

TUGAS AKHIR

**PENELITIAN PENGARUH VARIASI
TEMPERATUR PEMANASAN *LOW TEMPERING* ,
MEDIUM TEMPERING DAN *HIGH TEMPERING*
PADA *MEDIUM CARBON STEEL* PRODUKSI
PENGECORAN BATUR-KLATEN
TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN
DAN KETANGGUHAN (*TOUGHNESS*)**



**Diajukan untuk Memenuhi Tugas dan Syarat-syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana S1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta**

Disusun :

**ANOM YOGANTORO
NIM : D 200 000 239**

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2010**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

PENELITIAN PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PEMANASAN *LOW TEMPERING* , *MEDIUM TEMPERING* DAN *HIGH TEMPERING* PADA *MEDIUM CARBON STEEL* PRODUKSI PENGECORAN BATUR-KLATEN TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN KETANGGUHAN (*TOUGHNESS*)

yang dibuat untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh derajat sarjana S1 pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Muhammadiyah Surakarta atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya saya cantumkan sebagaimana mestinya.

Surakarta, 12 Agustus 2010

Yang menyatakan

Anom Yogantoro

HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas akhir berjudul “Penelitian Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan *Low Tempering*, *Medium Tempering* dan *High Tempering* pada *Medium Carbon Steel* Produksi Pengecoran Batur-Klaten terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan (*Toughness*)”, telah disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir dan diterima untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh derajat sarjana S1 pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta

Dipersiapkan oleh :

Nama : ANOM YOGANTORO

N I M : D 200 000 239

Disetujui pada :

Hari :

Tanggal :

Mengetahui

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

(Ir. Bibit Sugito, MT.)

(Ir. Pramuko Ilmu Purboputro, MT.)

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir berjudul “Penelitian Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan *Low Tempering*, *Medium Tempering* dan *High Tempering* pada *Medium Carbon Steel* Produksi Pengecoran Batur-Klaten terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan (*Toughness*)”, telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan telah dinyatakan sah untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh derajat sarjana S1 pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta

Dipersiapkan oleh :

Nama : ANOM YOGANTORO

N I M : D 200 000 239

Disahkan pada :

Hari :

Tanggal :

Tim Penguji :

Ketua : Ir. Bibit Sugito, MT.

Anggota 1 : Ir. Pramuko Ilmu Purboputro, MT.

Anggota 2 : Bambang Waluyo Febriantoko, ST, MT.

Dekan

Ketua Jurusan

(Ir. Agus Riyanto , MT.)

(Ir. Sartono Putro, MT.)

LEMBAR SOAL TUGAS AKHIR

HALAMAN MOTTO

“Jika inginkan perdamaian, bersiaplah berperang”

“Kekacauan sama dengan kesempatan”

ABSTRAKSI

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui prosentase unsur utama penyusun komposisi kimia, fasa struktur mikro, harga kekerasan dan harga dampak (*toughness*) pada baja *medium carbon steel* dengan variasi spesimen : *raw material* , tempering 200 °C, tempering 400 °C dan tempering 600 °C.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja tuang yang diproduksi salah satu pabrik pengecoran di Batur Ceper Klaten. Pemberian laku panas di dalam tungku (*furnace*) 850°C selama 30 menit kemudian di *quenching* dengan air garam dan dilanjutkan *tempering* selama 30 menit dengan variasi tempering : 200°C, 400°C dan 600°C. Pengujian yang dilakukan adalah : uji komposisi kimia, uji struktur mikro, uji kekerasan dan uji dampak.

Dari hasil pengujian komposisi kimia pada spesimen besi *medium carbon steel* didapatkan unsur penyusun utama adalah besi (Fe) = 97,44 %; silisium (Si) = 0,665 % dan mangan (Mn) = 0,738 %. Dari hasil pengamatan struktur mikro pada spesimen *raw material* didapatkan fasa ferit dan perlit kasar, spesimen *tempering* 200 °C didapatkan fasa martensit temper dan perlit, spesimen *tempering* 400 °C didapatkan fasa bainit dan perlit dan pada spesimen *tempering* didapatkan fasa ferit dan perlit halus. Dari pengujian kekerasan didapatkan harga kekerasan rata-rata tertinggi pada spesimen *tempering* 200 °C sebesar 459,9 VHN dan berturut-turut menuju posisi terendah, yaitu spesimen *tempering* 400 °C sebesar 308,9 VHN, spesimen *tempering* 600 °C sebesar 202,6 VHN dan paling rendah spesimen *raw material* sebesar 175,6 VHN. Dari hasil pengujian dampak didapatkan harga ketangguhan rata-rata tertinggi (paling liat) adalah spesimen *tempering* 600 °C sebesar 0,497 J/mm² dan berturut-turut menuju posisi terendah, yaitu *tempering* 400 °C sebesar 0,260 J/mm², spesimen *tempering* 200 °C sebesar 0,205 J/mm² dan terendah (paling getas) adalah spesimen *raw material* sebesar 0,173 J/mm².

Kata-kata kunci : *medium carbon steel, tempering*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dengan mengucapkan syukur alhamdulillah, penulis memanjatkan puja puji ke hadirat Allah SWT, karena dengan rahmat serta hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Teknik Mesin guna memenuhi ujian tingkat sarjana.

Atas selesainya laporan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapatkan berbagai macam bantuan jasa dari berbagai pihak. Untuk itu atas segala bentuk dari bantuannya, penyusun menyampaikan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Ir. Agus Riyanto, MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta beserta staf yang telah memberikan kesempatan pada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ir. Sartono Putro, ST., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah memberikan ijin untuk penulisan Tugas Akhir ini.
3. Ir. Bibit Sugito, MT., selaku pembimbing utama yang dengan sabar dan teliti membimbing dan mengarahkan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Ir. Pramuko Ilmu Purboputro, MT., selaku pembimbing pendamping yang telah meluangkan waktu berkenan memberikan petunjuk dan mengarahkan penulisan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

5. Lilik Dwi Setyana, ST, MT., dan segenap staf Laboratorium Bahan D3 UGM serta Staff PT. Baja Kurnia yang telah memberikan banyak bantuan dan penjelasan serta kelancaran selama melakukan pengujian.
6. Ayahanda dan ibunda tercinta, maaf harus menunggu terlalu lama dan terima kasih untuk nyawa dan nafas yang kalian persembahkan.
7. Kakak-kakakku (Bang Reza dan Mbak Anda, Mas Adi dan Mbak Tari), atas dukungan moril dan materiil selama ini. Beserta keponakan-keponakanku (Baldy, Faizah, Dhita, dan Hanung).
8. Larasita Rakhmi Utari, bukan yang pertama, tapi Insya Allah menjadi yang terakhir.
9. Fajar “Japra”, Suhu untuk “baja hitamnya” disaat kritis.
10. Mas Agus, Luckman, Arwan, Mas Yusup, dan teman-teman di IKJS (Ikatan Keluarga JABODETABEK se-Surakarta) untuk rasa kekeluargaannya selama jauh dari rumah.
11. Dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu, terima kasih atas do’a dan dukungannya.

Penulis menyadari sepenuhnya dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangannya baik materi, bahasa maupun penyusunannya. Akhir kata, penulis berharap mudah-mudahan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penulis khususnya dan semua pihak yang berkepentingan.

Wassalamu’alaikum Wr. Wb.

Surakarta, Agustus 2010

Anom Yogantoro

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Pernyataan Keaslian Skripsi	ii
Halaman Persetujuan	iii
Halaman Pengesahan	iv
Lembar Soal Tugas Akhir	v
Halaman Motto	vi
Abstraksi	viii
Kata Pengantar	ix
Daftar Isi	x
Daftar Gambar	xii
Daftar Tabel	xiv
Daftar Lampiran	xv
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Manfaat Penelitian	3
1.4. Pembatasan Masalah	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	 4
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.2. Landasan Teori	8
2.2.1. Baja karbon (<i>carbon steel</i>)	8
2.2.2. Baja paduan (<i>alloy steel</i>)	9
2.3. Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C	9
2.4. Pengaruh Unsur Paduan pada Baja	14
2.5. Perlakuan Panas (<i>Heat Treatment</i>)	16
2.5.1. Proses <i>Heat Treatment</i> Pada Baja	17
2.5.2. <i>Tempering</i>	20
2.5.3. Temperatur Austenitisasi	22
2.5.4. Metode Pemanasan dan Pendinginan	22
2.5.5. Waktu Penahanan (<i>Holding Time</i>)	23
2.6. Diagram Transformasi untuk Pendinginan	24
2.7. Sifat Mekanik Baja	28
2.8. Pengujian Kekerasan	29
2.9. Pengujian impak	31
2.10. Sifat Fisik Baja	33
2.10.1. Struktur Mikro	33
2.10.2. Komposisi Kimia	35
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	 36
3.1. Diagram Alir Proses Penelitian	36
3.2. Bahan Baku Cor	37
3.3. Peleburan	37

3.4. Proses Penuangan	41
3.5. Pengerjaan Akhir Cor (<i>Finishing</i>)	43
3.6. Penyiapan Bahan	43
3.7. Pembuatan Benda Uji	44
3.8. Perlakuan Panas	50
3.9. Pengujian Komposisi Kimia	53
3.10. Pengamatan Struktur Mikro	53
3.11. Pengujian Kekerasan	55
3.12. Pengujian Impak	57
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	59
4.1. Hasil Pengujian Komposisi Kimia	59
4.2. Hasil Pengamatan Struktur Mikro	60
4.3. Hasil Pengujian Kekerasan	64
4.4. Hasil Pengujian Impak	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1. Kesimpulan	71
5.2. Saran	72

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN-LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Diagram kesetimbangan Fe-Fe ₃ C	10
Gambar 2.2.	Diagram <i>full annealing</i>	18
Gambar 2.3.	Diagram proses <i>normalizing</i>	19
Gambar 2.4.	Diagram <i>quenching</i>	20
Gambar 2.5.	Diagram <i>tempering</i>	21
Gambar 2.6.	Diagram <i>Isothermal (IT)</i> atau <i>TTT / Time Temperature Transformation</i>	25
Gambar 2.7.	Diagram <i>CCT (Continuous Cooling Transformation)</i> untuk baja <i>hypoeutectoid</i>	27
Gambar 2.8.	Diagram <i>CCT (Continuous Cooling Transformation)</i> untuk baja <i>eutectoid</i>	27
Gambar 2.9.	Diagram <i>CCT (Continuous Cooling Transformation)</i> untuk baja <i>hypereutectoid</i>	28
Gambar 2.10.	Azas pengukuran kekerasan Vickers	31
Gambar 2.11.	Uji pukulan takik Metode <i>Charpy</i>	31
Gambar 2.12.	Mekanisme perpatahan benda uji impak	32
Gambar 2.13.	Pengamatan struktur mikro dengan mikroskop	34
Gambar 3.1.	Diagram alir penelitian	36
Gambar 3.2.	Bahan baku cor	37
Gambar 3.3.	Pemanasan tanur induksi	38
Gambar 3.4.	Proses peleburan	38
Gambar 3.5.	Proses pembersihan kotoran logam dari tungku	39
Gambar 3.6.	Prinsip kerja dapur induksi	40
Gambar 3.7.	Pengontrolan suhu dapur induksi	40
Gambar 3.8.	Penuangan baja cair ke dalam cetakan dengan cara konvensional	41
Gambar 3.9.	Hasil coran yang telah dibersihkan	42
Gambar 3.10.	Bahan baja karbon sedanG	44
Gambar 3.11.	<i>Metal Cut</i>	45
Gambar 3.12.	Mesin penghalus (<i>grinding</i>)	46
Gambar 3.13.	Ukuran spesimen uji <i>impact</i> menurut standar ASTM E 23	49
Gambar 3.14.	Grafik proses <i>tempering</i>	50
Gambar 3.15.	Dapur pemanas (<i>furnace</i>)	52
Gambar 3.16.	Alat uji komposisi kimia (<i>spectrometer</i>)	52
Gambar 3.17.	<i>Olympus Metallurgical Microscope</i> dan <i>Olympus Photomicrographic System</i>	55
Gambar 3.18.	Spesimen pengujian kekerasan dan struktur mikro	56
Gambar 3.19.	<i>Vickers Macrohardness Tester</i>	56
Gambar 3.20.	Alat uji impak (<i>Impact Charpy Machine</i>)	58
Gambar 4.1.	Foto struktur mikro <i>medium carbon steel raw material</i> dengan perbesaran 200×	60
Gambar 4.2.	Foto struktur mikro <i>medium carbon steel tempering</i> 200 °C dengan perbesaran 200×	61
Gambar 4.3.	Foto struktur mikro <i>medium carbon steel tempering</i> 400 °C dengan perbesaran 200×	61

Gambar 4.4. Foto struktur mikro <i>medium carbon steel</i> <i>tempering</i> 600 °C dengan perbesaran 200×	62
Gambar 4.5. Histogram perbandingan harga kekerasan rata-rata spesimen <i>medium carbon steel</i>	64
Gambar 4.6. Histogram perbandingan harga impak rata-rata	68
Gambar 4.7. Patahan spesimen <i>raw material</i>	68
Gambar 4.8. Patahan spesimen <i>tempering</i> 200 °C	69
Gambar 4.9. Patahan spesimen <i>tempering</i> 400 °C	69
Gambar 4.10. Patahan spesimen <i>tempering</i> 600 °C	70

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Penyiapan jumlah spesimen	46
Tabel 4.1. Hasil pengujian komposisi kimia <i>medium carbon steel</i>	59
Tabel 4.2. Hasil pengujian kekerasan spesimen <i>medium carbon steel</i>	64
Tabel 4.3. Hasil uji impak spesimen <i>medium carbon steel</i>	67

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 – DATA PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA *MEDIUM CARBON STEEL*

LAMPIRAN 2 – DATA PENGUJIAN KEKERASAN *MEDIUM CARBON STEEL*

LAMPIRAN 3 – DATA PENGUJIAN IMPAK *MEDIUM CARBON STEEL*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Baja adalah salah satu logam *ferro* yang banyak digunakan dalam dunia teknik. Misalnya: digunakan untuk konstruksi bangunan, konstruksi mesin, perkakas dan lain lain. Kemampuan baja sendiri sebenarnya sangat dipengaruhi oleh kadar karbon disamping unsur-unsur paduan lain yang terdapat di dalamnya. Dengan penambahan atau pengurangan kadar karbon atau unsur-unsur paduan lain akan diperoleh kekuatan baja sesuai dengan yang diinginkan.

Baja karbon sedang mempunyai kadar karbon (0,30 - 0,40)%C, mempunyai kekerasan dan kekuatan tarik yang lebih besar dibanding baja karbon rendah, namun regangan total yang dimiliki lebih rendah. Karena sifat-sifat inilah maka baja karbon sedang sangat cocok untuk digunakan sebagai bahan komponen kendaraan bermotor, alat-alat pertanian, *gear* dan komponen lain yang membutuhkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi namun tidak mudah patah. Baja ini dapat dikeraskan (Sumarto, 2004).

Baja tuang adalah baja yang mempunyai proses produksi dengan cara mengecor yaitu cara produksi benda yang langsung diperoleh bentuknya melalui proses penuangan pada cetakan. Proses ini berdasarkan pada alasan untuk memproduksi benda-benda yang mempunyai bentuk khusus yang sulit dikerjakan dengan proses

pengerjaan panas atau dingin (penempaan dan lain sebagainya). Selain itu pengerjaan mengecor juga dilakukan untuk ukuran-ukuran besar. Kekuatan maupun keliatan akan sama disemua arah dibandingkan baja tempa yang mempunyai kekuatan yang tidak sama pada arah berlainan karena mempunyai struktur yang berlapis-lapis (Surdia, 1986).

Proses perlakuan panas (*heat treatment*) yang dapat membentuk (mengubah) sifat besi atau baja dari yang mudah patah menjadi lebih kuat atau juga dapat merubah sifat baja dari yang lunak menjadi sangat keras dan sebagainya. *Heat treatment* merupakan proses kombinasi antara pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dalam jangka waktu tertentu yang dimaksudkan untuk memperoleh sifat-sifat tertentu pada logam atau paduan. Pembentukan sifat-sifat inilah yang sangat diperlukan untuk memperoleh material bahan industri yang betul-betul sesuai dengan kebutuhan dan fungsinya.

Melalui proses *tempering*, kekerasan dan kegetasan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula sedang keliatan (*ductility*) dan ketangguhan (*toughness*) baja meningkat. Proses temper terdiri dari pemanasan kembali baja yang telah dikeraskan pada suhu di bawah suhu kritis, disusul dengan pendinginan. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lebih lunak, proses ini berbeda dengan proses

anil (*annealing*) karena di sini sifat-sifat fisis dapat dikendalikan dengan cermat (Amstead, 1995).

Berdasarkan latar belakang tersebut di atas penulis perlu melakukan kajian penelitian pengaruh variasi temperatur *tempering* pada baja karbon sedang hasil produk pengecoran lokal untuk mengetahui efek yang terjadi sehingga hasilnya dapat dimungkinkan pada penggunaan yang lebih optimal dalam beberapa aplikasi di lapangan.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui prosentase unsur utama penyusun komposisi kimia, fasa struktur mikro, harga kekerasan dan harga impak (*toughness*) pada baja *medium carbon steel* dengan variasi spesimen : *raw material* , tempering 200 °C, tempering 400 °C dan tempering 600 °C.

1.3. Manfaat Penelitian

1. Pengembangan Akademis

Penyusun dapat menerapkan ilmu yang telah dipelajari dan dapat memberi pengetahuan tentang hasil penelitian yang telah dilakukan kepada pembaca atau ahli permesinan dan konsumen sebagai referensi pengembangan penelitian selanjutnya sehingga bermanfaat untuk memperkaya khasanah ilmu pengetahuan dan teknologi.

