

**THE EFFECTS OF TEMPER ON THE HARDNESS, TOUGHNESS AND
MICROSTRUCTURE OF THYRODUR 2379 STEEL ALLOYS**

**TUGAS AKHIR
Nomor Soal: 190 / FT.USD / TM / Oktober / 2001**

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



Oleh :
Nama : Nur Setyo Wahyu Anggoro
NIM : 995214156
NIRM : 993051123109120156

**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 : 190 / FT.USD / TM / Oktober / 2001

Diberikan kepada :
Nama Mahasiswa : Nur Setyo Wahyu Anggoro
Nomor Mahasiswa : 995214156
NIRM : 993051123109120156
Jurusan : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Mata Kuliah : Bahan Teknik Manufaktur
Judul / Naskah Soal :

Pengaruh Suhu Temper Terhadap Kekerasan dan Impak Baja THYRODUR 2379

Tanggal dimulai : 8 Oktober 2001

Dosen Pembimbing Kedua

(I Gusti Kctut 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, TOUGHNESS AND MICROSTRUCTURE OF THYRODUR 2379 STEEL ALLOYS

Oleh :

Nama : Nur Setyo Wahyu Anggoro
NIM : 995214156
NIRM : 993051123109120156

Telah disetujui oleh :

Pembimbing Utama

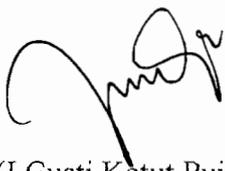


(Dr. Ir. Viktor Malau, DEA)

12 JUL 2002

Tanggal,.....

Pembimbing Kedua



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

21 JUL 2002

Tanggal,.....

TUGAS AKHIR
Nomor Soal: 190 / F.T.USD / TM / Oktober / 2001

**THE EFFECTS OF TEMPER ON THE HARDNESS, TOUGHNESS AND
MICROSTRUCTURE OF THYRODUR 2379 STEEL ALLOYS**

Dipersiapkan dan ditulis oleh :

Nama : Nur Setyo Wahyu Anggoro
NIM : 995214156
NIRM : 993051123109120156

Telah dipertahankan di depan panitia penguji

Pada tanggal, 24 Juli 2002

Dan dinyatakan memenuhi syarat

Susunan Panitia Penguji

Nama Lengkap

Ketua : Ir. P. J. Soedarjana

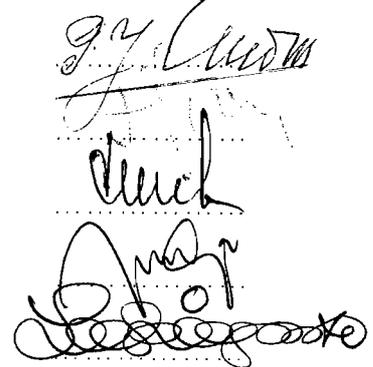
Sekretaris : Ir. Greg. Harjanto

Anggota 1 : Dr. Ir. Viktor Malau, DEA.

Anggota 2 : I Gusti Ketut Puja, S.T., M.T.

Anggota 3 : Ir. Y.B.Lukiyanto, M.T.

Tanda Tangan



15 AUG 2002

Yogyakarta,.....

Fakultas Teknik

Universitas Sanata Dharma

Dekan



Greg. Harjanto

KATA PENGANTAR

Pertama-tama, penulis memanjatkan syukur kepada Allah Bapa di Surga atas semua berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma, pada program studi Strata-1.

Penulis dalam kesempatan ini mengambil judul: *Tempering temperatur effects on the hardness, thougness and microstructur of THYRODUR 2379 steel alloys*. Bahan uji yang dipakai dalam penelitian ini adalah THYRODUR 2379 dengan standart DIN 1.2379 X 155 CrVMo 12 1. Data-data yang dibutuhkan diperoleh dengan melakukan penelitian di Laboratorium Laboratorium Bahan Teknik, Teknik Mesin-Fakultas Teknik-Universitas Gadjah Mada Yogyakarta dan di Laboratorium Logam Universitas Sanata Dharma.

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

Dalam kesempatan ini Penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

- 1.Rektor Universitas Sanata Dharma.
- 2.Ir. Greg Haryanto, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma.
- 3.Budi Setya Handana ST. MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma.

4. Dr. Ir. Viktor Malau, D.E.A. selaku pembimbing utama.
5. I Gusti Ketut Puja S.T. M.T. selaku pembimbing kedua.
6. Ir. Samsudin selaku dosen Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
7. Mas Martono dan pegawai di Laboratorium Logam Universitas Sanata Dharma.
8. Mbak Ari atas doa, dukungan dan kasih sayangnya, serta I Wayan Gede atas semua bantuannya dan kerjasamanya.
9. Seluruh anggota Komunitas nDalem Kasejahtran atas tumpangan tidur dan perhatiannya.

MOTTO

“ Sekali saja engkau dapat membuktikan bahwa dirimu adalah berlian, maka yang harus kau lakukan adalah menjaga kilaunya. ”

PERSEMBAHAN

1. Bapak, Ibu, kakak-kakakku, Thea, Vicky dan *nduk* Ari yang tercinta.
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.....	xii
Intisari.....	xiv
Abstract.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	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. Jenis-jenis Baja.....	7

2.4. Pengujian Kekerasan Vickers.....	11
2.5. Pengujian Kejut.....	12
BAB III METODE PENELITIAN.....	15
3.1. Bahan Pengujian.....	15
3.2. Alat.....	16
3.3. Persiapan Benda Uji.....	17
3.4. Perlakuan Panas.....	18
3.4.1. Stress-Relief Annealing.....	18
3.4.2. Quenching.....	19
3.4.3. Temper.....	19
3.5. Pengujian Kekerasan Vickers.....	20
3.6. Pengujian Kejut atau Impak.....	21
3.7. Uji Struktur Mikro.....	22
3.8. Cara Analitis.....	24
3.9. Cara Penelitian.....	24
BAB IV DATA, HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1. Pengujian Kekerasan Vickers.....	26
4.1.1. Pengujian pada benda uji mula-mula (Kelompok A).....	26
4.1.2. Pengujian benda uji setelah quenching (Kelompok B).....	27
4.1.3. Pengujian benda uji setelah temper 150°C.....	28
4.1.4. Pengujian benda uji setelah temper 250°C.....	29

4.1.5. Pengujian benda uji setelah temper 350°C.....	30
4.1.6. Pengujian benda uji setelah temper 450°C.....	30
4.1.7. Pengujian benda uji setelah temper 550°C.....	31
4.2. Pengujian Kejut.....	35
4.2.1. Pengujian kejut benda kondisi mula-mula.....	35
4.2.2. Pengujian kejut untuk benda setelah quenching.....	36
4.2.3. Pengujian kejut benda uji setelah Temper 150°C.....	36
4.2.4. Pengujian kejut benda uji setelah Temper 250°C.....	37
4.2.5. Pengujian kejut benda uji setelah Temper 350°C.....	37
4.2.6. Pengujian kejut benda uji setelah Temper 450°C.....	38
4.2.7. Pengujian kejut benda uji setelah Temper 550°C.....	38
4.3. Pengujian Struktur Mikro.....	41
BAB V KESIMPULAN.....	47
DAFTAR PUSTAKA.....	49
LAMPIRAN BROSUR MATERIAL.....	50

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Keseimbangan besi karbon	8
Gambar 2. Skema indenter pengujian Vickers	11
Gambar 3a. Normalisasi ukuran benda uji kejut	13
Gambar 3b. Skema pengujian kejut	13
Gambar 4. Skema analisa struktur mikro	23
Gambar 5. Skema jalannya penelitian	25
Gambar 6. Grafik perbandingan kekerasan rata-rata baja THYROIDUR 2379.	33
Gambar 7. Grafik perbandingan energi patah untuk masing- masing benda uji.	40
Gambar 8. Grafik perbandingan angka harga keliatan untuk masing-masing benda uji.	40
Gambar 9. Foto struktur mikro benda uji keadaan mula-mula.	42
Gambar 10. Foto struktur mikro benda uji setelah <i>quenching</i>	43
Gambar 11. Foto struktur mikro benda uji setelah <i>quench</i> <i>temper 150°C</i>	43
Gambar 12. Foto struktur mikro benda uji setelah <i>quench</i> <i>temper 250°C</i>	44
Gambar 13. Foto struktur mikro benda uji setelah <i>quench</i> <i>temper 350°C</i>	44
Gambar 14. Foto struktur mikro benda uji setelah <i>quench</i> <i>temper 450°C</i>	45
Gambar 15. Foto struktur mikro benda uji setelah <i>quench temper 550°C</i>	45

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Contoh-contoh baja menurut AISI dan SAE	9
Tabel 2. Pengaruh unsur-unsur paduan baja.	10
Tabel 3. Data dan hasil uji kekerasan Vickers benda uji kondisi mula-mula.	26
Tabel 4. Data dan hasil uji kekerasan Vickers benda uji setelah <i>quench</i>	27
Tabel 5. Data dan hasil uji kekerasan Vickers benda uji setelah <i>temper</i> 150°C.	28
Tabel 6. Data dan hasil uji kekerasan Vickers benda uji setelah <i>temper</i> 250°C.	29
Tabel 7. Data dan hasil uji kekerasan Vickers benda uji setelah <i>temper</i> 350°C.	30
Tabel 8. Data dan hasil uji kekerasan Vickers benda uji setelah <i>temper</i> 450°C.	31
Tabel 9. Data dan hasil uji kekerasan Vickers benda uji setelah <i>temper</i> 550°C.	32
Tabel 10. Data dan hasil pengujian kejut benda uji kondisi mula-mula	36
Tabel 11. Data dan hasil pengujian kejut benda uji setelah <i>quenching</i>	36
Tabel 12. Data dan hasil pengujian kejut benda uji setelah <i>temper</i> 150°C.	37
Tabel 13. Data dan hasil pengujian kejut benda uji setelah <i>temper</i> 250°C.	37
Tabel 14. Data dan hasil pengujian kejut benda uji setelah <i>temper</i> 350°C.	38

Tabel 14.	Data dan hasil pengujian kejut benda uji setelah <i>temper</i> 450°C.	38
Tabel 16.	Data dan hasil pengujian kejut benda uji setelah <i>temper</i> 550°C.	39

INTISARI

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

Bahan uji ini harus dikerjakan terlebih dahulu dengan proses permesinan untuk didapatkan bentuk dan ukuran yang sesuai dengan standart pengujian kejut. Setelah didapatkan bentuk dan ukuran yang sesuai dengan standart dari ASTM E. 23 (bahan uji berjumlah 26 buah), maka pengujian perlakuan panas dapat dilakukan, yaitu stress relief annealing, quenching dan tempering. Seluruh bahan uji baik yang mengalami perlakuan panas maupun yang tidak mengalami perlakuan panas akan diuji dengan pengujian kejut, uji kekerasan, serta uji struktur micro. Seluruh hasil pengujian dapat dibandingkan.

Pengujian dimulai dengan melakukan proses relief annealing untuk seluruh bahan uji. 23 dari 26 buah bahan uji dilakukan proses quenching, dan kemudian 20 buah dari 23 bahan uji itu dilakukan proses tempering dengan 5 variasi suhu dimulai dari suhu 150°C, 250°C, 350°C, 450°C dan 550°C dengan mengambil tiap variasi suhu 4 buah bahan uji. Dari pengujian didapatkan bahwa kekerasan baja Thyrodur 2379 dalam kondisi mula-mula adalah 287 VHN, kekerasan setelah proses quenching 652 VHN, kekerasan yang tertinggi setelah proses tempering dicapai pada suhu temper 250°C sebesar 652 VHN, sedangkan kekerasan yang terendah dicapai pada suhu temper 550°C sebesar 488 VHN. Dalam pengujian kejut didapatkan hasil ketangguhan bahan uji dalam kondisi mula-mula adalah 0,079 joule/mm². Ketangguhan bahan uji setelah proses quenching adalah 0,031 joule/mm², sedangkan ketangguhan bahan uji yang tertinggi setelah proses tempering dicapai pada suhu 250°C sebesar 0,057 joule/mm², dan ketangguhan bahan yang terendah dicapai pada suhu quench temper 450°C sebesar 0,03 joule/mm².

Kata kunci : kekerasan, ketangguhan, quench dan temper.

ABSTRACTS

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

This tested materials should be processed with machinery to get form and size that suit with standardization for impact test. After tested material are formed and sized that suit with ASTM E.23 standard (tested material are 26 peaces), heat testing can be done, the test is stress relief annealing, quenching and tempering. All tested materials that are treated with heating or no treatment will be tested in impact test, hardness test and microstructure test. All that test result can be compared.

