/mm². Perbedaan struktur mikro terlihat jelas antara benda uji kondisi mula-mula dengan benda uji yang diberi proses *quench* dan *temper*. Bila hasil pengujian dibandingkan terlihat bahwa benda uji yang diberi proses *temper* 250°C memiliki titik optimal yaitu kekerasan dan kekuatan tarik yang tertinggi.

Kata kunci: kekerasan, kekuatan tarik, *quench* dan *temper*.

ABSTRACT

The objective of this research is to investigate the effect of tempering temperature on the hardness, tensile strength and the microstructure of Thyrodur 2379 steel alloys. Physical and mechanical properties become an important supporting factor on its applications.

The research process begin with tested materials cutting about 203 mm long in 18 pieces. Tested materials form and geometric appropriate with ASTM A370 standard. Stress-Relief Annealing is treated on all of the tested materials as initial condition. Part of the tensile tested materials are used as hardness and microstructure tested materials. Hardness test use Vickers micro hardness scale. All of the tested materials are divided into 6 groups and each group is consisting of 3 picces. The first group is left as its initial condition and the second group is treated with quench process while the rest of the four groups are treated with temper process on temperature variation stages that start at 150°C, 250°C, 350°C and 450°C.

The research results showed that the lowest hardness value is belong to the tested materials with initial condition by 287 VHN, but the highest hardness value is belong to materials which is treated with temper process at 250°C by 652 VHN. Tensile strength tested materials with initial condition is the lowest by 74 kg/mm². The highest tensile strength is belong to the tested materials with temper process at 250°C by 163 kg/mm². Microstructure differences is clearly seen between the initial condition tested materials with the quench process tested materials and the temper process tested materials. If the testing result is compared, it's clearly seen that the tested materials with temper process at 250°C has the optimal point because of it's highest hardness and tensile strength.

Key words: hardness, tensile strength, quench and temper.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian

Besi dan baja merupakan komponen utama yang banyak digunakan di dunia industri, karena sifat-sifatnya yang sangat unik dan bervariasi dari bahan yang mempunyai sifat paling lunak dan mudah dibentuk/dikerjakan sampai bahan yang sangat keras sehingga terdapat kesulitan yang cukup besar dalam pengerjaannya. Struktur besi dan baja bisa terdiri dari hanya satu unsur (Fe) dan ada pula yang merupakan paduan dari beberapa unsur.

Di bidang industri terdapat beberapa penggunaan besi dan baja untuk keperluan-keperluan khusus, salah satu contohnya adalah *blanking dies* yang sering dijumpai pada mesin-mesin *punching*. Sebuah *blanking dies* harus bersifat tahan panas, tahan terhadap beban kejut dan yang terpenting adalah kekerasan dan keuletannya agar mampu mempertahankan bentuk dan ukurannya akibat beban tekan sebab produk yang dihasilkan memerlukan ketelitian ukuran yang tinggi. Fungsi *blanking dies* adalah sebagai cetakan untuk produk dari bahan plat yang biasanya tidak bisa dikerjakan dengan mesin-mesin frais karena terbentur oleh biaya pengerjaan yang cukup tinggi dan kesulitan teknis lainnya. Untuk keperluan tersebut perlu dipilih bahan yang mempunyai sifat fisis dan mekanis yang baik sehingga optimal di dalam penggunaannya.

Bahan yang mampu diterapkan untuk penggunaan tersebut sangat banyak ragam dan jenisnya. Di sini penulis mengambil benda uji penelitian yaitu baja THYRODUR

2379 dari produksi Thyssen dengan standard DIN 1.2379 X 155 CrVMo 12 1 yang termasuk dalam baja kekerasan sangat tinggi.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro dari benda uji sebelum dan sesudah mendapat perlakuan panas (Heat Treatment) yang meliputi Quenching dan Tempering. Sebelum dilakukan penelitian, benda uji dikerjakan dengan mesin untuk mendapatkan bentuk dan ukuran standar sehingga sebelum benda uji mendapat perlakuan panas maka perlu dianil terlebih dahulu. Proses Annealing dilakukan bertujuan untuk menghilangkan distorsi yang disebabkan oleh tegangan-tegangan dalam yang timbul akibat pengerjaan permesinan (pada waktu pemotongan awal dan pengerjaan menjadi benda uji), dalam istilah asing proses ini lebih dikenal dengan nama *Stress-Relief Annealing*.

1.3. Batasan Masalah

Guna lebih terarah dalam penyusunan tugas akhir dan dapat tercapai tujuan yang diinginkan maka perlu diberi batasan-batasan masalah. Pada pembuatan tugas akhir ini penelitian yang dilakukan hanya meliputi pengujian kekerasan, pengujian tarik dan struktur mikro pada baja THYRODUR 2379.

Perlakuan panas pada baja THYRODUR 2379 dilakukan bertujuan memperbaiki sifat fisis dan mekanis bahan. Pertama kali dilakukan proses *Annealing*, yaitu benda uji dipanaskan sampai temperatur 650°C dan ditahan selama kurang lebih 2 jam. Untuk proses *Hardening*, benda uji dipanaskan sampai temperatur

1030°C dan ditahan selama kurang lebih 30 menit kemudian dilanjutkan dengan *Quenching* dengan media oli. Untuk proses *Tempering*, masing-masing kelompok benda uji dipanaskan pada suhu yang bervariasi yaitu 150°C, 250°C, 350°C dan 450°C selanjutnya ditahan selama 1 jam yang kemudian didinginkan perlahan-lahan di udara.

Pengujian mekanis meliputi pengujian kekerasan dan pengujian tarik sedangkan pengujian fisis hanya meliputi pengujian struktur mikro.

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Pengertian Baja

Baja adalah material besi yang memiliki kadar karbon $\geq 0,02\%$ yang diperoleh dari penggabungan besi cair dengan unsur karbon pada dapur tinggi dengan suhu tertentu. Sebaliknya bila kadar karbonnya kurang dari $0,02\%$ maka disebut besi.

Dalam dunia industri dikenal dua golongan baja, yaitu baja karbon (unsur paduannya hanya karbon saja) dan baja paduan (unsur paduannya bisa bermacam-macam elemen). Sedangkan baja paduan itu sendiri dibagi menjadi dua golongan, yaitu baja paduan rendah yang memiliki unsur paduan $< 5\%$ dan baja paduan tinggi yang jumlah unsur paduannya $> 5\%$. Jenis dan kegunaan baja disesuaikan dengan jenis unsur pematunya, maka sifat-sifat baja sangatlah bervariasi.

2.2. Sifat-sifat Penting Baja

Tujuan mengetahui sifat-sifat baja adalah agar dalam pemilihan bahan untuk rancangan sebuah konstruksi tidak terjadi kesalahan. Adapun sifat-sifat baja yang penting antara lain:

1. Sifat mampu tempa (*malleability*).

Baja dengan sifat ini dengan mudah dapat dibentuk dengan suatu gaya, baik dalam keadaan dingin maupun panas tanpa menimbulkan deformasi yang bersifat merusak seperti keretakan, contohnya mampu tempa ataupun dirol.

2. Keuletan atau keliatan (*ductility*).

Baja dengan sifat ini diharapkan dapat dibentuk dengan tarikan tanpa menunjukkan gejala putus, misalnya terkena beban kejut yang cukup besar.

3. Ketangguhan (*toughness*).

Ketahanan terhadap patah / retak bila dibengkokkan beberapa kali.

4. Kekerasan (*hardness*).

Ketahanan baja untuk menahan penetrasi / penusukan logam lain, sifat ini cenderung getas dan mudah mengalami deformasi bila mendapat beban kejut yang cukup besar.

5. Kekuatan (*strength*).

Kemampuan baja untuk menahan deformasi atau gaya yang bekerja.

6. Sifat mampu las (*weldability*).

Baja yang memiliki sifat mampu las yang baik akan sangat mudah digunakan dalam pengerjaan sambungan las, baik dengan las listrik ataupun las karbid.

7. Tahan korosi (*corrosion resistance*).

Ketahanan baja terhadap korosi/karat akibat kelembaban udara, zat-zat kimia sangatlah menentukan pemilihan baja untuk daerah-daerah rawan korosi.

8. *Machinability*.

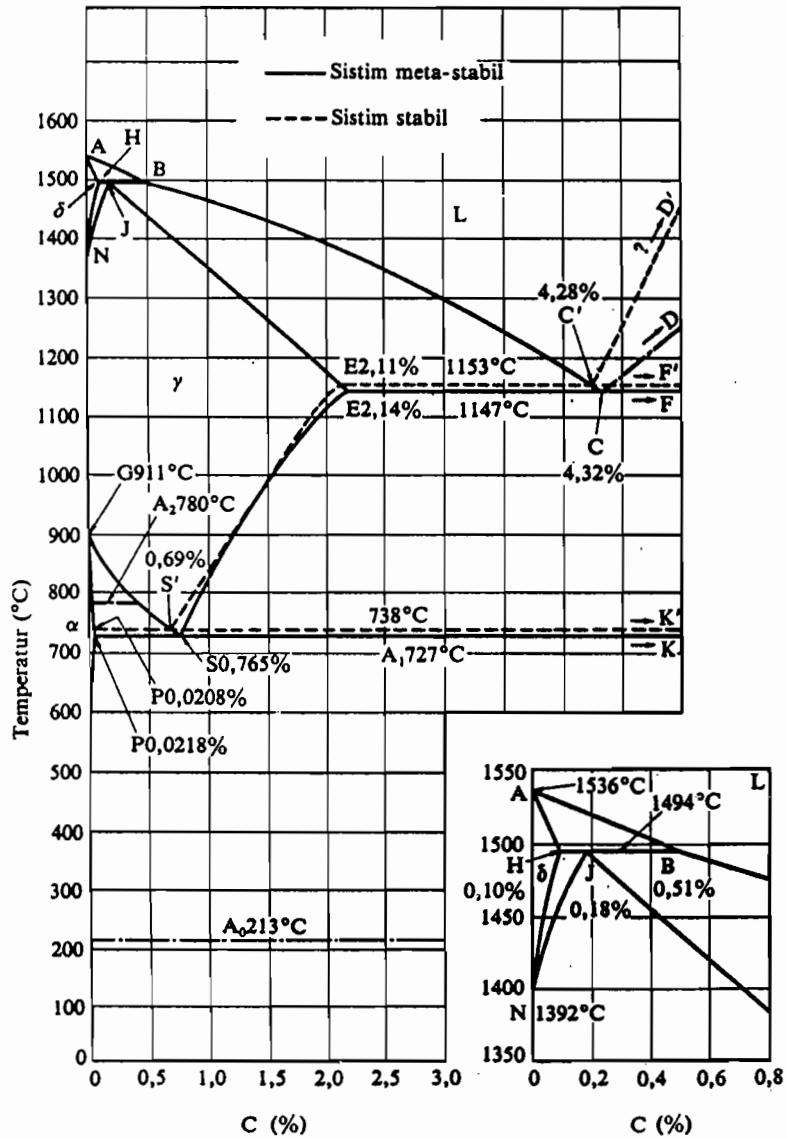
Kemampuan baja untuk dikerjakan dengan mesin perkakas, misalnya dengan mesin bubut, mesin frais dll.

9. Kelenturan (*elasticity*).

Baja yang bersifat elastis memiliki kemampuan untuk kembali ke bentuk semula bila mendapat gaya dari luar tanpa mengalami deformasi plastis.

10. Kerapuhan (*britleness*).

Sifat baja yang mudah retak dan pecah. Sifat ini berhubungan erat dengan kekerasan / hardness dan bertolak-belakang dengan ductility.



Gambar 2-1. Diagram keseimbangan besi karbon

Sumber: Pengetahuan Bahan Teknik, halaman 70, oleh Prof. Ir. Tata Surdia dan Prof. Dr. Shinroku Saito.

2.3. Pengaruh Unsur-unsur Paduan pada Baja

Jenis paduan pada baja sangat beragam dan mempunyai pengaruh yang berbeda-beda. Tabel 2-1 menguraikan pengaruh unsur paduan secara lebih spesifik:

Tabel 2-1. Pengaruh unsur-unsur paduan baja

Unsur-unsur Paduan	Pengaruh pada Baja
S (Sulfur) dan P (Phosfor)	Semua baja mengandung S dan P. Unsur-unsur ini sebagian berasal dari kotoran yang terbawa bijih besi sebelum diolah dalam dapur tinggi. Kadar S dan P harus dibuat sekecil mungkin karena unsur S dan P akan menurunkan kualitas baja. Kadar S dalam jumlah banyak menjadikan baja rapuh pada suhu tinggi (panas) sedang unsur P menjadikan baja rapuh pada suhu rendah (dingin). Kadang-kadang unsur P perlu ditambahkan pada baja agar mudah dikerjakan dengan mesin perkakas dan juga untuk mendapatkan ukuran tatal yang lebih kecil ketika dikerjakan dengan mesin otomatis (unsur Pb membawa pengaruh seperti unsur P).
Mn (Mangan)	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 menyolok. Unsur Mn dalam proses pembuatan baja berfungsi sebagai dioxider (pengikat O ₂) sehingga proses peleburannya dapat berlangsung baik. Kadar Mn rendah dapat juga menurunkan kecepatan pendinginan kritis.
Ni (Nikel)	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.
Si (Silikon)	Unsur Si selalu terdapat dalam 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.
Cr (Chromium)	Cr dapat memindahkan titik eutektik ke kiri. Cr dan C akan membentuk karbid yang akan menaikkan kekerasan baja. Cr akan meningkatkan kemampuan potong dan daya tahan alat perkakas, tetapi menurunkan keuletan. Cr akan menurunkan kecepatan pendinginan kritis dan menaikkan suhu kritis baja.
Co (Cobalt)	Biasanya unsur Co digunakan bersama-sama dengan paduan lainnya. Co menaikkan daya tahan aus dan menghalangi pertumbuhan butiran.
W (Tungsten) Mo (Molibden) V (Vanadium)	Seperti Cr, unsur-unsur ini akan membentuk karbid dalam baja yang akan menaikkan kekerasan, kemampuan potong, dan daya tahan aus baja. Unsur-unsur ini juga memberikan daya tahan panas pada alat perkakas yang bekerja dengan kecepatan tinggi. Unsur ini tidak begitu mempengaruhi kecepatan pendinginan baja tetapi menaikkan titik eutektik baja. Unsur paduan ini terutama digunakan pada pahat baja HSS (High Speed Steel).

Sumber: Diktat panduan mata kuliah Bahan Teknik Manufaktur, halaman 4, oleh Dr. Ir. Viktor Malau, DEA.