2. Pengembangan Industri

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada dunia industri terutama industri mesin, pompa, alat-alat berat dan industri lain yang menggunakan baja tuang sebagai material pendukungnya.

1.4. Pembatasan Masalah

Masalah dalam penulisan dibatasi antara lain :

1. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja tuang yang diproduksi salah satu pabrik pengecoran di Batur Ceper Klaten.
2. Pemberian laku panas di dalam tungku (*furnace*) 850°C selama 30 menit kemudian di *quenching* dengan air garam dan dilanjutkan *tempering* selama 30 menit dengan variasi :
 - *Tempering* temperatur rendah (150 – 250°C), ditentukan 200 °C.
 - *Tempering* temperatur sedang (350 – 450°C), ditentukan 400 °C.
 - *Tempering* temperatur tinggi (500– 650°C), ditentukan 600 °C.
3. Pengujian yang dilakukan adalah : uji komposisi kimia, uji struktur mikro, uji kekerasan dan uji impak.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Piyarto (2008), pada penelitiannya mengenai pengaruh proses pengaruh proses *quenching* dan *tempering* pada material *SCMnCr 2* untuk memenuhi standar JIS G 5111 memberikan hasil untuk pengujian komposisi kimia diketahui bahwa logam tersebut mempunyai beberapa unsur penting yaitu : C (0,36%), Mn (1,48%), dan Cr (0,532%), sehingga termasuk pada golongan baja paduan rendah *SCMnCr 2*. Pada foto hasil pengamatan struktur mikro diketahui bahwa pada benda uji terdapat fasa *ferit* dan *perlit* (*raw material*) dan setelah di-*heat treatment* (*tempering after quenching*) terbentuk fasa α (*ferit*) dan martensit temper. Semakin lama waktu penahanan temper, butir *ferit* dan martensit temper makin besar. Dari data hasil pengujian tarik diketahui harga kekuatan tarik *specimen SCMnCr 2* sebelum di-*heat treatment* belum memenuhi standar JIS G 5111 (min 640 N/mm²), yaitu hanya 539,21 N/mm². Setelah di-*heat treatment* (*quenching* dan *tempering*) mengakibatkan kenaikan kekuatan tarik (878,18 ÷ 931,73 N/mm²) karena terbentuknya butir-butir yang lebih halus. Dari pengujian kekerasan diketahui harga kekerasan sebelum di-*treatment* telah memenuhi standar JIS G 5111 (183 HB min). Dan setelah dilakukan proses *heat treatment* (*quenching* dengan variasi waktu *tempering*) harga kekerasan *specimen* lebih tinggi (254,7 ÷ 298,6 N/mm²), namun jika semakin lama waktu *tempering* maka harga kekerasan *specimen* akan sedikit menurun.

Zain (1998), melakukan penelitian mengenai sifat-sifat mekanik baja pegas akibat pengaruh *tempering* dalam mengembangkan kemampuan dan ketangguhan pada komponen-komponen otomotif yang antara lain pegas daun. Pegas daun sebagai komponen kendaraan bermotor yang mendapat beban dinamis (berulang-ulang), mengalami kerusakan akibat lelah dan akan muncul setelah komponen tersebut menjalankan fungsinya. Salah satu cara untuk meningkatkan kekuatan serta umur pegas daun adalah dengan diberikan perlakuan panas (*heat treatment*). Dengan melakukan beberapa proses perlakuan panas dapat dilihat perubahan struktur mikro dari baja pegas tersebut sehingga diperoleh sifat mekanis yang diinginkan. Pada penelitian ini akan dipelajari mengenai pengaruh temperatur *tempering* terhadap sifat mekanis baja pegas. Spesimen (benda uji) dipanaskan sampai pada temperatur 860 °C dan ditahan (*holding*) selama 60 menit kemudian dicelupkan (*quenching*) ke dalam media oli. Selanjutnya dilakukan *tempering* dengan memanaskan spesimen tersebut pada temperatur 300 °C, 450 °C dan 600 °C dengan waktu penahanan selama 30 menit dan pendinginan di udara. Dari hasil penelitian tersebut didapat kekerasan Rockwell C sebesar 45,20 HRC dan tegangan tarik maksimum 146,92 kg/mm², serta regangan saat beban maksimum diperoleh sebesar 10,44 %. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa sifat mekanik yang mendekati atau sesuai dengan standar JIS G 4801 diperoleh dari hasil proses perlakuan panas pada temperatur 450 °C dengan waktu penahanan (*holding time*) selama 30 menit.

Nurwicaksono (2003), pada penelitiannya mengenai analisa pengaruh *quench temper* dan *normalising* terhadap sifat fisis dan

mekanis pada baja karbon sedang dengan hasil pada pengujian kekerasan pada spesimen tanpa perlakuan panas didapatkan harga kekerasan 237,7 VHN pada titik uji tepi (0,1mm dari tepi). Pada titik uji tengah (7,6 mm dari tepi) sebesar 183,2 VHN dan pada titik uji dalam (15,1 mm dari tepi) sebesar 173,8 VHN, sedangkan harga kekerasan rata-rata 198,23 VHN. Pada spesimen *quench temper* diperoleh harga kekerasan 677,3 VHN pada titik uji tepi, pada titik uji tengah sebesar 497,6 VHN dan pada titik uji dalam 426,2 VHN, harga kekerasan rata-rata 533,7 VHN. Dan pada baja dengan perlakuan panas *normalising* didapatkan harga kekerasan 253,5 VHN pada titik uji tepi, pada titik uji tengah sebesar 230,6 VHN dan pada titik uji dalam sebesar 207,8 VHN, harga kekerasan rata-rata sebesar 230,63 VHN. Pengamatan struktur mikro spesimen tanpa perlakuan panas terlihat struktur ferit dan perlit baik pada bagian tepi maupun tengah spesimen, pada spesimen setelah perlakuan *quench temper* terjadi perubahan struktur mikro yaitu terlihat terjadinya martensit, dan pada spesimen dengan perlakuan *normalising* terlihat struktur ferit dan perlit. Dari pengujian tarik didapatkan harga kekuatan tarik maksimum rata-rata pada spesimen tanpa perlakuan panas $684,65 \text{ N/mm}^2$ dan regangan rata-rata 34,425 %. Untuk spesimen dengan perlakuan *quench temper* didapatkan kekuatan tarik maksimum rata-rata $903,3 \text{ N/mm}^2$ dan regangan rata-rata 23,71 % dan pada baja dengan perlakuan *normalising* didapatkan harga kekuatan tarik maksimum rata-rata $696,65 \text{ N/mm}^2$ dan regangan rata-rata 33,265%. Pada pengujian impak pada spesimen tanpa perlakuan didapatkan harga impak rata-rata $0,595 \text{ J/mm}^2$, pada spesimen dengan perlakuan *quench temper* diperoleh harga impak

rata-rata $0,059 \text{ J/mm}^2$, pada baja dengan perlakuan *normalising* didapatkan harga impak rata-rata $0,499 \text{ J/mm}^2$.

2.2. Landasan Teori

Baja dapat diklasifikasikan menurut kandungan unsur karbon (tidak melebihi 2 %) di dalamnya dan unsur paduan yang menyertainya.

2.2.1. Baja karbon (*carbon steel*)

Baja karbon adalah paduan antara besi (Fe) dan karbon C dengan sedikit Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja karbon sangat kuat tergantung pada kadar karbonnya, baja karbon dapat dikelompokkan menjadi tiga macam (Surdia dan Chijiiwa, 1996) :

1. Baja karbon rendah (*low carbon steel*)

Memiliki kadar karbon lebih kecil dari 0,20%, biasanya dipakai untuk : *automobile bodies*, pipa, rantai, roda gigi, kerangka bangunan

2. Baja karbon menengah (*medium carbon steel*)

Memiliki kadar karbon 0,20 % - 0,50 %, biasa dipakai untuk : *connecting rods*, *crank pins*, poros as, *crankshafts*, rel, obeng, palu.

3. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*)

Memiliki kadar karbon 0,50 % - 2 %, biasa dipakai untuk : obeng, gergaji untuk memotong baja, palu pandai besi, sekrup, ragum.

2.2.2. Baja paduan (*alloy steel*)

Baja paduan adalah baja cor yang ditambah unsur-unsur paduan. Tujuan dari pemberian unsur-unsur paduan seperti mangan, nikel atau *molibden*, khrom untuk memberikan sifat-sifat khusus pada baja paduan tersebut. Sebagai contoh sifat-sifat ketahanan aus, ketahanan asam dan korosi atau menambah ketangguhan/ *toughness* (Surdia dan Chijiwa, 1996).

Baja paduan yang diklasifikasikan menurut kadar karbonnya dibagi menjadi 2 (Amstead dan Philip, 1993) :

1. *Low alloy steel*, jika elemen paduannya = 8 %
2. *High alloy steel*, jika elemen paduannya > 8 %

2.3. Diagram Fasa Fe-Fe₃C

Diagram keseimbangan fasa besi-besi karbida dapat dilihat pada Gambar 2.1. Diagram ini dihasilkan pada proses pendinginan lambat. Baja dan besi tuang yang ada kebanyakan berupa paduan besi dengan karbon, dimana karbonnya berupa senyawa intertisial (sementit). Sementit merupakan struktur logam yang metastabil.

Selain unsur karbon pada besi dan baja terkandung kurang lebih 0,25 % Si, 0,3 ÷ 1,5 % Mn serta unsur pengotor lain seperti P, S, dan lainnya. Karena unsur-unsur tadi tidak memberikan pengaruh utama pada diagram fasa, maka diagram fasa tetap dapat digunakan dengan menghiraukan adanya unsur-unsur tersebut.

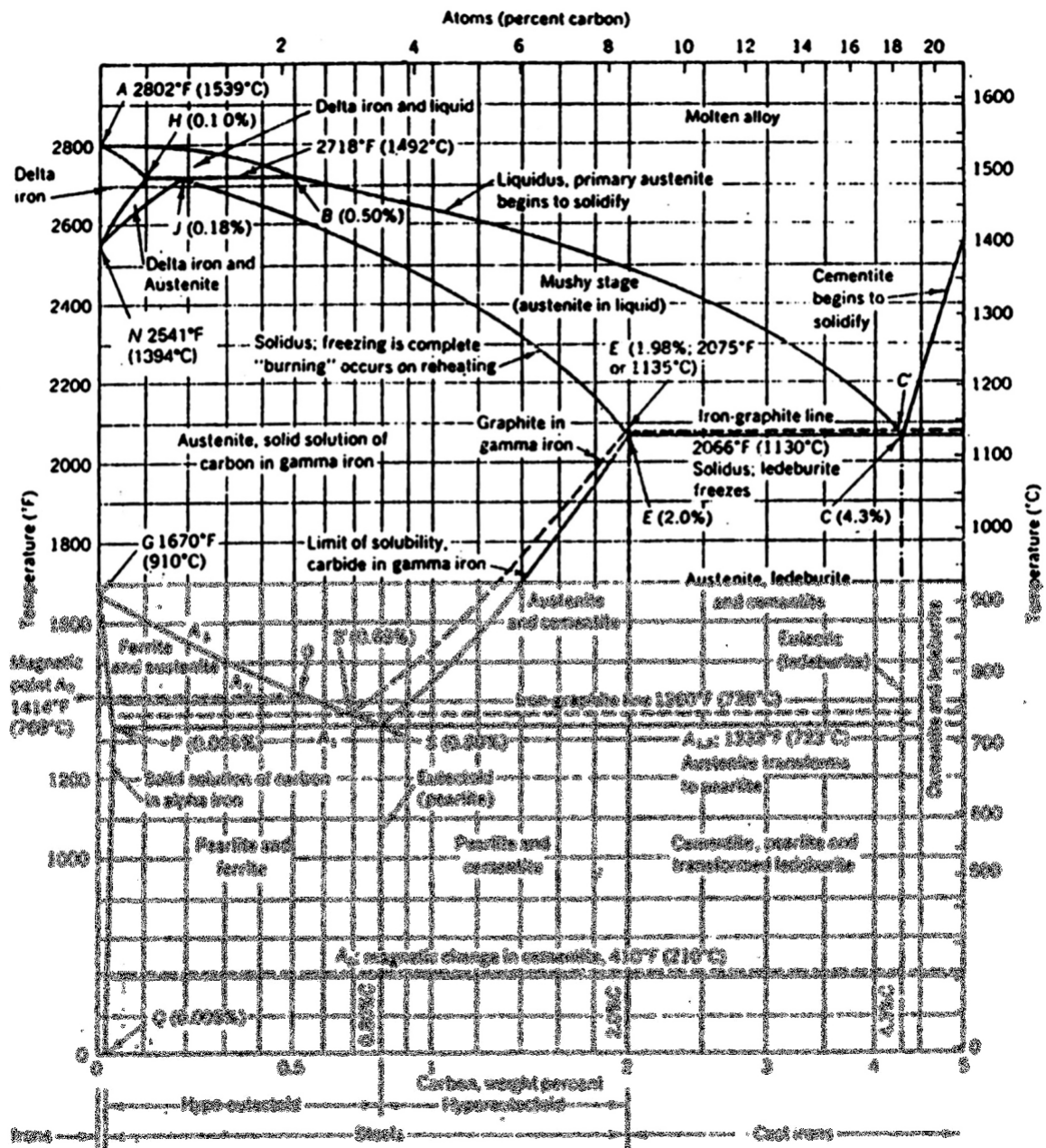
Melalui diagram keseimbangan Fe-Fe₃C secara garis besar baja dapat juga dikelompokkan sebagai berikut :

(1) Baja *hypoeutectoid* ($C = 0,008 \% - 0,80 \%$)

(2) Baja *eutectoid* ($C = 0,8 \%$)

(3) Baja *hypereutectoid* ($C = 0,8 \% - 2 \%$)

Diagram fasa Fe-Fe₃C sangat penting dibidang metalurgi karena sangat bermanfaat dalam menggambarkan perubahan-perubahan fasa pada baja seperti tampak pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Diagram kesetimbangan Fe-Fe₃C (De Garmo,1969)

Titik-titik yang penting pada diagram fasa ini adalah (Surdia dan Chijiwa, 1996) :

A : Titik cair besi.

B : Titik pada cairan yang ada hubungannya dengan reaksi peritetik.

H : Larutan padat δ yang ada hubungannya dengan reaksi peritektik kelarutan karbon maksimumnya adalah 0,10 %.

J : Titik peritektik, selama pendinginan pada komposisi J, fasa γ (austenit) terbentuk dari larutan δ pada komposisi H dan cairan pada komposisi B.

N : Titik transformasi dari besi $\delta \rightleftharpoons$ besi γ , titik transformasi A_4 , dari besi murni.

C : Titik eutektik, selama pendinginan fasa γ dengan komposisi E dan sementit pada komposisi F (6,67 % C) terbentuk dari cairan pada komposisi C. Fasa eutektik ini disebut ledeburit.

E : Titik yang menyatakan fasa γ , ada hubungan dengan reaksi *eutektik*. Kelarutan maksimum dari karbon 2,0 %. Paduan besi karbon sampai komposisi ini disebut baja.

G : Titik transformasi besi $\gamma \rightleftharpoons$ besi α , titik transformasi A_3 untuk besi.

P : Titik yang menyatakan ferit, fasa α , ada hubungan dengan reaksi eutektoid. Kelarutan karbon maksimum 0,025 %.

S : Titik eutektoid, selama pendinginan, ferit pada komposisi P dan sementit pada komposisi K (sama dengan F) terbentuk simultan dari austenit pada komposisi S. Reaksi eutektoid ini dinamakan transformasi A_1 dan fasa eutektoid ini dinamakan perlit.

GS: Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dan komposisi, dimana mulai terbentuk ferit dan austenit disebut garis A_3 .

F : Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dan komposisi, dimana mulai terbentuk sementit dan austenit, disebut garis A_{cm} .

A_2 : Titik transformasi magnetik untuk besi dan ferit.

A_0 : Titik transformasi magnetik untuk sementit.

Beberapa fasa yang sering ditemukan dalam baja karbon :

(1) Austenit

Austenit adalah campuran besi dan karbon yang terbentuk pada pembekuan, pada proses pendinginan selanjutnya austenit berubah menjadi ferit dan perlit atau perlit dan sementit. Sifat austenit adalah lunak, lentur dengan keliatan tinggi. Kadar karbon maksimum sebesar 2,14%.

(2) Ferit

Fasa ini disebut alpha (α). Ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga hanya sedikit menampung atom karbon. Oleh sebab itu daya larut karbon dalam ferit rendah < 1 atom C per

1000 atom besi. Pada suhu ruang, kadar karbonnya 0,008 %, sehingga dapat dianggap besi murni. Kadar maksimum karbon sebesar 0,025 % pada suhu 723 °C. Ferit bersifat magnetik sampai suhu 768° C. Ferit lunak dan liat. Kekerasan dari ferit berkisar antara 140-180 HVN.

(3) Perlit

Fasa ini merupakan campuran mekanis yang terdiri dari dua fasa, yaitu ferit dengan kadar karbon 0,025 % dan sementit dalam bentuk *lamellar* (lapisan) dengan kadar karbon 6,67 % yang berselang-seling rapat terletak bersebelahan. Jadi perlit merupakan struktur mikro dari reaksi eutektoid *lamellar*. Kekerasan dari perlit kurang lebih berkisar antara 180-250 HVN.

(4) Bainit

Bainit merupakan fasa yang terjadi akibat transformasi pendinginan yang sangat cepat pada fasa austenit ke suhu antara 250°C-550°C dan ditahan pada suhu tersebut (isothermal). Bainit adalah struktur mikro dari reaksi eutektoid ($\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) *non lamellar* (tidak berupa lapisan). Bainit merupakan struktur mikro campuran fasa ferit dan sementit (Fe_3C). Kekerasan bainit kurang lebih berkisar antara 300-400 HVN.