Testing begin with stress-relief annealing process for all tested material. 23 of 26 sample treated by quenching, and then 20 of 23 quench sample treated by tempering at 5 temper temperatur such as 150°C, 250°C, 350°C, 450°C and 550°C and take 4 sample peaces each temperatur variations. The result showed that hardness of Thyrodur 2379 in initial condition is 287 VIIN, hardness after quenching is 652 VHN. The highest hardness after temper is achieved at 250°C is 652 VHN, while the lowest hardness is achieved at 550°C is 488 VHN. The Impact test showed that the initial toughness of tested material is 0.079 joule/mm². Toughness of tested material after quenching is 0.031 joule/mm², toughness of tested material after temper is highest is achieved at 250°C is 0.057 joule/mm², and the lowest toughness is achieved at temper at 450°C is 0.03 joule/mm².

Key words : hardness, toughness, quench and temper.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian

Perkembangan dunia industri dewasa ini mengalami kemajuan yang sangat pesat, khususnya tentang perkembangan jenis-jenis baja yang akan digunakan dalam kepentingan industri. Banyak sekali ditemukan jenis baja atau besi yang mempunyai spesifikasi tertentu dengan kelebihanannya dari produsen pembuatnya serta dilengkapi dengan keterangan dan aplikasi yang dapat digunakan. Dengan perkembangan seperti ini, tentunya akan banyak sekali keuntungan yang dapat dimanfaatkan oleh dunia industri. Terutama tentang pemilihan material/bahan dengan memperhitungkan sifat atau kemampuan bahan/material yang akan digunakan.

Salah satu contoh penggunaan yang sederhana dalam proses permesinan yang tidak membutuhkan ketelitian yang tinggi tetapi sangat mempengaruhi kualitas pekerjaan itu sendiri adalah penggunaan penitik atau yang lebih dikenal dengan nama *centre punch*. *Centre punch* adalah alat bantu yang digunakan untuk memberi tanda atau awalan agar proses pengeboran tepat pada tempat yang kita inginkan setelah benda itu kita beri tanda garis. Alat ini sesuai dengan fungsinya, banyak sekali mengalami beban kejut yang besar. Untuk itu, dalam pembuatan *centre punch* ini harus digunakan bahan/material yang tentunya harus tahan terhadap beban kejut yang diterimanya.

Bahan yang mampu diterapkan untuk digunakan sebagai bahan pembuatan *centre punch* ini salah satunya adalah baja THYRODUR 2379 dengan standart DIN 1.2379 X 155 Cr V Mo 12 1.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan, kekuatan material terhadap beban kejut dan mengetahui struktur mikro dari benda uji (material dari baja THYRODUR 2379) sebelum dan setelah benda uji mengalami perlakuan panas. Perlakuan panas yang dilakukan meliputi *stress relief annealing*, *quenching* dan *quench temper*.

1.3. Batasan Masalah

Agar pembahasan lebih terarah dalam penyusunan Tugas Akhir ini dan dapat tercapai tujuan yang diinginkan, maka perlu adanya batasan-batasan masalah yang nantinya akan dibicarakan.

Perlakuan panas pada baja THYRODUR 2379 dilakukan untuk memperbaiki sifat fisis dan mekanis bahan. Dalam proses *quenching*, baja dipanaskan sampai temperatur 1030°C, lalu ditahan selama 30 menit kemudian dilanjutkan pendinginan dengan menggunakan media olie. Untuk proses *stress relief annealing*, baja dipanaskan pada suhu 650°C ditahan 2 jam kemudian didinginkan secara perlahan-lahan diudara. Pada proses *quench temper*, baja dipanaskan dengan variasi 5

tingkatan suhu. Pemanasan dimulai dari suhu 150°C, 250°C, 350°C, 450°C, dan 550°C.

Pengujian sifat mekanis bahan dapat dilakukan dengan melakukan pengujian impak (pengujian kejut), sedangkan untuk mengetahui sifat fisis bahan dapat dilakukan dengan pengujian struktur mikro.

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Pengertian Baja

Baja adalah bahan kerja besi dengan kadar karbon $> 0,02\%$. Baja diperoleh dengan mencairkan besi mentah dalam dapur tinggi. Sedangkan baja dengan karbon kurang dari $0,02\%$ disebut besi.

Dengan demikian kita mengenal dua golongan baja, yaitu baja karbon (yang terdiri dari satu paduan yaitu karbon) dan baja paduan (yang terpadu dengan elemen-elemen paduan yang bermacam-macam). Baja paduan dibagi dua yaitu: baja paduan rendah, yaitu dengan unsur paduan $< 5\%$ dan baja paduan tinggi, yaitu dengan unsur paduan $> 5\%$.

Barvariasinya elemen paduan baja, maka bervariasi pula sifat-sifat yang dimiliki baja tersebut tergantung pada jenis paduannya.

2.2. Sifat-sifat Penting Baja

Di dalam merancang suatu konstruksi, pemilihan logam yang akan digunakan harus sesuai dengan tuntutan konstruksi yang ada. Ada pun sifat-sifat logam yang penting antara lain :

1. Sifat mampu tempa atau *Malleability*

Logam dengan sifat mampu tempa yang baik dengan mudah dapat dibentuk dengan suatu gaya, baik dalam keadaan dingin atau panas tanpa terjadi retak, misalnya dengan tempa atau rol.

2. Keuletan atau *Ductility*

Logam dengan sifat ini diharapkan dapat dibentuk dengan tarikan tanpa menunjukkan gejala putus, misalnya pada proses ekstrusi.

3. Ketangguhan atau *Toughness*

Kemampuan suatu logam untuk dibengkokkan beberapa kali tanpa mengalami patah atau retak.

4. Kekerasan atau *Hardness*

Ketahanan suatu logam untuk menahan terhadap penetrasi/penusukan logam lain.

5. Kekuatan atau *Strength*

Kemampuan suatu logam untuk menahan gaya yang bekerja atau kemampuan logam menahan deformasi.

6. Sifat mampu las atau *Weldability*

Kemampuan logam untuk dapat dilas, baik dengan las listrik maupun dengan las karbit/gas.

7. Ketahanan korosi atau *Corrosion resistance*

Kemampuan suatu logam untuk menahan korosi/karat akibat kelembaban udara, zat kimia dan lain-lain.

8. *Machinability*

Kemampuan suatu logam untuk dikerjakan dengan mesin, misalnya dengan mesin bubut, mesin sekrup, mesin bor dan lain-lain.

9. *Elasticity*

Kemampuan suatu logam untuk kembali ke bentuk semula tanpa mengalami deformasi plastik/permanen .

10. Kerapuhan atau *Brittleness*

Sifat logam yang mudah retak dan pecah. Sifat ini berhubungan erat dengan kekerasan dan merupakan kebalikan dari *ductility*.

Untuk mendapatkan baja dilakukan serangkaian proses. Pertama kali bijih besi yang merupakan hasil tambang dilebur dalam dapur tinggi. Besi mentah hasil dapur tinggi masih mengandung unsur-unsur C, Si, Mn, P dan S dengan jumlah cukup besar. Kandungan unsur-unsur tersebut perlu dikurangi agar diperoleh baja sesuai dengan keinginan. Proses pembuatan baja dapat diartikan sebagai proses yang bertujuan untuk mengurangi kadar C, Si, Mn, P dan S dari besi mentah lewat oksidasi peleburan. Proses oksidasi peleburan dapat dilakukan dalam bermacam-macam dapur/tungku, seperti :

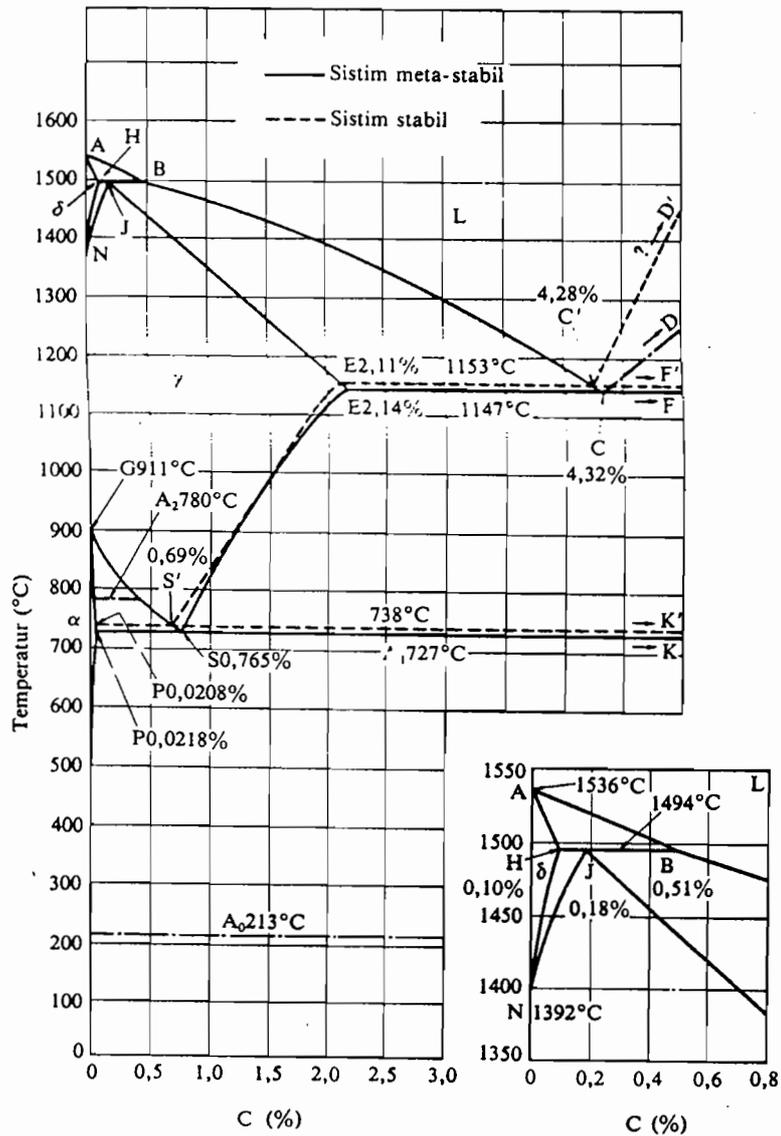
- a. Konvertor (*Converter*)
- b. Dapur Tungku Terbuka (*Open Hearth Furnace atau Siemens Martin*)
- c. Dapur Listrik (*Electric Furnace*)

2.3. Jenis-jenis Baja

Baja dapat dibeda-bedakan atas beberapa kategori, seperti :

1. Baja Karbon Biasa (*Plain Carbon Steel*)
2. Baja Paduan (*Alloy Steel*)
3. Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*)
4. Baja Cor
5. Baja Perkakas (*Tool Steel*)
6. Baja Khusus / Spesial (*Special Purpose Steel*)

Untuk mengetahui keseimbangan besi karbon dapat dilihat pada gambar 1, sedangkan contoh baja dan unsur paduannya dapat dilihat pada tabel 1, dan pengaruh unsur-unsur paduan terhadap sifat baja dapat dilihat pada tabel 2.



Gambar 1. Diagram keseimbangan besi- karbon

Sumber: Pengetahuan Bahan Teknik oleh Prof. Ir. Tata Surdia dan Prof. DR. Shinroku Saito

Tabel 1. Contoh-contoh baja menurut AISI dan SAE

Seri	Elemen tambahan	Seri	Elemen tambahan
10xx	Baja karbon tanpa S dan P	48xx	Ni: 3,50 % Mo: 0,25 %
11xx	Baja karbon dengan S	51xx	Cr: 0,80 %
12xx	Baja karbon dengan S dan P	514xx	Corrosion and resisting steels
13xx	Mn: 1,60-1,90 %	515xx	Corrosion and resisting steels
23xx	Ni: 3,50 %	52xx	Cr: 1,50 %
25xx	Ni: 5,00 %	61xx	Cr: 0,78 % V: 0,13 %
31xx	Ni: 1,25 % Cr: 0,60 %	86xx	Ni: 0,55 % Cr: 0,50 % Mo: 0,20 %
32xx	Ni: 1,75 % Cr: 1,00 %	87xx	Ni: 0,55 % Cr: 0,50 % Mo: 0,25 %
33xx	Ni: 3,50 % Cr: 1,50 %	88xx	Ni: 0,55 % Cr: 0,50 % Mo: 0,35 %
34xx	Ni: 3,00 % Cr: 0,8 %	92xx	Mn: 0,80 % Si: 2,00 %
303xx	Corrosion and heat resisting steels	93xx	Ni: 3,25 % Cr: 1,20 % Mo: 0,12 %
40xx	Mo: 0,25 %	94xx	Mn: 0,95 - 1,25 % Ni: 0,15 % Cr: 0,40 % Mo: 0,20 %
41xx	Cr: 1,00 % Mo: 0,20 %	97xx	Ni: 0,55 % Cr: 0,17 % Mo: 0,20 %
43xx	Ni: 1,83 % Cr: 0,80 % Mo: 0,25 %	98xx	Ni: 1,00 % Cr: 0,80 % Mo: 0,25 %
46xx	Ni: 1,75 % Mo: 0,25 %		

Sumber: Diktat panduan kuliah Bahan Teknik Manufaktur oleh: Dr. Ir. Viktor Malau D.E.A.