2.4. Macam-macam Perlakuan Panas pada Baja

Perlakuan panas pada baja merupakan proses pemanasan baja sampai suhu tertentu dan dalam waktu tertentu serta kemudian mendinginkannya dengan cara tertentu pula. Perlakuan panas ini dimaksudkan untuk memberikan sifat-sifat yang lebih baik pada baja tersebut. Untuk memanaskan baja digunakan dapur-dapur yang pada umumnya berupa dapur listrik, dapur gas atau dapur minyak. Pengukuran suhu kerja harus seteliti mungkin agar sifat-sifat baja yang dihasilkan dapat sesuai keinginan. Perlakuan panas terhadap baja dapat berupa:

1). Annealing.

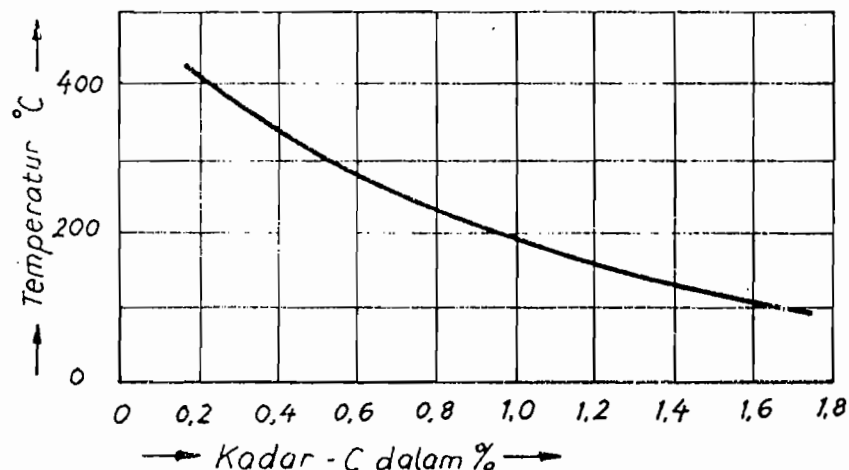
Tujuan utama dari proses annealing adalah pelunakan sehingga baja yang keras dapat dikerjakan melalui permesinan atau pengerjaan dingin. Hal ini dilakukan dengan memanaskannya sedikit di atas suhu kritis atas, kemudian dibiarkan sampai suhu merata dan disusul dengan pendinginan secara perlahan-lahan sambil dijaga agar suhu di bagian luar dan dalam kira-kira sama.

2). Normalisasi.

Proses normalisasi terdiri dari pemanasan baja 10-40°C di atas daerah kritis atas disusul dengan pendinginan dalam udara. Proses ini biasa diterapkan pada baja karbon rendah dan sedang atau baja paduan agar struktur butiran lebih merata; atau untuk menghilangkan tegangan dalam atau untuk memperoleh sifat-sifat fisis yang diinginkan. Umumnya setelah digiling atau dicor baja mengalami proses normalisasi.

3). Hardening.

Baja dipanaskan sampai suhu di atas daerah kritis dan kemudian didinginkan secara cepat melebihi kecepatan pendinginan kritis sehingga terbentuk struktur martensit dan austenit sisa. Perlakuan panas dengan cara ini bertujuan untuk membuat baja menjadi keras. Hardening ini menyebabkan susunan atom-atom teratur dari baja mengalami gangguan yang menimbulkan tegangan dalam baja. Berikut ini diagram yang menunjukkan pengaruh kadar karbon terhadap pembentukan martensit pada baja paduan tinggi.



Gambar 2-2. Pengaruh kadar karbon terhadap temperatur pembentukan martensit pada baja paduan tinggi

Sumber: Ilmu Logam, halaman 41, oleh Ant. Suroto dan B. Sudibyo.

4). Tempering.

Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan. Melalui proses temper, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat.

Beberapa contoh perlakuan panas dan sifat-sifat mekanis baja dapat dilihat pada tabel 2-2.

Tabel 2-2. Contoh perlakuan panas dan sifat-sifat mekanis baja pegas

Komposisi kimia (wt %)	Perlakuan panas		Sifat-sifat mekanik				
	Pencelupan dingin (°C pada minyak)	Penemperan (°C)	Batas mulur (kgf/mm ²)	Kekuatan tarik (kgf/mm ²)	Perpanjangan (%)	Pengurangan luas (%)	Kekerasan (H _B)
0,8C	830-860	450-500	> 85	> 110	> 8	—	341-401
0,6C-1,7Si-0,8Mn	"	480-530	> 110	> 125	> 9	> 20	363-429
0,6C-0,8Mn-0,8Cr	"	460-510	"	"	"	"	"
0,6C-0,8Cr-B							

Sumber: Pengetahuan Bahan Teknik, halaman 88, oleh Prof. Ir. Tata Surdia dan Prof. Dr. Shinroku Saito.

2.5. Baja Perkakas Dingin

Baja THYRODUR 2379 termasuk baja kekerasan tinggi yang memiliki sifat mampu keras yang cukup baik dan apabila diberi perlakuan panas seperti hardening akan menghasilkan kekerasan yang tinggi. Baja kekerasan tinggi dapat dibedakan menjadi beberapa kategori antara lain seperti baja pegas, baja bantalan, baja perkakas dingin, baja perkakas panas dan baja kecepatan tinggi. Dalam hal ini material uji termasuk dalam baja perkakas dingin.

Umumnya baja perkakas dingin mempunyai kadar karbon yang tinggi, macamnya adalah sangat banyak mulai dari baja perkakas karbon yaitu untuk perkakas pemotong kayu, pemotong daging, pisau cukur, kikir, baja perkakas paduan rendah dengan unsur paduan Cr, W, V, untuk perkakas pemotong, cetakan penarikan kawat, alat pengetrim, pengukur (*gauges*), pengerol derat dsb. Untuk komposisi kimia dan macam perlakuan panas (heat treatment) serta temperatur penempaan pada baja perkakas dingin dapat dilihat pada tabel 2-3 dan tabel 2-4 di bawah.

Tabel 2-3. Contoh komposisi kimia dan penggunaan baja perkakas dingin

Baja perkakas	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	W	V	Penggunaan
Baja karbon	1 1,10	<0,35	<0,50	<0,030	<0,030	<0,20				Tap, cetakan, pisau cukur, pahat kayu.
"	2 0,65	"	"	"	"	"				Penggores, cetakan pres, pisau, dsb.
Baja paduan rendah	1 1,35	"	"	"	"	0,75	4,5			Perkakas potong, cetakan penarikan dingin.
"	2 1,25	"	"	"	"	0,35	3,5	0,2		-sama dengan di atas-
"	3 1,05	"	"	"	"	0,75	1,25			Tap, gurdi, pemotong, gergaji, cetakan penarikan.
"	4 0,5	"	"	"	"	"	0,75			Pahat kayu, pons, pemegang.
"	5 0,8	"	"	"	"	0,40	2,0	0,25		Pahat kayu, pons, mata pisau, pemotong kikir.
"	6 1,0	<0,25	<0,30	"	"			0,18		Gurdi batu, torak.
Baja paduan	1 1,0	<0,40	0,75	"	"	5,0	1,0	0,35		Pengukur, cetakan penarikan, rol derat.
"	2 1,0		2,0			1,0	1,0			Cetakan pengetrim, cetakan penarikan.
"	3 0,5					5,0	1,4	1,5Ni	1,0	Mata gunting untuk pelat tebal.
Baja paduan tinggi	1 2,1	<0,40	<0,60	"	"	13,0				Cetakan penarikan kawat, cetakan pengetrim.
"	2 1,5	"	<0,50	"	"	12,0	1,0	0,35		Pengukur, cetakan pengetrim, rol derat.
"	3 2,0	"	<0,60	"	"	13,0		3,0		Cetakan penarikan kawat, cetakan pengetrim.

Sumber: Pengetahuan Bahan Teknik, halaman 89, oleh Prof. Ir. Tata Surdia dan Prof. Dr. Shinroku Saito.

Tabel 2-4. Penempaan dan kondisi perlakuan panas baja perkakas dingin sesuai dengan tabel 2-3

Baja		Temperatur penempaan (°C)	Titik transformasi (°C)		Penganilan (°C)	Pencelupan dingin (°C)	Penemperan (°C)	Kekerasan				
			Ac	Ar				Penganilan (H _B)	Temperatur celup dingin (H _R C)			
Baja perkakas karbon	1	1050-850	730-750	720-690	750-780	SC	760-820	WC	150-200	AC	187-212	>63
	2	1100-850	730-770	720-680	750-780	"	760-820	"	150-820	"	179-201	>54
Baja perkakas paduan rendah	1	1050-900	760-780	710-700	750-800	"	830-880	OC	150-200	"	192-217	>63
	2	1050-850	760-780	710-700	750-800	"	830-880	"	150-200	"	192-217	>61
	3	1050-850	760-780	710-700	750-800	"	830-880	"	150-200	"	192-217	>61
	4	1050-850	760-810	735-665	750-800	"	780-820	WC	150-200	"	187-201	>56
	5	1050-850	750-680	700-680	750-800	"	830-880	OC	150-200	"	192-212	>55
	6	1100-850	730-770	715-685	750-800	"	770-820	WC	150-200	"	187-200	>63
Baja perkakas paduan medium	1	1100-900	790-815	770-740	850-900	"	950-1000	AC	150-200	"	212-255	>61
	2	1100-900	790-815	770-740	850-900	"	850-880	"	150-200	"	212-255	>61
	3	1050-850	760-810	735-665	750-800	"	830-880	"	150-200	"	185-200	>56
Baja perkakas paduan tinggi.	1	1050-900	780-810	685-640	850-900	"	930-980	OC	150-200	"	223-269	>61
	2	1100-900	820-860	770-690	850-900	"	1000-1050	AC	150-200	"	212-255	>61
	3	1050-900	795-820	745-725	850-900	"	930-980	"	150-200	"	255-321	>61

Catatan: Ac: Titik transformasi pada pemanasan, Ar: Titik transformasi pada pendinginan, SC: Pendinginan lambat, WC: Pendinginan air, OC: Pendinginan minyak, AC: Pendinginan udara.

Sumber: Pengetahuan Bahan Teknik, halaman 90, oleh Prof. Ir. Tata Surdia dan Prof. Dr. Shinroku Saito.

2.6. Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan ada beberapa jenis seperti pengujian kekerasan Brinell, pengujian kekerasan Vickers, pengujian kekerasan Rockwell dan beberapa pengujian kekerasan lain yang tidak umum. Tetapi khusus pada penelitian ini pengujian kekerasan yang digunakan adalah pengujian kekerasan Vickers skala mikro.

Angka kekerasan Vickers (HV) merupakan hasil bagi (kwosien) dari beban uji (F) dalam kilogram dengan luas bekas luka tekan piramida intan (A) dalam mm². Notasi HV dilengkapi dengan indeks yang menyatakan syarat-syarat pengujian, yaitu: lama pengujian (pembebanan uji). Lama pembebanan uji yang telah distandarisasi untuk skala makro adalah 15 detik dan tidak ditulis dalam indeks.

Contoh : a). HV₃₀ berarti kekerasan Vickers hasil pengujian dengan beban uji sebesar F = 30 kg dan lama pembebanan uji 15 detik.

b). HV_{30/30} berarti kekerasan Vickers hasil pengujian dengan beban uji sebesar F = 30 kg dan lama pembebanan uji 30 detik.

Pengujian kekerasan Vickers menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} HV &= \frac{F}{A} \\ &= \frac{1,8544F}{d^2} \quad (\text{kg/mm}^2) \quad \dots\dots\dots (1.1) \end{aligned}$$

Dengan: F = Beban uji (kg).

d = Diagonal bekas injakan indenter (mm).

Tabel 2-5. Pengaruh beban uji dan diagonal bekas luka indentor terhadap harga kekerasan makro Vickers

Kekerasan Vickers (VHN)	d (mm)									
	di bawah 0,1	0,1 sampai 0,2	0,2 sampai 0,3	0,3 sampai 0,4	0,4 sampai 0,5	0,5 sampai 0,6	0,6 sampai 0,7	0,7 sampai 1,0	1,0 sampai 1,4	di atas 1,4
	Beban Uji (kg)									
di bawah 200	-	-	(1)	(1)	(1)	5	5	10	30	50
200 ... 300	-	-	(1)	5	5	10	10	30	50	(100)
300 ... 400	-	(1)	(1)	5	10	10	30	30	(80)	(100)
400 ... 600	-	(1)	5	10	10	10	30	50	(80)	(100)
600 ... 800	-	(1)	5	10	10	30	50	(80)	(100)	(100)
800 ... 1000	-	(1)	10	10	30	50	(80)	(100)	(100)	(100)

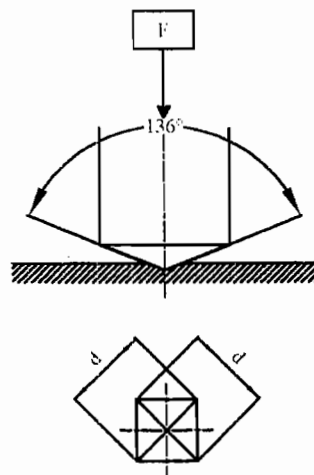
Sumber: Ilmu Logam, halaman 18, oleh Ant. Suroto dan B. Sudibyo

Syarat-syarat proses pengujian makro Vickers yang benar, yaitu:

- 1). Piramida intan disinggungkan (tegak lurus pada permukaan) benda uji. Pembebanan dilaksanakan dalam keadaan bebas hentakan dan bebas getaran sampai tercapai beban F yang dikehendaki selama 15 detik.
- 2). Pada umumnya pusat tempat pengujian berjarak sekurang-kurangnya $2,5 d$ dari tepi benda uji atau dari pusat tempat pengujian yang lain.
- 3). Beban uji yang biasa dipakai:

5 kg ; 10 kg ; 30 kg dan 50 kg

Hasil pengujian dengan beban-beban tersebut dapat diperbandingkan. Ternyata sama, karena angka kekerasan Vickers praktis tidak tergantung pada beban uji. Jika keadaan material uji memungkinkan, maka biasanya dipilih beban uji yang menghasilkan bekas luka tekan dengan diagonal d sekurang-kurangnya $0,4 d$ mm.



