

29546 / 07



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



RSPe
620.112.6
Amr
5-1
2007

TUGAS AKHIR - LK 1347

**STUDI TENTANG PENGARUH KETEBALAN
MATERIAL BAJA KARBON ASTM A 516
TERHADAP BEBAN IMPACT
PADA KONDISI SUB - SIZE**

HILMI AMRULLOH
NRP. 4198 100 002

Dosen Pembimbing
Wing Hendroprasetyo, ST, M.Eng

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2007

PERPUSTAKAAN I T S	
Tgl. Terima	28-2-2007
Terima Dari	H.
No. Agenda Prp.	227948

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI TENTANG PENGARUH KETEBALAN MATERIAL BAJA KARBON ASTM A 516 TERHADAP BEBAN IMPACT PADA KONDISI SUB - SIZE

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi Konstruksi dan Kekuatan
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

HILMI AMRULLOH

Nrp. 4198 100 002

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Wing Hendroprasetyo AP, ST, MEng.



SURABAYA, FEBRUARI 2007

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

Sarjana Teknik (ST)

ABSTRAK

STUDI TENTANG PENGARUH KETEBALAN MATERIAL BAJA KARBON ASTM A
516 TERHADAP BEBAN IMPACT PADA KONDISI SUB-SIZE

Oleh : Hilmi Amrulloh

Pembimbing : Wing Hendroprasetyo AP,ST,MEng.

Kata kunci : Tebal material, energi serap, kuat impact, kekerasan.

Kepekaan terhadap patah getas adalah masalah besar pada baja. Bila patah getas ini terjadi pada baja dengan daya tahan rendah, patahan tersebut dapat merambat dengan kecepatan sampai 2000 mm/detik, yang dapat menyebabkan kerusakan dalam waktu yang sangat singkat. Untuk menilai ketahanan material terhadap patah getas perlu adanya pengujian yang juga mempertimbangkan faktor-faktor dinamis yang dapat mempengaruhi patah getas antara lain kecepatan regang, takik, tebal pelat, tegangan sisa dan lain-lain. Untuk menampung hal-hal dinamik ini perlu pengujian dalam skala besar, baik jumlah maupun dimensinya. Tetapi dipandang dari sudut ekonomi hal ini tidak mungkin dilakukan. Karena itu, dibuat pengujian dalam skala kecil yang distandarkan yang disebut pengujian takik. Pengujian yang dilakukan dalam skala kecil pada umumnya adalah uji impact Charpy dengan takik V 2 mm. Selain pengujian impact, untuk mengetahui tingkat kegetasan material dapat dilakukan dengan pengujian kekerasan. Dalam hal ini menggunakan pengujian kekerasan Vickers. Dari sini dapat diketahui tingkat kegetasan material dari tingkat kekerasannya.

Dalam Tugas Akhir ini dilakukan penelitian tentang pengaruh ketebalan material baja karbon ASTM A 516 grade 60 dan A 516 grade 70 terhadap beban impact dan kekerasannya. Tiga variabel ketebalan digunakan pada penelitian ini antara lain 3.3 mm, 5 mm (sub-size) dan 10 mm (full-size). Untuk masing-masing ketebalan dilakukan pengujian impact v-notch Charpy dan hardness Vickers pada daerah base metal, HAZ dan weld metal. Perhitungan meliputi penentuan energi serap, ekspansi lateral dan kekerasan material.

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa energi absorb dan ekspansi lateral pada material dengan ketebalan 10 mm lebih besar daripada material dengan ketebalan 5 mm dan 3.3 mm baik pada base metal, HAZ dan weld metal. Sedangkan dari segi kekerasan material dengan ketebalan 10 mm mempunyai kekerasan paling besar dibandingkan dengan material dengan ketebalan 5 mm dan 3.3 mm. Dengan kata lain material yang ketebalan lebih besar bersifat lebih getas.



**SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
FACULTY OF OCEAN TECHNOLOGY
DEPARTEMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING**

Bachelor Degree in Engineering (ST)

ABSTRACT

**STUDY ABOUT THICKNESS INFLUENCE OF CARBON STEEL MATERIAL OF
ASTM A 516 TO IMPACT FORCE AT SUB-SIZE CONDITION**

By : Hilmi Amrulloh

Supervisor : Wing Hendroprasetyo AP,ST,MEng.

Keywords : Material Thickness, absorption energy, impact strength, hardness.

Sensitivity of brittle fracture is big problem of steel. When brittle fracture occurs to steel with low toughness, the fracture can creep with speed until 2000 mm/second, which can cause damage rapidly. To assess material toughness to brittle fracture needs some examinations which also consider dynamic factors which can influence brittle fracture for example velocity of straining, notch, material thickness, residual stress and others. To accomodate these dynamic factors need some examinations in big scale, either in quantity and dimension. But if it is evaluated by economic factor, this is not possible to be done. In consequence, examination made in small scale] which related by standard is called impact test. Examination performed within small scale generally is impact Charpy test with v-notch 2 mm. Besides examination impact, to know brittle level of material can be conducted with hardness test. In this case, we use hardness Vickers test. From here we can know brittle level of material from hardness level of its.

In this final assignment is conducted research about thick influence of steel carbon material of ASTM A 516 grade 60 and A 516 grade 70 to impact force and hardness. Three thickness variables are used in this research for example 3.3 mm, 5 mm (sub-size) and 10 mm (full-size). Each thickness is conducted by impact v-notch Charpy test and hardness Vickers test to base metal, HAZ and weld metal. Calculations cover determination of absorption energy, lateral expansion and material hardness.

From this research, it can show that absorption energy and lateral expansion value of 10 mm l thickness materia is higher than 5 mm and 3.3 mm thickness either in base metal, HAZ and weld metal. Based on material hardness, 10 mm thickness material have highest hardness than 5 mm and 3.3 mm thickness material. Equally, the bigger thickness material have more brittle.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb.

Alhamdulillah, segala puji syukur Penulis panjatkan hanya kepada Allah SWT dan Rasul-Nya Muhammad SAW. Karena hanya dengan kemurahan rahmat dan hidayah-Nya pada akhirnya Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang mengambil tema “**Studi Tentang Pengaruh Ketebalan Material Baja Karbon ASTM A 516 Terhadap Beban Impact Pada Kondisi Sub-size**”. Dan sekaligus menyelesaikan studi di almamater tercinta, Jurusan Teknik Perkapalan, FTK, ITS Surabaya. Penulis juga berharap, apa yang disusun dalam Tugas Akhir kali ini kiranya dapat memberikan masukan yang positif bagi kalangan akademis maupun praktisi guna perkembangan ilmu pengetahuan & teknologi terutama di bidang perkapalan walaupun Penulis menyadari hal tersebut tidak akan terlalu signifikan namun setidaknya akan sedikit memberikan sumbangsih berupa hasil pemikiran dari Penulis pribadi.

Dan dalam kesempatan ini Penulis juga ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam untuk berbagai pihak yang telah mendukung, membantu dan memberikan inspirasi dalam menyelesaikan studi di almamater ini.

1. Bapak dan Ibu tercinta yang telah memberikan dukungan material dan spiritual hingga akhir studi.
2. Terima kasih kepada segenap keluarga, terutama kakak dan adik, atas dorongan moral yang menjadi pemicu untuk segera menyelesaikan studi.
3. Ir. Triwilaswandio W.P, M.Sc. Selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan.
4. Dr. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc. Selaku Sekretaris Jurusan Teknik Perkapalan.
5. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, PhD, MRINA. Selaku Dosen Wali yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama masa studi di kampus ini.
6. Bapak Wing Hendroprasetyo AP, ST, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir. Terima kasih atas segala bantuan dan konsultasinya selama membimbing Tugas Akhir ini.
7. Ir. Soewefy, MEng. yang memberikan topik Tugas Akhir ini.
8. Bapak Yuli Setiono S. yang telah memberikan banyak sekali literatur untuk Tugas Akhir ini. *Thank you, sir. I like your character.*
9. Seluruh teknisi Laboratorium Produksi (Mas Pardi, Denny Sambow dan Pak Warnoto), teknisi Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan (Pak Mujito, Pak Didik dan Pak Naryo)
10. Komunitas Teknik Perkapalan Angkatan '98. Terima kasih atas kebersamaannya selama bertahun-tahun di kampus ini dalam suka dan duka.
11. Seluruh Civitas Akademika di Jurusan Teknik Perkapalan dan Kampus ITS.
12. *Special Thanks to my best friend* Anjar “Tole” Ciptandini atas bantuan dan motivasinya selama ini.
13. Seluruh komunitas penghuni Sutorejo Timur IX/7. Ari, terima kasih atas printernya. Mr.Yandha “Del Blaque”, terima kasih atas motornya. Ryan, terima kasih atas pengertiannya. Nano dan Hadi, terima kasih atas kebersamaannya.
14. Agus Setio P40, terima kasih atas kebersamaannya selama mengerjakan Tugas Akhir ini.

15. Terima kasih tidak lupa Penulis ucapkan kepada Saudara Ahmad “Bodhonk” Hanafi atas kebersamaannya selama di Keputih I D dan laporan TA-nya yang menjadi sumber inspirasi.

Serta pihak-pihak lain yang tak sempat disebutkan di sini namun memberikan andil dalam kelangsungan studi Penulis selama berada di kampus almamater ITS.

PENULIS

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	i
Abstrak	iii
Abstract	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	ix
Daftar Grafik	x
Daftar Tabel	xi
BAB I – PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	1
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Manfaat Penelitian	2
1.6. Sistematika Penulisan	2
BAB II – TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Klasifikasi Baja	5
2.1.1. Pembagian Jenis Baja Berdasar Komposisi Kimia	5
2.2. Metalurgi Las	7
2.2.1. Struktur Atom	7
2.2.2. Siklus Termal Daerah Las	8
2.2.3. Pengelasan Baja Karbon Dengan Shielded Metal Arc Welding (SMAW)	9
2.2.4. Pengelasan Baja Karbon Dengan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)	10
2.2.5. Ketangguhan Daerah Las	10
2.3. Uji Pukul – Takik (<i>Impact Test</i>)	11
2.3.1. Ringkasan	11
2.3.2. Tujuan Uji Impact	11
2.3.3. Metode dan Prinsip Pengujian	13
2.3.3.1. Pemilihan dan Jumlah Spesimen	14
2.3.3.2. Ukuran dan Tipe Spesimen	14
2.3.4. Pengaruh Ketebalan Terhadap Ketangguhan Material	16
2.3.5. Ekspansi Lateral	17
2.3.6. Pengaruh Temperatur Terhadap Ketangguhan Material	17