Tabel 2. Pengaruh unsur-unsur paduan pada 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 kuliah Bahan Teknik Manufaktur oleh: Dr. Ir. Viktor Malau D.E.A.

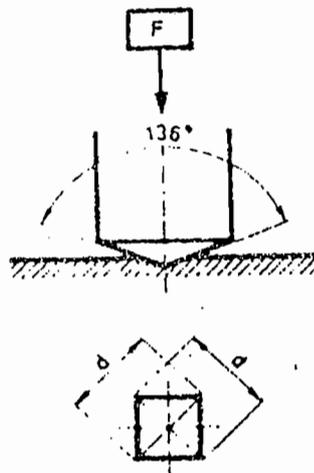
2.4. Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan Vickers ini bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap penekanan indenter yang berbentuk piramida yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut.

Angka kekerasan Vickers (VHN) adalah hasil bagi dari beban uji F dalam N dengan luas permukaan bekas tekan piramida intan dalam mm².

Rumus angka kekerasan Vickers :

$$HV = \frac{1,8544.F}{d^2} \dots\dots\dots (1)$$



Gambar 2. Skema indenter pengujian Vickers

Sumber: Ilmu Logam oleh Ant. Suroto dan B. Sudibyo

Keterangan:

F = Beban uji(N)

d = panjang diagonal bekas luka tekan.....(mm)

2.5. Pengujian Kejut

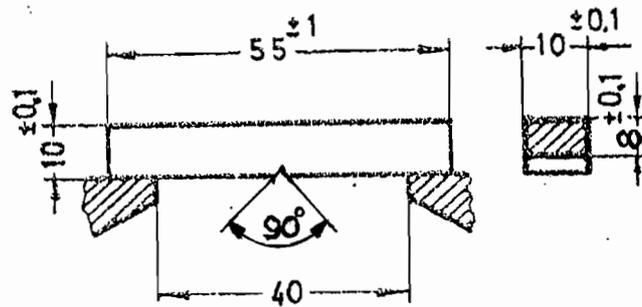
Uji kejut (*impact*) dimaksudkan untuk mengetahui sifat liat (ketangguhan) atau getas benda uji. Pada uji kejut ini dibutuhkan tenaga untuk mematahkan benda uji dengan sekali pukulan. Alat pemukul yang digunakan berupa sebuah palu dengan berat tertentu. Benda uji berbentuk persegi-panjang dengan ukuran menurut standar ASTM E.23 (bentuk dan ukuran bahan uji dapat dilihat pada Gambar 3a). Palu dengan berat tertentu (G) dijatuhkan dengan sudut α dan sisi pisau mengenai benda uji yang oleh karenanya benda uji akan patah dan kemudian palu akan berayun dengan sudut ayun β .

Tenaga patah: $W = G.R.(\cos \beta - \cos \alpha)$ (joule) (2)

dengan: G = berat palu..... (N)

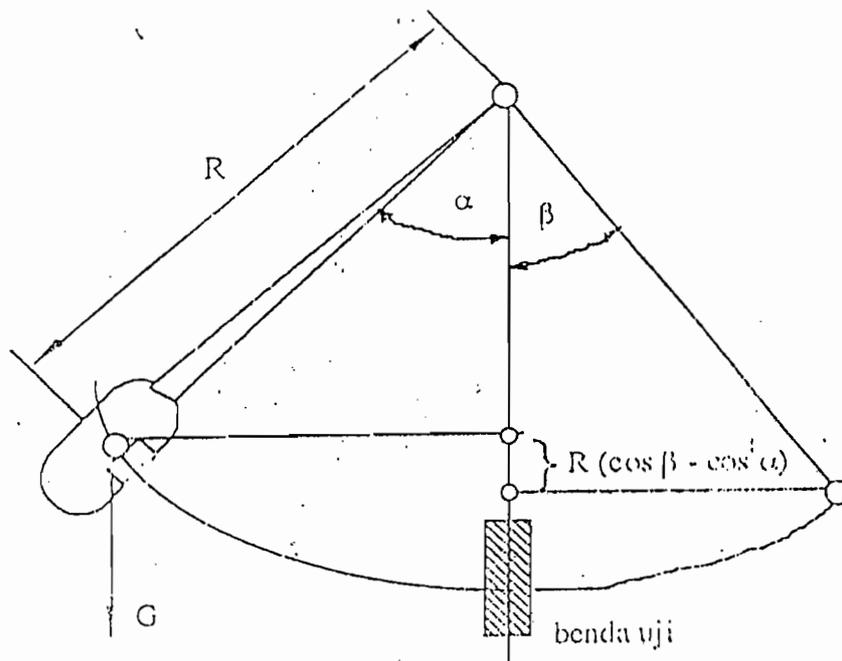
R = jarak titik putar palu sampai ketitik berat palu(m)

W = Tenaga patah(joule)



Gambar 3a. Normalisasi ukuran benda uji kejut

Sumber: Diktat Panduan Kuliah Bahan Teknik Manufaktur oleh Dr. Ir. Viktor Malau D.E.A.



Gambar 3b. Skema pengujian kejut

Sumber: Diktat Panduan Kuliah Bahan Teknik Manufaktur oleh Dr. Ir. Viktor Malau D.E.A.

Bila tenaga patah telah diketahui dengan menggunakan persamaan (2), maka kita dapat menghitung juga harga keliatan atau ketangguhan bahan tersebut. Ketangguhan bahan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3).

$$\text{Ketangguhan bahan} = \frac{W}{A} \quad (\text{joule/mm}^2) \dots\dots\dots (3)$$

Dengan: W = tenaga patah(joule)

A = luas penampang patahan.....(mm²)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Bahan Pengujian

Bahan yang dipakai dalam penelitian ini adalah baja THYRODUR 2379 dengan kode DIN X 155 Cr V Mo 12 1. Baja THYRODUR 2379 mengandung unsur-unsur paduan yang terdiri dari karbon (C)=1,55%, krom (Cr)=12%, molibden (Mo)=0,7% dan kandungan vanadium (V)=1%.

Baja THYRODUR 2379 dapat diaplikasikan dalam mesin-mesin perkakas, antara lain dapat digunakan untuk pembuatan penitik (*centre punch*), *ejector bushing*, *circular shear blades*, *punch* dan pembuatan *dies*. Baja THYRODUR 2379 merupakan baja karbon tinggi, yang mengandung krom dan paduan vanadium.

Selain baja THYRODUR 2379 sebagai bahan utama pengujian, diperlukan bahan lain sebagai bahan pendukung untuk melakukan pengujian ini, bahan itu adalah oli sebagai media untuk mendinginkan benda uji saat *quenching*.

3.2. Alat

Alat-alat yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Dapur pemanas

Dapur pemanas ini dipergunakan untuk memanaskan benda uji pada proses *quenching* dan *tempering*. Alat ini terdapat di Laboratorium Logam Universitas Sanata Dharma.

2. Mesin uji kekerasan *Vickers*.

Mesin uji kekerasan *Vickers* (Buehler) ini dipergunakan untuk menguji kekerasan permukaan seluruh benda uji. Alat ini terdapat di Laboratorium Bahan Teknik. Teknik Mesin-Fakultas Teknik-Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

3. Mesin uji kejut.

Mesin uji kejut Karl Frank OMBH dengan type 53580. Mesin ini dipergunakan untuk menguji kejut seluruh benda uji. Alat ini terdapat di Laboratorium Bahan Teknik. Teknik Mesin-Fakultas Teknik-Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

4. Amplas (nomor 600, 800 dan 1000), pasta polis.

Alat ini dipergunakan untuk menghaluskan permukaan benda uji sebelum pengujian struktur mikro dilakukan.

5. Mikroskop metalography.

Mikroskop metalography dipergunakan untuk mengamati permukaan benda uji sebelum dan sesudah benda uji mengalami proses perlakuan panas.

3.3. Persiapan Benda Uji

Pengerjaan benda uji terlebih dulu dilakukan karena dalam pengujian kejut (*impact*) dipergunakan benda uji (*speciment*) yang telah distandarkan dengan bentuk dan ukuran tertentu. Benda uji adalah baja THYRODUR 2379 yang berjumlah 26 buah yang telah dibuat dengan ukuran dan bentuk tertentu untuk pengujian kejut (*impact*) sesuai dengan standar (Gambar. 3a), dengan perincian: benda uji mula-mula berjumlah 3 buah (yang telah dihilangkan tegangan dalam yang terjadi dengan proses *stress relieving annealing*) dilakukan pengujian kekerasan dan kejut. 3 buah benda uji dikeraskan dengan *quenching* dan dilakukan pengujian kekerasan dan kejut. Kemudian sisanya yang berjumlah 20 buah diuji dengan pengujian kekerasan dan kejut tapi setelah benda uji mengalami proses *quench temper* yang dilakukan pada 5 variasi suhu yang berbeda. Jumlah benda uji pada variasi suhu masing-masing 4 buah benda uji.

Dan untuk memudahkan pencatatan data dan identifikasi, benda uji telah dikelompokkan (diberi nomor pada permukaan benda uji) menjadi:

Kelompok A : Benda uji dalam keadaan mula-mula berjumlah 3 buah.

Kelompok B : Benda uji yang telah diquenching berjumlah 3 buah.

Kelompok C : Benda uji yang diquench temper 150°C berjumlah 4 buah.

Kelompok D : Benda uji yang diquench temper 250°C berjumlah 4 buah.

Kelompok E : Benda uji yang diquench temper 350°C berjumlah 4 buah.

Kelompok F : Benda uji yang diquench temper 450°C berjumlah 4 buah.

Kelompok G : Benda uji yang diquench temper 550°C berjumlah 4 buah.

3.4. Perlakuan Panas

Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisis logam tersebut. Melalui pemanasan yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, besar butir dapat diperbesar atau diperkecil, ketangguhan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan yang keras disekeliling inti yang ulet. Perlakuan yang akan dilakukan dalam pengujian ini meliputi : *stress relief annealing*, *quenching* dan *quench tempering*.

3.4.1. Stress-Relief Annealing

Tujuan umum proses *stress relief annealing* adalah pelunakan sehingga baja yang keras dapat dikerjakan melalui permesinan atau pengerjaan dingin. Hal ini dilakukan dengan memanaskan sedikit diatas suhu kritis, dipertahankan pada suhu tersebut agar suhunya merata dan disusul dengan pendinginan secara perlahan-lahan sambil dijaga agar suhu didalam dan diluar kira-kira sama. Tujuan proses *stress relief annealing* adalah untuk menghilangkan tegangan-tegangan dalam yang terjadi pada material uji akibat proses permesinan yang telah diterimanya baik pada waktu proses pemotongan, proses pengangkutan maupun akibat pengerjaan menjadi bentuk yang telah ditentukan pada proses permesinan yang digunakan.

Stress relief annealing dalam pengujian ini dilakukan dengan memanaskan benda uji yang berjumlah 26 buah pada suhu 650°C lalu ditahan selama kurang lebih 2 jam, kemudian didinginkan di dapur pemanas sampai mencapai suhu kamar.

3.4.2. Quenching

Quenching adalah proses pemanasan baja sampai suhu di daerah atau di atas daerah kritis disusul dengan pendinginan cepat. Pada setiap operasi pemanasan, laju pemanasan merupakan faktor yang penting. Panas merambat dari luar kedalam dengan kecepatan tertentu.

Dalam pengujian ini, benda uji yang berjumlah 23 buah dipanaskan sampai suhu 1030°C dan ditahan selama 30 menit agar suhu *quenching* dapat merata dari permukaan sampai ke pusat benda uji. Setelah itu didinginkan cepat dengan media pendingin oli. Dengan media *quenching* oli diharapkan tingkat kekerasan yang dicapai dapat lebih tinggi dibanding dengan pendinginan udara.

3.4.3. Quench Tempering

Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok digunakan dalam sebuah konstruksi. Melalui *quench temper* atau dalam istilah umumnya disebut *temper* saja, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi syarat penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat.

Proses *temper* terdiri dari pemanasan kembali baja yang telah dikeraskan pada suhu 400°C ditahan selama 1 jam, disusul dengan pendinginan di udara. Untuk mengetahui sifat baja karena pengaruh perbedaan suhu temper, maka suhu temper dibuat 5 variasi, yaitu pada suhu 150°C, 250°C, 350°C, 450°C sampai 550°C (untuk tiap variasi suhu masing-masing dengan 4 buah benda uji).

Proses *quench temper* 150°C dimulai dengan memanaskan benda uji sampai suhu 150°C, ditahan selama 1 jam dan dinginkan perlahan di udara. Demikian juga untuk variasi suhu berikutnya sampai suhu temper 550°C.