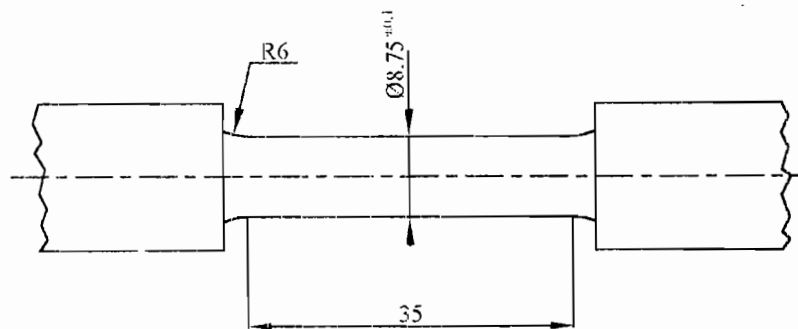
Gambar 2-3. Pengujian kekerasan Vickers

Sumber: Ilmu Logam, halaman 17, oleh Ant. Suroto dan B. Sudibyo.

2.7. Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah penarikan benda uji dengan gaya yang bertambah besar secara terus-menerus (kontinyu) sampai batang uji putus. Tujuan dari pengujian tarik adalah untuk mengetahui dan menentukan nilai-nilai tarik (kekuatan tarik bahan, regangan) dari benda uji.

Gambar benda uji tarik dapat dilihat pada gambar 2-4 di bawah:



Gambar 2-4. Benda uji tarik standar ASTM A370

Sumber: Tugas paper mata kuliah Bahan Teknik Manufaktur tentang pengujian bahan, halaman 13.

Pada pengujian tarik ini ukuran standar bahan sesuai dengan standar ASTM A370.

Pada saat patah maka beban maksimum bahan dapat diketahui.

Kekuatan tarik bahan (σ_t) dapat diketahui dengan rumus:

$$\sigma_t = \frac{P_1}{A_0} \quad (\text{kg/mm}^2) \quad \dots\dots\dots (1.2)$$

Dengan: P_1 = Beban maksimum (kg)

A_0 – Luas penampang mula-mula (mm^2)

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

$$\epsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

Dengan: L_f = Panjang sesudah pengujian (mm)

L_0 = Panjang mula-mula (mm)

Besarnya beban maksimum pada saat patah menimbulkan tegangan patah (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{P_b}{A_f} \quad (\text{kg/mm}^2) \quad \dots\dots\dots (1.4)$$

Dengan: P_b = Gaya yang bekerja pada waktu benda uji patah (kg)

A_f = Luas penampang batang setelah patah (mm^2)

Kemudian perbandingan antara perubahan penampang setelah pengujian dan penampang awal (sebelum pengujian) disebut *kontraksi* (ψ)

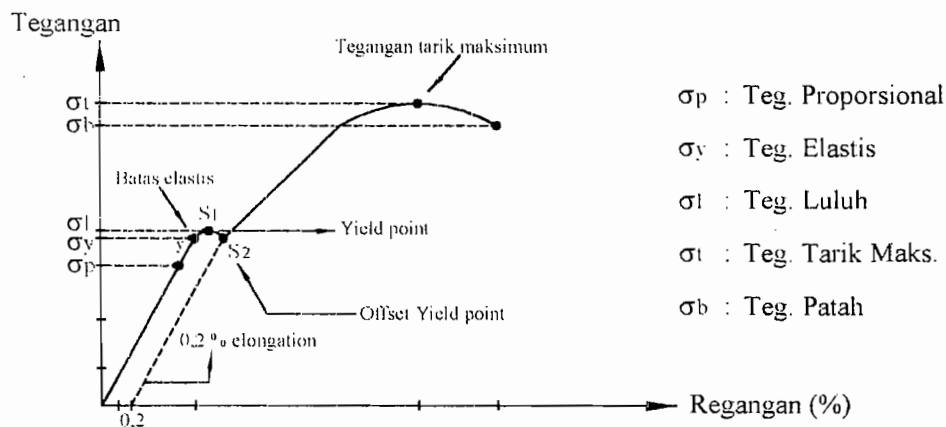
$$\psi = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \quad \dots\dots\dots (1.5)$$

Dengan: A_0 = Luas penampang awal benda uji (mm^2)

A_f = Luas penampang akhir benda uji (mm^2)

Hubungan antara tegangan yang timbul (σ) dan regangan yang timbul (ϵ) selama pengujian dapat digambarkan seperti gambar 2–5 di bawah ini dimana pada gambar ini, titik P menunjukkan batas dimana hukum Hooke masih berlaku dan disebut batas proporsional dan batas dimana bila beban diturunkan ke nol lagi tidak terjadi perpanjangan disebut batas elastis. Titik y sulit untuk ditentukan dengan tepat oleh karena itu biasanya ditentukan batas elastis dengan perpanjangan tetap sebesar 0,005% sampai 0,01%. Titik S1 disebut titik luluh atas dan S2 disebut titik luluh

bawah. Pada beberapa logam batas luluh ini tidak kelihatan dalam diagram tegangan-tegangan sehingga dalam hal ini tegangan luluhnya ditentukan sebagai tegangan dengan regangan sebesar 0,2% (σ_t) dan tegangan yang terjadi pada waktu patah disebut dengan tegangan patah (σ_b).



Gambar 2-5. Diagram hubungan antara tegangan dan regangan pada uji tarik

Sumber: Diktat panduan mata kuliah Bahan Teknik Manufaktur, halaman 47, oleh Dr. Ir. Viktor Malau, DEA.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Bahan Pengujian

Bahan benda uji yang dipakai dalam penyusunan tugas akhir ini adalah THYRODUR 2379 yang merupakan baja karbon tinggi yang termasuk dalam baja kekerasan tinggi dan lebih sering digunakan untuk perkakas dingin (*cold work steel*). Perkakas dingin maksudnya adalah penggunaannya tidak cocok pada suhu sangat tinggi dan sebaliknya akan baik dipakai pada suhu rendah dan suhu temper.

Baja THYRODUR 2379 berkode X 155 CrVMo 12 1 berdasarkan standar Jerman (DIN) yang berarti kandungan unsur-unsur paduannya terdiri dari 1,55% C (karbon), 12% Cr (kromium), 1% V (vanadium) dan 0,7% Mo (molibden). Baja THYRODUR 2379 sering diaplikasikan sebagai *tools dies* dan berikut contoh penggunaannya, antara lain alat ekstrusi dingin (*cold extrusion tool*), alat potong pada proses *blanking* dan *stamping* untuk material yang mampu menahan tegangan tinggi dan gergaji pemotong berputar (*circular shear blades*).

3.2. Alat-alat yang Dipergunakan

Alat-alat yang dipergunakan dalam penelitian ini meliputi:

- 1). Dapur pemanas.

Dapur pemanas yang digunakan berukuran kecil bertempat di Laboratorium Logam Universitas Sanata Dharma Yogyakarta dan suhu maksimum yang bisa dicapai adalah 1200°C.

2). Media *quenching* dan garam.

Sesuai dengan data heat treatment yang ada media *quenching* yang dapat digunakan ada 3 jenis, yaitu: minyak (oli), udara dan air panas. Tetapi untuk memudahkan jalannya penelitian, maka dipilih media *quenching* minyak (oli).

Untuk menghindari terjadinya oksidasi atau dekarburasi, maka perlu ditaburi garam pada saat proses hardening.

3). Mesin pengujian kekerasan dan pengujian tarik.

Proses uji kekerasan yang dipakai adalah Vickers dengan media indenter berupa kerucut intan 136° . Sedangkan mesin pengujian tarik yang digunakan berkekuatan cukup besar sekitar 20 ton dan bertempat di Laboratorium Bahan Teknik. Teknik Mesin - Fakultas Teknik - Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

6). Gelas ukur.

Fungsi gelas ukur sebagai tempat larutan asam nitrat dan alkohol.

7). Amplas, autosol, larutan asam nitrat (H_2NO_3) dan cairan alkohol.

Amplas yang dipakai bernomor 600, 800 dan 1000 sedangkan autosol, larutan asam nitrat (H_2NO_3) dan cairan alkohol hanya secukupnya saja.

8). Mikroskop optik.

Mikroskop optik memiliki kemampuan pembesaran sangat tinggi sehingga alur-alur asli dari struktur baja akan terlihat jelas setelah dietsa.

3.3. Cara Pengujian

Material yang digunakan sebagai benda uji adalah baja THYRODUR 2379 yang merupakan produksi Thyssen (prabrikasi Jerman) yang berjumlah 18 buah berukuran $\varnothing 8,75 \times 35$ mm, dengan perincian penelitian untuk pengujian benda uji kondisi mula-mula (kondisi awal) berjumlah 3 buah dan 3 buah benda uji berikutnya diberi proses *quenching*, sedangkan sisanya setelah mengalami proses *quenching* akan diberi perlakuan panas *tempering* terdiri dari 4 kelompok berdasarkan tingkatan suhu/temperatur pemanasan, yaitu: 150°C, 250°C, 350°C dan 450°C yang masing-masing terdiri dari 3 buah.

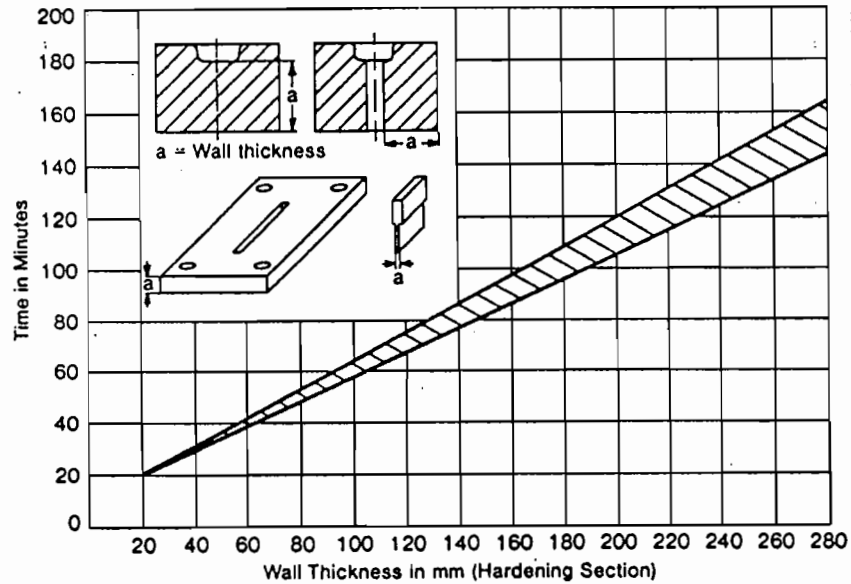
3.3.1. Stress-Relief Annealing

Material mentah benda uji sebenarnya sudah mendapat proses *annealing* langsung di pabriknya. Akan tetapi akibat pemotongan dan pengerjaan mesin untuk mendapat bentuk yang diinginkan menimbulkan tegangan dalam, sehingga untuk menghilangkan tegangan tersebut, maka perlu dilakukan proses *stress-relief annealing* sebelum dikeraskan. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi keretakan setelah dikeraskan. Proses pemanasannya mencapai suhu 650°C dan ditahan selama kurang lebih 2 jam kemudian didinginkan secara perlahan di dalam dapur pemanas sampai mencapai suhu kamar.

3.3.2. Hardening

Perlakuan panas khususnya hardening, proses pemanasannya mencapai suhu 1030°C dan ditahan selama kurang lebih 30 menit agar temperatur di semua bagian

merata sehingga seluruh molekulnya berubah menjadi austenit. Sebelum mencapai temperatur 1030°C terlebih dahulu dilakukan pemanasan (*warming*) dan dua tingkatan *preheating*. *Warming* mencapai temperatur 400°C dan ditahan selama 10 menit kemudian dilanjutkan dengan *preheating* pertama yang mencapai suhu 650°C dan juga ditahan selama kurang lebih 30 menit demikian pula *preheating* kedua yang berada pada suhu 850°C. Tujuan proses hardening adalah untuk meningkatkan kekerasan benda uji. Kemudian benda uji tersebut didinginkan secara cepat dengan media *quenching* oli. Sebelumnya memang sudah diketahui bahwa kekerasan yang diinginkan hanya bisa didapat bila kecepata pendinginannya melebihi kecepata pendinginan kritis, yang mana media *quenching* yang harus digunakan adalah oli. Selain itu air memang bisa digunakan sebagai media *quenching*, tetapi hasilnya akan kurang baik sebab pendinginannya terlalu cepat yang berakibat pada perbedaan kecepata penurunan temperatur yang terlalu besar antara bagian luar dan bagian dalam (pusat). Efeknya adalah tegangan dalam yang bisa menyebabkan keretakan.

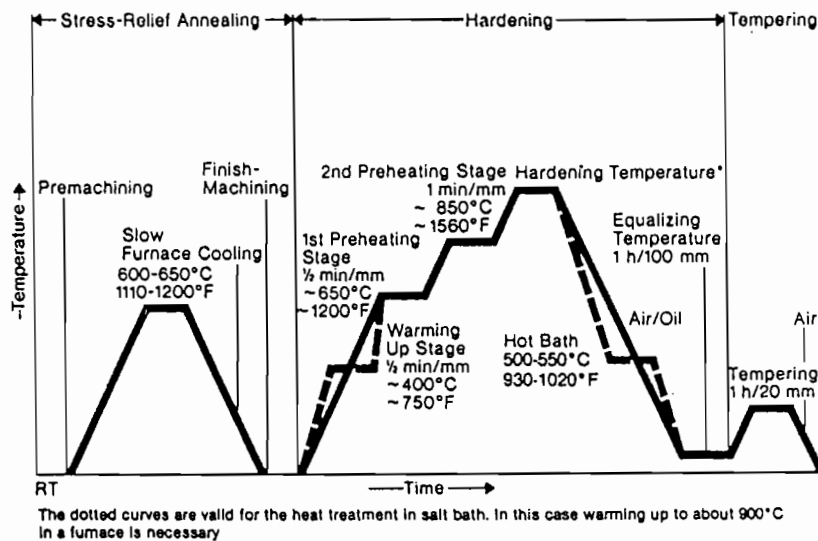


Gambar 3-1. Pengaruh tebal benda uji terhadap *holding time* pada proses hardening baja THYRODUR 2379

Sumber: Brosur baja THYRODUR 2379, halaman 5, penerbit Thyssen Bros. & Co. Ltd., Jerman.

3.3.3. Tempering

Tempering bertujuan untuk meningkatkan keuletan benda uji setelah mengalami proses hardening dengan cara menurunkan tingkat kekerasan dari sampel dengan pemanasan ulang pada suhu 400°C ditahan selama 1 jam dan didinginkan secara perlahan pada media udara. Untuk menyelidiki pengaruh perbedaan suhu temper, khusus pada penelitian ini, temperatur tempering yang digunakan adalah bertingkat dimulai dari 150°C selanjutnya meningkat 100°C sampai pada temperatur 450°C.