(5) Martensit

Martensit merupakan fasa dimana ferit dan sementit bercampur, tetapi bukan dalam *lamellar*, melainkan jarum-jarum sementit. Fasa ini terbentuk dari austenit meta stabil didinginkan

dengan laju pendinginan cepat tertentu. Terjadinya hanya presipitasi Fe_3C unsur paduan lainnya tetapi larut transformasi isothermal pada 260°C untuk membentuk dispersi karbida yang halus dalam matriks ferit. Martensit bilah (*lath* martensite) terbentuk jika kadar C dalam baja sampai 0,6 % sedangkan di atas 1 % C akan terbentuk martensit pelat (*plate* martensite). Perubahan dari tipe bilah ke pelat terjadi pada interval $0,6\% < C < 1,08\%$. Kekerasan dari martensit > 500 HVN.

(6) Sementit (karbida besi)

Pada paduan besi melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua yang disebut karbida besi (sementit). Karbida besi mempunyai komposisi kimia Fe_3C . Dibandingkan dengan ferit, sementit sangat keras. Karbida besi dalam ferit akan meningkatkan kekerasan baja. Akan tetapi karbida besi murni tidak liat, karbida ini tidak dapat menyesuaikan diri dengan adanya konsentrasi tegangan, oleh karena itu kurang kuat. Kekerasan sementit adalah 800 HVN.

2.4. Pengaruh Unsur Paduan pada Baja

Selain unsur *ferro* dan karbon, dalam baja terkandung unsur tambahan lainnya. Bilamana untuk mendapatkan sesuatu dengan kualitas tertentu sesuai dengan yang diinginkan, biasanya dilakukan pengurangan atau penambahan unsur-unsur paduan baja sampai kadar yang diinginkan.

Berikut ini adalah unsur-unsur paduan yang biasanya terdapat pada baja beserta pengaruhnya pada baja, yaitu :

1. Silisium (Si)

Terkandung pada jumlah kecil dalam suatu besi dan dibutuhkan dalam jumlah besar pada jenis-jenis istimewa yang dapat menaikkan kekuatan, kekerasan, kemampuan diperkeras secara keseluruhan, ketahanan aus, tahan terhadap panas dan karat, tahan terhadap korosi. Tetapi dapat menurunkan keliatan serta kemampuan tempa dan las.

2. Mangan (Mn)

Terkandung dalam semua bahan besi bersama unsur silisium. Unsur ini dapat menaikkan kekuatan, kekerasan dan ketahanan aus. Tahan terhadap korosi dan mengalami penguatan pada pembentukan dingin.

3. Khrom (Cr)

Merupakan unsur terpenting pada baja konstruksi dan baja perkakas yang dapat meningkatkan kekerasan, kekuatan, batas rentang, membuat baja tahan karat dan panas serta mempermudah pemolesan dan ketahanan terhadap korosi.

4. Nikel (Ni)

Penambahan unsur nikel pada baja akan memudahkan dilas, disolder dan diberi perlakuan pengelupas serpih dengan baik serta dapat dibentuk dalam keadaan dingin atau panas, dapat dipoles.

Dapat meningkatkan ketangguhan, kekuatan, pengerasan, tahan karat dan tahan terhadap listrik. Di sisi lain dapat menurunkan sifat baja terhadap kecepatan pendinginan.

5. Molibdenum (Mo)

Unsur ini kebanyakan dipadu dalam ikatan khrom (Cr), nikel (Ni) dan vanadium (V) yang menurunkan kekuatan tarik, batas rentang dan penempaan temper secara menyeluruh tapi dengan kerugian dapat menurunkan keliatan.

6. Vanadium (V)

Unsur ini dapat meningkatkan kualitas seperti sifat unsur molibdenum (Mo) dengan dampak lain dapat menurunkan kepekaan terhadap sengatan panas yang melewati batas perlakuan panas.

7. Wolfram (W)

Sebagai bubuhan baja yang mempunyai titik lebur tinggi. Biasanya produk dihasilkan berupa kawat pijar dan logam keras. Meningkatkan kekerasan, batas rentang, ketahanan panas, ketahanan normalisasi dan daya serat, serta dapat menurunkan keliatan pada baja dalam skala kecil.

8. Aluminum (Al)

Mempunyai pengaruh yang hampir sama dengan unsur silisium, yaitu menambah ketangguhan dan kemampuan diperkeras secara menyeluruh dan meningkatkan ketahanan karat.

2.5. Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Heat treatment dapat didefinisikan sebagai proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisik dan mekanik logam tersebut. Sifat-sifat fisik yang dimaksud adalah struktur mikro (konfigurasi distribusi fasa untuk suatu komposisi tertentu), dan dalam proses ini tidak terjadi perubahan pada komposisi bahan. Perubahan sifat fisik tersebut akan mengakibatkan sifat mekanik bahan juga berubah.

2.5.1. Proses *Heat Treatment* Pada Baja

Secara umum langkah pertama proses *heat treatment* adalah memanaskan logam atau paduan sampai temperatur tertentu, lalu menahan beberapa saat pada temperatur tersebut, kemudian mendinginkannya dengan laju pendinginan tertentu. Selama pemanasan dan pendinginan ini akan terjadi beberapa perubahan struktur mikro, dapat berupa fasa atau bentuk atau ukuran butir kristal, dan perubahan struktur mikro ini akan menyebabkan terjadinya perubahan sifat dari logam atau paduan tersebut.

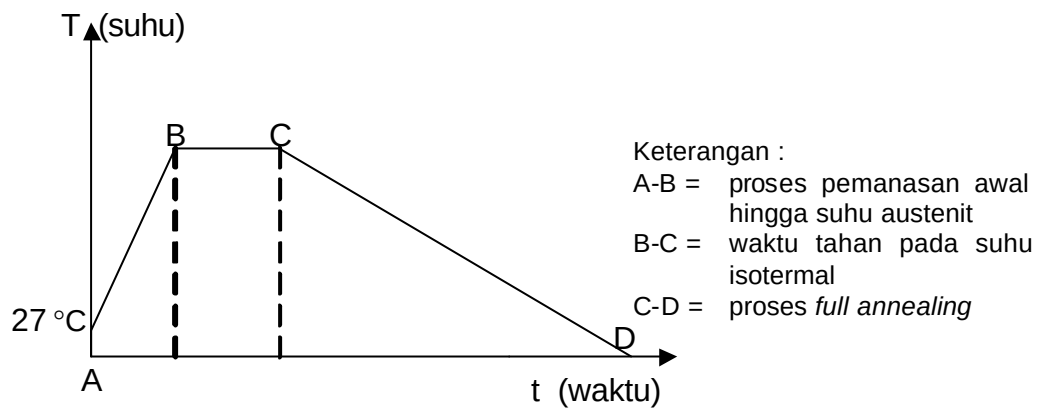
Dalam prakteknya terdapat banyak macam proses *heat treatment*. Secara garis besar berbagai macam proses *heat treatment* ini dibedakan menurut tingginya temperatur pemanasan, lamanya keberadaan pada temperatur tersebut dan cara laju pendinginan. Proses laku panas atau *heat treatment* dibedakan menjadi 2 macam :

1. Proses laku panas yang menghasilkan struktur yang *equilibrium*, contohnya : *annealing* dan *normalizing*.
2. Proses laku panas yang menghasilkan struktur yang *non equilibrium*, contohnya : *hardening*.

Adapun beberapa proses laku panas (*heat treatment*) dijelaskan di bawah ini:

A. Full Annealing

Anil (*Full Annealing*) adalah proses *heat treatment* yang dilakukan dengan memanaskan baja sampai temperatur pada daerah austenit lalu mendinginkannya secara perlahan-lahan di dalam tungku. Adapun caranya adalah dengan memanaskan baja sedikit di atas suhu kritis A_3 atau A_1 (tergantung jenis baja karbonnya), dibiarkan sampai suhu merata dan disusul dengan pendinginan secara perlahan-lahan di dalam tungku sambil dijaga agar suhu di bagian luar dan dalam kira-kira sama. Seberapa tinggi pemanasannya dan seberapa lambat laju pendinginannya, tergantung pada tujuan dan kondisi awal benda kerja. Tujuan dari *full annealing* ini adalah melunakkan, juga dapat memperbaiki sifat kelistrikannya dan kemagnetan, serta sifat ketangguhannya. Proses *annealing* ditunjukkan pada Gambar 2.2.

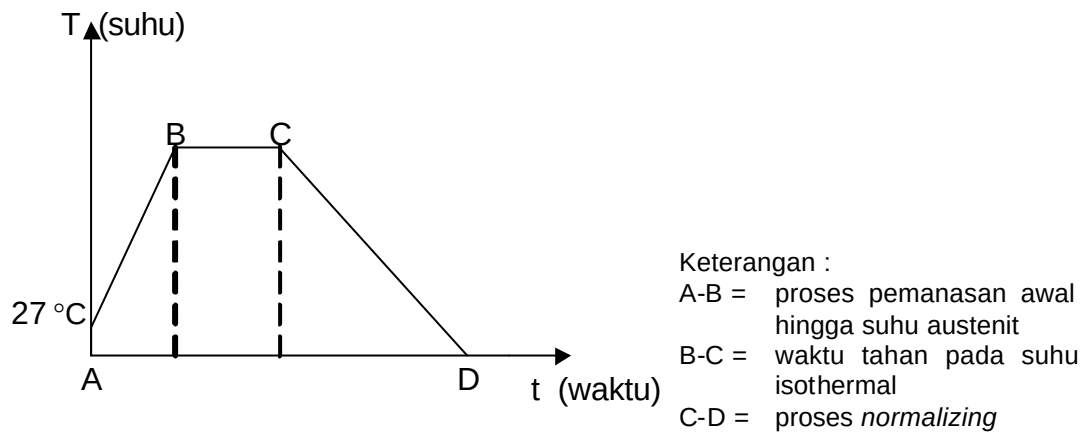


Gambar 2.2. Diagram *full annealing*

B. Normalizing

Normalizing adalah proses pemanasan pada suhu *austenit* dan didinginkan di udara terbuka. Adapun caranya adalah memanaskan baja pada suhu 10 – 40° C di atas daerah kritis atas disusul dengan pendinginan dalam udara⁽¹⁾. *Normalizing* biasa diterapkan pada baja karbon rendah dan baja paduan untuk menghilangkan pengaruh pengerjaan bahan sebelumnya, menghilangkan tegangan dalam, dan memperoleh sifat-sifat fisik yang diinginkan. Proses *normalizing* ditunjukkan Gambar 2.3.

⁽¹⁾Amstead, B.H., Djaprie, S. (Alih Bahasa), 1995, *Teknologi Mekanik*, Edisi ke-7, Jilid I, PT. Erlangga, Jakarta, hal. 152.



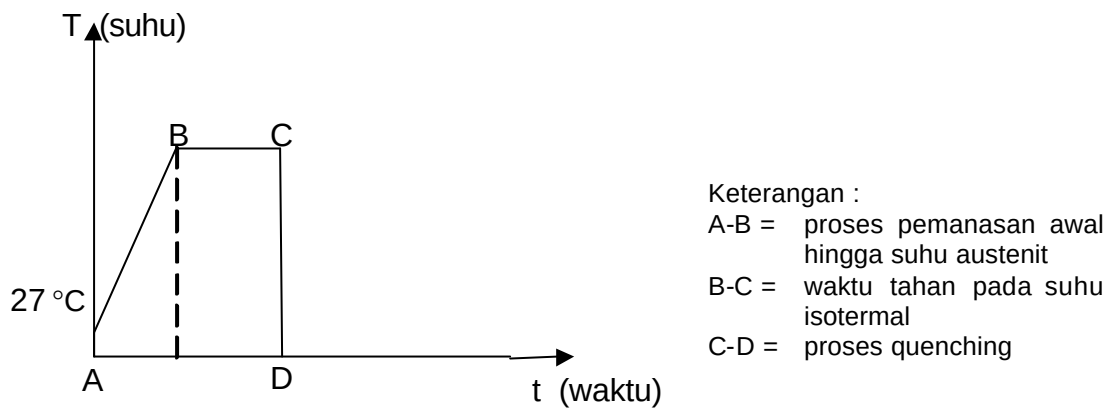
Gambar 2.3. Diagram proses *normalizing*

C. *Quenching* (Pencelupan)

Quenching yaitu memanaskan baja sampai suhu austenit, kemudian dilakukan pendinginan secara cepat dengan cara dicelup ke dalam cairan pendingin, yang dapat berupa air, air garam, minyak, atau oli. Pencelupan ini bertujuan menambah kekerasan baja, yang biasanya dilakukan untuk memperoleh sifat tahan aus yang tinggi atau kekuatan yang lebih baik. Dengan pendinginan cepat ini maka terbentuk martensit yang keras.

Temperatur pemanasan, lama waktu tahan dan laju pendinginan untuk pengerasan banyak tergantung pada komposisi kimia dari baja. Kekerasan yang terjadi pada benda akan tergantung pada temperatur pemanasan, waktu tahan, jenis cairan dan laju pendinginan yang dilakukan pada proses laku panas, disamping juga pada *hardenability* baja yang dikeraskan. Semakin tinggi kadar karbon, semakin tinggi

hardenability yang dimiliki baja. Proses *quenching* ditunjukkan Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Diagram *quenching*

2.5.2. Tempering

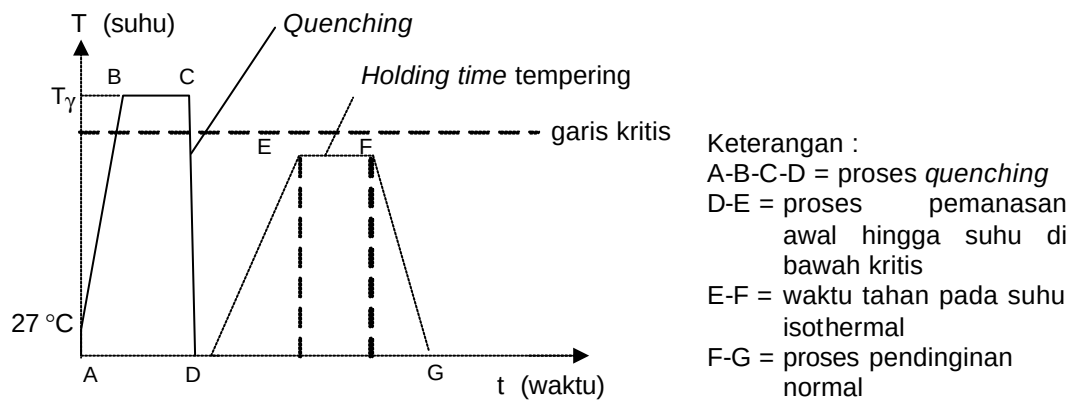
Tempering didefinisikan sebagai proses pemanasan baja setelah proses *quenching* sehingga diperoleh *ductility* tertentu.

Proses *tempering* biasanya dilatarbelakangi oleh :

1. Martensit keras dan getas.
2. Mampu mesin dan *ductility* rendah.

Tempering pada suhu rendah antara $150^{\circ}\text{C} - 230^{\circ}\text{C}$ tidak akan menghasilkan penurunan kekerasan yang berarti, karena pemanasan akan menghilangkan tegangan dalam terlebih dahulu. Bila suhu temper meningkat, martensit terurai lebih cepat dan sekitar suhu 315°C perubahan fasa menjadi martensit temper berlangsung lebih cepat. Unsur paduan mempunyai pengaruh yang berarti atas temper, pengaruhnya menghambat laju pelunakan sehingga baja paduan akan memerlukan suhu temper yang lebih tinggi untuk memperoleh kekerasan tertentu. Pada proses temper perlu diperhatikan suhu

maupun waktu. Meskipun pelunakan terjadi pada saat-saat pertama setelah suhu temper dicapai, selama pemanasan (yang cukup lama) terjadi penurunan kekerasan. Biasanya baja dipanaskan pada suhu tertentu kemudian ditahan dalam waktu yang tertentu untuk mendapatkan harga kekerasan dan ketangguhan yang diinginkan. Proses *tempering* ditunjukkan Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Diagram *tempering*

2.5.3. Temperatur Austenitisasi

Untuk mendapatkan martensit yang keras maka pada saat pemanasan harus terjadi struktur *austenit* yang dapat bertransformasi menjadi martensit. Bila pada saat pemanasan masih terdapat struktur lain setelah di-*quench* atau didinginkan akan diperoleh struktur yang tidak seluruhnya martensit, dan bila struktur itu *ferit* maka kekerasan yang dihasilkan tidak maksimal.

Untuk baja karbon temperatur austenit biasanya 30°-50° C di atas temperatur kritis A_3 untuk baja *Hypoeutectoid* dan 30°-50° C di atas temperatur kritis A_1 untuk baja *Hyperutectoid*.

Pedoman penentuan suhu austenit selain sama dengan di atas juga dipengaruhi unsur paduan terhadap temperatur austenit (A_1 dan A_3).

2.5.4. Metode Pemanasan dan Pendinginan

Dalam melakukan *heat treatment* biasa menggunakan metode pemanasan sebagai berikut :

1. Dapur pemanas sudah mencapai titik austenitisasi baru kemudian benda kerja dimasukkan terus ditahan.
2. Benda kerja dimasukkan ke dapur pemanas baru menaikkan suhu sampai titik austenitisasi terus ditahan.

Untuk proses pendinginan dapat menggunakan metode sebagai berikut :

1. Celup cepat (*quenching*), pendinginan cepat dari suhu austenit kedalam media pendingin (air, oli atau minyak).
2. Pendinginan dalam tungku (*furnace*), dari suhu austenit sampai suhu kamar, yang disebut proses *annealing*.
3. Pendinginan dalam suhu terbuka dari suhu austenit sampai mencapai suhu kamar, yang disebut proses *normalizing*.
4. Pendinginan tunda dari suhu austenit mula-mula didinginkan cepat sampai mencapai suhu tertentu, ditahan kemudian didinginkan lagi di udara terbuka sampai mencapai suhu kamar, yang disebut proses *austempering*.