3.5. Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan Vickers ini bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap penekanan indenter (piramida intan bersudut 136°) yang berbentuk piramida yang ditckankan pada permukaan material uji tersebut.

Urutan proses pengujiannya adalah:

1. Kalibrasi alat uji terlebih dahulu.
2. Letakkan sampel di meja uji dan dekatkan pada indenter hingga menyingung sampel dengan memutar roda/wheel pengatur ketinggian
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.

Pada saat melakukan pengujian Vickers, hal-hal yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Piramida intan disinggungkan (tegak lurus pada permukaan) material uji. Pembebanan dilakukan dalam keadaan bebas hentakan dan bebas getaran sampai tercapai beban F yang dikehendaki.
2. Pada umumnya pusat tempat pengujian berjarak sekurang-kurangnya 2,5 d dari tepi material uji atau dari pusat tempat pengujian yang lain.

3.6. Pengujian Kejut atau *Impact*

Energi kejut yang dikenakan pada suatu bahan dapat dianalogikan dengan keuletan bahan tersebut. Pengujian *impact* yang dilakukan dilaboratorium biasanya menggunakan uji *Charpy*. Prinsip dasar dari pengujian ini adalah ayunan beban yang dikenakan pada benda uji. Energi yang diperlukan untuk mematahkan benda uji dihitung langsung dari perbedaan ketinggian ayunan pada awal (dijatuhkan) dan akhir (setelah menabrak).

Prosedur pengujiannya dapat dilakukan sebagai berikut :

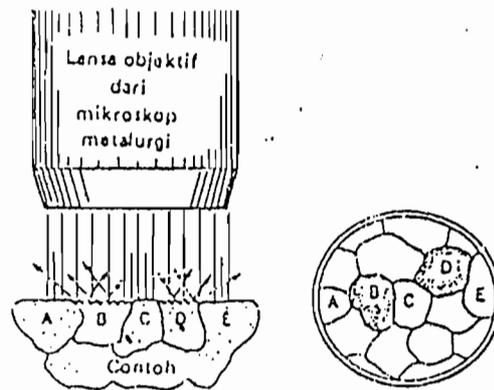
1. Sebelum melakukan pengujian, ukur benda uji dan sketsalah benda uji tersebut.
2. Pasanglah benda uji pada anvil (dudukan) dengan benar (senter).
3. Naikkan pembentur sampai pada sudut yang telah ditentukan seperti di atas (sudut α).
4. Lepaskan pengunci, pembentur berayun mematahkan benda uji.

5. Amati dan catat sudut pada dial yang ditunjukkan oleh jarum beban (sudut β).

3.7. Uji Struktur Mikro

Pada percobaan ini, akan diamati permukaan benda uji sebelum dan sesudah mengalami perlakuan panas. Dengan bantuan mikroskop, dapat diteliti permukaan logam yang telah dipolis. Setelah logam dipolis, permukaan logam yang halus itu tertutup oleh selaput terdeformasi, dengan etsa selaput tersebut terkikis, permukaan menjadi buram, sebagian batas butir terkikis dan komponen-komponen tertentu akan nampak akibat kikisan selektif dari larutan etsa tadi. Larutan etsa yang biasa dipakai untuk baja adalah larutan 5% asam nitrit.

Pada Gambar 4 di bawah ini tampak arah pemantulan cahaya akibat etsa. Bila cahaya yang dipantulkan masuk kedalam lensa mikroskop, permukaan tampak dengan jelas (terang). Bila berkas dipantulkan dan tidak mengenai lensa, daerah itu akan tampak hitam. Batas butir tampak seperti alur mengelilingi setiap butir dan cahaya tidak dipantulkan ke dalam lensa, jadi batas butir tampak seperti garis-garis hitam.



Gambar 4. Skema Analisis Struktur Mikro

Sumber: Teknologi Mekanik oleh B.H. Amstcad, Philip F. Ostwald, Myron L. Begeman dan Sriati Djapric

Prosedur pengujiannya adalah:

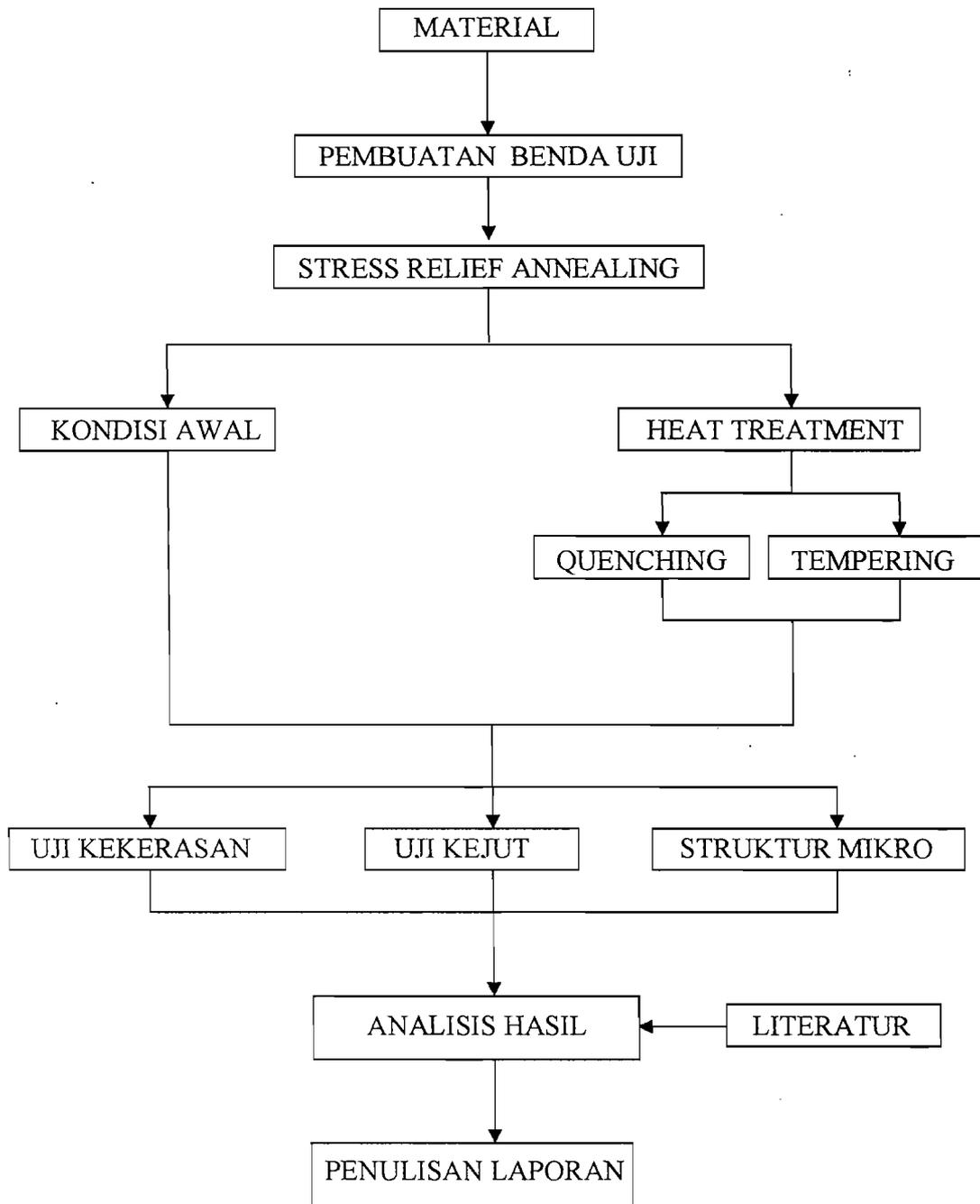
1. Permukaan benda uji dihaluskan dan dibersihkan pada kedua sisinya sehingga permukaan tersebut rata dan sejajar, gunakan amplas dari yang kasar sampai yang halus.
2. Gosokkan permukaan benda uji tersebut dengan autosol hingga permukaannya mengkilap.
3. Cuci benda uji dengan aquades kemudian keringkan (dilap dengan kain dan dihembus dengan udara kipas angin).
4. Etsa benda uji.
5. Masukkan dalam alkohol untuk menetralkan bahan etsa kemudian cuci dengan aquades dan keringkan.
6. Amati dengan mikroskop kemudian diambil gambar yang terbaik.

3.8. Cara Analisis

Hasil dari pengujian kekerasan perlu dihitung dengan persamaan 1. Sedangkan pada uji kejut, akan didapat besarnya sudut β pada saat bahan uji mengalami kepatahan sehingga besarnya kekuatan kejut (tenaga untuk mematahkan) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2. Dari persamaan ini nantinya kita dapat menentukan besarnya ketangguhan bahan dengan menggunakan persamaan 3. Analisa hasil struktur mikro dilihat berdasarkan hasil pengamatan dengan mikroskop. Kita dapat menganalisa dan mengamati struktur permukaan benda uji.

3.9. Cara Penelitian

Cara penelitian dan pengujian baja THYRODUR 2379 mulai dari pembelian material sampai dengan pengujian dapat digambarkan dalam skema di bawah ini.



Gambar 5. Skema jalannya penelitian



BAB IV
DATA, HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Kekerasan Vickers

Pada penyusunan bab ini, laporan dari hasil pengujian yang dilakukan akan dibagi menjadi tiga bagian yang terdiri dari hasil pengujian *Vickers*, hasil dari pengujian kejut dan yang terakhir hasil dari pengujian struktur mikro.

4.1.1. Pengujian pada benda uji kondisi mula-mula (Kelompok A)

Pada pengujian *Vickers* ini beban yang digunakan sebesar 1 kg. Pengujian untuk benda uji dalam kondisi mula-mula ini, didapatkan hasil seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. 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

Untuk menghitung angka kekerasan *Vickers* dapat dipakai persamaan 1, dimana untuk besar diagonal bekas penekanan (d) diubah dalam satuan mm. Harga

kekerasan *Vickers* ditulis dalam VHN (*Vickers Hardness Number*). Misalkan untuk menghitung kekerasan *Vickers* pada titik pertama :

$$HV = \frac{1,8544.F}{d^2} = \frac{1,8544.1Kg}{0,0815mm^2} = 279,1$$

Menghitung titik berikutnya dapat digunakan cara yang sama. Dari kelima titik pengujian itu dapat diambil nilai kekerasan rata-rata dari benda uji dalam kondisi mula-mula sebesar 287,2 VHN.

4.1.2. Pengujian benda uji setelah quenching (Kelompok B)

Pada pengujian benda uji setelah di *quenching* ini, didapatkan hasil pengujian seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. 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

Untuk menghitung angka kekerasan *Vickers* pada benda uji setelah *quenching* pada titik pertama :

$$HV = \frac{1,8544.F}{d^2} = \frac{1,8544.1Kg}{0,053mm^2} = 660,2$$

Menghitung titik berikutnya dapat digunakan cara yang sama. Dari kelima titik pengujian itu dapat diambil nilai kekerasan rata-rata dari benda uji setelah *quenching* sebesar 651,6 VHN.

4.1.3. Pengujian benda uji setelah temper 150°C (Kelompok C)

Pada pengujian benda uji setelah di *temper* ini, didapatkan hasil pengujian seperti terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. 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

Untuk menghitung angka kekerasan Vickers pada benda uji setelah *temper* 150°C pada titik pertama:

$$HV = \frac{1,8544.F}{d^2} = \frac{1,8544.1Kg}{0,0565mm^2} = 580,9$$

Menghitung titik berikutnya dapat digunakan cara yang sama. Dari kelima titik pengujian itu dapat diambil nilai kekerasan rata-rata dari benda uji setelah *quench temper* 150°C sebesar 595,9 VHN.

4.1.4. Pengujian benda uji setelah temper 250°C (Kelompok D)

Pada pengujian benda uji setelah setelah *temper* 250°C ini, didapatkan hasil pengujian seperti terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6. 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

Untuk menghitung angka kekerasan Vickers pada benda uji setelah *temper* 250°C pada titik pertama :

$$HV = \frac{1,8544 \cdot F}{d^2} = \frac{1,8544 \cdot 1Kg}{0,0535mm^2} = 647,9$$

Menghitung titik berikutnya dapat digunakan cara yang sama. Dari kelima titik pengujian itu dapat diambil nilai kekerasan rata-rata dari benda uji setelah *temper* 250°C sebesar 652,1 VHN.

4.1.5. Pengujian benda uji setelah temper 350°C (Kelompok E)

Pada pengujian benda uji setelah *temper* 350°C ini, didapatkan hasil pengujian seperti terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7. 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

Untuk menghitung angka kekerasan Vickers pada benda uji setelah *temper* 350°C pada titik pertama :

$$HV = \frac{1,8544.F}{d^2} = \frac{1,8544.1Kg}{0,057mm^2} = 570,8$$

Menghitung titik berikutnya dapat digunakan cara yang sama. Dari kelima titik pengujian itu dapat diambil nilai kekerasan rata-rata dari benda uji setelah *temper* 350°C sebesar 560,9 VHN.