Gambar 3-2. Diagram *temperature-time-sequence* pada heat treatment baja THYRODUR 2379

Sumber: Brosur baja THYRODUR 2379, halaman 4, penerbit Thyssen Bros. & Co. Ltd., Jerman.

3.3.4. Pengujian Kekerasan Vickers

Sebagai dasar pengukuran kekerasan Vickers adalah diagonal bekas injakan indenter piramida intan bersudut 136°. Adapun urutan proses pengujian adalah sebagai berikut:

1. Kalibrasi alat uji terlebih dahulu.
2. Letakkan benda uji di meja uji dan dekatkan pada indenter hingga menyinggung benda uji dengan memutar roda/wheel pengatur ketinggian meja uji ke kanan.
3. Berikan beban sebesar 1 kg.
4. Tahan pada beban 1 kg selama kurang lebih 10 detik.
5. Lepaskan beban sehingga jarum kembali menunjukkan angka nol.

6. Amati bekas injakan piramida intan di bawah mikroskop pengukur dan catat besarnya diagonal bekas luka tadi.

3.3.5. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan menarik benda uji dengan tegangan yang bertambah besar secara terus-menerus (kontinyu) sampai benda uji putus. Tujuan dari pengujian tarik ini adalah untuk mengetahui nilai kekuatan tarik maksimum, tegangan patah, regangan dll.

Urutan proses pengujian tarik yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Jepit benda uji pada alat penjepit (*chuck*) mesin.
2. Tegangan tarik diberikan pada benda uji, sehingga benda uji akan mengalami pertambahan panjang hingga akhirnya putus. Untuk kecepatan pertambahan beban yang diberikan adalah 100 kg/detik.
3. Catat beban tarik maksimum dari grafik yang tergambar secara otomatis pada mesin uji.
4. Ukur pertambahan panjang benda uji yang telah putus bila memungkinkan.

3.3.6. Uji Struktur Mikro

Pada pengujian ini, kualitas maupun adanya cacat bahan dari benda uji dapat dilihat dari struktur di bawah mikroskop. Mikroskop yang digunakan adalah mikroskop optik, tetapi bila perlu dapat digunakan mikroskop elektron dengan pembesaran yang lebih tinggi. Dalam hal-hal tertentu dapat digunakan mikroskop



pirometri untuk mengamati perubahan-perubahan yang disebabkan oleh perubahan temperatur.

Urutan pengujian struktur mikro adalah sebagai berikut:

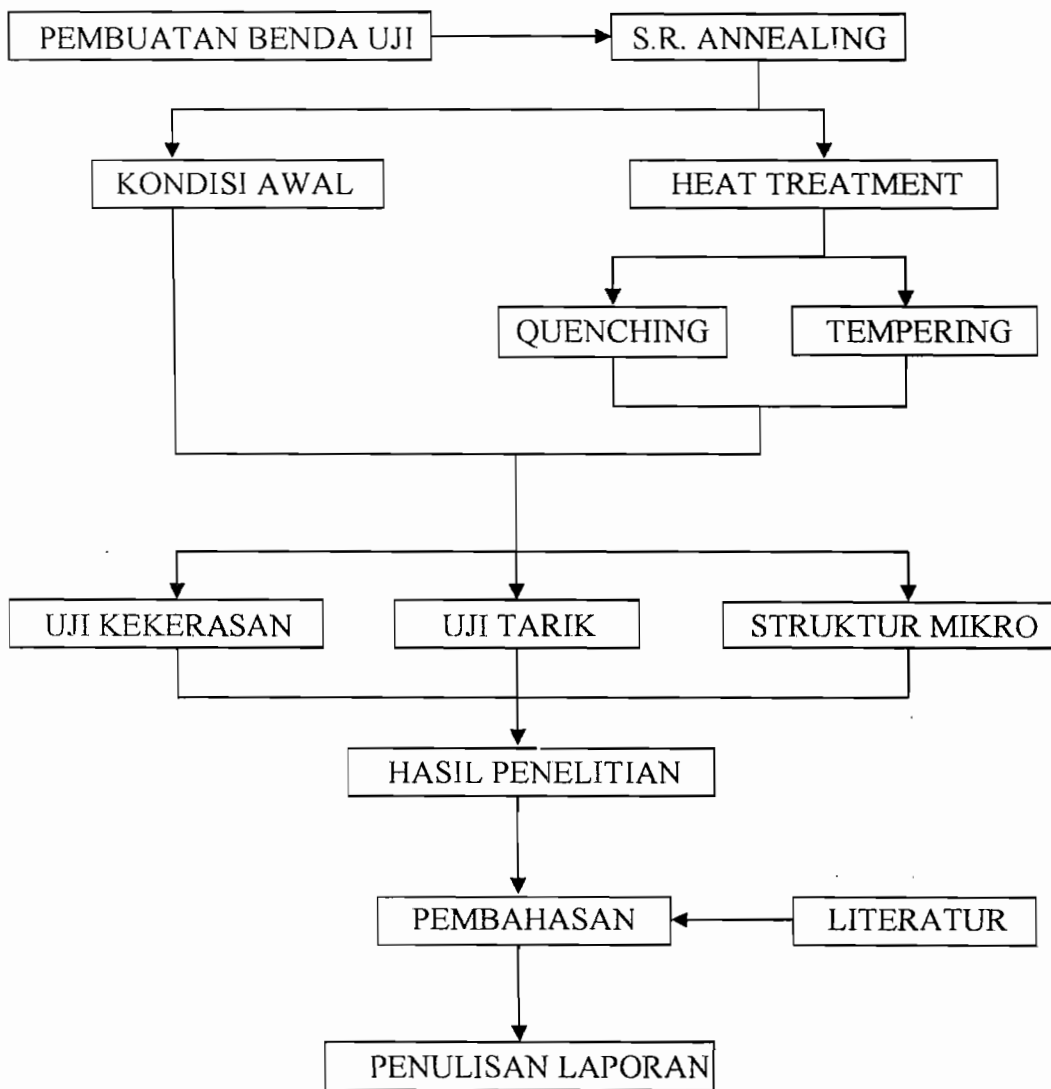
1. Bersihkan permukaan benda uji yang akan diamati dengan menggunakan amplas nomor 600, 800, dan 1000 sampai halus.
2. Gosok permukaan yang telah dibersihkan dengan autosol agar terlihat mengkilap dan alur-alur bekas pengamplasan hilang.
3. Proses etsa dilakukan selama 30 detik sampai permukaan yang mengkilap berubah menjadi abu-abu menggunakan larutan asam nitrat (H_2NO_3) dicampur alkohol sambil digoyang-goyang.
4. Amati bagian permukaan yang tadi di bawah mikroskop dan ambil gambar yang terbaik.

3.4. Analisis Hasil Pengujian

Hasil dari pengujian kekerasan dihitung dengan persamaan 1.1 karena hasilnya dalam bentuk panjang diagonal bekas luka injakan. Sedangkan pada uji tarik didapat besarnya beban pada saat benda uji mulai mengalami keretakan, sehingga besarnya kekuatan tarik dapat dihitung dengan persamaan 1.2 dan peregangan yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan 1.3. Hasil foto struktur mikro akan dibandingkan antara benda uji kondisi mula-mula dengan benda uji yang telah diberi perlakuan panas dan diamati perubahan struktur mikro permukaannya.

3.5. Skema Jalan Penelitian

Bila memulai sebuah penelitian, maka hal terpenting yang perlu diperhatikan adalah prosesnya. Sebab hasil yang baik hanya akan bisa diperoleh jika proses penelitiannya berjalan sempurna. Supaya lebih sistematis maka proses penelitian dibuat dalam bentuk skema seperti yang tertera di bawah:



Gambar 3-3. Skema jalan penelitian

BAB IV

DATA, HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

Hasil pengujian terdiri dari 3 kelompok besar, yaitu: hasil uji kekerasan Vickers, hasil uji tarik dan hasil uji struktur mikro. Masing-masing kelompok tersebut dibagi menjadi 6 kelompok kecil yang dibedakan berdasarkan perlakuan panas dan suhu temper.

4.1. Pengujian Kekerasan Vickers

Hasil pengujian kekerasan Vickers tidak langsung berupa angka kekerasan melainkan berupa panjang diagonal bekas injakan piramida intan, sehingga perlu dihitung dengan persamaan 1.1.

4.1.1. Benda Uji Kondisi Mula-mula

Untuk mencapai kondisi mula-mula seluruh benda uji diberi proses *Stress-Relief Annealing* untuk mereduksi tegangan dalam. Berikut ini data, hasil pengujian dan hasil perhitungannya:

Tabel 4-1. Data dan hasil uji kekerasan Vickers benda uji kondisi mula-mula

	Titik pengujian	Beban uji F (kg)	Diagonal d (μm)	Kekerasan (VHN)
Benda uji A2	1	1	81,50	279,2
	2		79,00	297,1
	3		79,75	291,6
	4		81,10	281,9
	5		80,50	286,2
Rata-rata				287,2

Standar deviasi kekerasan: 6,5 VHN

4.1.2. Benda Uji Setelah Quench

Berikut ini data, hasil pengujian dan hasil perhitungannya:

Tabel 4-2. Data dan hasil uji kekerasan Vickers benda uji setelah *quench*

	Titik pengujian	Beban uji F (kg)	Diagonal d (μm)	Kekerasan (VHN)
Benda uji B2	1	1	53,00	660,2
	2		53,50	647,9
	3		53,00	660,2
	4		53,75	641,9
	5		53,50	647,9
Rata-rata				651,6

Standar deviasi kekerasan: 7,3 VHN

4.1.3. Benda Uji Setelah Temper

Untuk kelompok benda uji ini proses perlakuan panas yang diberi adalah *Quenching* dan *Tempering*.

- 1). Benda uji setelah *temper* 150°C.

Berikut ini data, hasil pengujian dan hasil perhitungannya:

Tabel 4-3. Data dan hasil uji kekerasan Vickers benda uji setelah *temper* 150°C

	Titik pengujian	Beban uji F (kg)	Diagonal d (μm)	Kekerasan (VHN)
Benda uji C2	1	1	56,50	580,9
	2		55,10	610,8
	3		55,75	596,6
	4		55,50	602,0
	5		56,10	589,2
Rata-rata				595,9

Standar deviasi kekerasan: 10,3 VHN

2). Benda uji setelah *temper* 250°C.

Berikut ini data, hasil pengujian dan hasil perhitungannya:

Tabel 4-4. Data dan hasil uji kekerasan Vickers benda uji setelah *temper* 250°C

	Titik pengujian	Beban uji F (kg)	Diagonal d (µm)	Kekerasan (VHN)
Benda uji D2	1	1	53,50	647,9
	2		53,55	646,7
	3		52,85	663,9
	4		53,50	647,9
	5		53,25	654,0
Rata-rata				652,1

Standar deviasi kekerasan: 6,5 VHN

3). Benda uji setelah *temper* 350°C.

Berikut ini data, hasil pengujian dan hasil perhitungannya:

Tabel 4-5. Data dan hasil uji kekerasan Vickers benda uji setelah *temper* 350°C

	Titik pengujian	Beban uji F (kg)	Diagonal d (µm)	Kekerasan (VHN)
Benda uji E2	1	1	57,00	570,8
	2		58,00	551,2
	3		57,75	556,0
	4		57,50	560,9
	5		57,25	565,8
Rata-rata				560,9

Standar deviasi kekerasan: 6,9 VHN

4). Benda uji setelah *quench temper* 450°C.

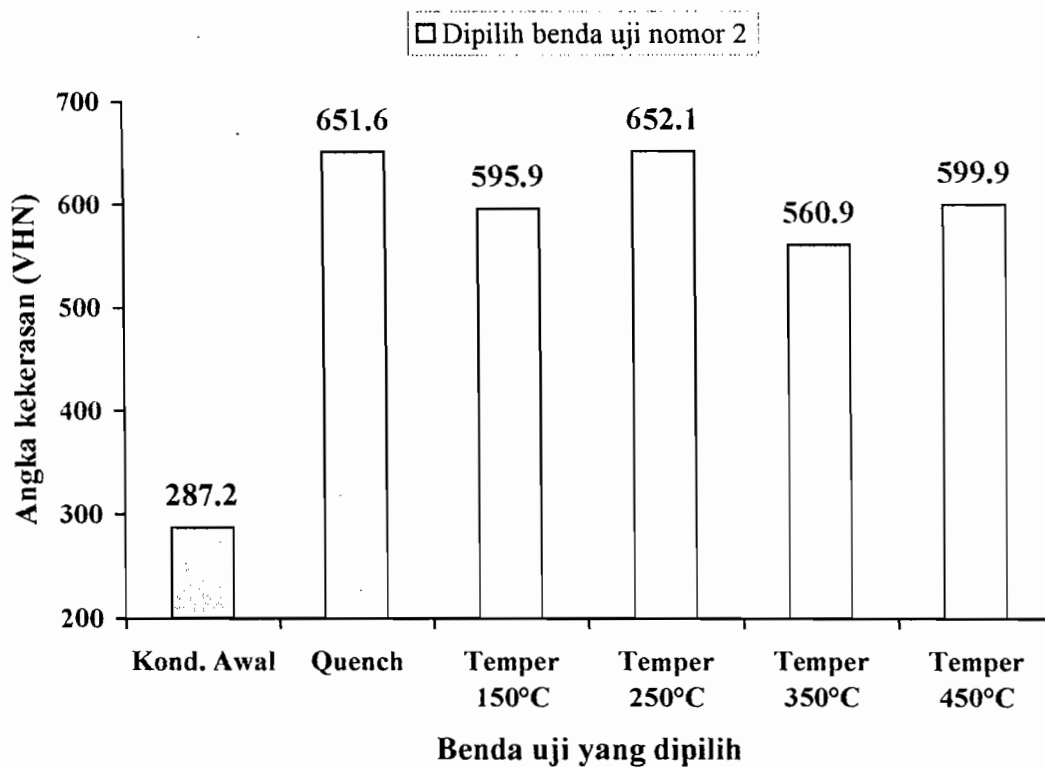
Berikut ini data, hasil pengujian dan hasil perhitungannya:

Tabel 4-6. Data dan hasil uji kekerasan Vickers benda uji setelah *temper* 450°C

	Titik pengujian	Beban uji F (kg)	Diagonal d (μm)	Kekerasan (VHN)
Benda uji F2	1	1	55,50	602,0
	2		55,50	602,0
	3		56,00	591,3
	4		55,75	596,6
	5		55,25	607,5
Rata-rata				599,9

Standar deviasi kekerasan: 5,5 VHN

Dari seluruh data, hasil pengujian dan perhitungan kekerasan Vickers di atas maka dapat dibuat perbandingan berupa grafik seperti gambar 4-1 di bawah.