2.4. Uji Kekerasan (<i>Hardness Test</i>)	18
2.4.1. Uji Kekerasan Vickers (<i>Hardness Vickers Test</i>)	19
2.4.2. Nilai F dan t	19
2.4.3. Keuntungan dan Kerugian	20
2.4.4. Metode Pengujian Hardness untuk <i>Welding Procedure Qualification</i>	20
BAB III – METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Diagram Alir Penelitian	21
3.2. Jenis dan Ukuran Material	22
3.2.1. Jenis Material	22
3.2.2. Ukuran Material Lasan	22
3.3. Persiapan dan Pelaksanaan Pengelasan	22
3.3.1. Prosedur Pengelasan	22
3.3.2. Persiapan Pengelasan	29
3.3.3. Pelaksanaan Pengelasan	29
3.4. Pembuatan Spesimen Uji Impact	31
3.5. Pengujian Impact V-Notch Charpy Pada Suhu -46 °C	34
3.6. Pengujian Kekerasan Vickers (<i>Hardness Vickers Test</i>)	35
3.6.1. Pelaksanaan Pengujian	35
BAB IV – ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1. Pengumpulan Data Hasil Pengujian	37
4.1.1. Hasil Pengujian Impact V-Notch Charpy (<i>V-Notch Charpy Impact Test</i>)	37
4.1.2. Hasil Pengujian Hardness Vickers (<i>Hardness Vickers Test</i>)	39
4.2. Analisa Data Hasil Pengujian	41
4.2.1. Analisa Data Hasil Uji Impact V-Charpy	41
4.2.2. Analisa Data Hasil Pengujian Hardness Vickers (<i>Hardness Vickers Test</i>)	48
BAB V – KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	57
5.2. Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Struktur dendrit kolumnar	7
Gambar 2.2.	Geometri Atom	8
Gambar 2.3.	Siklus termal las	8
Gambar 2.4.	Spesimen uji impact Charpy, tipe A (V-notch), tipe B (Keyhole-notch) dan tipe C (U-notch)	12
Gambar 2.5.	Metode pengujian impact Charpy dan Izod	13
Gambar 2.6.	Prinsip pengujian impact Charpy	14
Gambar 2.7.	Spesimen uji impact Charpy (Balok sederhana), sub-size tipe A	15
Gambar 2.8.	Ketebalan sebagai fungsi ketangguhan	16
Gambar 2.9.	Alat ukur ekspansi lateral untuk spesimen impact Charpy	17
Gambar 2.10.	Uji hardness	19
Gambar 2.11.	Metode pengamatan butt weld untuk pengukuran hardness Vickers	20
Gambar 3.1.	Potongan material yang disiapkan untuk proses pengelasan	22
Gambar 3.2.	Sketsa penampang material dengan tebal 25.4 mm	23
Gambar 3.3.	Urutan pengelasan material dengan tebal 25.4 mm	23
Gambar 3.4.	Sketsa penampang material dengan tebal 11 mm	25
Gambar 3.5.	Urutan pengelasan material dengan tebal 11 mm	25
Gambar 3.6.	Sketsa penampang material dengan tebal 8 mm	27
Gambar 3.7.	Urutan pengelasan material dengan tebal 8 mm	27
Gambar 3.8.	Sketsa penampang material dengan tebal 5 mm	28
Gambar 3.9.	Urutan pengelasan material dengan tebal 5 mm	28
Gambar 3.10.	Dimensi spesimen uji impact V-Charpy dengan ketebalan 10 mm	32
Gambar 3.11.	Dimensi spesimen uji impact V-Charpy dengan ketebalan 5 mm	32
Gambar 3.12.	Dimensi spesimen uji impact V-Charpy dengan ketebalan 3.3 mm	32
Gambar 3.13.	Penempatan lokasi takik (notch) pada weld metal	33
Gambar 3.14.	Penempatan lokasi takik (notch) pada HAZ	33
Gambar 3.15.	Penempatan lokasi takik (notch) pada base metal	33
Gambar 3.16.	Mesin uji impact Charpy merek <i>Wolpert Testor Amsler</i>	35
Gambar 3.17.	Mesin uji hardness merek <i>Frank</i>	36
Gambar 4.1.	Lokasi indentasi pengujian hardness Vickers	39



DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1.	Kuat impact material ASTM A 516 grade 60 pada base metal	42
Grafik 4.2.	Kuat impact material ASTM A 516 grade 60 pada HAZ	43
Grafik 4.3.	Kuat impact material ASTM A 516 pada weld metal	44
Grafik 4.4.	Kuat impact material ASTM A 516 grade 70 pada HAZ	45
Grafik 4.5.	Kuat impact material ASTM A 516 grade 70 pada base metal	46
Grafik 4.6.	Kuat impact material ASTM A 516 grade 60	46
Grafik 4.7.	Kuat impact material ASTM A 516 grade 70	47
Grafik 4.8.	Nilai kekerasan material ASTM A 516 grade 60 pada base metal	48
Grafik 4.9.	Nilai kekerasan material ASTM A 516 grade 60 pada HAZ	50
Grafik 4.10.	Nilai kekerasan material ASTM A 516 pada wed metal	52
Grafik 4.11.	Nilai kekerasan material ASTM A 516 grade 70 pada HAZ	54
Grafik 4.12.	Nilai kekerasan material ASTM A 516 grade 70 pada base metal	55
Grafik 4.13.	Nilai kekerasan material ASTM A 516 grade 60	55
Grafik 4.14.	Nilai kekerasan material ASTM A 516 grade 70	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Klasifikasi baja karbon	7
Tabel 2.2.	Kadar karbon dan suhu pemanasan mula	9
Tabel 2.3.	Kriteria penerimaan uji impact Charpy untuk beberapa spesimen sub-size	15
Tabel 3.1.	Proses pengelasan material dengan tebal 25.4 mm	24
Tabel 3.2.	Proses pengelasan material dengan tebal 11 mm	26
Tabel 3.3.	Proses pengelasan material dengan tebal 8 mm	27
Tabel 3.4.	Proses pengelasan material dengan tebal 5 mm	29
Tabel 4.1.	Hasil uji impact v-notch Charpy material ASTM A 516 grade 60 dan grade 70 tebal 3.3 mm dari test coupon tebal 5.5 mm	37
Tabel 4.2.	Hasil uji impact v-notch Charpy material ASTM A 516 grade 60 dan grade 70 tebal 5 mm dari test coupon tebal 8 mm	38
Tabel 4.3.	Hasil uji impact v-notch Charpy material ASTM A 516 grade 60 dan grade 70 tebal 10 mm dari test coupon tebal 11 mm	38
Tabel 4.4.	Hasil uji impact v-notch Charpy material ASTM A 516 grade 60 dan grade 70 tebal 10 mm dari test coupon tebal 25.4 mm	39
Tabel 4.5.	Hasil uji hardness Vickers material ASTM A 516 grade 60 dan grade 70 tebal 3.3 mm dari test coupon tebal 5.5 mm	40
Tabel 4.6.	Hasil uji hardness Vickers material ASTM A 516 grade 60 dan grade 70 tebal 5 mm dari test coupon tebal 8 mm	40
Tabel 4.7.	Hasil uji hardness Vickers material ASTM A 516 grade 60 dan grade 70 tebal 10 mm dari test coupon tebal 11 mm	40
Tabel 4.8.	Hasil uji hardness Vickers material ASTM A 516 grade 60 dan grade 70 tebal 10 mm dari test coupon tebal 25.4 mm	41
Tabel 4.9.	Hasil uji impact v-notch Charpy material ASTM A 516 grade 60 pada base metal	41
Tabel 4.10.	Hasil uji impact v-notch Charpy material ASTM A 516 grade 60 pada HAZ	42
Tabel 4.11.	Hasil uji impact v-notch Charpy material ASTM A 516 pada weld metal	43
Tabel 4.12.	Hasil uji impact v-notch Charpy material ASTM A 516 grade 70 pada HAZ	44
Tabel 4.13.	Hasil uji impact v-notch Charpy material ASTM A 516 grade 70 pada base metal	45

Tabel 4.14.	Hasil uji hardness Vickers material ASTM A 516 grade 60 pada base metal	48
Tabel 4.15.	Hasil uji hardness Vickers material ASTM A 516 grade 60 pada HAZ	49
Tabel 4.16.	Hasil uji hardness Vickers material ASTM A 516 pada weld metal	51
Tabel 4.17.	Hasil uji hardness Vickers material ASTM A 516 grade 70 pada HAZ	53
Tabel 4.18.	Hasil uji hardness Vickers material ASTM A 516 grade 70 pada base metal	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Material yang mempunyai ketangguhan terhadap pembebanan baik beban statis maupun beban dinamis dan mempunyai ketahanan terhadap perubahan bentuk (*deformasi*) sangat diperlukan untuk beberapa struktur konstruksi sehingga material tersebut tidak akan mudah mengalami kegagalan. Ketika suatu konstruksi mengalami kegagalan yang dapat mengurangi ketangguhan maka harus dilakukan perbaikan bahkan jika diperlukan diganti dengan material yang baru. Dalam hal ini perbaikan yang diijinkan adalah perbaikan yang tidak menimbulkan perubahan struktur material.

Baja karbon sedang (*medium karbon*) yang biasanya bersifat ulet atau *ductile* dapat berubah menjadi getas bila berada dalam kondisi tertentu. Terdapat tiga faktor yang mendukung terjadinya patah jenis pembelahan getas. Ketiga faktor tersebut adalah: (1) keadaan tegangan tiga sumbu, (2) suhu rendah dan (3) laju regangan yang tinggi atau laju pembebanan yang cepat. Ketiga faktor tersebut tidak perlu ada secara bersamaan pada waktu terjadi patah getas. Sebagian besar peristiwa kegagalan getas disebabkan oleh keadaan tegangan tiga sumbu, seperti yang terjadi pada takik, dan oleh suhu yang rendah. Akan tetapi, karena kedua penyebab tersebut akan lebih menonjol apabila terdapat laju pembebanan yang tinggi.

Karena kegagalan fungsi logam terutama terjadi pada sambungan las, untuk beberapa lama teknik pengelasan dianggap tidak cocok untuk kondisi dimana terdapat kemungkinan perpatahan las. Penelitian yang meluas telah dilakukan dan telah dibuktikan bahwa pengelasan tidak kalah dibandingkan dengan jenis konstruksi lainnya. Namun diperlukan pengendalian mutu yang baik untuk mencegah terjadinya cacat pengelasan yang dapat berfungsi sebagai takik atau faktor yang mempertinggi tegangan.

Dalam pembahasan Tugas Akhir ini digunakan material baja karbon ASTM A 516 grade 60 dan A 516 grade 70 yang merupakan material baja karbon tinggi yang bersifat lebih getas atau brittle. Berbagai jenis pengujian telah digunakan untuk menentukan kecenderungan bahan untuk bersifat getas. Dengan pengujian impact batang bertakik dapat diketahui perbedaan sifat bahan yang tidak teramati dalam uji tarik. Hasil yang diperoleh dari uji batang bertakik tidak dengan sekaligus memberikan besaran rancangan yang dibutuhkan, karena tidak mungkin mengukur komponen tegangan tiga sumbu pada takik. Selain itu tidak terdapat kesempatan umum mengenai penafsiran atau makna hasil pengujian takik ini.

Pengukuran kekerasan (*hardness*) pada bahan ditentukan dari ketahanan terhadap perubahan bentuk (*deformasi*) dengan pembekasan. Bekas ini disebabkan oleh suatu benda yang lebih keras daripada bahan yang akan diperiksa dan saat pembekasan itu sendiri hampir tidak mengalami perubahan bentuk.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan pada penjelasan yang telah dipaparkan sebelumnya, maka masalah yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah mengenai kekuatan impact (*impact strength*) dan kekerasan (*hardness*) pada material baja karbon ASTM A 516 grade 60 dan A 516 grade 70. Permasalahan yang timbul adalah :

Bagaimana kekuatan impact material baja karbon ASTM A 516 grade 60 dan A 516 grade 70 dengan beberapa ketebalan pada suhu rendah (*low temperature*) untuk daerah base metal, HAZ dan weld metal ?

- a. Bagaimana kekerasan (*hardness*) material baja karbon ASTM A 516 grade 60 dan A 516 grade 70 dengan beberapa ketebalan pada suhu rendah untuk daerah base metal, HAZ dan weld metal ?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan Tugas Akhir ini adalah :

- Untuk mendapatkan data kekuatan impact (*impact strength*) dari baja karbon ASTM A 516 grade 60 dan A 516 grade 70 untuk beberapa ketebalan pada suhu rendah untuk daerah base metal, HAZ dan weld metal.
- Untuk mendapatkan data tentang kekerasan (*hardness*) material baja karbon ASTM A 516 grade 60 dan A 516 grade dengan beberapa ketebalan pada suhu rendah untuk daerah base metal, HAZ dan weld metal.

1.4. Batasan Masalah

Pada penyusunan Tugas Akhir ini dibuatkan suatu batasan-batasan pada proses penelitian dimana hal tersebut dimaksudkan agar proses pengerjaan penelitian tersebut nantinya lebih terarah guna memperoleh data-data yang sesuai kebutuhan.