4.1.6. Pengujian benda uji setelah temper 450°C (Kelompok F)

Pada pengujian benda uji setelah *temper* 450°C ini, didapatkan hasil pengujian seperti terlihat pada Tabel 8.

Tabel 8. 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

Untuk menghitung angka kekerasan Vickers pada benda uji setelah *temper* 450°C pada titik pertama:

$$HV = \frac{1,8544.F}{d^2} = \frac{1,8544.1Kg}{0,0555mm^2} = 602,0$$

Menghitung titik berikutnya dapat digunakan cara yang sama. Dari kelima titik pengujian itu dapat diambil nilai kekerasan rata-rata dari benda uji setelah *temper* 450°C sebesar 599,9 VHN.

4.1.7. Pengujian benda uji setelah *temper* 550°C (Kelompok G)

Pada pengujian benda uji setelah *temper* 550°C ini, didapatkan hasil pengujian seperti terlihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Data dan hasil uji kekerasan Vickers benda uji setelah *temper* 550°C

	Titik pengujian	Beban uji F (kg)	Diagonal d (µm)	Kekerasan VHN
Benda uji G1	1	1	61,50	490,3
	2		61,75	483,3
	3		61,25	494,9
	4		61,75	486,3
	5		62,00	482,4
Rata-rata				487,9

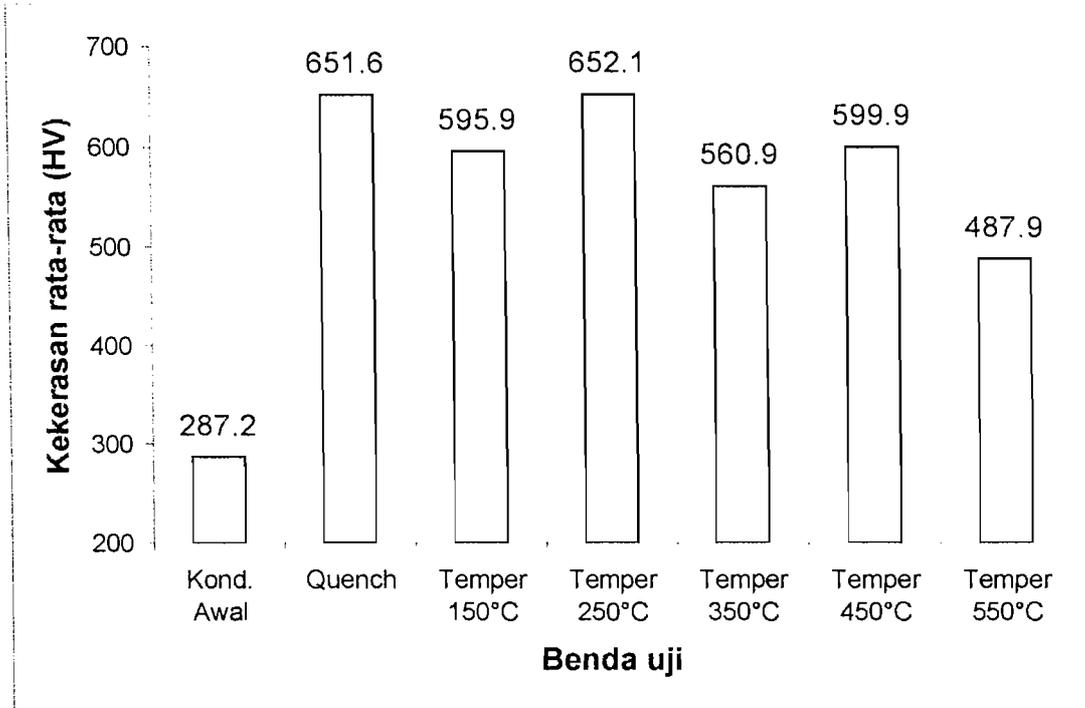
Standar deviasi kekerasan: 4,0 VHN

Untuk menghitung angka kekerasan Vickers pada benda uji setelah *temper* 550°C pada titik pertama :

$$HV = \frac{1,8544.F}{d^2} = \frac{1,8544.1Kg}{0,0615mm^2} = 490,3$$

Menghitung titik berikutnya dapat digunakan cara yang sama. Dari kelima titik pengujian itu dapat diambil nilai kekerasan rata-rata dari benda uji setelah *temper* 550°C sebesar 487,9 VHN.

Dari seluruh data yang dihitung, dapat dilihat dan dibandingkan hasil seluruh pengujian untuk seluruh benda uji dalam Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Grafik perbandingan kekerasan rata-rata baja THYRODUR 2379

Dalam Gambar 6 dapat dilihat bahwa, baja THYRODUR 2379 mempunyai kekerasan yang paling rendah pada saat benda uji masih dalam kondisi mula-mula. Baja THYRODUR 2379 mengalami kenaikan kekerasan yang sangat besar pada saat diquenching, bahkan lebih dari dua kali lipat dari kekerasannya. Hal ini terjadi karena pada baja banyak terdapat struktur martensit yang keras. Baja yang mengandung kadar karbon tertentu didinginkan secara mendadak, atom karbonnya yang berada pada pusat kubus tidak sempat keluar. Akibat tertinggalnya atom karbon

yang berlebihan itu menyebabkan timbulnya tegangan pada jaringan atom. Jaringan inilah yang menyebabkan benda padat berubah menjadi sangat keras.

Sebaliknya setelah proses *temper* kekerasannya menurun mengikuti pertambahan temperatur, hal ini terjadi karena akibat pemanasan maka atom-atom C mendapat kesempatan untuk melakukan difusi (pemerataan kadar tanpa dinding pemisah). Atom C sebelumnya bertempat tinggal secara paksa dalam jaringan besi- α dibebaskan dan jika temperatur semakin tinggi, semakin besar juga kesempatan untuk keluar dari jaringan besi- α tersebut dan kembali terbentuk perlit yang bercampur dengan butiran sementit.

Proses *temper* ternyata tidak selalu menurunkan kekerasan baja, hal ini dapat dilihat pada benda uji kelompok D yang telah *di temper* pada suhu 250°C. Kekerasan baja dalam kelompok D mengalami kenaikan, bahkan lebih tinggi dari benda uji yang *di quenching*. Hal ini terjadi karena pada baja THYROIDUR 2379 dengan kandungan chrom 12% pada saat dipanaskan pada suhu *quenching* perubahan austenit/martensit berlangsung sedemikian lambat. Pada suhu kamar (20°C) akan terbentuk austenit sisa. Austenit sisa akan berubah menjadi sementit pada saat *di temper* pada suhu 250°C dan membuat baja menjadi sangat keras.

4.2. Pengujian Kejut

Pengujian kejut ini dilakukan untuk seluruh benda uji (yang berjumlah 26 buah), baik dari kondisi mula-mula maupun kondisi sesudah mengalami proses *heat treatment*/perlakuan panas.

4.2.1. Pengujian kejut benda kondisi mula-mula (Kelompok A)

Hasil pengujian kejut yang dilakukan sebenarnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2, yaitu:

$$W = G.R.(\cos \beta - \cos \alpha) \dots\dots\dots (\text{joule})$$

Tetapi dalam pengujian yang telah dilakukan, ternyata usaha yang dilakukan (W) telah dapat terbaca pada mesin penguji sehingga kita tidak perlu menghitung lagi. Pada benda uji kondisi mula-mula dengan nomor A1, data yang didapatkan dari pengujian diperoleh harga $W = 7,5 \text{ Joule}$, harga $\alpha = 155^\circ$ (harga α untuk seluruh pengujian adalah sama) dan harga $\beta = 145^\circ$. Untuk data hasil pengujian benda uji dalam kondisi mula-mula ini dapat kita lihat pada tabel 10.

Dari data-data yang kita dapatkan, kita dapat langsung menghitung ketangguhan bahan dengan menggunakan persamaan 3 untuk setiap benda uji.

$$\text{Ketangguhan bahan} = \frac{W}{A} \dots\dots\dots (\text{joule/mm}^2)$$

Untuk harga luas penampang (A) diambil berdasarkan bentuk takian pada benda uji sbcsesar $A = p.l$

$$= 10.8 - 80 \text{ mm}^2$$

Tabel 10. Data dan hasil pengujian kejut benda uji kondisi mula-mula

Benda uji	Sudut jatuh α °	Sudut ayun β °	Usaha W (joule)	Ketangguhan (joule/mm ²)
A1	155	145	7,50	0,094
A2		147	6,00	0,075
A3		147	5,50	0,069
Rata-rata			6,30	0,079

Standart deviasi keliatan bahan: 0,011 joule/mm²

4.2.2. Pengujian kejut untuk benda setelah quenching (Kelompok B)

Dengan cara penghitungan yang sama, hasil pengujian untuk benda uji yang telah *quenching* dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Data dan hasil pengujian kejut benda uji setelah *quenching*

Benda uji	Sudut jatuh α °	Sudut ayun β °	Usaha W (joule)	Ketangguhan (joule/mm ²)
B1	155	149,4	4,00	0,050
B2		153,5	1,50	0,019
B3		152,0	2,00	0,025
Rata-rata			2,50	0,031

Standart deviasi keliatan bahan: 0,013 joule/mm²

4.2.3. Pengujian kejut benda uji setelah temper 150°C (Kelompok C)

Dengan cara penghitungan yang sama, hasil pengujian untuk benda uji yang setelah *temper* 150° C dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Data dan hasil pengujian kejut benda uji setelah *temper* 150°C

Benda uji	Sudut jatuh α °	Sudut ayun β °	Usaha W (joule)	Ketangguhan (joule/mm ²)
C1	155	153,5	1,50	0,019
C2		150,5	3,50	0,044
C3		151,0	3,00	0,038
C4		152,5	2,00	0,025
Rata-rata			2,50	0,032

Standart deviasi keliatan bahan: 0,010 joule/mm²

4.2.4. Pengujian kejut benda uji setelah *temper* 250°C (Kelompok D)

Dengan cara penghitungan yang sama, hasil pengujian untuk benda uji setelah *temper* 250° C dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Data dan hasil pengujian kejut benda uji setelah *temper* 250°C

Benda uji	Sudut jatuh α °	Sudut ayun β °	Usaha W (joule)	Ketangguhan (joule/mm ²)
D1	155	149,5	4,25	0,053
D2		150,0	4,00	0,050
D3		148,5	5,00	0,063
D4		148,5	5,00	0,063
Rata-rata			4,56	0,057

Standart deviasi keliatan bahan: 0,006 joule/mm²

4.2.5. Pengujian untuk benda uji setelah *temper* 350°C (Kelompok E)

Dengan cara penghitungan yang sama, hasil pengujian untuk benda uji setelah *temper* 350° C dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Data dan hasil pengujian kejut benda uji setelah *temper* 350°C

Benda uji	Sudut jatuh α °	Sudut ayun β °	Usaha W (joule)	Ketangguhan (joule/mm ²)
E1	155	150,0	4,00	0,050
E2		149,5	4,00	0,050
E3		148,5	5,00	0,063
E4		149,5	4,25	0,053
Rata-rata			4,31	0,054

Standart deviasi keliatan bahan: 0,005 joule/mm²

4.2.6. Pengujian untuk benda uji setelah *temper* 450°C (Kelompok F)

Dengan cara penghitungan yang sama, hasil pengujian untuk benda uji yang setelah *temper* 450° C dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15. Data dan hasil pengujian kejut benda uji setelah *temper* 450°C

Benda uji	Sudut jatuh α °	Sudut ayun β °	Usaha W (joule)	Ketangguhan (joule/mm ²)
F1	155	152,5	2,00	0,025
F2		151,5	2,75	0,034
F3		152,5	2,00	0,025
F4		151,5	2,75	0,034
Rata-rata			2,37	0,030