Gambar 4-1. Perbandingan angka kekerasan rata-rata baja THYRODUR 2379

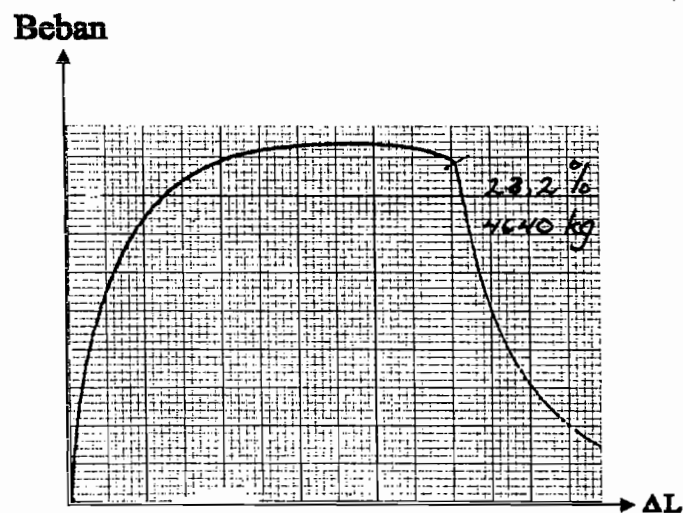
Dari gambar di atas terlihat bahwa benda uji kondisi mula-mula memiliki kekerasan yang rendah karena strukturnya terdiri dari sedikit sementit dan sebagian besar perlit yang menyebabkan menjadi lunak dan ulet. Baja THYRODUR 2379 termasuk dalam golongan baja hipereutektoid yang artinya unsur karbon yang terkandung lebih besar daripada 0,8% sehingga struktur yang terbentuk setelah *quench* adalah sedikit perlit dan sebagian besar sementit (Fe_3C) yang menyebabkan menjadi sangat keras. Sebaliknya benda uji setelah proses *temper* kekerasannya seharusnya menurun, karena akibat pemanasan (*temper*) maka atom-atom C mendapat kesempatan untuk melakukan difusi (pemerataan kadar karbon). Atom C sebelumnya bertempat tinggal secara paksa dalam jaringan sementit dibebaskan dan jika temperatur semakin tinggi, semakin besar juga kesempatan untuk keluar dari jaringan sementit tersebut dan kembali terbentuk perlit. Tetapi ternyata terjadi kenaikan kekerasan pada kelompok benda uji setelah proses *temper* 250°C dan 450°C. Hal ini terjadi karena pada baja paduan tinggi terdapat kecenderungan terjadi pembentukan sisa austenit setelah proses *quench* sehingga akibat penempuran di atas temperatur 450°C cenderung terjadi pembentukan martensit oleh sisa austenit tadi. Oleh sebab itu mengapa terjadi peningkatan kekerasan pada benda uji yang mendapat proses *temper* 450°C. Khusus pada penelitian ini ternyata kekerasan tertinggi diperoleh benda uji yang mendapat proses *temper* 250°C. Jika diperhatikan analisa photo struktur mikronya kemungkinan disebabkan oleh banyak terbentuknya jaringan krom (Cr) pada permukaannya.

4.2. Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik berupa persentase besar beban dibandingkan dengan beban maksimum pada mesin uji. Oleh karena itu perlu dihitung dengan persamaan 1.2 dan persamaan 1.3.

4.2.1. Benda Uji Kondisi Mula-mula

Data pengujian tarik untuk benda uji kondisi mula-mula didapat dari grafik mesin uji sebagai berikut:



Gambar 4 2. Diagram hubungan persentase beban maksimum dan pertambahan panjang pada uji tarik untuk benda uji kondisi mula-mula pada sampel A1

Untuk menghitung tegangan patah biasanya digunakan luas penampang benda uji setelah patah akan tetapi karena terdapat kesulitan dalam pengukurannya, maka yang digunakan adalah luas penampang sebelum pengujian tarik. Berikut ini adalah data,

hasil pengujian tarik dan hasil perhitungan besarnya kekuatan tarik dan regangan untuk benda uji kondisi mula-mula:

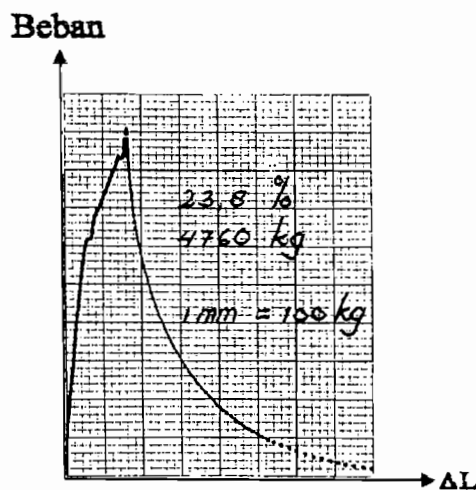
Tabel 4-7. Data dan hasil uji tarik untuk benda uji kondisi mula-mula

No. Benda uji	d_0 (mm)	L_0 (mm)	L_r (mm)	P_{max} Mesin (ton)	$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$ (%)	P_t (%)	σ_t (kg/mm ²)
A1	8,91	40,06	45,11	20	12,61	23,200	74,417
A2	8,94	40,04	45,34		13,24	23,300	74,237
A3	8,90	40,06	45,46		13,48	23,200	74,584
Rata-rata					13,11	23,233	74,413

Standar deviasi regangan : 0,367 %
 Standar deviasi kekuatan tarik : 0,142 kg/mm²

4.2.2. Benda Uji Setelah Quench

Data pengujian tarik untuk benda uji setelah *quench* didapat dari grafik mesin uji sebagai berikut:



Gambar 4-3. Diagram hubungan persentase beban maksimum dan pertambahan panjang pada uji tarik untuk benda uji setelah *quench* pada sampel B3

Berikut ini adalah data, hasil pengujian tarik dan hasil perhitungan besarnya kekuatan tarik dan regangan untuk benda uji setelah *quench*:

Tabel 4-8. Data dan hasil uji tarik untuk benda uji setelah *quench*

No. Benda uji	d_0 (mm)	L_0 (mm)	L_f (mm)	P_{max} Mesin (ton)	$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$ (%)	P_t (%)	σ_t (kg/mm ²)
B1	8,80	39,92	41,07	20	2,881	28,200	92,731
B2	8,93	39,95	40,90		2,378	26,100	83,345
B3	8,77	39,93	40,78		2,129	23,800	78,798
Rata-rata					2,462	26,033	84,958

Standar deviasi regangan : 0,313 %

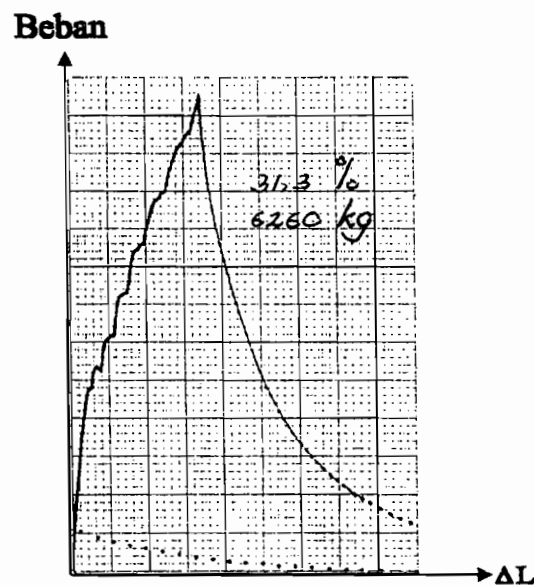
Standar deviasi kekuatan tarik : 5,801 kg/mm²

4.2.3. Benda Uji Setelah Temper

Untuk kelompok benda uji ini proses perlakuan panas yang diberi adalah *Quenching* dan *Tempering*.

- 1). Benda uji setelah *temper* 150°C.

Data pengujian tarik untuk benda uji setelah *temper* 150°C didapat dari grafik mesin uji sebagai berikut:



Gambar 4-4. Diagram hubungan persentase beban maksimum dan pertambahan panjang pada uji tarik untuk benda uji setelah *temper* 150°C pada sampel C2

Berikut ini adalah data, hasil pengujian tarik dan hasil perhitungan besarnya kekuatan tarik dan regangan untuk benda uji setelah *temper* 150°C:

Tabel 4-9. Data dan hasil uji tarik untuk benda uji setelah *temper* 150°C

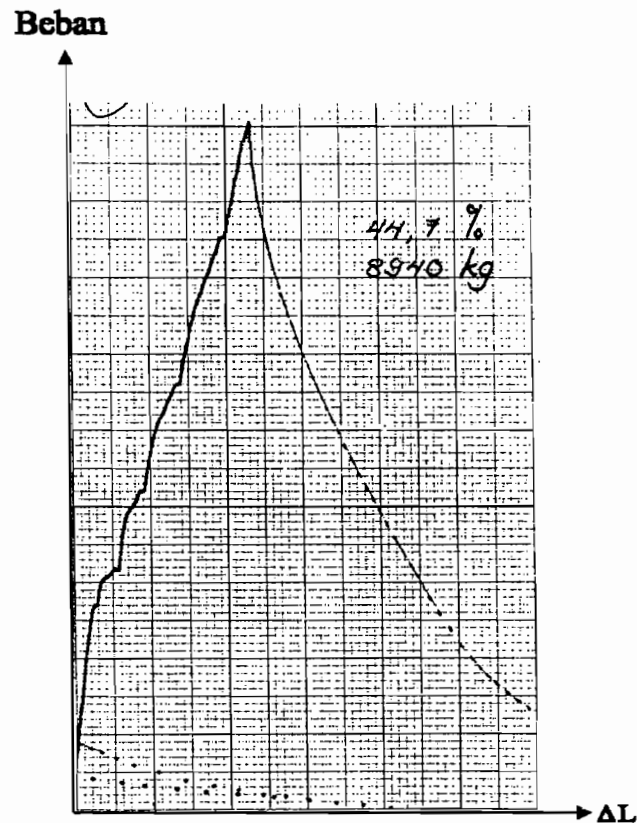
No. Benda uji	d_0 (mm)	L_0 (mm)	L_f (mm)	P_{max} Mesin (ton)	$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$ (%)	P_t (%)	σ_t (kg/mm ²)
C1	8,90	39,82	41,57	20	4,395	34,900	112,198
C2	8,86	39,84	41,54		4,267	31,300	101,535
C3	8,81	39,81	41,49		4,220	33,600	110,237
Rata-rata					4,294	33,267	107,990

Standar deviasi regangan : 0,074 %

Standar deviasi kekuatan tarik : 4,634 kg/mm²

2). Benda uji setelah *temper* 250°C.

Data pengujian tarik untuk benda uji setelah *temper* 250°C didapat dari grafik mesin uji sebagai berikut:



Gambar 4-5. Diagram hubungan persentase beban maksimum dan pertambahan panjang pada uji tarik untuk benda uji setelah *temper* 250°C pada sampel D3

Berikut ini adalah data, hasil pengujian tarik dan hasil perhitungan besarnya kekuatan tarik dan regangan untuk benda uji setelah *temper* 250°C:

Tabel 4-10. Data dan hasil uji tarik untuk benda uji setelah *temper* 250°C

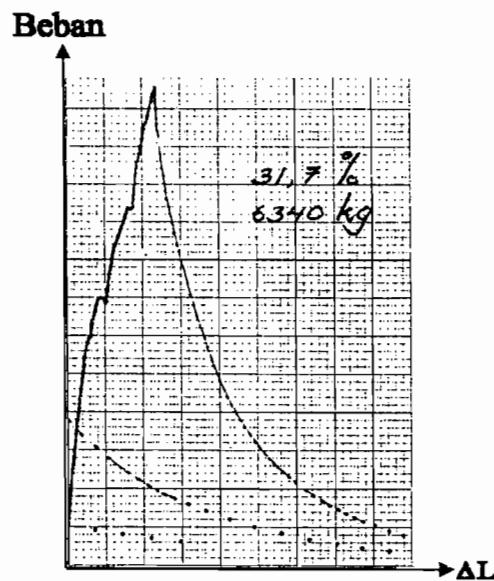
No. Benda uji	d_0 (mm)	L_0 (mm)	L_f (mm)	P_{max} Mesin (ton)	$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$ (%)	P_t (%)	σ_t (kg/mm ²)
D1	8,87	39,96	43,10	20	7,858	58,000	187,724
D2	8,87	39,90	42,40		6,266	48,000	155,358
D3	8,84	39,93	42,29		5,910	44,700	145,661
Rata-rata					6,678	50,233	162,914

Standar deviasi regangan : 0,8468 %

Standar deviasi kekuatan tarik : 17,984 kg/mm²

3). Benda uji setelah *temper* 350°C.

Data pengujian tarik untuk benda uji setelah *temper* 350°C didapat dari grafik mesin uji sebagai berikut:



Gambar 4-6. Diagram hubungan persentase beban maksimum dan pertambahan panjang pada uji tarik untuk benda uji setelah *temper* 350°C pada sampel E3

Berikut ini adalah data, hasil pengujian tarik dan hasil perhitungan besarnya kekuatan tarik dan regangan untuk benda uji setelah *temper* 350°C:

Tabel 4-11. Data dan hasil uji tarik untuk benda uji setelah *temper* 350°C

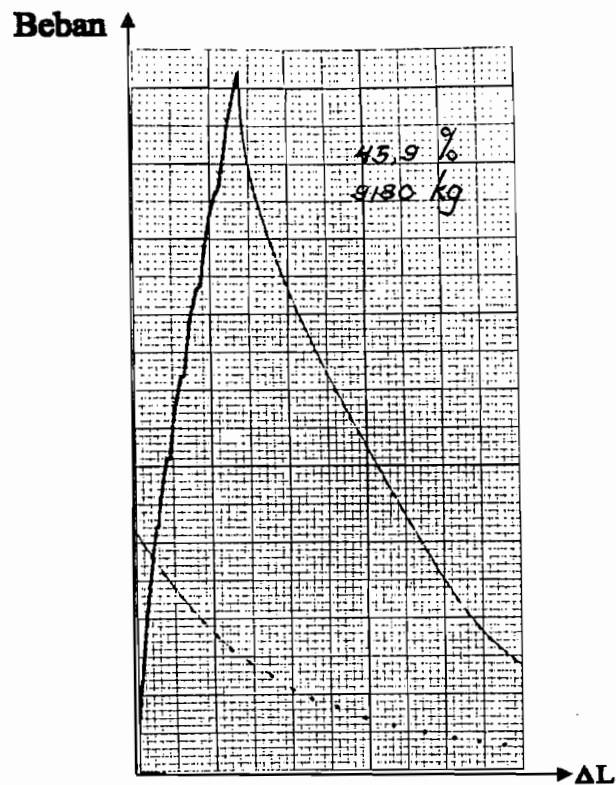
No. Benda uji	d ₀ (mm)	L ₀ (mm)	L _f (mm)	P _{max} Mesin (ton)	$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$ (%)	P _t (%)	σ_t kg/mm ²
E1	8,865	39,98	42,28	20	5,753	50,300	162,986
E2	8,865	40,05	41,90		4,619	47,000	152,293
E3	8,750	40,17	41,37		2,987	31,700	105,435
Rata-rata					4,453	43,000	140,238

Standar deviasi regangan : 1,1351 %

Standar deviasi kekuatan tarik : 24,994 kg/mm²

4). Benda uji setelah *temper* 450°C.