Dimana batasan masalah tersebut dapat diuraikan sebagai berikut :

- Material yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah baja karbon ASTM A 516 grade 60 dan A 516 grade 70.
- Standar pengujian menggunakan standar ASTM A 370.
- Penelitian dilakukan pada material lasan untuk daerah base metal, HAZ dan weld metal.
- Suhu pengujian adalah -46°C .
- Ketebalan material uji antara lain 10 mm, 5 mm dan 3.3 mm.
- Pengujian impact menggunakan metode *V-Notch Charpy*.
- Pengujian kekerasan menggunakan metode *Hardness Vickers*

1.5. Manfaat Penelitian

Proses pengujian dan penelitian yang dilakukan pada material baja karbon ASTM A 516 grade 60 dan grade 70 ini nantinya akan diperoleh suatu kesimpulan akhir yang berupa grafik perbandingan energi absorb, ekspansi lateral dan nilai kekerasan material baja karbon ASTM A 516 grade 60 dan grade 70 untuk beberapa ketebalan pada base metal, HAZ dan weld metal.

1.6. Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang masalah, tujuan dan manfaat, batasan masalah dan sistematika serta metodologi penelitian yang dipakai pada penulisan Tugas Akhir.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini berisikan pembahasan mengenai baja karbon dan klasifikasinya, penjelasan tentang kekuatan impact dan *hardness* serta metode pengujian yang dipakai dalam Tugas Akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan data – data hasil pengujian impact dan *hardness* yang akan dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan – ITS. Material uji yang digunakan dalam pengujian adalah baja karbon ASTM A 516 grade 60 dan

A 516 grade 70 yang telah mengalami proses pengelasan. Ketebalan material yang digunakan antara lain 5.5 mm, 8 mm dan 11 mm. Lokasi notch pada material yang akan diuji berada pada daerah base metal, HAZ dan weld metal untuk tiap – tiap ketebalan

BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN ANALISANYA

Bab ini berisikan pengolahan dan analisa data hasil pengujian impact dan hardness yang akan disajikan dalam bentuk grafik perbandingan energi absorb, ekspansi lateral dan nilai kekerasan pada base metal, HAZ dan weld metal untuk tiap-tiap ketebalan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab terakhir ini berisikan ringkasan sekaligus jawaban tentang pengaruh ketebalan material baja karbon ASTM A 516 grade 60 dan grade 70 terhadap pembebanan impact pada kondisi sub-size. Pada bab ini juga berisi saran tentang penelitian yang telah dilakukan dengan tujuan demi terpenuhinya kesempurnaan dan hasil lebih yang baik pada penelitian ini.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Klasifikasi Baja

Baja merupakan logam jenis paduan yang paling banyak diproduksi atau digunakan dalam kegiatan industri modern seperti pada saat ini. Jenis dan bentuk baja yang diproduksi pada saat ini sangat banyak jenis dan ragamnya, dimana hal tersebut dibuat sesuai dengan keperluan penggunaan baja tersebut. Misalnya, jenis baja yang dipakai untuk konstruksi kapal tentu saja tidak sama jenisnya dengan jenis baja yang dipergunakan untuk struktur bangunan gedung maupun bangunan sipil lainnya. Karena penggunaannya yang sangat banyak jumlahnya dan beragam pula jenisnya maka ada berbagai macam cara yang sering dipergunakan guna membuat klasifikasi menurut keperluan atau kebutuhan masing-masing. Adapun cara-cara untuk melakukan klasifikasi baja antara lain [Suherman,1998] :

1. Menurut cara pembuatannya. Misal : baja Bessemer, baja Siemens-Martin (*open hearth steel*), baja listrik (*electrical blast steel*), dan lain sebagainya.
2. Menurut tujuan penggunaannya. Misal : baja konstruksi, baja mesin, baja perkakas dan lain sebagainya.
3. Menurut kekuatannya. Misal : baja kekuatan lunak (*mild steel*), baja kekuatan tinggi (*high tensile steel*).
4. Menurut struktur mikro (*microstructure*) yang dimiliki. Misal : baja eutektoid, baja hypoeutektoid, baja hypereutektoid, baja austenitik, baja feritik, baja martensitik, dan lain sebagainya.
5. Menurut komposisi kimia yang dimiliki. Misal : baja karbon, baja paduan rendah, baja paduan tinggi, dan lain sebagainya .

2.1.1. Pembagian Jenis Baja Berdasar Komposisi Kimia

Cara yang pada umumnya dipakai atau digunakan dalam menentukan klasifikasi dari jenis baja tidak hanya berpegang pada salah satu cara saja. Namun semua itu adalah merupakan gabungan dari beberapa cara di atas. Sedangkan untuk lebih memudahkan dalam mempelajari baja sebagai obyek pembahasan, pada umumnya akan lebih memudahkan apabila baja dikelompokkan menurut komposisi kimia atau struktur mikro yang dimiliki oleh baja tersebut. [Suherman,1998]

Menurut komposisi kimianya, baja dapat dibagi menjadi dua kelompok besar. Yaitu baja tanpa paduan yang umum disebut sebagai baja karbon (*plain carbon steel*) dan baja paduan (*alloy steel*). Baja karbon disini bukan berarti merupakan baja yang sama sekali tidak memiliki kandungan berupa paduan dari unsur lain selain besi dan karbon. Namun, baja karbon juga masih mengandung sejumlah kandungan dari unsur lain akan tetapi masih dalam batas-batas tertentu yang tidak banyak berpengaruh terhadap sifat maupun hal lainnya. Unsur-unsur ini biasanya merupakan ikutan yang berasal dari proses pembuatan besi/baja, seperti unsur mangan (Mn) ataupun silikon (Si) serta beberapa elemen pengotor lain seperti unsur sulfur/belerang, fosfor, oksigen, nitrogen, dan lain-lain yang biasanya ditekan sampai kadar yang sangat kecil. Baja dengan kadar mangan (Mn) yang kurang dari 0,8 %, silikon kurang dari 0,5% dan unsur lain yang sangat sedikit masih dapat dianggap sebagai baja karbon. Mangan dan silikon sengaja ditambahkan dalam proses pembuatan baja sebagai bahan pencegah timbulnya proses oksidasi (*deoxidizer*), untuk mengurangi pengaruh buruk dari beberapa unsur pengotoran. Baja paduan mengandung unsur-unsur paduan yang sengaja ditambahkan untuk memperoleh sifat-sifat tertentu.

Untuk selanjutnya, baja yang digolongkan berdasarkan komposisi kimianya dapat dikelompokkan lagi menjadi [Suherman,1998] :

- a. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*). Yaitu merupakan jenis baja karbon yang memiliki kandungan unsur karbon hingga 0,25 %. Penggunaannya sangat luas antara lain sebagai baja konstruksi umum, baja konstruksi profil rangka bangunan, baja untuk struktur beton bertulang, *chasis* atau rangka kendaraan, mur baut, pelat, pipa dan lain sebagainya. Baja ini kekuatannya relatif rendah atau lunak, karena unsur karbonnya sedikit, namun tingkat keuletan yang dimiliki (*ductility*) cukup baik sehingga mudah untuk dibentuk ataupun di-*machining*. Baja jenis *low carbon* ini tidak dapat dikeraskan kecuali dilakukan proses *case hardening*.
- b. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*). Yaitu merupakan jenis baja karbon yang memiliki kandungan unsur karbon hingga 0,25% - 0,55%. Baja jenis ini memiliki tingkat kekerasan (*hardness*) dan keuletan (*ductility*) yang tinggi bila dibanding baja jenis *low carbon* serta mudah untuk dikeraskan (*hardening process*). Untuk penggunaannya hampir sama dengan baja jenis *low carbon* yaitu digunakan untuk konstruksi yang memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang cukup tinggi. Sebagai tambahan, baja jenis ini juga dipakai sebagai bahan untuk pembuatan konstruksi mesin, untuk *shaft* atau poros, roda gigi, rantai dan lain sebagainya. Intinya, baja jenis *medium carbon* ini memiliki kemampuan yang lebih baik bila dibandingkan dengan jenis *low carbon*.
- c. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*). Yaitu merupakan jenis baja karbon yang memiliki kandungan unsur karbon hingga lebih dari 0,55%. Baja jenis *high carbon* ini memiliki tingkat kekuatan (*strength*) serta kekerasan (*hardness*) yang lebih tinggi apabila dibanding dengan baja jenis *low carbon* ataupun *medium carbon* namun memiliki ketangguhan (*toughness*) yang rendah apabila dibandingkan kedua jenis baja tersebut. Tingginya kadar karbon yang dimiliki oleh baja jenis ini adalah penyebab rendahnya tingkat ketangguhan (*toughness*). Namun di lain sisi, tingginya kadar karbon yang dimiliki dapat memberikan tingkat kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi. Baja jenis ini umumnya dipergunakan sebagai bahan untuk perkakas yang memerlukan sifat tahan aus. Misalnya sebagai bahan untuk mata bor, *tap*, ataupun *reamer* dan lain sebagainya.

Baja Paduan Rendah (*Low Alloy Steel*). Yaitu merupakan baja paduan dengan kadar unsur paduan yang rendah (kurang dari 10%) namun mempunyai kekuatan dan ketangguhan yang lebih baik apabila dibandingkan dengan baja karbon walaupun dengan jumlah kadar yang sama, atau dengan kata lain memiliki tingkat keuletan (*ductility*) yang lebih baik daripada baja karbon yang memiliki tingkat kekuatan yang sama. Untuk lebih jelas lihat tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Klasifikasi baja karbon [Wiryosumarto,1987]

Jenis dan Kelas	Kadar Karbon	Kekuatan Luluh	Kekuatan Tarik	Perpanjangan	Kekerasan	
Brinel	(%)	(kg/mm ²)	(kg/mm ²)	(%)	(6)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Baja Karbon Rendah	↑ Baja lunak Khusus	0.08	18 - 28	32 - 36	40 - 30	95 - 100
	↓ Baja sangat Lunak	0.08 - 0.12	20 - 29	36 - 42	40 - 30	80 - 120
	Baja lunak	0.12 - 0.20	22 - 30	38 - 48	36 - 24	100 - 130
Baja Karbon Sedang	↑ Baja setengah Lunak	0.20 - 0.30	24 - 36	44 - 55	32 - 22	112 - 145
	↓ Baja setengah Keras	0.30 - 0.40	30 - 40	50 - 60	30 - 17	140 - 170
Baja Karbon Tinggi	↑ Baja keras	0.40 - 0.50	34 - 46	58 - 70	26 - 14	160 - 200
	↓ Baja sangat Keras	0.50 - 0.80	36 - 47	65 - 100	20 - 11	180 - 235

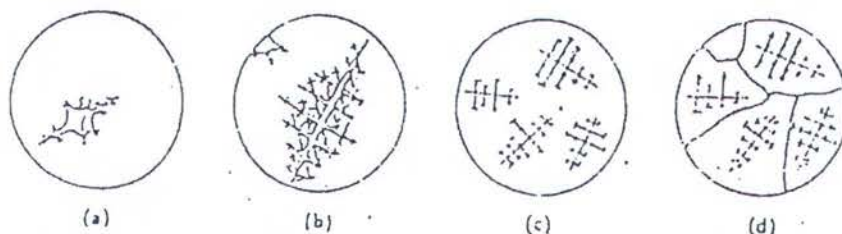
2.2. Metalurgi Las

2.2.1. Struktur Atom

Metalurgi di dalam pengelasan adalah sifat dan struktur pada logam las dan daerah pengaruh panas atau *Heat Affected Zone* (HAZ). Sifat dan struktur akhir logam las dan HAZ dapat dipakai sebagai acuan dalam memperkirakan baik atau tidaknya hasil suatu pengelasan. [Wiryosumarto,1987]