2.5.5. Waktu Penahanan (*Holding Time*)

Pada saat tercapainya temperatur kritis atas, struktur sudah hampir seluruhnya austenit. Tetapi pada saat itu austenit masih berbutir halus dan kadar karbon serta unsur paduannya belum homogen dan biasanya masih ada karbida yang belum larut. Untuk itu baja perlu ditahan pada temperatur austenit beberapa saat untuk memberi kesempatan larutnya karbida dan lebih homogennya austenit. Dan lamanya waktu penahan ini tergantung pada :

1. Tingkat kelarutan karbida.
2. Ukuran butir yang diinginkan.
3. Laju pemanasan.
4. Ketebalan spesimen (ukuran penampang).

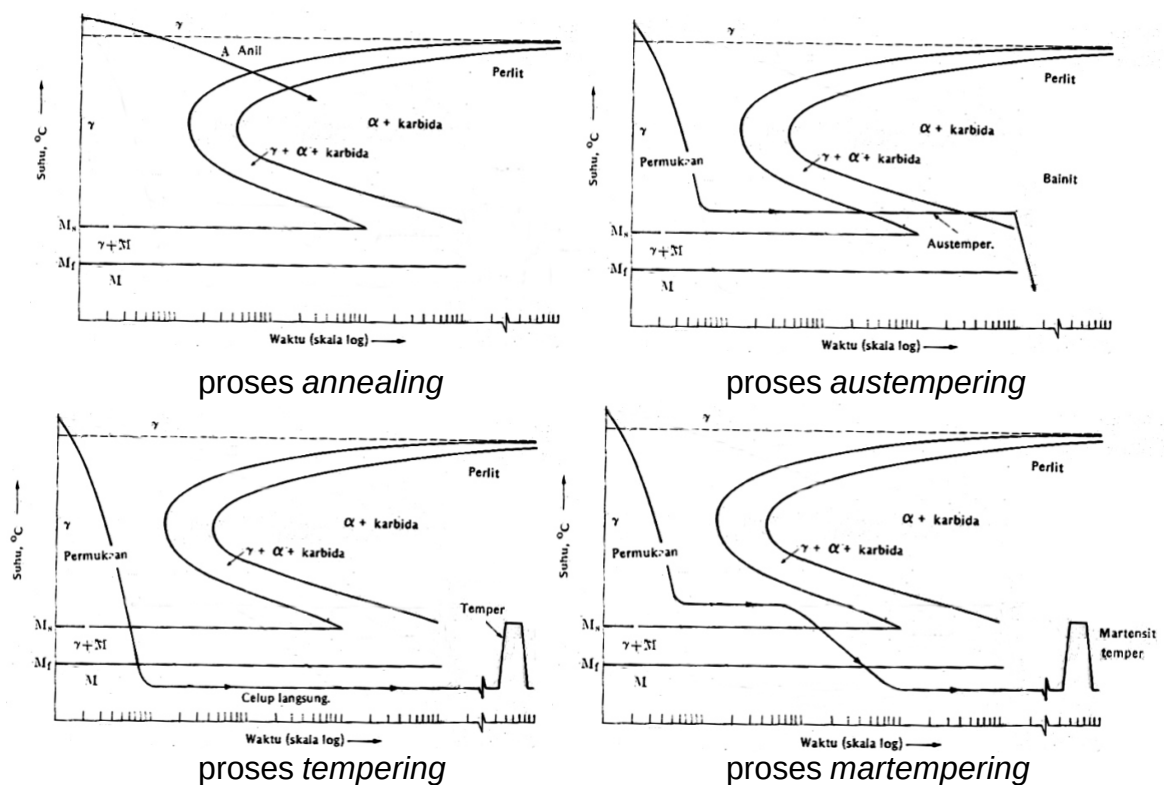
Beberapa pedoman pemakaian waktu tahan pada proses *heat treatment* pada baja :

1. Baja konstruksi dari baja karbon dan baja paduan rendah yang mengandung karbida yang mudah larut, waktu tahan 5 - 15 menit.
2. Baja konstruksi dari baja paduan menengah, waktu tahan 15 - 20 menit.
3. *Low Carbon Steel*, waktu tahan 10 - 30 menit.
4. *High Alloy Chrome Steel*, waktu tahan 10 - 60 menit.
5. *Hot Work Tool Steel*, waktu tahan 15 – 30 menit.

6. *High Speed Steel*, waktu tahan beberapa menit saja, karena temperatur pemanasannya sangat tinggi, 1200° - 1300° C.

2.6. Diagram Transformasi untuk Pendinginan

Diagram *IT* (*Isothermal Transformation*) atau *TTT* (*Time Temperature Transformation*) dilakukan dengan memanaskan baja karbon sehingga mencapai temperatur austenitisasi kemudian mendinginkan dengan laju pendinginan kontinu pada daerah fasa austenit kemudian menahannya untuk waktu tertentu dan mendinginkan lagi dengan laju pendinginan kontinu (Gambar 2.6).



Gambar 2.6. Diagram *Isothermal* (IT) atau *TTT* / *Time Temperature Transformation* (Vlack, 1992)

Dari diagram *TTT* (*Time Temperature Transformation*) dapat dibuat tabel beberapa macam proses *heat treatment* pada baja seperti Tabel 2.1.

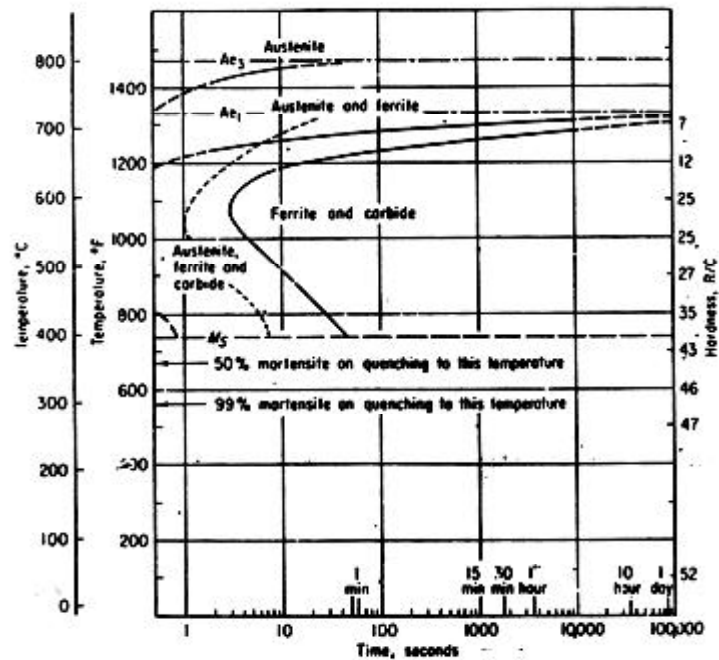
Tabel 2.1. Beberapa macam *heat treatment* baja

Proses	Tujuan	Prosedur	Fasa
Anil	Pelunakan	Pendinginan lambat dari daerah γ stabil.	α + karbida
Celup	Pengerasan	Celup yang lebih cepat daripada CRM	Martensit
Austemper	Pengerasan tanpa pembentukan martensit rapuh	Celup disusul dengan transformasi isothermal diatas M_s	α + karbida
Temper.	Peningkatan ketangguhan (biasanya dengan pelunakan minimal)	Pemanasan ulang dari martensit	α + karbida

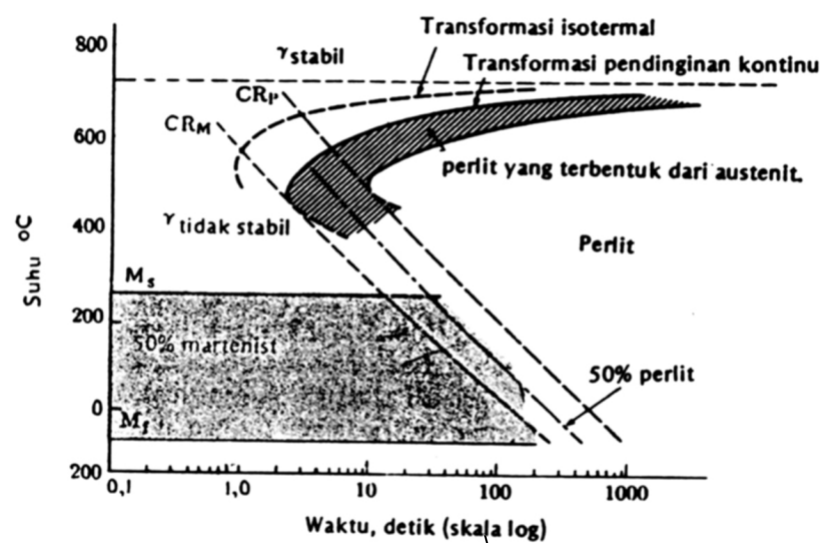
(Sumber : Van Vlack; Djaprie, S., 1992)

Untuk menganalisa laju pendinginan yang tidak lambat dan tidak cepat dibuat diagram *CCT* (*Continuous Cooling Transformation*). Diagram ini dibuat dengan cara memanaskan baja karbon sampai mencapai temperatur austenitisasi kemudian mendinginkan dengan laju pendinginan yang kontinyu. Pada Gambar 2.7 sampai Gambar 2.9 memperlihatkan laju pendinginan untuk jenis baja *hypoeutectoid*, baja *eutectoid* dan baja *hypereutectoid*. Diagram transformasi pendinginan kontinyu atau *CCT* (*Continuous Cooling Transformation*) bentuknya agak berbeda dibanding dengan *TTT* (*Time Temperature Transformation*). Kurva transformasi tergeser sedikit ke kanan bawah dan pada baja karbon

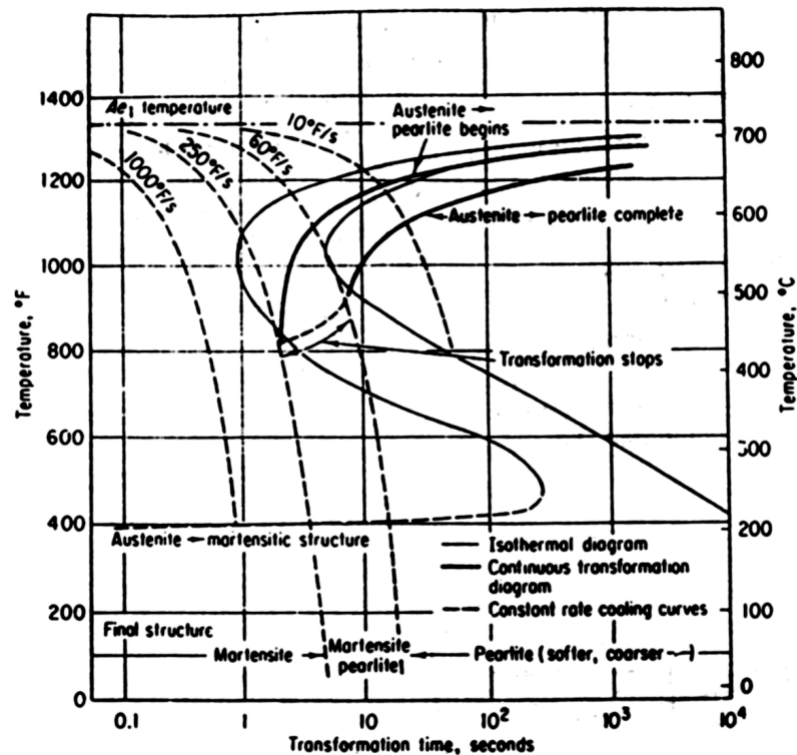
tidak terdapat daerah transformasi austenit-bainit. Ini disebabkan karena kurva awal transformasi austenit-bainit terhalang oleh kurva transformasi austenit perlit.



Gambar 2.7. Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*) untuk baja hypoeutectoid (Avner, 1974)



Gambar 2.8. Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*) untuk baja eutectoid (Dieter, 1990)



Gambar 2.9. Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*) untuk baja hypereutectoid (Avner, 1974)

2.7. Sifat Mekanik Baja

Sifat mekanis suatu bahan adalah kemampuan bahan untuk menahan beban-beban dinamis maupun statis yang dikenakan padanya. Beberapa sifat mekanis bahan dijelaskan sebagai berikut :

(1) Keliatan (*ductility*)

Adalah sifat dari suatu bahan yang memungkinkannya bisa dibentuk secara permanen, misalnya tembaga yang dibentuk menjadi kawat.

(2) Ketangguhan (*thoughness*)

Adalah sifat suatu bahan yang menunjukkan besarnya energi yang dibutuhkan untuk mematahkan bahan.

(3) Kekuatan tarik

Kekuatan tarik dari suatu bahan ditetapkan dengan membagi gaya maksimum dengan luas penampang mula.

2.8. Pengujian Kekerasan

Penunjukan kekerasan bisa diketahui dengan jalan mengukur ketahanan suatu logam terhadap penekanan, yaitu dengan jalan penekanan bola baja yang dikeraskan atau suatu piramida intan pada permukaannya, lalu ukuran bekasnya diukur berdasarkan beban penekanan dan ukuran dari bola atau piramida, jadi luas dari bekasnya memberikan suatu perbandingan nilai kekerasan. Bola baja digunakan pada test kekerasan Brinell dan titik intan pada test kekerasan piramida Vickers yang lebih cocok digunakan untuk logam-logam yang lebih keras.

Dalam sistem test kekerasan Rockwell, yang bisa digunakan adalah intan konis untuk logam yang keras dan bola untuk yang lebih lunak. Nilai-nilai yang dihasilkan berturut-turut adalah Rc dan Rb.

Lima definisi kekerasan, yaitu :

1. Kekuatan bahan terhadap penetrasi.
2. Kekuatan bahan terhadap goresan.
3. Kekuatan bahan terhadap beban impak.
4. Ukuran daya tahan bahan terhadap deformasi plastik.

5. Ukuran ketahanan bahan terhadap lekukan.

Pengujian kekerasan pada alat *Brinell* hanya terbatas pada bahan tertentu saja, tidak cocok untuk bahan yang keras atau bahan yang dikeraskan. Selain itu hasil pengujian kurang tepat karena bekas luka penekanan terlalu besar. Pengujian dengan metode *Vickers* memiliki keuntungan yaitu dapat menguji bahan yang terkecil sampai homogen. Metode *Vickers* menggunakan piramida intan sebagai penetrator. Karena bentuk penumbuknya seperti piramida, maka disebut uji kekerasan piramida intan. Angka kekerasan piramida intan (DPH) atau angka kekerasan *Vickers* (HV) didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak.

HV dapat ditentukan dari persamaan seperti di bawah ini :

$$HV = \frac{2P \sin\left(\frac{f}{2}\right)}{d^2} = \frac{1,854.P}{d^2} \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

P = Beban yang diterapkan (kg)

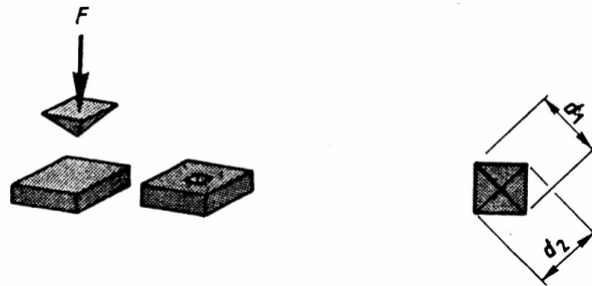
d = diagonal rata-rata

$\emptyset = 136^\circ$

Uji kekerasan *Vickers* banyak dilakukan pada pekerjaan penelitian, karena metode tersebut memberi hasil berupa skala

⁽²⁾ Van Vliet, G.L.J, 1984, *Teknologi untuk Bangunan Mesin Bahan-bahan I*, PT. Erlangga, Jakarta, hal. 50.

kekerasan yang kontinyu. Bentuk bekas injakan yang memenuhi azas Vickers ditunjukkan pada Gambar 2.10.