Data pengujian tarik untuk benda uji setelah *temper* 450°C didapat dari grafik mesin uji sebagai berikut:



Gambar 4-7. Diagram hubungan persentase beban maksimum dan pertambahan panjang pada uji tarik untuk benda uji setelah *temper* 450°C pada sampel F3

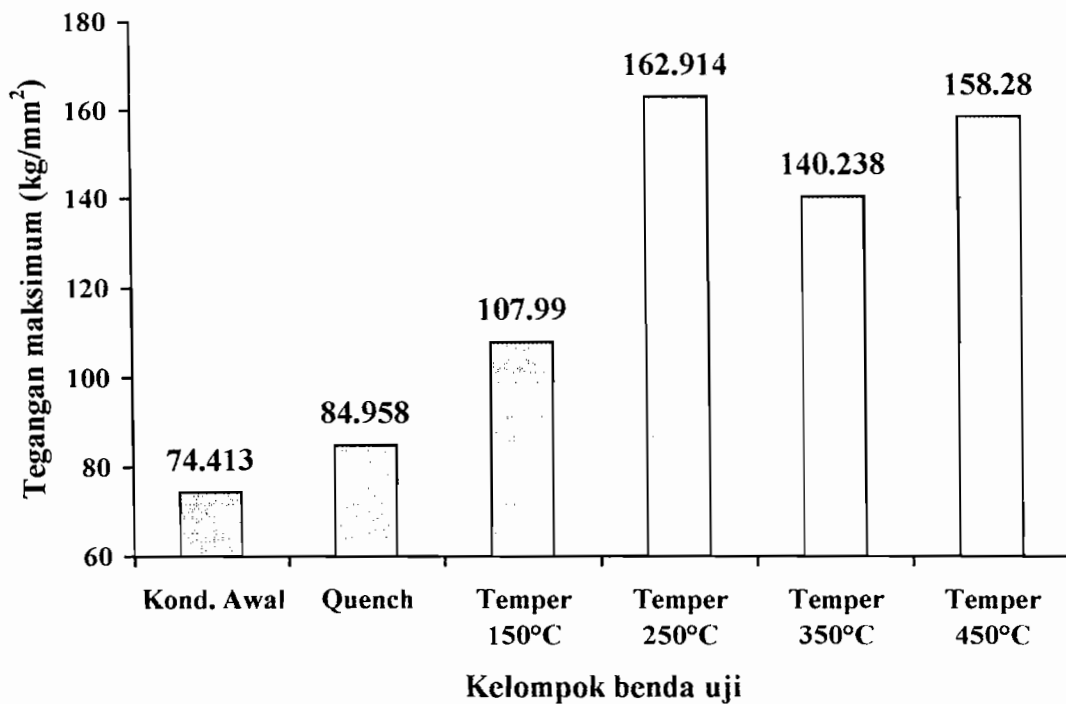
Berikut ini adalah data, hasil pengujian tarik dan hasil perhitungan besarnya kekuatan tarik dan regangan untuk benda uji setelah *temper* 450°C:

Tabel 4-12. Data dan hasil uji tarik untuk benda uji setelah *temper* 450°C

No. Benda uji	d ₀ (mm)	L ₀ (mm)	L _r (mm)	P _{max} Mesin (ton)	$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$ (%)	P _t (%)	σ_t kg/mm ²
F1	8,870	39,77	41,41	20	4,124	48,300	156,329
F2	8,855	39,76	41,56		4,527	51,600	167,576
F3	8,800	39,81	41,21		3,517	45,900	150,934
Rata-rata					4,056	48,600	158,280

Standar deviasi regangan : 0,415 %
 Standar deviasi kekuatan tarik : 6,933 kg/mm²

Dari seluruh data, hasil pengujian dan perhitungan kekuatan tarik di atas maka dapat dibuat perbandingan berupa grafik seperti gambar 4–8 di bawah.



Gambar 4–8. Perbandingan besarnya kekuatan tarik rata-rata baja THYRODUR 2379

Bila kita analisis data di atas terlihat bahwa benda uji kondisi mula-mula memiliki kekuatan yang sangat rendah sehingga mudah putus. Bandingkan dengan kekuatan tarik untuk benda uji setelah *quench* yang juga rendah akibat dari kekerasan yang sangat tinggi dan struktur sementitnya dalam jumlah banyak sehingga menjadi sangat getas.

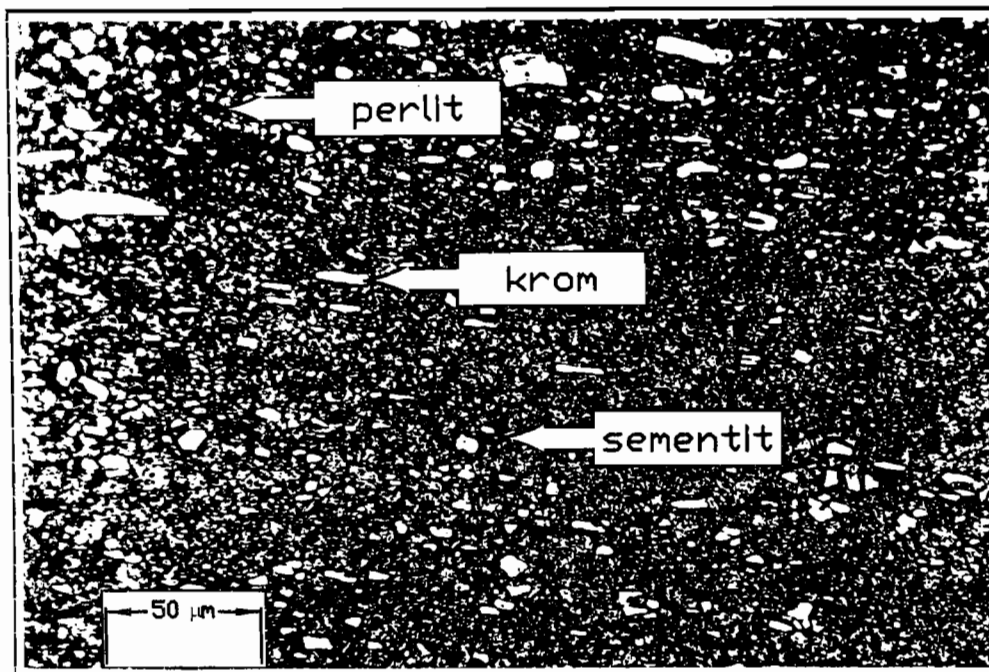
Pada baja paduan tinggi umumnya akibat *temper* adalah meningkatnya kekuatan tarik karena baja menjadi bertambah ulet dan kekerasannya yang berkurang sedikit. Hal ini hanya berlangsung bila suhu temper di bawah 500°C. Dari hasil pengujian

kekerasan dan pengujian tarik didapat bahwa baja THYRODUR 2379 memiliki kemampuan optimal bila mendapat *temper* 250°C. Pada titik ini baja memiliki kekerasan dan kekuatan tarik maksimum. Sehingga sangat sesuai untuk *tool dies* yang dalam aplikasinya sering terkena gesekan (tahan aus) dan gaya luar yang cukup besar.

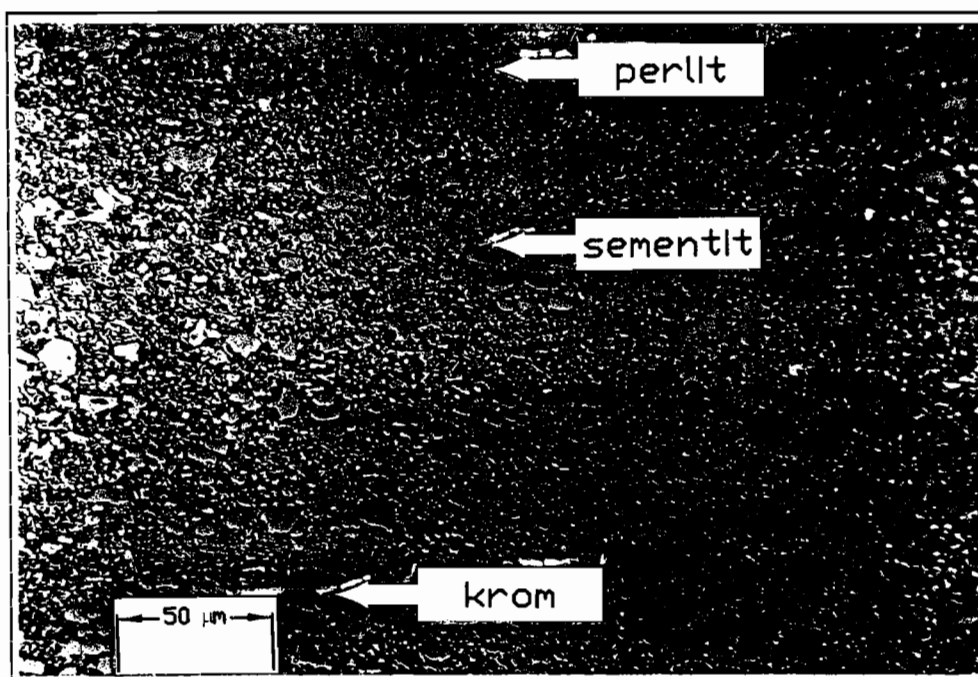
4.3. Pengujian Struktur Mikro

Pada pengujian struktur mikro terjadi kesulitan dalam mengetsa karena benda uji mempunyai paduan Cr (Krom) yang tinggi sehingga baja menjadi keras dan struktur permukaannya tidak kelihatan dengan jelas. Dari hasil foto struktur mikro dengan perbesaran 400 kali terlihat perbedaan antara benda uji kondisi mula-mula dengan benda uji setelah melewati proses *quench* dan *temper*.

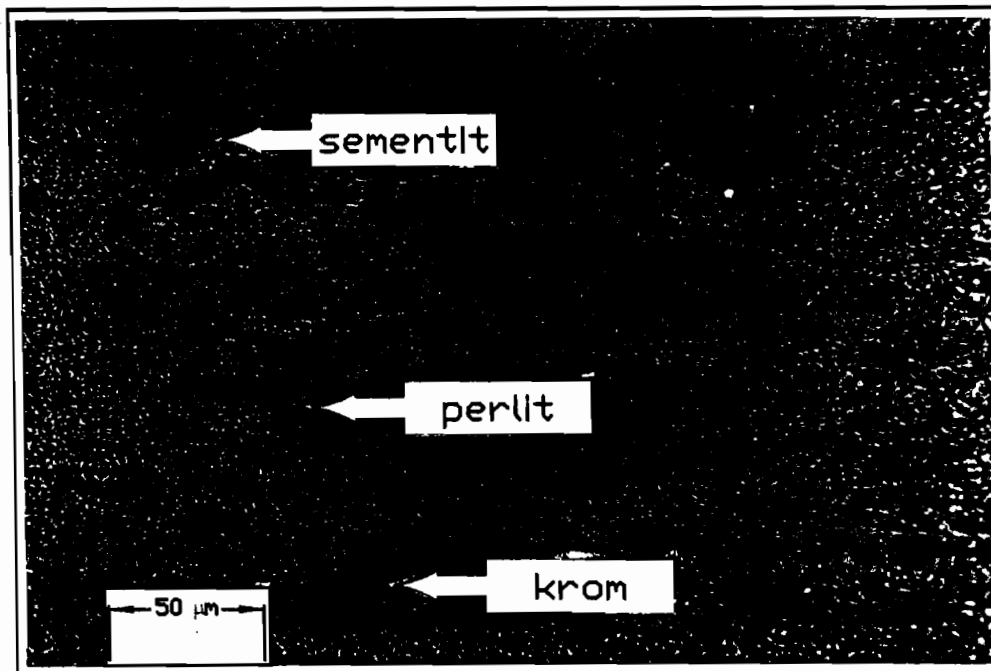
Pada permukaan benda uji kondisi mula-mula banyak dijumpai matriks perlit dan sedikit sementit, sehingga sifatnya menjadi sangat liat dan ulet. Sedangkan pada benda uji yang melewati proses *temper* terlihat banyak dijumpai matriks sementit dan sebagian kecil perlit sehingga sifatnya menjadi sangat keras. Benda uji yang melewati proses *temper* 250°C memiliki jumlah perlit yang cukup banyak sehingga sifatnya menjadi lebih liat dan ulet, tetapi juga memiliki kekerasan yang tinggi, karena terdapat banyak jaringan krom (Cr) pada permukaannya.