Standart deviasi keliatan bahan: 0,005 joule/mm²

4.2.7. Pengujian untuk benda uji setelah *temper* 550°C (Kelompok G)

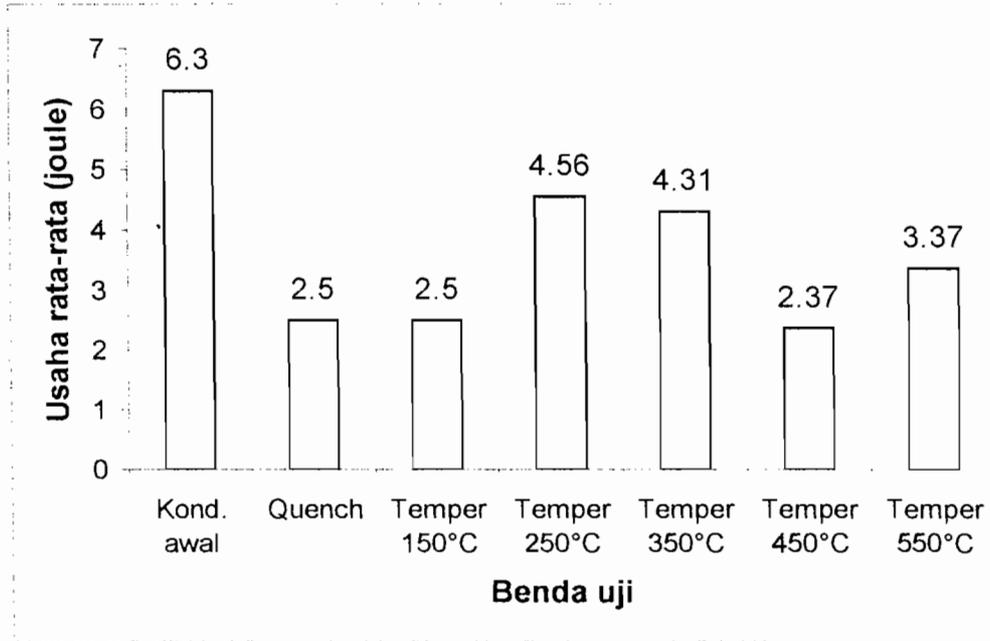
Dengan cara penghitungan yang sama, hasil pengujian untuk benda uji setelah *temper* 550° C dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16. Data dan hasil pengujian kejut benda uji setelah *temper* 550°C

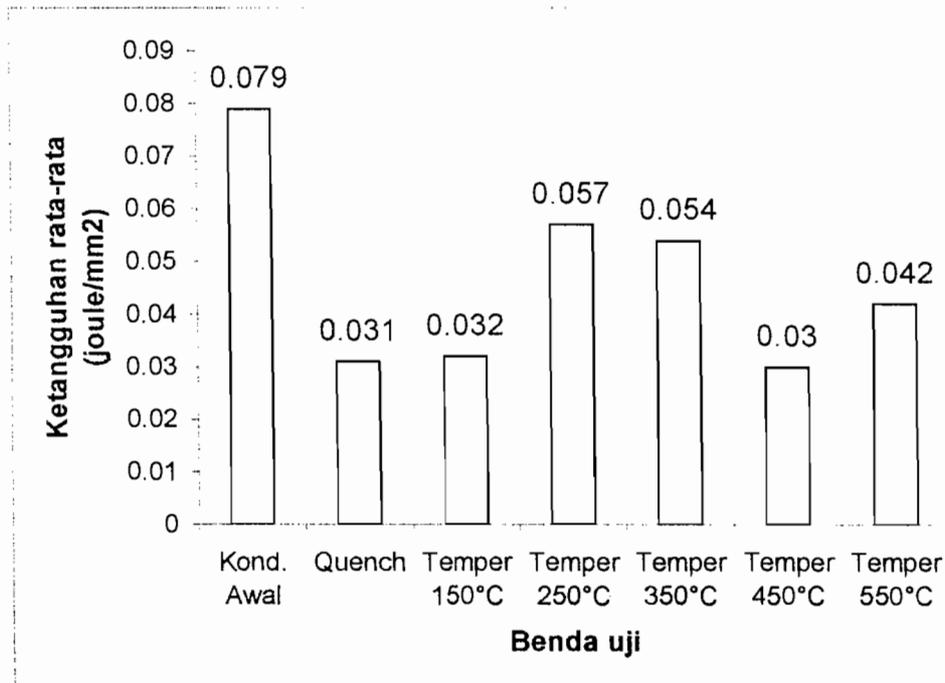
Benda uji	Sudut jatuh α °	Sudut ayun β °	Usaha W (joule)	Ketangguhan (joule/mm ²)
G1	155	148,5	5,00	0,063
G2		151,0	3,00	0,038
G3		151,5	2,75	0,034
G4		151,5	2,75	0,034
Rata-rata			3,37	0,042

Standart deviasi keliatan bahan: 0,012 joule/mm²

Dari seluruh data hasil pengujian kejut yang dilakukan untuk seluruh benda uji yang ada, kita dapat melihat perbandingan dari usaha rata-rata yang dilakukan untuk mematahkan benda uji untuk masing-masing kondisi benda uji tersebut. Dan kita dapat melihat perbandingannya dalam Gambar 7. Sedangkan untuk membandingkan harga keliatan bahan untuk seluruh benda uji dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 7. Grafik perbandingan energi patah untuk masing-masing benda uji



Gambar 8. Grafik perbandingan ketangguhan untuk masing-masing benda uji

Dari Gambar 7 dan Gambar 8 dapat dilihat bahwa harga keliatan bahan atau ketangguhan dengan harga usaha (energi) patah mempunyai perbandingan yang sama untuk seluruh kondisi benda uji. Benda uji yang mempunyai ketangguhan bahan terbesar mengalami usaha yang paling besar untuk mematahkan benda uji tersebut.

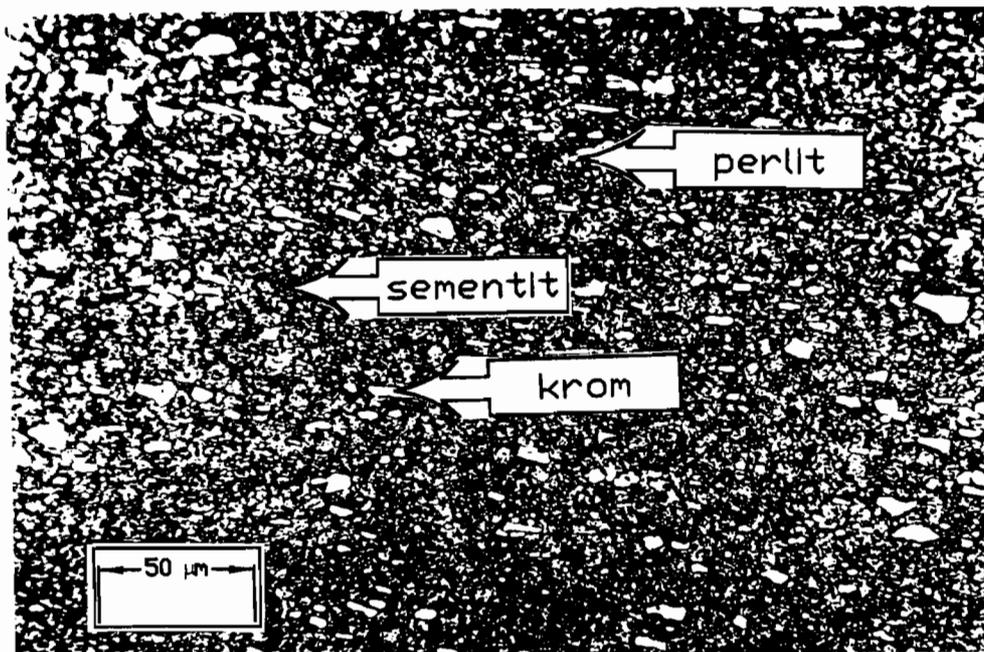
Benda uji yang telah di *temper* 450° C mempunyai ketangguhan bahan yang paling rendah, sedang untuk benda uji dalam kondisi mula-mula mempunyai ketangguhan bahan yang paling tinggi. Dengan proses *quenching* akan menurunkan ketangguhan bahan walaupun menaikkan kekerasannya. Untuk mendapatkan ketangguhan bahan yang lebih tinggi perlu di *temper*. Dalam pengujian ini ketangguhan bahan akan mencapai kenaikan yang tertinggi pada saat di *temper* pada suhu 250° C.

Pada benda uji yang di *temper* 250°C memang mempunyai kekerasan yang tertinggi karena adanya chrom yang banyak sehingga permukaannya keras, tapi benda uji juga menjadi liat sebab kandungan perlit masih banyak.

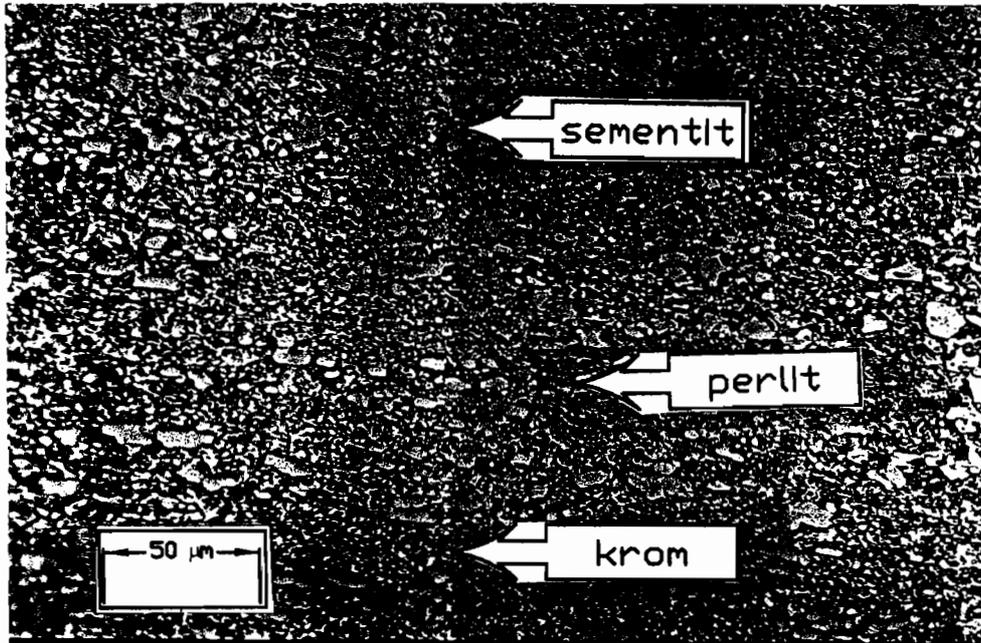
4.3. Pengujian Struktur Mikro

Pada saat melakukan pengujian struktur mikro, ada kesulitan yang timbul ketika sedang mengetsa benda uji dimana struktur dari benda uji tidak tampak dengan jelas. Benda uji yang mengandung Cr (Chrom) sebesar 12 % membuat benda uji sulit dietsa sehingga pada saat dilihat dengan mikroskop tidak begitu jelas strukturnya, terutama untuk benda uji yang di *temper* pada suhu 350°C.

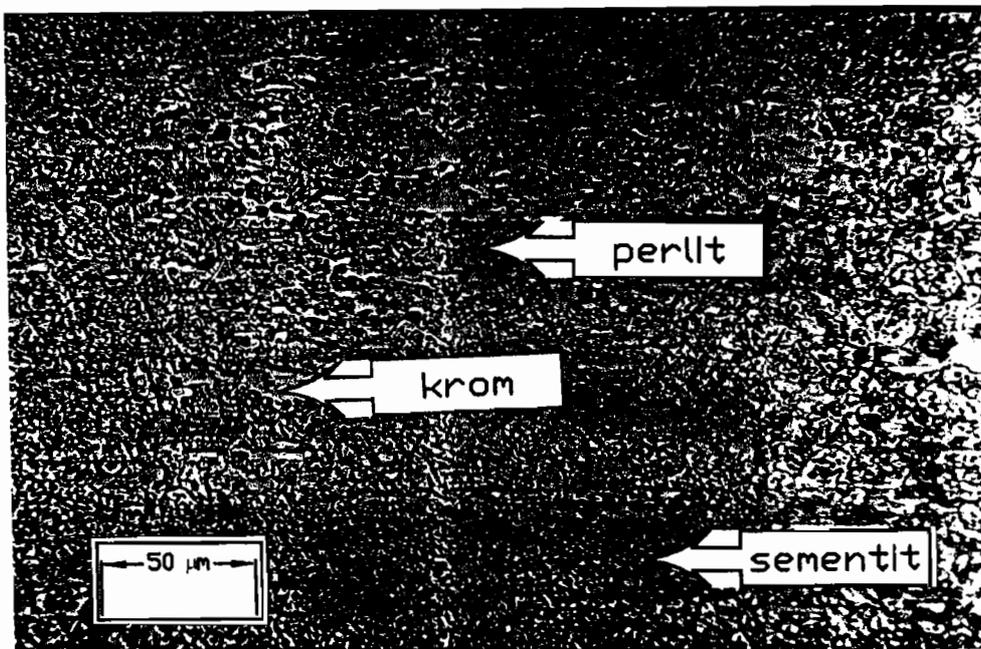
Pada umumnya tampak perbedaan yang begitu besar dari hasil foto struktur mikro antara benda yang tidak dihardening dengan benda yang sudah melewati perlakuan panas. Hasil pengujian struktur mikro dapat dilihat dalam Gambar 9 sampai dengan Gambar 15.