Logam terdiri atas atom – atom yang berbentuk kristal. Walaupun dalam keadaan padat ada sekelompok atom yang agak bebas yang memungkinkan terjadinya difusi. Dalam kristal yang membentuk logam, atom – atom diatur dalam kisi – kisi tertentu yang sulit bergerak. Tetapi ada kisi – kisi kristal yang kurang sempurna atau terdapat cacat sehingga terdapat kekosongan atau lubang yang memungkinkan atom – atom yang berdifusi atau melompat ke dalamnya. Bila di situ terdapat kekosongan energi maka atom yang berdekatan akan masuk menggantikannya. Dengan mekanisme tersebut atom dapat bergerak dalam keadaan padat atau berdifusi. Studi kisi – kisi ruang dan struktur kristal membantu menerangkan bagaimana terjadinya suatu bentuk paduan. [Thelning,1975]

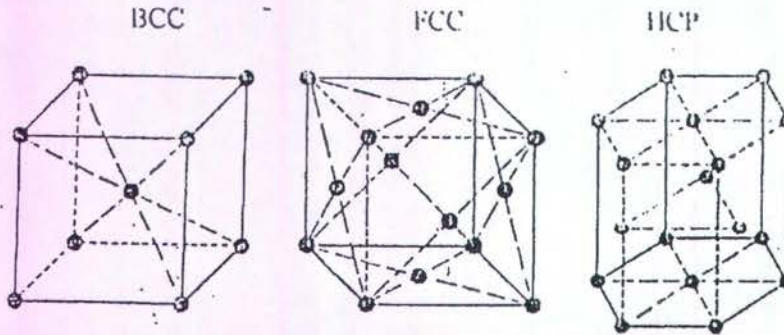
Bila dilihat struktur logam dari keadaan cair menjadi padat, maka konsep dasar formasi kristal adalah proses pemadatan (*solidification*) dalam logam yang dimulai dari pengintian (*nucleation*) dan dilanjutkan dengan penumbuhan kristal. Pada umumnya terjadi lebih dahulu pada pinggiran luar logam yang dingin. Pertumbuhan kristal merupakan gejala sejumlah besar atom yang sama – sama membentuk kristal pada energi yang bebas atau energi paling rendah. Setelah pengintian, inti – inti yang terjadi akan tumbuh menjadi butir atau grain berupa struktur *dendrit kolumnar* seperti pada gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Struktur dendrit kolumnar

Susunan geometri rapi dari atom adalah bentuk kristal yang berulang dalam pola tiga dimensi. Karena pola atom ini berulang secara tak terhingga, untuk mudahnya kisi kristal (*lattice crystal*) dibagi dalam sel satuan yaitu *Face-Centre Cubic* (FCC), *Body-Centre Cubic* (BCC) dan *Hexagonal Closed-Packed* (HCP).

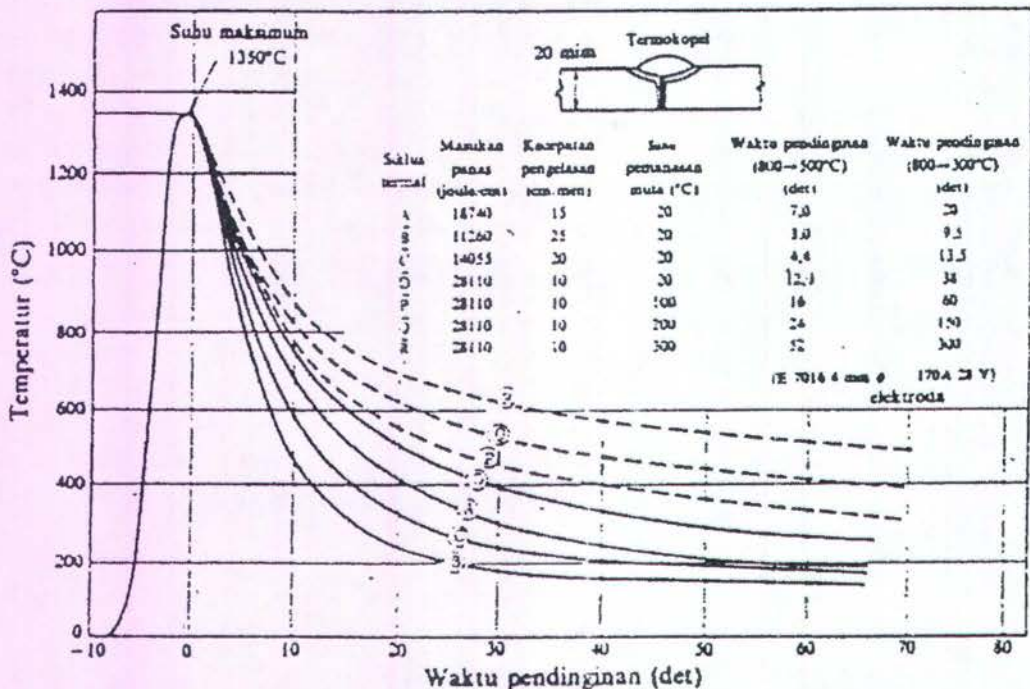
Pada temperatur kamar, besi memiliki *lattice crystal* BCC atau dinamakan besi *alpha* (α). Pada temperatur antara $910\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ kisi kristalnya adalah FCC atau dinamakan besi *gamma* (γ). Diatas temperatur $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai mencair kisi kristalnya adalah HCP atau besi *delta* (δ) seperti pada gambar 2.2 di bawah ini. [Thelning,1975]



Gambar 2.2 Geometri atom [Thelning,1975]

2.2.2. Siklus Termal Daerah Las

Siklus termal daerah las adalah proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan. Panas dari pengelasan dapat mengubah sifat dan struktur mikro dari logam induk dan daerah lasan. Perubahan ini terjadi selama pemanasan pada saat pengelasan dan selama pendinginan berlangsung. Lamanya pendinginan daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi kualitas sambungan, seperti dijelaskan pada gambar 2.3. Karena itu banyak usaha untuk menentukan lamanya waktu pendinginan tersebut. [Wiryosumarto,1987]



Gambar 2.3 Siklus termal las [Wiryosumarto,1987]

Selama pengelasan, logam meleleh pada suhu 3000 °F atau lebih tinggi. Di daerah sekitar las, logam induk mempunyai suhu sekitar 600 °F. Antara suhu 600°F – 3000°F memungkinkan terjadinya pengembangan butir, perubahan kekerasan dan sifat kekuatan logam.

Daerah yang dekat dengan logam lasan mempunyai suhu yang lebih tinggi dan semakin menurun seiring dengan jauhnya jarak dengan daerah tersebut. Pada gambar di atas, suhu pada tiap daerah baik dekat maupun jauh dari logam las menjadi sama pada selang waktu tertentu dan bersama – sama menurun sampai temperatur ruang.

Perubahan yang pada logam las maupun logam induk tergantung pada temperatur puncak pada saat logam mencair, lamanya waktu pemanasan, komposisi kimia logam dan proses pendinginan. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi perubahan ini adalah jumlah panas yang diberikan selama proses pengelasan. Sedangkan kecepatan pendinginan dapat mempengaruhi ukuran butir – butir struktur mikro. [Wiryosumarto,1987]

2.2.3. Pengelasan Baja Karbon Dengan Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

Shielded Metal Arc Welding paling banyak digunakan dalam metode penggabungan logam. Metode ini menggunakan temperatur tinggi dan konsentrasi panas yang mengijinkan peleburan kecil pada proses pengelasan untuk pembangunan secara cepat. Tambahan filler metal dari elektrode menambah kekuatan pengelasan. SMAW dapat membentuk hampir banyak tipe logam dengan ketebalan 1/8 inchi atau lebih. Peralatan yang dibutuhkan relatif sedikit dan mudah untuk dibawa. [Jeffus,1992]

Teknik pengelasan SMAW memanfaatkan panas busur listrik yang timbul karena perbedaan tegangan antara elektroda terbungkus dengan material yang akan dilas. Gas pelindung timbul dari lapisan pembungkus elektroda yang terurai. Material pengisi berasal dari kawat elektroda dan pembungkusnya yang terdiri dari berbagai campuran serbuk halus. Proses pengelasan ini dilakukan secara manual dan banyak sekali dipergunakan dalam proses pembuatan kapal.

Pada baja karbon rendah sifat mampu-las dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kekuatan takik dan kepekaan terhadap retak las. Kekuatan takik pada baja karbon rendah dapat diperbesar dengan menurunkan kadar Karbon *C* dan menaikkan kadar Mangan *Mn*. Temperatur transisi dari kekuatan takik menjadi turun dengan naiknya harga perbandingan *Mn/C*. Baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan dan hasilnya akan baik bila persiapannya sempurna dan persyaratannya dipenuhi. Retak las yang mungkin terjadi pada pengelasan pelat tebal dapat dihindari dengan pemanasan mula atau dengan menggunakan elektroda hidrogen rendah.

Baja karbon sedang dan karbon tinggi mengandung banyak karbon dan unsur lain yang dapat memperkeras baja. Karena itu daerah pengaruh panas atau HAZ pada baja ini mudah menjadi keras bila dibandingkan dengan baja karbon rendah. Sifatnya yang mudah menjadi keras dan ditambah dengan adanya hidrogen difusi menyebabkan baja ini sangat peka terhadap retak las. Terjadinya retak dapat dihindari dengan pemanasan mula dengan suhu yang sangat tergantung pada karbon atau harga ekivalen karbon.

Tabel 2.2 Kadar karbon dan suhu pemanasan mula [Wiryosumarto,1987]

Kadar Karbon	Suhu Pemanasan mula (°C)
0.20 maks	90 (maks)
0.20 - 0.30	90 – 150
0.30 - 0.45	150 – 260
0.45 - 0.80	260 – 420



Dalam tabel 2.2 dapat ditunjukkan suhu pemanasan mula yang dianjurkan. Untuk mengurangi hidrogen difusi yang juga menyebabkan terjadinya retak las, harus digunakan elektroda hidrogen rendah. Bila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan logam induk, maka proses pengelasannya menjadi sulit dan pilihan elektrodanya harus betul – betul diperhatikan. Pengerasan dari daerah pengaruh panas dapat dikurangi dengan pendinginan lambat atau dengan pemanasan kemudian pada suhu 600 °C sampai 650 °C. [Wiryosumarto,1987]

2.2.4. Pengelasan Baja Karbon dengan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)

Proses pengelasan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) dapat digunakan pada hampir semua tipe dan ketebalan logam. Kecepatan yang rendah dan biaya yang tinggi biasanya membatasi metode pengelasan ini pada potongan yang tipis, bagian yang kecil dan penggabungan dengan integritas yang tinggi. Pada beberapa akar las lebih efisien dilakukan pengelasan dengan proses GTAW.

Pengaturan peralatan GTAW sering mempengaruhi kualitas pengelasan. Terdapat grafik yang menyediakan pengaturan ampere yang benar, *gas flow rate* dan waktu yang digunakan dalam proses pengelasan ini. Grafik ini didesain untuk kondisi laboratorium yang optimal. Pekerjaan sebenarnya di lapangan akan mempengaruhi harga-harga tersebut. [Jeffus,1992]

Waktu aliran gas sebelum dan sesudah proses pengelasan dibutuhkan untuk melindungi tungsten dan lasan tergantung dari faktor-faktor di bawah ini [Jeffus,1992] :

- Angin dan kecepatan.
- Ukuran nozzle
- Ukuran tungsten
- Ampere
- Desain joint
- Posisi pengelasan
- Tipe logam yang akan dilas.