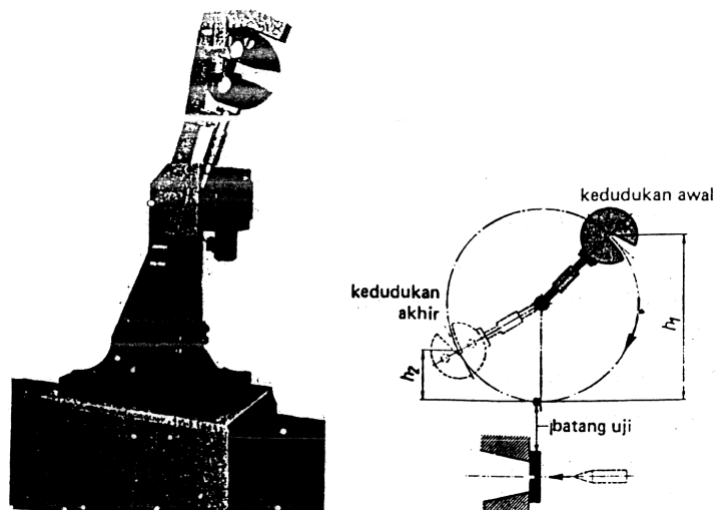


Gambar 2.10. Azas pengukuran kekerasan Vickers (Van Vliet, 1984)

2.9. Pengujian impact

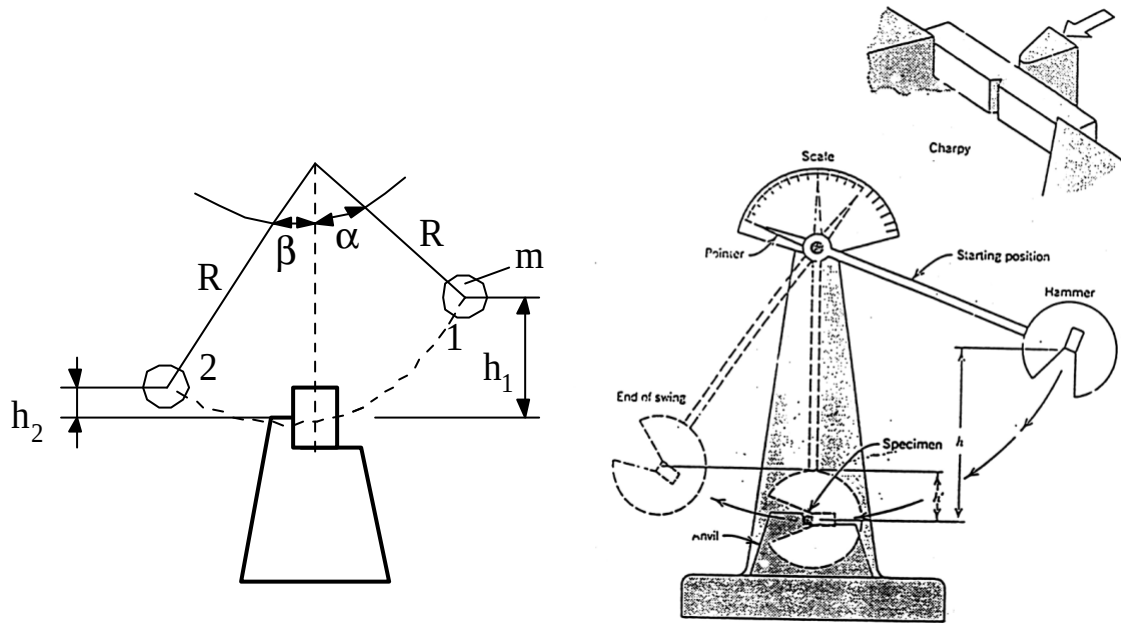
Pada pengujian ini batang uji dibuat takikan atau dibuat beralur dan diputuskan dengan satu pukulan (kecepatan peretakan dan kecepatan perubahan bentuk).

Bentuk uji pukul takik Metode Charpy (berasal dari Amerika) ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Uji pukulan takik Metode *Charpy* (Van Vliet, 1984)

Untuk mekanisme posisi penempatan benda dan perpatahan benda uji impak ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Mekanisme perpatahan benda uji impak (Groenendijk, 1984)

Tenaga yang diserap benda uji atau tenaga untuk mematahkan benda uji dapat ditulis dalam bentuk rumus :

$$E = m \times g (h_1 - h_2) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$= \text{gaya} \times \text{jarak}$$

dimana :

E = energi terserap = tenaga untuk mematahkan benda uji (Joule)

m = massa palu godam (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s^2) = 10 m/s^2

R = jarak titik putar ke titik berat palu godam (m)

⁽³⁾ Van der Linde Groenendijk, G. ; Sobandi, S., 1984, *Pengujian Materi*, Cetakan ke-1, CV. Bina Cipta, Jakarta, hal. 122.

α = sudut jatuh ($^{\circ}$)

β = sudut ayun ($^{\circ}$)

h_1 = tinggi jatuh palu godam (m) = $R+R \sin (\alpha - 90)$

h_2 = tinggi ayunan palu godam (m) = $R+R \sin (\beta - 90)$

Sehingga :

$$\text{Harga Impak} = \frac{\text{energi terserap (Joule)}}{\text{luas penampang patahan benda uji (mm}^2\text{)}} \dots\dots\dots (4)$$

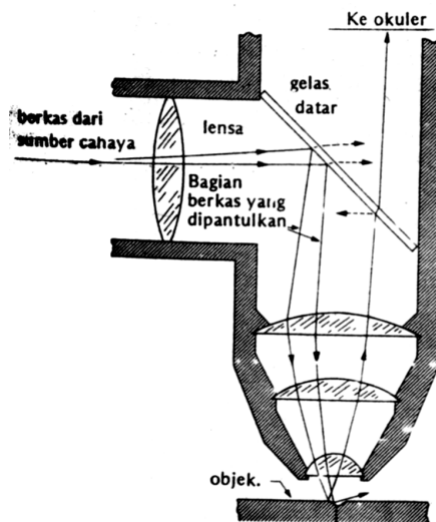
2.10. Sifat Fisik Baja

Sifat fisik suatu bahan adalah sifat bahan yang berhubungan dengan struktur atomnya. Sifat fisik ini akan dibahas dalam sub bab berikut :

2.10.1. Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro adalah suatu pengujian untuk mengetahui susunan fasa pada suatu benda uji atau spesimen. Struktur mikro dan sifat paduannya dapat diamati dengan berbagai cara bergantung pada sifat informasi yang dibutuhkan. Salah satu cara dalam mengamati struktur suatu bahan yaitu dengan teknik *metalografi* (pengujian mikroskopik). Mikroskop mikro yang digunakan mengamati struktur bahan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13.

⁽⁴⁾ Ibid, hal. 122.



Gambar 2.13. Pengamatan struktur mikro dengan mikroskop

(Van Vlack, 1992)

Proses terjadinya perbedaan warna, besar butir, bentuk dan ukuran butir yang mendasari penentuan dari jenis dan sifat fasa pada hasil pengamatan foto mikro adalah diakibatkan adanya proses pengetsaan. Salah satu jenis bahan yang digunakan dalam pengetsaan adalah *Aqua Regia*. Prinsip dari pengetsaan sebenarnya merupakan proses pengikisan mikro terkendali yang menghasilkan alur pada permukaan akibat *crystal faceting* yaitu orientasi kristal yang berbeda (batas butir), akan terjadi reaksi kimia yang berbeda intensitasnya. Maka atom-atomnya akan lebih mudah terlepas sehingga terkikis lebih dalam. Akibat adanya perbedaan ini dan bergantung pada arah cahaya pantulan yang tertangkap oleh lensa maka akan tampak bahwa fasa yang lebih lunak akan terlihat lebih terang dan fasa yang lebih keras akan terlihat gelap. Begitu juga akan terlihat

bentuk dan ukuran butirnya sehingga dapat dibedakan fasa-fasa yang terlihat dalam bahan yang akan diuji.

2.10.2. Komposisi Kimia

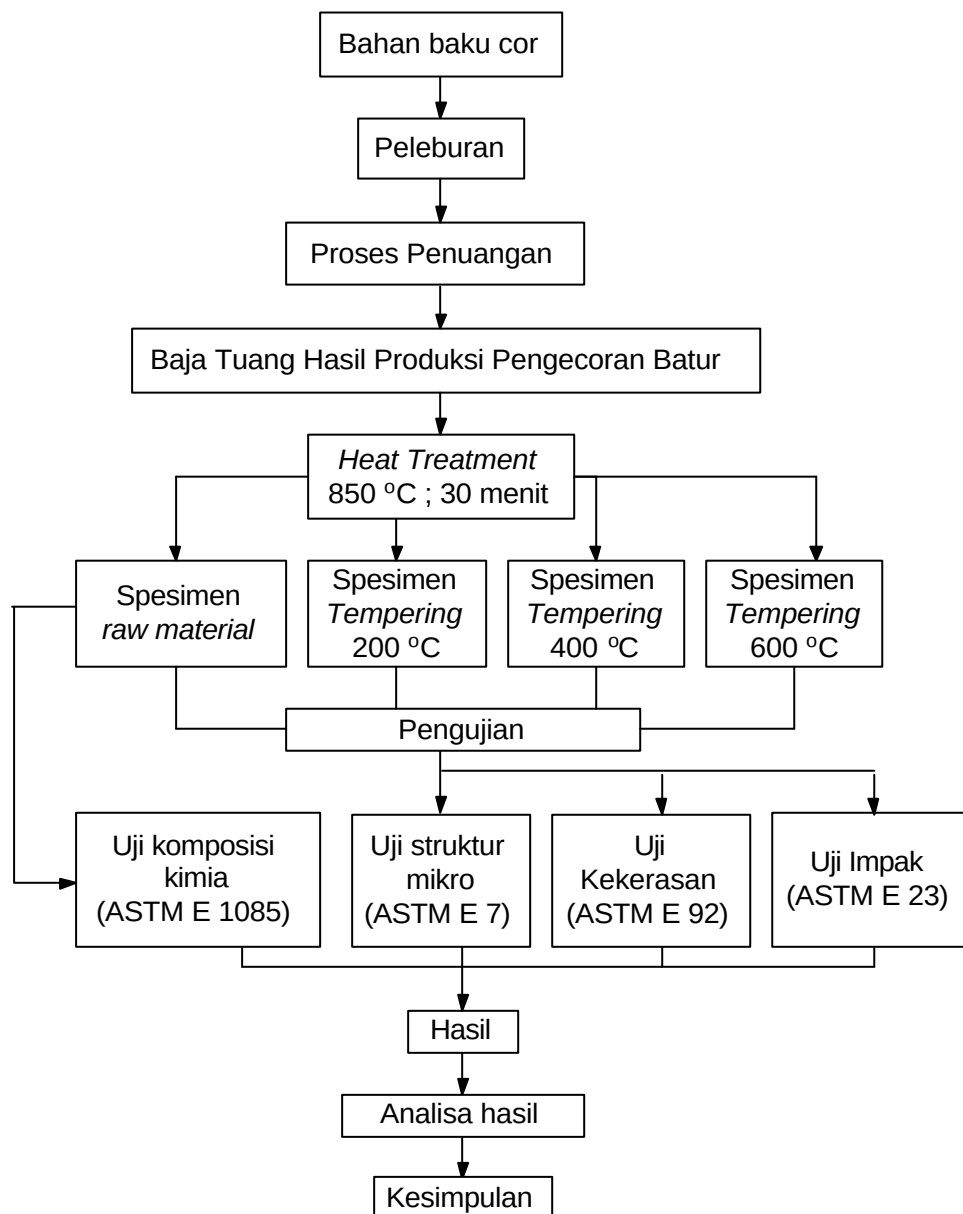
Pengujian komposisi kimia adalah suatu pengujian untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang terdapat pada logam dari suatu benda uji. Komposisi kimia dari logam sangat penting untuk menghasilkan sifat logam yang baik. *Spectrometer* adalah alat yang mampu menganalisa unsur-unsur logam induk dan campurannya dengan akurat, cepat dan mudah dioperasikan. Prinsip dasar dari diketahuinya kandungan unsur dan komposisinya pada alat ini adalah apabila suatu logam dikenakan energi listrik atau panas maka kondisi atom-atomnya akan menjadi tidak stabil. Elektron-elektron yang bergerak pada orbital atomnya akan melompat ke orbital yang lebih tinggi. Apabila energi yang dikenakan dihilangkan maka elektron tersebut akan kembali ke orbit semula dan energi yang diterimanya akan dipancarkan kembali dalam bentuk sinar. Sinar yang terpancar memiliki panjang gelombang tertentu sesuai dengan jenis atom unsurnya, sedangkan intensitas sinar terpancar sebanding dengan kadar konsentrasi unsur. Hal ini berarti bahwa jenis suatu unsur dan kadarnya dapat diketahui melalui panjang gelombang dan intensitas sinar yang terpancar.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Untuk memudahkan dalam melakukan penelitian, maka disusunlah suatu diagram alir penelitian seperti Gambar 3.1 :



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

3.2. Bahan Baku Cor

Bahan baku yang umumnya dipergunakan untuk pembuatan baja cor mempergunakan : besi kasar (*pig iron*) besi bekas (*iron scrap*), dan baja bekas (*steel scrap*). Secara umum apabila dilihat dari bahan bakunya sama, hanya perbedaannya terletak pada jumlah (berat) dan ukuran bahan baku yang disesuaikan dengan kualitas produk yang diinginkan.



Gambar 3.2. Bahan baku cor (CV. Sinar Super Baja, 2010)

3.3. Peleburan

Proses peleburan menggunakan dapur induksi. Pada dapur ini coran dialiri arus induksi sehingga terjadi kalor dalam dapur dan meleburkan bahan hingga mencair. Keuntungan menggunakan dapur induksi (listrik) daripada dapur kupola adalah :

- Dapat mencapai suhu tinggi dalam waktu singkat dan suhunya mudah diatur.
- Listrik adalah sumber kalor yang bersih dan tak mempengaruhi susunan besi.

- Kerugian karena penguapan hampir tidak ada.
- Rendaman termis tinggi.

Dapur induksi yang digunakan merupakan induksi frekwensi tinggi (di atas 1000 Hz) memiliki keuntungan :

- Mudah mengontrol komposisi dan temperatur.
- Kehilangan logam yang sedikit.
- Memungkinkan untuk memakai logam bermutu rendah.
- Murah dan operasinya mudah.



Gambar 3.3. Pemanasan tanur induksi (CV. Sinar Super Baja, 2010)



Gambar 3.4. Proses peleburan (CV. Sinar Super Baja, 2010)

1

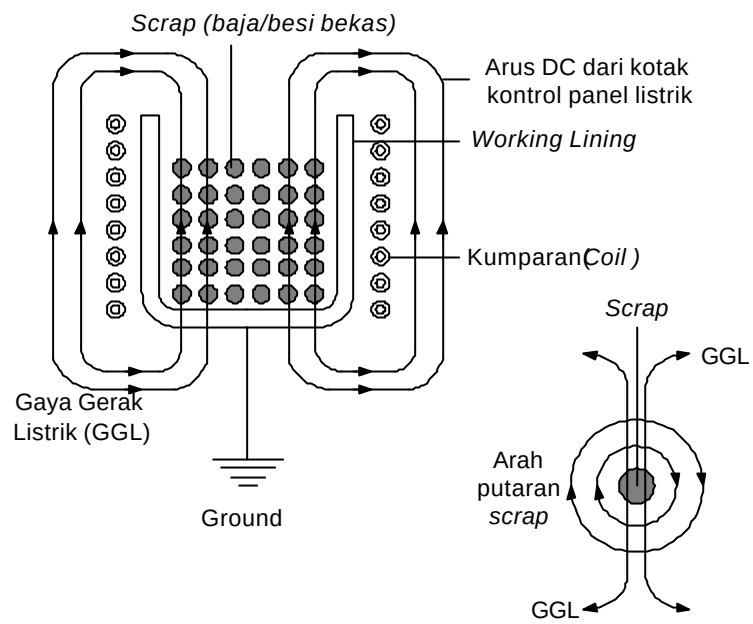


Gambar 3.5. Proses pembersihan kotoran logam dari tungku
(CV. Sinar Super Baja, 2010)

Adapun sifat-sifat dapur induksi frekwensi tinggi, yaitu :

- Kapasitas peleburan kecil dan titik cair tinggi.
- Laju peleburan cepat dan gaya pengaduk lemah.
- Sifat-sifat operasional adalah cocok untuk cor cepat, temperatur tinggi, peleburan dari bahan dingin.
- Harga peralatan mahal.

Pada prosesnya bahan baku terus dtambah sesuai kapasitas dapurnya dan senantiasa diaduk dengan batang pengaduk. Proses ini akan berlangsung selama 1 jam untuk peleburan yang pertama dan untuk peleburan selanjutnya hanya membutuhkan waktu 1 jam, hal ini disebabkan suhu dapur induksi telah tinggi sehingga proses peleburan akan berjalan dengan cepat. Setelah logam mencair atau mencapai suhu 1650-1750 °C, maka logam siap dituangkan ke panci ladel yang selanjutnya dimasukkan dalam cetakan spesimen membutuhkan waktu $\pm$ 2 menit.



Gambar 3.6. Prinsip kerja dapur induksi



Gambar 3.7. Pengontrolan suhu dapur induksi
(CV. Sinar Super Baja, 2010)

3.4. Proses Penuangan

Setelah peleburan baja dan cetakan siap, maka penuangan baja siap dilakukan. Penuangan baja cair ini menggunakan ladel. Ladel ini biasanya dilapisi bahan tahan api untuk menjaga temperatur besi cair. Logam yang telah mencair diambil dengan ladel dan dituangkan ke dalam cetakan melalui sistem konvensional yaitu dengan panci tuang bertangkai panjang.



Gambar 3.8. Penuangan baja cair ke dalam cetakan dengan cara konvensional (CV. Sinar Super Baja, 2010)

Kesulitan-kesulitan yang timbul selama penuangan adalah :

- Rongga cetakan tidak terisi penuh, hal ini disebabkan karena cairan lekas mengental karena terlalu banyak silisium (Si) dan banyak sulfur (S).

- b. Terjadi rongga dalam benda tuang, yang disebabkan :
- coran setelah dingin akan menyusut sehingga terjadilah rongga.
 - udara tak dapat keluar karena : pori-pori terlalu halus, cetakan kurang tusukan, lubang pori-pori kurang banyak dan cairan logam lekas kental.
- c. Benda tuang keras dan tak dapat dikerjakan oleh mesin karena pada cairan logam kurang Si dan pendinginannya terlalu cepat.
- d. Warna tuang retak atau pecah karena adanya perbedaan yang besar dari bagian lainnya, sehingga pendinginan menjadi lebih berlainan, akibatnya terjadi tegangan bahan antara bagian tebal dan bagian yang tipis.

Setelah proses pengecoran selesai, pasir harus disingkirkan dari rangka cetakan dan dari coran. Jarak waktu antara pendinginan dengan pembongkaran membutuhkan waktu 12 jam. Setelah pembongkaran coran (tuangan diangkat dari cetakan), benda yang masih kasar ini, permukaan kemudian dibersihkan pasirnya.