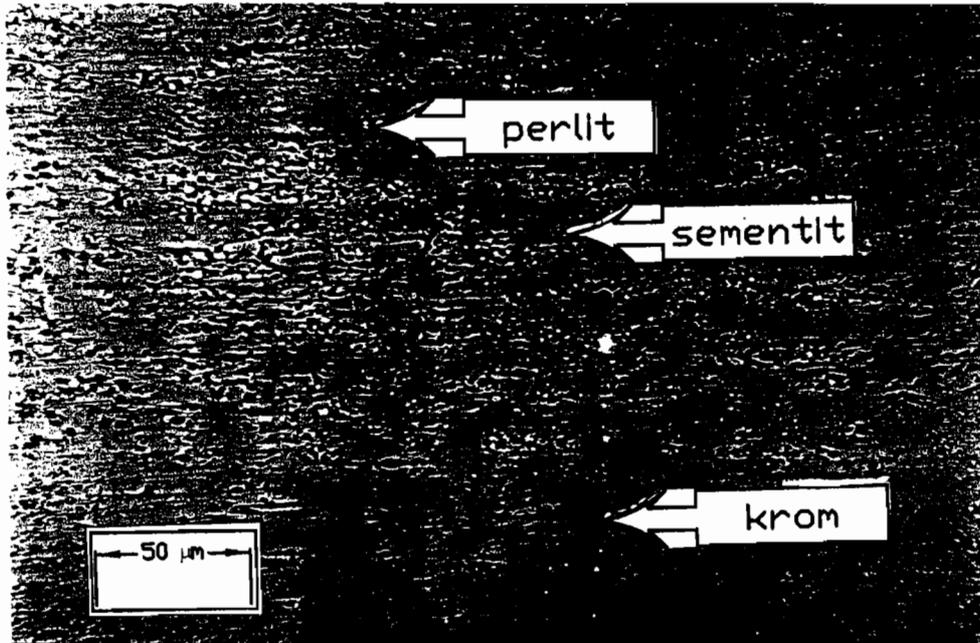
Gambar 9. Foto struktur mikro benda uji keadaan mula-mula



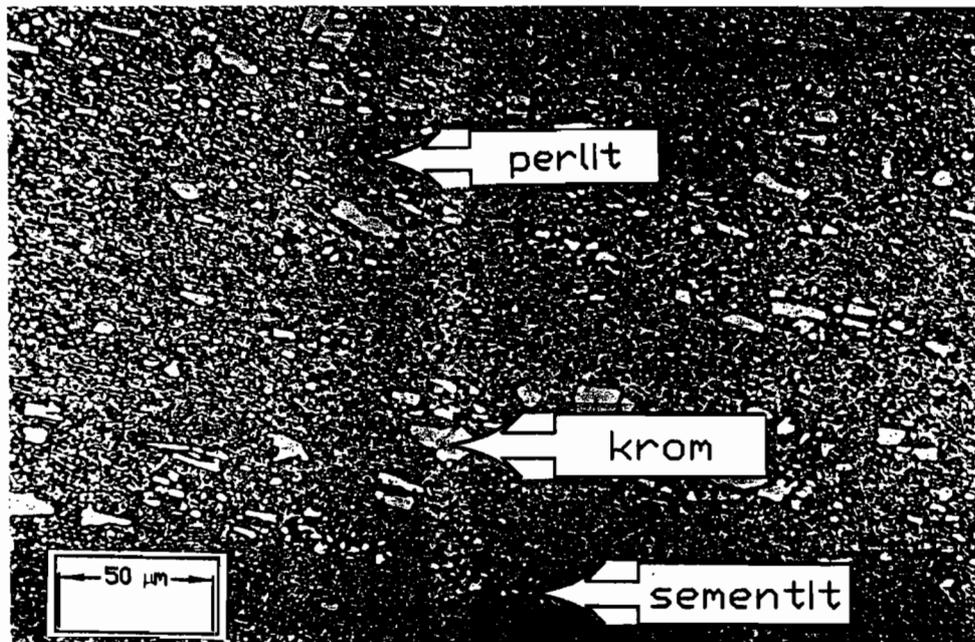
Gambar 10. Foto struktur mikro benda uji setelah *quenching*



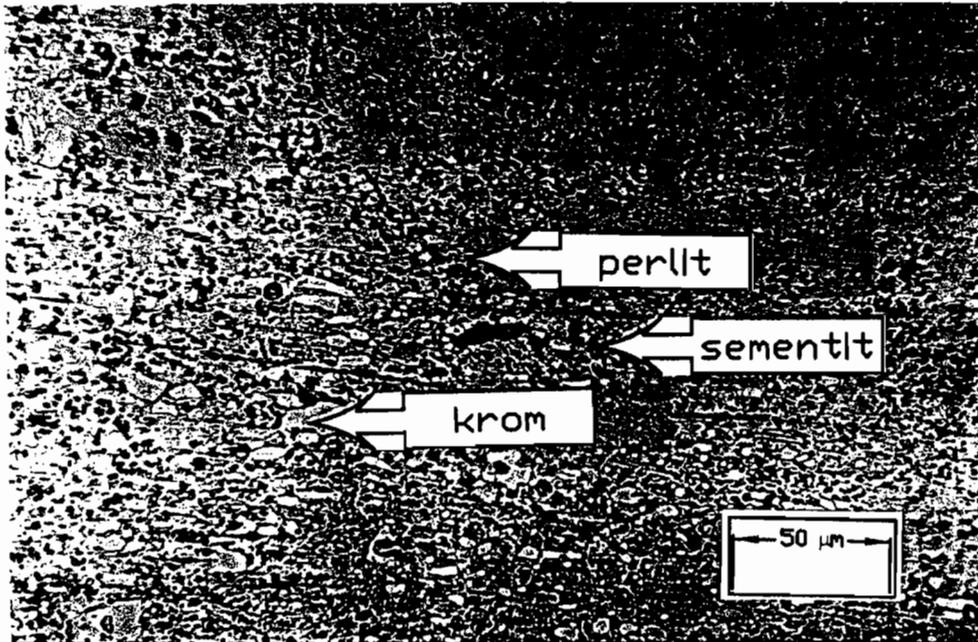
Gambar 11. Foto struktur mikro benda uji setelah *temper* 150°C



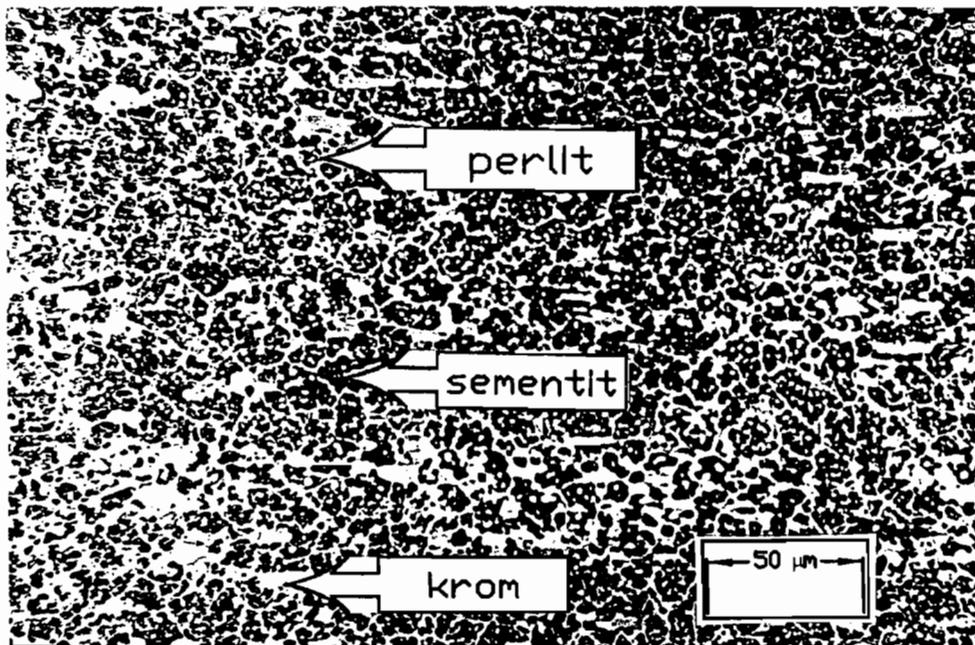
Gambar 12. Foto struktur mikro benda uji setelah *temper* 250°C



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



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



Gambar 15. Foto struktur mikro benda uji setelah *temper* 550°C

Pada benda uji mula-mula banyak terdapat susunan sementit dan perlit, sehingga sifatnya menjadi liat dan ulet serta kandungan krom yang tidak begitu banyak, dapat dilihat pada Gambar 9 dimana susunan krom tidak terlalu rapat. Sedangkan pada benda uji yang melewati *quenching* dan *temper* dijumpai susunan matrik martensit dan perlit sehingga sifat baja menjadi sangat keras dan getas.

Benda uji yang di *temper* pada suhu 250°C banyak terdapat kandungan chrom yang menyebabkan permukaan benda uji menjadi keras, susunan perlit dan sementit cukup banyak berkurang. Hasil foto benda uji yang di *temper* pada suhu 250°C tidak begitu jelas karena banyaknya kandungan chrom sehingga kesulitan pada saat benda uji di etsa.

Benda uji yang telah di *temper* 550°C mengandung sebagian kecil sementit dan tampak adanya perlit yang cukup banyak serta terlihat juga jaringan chrom yang sudah berkurang. Benda uji dalam kondisi ini mengalami penurunan kekerasan.

Struktur benda uji yang di *temper* pada suhu 350°C dan suhu 450°C dapat dilihat perbedaan yang begitu besar, dari hasil foto dapat diamati bahwa kandungan chrom benda uji yang di *temper* pada suhu 450°C lebih banyak sehingga permukaannya menjadi lebih keras dibanding benda uji yang di *temper* pada suhu 350°C.

BAB V

KESIMPULAN

Berdasarkan dari seluruh data yang ada dari hasil pengujian yang dilakukan terhadap benda uji dari baja THYRODUR 2379, maka dapat disimpulkan:

1. Kekerasan rata-rata baja THYRODUR 2379 dalam kondisi mula-mula adalah sebesar 287,2 VHN. Baja THYRODUR 2379 akan bertambah keras setelah melewati proses *quenching*, dan kekerasan rata-ratanya adalah sebesar 651,6 VHN.
2. Pada saat proses *quench temper* baja THYRODUR 2379 dengan 5 variasi suhu, kekerasan baja THYRODUR 2379 berbeda-beda, kekerasan yang tertinggi dicapai pada benda uji yang di *temper* 250°C sebesar 652,1 VHN, dan kekerasan yang paling rendah dicapai pada benda uji yang di *temper* 550°C sebesar 487,9 VHN.
3. Menurut teori, kekerasan baja paduan tinggi akan mengalami penurunan bila mendapat proses *quench temper*, tetapi pada baja THYRODUR 2379 terjadi peningkatan kekerasan bila benda uji di *temper* pada suhu 250°C karena terjadinya pembentukan sementit lanjutan dari sisa austenit yang ada.
4. Baja THYRODUR 2379 dalam kondisi mula-mula mempunyai ketangguhan bahan rata-rata sebesar 0,079 joule/mm², sedangkan untuk benda uji yang telah di *quenching* mempunyai ketangguhan rata-rata 0,031 joule/mm².

-
5. Pada proses *temper* dengan 5 variasi suhu yang dilakukan, baja THYRODUR 2379 mempunyai ketangguhan bahan yang tertinggi sebesar $0,057 \text{ joule/mm}^2$ dicapai pada suhu *temper* 250°C .
 6. Dari data seluruh pengujian yang dilakukan, baik pengujian kekerasan, pengujian kejut maupun pengujian struktur mikro, dapat dilihat dan diamati bahwa benda uji yang telah melewati proses *temper* 250°C memiliki kekerasan yang tertinggi ($652,1 \text{ VHN}$) dan memiliki harga ketangguhan yang tertinggi juga ($0,057 \text{ joule/mm}^2$), sehingga dalam aplikasinya merupakan bahan yang paling sesuai untuk pembuatan *centre punch*.

DAFTAR PUSTAKA

- Amstead, B.H., Ostwald, P.F., Begeman, M.L., 1981, *Teknologi Mekanik*, Edisi ketujuh jilid 1, alih bahasa Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta.
- Dieter, G.F., 1987, *Metalogi Mekanik*, Edisi ketiga, Jilid 1, alih bahasa Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta.
- Smallman, R.E., 1991, *Metalogi Fisik Modern*, Edisi keempat, PT Gramedia, Jakarta.
- Surdia, T., Chijjiwa, 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., Sudibyoy, B., *Ilmu Logam*, Akademi Teknik Mesin Industri, Surakarta.
- Thyrodur brosur*, Thyssen Bros. & Co. Ltd., Jerman.