Kualitas pengelasan akan kurang baik akibat pengaruh dari pengaturan aliran gas. Kecepatan aliran gas yang paling rendah dan waktu aliran sebelum dan sesudah pengelasan yang singkat dapat membantu mengurangi biaya pengelasan dengan menghemat gas pelindung yang mahal. Kecepatan dan waktu aliran harus meningkatkan pengelasan pada area yang kasar atau untuk posisi pengelasan yang tidak memungkinkan. Kecepatan dan waktu sedikit banyak menurunkan *tee joint* atau pengelasan yang dibuat pada area yang kedap. Kecepatan aliran maksimum tidak boleh berlebihan. Kelebihan kecepatan alir ini menyebabkan kontaminasi pengelasan dan menambah rata-rata penolakan. [Jeffus,1992]

2.2.5. Ketangguhan Daerah Las

Kepekaan terhadap patah getas (*brittle fracture*) adalah masalah besar pada baja. Bila patah getas ini terjadi pada baja dengan daya tahan rendah, patahan tersebut dapat merambat dengan kecepatan sampai 2000 mm/detik, yang dapat menyebabkan kerusakan dalam waktu yang sangat singkat. Dalam hal sambungan las, patah getas ini menjadi lebih penting lagi karena adanya faktor – faktor yang membantu seperti konsentrasi tegangan, struktur yang tidak sesuai dengan adanya cacat dalam lasan. Untuk mempertinggi keamanan las, perlu adanya penilaian ketahanan daerah las terhadap patah getas. [Broek,1987]

Untuk menilai ketahanan material terhadap patah getas perlu adanya pengujian yang juga mempertimbangkan faktor – faktor dinamis yang dapat mempengaruhi patah getas, kecepatan regang (*velocity of straining*), takik (*notch*), tebal pelat, tegangan sisa dan lain – lain. Untuk menampung hal – hal dinamik ini perlu pengujian dalam skala besar, baik jumlah maupun dimensinya. Tetapi dipandang dari sudut ekonomi hal ini tidak mungkin dilakukan. Karena itu, dibuat pengujian dalam skala kecil yang distandarkan yang disebut pengujian takik (*impact test*). Pengujian yang dilakukan dalam skala kecil pada umumnya adalah uji impact Charpy dengan takik V 2 mm.

Keuntungan utama uji pukul atau impact takik Charpy V adalah mudah dilakukan, murah dan benda ujinya kecil. Pengujian dapat dilakukan pada suhu di bawah suhu ruang. Uji tersebut juga dapat digunakan untuk membandingkan pengaruh paduan dan perlakuan panas pada ketangguhan takik. [Courtney,2000]

2.3. Uji Pukul – Takik (*Impact Test*)

2.3.1. Ringkasan

Pengujian impact merupakan suatu cara untuk menguji kecenderungan terjadinya patahan getas yang terjadi pada suatu logam. Pada pengujian ini digunakan spesimen yang mempunyai takik (*notch*), yang dipukul dengan sebuah bandul sebagai beban yang dikenakan pada spesimen. Bentuk dan ukuran masing – masing spesimen harus benar – benar sama sehingga hasil pengujian dapat dibandingkan antara spesimen satu dengan yang lainnya. Hal ini dapat dilihat pada standar yang diakui secara internasional.

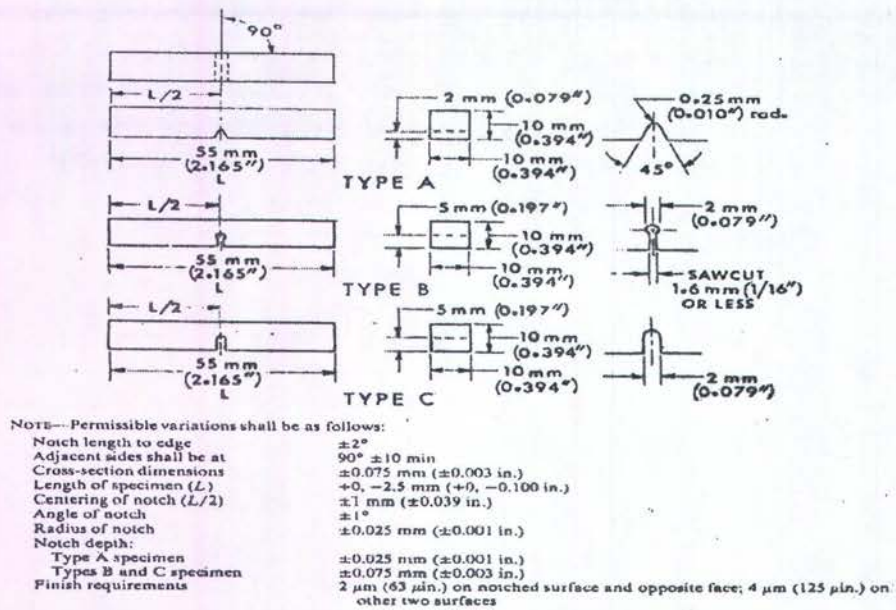
2.3.2. Tujuan Uji Impact

Pada pengujian impact yang dilakukan dapat diketahui atau diukur antara lain: [Dieter, 1986]

- a. *Impact strength*, menunjukkan ketahanan spesimen terhadap pukulan (*impact*) yang dinyatakan dengan banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen.
- b. Pola perpatahan yang terjadi pada spesimen, apakah spesimen patah dengan pola getas (*brittle fracture*) atau dengan pola patah ulet (*ductile fracture*). Pada patahan getas akan terlihat mengkilat dan berbutir (disebut *granular fracture* atau *cleavage fracture*) sedangkan untuk patahan ulet akan terlihat lebih suram dan seperti berserabut (*fibrous fracture* atau *shear fracture*).
- c. Keuletan, yang ditunjukkan dengan prosentase pengecilan pada permukaan patahan.

Hasil pengukuran dari pengujian impact yang berupa harga *impact strength* tidak dapat digunakan untuk keperluan perhitungan suatu desain. Hasil tersebut hanya dapat digunakan untuk membandingkan sifat suatu bahan dengan bahan lain, apakah suatu bahan memiliki ketangguhan yang lebih baik dari bahan yang lain. Hal ini disebabkan karena banyak sekali faktor yang mempengaruhi *impact strength* yang tidak dapat dicari korelasinya antara kondisi pengujian dan pemakaian. Sebagai contoh pada pengujian kecepatan pembebanan dapat bervariasi. Demikian juga dengan *triaxialstate of stress*, yang dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran takikan, bentuk dan ukuran benda kerja, sehingga semua ini akan menyebabkan *impact strength* yang berbeda apabila terdapat faktor berbeda.

Bentuk takikan (*notch*) yang dapat digunakan antara lain; *V-notch*, *U-notch*, dan *Key Hole-notch* seperti pada gambar 2.4 yang biasanya digunakan untuk logam yang dianggap ulet sedangkan untuk logam getas biasa digunakan *U-notch* . [Dieter, 1986]



Gambar 2.4 Spesimen uji impact Charpy, Tipe A (V-notch), Tipe B (Keyhole-notch) dan Tipe C (U-notch) [ASTM A 370, 25.4.3]

Pengujian tipe Charpy atau Izod berhubungan erat dengan sifat takik (*brittle* atau *ductile*) dengan mengaplikasikan tegangan overload tunggal. Nilai energi ditentukan oleh perbandingan kuantitatif pada pemilihan spesimen tetapi tidak dapat dikonversikan ke dalam nilai energi yang disajikan untuk perhitungan perencanaan teknik. Sifat takik ditunjukkan dalam pengujian individual yang mengaplikasikan ukuran spesimen, geometri takik dan kondisi pengujian yang dilibatkan dan tidak dapat digeneralisasikan pada ukuran dan kondisi spesimen yang lain.

Sifat takik dari baja *face-centered cubic* dan baja paduan, sejumlah besar material nonferro dan baja austenit dapat dikelompokkan berdasarkan kadar tensile-nya. Jika brittle dalam uji tarik maka brittle juga ketika diberi takik, sebaliknya jika ductile dalam uji tarik maka ductile juga ketika diberi takik. Kecuali untuk takik yang tidak biasa, tajam dan dalam (lebih dari standar Charpy dan Izod). Meskipun dalam suhu rendah tidak mengubah karakteristik material tersebut. Sebaliknya, karakteristik dari baja ferrit dengan kondisi tanpa takik tidak dapat diprediksi dari kandungan material tersebut seperti yang diinformasikan pada uji tarik. Untuk mempelajari material – material tersebut, pengujian tipe Charpy dan Izod sangat berguna. Beberapa metal yang menunjukkan keuletan (*ductile*) normal dalam uji tarik mungkin tidak sama keadaannya jika material tersebut dalam kondisi bertakik. Kondisi bertakik meliputi regangan untuk deformasi ke arah tegak lurus tegangan mayor atau tegangan multiaxial dan konsentrasi tegangan. [ASTM A 370, 25.4.3]

Hasil kombinasi antara takik dan tegangan multiaxial digabung dengan regangan untuk deformasi dengan arah tegak lurus tegangan mayor dan konsentrasi tegangan pada dasar takik. Beberapa kondisi takik umumnya tidak dapat dipenuhi dan menjadi perhatian khusus pada kasus ini dimana hal tersebut menjadi awal dari kegagalan material brittle. Beberapa material dapat diubah menjadi ductile walaupun pada kondisi temperatur rendah. Perbedaan sifat material ini dapat dipahami dengan mempertimbangkan kekuatan kohesi material dan hubungannya dengan yield point. Pada kasus kepecahan brittle, kekuatan kohesi diletakkan sebelum deformasi plastis yang signifikan terjadi dan kepecahan tampak seperti kristal. Pada kasus kegagalan tipe *ductile* atau *shear*, deformasi terlebih dahulu dari permukaan yang tampak berserat di dalam lingkaran kristal.

Ketika batang bertakik dibebani, terdapat tegangan normal pada dasar takik yang mengakibatkan awal kepecahan. Kandungan pada batang tersebut yang menjaga dari pembelahan dan menahan secara bersamaan adalah kekuatan kohesi. Kepecahan batang ketika tegangan normal menambah kekuatan kohesi. Pada saat hal ini terjadi tanpa deformasi pada batang maka kondisi tersebut adalah kepecahan getas (*brittle fracture*).

Dalam pengujian biasanya deformasi plastis yang menyebabkan terjadinya kepecahan. Beberapa hal yang penting dari sifat takik adalah sebagai berikut :

- Jika notch dibuat lebih tajam dan lebih drastis, tegangan normal dan akar takik akan bertambah dalam hubungannya dengan tegangan shear dan batang akan cenderung mengalami *brittle fracture*. Jika deformasi bertambah, kekuatan shear juga bertambah dan kemungkinan *brittle fracture* lebih mudah terjadi. Pada penanganan kasus lain, peningkatan temperatur dengan takik dan kecepatan deformasi tetap sama, kekuatan shear akan lebih rendah dan sifat ductile yang akan terjadi.

Variasi ukuran takik sangat mempengaruhi hasil pengujian. Pengujian pada ASTM E 4340 spesimen baja menunjukkan pengaruh ukuran takik pada hasil pengujian impact Charpy. [ASTM A 370, 25.4.3]

2.3.3. Metode dan Prinsip Pengujian

Pada pengujian impact ini ada dua metode pengujian yang dapat digunakan, yaitu; [Dieter, 1986]

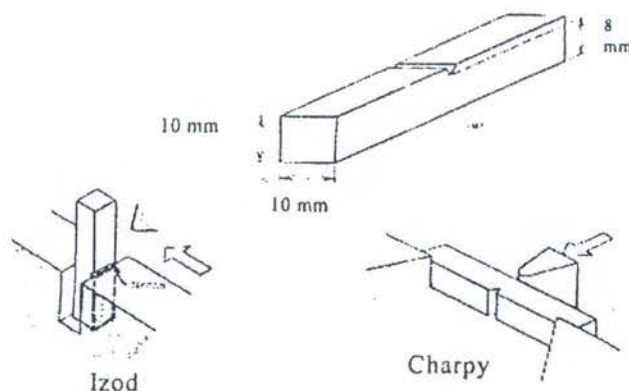
1. Metode Izod

Pada metode ini spesimen dijepit pada salah satu ujungnya sehingga takikan berada didekat penjepitnya. Bandul / beban diayunkan dari ketinggian tertentu dan memukul ujung yang lain dari arah takikan. Metode ini banyak dilakukan di Inggris.