Gambar 3.9. Hasil coran yang telah dibersihkan
(CV. Sinar Super Baja, 2010)

3.5. Pengerjaan Akhir Cor (*Finishing*)

- Pemotongan sistem saluran

Pemotongan sistem saluran seperti : saluran turun, penggali, penambah dan saluran masuk dilakukan dengan pemukulan, penggergajian dan las busur listrik. Untuk produk kecil ukurannya, biasanya bagian tersebut telah rontok pada saat pembongkaran cetakan.

- Pengerjaan permukaan

Pengerjaan permukaan dilakukan untuk memperoleh hasil permukaan yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Sirip-sirip sisa dari saluran yang tidak terpotong secara bersih dikerjakan dengan gerinda. demikian juga dengan sirip yang terjadi karena cacat seperti ekor tikus. Inklusi terak dan lain sebagainya dapat dibersihkan dengan permesinan dan penggerindaan.

3.6. Penyiapan Bahan

Sebagai langkah awal penelitian sebelum dilakukan pemotongan terlebih dahulu dilakukan penyiapan bahan. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon tinggi hasil cor dapur induksi seperti tampak pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10. Bahan baja karbon sedang (CV. Sinar Super Baja, 2010)

3.7. Pembuatan Benda Uji

Pelaksanaan pembuatan benda uji memerlukan peralatan peralatan bantu untuk proses pembuatan spesimen.

Peralatan bantu, yaitu :

- Gergaji mesin, mesin gerinda (mesin penghalus) dan kikir
- Jangka sorong
- Cekam atau tanggem
- Autosol, bahan etsa (HNO_3) 2,5% dan kain halus
- Amplas (nomor bervariasi : 100, 200, 300, 400, 500, dan 1000)

Sedangkan peralatan utama untuk tata laksana pengujian, yaitu :

1. Dapur pemanas (*Furnace*)
2. Alat uji pengamatan mikro dan pemotretan (*Olympus Metallurgical Microscope* dan *Olympus Photomicrographic System*)
3. Alat uji impak (*Impact Charpy Machine*)
4. Alat uji spektrum komposisi kimia universal (*spectrometer*)

Karena material adalah baja karbon tinggi yang sangat keras maka pemotongan bahan dilakukan dengan menggunakan gergaji

mesin (*metal cut*) berpendingin air untuk menjaga kestabilan struktur internal agar tidak panas. Gergaji mesin yang dipergunakan memotong seperti Gambar 3.11.



Gambar 3.11. *Metal Cut* (Lab. D3 UGM, 2010)

Adapun benda uji penelitian berjumlah 17 buah, masing-masing pada spesimen *tempering* dengan variasi temperatur 3 buah untuk pengujian impak. Sedangkan untuk spesimen struktur mikro menyatu dengan spesimen kekerasan. Penyiapan spesimen uji seperti pada uraian Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Penyiapan jumlah spesimen

Jenis Pengujian	Jumlah Spesimen			
	<i>Raw Material</i>	Spesimen Tempering 200 °C	Spesimen Tempering 400 °C	Spesimen Tempering 600 °C
Komposisi kimia	1 buah	-	-	-
Struktur Mikro dan kekerasan	1 buah	1 buah	1 buah	1 buah
Impak	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah
Jumlah total spesimen	17 buah spesimen			

a. Pembuatan Spesimen Uji Komposisi Kimia dan Struktur Mikro

1. Penghalusan (*grinding*)

Dilakukan pada spesimen untuk pengujian komposisi kimia dan struktur mikro dengan jalan menghaluskan permukaan dengan mesin penghalus seperti Gambar 3.12.



Gambar 3.12. Mesin penghalus / *grinding* (Lab. D3 UGM, 2010)

2. Pengampelasan

Pengampelasan dilakukan mulai dari nomor seri amplas yang paling kasar sampai dengan nomor seri kekasaran yang cukup halus, yaitu nomor : 100, 200, 300, 400, 500, dan 1000. Nomor kecil menunjukkan kertas amplas kasar dan nomor lebih besar menunjukkan kertas amplas lebih halus. Proses penghalusan selain dilakukan untuk benda uji struktur mikro juga dilakukan untuk pengujian komposisi kimia, pengamatan struktur mikro dan impak.

3. Pemolesan (*polishing*)

Pada pengamatan struktur mikro, untuk menaikkan tingkat kehalusan maka benda uji dipoles dengan menggunakan Autosol hingga diperoleh permukaan yang lebih halus dan mengkilat seperti cermin sehingga struktur mikro dari benda uji ini nantinya dapat terlihat jelas dengan menggunakan mikroskop. Pemolesan Autosol ke benda uji dilakukan dengan kain yang lembut agar permukaan yang diperoleh benar-benar halus tanpa adanya goresan bekas pengerjaan.

Setelah proses ini selesai, benda uji perlu diperiksa dengan mikroskop untuk mengetahui ada tidaknya goresan. Apabila ternyata masih ada goresan maka proses pemolesan perlu dilanjutkan sampai goresan hilang.

4. Pengetsaan

Pengetsaan hanya dilakukan untuk benda uji yang akan diamati struktur mikronya. Bahan etsa baja menggunakan HNO_3 2,5% dengan waktu pencelupan tertentu. Tujuan pengerjaan ini adalah menampakkan struktur mikro di bawah mikroskop agar nampak jelas.

Langkah-langkah pengetsaan :

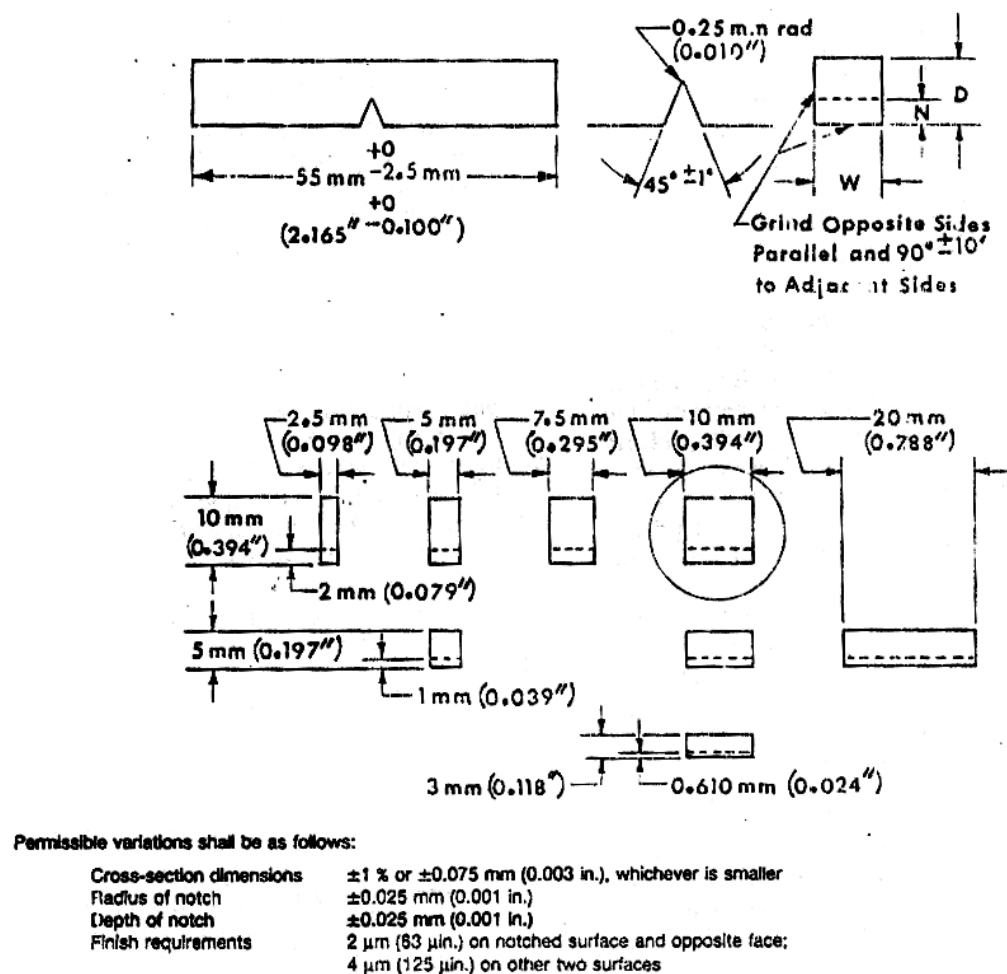
1. Menyiapkan larutan etsa secukupnya ke dalam cawan.
2. Mencelupkan permukaan benda uji ke dalam larutan dengan memakai tang kecil, waktu pencelupan beberapa detik sesuai kebutuhan.
3. Membersihkan benda uji dengan air bersih yang mengalir dan selanjutnya dibersihkan dengan alkohol.
4. Benda uji kemudian dikeringkan.

Pengaruh reaksi dari larutan kimia terhadap benda uji adalah seluruh permukaan akan tampak seperti garis-garis tak beraturan yang menunjukkan batas antara butir-butir logam. Adapun corak butir-butir yang berbeda jenisnya akan nampak jelas dilakukan dengan mikroskop.

b. Pembuatan Spesimen Impak

Sebelum diuji, pada masing-masing spesimen terlebih dahulu dibuat takikan berbentuk V pada bagian tengah. Fungsi dari pembuatan takikan ini adalah untuk melokalisasi energi patah. Patahan pada spesimen umumnya berawal dari takikan yang ada

pada spesimen uji impak itu. Oleh karena itu untuk mengetahui besarnya energi impak maka dibuat takikan pada spesimen. Dimana takikan berbentuk V dengan sudut kemiringan serta kedalaman takikan telah ditentukan sesuai standarisasi ASTM E 23 mulai dimensi minimum sampai maksimum seperti tampak pada Gambar 3.13.



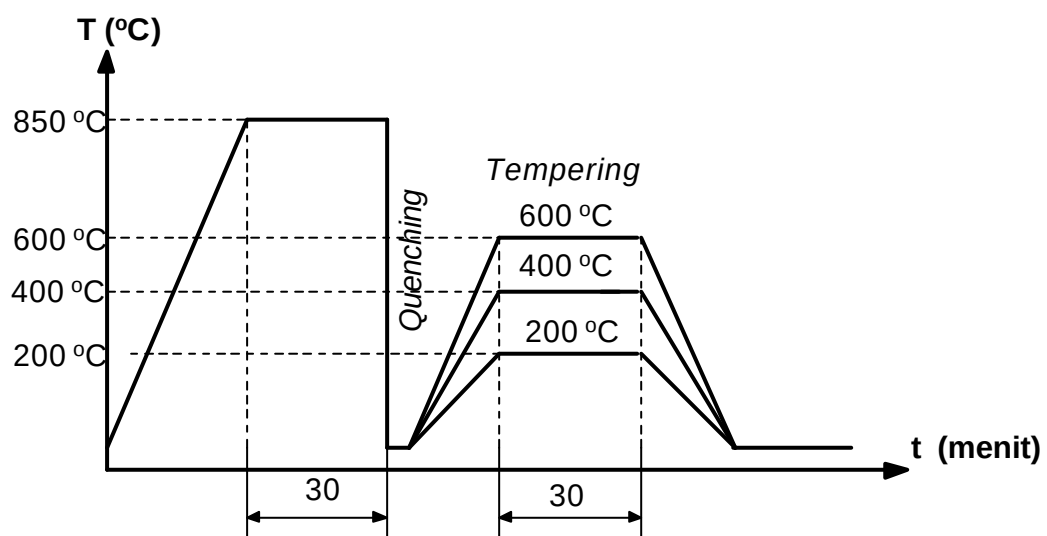
Gambar 3.13. Ukuran spesimen uji *impact* menurut standar ASTM E 23

(*Annual Book of ASTM Standards, 1996*)

3.8. Perlakuan Panas

Dalam prakteknya perlakuan panas *tempering* dilaksanakan dengan beberapa tahapan :

1. Masing-masing spesimen baja dipanaskan sampai temperatur austenit (850°C) selama 30 menit.
2. Kemudian dicelup dalam air garam selama beberapa detik.
3. Setelah temperatur masing-masing spesimen konstan dalam air garam, dilakukan penemperan dengan variasi temperatur yang berbeda (200°C , 400°C dan 600°C).



Gambar 3.14. Grafik proses *tempering*

Perlakuan panas *tempering* dengan menggunakan dapur pemanas (*furnace*), pada variasi temperatur pemanasan 200°C , 400°C dan 600°C dengan waktu tahan masing-masing 30 menit.

Alat-alat dan bahan yang digunakan antara lain: dapur pemanas (*furnace*) dan tang penjepit.

Adapun proses perlakuan panas yang dilakukan pada benda uji tersebut adalah sebagai berikut :

1. Memasukkan semua spesimen perlakuan panas ke dalam *furnace* dengan posisi spesimen mendatar, sehingga memudahkan dalam proses pengambilannya.
2. Menutup dan mengunci dapur pemanas (*furnace*) tersebut.
3. Menekan tombol “ON” pada dapur pemanas tersebut sehingga temperaturnya akan naik secara perlahan-lahan.
4. Mengeset *furnace* pada temperatur yang ditentukan sesuai temper variasi spesimen dan memutar *switch* temperatur ke kanan pada dapur pemanas tersebut sehingga temperaturnya akan naik secara cepat.
5. Setelah mencapai suhu yang kita inginkan, kita putar *switch* ke kiri kemudian kita atur agar lampu temperatur berkedip-kedip lalu segera kita tekan tombol “CYCLE”. Posisi ini akan menahan suhu yang kita inginkan.
6. Setelah itu matikan dengan menekan tombol “OFF” kemudian kita diamkan benda uji di dalam dapur pemanas dengan pintu tetap tertutup agar pendinginan yang terjadi secara lambat (perlahan-lahan) menuju temperatur kamar.
7. Masing-masing spesimen dikeluarkan dari *furnace* dengan tang penjepit.

8. Untuk seterusnya sama langkahnya pada benda uji yang lain sesuai dengan temperatur dan waktu tahan yang diinginkan.



Gambar 3.15. Dapur pemanas / *furnace* (Lab. D3 UGM, 2010)

3.9. Pengujian Komposisi Kimia

Pada pengujian ini bertujuan untuk mengetahui prosentase kandungan unsur-unsur paduan yang terdapat dalam benda uji. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji Spektrum Komposisi Kimia Universal (*spectrometer*) yang bekerja secara otomatis. Pengujian dilakukan dengan penembakan terhadap permukaan sampel uji (yang sudah dihaluskan) dengan gas argon. Penembakan dilakukan sebanyak 3 (tiga) titik sehingga didapat harga rata-rata kandungan komposisi kimianya. Dalam penelitian uji komposisi kimia di laboratorium PT. BAJA KURNIA Ceper Klaten.



Gambar 3.16. Alat uji komposisi kimia / *spectrometer*
(Lab. PT. BAJA KURNIA , 2010)

3.10. Pengamatan Struktur Mikro

Struktur mikro baru akan terlihat dengan jelas apabila permukaan benda uji sudah benar-benar rata, halus dan mengkilap tanpa goresan, serta telah mengalami pengetsaan yang tepat. Pengamatan dilakukan di bawah mikroskop *Olympus Metallurgical Microscope* dengan pembesaran yang optimal, sedangkan untuk pemotretan dilakukan dengan tambahan alat *Olympus Photomicrographic System*.

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengamati dan membandingkan secara fisik terhadap struktur mikro dari tiap-tiap bagian benda uji, mengamati bentuk struktur mikro benda uji tanpa dan dengan mengalami perlakuan panas yang dilanjutkan dengan proses pendinginan yang bervariasi. Lokasi pengambilan foto yang utama adalah spesimen tanpa perlakuan panas (*raw material*), dan untuk spesimen variasi temperatur : 200 °C, 400 °C dan 600 °C.

Pemotretan baru dilakukan setelah penampakannya sudah benar-benar jelas atau *focus*. Jumlah benda yang difoto struktur

mikronya sama dengan jumlah benda uji (yang diuji kekerasannya) karena uji kekerasan dilakukan terhadap benda yang sudah diambil foto struktur mikronya. Adapun langkah-langkah pengujian struktur mikro adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan film ke dalam kamera *Olympus Photomicrographic System* yang telah tersedia.
2. Menghidupkan alat dengan menekan tombol *power*.
3. Menyiapkan spesimen uji.
4. Meletakkan spesimen pada bidang uji atau meja.
5. Memastikan bahwa spesimen tidak miring.
6. Memilih perbesaran yang diinginkan.
7. Menentukan titik pemotretan agar terlihat dengan jelas.
8. Melakukan proses pemotretan dengan perbesaran yang diinginkan.

Mikroskop berikut kamera untuk pengambilan foto ditunjukkan dalam Gambar 3.17.

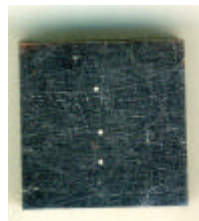


Gambar 3.17. *Olympus Metallurgical Microscope dan Olympus Photomicrographic System (Lab. D3 UGM, 2010)*

3.11. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui harga kekerasan dari benda uji pada beberapa bagian sehingga dapat diketahui distribusi kekerasan serta kekerasan rata-ratanya dari semua benda uji. Kekerasan merupakan ketahanan bahan terhadap goresan atau penetrasi pada permukaannya.

Pengujian kekerasan terhadap benda uji dilakukan pada beberapa titik secara acak untuk mengetahui kekerasan serta kekerasan rata-rata pada daerah tersebut. Spesimen kekerasan seperti pada Gambar 3.18.