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

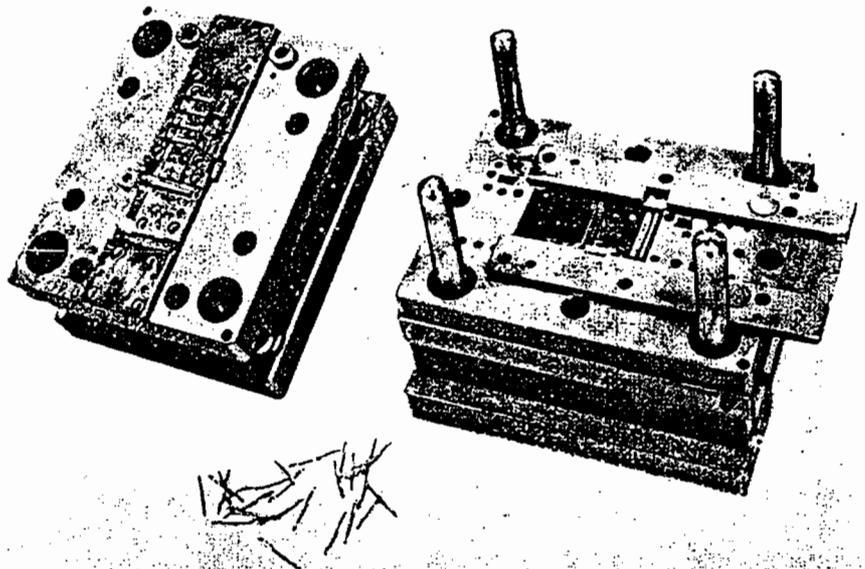
Special Heat Treatment	Hardening from °C	in	Hardness after Quenching HRC						
	1060 — 1080	oil, air or hot bath 500 — 550°C	61						
	Tempering °C	100	200	300	400	500	525	550	600
	HRC	61	60	58	59	62	62	58	50



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.

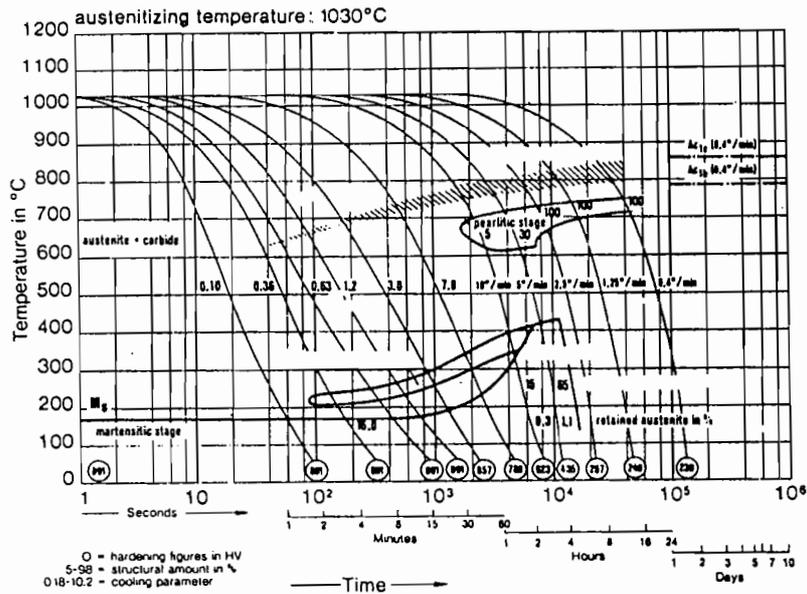
	Working Hardness HRC
Flat and circular shear blades for cutting sheets up to about 4 mm thickness	58 — 60
High-efficient blanking and stamping dies (material to be cut up to 6 mm thickness)	58 — 62
Thread-rolling dies and jaws	58 — 62
Highly-stressed woodworking tools	58 — 62
Shearing knives for the 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

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.

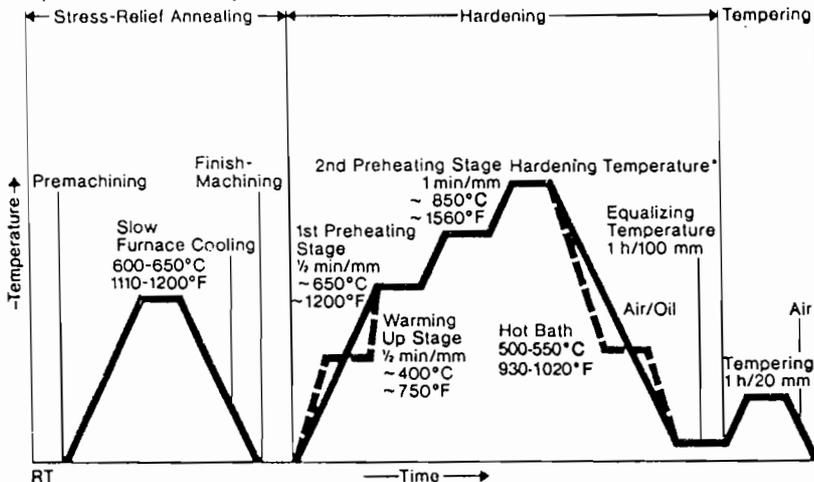
Hardening

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.

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.

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.

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 $\frac{J}{cm \text{ sec } ^\circ C}$	0.167	0.205	0.242
Coefficient of thermal expansion per °C from 20°C $\frac{m}{m \text{ } ^\circ C}$	—	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	High speed steel:	boring	3343
	milling	P 25 — P 40		milling	3243
				turning	3207

The indicated data are guide values

Austenitizing

From the last preheating stage the temperature of the tools is raised to the austenitizing or hardening temperature. After having been thoroughly heated through the tools must be held at this temperature until the temperature has become equalized and transformation completed. The following diagram is intended to serve as a guide in choosing the time at temperature after achieving the hardening temperature at the surface 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 2363 can be carried out either in oil, 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

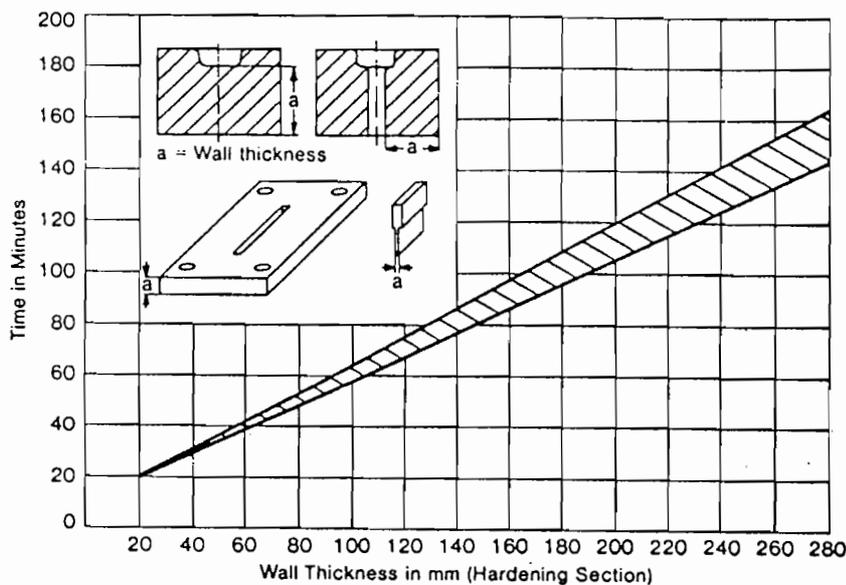
A tempering treatment will be unavoidable in order to achieve the hardness and toughness that are appropriate for the respective stressing.

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.



By a refrigeration at about -80°C it 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 preceding 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

For improving the retention to tempering the tool steel THYRODUR 2379 can be subjected to a special heat treating procedure. By choosing a higher hardening temperature which is indicated on page 1 the degree of carbide dissolution is increased. Hereby the retention to tempering is improved. After a double to triple tempering of approx. 530°C a hardness of more than 60 HRC is obtained.

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 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.

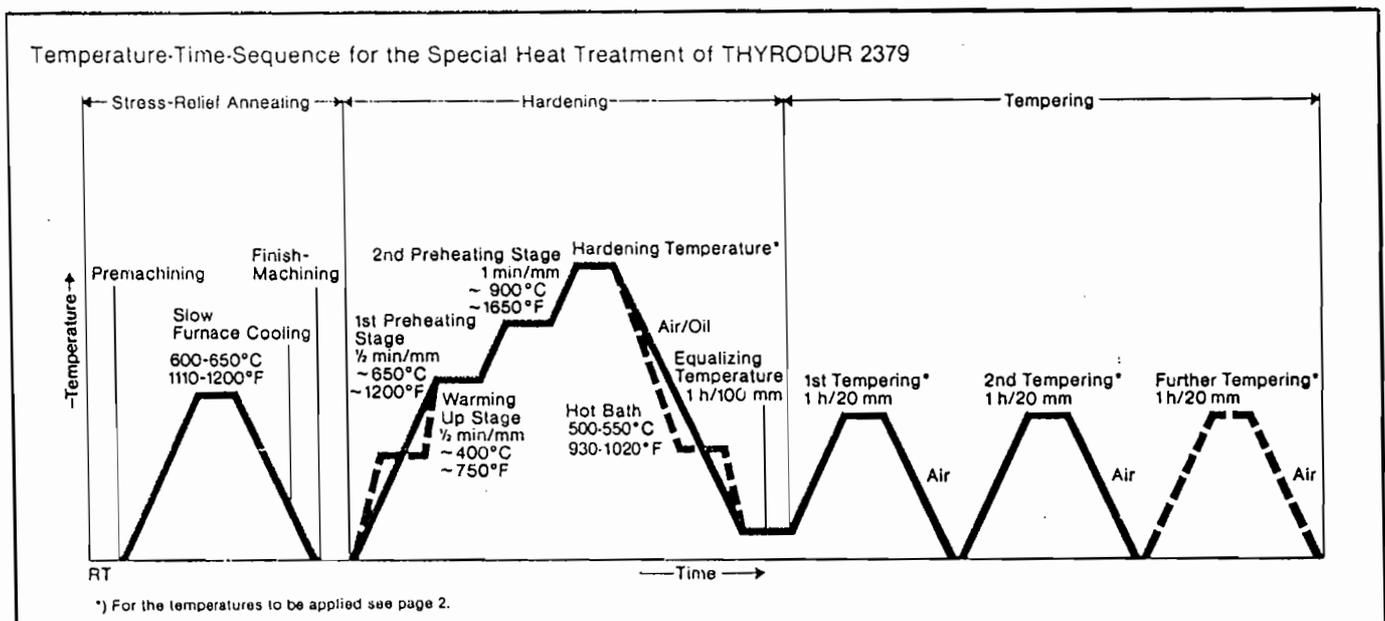
Here it has to be taken care that the nitriding temperature does not exceed the tempering temperature, because otherwise a decrease of hardness will be the consequence. So it should exceed 550°C not at all.

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

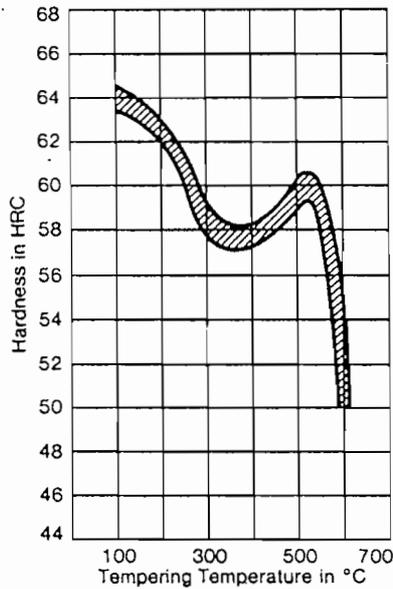
With particularly critical components offering a tendency to distortion and tension cracks cooling should be carried out at first in air to about 300°C and only then subsequently in oil.

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.

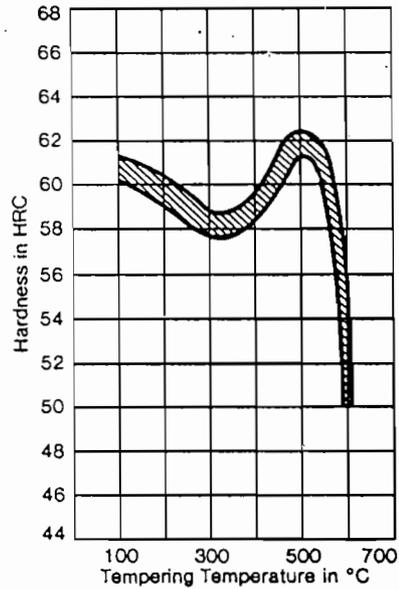
Generally cold working tools are only nitrided for reducing the tendency to cold-welding-up. For this reason the nitriding times in salt baths amount to about 5 to 30 minutes dependent on the type of tool. Longer nitriding times will result in surface embrittlement and consequently in premature cutting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



Tempering Diagram



Special Heat Treatment



Hard-Chromium plating

THYRODUR 2379 can be hard-chromium plated.

After this treatment the tools should 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: ^{minutes} 12:

1. Heating-up to 980°C with approx. 1 hour holding time.
2. 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.