2. Metode Charpy

Pada metode ini spesimen diletakkan mendatar oleh penahan yang berjarak 40 mm. Bandul / beban yang berayun akan memukul dibelakang takikan.

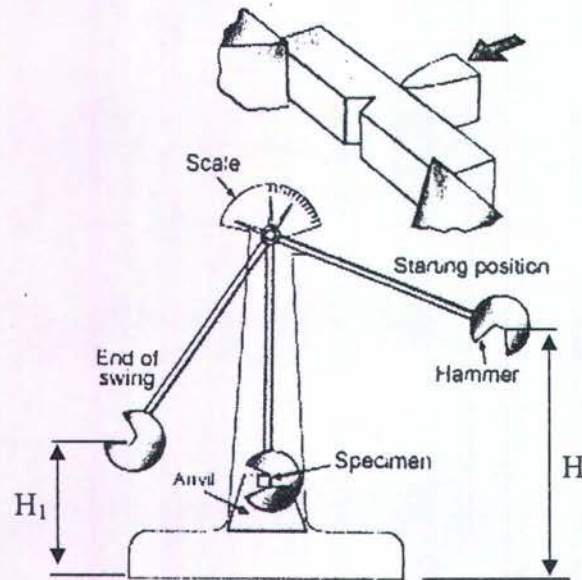
Prinsip kedua metode di atas dapat diterangkan dengan gambar 2.5 berikut :



Gambar 2.5 Metode pengujian impact Charpy dan Izod. [Dieter, 1986]

Prinsip pada pengujian ini adalah bandul dinaikkan sampai ketinggian tertentu (H). Pada posisi ini pemukul memiliki energi potensial sebesar WH (W = berat pemukul). Dari posisi ini pemukul dilepaskan dan berayun bebas, memukul spesimen hingga patah dan pemukul masih berayun hingga ketinggian H_1 . Pada posisi ini sisa energi potensial adalah sebesar WH_1 seperti

yang ditunjukkan pada gambar 2.6. Selisih antara energi awal dengan energi akhir adalah energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen. Tetapi besarnya energi tersebut dapat dihitung secara manual atau dilihat pada jarum penunjuk yang tersedia pada mesin uji impact. Besarnya *impact strength* dapat diperoleh dengan membagi energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen dengan luas penampang di bawah takikan. [Dieter, 1986]



Gambar 2.6. Prinsip pengujian *impact Charpy*. [Dieter, 1986]

Besarnya *impact strength* dinyatakan dengan persamaan :

Impact strength = $WH - WH_1$ atau

$$\text{Impact strength} = \frac{E}{A} \text{ (joule/mm}^2\text{)}$$

Dimana : E = Energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen

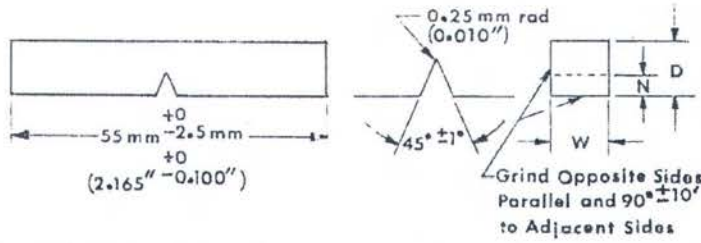
A = Luas permukaan di bawah takikan

2.3.3.1. Pemilihan dan Jumlah Spesimen

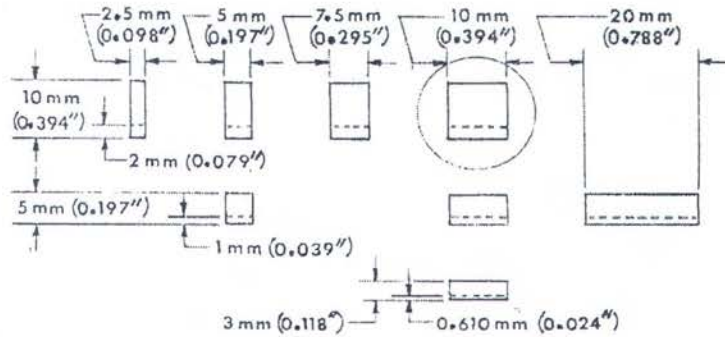
Kecuali jika cara lain sudah ditentukan, spesimen uji longitudinal seharusnya menggunakan takik (notch) yang tegak lurus dengan permukaan obyek yang akan diuji. Pengujian impact sebaiknya terdiri dari spesimen yang diambil dari lokasi pengujian tunggal.

2.3.3.2. Ukuran dan Tipe Spesimen

Tipe spesimen yang akan diuji sebaiknya ditentukan terlebih dahulu antara lain Charpy V-notch Tipe A atau Charpy Keyhole Tipe B. Untuk material yang tebalnya kurang dari 11 mm sebaiknya menggunakan spesimen uji sub-size seperti pada gambar 2.7 di bawah ini.



On subsize specimens the length, notch angle, and notch radius are constant (see Fig. 6); depth (*D*), notch depth (*N*), and width (*W*) vary as indicated below.



NOTE 1—Circled specimen is the standard specimen (see Fig. 6).

NOTE 2—Permissible variations shall be as follows:

Cross-section dimensions	±1% or ±0.075 mm (0.003 in.), whichever is smaller
Radius of notch	±0.025 mm (0.001 in.)
Depth of notch	±0.025 mm (0.001 in.)
Finish requirements	2 μm (63 μin.) on notched surface and opposite face; 4 μm (125 μin.) on either two surfaces

Gambar 2.7 Spesimen uji impact Charpy (Balok sederhana), Sub-size Tipe A [ASTM A 370, 25.4.3]

Dasar dari notch sebaiknya tegak lurus pada 10 mm lebar face. Jika diperlukan, pengurangan energi pada pengujian spesimen sub-size dapat dilakukan seperti yang tercantum dalam tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3 Kriteria penerimaan uji impact Charpy V-notch untuk beberapa spesimen sub-size [ASTM A370, 25.4.3]

Full-size, 10 by 10 mm		3/4 size, 10 by 7.5 mm		2/3 size, 10 by 6.7 mm		1/2 size, 10 by 5 mm		1/3 size, 10 by 3.3 mm		1/4 size, 10 by 2.5 mm	
ft.lbf	[J]	ft.lbf	[J]	ft.lbf	[J]	ft.lbf	[J]	ft.lbf	[J]	ft.lbf	[J]
40	[54]	30	[41]	27	[37]	20	[27]	13	[18]	10	[54]
35	[48]	26	[35]	23	[31]	18	[24]	12	[16]	9	[48]
30	[41]	22	[30]	20	[27]	15	[20]	10	[14]	8	[41]
25	[34]	19	[26]	17	[23]	12	[16]	8	[11]	6	[34]
20	[27]	15	[20]	13	[18]	10	[14]	7	[10]	5	[27]
16	[22]	12	[16]	11	[15]	8	[11]	5	[7]	4	[22]
15	[20]	11	[15]	10	[14]	8	[11]	5	[7]	4	[20]
13	[18]	10	[14]	9	[12]	6	[8]	4	[5]	3	[18]
12	[16]	9	[12]	8	[11]	6	[8]	4	[5]	3	[16]
10	[14]	8	[11]	7	[10]	5	[7]	3	[4]	2	[14]
7	[10]	5	[7]	5	[7]	4	[5]	2	[3]	2	[10]

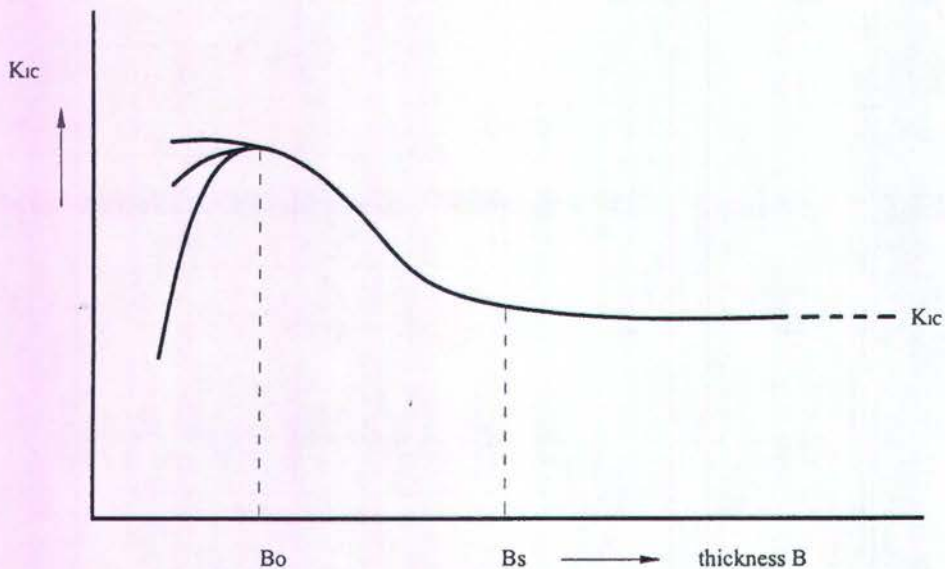
Penambahan pada lebar dan tebal spesimen cenderung menambah volume metal, faktor ini menambah energi absorb ketika mematahkan spesimen. Tetapi beberapa penambahan ukuran lebar cenderung menambah derajat regangan dan cenderung menyebabkan kepecahan brittle. Hal ini mungkin disebabkan berkurangnya energi absorb dimana spesimen yang mempunyai ukuran standar berada pada batas antara brittle dan ductile. Spesimen dengan lebar dua kali lebar standar mungkin membutuhkan energi yang lebih kecil untuk menyebabkan terjadinya kepecahan daripada spesimen dengan lebar standar.

Korelasi umum antara harga energi yang diperoleh dengan ukuran dan bentuk yang berbeda adalah tidak ada, tetapi batasan korelasi dapat digunakan untuk spesifikasi kegunaan pada dasar studi khusus dari bagian material atau bagian spesimen. Pada penanganan kasus lain, studi tentang variasi proses secara relatif, evolusi dengan menggunakan beberapa spesimen sembarang dengan beberapa pemilihan takik akan lebih membuat jarak dengan metode – metode yang telah ada.

2.3.4. Pengaruh Ketebalan Terhadap Ketangguhan Material.

Ketebalan pelat sangat berpengaruh pada tegangan di ujung retak. Untuk menjaga plane strain sepanjang bagian yang lebih besar di ujung retak, ketebalan pelat harus cukup besar. Untuk menentukan plane strain fracture toughness K_{IC} dari material dibutuhkan tebal spesimen yang tergantung pada ratio (K_{IC}/σ_{yx}) . Pada spesimen tipis dimana ukuran daerah plastis cukup besar dibandingkan dengan ketebalan, plane stress akan bertambah besar. Pada kasus tersebut, intensitas tegangan yang lebih tinggi dapat diterapkan sebelum terjadi perambatan retak. Intensitas tegangan kritis untuk retak biasanya diberi tanda K_C . [Broek, 1987]

Hubungan K_{IC} dengan ketebalan ditunjukkan pada gambar 2.8. Di luar ketebalan yang ditentukan B_s , status plane strain masih berlaku dan ketangguhan mencapai nilai plane strain K_{IC} , tidak tergantung pada ketebalan $B > B_s$. Terdapat ketebalan B_0 dimana ketangguhan mencapai tingkat yang paling tinggi. Level ini biasanya digunakan sebagai plane stress fracture toughness yang sebenarnya. Pada daerah transisi antara B_0 dan B_s , ketangguhan mempunyai nilai tengah (*intermediet value*). Untuk ketebalan di bawah B_0 ketangguhan tidak ditentukan.