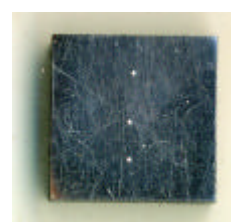
(a) *raw material*



(b) *Tempering 200°C*



(c) *Tempering 400°C*



(d) *Tempering 600°C*

Gambar 3.18. Spesimen pengujian kekerasan dan struktur mikro

Alat yang digunakan dalam pengujian kekerasan adalah *Vickers Macrohardness Tester*, dimana pada metode ini *penetrator* yang digunakan berupa piramida intan dengan sudut

puncak 136° . Angka kekerasan Vickers didefinisikan sebagai beban dibagi luas penampang permukaan akibat *penetrator*. Alat uji kekerasan Vickers ditunjukkan pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19. *Vickers Macrohardness Tester* (Lab. D3 UGM, 2010)

3.12. Pengujian Impak

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui keliatan dan ketahanan benda uji terhadap beban dinamis. Uji impak dilakukan dalam satu kali pukulan untuk satu benda uji. Dimana penelitian ini spesimen uji dibagi menjadi tiga, yaitu spesimen No.1, spesimen No.2 dan spesimen No.3 untuk masing-masing spesimen (*raw material*, *tempering 200 °C*, *tempering 400 °C* dan *tempering 600 °C*). Metode yang digunakan adalah metode *Charpy*.

Adapun langkah-langkah pengujian impak adalah sebagai berikut :

1. Memastikan jarum penunjuk pada posisi 0 pada saat godam menggantung bebas.

2. Meletakkan bahan uji di atas penopang dan memastikan godam pada saat mengayun dapat tepat mengenai tengah-tengah punggung takikan.
3. Menaikkan godam secara perlahan-lahan dengan memutar tuas pengangkat dan penurun hingga jarum penunjuk sudut menunjukkan sudut awal, dalam hal ini godam terkunci otomatis.
4. Menekan tombol pembebas kunci, sehingga godam akan mengayun ke bawah dan akan mematahkan benda uji.
5. Setelah benda uji patah, maka setelah itu melakukan pengamatan dan membuat data tertulis.

Gambar alat untuk pengujian impak dan spesimen uji impak ditunjukkan Gambar 3.20.



Gambar 3.20. Alat uji impak / *Impact Charpy Machine*
(Lab. D3 UGM, 2010)

Spesimen impak sebelum dilakukan pengujian dipersiapkan dahulu (ditandai dengan spidol dan dikelompokkan sesuai variasi temperatur *tempering* masing-masing).

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Penembakan menggunakan gas argon dan memberikan hasil pembacaan secara otomatis kandungan rata-rata (*average*) komposisi kimia pada benda uji sebagai data-data berikut ini.

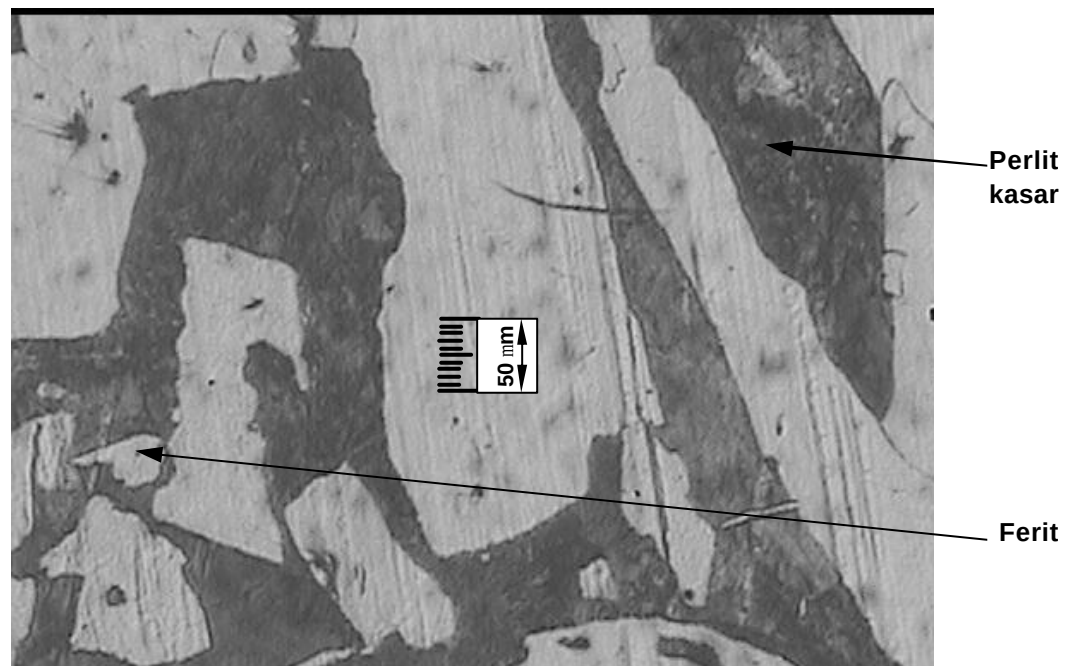
Tabel 4.1. Hasil pengujian komposisi kimia *medium carbon steel* (Lab. PT. BAJA KURNIA)

Unsur	Prosentase (%)
Fe	97,44
Mn	0,738
Si	0,665
Cu	0,323
C	0,310
Al	0,182
Cr	0,171
P	0,118
S	0,107
Ni	0,0851
B	0,0240
Mo	0,0200
V	0,0100
Ti	0,0050

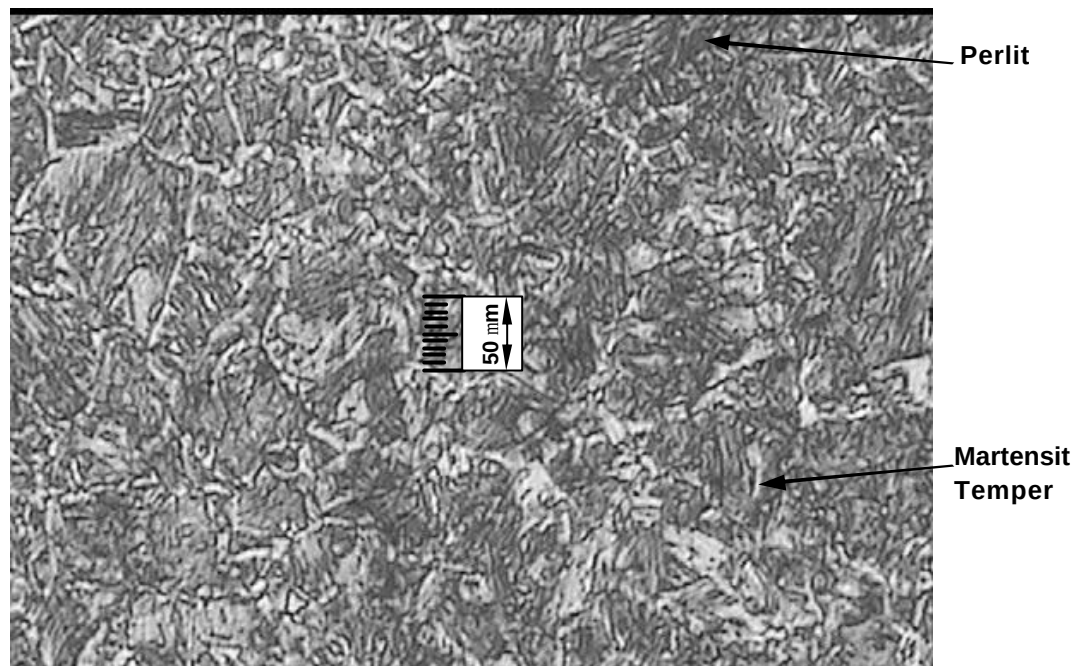
Dari hasil pengujian komposisi kimia spesimen *medium carbon steel* mengandung unsur penyusun utama besi (Fe) = 97,44 %, mangan (Mn) = 0,738 % yang berguna untuk meningkatkan kekerasan,

kekuatan dan mampu diperkeras pada baja, silisium (Si) = 0,665 % yang berpengaruh dalam meningkatkan kekuatan, kekerasan, kemampuan diperkeras secara keseluruhan, tahan aus, ketahanan terhadap panas dan karat. Sedangkan unsur-unsur lain yang didapatkan dalam prosentase lebih rendah, yaitu : wolfram (W) = 0,329 %, tembaga (Cu) = 0,31323 %, karbon (C) = 0,310 %, aluminium (Al) = 0,182 %, khrom (Cr) = 0,171 %, fosfor (P) = 0,118 %, sulphur (S) = 0,107 %. nikel (Ni) = 0,0851 %, bismuth (B) = 0,024 %, molibdenum (Mo) = 0,0200 %, vanadium (V) = 0,0100 % dan titanium (Ti) = 0,0050 %.

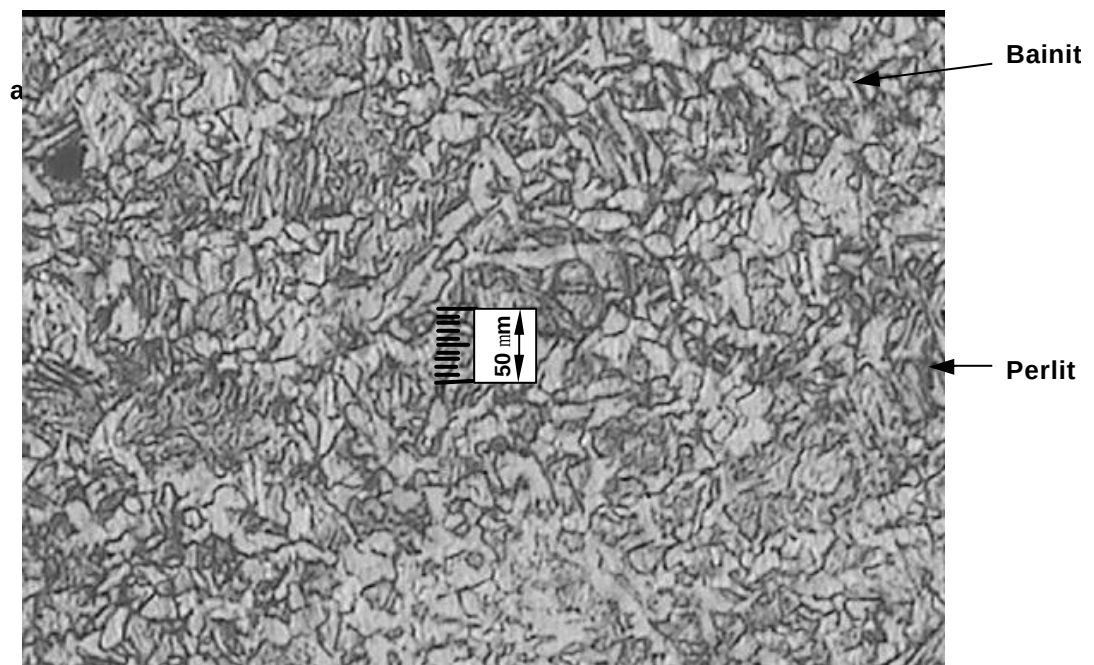
4.2. Hasil Pengamatan Struktur Mikro



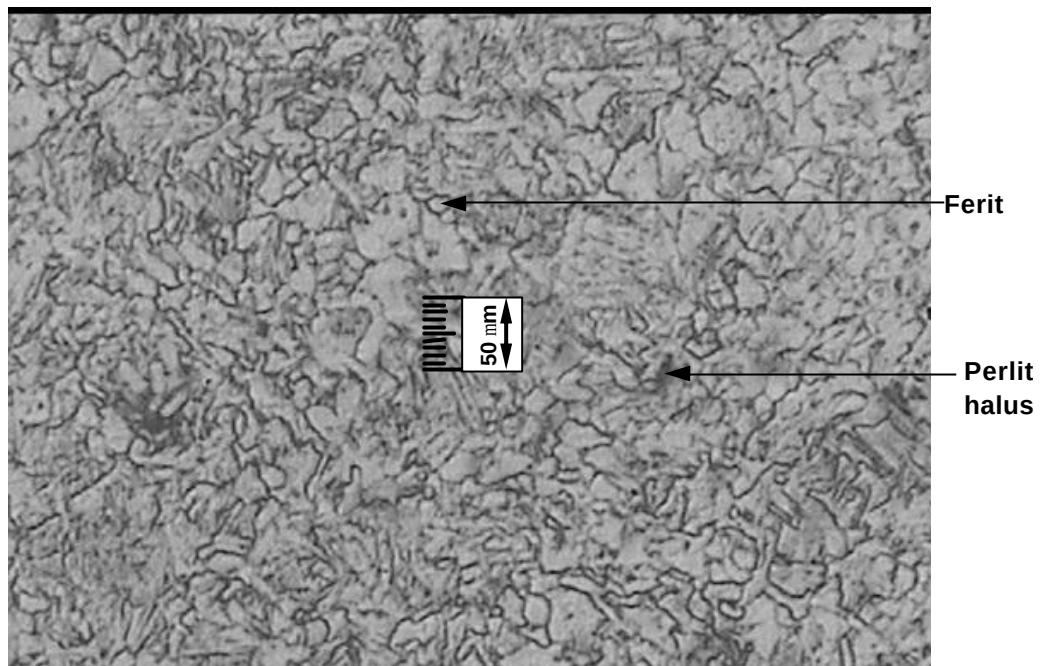
Gambar 4.1. Foto struktur mikro *medium carbon steel raw material* dengan perbesaran 200 ×



Gambar 4.2. Foto struktur mikro *medium carbon steel* tempering 200 °C dengan perbesaran 200×



Gambar 4.3. Foto struktur mikro *medium carbon steel* tempering 400 °C dengan perbesaran 200×



Gambar 4.4. Foto struktur mikro *medium carbon steel* *tempering* 600 °C dengan perbesaran 200×

a. Foto mikro spesimen *raw material*

Dari hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan fasa yang tampak adalah ferit berwarna putih dan perlit (180-250 HVN) dengan butiran kasar, besar-besar (*coarse pearlite*) berwarna gelap.

b. Foto mikro spesimen *tempering* 200° C

Pada temperatur *tempering* yang paling rendah (200 °C) didapatkan fasa martensit temper (400-500 HVN) yang dapat membuktikan terjadinya laju pendinginan yang sangat cepat. Martensit temper terbentuk lebih rapat dan merata. Laju pendinginan cepat (dengan masukan panas paling rendah 200 °C) menghasilkan martensit temper seperti jarum-jarum yang tersebar merata dan pada

bagian tepinya berwarna kehitaman. Selain itu didapatkan sedikit perlit.

c. Foto mikro spesimen *tempering* 400° C

Terdapat dominasi fasa bainit (300-400 HVN). Proses terbentuknya bainit diawali pemanasan baja sampai austenit dan dicelup dalam air garam (*salt bath*) pada temperatur di atas terbentuknya *martensite start* (Ms) dan ditahan beberapa lama dan didinginkan diudara, sehingga austenit dapat bertransformasi menjadi bainit.

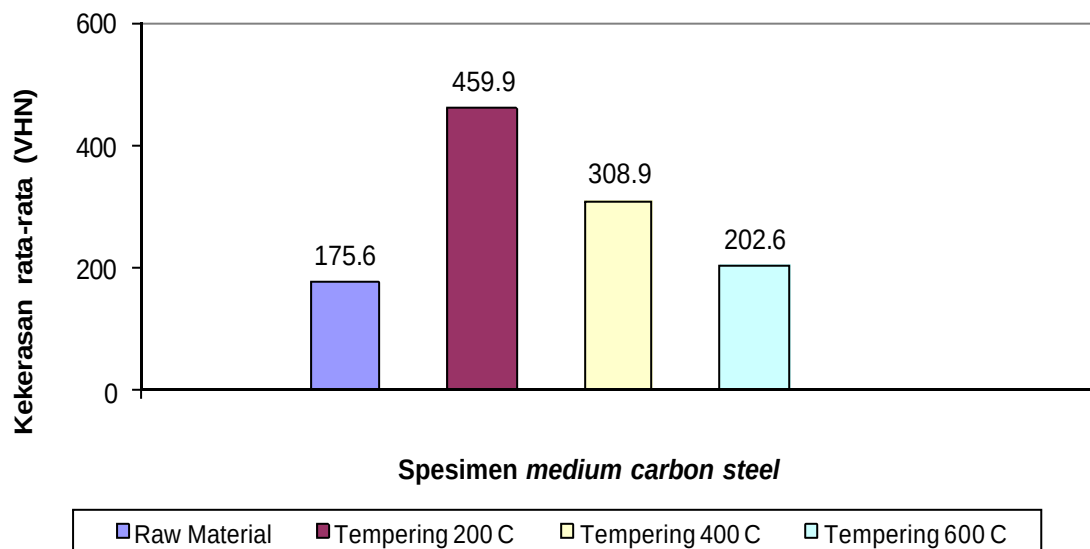
d. Foto mikro spesimen *tempering* 600° C

Tampak adanya fasa ferit dan perlit halus dengan butirannya yang kecil (*fine pearlite*). Ferit tampak berwarna putih dan bersifat lunak. Sedangkan perlit halus adalah butiran yang kecil berwarna gelap. Fasa ferit dan perlit terbentuk dari transformasi austenit karena mengalami pendinginan lambat.