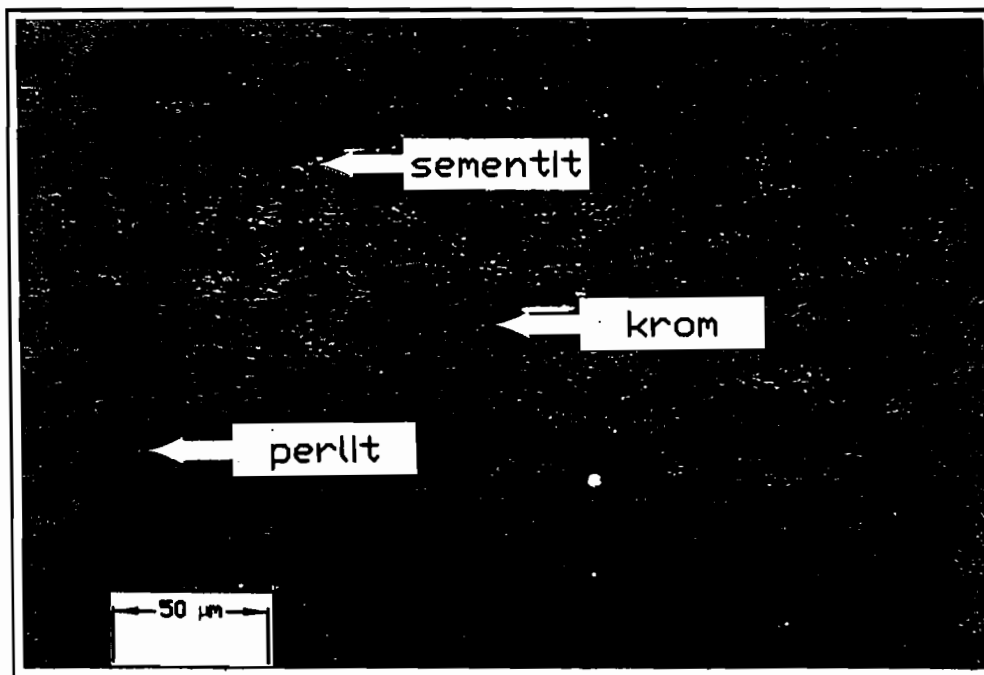
Gambar 4-9. Foto struktur mikro benda uji kondisi mula-mula



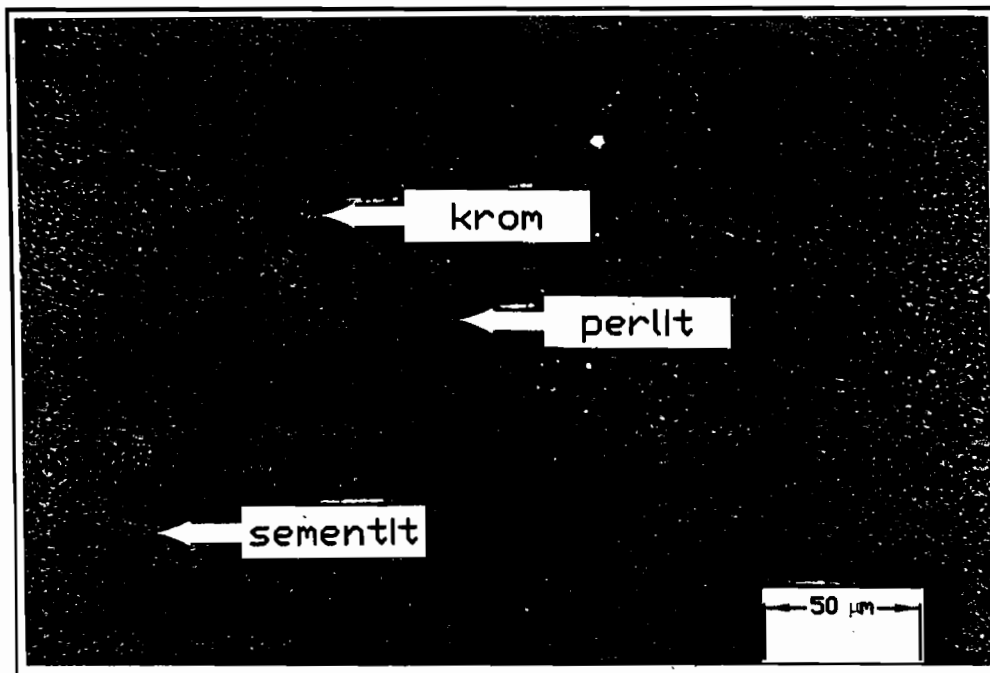
Gambar 4-10. Foto struktur mikro benda uji setelah *quench*



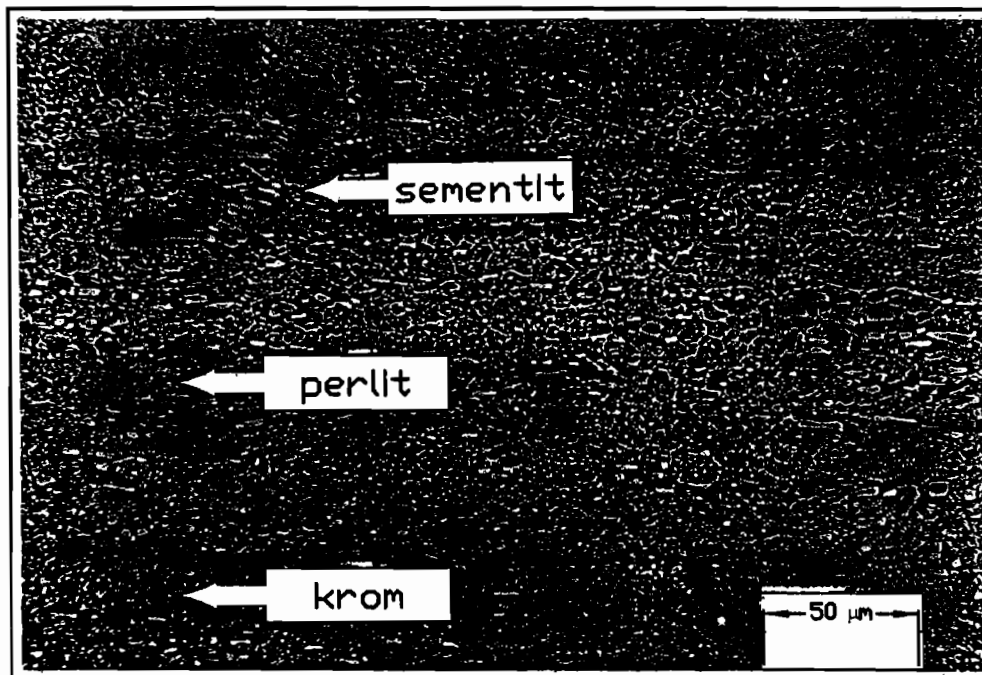
Gambar 4-11. Foto struktur mikro benda uji setelah *temper* 150°C



Gambar 4-12. Foto struktur mikro benda uji setelah *temper* 250°C



Gambar 4-13. Foto struktur mikro benda uji setelah *temper* 350°C



Gambar 4-14. Foto struktur mikro benda uji setelah *temper* 450°C

BAB V

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian baja THYRODUR 2379, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Baja THYRODUR 2379 pada kondisi mula-mula mempunyai kekerasan rata-rata sebesar 287,2 VHN dan kekuatan tarik rata-rata sebesar 74,413 kg/mm², sedangkan setelah melewati proses *quench* kekerasan rata-ratanya sebesar 651,6 VHN dan kekuatan tarik rata-ratanya sebesar 84,958 kg/mm².
2. Pada umumnya kekerasan baja paduan tinggi akan mengalami penurunan bila mendapat proses *temper*, tetapi khusus untuk baja THYRODUR 2379 terjadi peningkatan kekerasan bila melewati proses *temper* 450°C karena terjadinya pembentukan martensit lanjutan dari sisa austenit yang ada.
3. Untuk kekerasan tertinggi ternyata dimiliki oleh benda uji yang melewati proses *temper* 250°C yaitu sebesar 652,1 VHN, hal ini disebabkan oleh pembentukan jaringan krom (Cr) yang sangat banyak pada permukaannya bila diperhatikan photo struktur mikronya.
4. Benda uji setelah *temper* 250°C memiliki kekuatan tarik tertinggi yaitu sebesar 162,914 kg/mm² atau mengalami peningkatan sebesar 118,9 % dari kondisi mula-mula.
5. Baja THYRODUR 2379 memiliki kekuatan optimal bila melewati proses *temper* 250°C didasarkan atas nilai kekerasan yang tertinggi disertai kekuatan tarik yang terbesar. Sehingga aplikasinya cocok untuk *tool dies*.

DAFTAR PUSTAKA

- Amstead, B.H., Ostwald, P.F., Begeman, M.L., 1981, *Teknologi Mekanik*, Edisi ketujuh jilid 1, alih bahasa Sriati Djapric, Erlangga, Jakarta.
- Dieter, G.F., 1987, *Metalogi Mekanik*, Edisi ketiga, Jilid 1, alih bahasa Sriati Djapric, Erlangga, Jakarta.
- Smallman, R.E., 1991, *Metalogi Fisik Modern*, Edisi keempat, PT Gramedia, Jakarta.
- Surdia, T., Chijiiwa, K., 1996, *Teknik Pengecoran Logam*, Cetakan ketujuh, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Surdia, T., Saito, S., 1999, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Cetakan keempat, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Suroto, A., Sudiby, B., *Ilmu Logam*, Akademi Teknik Mesin Industri, Surakarta.
- Thyrodur brosur*, Thyssen Bros. & Co. Ltd., Jerman.

LAMPIRAN 1

SPESIFIKASI MESIN UJI

Pengujian Tarik:

Nama / Merek Mesin : SERVOPULSER
Tipe : EHF-EB20
Kapasitas Beban : 20 ton

Pengujian Kekerasan:

Nama / Merek Mesin : BUEHLER
Skala : Mikro Vickers
Kapasitas Beban : 1 kg
Lama Pembebanan : 10 detik

THYRODUR 2379

Cold Work Steel

Typical Analysis in %	C	Cr	Mo	V
	1.55	12.0	0.7	1.0

Material No.	1.2379
DIN-Code	X 155 CrVMo 12 1
Comparable Standards	AISI D 2
	BS BD 2
	JIS SKD 2

Heat Treatment Data

Hot Forming °C	Cooling
1050 — 850	slow, e.g. in furnace

Soft Annealing °C	Cooling	Hardness HB
830 — 860	furnace	max. 250

Hardening from °C	in	Hardness after Quenching HRC
1000 — 1030	oil, air or hot bath 500 — 550°C	63

Tempering °C	100	200	300	400	500	525	550	600
HRC	64	61	58	58	59	60	58	50

Special Heat Treatment

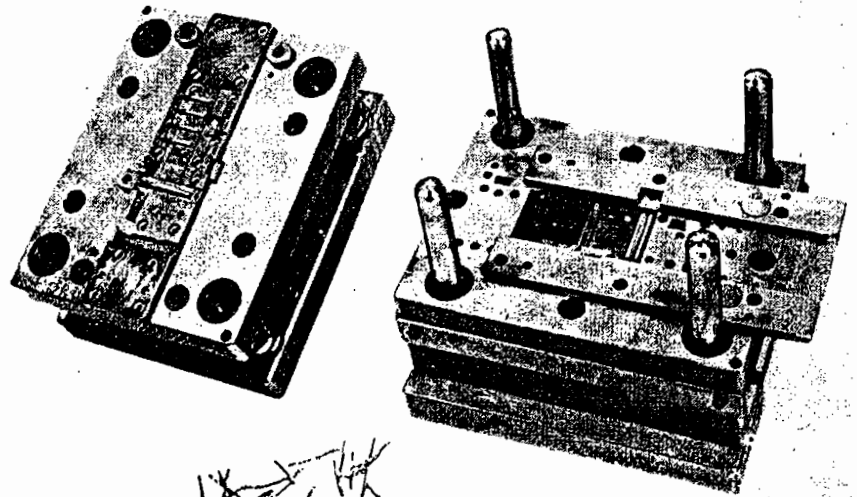
Hardening from °C	in	Hardness after Quenching HRC
1060 — 1080	oil, air or hot bath 500 — 550°C	61

Tempering °C	100	200	300	400	500	525	550	600
HRC	61	60	58	59	62	62	58	50

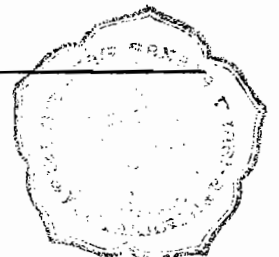
Applications

This steel is recommended for thread rollings and thread rolling dies, cold extrusion tools, blanking and stamping tools for materials with high tensile strength, cold piercers, circular shear blades.

	Working Hardness HRC
Flat and circular shear blades for cutting sheets up to about 4 mm thickness	58 — 60
High-efficient blanking and stamping dies (material to be cut up to 6 mm thickness)	58 — 62
Thread-rolling dies and jaws	58 — 62
Highly-stressed woodworking tools	58 — 62
Shearing knives for the manufacture of screws and nuts	60 — 62
Perforating dies at high stressings and hobbing punches	58 — 62
Roller segments for the cutlery industry	56 — 60
Coining dies	56 — 60
Cold heading dies	58 — 62
Punches in tube presses	58 — 62
Glass forming tools	58 — 62
Ejector bushings	58 — 60
Center punches	58 — 60



Blanking die for successive operations
made from THYRODUR 2379



Properties

THYRODUR 2379 is a high-carbon high chromium tool steel, vanadium alloyed. It offers a good wear-resistance and cutting ability combined with high edge-holding quality and best toughness. The steel can be nitrided.

Physical data:

	Testing Temperature		
	20°C	350°C	700°C
Thermal conductivity $\frac{\text{J}}{\text{cm sec } ^\circ\text{C}}$	0.167	0.205	0.242
Coefficient of thermal expansion per °C from 20°C $\frac{\text{m}}{\text{m } ^\circ\text{C}}$	—	10.8×10^{-6}	
Modulus of Elasticity N/mm^2	194000	178000	
Density kg/m^3	7710	7620	

Machining

	High-speed steel tools		Carbide tools	
	cutting speed m/min	feed mm/revol.	cutting speed m/min.	feed mm/revol.
turning	12 — 20	0.08 — 0.12	35 — 90	0.3 — 1.0
boring	7 — 10	0.02 — 0.12		
thread-cutting	2 — 3			
reaming	4 — 6	0.05 — 0.35		
milling (shank type cutters)		mm/min		mm/min
depth of cut up to 8 mm	6 — 10	18 — 25	25 — 50	40 — 60
depth of cut up to 1 mm	10 — 15	30 — 40	40 — 75	70 — 130
milling (blade cutters)				
depth of cut up to 8 mm	8 — 12	20 — 30	40 — 80	40 — 60
depth of cut up to 1 mm	12 — 18	40 — 55	70 — 110	150 — 180

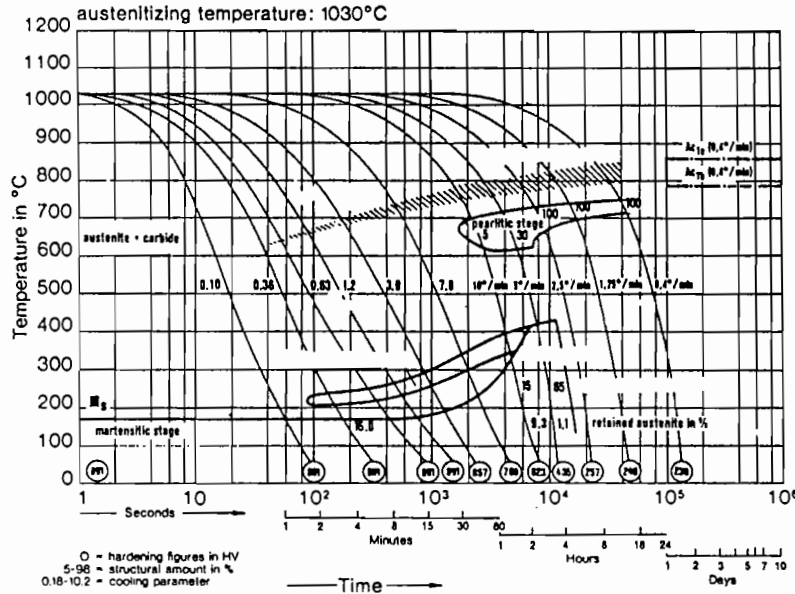
Carbide grade: turning P 10 — P 30
milling P 25 — P 40

High speed steel: boring 3343
milling 3243
turning 3207

The indicated data are guide values

Heat Treatment

Time-Temperature-Transformation Diagram



Annealing

The material is delivered in annealed condition. Soft annealing is not necessary.