Gambar 2.8 Ketebalan sebagai fungsi ketangguhan [Broek, 1987]

Tidak ada penjelasan yang memuaskan tentang ketangguhan material meskipun beberapa model untuk pengaruh ketebalan telah dibuat. Bentuk kurva pada gambar bisa diterima pada beberapa hal. Pertama, tegangan di ujung retak lebih besar pada plane strain daripada plane stress. Yang kedua, bahwa kepecahan membutuhkan kombinasi tegangan tinggi dan regangan tinggi.

2.3.5. Ekspansi Lateral

Ekspansi lateral adalah selisih lebar spesimen pada notch setelah dipukul dengan lebar mula – mula dalam satuan *mils*. [ASTM A 370, 25.4.3]

Ekspansi lateral diformulasikan sebagai berikut :

$$LE = \frac{B_t - B_0}{25.4} \times 1000 \text{ (mils)}$$

Dimana : LE = Lateral Ekspansion (mils).

B_t = Lebar pada notch setelah dipukul (mm).

B_0 = Lebar mula – mula (mm).

Semakin tinggi harga lateral ekspansion maka semakin tinggi pula harga energi absorbnnya. Dan semakin rendah harga lateral ekspansion maka semakin rendah juga energi absorbnnya.

Penentuan ekspansi lateral – Metode untuk mengukur ekspansi lateral harus mengambil asumsi bahwa jarang terjadi kepecahan menjadi dua potongan pada titik maksimum ekspansi pada kedua sisi. Teknik yang digunakan harus dikarenakan adanya persamaan harga ekspansi untuk penjumlahan nilai yang lebih tinggi dari dua nilai yang diperoleh dari masing – masing sisi dengan mengukur dua bagian yang pecah. Penjumlahan ekspansi pada masing – masing sisi harus diukur menggunakan peralatan yang ada dengan tidak mengubah bentuk bagian sisi dari spesimen. Ekspansi bisa diukur dengan menggunakan alat ukur seperti ditunjukkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Alat ukur ekspansi lateral untuk spesimen impact Charpy
[ASTM A 370, 1986]

2.3.6. Pengaruh Temperatur Terhadap Ketangguhan Material

Temperatur mempunyai pengaruh yang perlu dipertimbangkan pada kandungan material secara umum. Temperatur mempunyai pengaruh yang signifikan pada fracture toughness. Tidak mungkin untuk mengabaikan pengaruh temperatur dari pengaruh beberapa parameter yang telah

dibahas. Seperti pengaruh ketebalan pada fracture toughness material. Pelat yang relatif tipis menunjukkan sifat plane-stress yang tinggi pada temperatur ruang. Pada temperatur rendah mempunyai harga tegangan yield yang lebih tinggi yang menyebabkan daerah plastis menjadi lebih kecil. Kemudian pelat menunjukkan sifat transisi atau peralihan atau sifat plane-strain, sehingga ketangguhan lebih rendah. Sebagian dari pengaruh temperatur yang sebenarnya pada ketangguhan terdapat pengaruh yang tidak langsung yaitu temperatur yang berpengaruh pada kekuatan yield. [Broek, 1987]

Transisi struktur baja brittle-ductile diketahui dari pengujian impact Charpy. Transisi yang sama kemungkinan terjadi pada nilai ketangguhan. Ditinjau dari masalah pengujian fracture toughness pada temperatur yang berbeda dari lingkungan maka dibuat estimasi K_{IC} pada basis dari energi impact Charpy. Terlihat bahwa terdapat hubungan antara energi Charpy dan fracture toughness. Tetapi kesimpulan ini masih meragukan pada saat energi Charpy merupakan energi gabungan dari perambatan retak pertama yang kecil sekali.

Meskipun demikian, terdapat korelasi antara ketangguhan dan energi Charpy terutama pada daerah-daerah ketangguhan rendah. Pengujian Charpy adalah pengujian dinamis dan mungkin lebih menunjukkan hubungan energi impact dengan *fracture toughness* dinamis. Meskipun pengujian Charpy dapat memberikan indikasi variasi ketangguhan. Pengujian tipe ini pada dasarnya tidak dapat sama prinsip fracture mechanics. Oleh karena itu, hal tersebut dapat diaplikasikan sebagai basis dari keputusan atau kesimpulan yang berhubungan dengan sifat pepecahan pada konteks fracture mechanics yang masih dapat diperdebatkan. [Broek, 1987].

Baja paduan dan material lain biasanya menunjukkan penambahan ketangguhan secara bertahap dengan temperatur yang diikuti dengan pengurangan temperatur yang mendekati titik lebur.

2.4 Uji Kekerasan (*Hardness Test*)

Kekerasan suatu bahan merupakan salah satu sifat mekanik yang penting. Hal ini disebabkan pelaksanaan pengujian yang lebih sederhana dibanding dengan pengujian lain. Adapun definisi kekerasan sangat tergantung pada cara pengujian tersebut dilakukan.

Beberapa dari definisi tersebut adalah sebagai berikut : [Devies, 1977]

- a. Ketahanan terhadap indentasi permanen akibat beban dinamis atau statis kekerasan indentasi.
- b. Energi yang diserap pada beban impact – kekerasan pantul.
- c. Kekerasan terhadap goresan – kekerasan goresan.
- d. Ketahanan terhadap abrasi – kekerasan abrasi.
- e. Ketahanan terhadap pemotongan atau pengeboran – mampu mesin.

Pengujian kekerasan yang paling banyak dilaksanakan adalah yang berdasarkan indentasi permanen atau deformasi plastis akibat beban statis. Hasil pengujian kekerasan tidak dapat langsung digunakan dalam desain seperti halnya pengujian tarik. Namun demikian pengujian kekerasan banyak dilakukan, sebab hasilnya dapat digunakan sebagai berikut: [Devies, 1977]

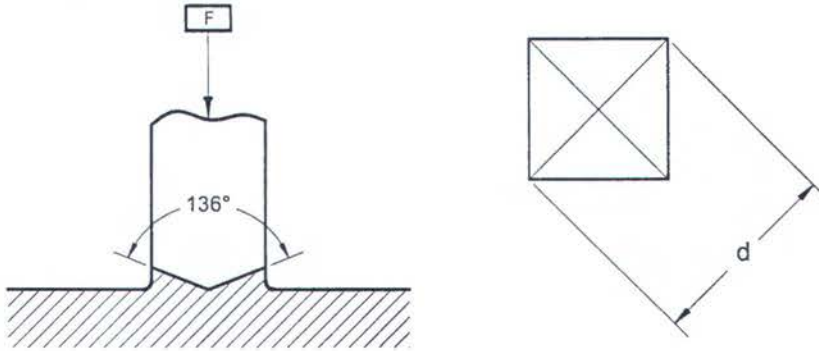
- ✓ Pada beban yang sama dapat diklasifikasikan berdasarkan kekerasannya. Dengan kekerasan tersebut dapat ditentukan penggunaan dari bahan tersebut.
- ✓ Sebagai kontrol kualitas (*Quality Control*) suatu produk seperti mengetahui homogenitas akibat suatu proses pembentukan dingin, pemaduan dan heat treatment, case hardening dan sebagainya. Dengan demikian dapat juga sebagai kontrol terhadap proses yang dilakukan.

Pengujian kekerasan ini berdasarkan material yang lebih keras dapat menggores material yang lebih lunak. Oleh sebab itu hasil pengujian bersifat relatif. Angka kekerasan dinyatakan

dengan skala mohs yaitu material yang lunak dengan angka 1 dan material terkeras dengan angka 15. Pengujian kekerasan yang berdasarkan penetrasi beban statis antara lain Brinnel, Rockwell, Vickers dan Mikro Hardness.

2.4.1 Uji Kekerasan Vickers (Hardness Vickers Test)

Pada pengukuran kekerasan menurut Vickers suatu benda penekan intan dengan bentuk piramida lurus dengan alas bujur sangkar dan dengan sudut puncak 136° ditekan ke dalam bahan dengan gaya F tertentu selama waktu tertentu. Setelah piramida diangkat diagonal d bekas tekanan tetap diukur seperti pada gambar. Kekerasan vickers dapat diperoleh dengan membagi gaya pada luas bekas tekanan berbentuk piramida.



Gambar 2.10 Uji hardness [Beumer,1985]

Definisi nilai kekerasan adalah hasil bagi antara beban tekan statis dan luas bidang bekas penetrator.

$$\text{Hardness Vickers} = \frac{\text{Gaya}}{\text{Luas bekas tekanan berbentuk piramida}}$$

$$\text{Atau HV} = \frac{F}{A} \quad [\text{Beumer,1985}]$$

Akan tetapi dalam praktek kekerasan Vickers langsung dibaca dari tabel.

Hasil-hasil kekerasan Vickers tidak tergantung pada gaya F . Seperti telah diketahui, dengan penggunaan bentuk piramida yang selalu sama, maka pada gaya F yang lebih besar akan diperoleh suatu luas yang lebih besar yang berbanding lurus dengan gaya tersebut, sehingga $HV = F/A$ konstan. Kekerasan Vickers diperoleh dengan berbagai gaya, dapat dibandingkan secara langsung dengan gaya yang lain. Untuk kelengkapan kita selalu cantumkan juga pada kekerasan Vickers gaya yang dipergunakan. Kita nyatakan sebagai berikut : HV_F umpama HV_{300} . [Beumer,1985]

2.4.2. Nilai F dan t

Gaya yang banyak dipergunakan adalah 10, 25, 50, 100, 300, 500, 600 dan 1000 N. [Beumer,1985]

Waktu dari beban penuh adalah :

Untuk baja, tembaga dan paduan tembaga :10 ~ 15 detik

Untuk aluminium, paduan aluminium, magnesium dan paduan magnesium :28 ~ 32 detik

2.4.3. Keuntungan dan kerugian

Keuntungan pengukuran kekerasan menurut Vickers adalah [Beumer,1985] :

1. Dengan benda penekan yang sama, kekerasan dapat ditentukan tidak hanya untuk bahan lunak akan tetapi juga untuk bahan keras.
2. Dengan bekas tekanan yang kecil bahan percobaan merusak lebih sedikit.
3. Pengukuran kekerasan lebih teliti.
4. kekerasan benda kerja yang tipis atau lapisan permukaan yang tipis dapat diukur dengan memilih gaya kecil.

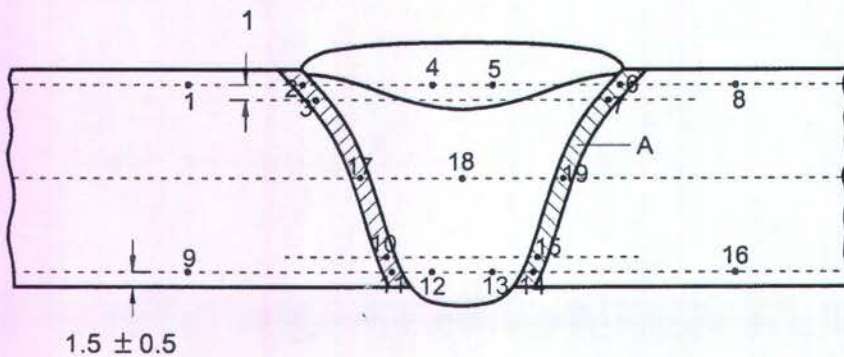
Kerugian pengukuran kekerasan menurut Vickers adalah [Beumer,1985] :

1. Dengan bekas tekanan yang kecil kekerasan rata-rata bahan yang tidak homogen tidak dapat ditentukan, misalnya besi tuang.
2. Penentuan kekerasan membutuhkan banyak waktu karena penekanan piramida dan pengukuran diagonal bekas tekanan adalah dua pelaksanaan yang terpisah.

2.4.4. Metode Pengujian Hardness Untuk Welding Procedure Qualification

Pengujian Hardness untuk pengelasan biasanya menggunakan metode Vickers HV10 atau HV5 yang sesuai dengan standar ISO 6507-1. Dimana angka 10 dan 5 menunjukkan besar pembebanan. Atau menggunakan metode Rockwell yang sesuai dengan standar ISO 6508-1 yang menggunakan skala 15N.