4.3. Hasil Pengujian Kekerasan

Tabel 4.2. Hasil pengujian kekerasan spesimen *medium carbon steel*

No.	Spesimen	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d _{rata-rata} (mm)	Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-rata (VHN)
1.	<i>Raw material</i>	0,65	0,65	0,650	175,6	175,6
		0,65	0,65	0,650	175,6	
		0,65	0,65	0,650	175,6	
2.	<i>Tempering 200 °C</i>	0,40	0,41	0,405	452,2	459,9
		0,40	0,41	0,405	452,2	
		0,39	0,40	0,395	475,4	
3.	<i>Tempering 400 °C</i>	0,49	0,50	0,495	302,7	308,9
		0,49	0,49	0,490	308,9	
		0,49	0,48	0,485	315,3	
4.	<i>Tempering 600 °C</i>	0,60	0,61	0,605	202,7	202,6
		0,61	0,61	0,610	199,3	
		0,60	0,60	0,600	206,0	



Gambar 4.5. Histogram perbandingan harga kekerasan rata-rata spesimen *medium carbon steel*

Dari hasil pengujian kekerasan didapatkan harga kekerasan rata-rata tertinggi pada spesimen *tempering* 200 °C sebesar 459,9 VHN dan berturut-turut menuju posisi terendah, yaitu : spesimen *tempering* 400 °C sebesar 308,9 VHN dan spesimen *tempering* 600 °C sebesar 202,6 VHN dan paling rendah spesimen *raw material* sebesar 175,6 VHN.

a. Kekerasan spesimen *raw material*

Spesimen tanpa perlakuan panas didapatkan harga kekerasan rata-rata paling rendah sebesar 175,6 VHN karena pada proses produksinya pada saat pengecoran pada cetakan pasir dengan pendinginan udara sampai suhu kamar sehingga menyebabkan pembentukan fasa ferit dan perlit dengan butir kristal yang besar-besar (kasar).

b. Kekerasan spesimen *tempering* 200 °C

Spesimen *tempering* 200 °C dengan harga kekerasan rata-rata tertinggi sebesar 459,9 VHN disebabkan laju pendinginan paling cepat. Dengan pencelupan benda uji ke dalam larutan garam dan temperatur temper terendah (200 °C) sehingga transformasi fasa berjalan lebih cepat sekali menuju *martensite finish* (Mf) sampai terbentuk fasa martensit temper (di bawah 220 °C). Dan ini dibuktikan dengan harga kekerasan tertinggi.

c. Kekerasan spesimen *tempering* 400 °C

Harga kekerasan rata-rata spesimen *tempering* 400 °C sebesar 308,9 VHN disebabkan pada kondisi pencelupan temperatur

spesimen belum masuk daerah *martensite start* (Ms) jadi masih terlalu panas (400 °C) sehingga transformasi fasa hanya masuk sampai di daerah fasa bainit (250-550 °C) dan temperatur belum cukup rendah untuk memasuki *martensite start* (Ms).

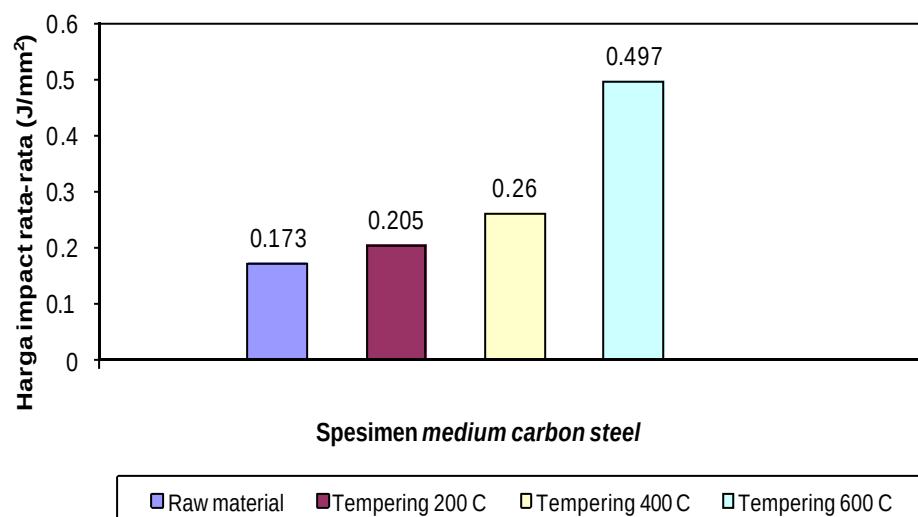
d. Kekerasan spesimen *tempering* 600 °C

Harga kekerasan rata-rata spesimen *tempering* 600 °C sebesar 202,6 VHN. Karena pada temperatur 600 °C terjadi transformasi austenit menjadi perlit (550-723 °C) dan pendinginan menjadi paling lambat sehingga butiran logam yang dihasilkan menjadi halus, kecil-kecil. Oleh karena itu harga kekerasan rata-rata spesimen *tempering* 600 °C masih di atas *raw material* (butiran kristal logam yang lebih besar).

4.4. Hasil Pengujian Impak

Tabel 4.3. Hasil uji impak spesimen *medium carbon steel*

Nama Spesimen	No. Spesimen	Sudut b (°)	Energi terserap (Joule)	Luas (mm ²)	Harga Impak (J/mm ²)	Harga Impak Rata-rata (J/mm ²)
<i>Raw Material</i>	1	143,0	12,2	83,1	0,146	0,173
	2	142,0	13,0	80,8	0,161	
	3	140,0	17,4	81,3	0,214	
<i>Tempering 200 °C</i>	1	142,0	13,9	81,8	0,169	0,205
	2	136,5	23,9	79,9	0,299	
	3	143,0	12,2	82,3	0,148	
<i>Tempering 400 °C</i>	1	142,0	13,9	82,7	0,168	0,260
	2	133,0	29,8	80,7	0,369	
	3	139,0	19,2	78,2	0,245	
<i>Tempering 600 °C</i>	1	114,0	74,9	82,1	0,912	0,497
	2	134,0	28,8	82,5	0,349	
	3	139,0	19,2	83,5	0,230	

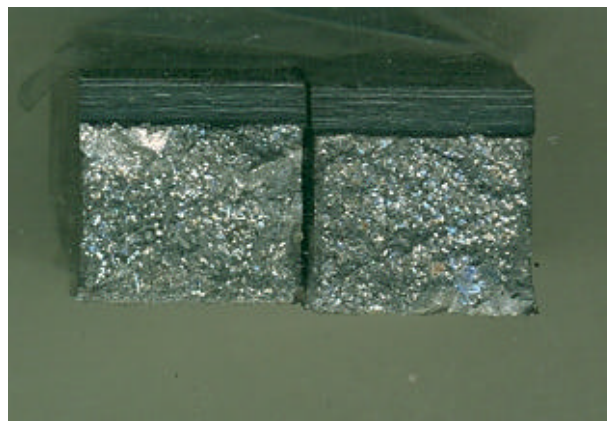


Gambar 4.6. Histogram perbandingan harga impact rata-rata

Dari hasil pengujian impak didapatkan harga ketangguhan rata-rata tertinggi (paling liat) pada spesimen *tempering* 600 °C sebesar 0,497 J/mm² dan berturut-turut menuju posisi terendah, yaitu : spesimen *tempering* 400 °C sebesar 0,260 J/mm², spesimen *tempering* 200 °C sebesar 0,205 J/mm² dan terendah (paling getas) spesimen *raw material* sebesar 0,173 J/mm².

a. Impak spesimen *raw material*

Merupakan spesimen yang paling getas dengan harga impak rata-rata terendah (0,173 J/mm²). Hal ini disebabkan pendinginan dengan udara (pembekuan cor cetakan pasir) membentuk butiran kristal logam yang besar/kasar sehingga ikatan antar butirnya lemah dan mudah patah getas. Jenis patahan termasuk getas dengan ciri deformasinya paling kecil (diperlihatkan dengan permukaan patah yang rata).



Gambar 4.7. Patahan spesimen *raw material*

b. Impak spesimen *tempering* 200 °C

Pada spesimen *tempering* 200 °C (0,205 J/mm²) didapatkan fasa martensit temper yang lebih tangguh meskipun kekerasan turun.

Karena butir-butir logam agak lebih kecil menyebabkan ikatan logam semakin kuat maka jenis patahan termasuk liat.



Gambar 4.8. Patahan spesimen *tempering* 200 °C

c. Impak spesimen *tempering* 400 °C

Spesimen *tempering* 400 °C ($0,260 \text{ J/mm}^2$) lebih besar dari spesimen *tempering* 200 °C karena adanya fasa bainit dengan dispersi karbida yang halus dalam ferit membuat butiran-butiran kristal logam semakin halus dengan patahan jenis liat menunjukkan adanya deformasi plastik yang tinggi.



Gambar 4.9. Patahan spesimen *tempering* 400 °C

d. Impak spesimen *tempering* 600 °C

Spesimen *tempering* 600 °C memiliki harga impak rata-rata paling besar sebesar 0,497 J/mm². Karena pendinginan paling lambat menghasilkan butiran kristal perlit paling halus, Maka patahan termasuk liat yaitu tampak patahan banyak berbentuk sudut tajam, atau banyak perubahan bentuk dengan ciri-ciri : runcing, buram dan berserat.



Gambar 4.10. Patahan spesimen *tempering* 600 °C

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian dan pembahasan dalam penelitian ini diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian komposisi kimia pada spesimen besi *medium carbon steel* didapatkan unsur penyusun utama adalah besi (Fe) = 97,44 %; silisium (Si) = 0,665 % dan mangan (Mn) = 0,738 %.
2. Dari hasil pengamatan struktur mikro pada spesimen *raw material* didapatkan fasa ferit dan perlit kasar, spesimen *tempering* 200 °C didapatkan fasa martensit temper dan perlit, spesimen *tempering* 400 °C didapatkan fasa bainit dan perlit dan pada spesimen *tempering* 600 °C didapatkan fasa ferit dan perlit halus.
3. Dari pengujian kekerasan didapatkan harga kekerasan rata-rata tertinggi pada spesimen *tempering* 200 °C sebesar 459,9 VHN dan berturut-turut menuju posisi terendah, yaitu spesimen *tempering* 400 °C sebesar 308,9 VHN, spesimen *tempering* 600 °C sebesar 202,6 VHN dan paling rendah spesimen *raw material* sebesar 175,6 VHN.
4. Dari hasil pengujian impak didapatkan harga ketangguhan rata-rata tertinggi (paling liat) adalah spesimen *tempering* 600 °C sebesar 0,497 J/mm² dan berturut-turut menuju posisi terendah, yaitu *tempering* 400 °C sebesar 0,260 J/mm², spesimen *tempering* 200 °C

sebesar $0,205 \text{ J/mm}^2$ dan terendah (paling getas) adalah spesimen *raw material* sebesar $0,173 \text{ J/mm}^2$.

5.2. Saran

Setelah menganalisa hasil penelitian, maka penulis berkesempatan memberikan beberapa saran, yaitu :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi waktu tahan untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada sifat fisis dan mekanis.
2. Untuk menghasilkan suatu produk yang berkualitas maka harus memperhatikan karakteristik dari material yang disesuaikan dengan penggunaan dan penempatan produk di lapangan.
3. Pada waktu pelaksanaan pemanasan, temperatur waktu tahan benda uji harus benar-benar dijaga agar tetap konstan supaya didapatkan hasil yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Amstead, B.H., Djaprie, S. (Alih Bahasa), 1995, *Teknologi Mekanik*, Edisi ke-7, Jilid I, PT. Erlangga, Jakarta
- Beumer, B.J.M.; Anwir, B.S. (Alih Bahasa), 1978, *Ilmu Bahan Logam*, Jilid III, Cetakan ke-2, CV. Bhratara, Jakarta
- Budinski K.G.; Michael K. Budinski, 1999, *Engineering Materials: Properties and Selection*, Prentice Hall, New Jersey
- De Garmo, P., 1969, *Materials and Processes in Manufacturing*, Mac Millan Company, New York
- Dieter, G.E.; Djaprie, S. (Alih Bahasa), 1990, *Metalurgi Mekanik*, Jilid I, Edisi ke-3, PT. Erlangga, Jakarta
- Groenendijk, G.; Van Der Linde, J.; Sachri, S. (Alih Bahasa), 1984, *Pengujian Material*, Cetakan ke-1, CV. Binacipta, Jakarta
- Niemann, G., 1994, *Elemen Mesin*, Jilid 1, Edisi ke-2, PT. Erlangga, Jakarta
- Nurwicaksono, 2003, Tugas Akhir : *Analisa Pengaruh Quench Temper dan Normalising terhadap Sifat Fisis dan Mekanis pada Baja Karbon Sedang*, UMS, Surakarta
- Piyarto, 2008, Tugas Akhir : *Pengaruh Proses Quenching dan Tempering pada Material SCMnCr 2 untuk Memenuhi Standar JIS G 5111*, UMS, Surakarta
- Surdia, T.; Shinroku, S., 1991, *Teknik Pengecoran Logam*, Cetakan ke-6, PT. Pradnya Paramita, Jakarta
- Surdia, T.; Shinroku, S., 1999, *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta
- Van Vlack; Djaprie, S., 1992, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, PT. Erlangga, Jakarta
- Van Vliet, G.L.J, 1984, *Teknologi untuk Bangunan Mesin Bahan-bahan I*, PT. Erlangga, Jakarta
- Zain, 1998, Tugas Akhir : *Penelitian Sifat-Sifat Mekanik Baja Pegas Akibat Pengaruh Tempering*, Universitas Indonesia, Jakarta

LAMPIRAN-LAMPIRAN

DATA PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA **MEDIUM CARBON STEEL**

PT. BAJA KURNIA

Machinery and Casting Industry

CEPER - KLATEN 57465

J A W A T E N G A H

Telp : (0272) 552850 ; Fax : (0272) 551496

LAPORAN ANALISA PENGUJIAN

Tanggal : 05/06/2010

Jam : 12:09

No.Sampel Uji : Anom

Material : Baja karbon sedang

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Ti	V	W	B
97.41	0.323	0.676	0.735	.0109	.0099	0.181	<0.020	.0835	0.182	0.322	<.0050	<.0100	.0320	.0022
97.44	0.305	0.666	0.747	.0099	.0085	0.173	<0.020	.0861	0.182	0.324	<.0050	<.0100	.0216	.0025
97.46	0.302	0.652	0.731	.0145	.0137	0.160	<0.020	.0858	0.182	0.322	<.0050	<.0100	.0450	.0025

Mean.

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Ti	V	W	B
97.44	0.310	0.665	0.738	.0118	.0107	0.171	<.0200	.0851	0.182	0.323	<.0050	<.0100	.0329	.0024

Dev.

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Ti	V	W	B
.0261	3.66	1.81	1.13	20.6	25.1	6.19	<.0000	1.67	.0000	0.380	<.0000	<.0000	35.7	7.22

DATA PENGUJIAN KEKERASAN MEDIUM CARBON STEEL



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK PROGRAM DIPLOMA TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS GADJAH MADA

HARGA KEKERASAN VICKERS

Spesimen Baja Karbon

Spes. Raw Material (Tanpa Perlakuan)

No	Posisi titik	d_1	d_2	$d_{rata-rata}$	Kekerasan (VHN)
1	Acak	0,65	0,65	0,650	175,6
2	Acak	0,65	0,65	0,650	175,6
3	Acak	0,65	0,65	0,650	175,6

Spes. Temper 200 °C

No	Posisi titik	d_1	d_2	$d_{rata-rata}$	Kekerasan (VHN)
1	Acak	0,40	0,41	0,405	452,2
2	Acak	0,40	0,41	0,405	452,2
3	Acak	0,39	0,40	0,395	475,4

Spes. Temper 400 °C

No	Posisi titik	d_1	d_2	$d_{rata-rata}$	Kekerasan (VHN)
1	Acak	0,49	0,50	0,495	302,7
2	Acak	0,49	0,49	0,490	308,9
3	Acak	0,49	0,48	0,485	315,3

Spes. Temper 600 °C

No	Posisi titik	d_1	d_2	$d_{rata-rata}$	Kekerasan (VHN)
1	Acak	0,60	0,61	0,605	202,7
2	Acak	0,61	0,61	0,610	199,3
3	Acak	0,60	0,60	0,600	206,0

Keterangan :

1. Menggunakan beban 40 kg
2. Satuan pengukuran diagonal jejak indentor dalam mm
3. Pengujian dilakukan pada tanggal 9 Juni 2010



DATA PENGUJIAN IMPAK *MEDIUM CARBON STEEL*



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
PROGRAM DIPLOMA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN IMPACT

Spesimen Baja Karbon

Spes. Raw Material (Tanpa Perlakuan)

No.	Kode	Sudut α (°)	Energi Terpasang (J)	Sudut β (°)	Energi Terserap (J)	Luas (mm ²)	Harga Impact (J/mm ²)
1	1.1	151	300	143,0	12,2	83,1	0,146
2	1.2	151	300	142,5	13,0	80,8	0,161
3	1.3	151	300	140,0	17,4	81,3	0,214

Spes. Temper 200 °C

No.	Kode	Sudut α (°)	Energi Terpasang (J)	Sudut β (°)	Energi Terserap (J)	Luas (mm ²)	Harga Impact (J/mm ²)
1	2.1	151	300	142,0	13,9	81,8	0,169
2	2.2	151	300	136,5	23,9	79,9	0,299
3	2.3	151	300	143,0	12,2	82,3	0,148

Spes. Temper 400 °C

No.	Kode	Sudut α (°)	Energi Terpasang (J)	Sudut β (°)	Energi Terserap (J)	Luas (mm ²)	Harga Impact (J/mm ²)
1	3.1	151	300	142,0	13,9	82,7	0,168
2	3.2	151	300	133,5	29,8	80,7	0,369
3	3.3	151	300	139,0	19,2	78,2	0,245

Spes. Temper 600 °C

No.	Kode	Sudut α (°)	Energi Terpasang (J)	Sudut β (°)	Energi Terserap (J)	Luas (mm ²)	Harga Impact (J/mm ²)
1	5.1	151	300	114,0	74,9	82,1	0,912
2	5.2	151	300	134,0	28,8	82,5	0,349
3	5.3	151	300	139,0	19,2	83,5	0,230

Keterangan :

1. Menggunakan metode Charpy
2. Standar benda uji mengacu ASTM E 23, Type A
3. Panjang lengan 0.8 meter
4. Berat palu 20 kilogram
5. Luas yang dimaksud luas penampang patah
6. Pengujian dilakukan pada tanggal 9 Juni 2010