Stress-Relief Annealing

In any machining operation stresses are set up which may result in distortion during the heat treatment. In such a case costly remachining will be the consequence. For this reason it is particularly important after heavy cutting work and for tools of intricate shape to carry out a stress-relief annealing at 600-650°C prior to the proper heat treatment in order to relax these stresses. The holding time at this temperature should be at least 2 hours, for tools of larger size it should be at least 1 hour for each 50 mm wall thickness. Subsequently the tool should be allowed to cool down slowly in the furnace.

Hardening

Preheating

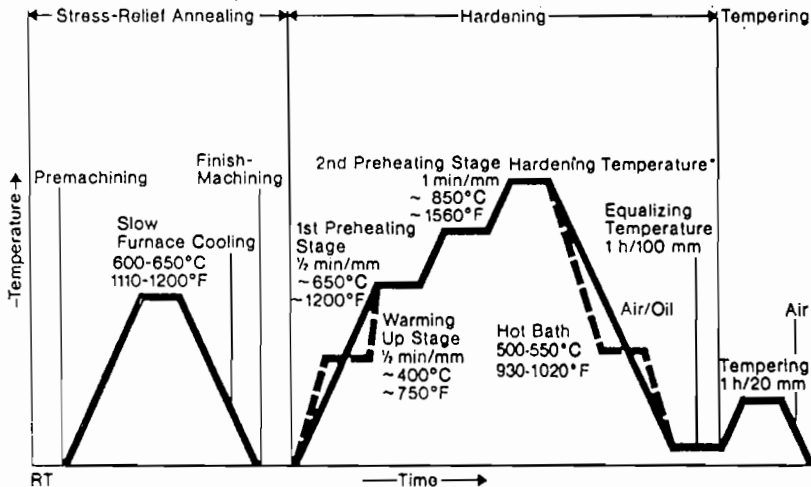
Due to the partially lower thermal conductivity and the various tool sections in rapid heating to hardening temperature significant thermal tensions will occur which can result in distortion or even in cracking of the tools. For this reason specific preheating stages indicated in the temperature-time-sequences must absolutely adhered to.

This is done by a slow and thorough heating to the stated preheating temperature at which the tools are held till temperature equalization throughout the entire section. Subsequently a further heating to the next temperature stage may be carried out.

Protection against decarburization

- During the heat-treatment the tools have to be protected against decarburization and oxidation. This is effected by
- hardening in vacuum
- hardening in salt baths
- hardening in atmospheric controlled furnaces
- packing of the tools in spent pitch coke, cast-iron chips, charcoal.

Temperature-Time-Sequence for the Heat Treatment of THYRODUR 2379



The dotted curves are valid for the heat treatment in salt bath. In this case warming up to about 900°C in a furnace is necessary

*) For the temperatures and quenching media to be applied see page 2.

Tempering

After the last preheating stage the temperature of the tools is raised to the austenitizing or quenching temperature. After having been thoroughly heated through the tools must be held at this temperature until the transformation has become completed. The following diagram is intended to serve as a guide in choosing the time at temperature after achieving the quenching temperature at the thickness of the tools dependent on the wall thickness. The times of immersion in salt bath can be determined by this diagram, too.

Quenching

Depending on the tool design the hardening of THYRODUR can be carried out either in a salt bath or in air.

When hardening in a salt bath the workpieces are kept in the bath, until equalization of temperature has been achieved. Subsequently they are left to cool down in air. Quenching down to room temperature involves the danger of tension cracks and should therefore be avoided. It serves the purpose best to cool the tools down to about 80°C and subsequently to transmit them immediately into a furnace having a temperature of 100 — 150°C.

The mildest quenching medium induces the lowest thermal stresses and should be preferred with regard to unavoidable distortion.

Tempering

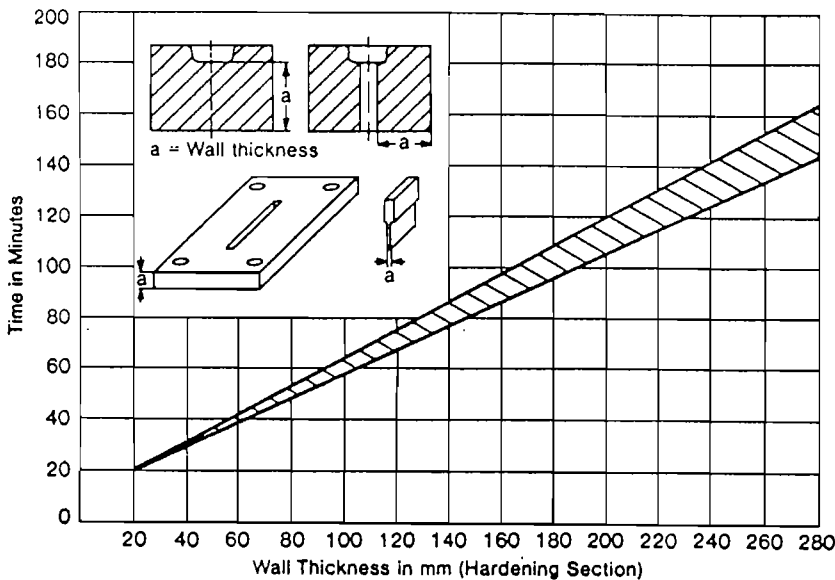
A tempering treatment will be unavoidable in order to achieve the hardness and toughness that are appropriate for the respective stressing.

Hardened tools shall be tempered immediately after quenching and equalizing to avoid quenching cracks. The tools are heated at a slow rate to the prescribed tempering temperature according to the tempering curve depending on the desired working hardness.

The time at temperature is 1 hour for each 20 mm wall thickness; it should be at least 2 hours. Subsequently the tools are cooled in air and are checked for the required hardness.

Subzero Cooling

After the heat treatment tool steels normally possess small amounts of retained austenite in the structure which can still partially transform into martensite after a longer period. This structural transformation evokes lowest changes in size being not admissible, however, for measuring tools.



a refrigeration at about -80°C becomes possible to reduce the retained austenite being still present in the structure. In this case it is recommendable to carry out the refrigeration immediately after quenching, because a subsequent tempering may stabilize the retained austenite. In order to achieve smallest amounts of retained austenite or to eliminate it completely, a subzero cooling after quenching with subsequent stress relieving at $120 - 150^{\circ}\text{C}$ is recommended for measuring tools. This treatment has to be repeated several times.

Special Heat Treatment

Improving the retention of tempering the tool steel THYRODUR 2379 can be subjected to special heat treating procedure. Choosing a higher hardening temperature which is indicated on page 1 the degree of carbide solution is increased. Hereby the retention to tempering is reduced. After a double to triple tempering of approx. 530°C a hardness of more than 60 HRC is achieved.

Nitriding

The special heat treatment of THYRODUR 2379 enables a subsequent nitriding of the tools at a simultaneous maintenance of a sufficient core hardness. By nitriding particularly the tendency to cold welding-up is reduced and in addition the wear resistance is increased.

Among the nitriding processes as bath-, gas- or ionitriding today bath nitriding is the most common and most successful kind of nitriding for the tool-maker.

After the proper heat treatment the tools are carefully cleaned, preheated to about 350 to 400°C and then transmitted into the nitriding bath.

Here it has to be taken care that the nitriding temperature does not exceed the tempering temperature, because otherwise a decrease of hardness will be the consequence. So it should exceed 550°C not at all.

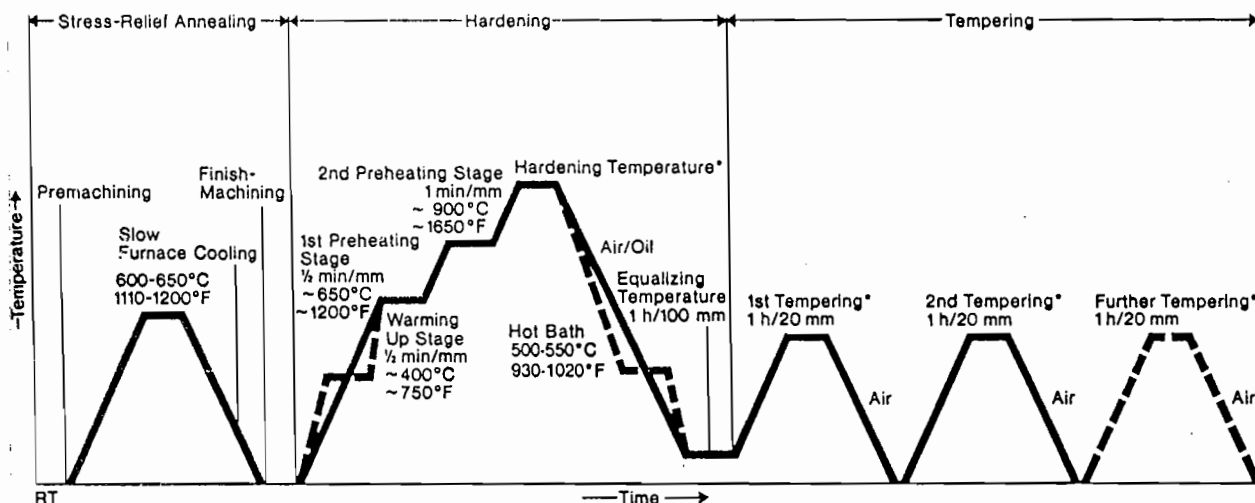
Then the tool is usually quenched in oil (approx. 60°C) to about 200 to 250°C with subsequent cooling in air.

With particularly critical components offering a tendency to distortion and tension cracks cooling should be carried out at first in air to about 300°C and only then subsequently in oil.

The attained surface hardness ranges between about 700 and 1000 HV 10. After the treatment the nitrided surfaces are not permitted to be ground, but at most be subjected to a slight polish.

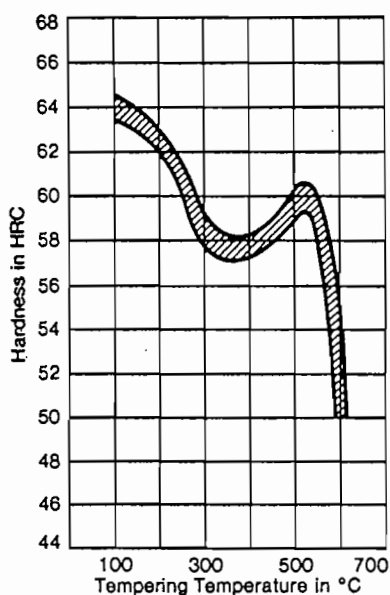
Generally cold working tools are only nitrided for reducing the tendency to cold-welding-up. For this reason the nitriding times in salt baths amount to about 5 to 30 minutes dependent on the type of tool. Longer nitriding times will result in surface embrittlement and consequently in premature cutting edge chippings.

Temperature-Time-Sequence for the Special Heat Treatment of THYRODUR 2379

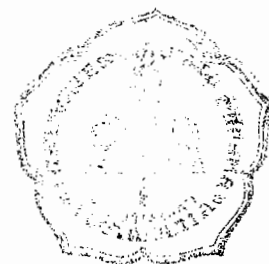
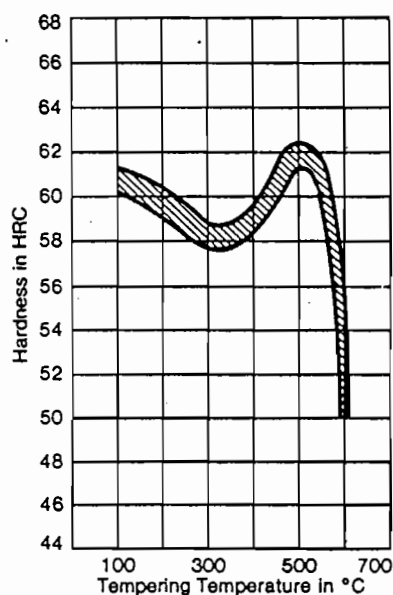


*) For the temperatures to be applied see page 2.

Tempering Diagram



Special Heat Treatment



Hard-Chromium plating

THYRODUR 2379 can be hard-chromium plated. After this treatment the tools could be tempered immediately at 180 — 200°C for 4 — 6 hours to avoid hydrogen embrittlement.

Welding

When welding tools manufactured from THYRODUR 2379 the risks of crack formation are very great. For this reason welding should only be carried out for unavoidable repair operations.

Working sequence: 12 Minutes

Heating-up to 980°C with approx. 1 hour holding time.
Cooling down in air to approx. 600°C, welding at this temperature — here the temperature is not allowed to fall below 500°C.

3. Either heating up to 950 — 980°C without intermediate cooling, holding for 2 hours with subsequent hardening in oil, if necessary stress-relieving at 200 — 300°C, or for machining operations of the welded material heating-up to 950 — 980°C without intermediate cooling and subsequent furnace cooling. After machining the hardness will be the same as previously.

Electrode: if possible matching type or similar. Use dried basic electrodes. Welding may also be performed with a stainless steel electrode.

Grinding

Grinding of the tools is carried out after the last tempering. In order to avoid grinding cracks or soft skin the following guidelines have to be taken into account:

- sufficient cooling
- not too strong contact pressure
- correct choice of the abrasives
- In case of grinding problems the manufacturers of grinding wheels should be consulted.

Electrical discharge machining

After electrical discharge machining of hardened and tempered tools a stress-relieving of approx. 30°C below the last tempering temperature should be carried out.

Hereby reduced performances of the tools caused by surface effects due to electrical discharge machining can be avoided.