Pengamatan Hardness Vickers mengacu pada gambar 2.13 untuk pengelasan butt joint.



Gambar 2.13 Metode pengamatan butt weld untuk pengukuran Hardness Vickers [NACE MR0175/180]15156-2:2003(E)]

Keterangan :

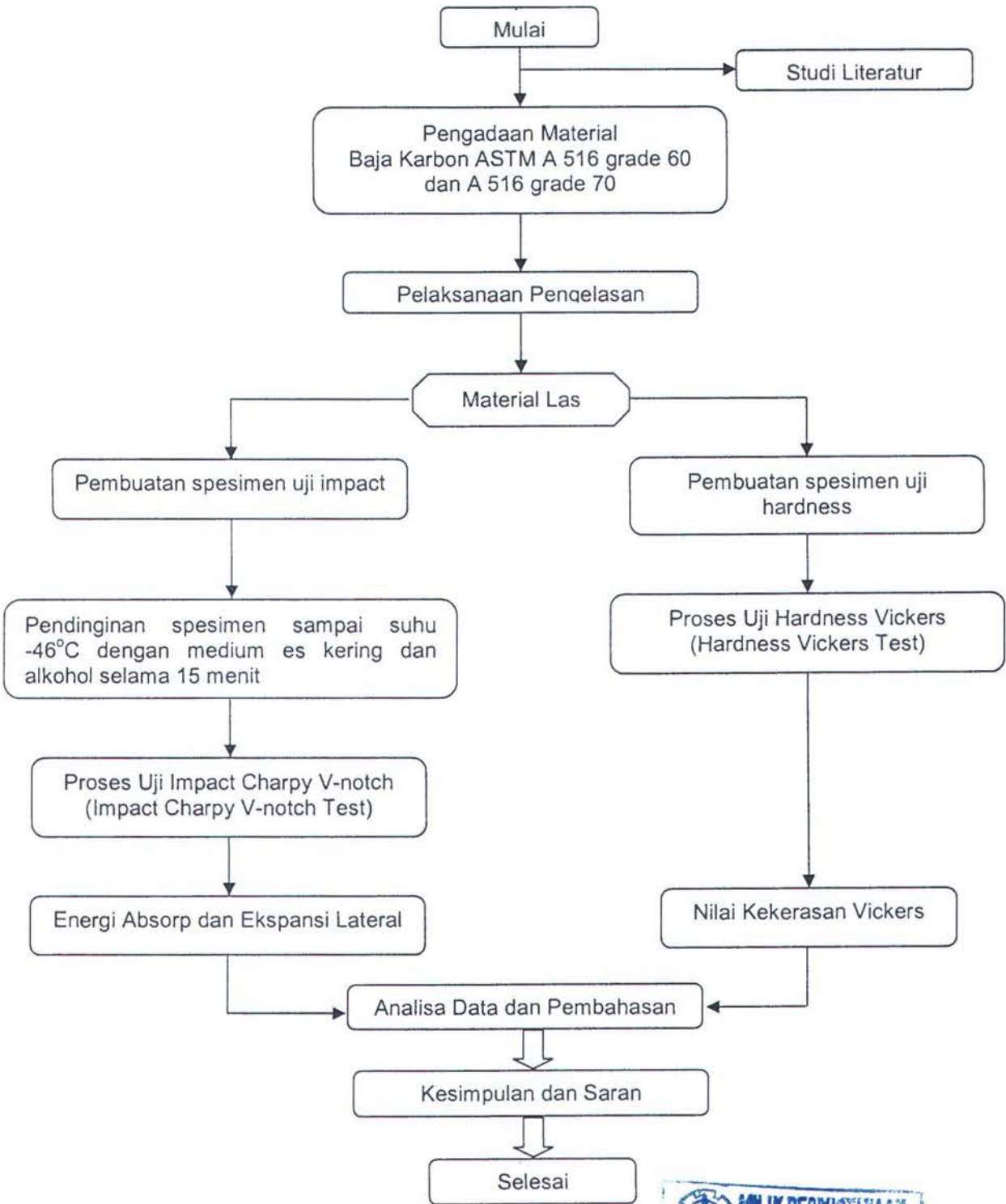
A : Heat Affected Zone (HAZ)

B : ----- garis pengamatan

Kekerasan pada poin 2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15, 17 dan 19 berada di dalam daerah pengaruh panas (HAZ) dan ditempatkan sedekat mungkin dengan batas antara weld metal dan HAZ. [NACE MR0175/180]15156-2:2003(E)].

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian



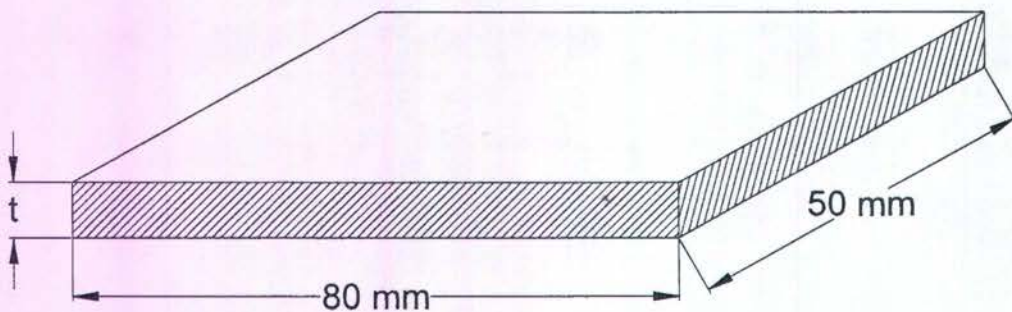
3.2. Jenis dan Ukuran Material

3.2.1. Jenis Material

Pada pengujian ini material yang digunakan adalah jenis baja karbon dengan standar ASTM A 516. Material ini termasuk jenis baja karbon tinggi yang digunakan pada bejana tekan (*pressure vessel*).

3.2.2. Ukuran Material Lasan

Lembaran material yang akan dilakukan pengelasan memiliki ukuran panjang 80 mm, lebar 50 mm dan beberapa ketebalan t antara lain 25.4 mm, 11 mm, 8 mm dan 5.5 mm



Gambar 3.1 Potongan material yang disiapkan untuk proses pengelasan

3.3. Persiapan dan Pelaksanaan Pengelasan

3.3.1. Prosedur Pengelasan

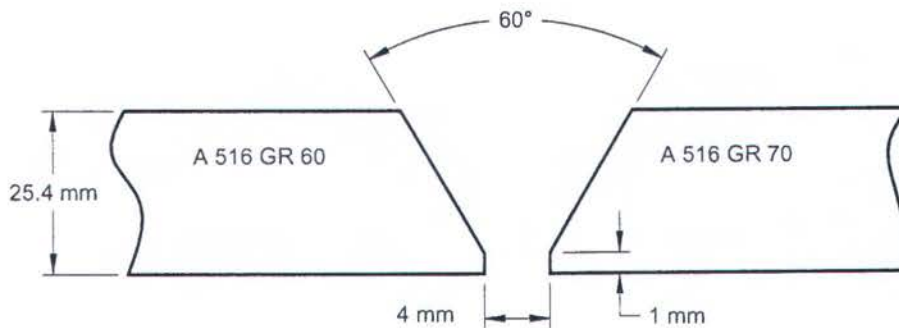
Prosedur pengelasan mengacu pada *Welding Procedure Specification (WPS)* berdasarkan standar ASME Section IX.

1. Prosedur pengelasan untuk material ASTM A 516 grade 60 dan A 516 grade 70 dengan ketebalan 25.4 mm :

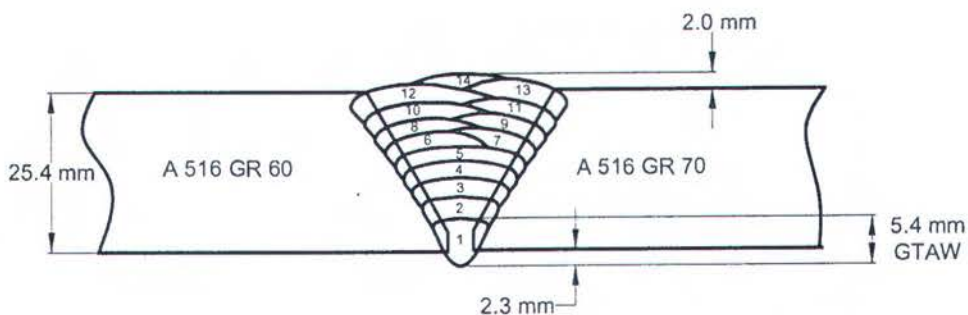
- *Welding Process* : *Combination of GTAW & SMAW*
- *Type* : *Manual*
- *Joint Design* : *Butt Joint, Single V groove*
- *Base Metal* :
 - ✓ *Groove* : *5 mm – 50.8 mm.*
- *Thickness Range* :
 - ✓ *Impact Test* : *16 mm - 50.8 mm*
- *Filler Metal* :
 - GTAW* :
 - ✓ *AWS No.(Classification)* : *ER 70S-G*
 - ✓ *Diametres* : *2.0 – 2.4 mm*
 - ✓ *Welding Position* : *1G (Down Hand)*

SMAW :

- ✓ AWS No.(Classification) : E 7018
- ✓ Diametres : 3.2 – 4 mm
- ✓ Welding Position : 1G (Down Hand)
- Interpass Temperature : 50 °C – 300 °C
- Current AC or DC : DC
- Polarity : DCEN (GTAW)
DCEP (SMAW)
- Amperage (Range) : 95 – 190 A
- Voltage (Range) : 12 – 28 V
- String of Weave Bead : Both
- Initial and Interpass Cleaning : Brushing and Grinding.
- Technique : Back Weld / Grinding
- Speed : 30 – 130 mm/minute



Gambar 3.2 Sketsa penampang welding material dengan tebal 25.4 mm



Gambar 3.3 Urutan pengelasan material dengan tebal 25.4 mm

Tabel 3.1 Proses pengelasan material dengan tebal 25.4 mm

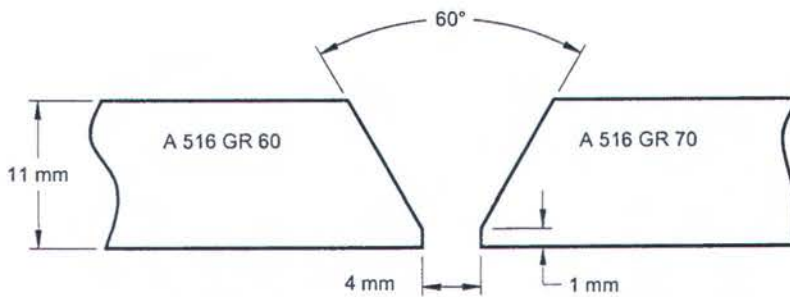
Weld Layer(s)	Process	Filler Metal		Amperage (A)	Voltage (V)	Travel Speed (mm/min.)
		AWS Class	Diameter (mm)			
1 st	GTAW	ER 70S-G	2.4	100	13.8	32
2 nd	SMAW	E 7018	2.4	115	14.2	95
3 rd	SMAW	E 7018	3.2	115	24.6	97
4 th	SMAW	E 7018	4.0	170	26.8	101
5 th	SMAW	E 7018	4.0	170	26.8	81
6 th	SMAW	E 7018	4.0	180	27.8	125
7 th	SMAW	E 7018	4.0	180	27.8	108
8 th	SMAW	E 7018	4.0	180	27.8	82
9 th	SMAW	E 7018	4.0	180	27.8	87
10 th	SMAW	E 7018	4.0	180	27.8	86
11 th	SMAW	E 7018	4.0	180	27.8	81
12 th	SMAW	E 7018	4.0	180	27.8	119
13 th	SMAW	E 7018	4.0	180	27.8	106
14 th	SMAW	E 7018	4.0	180	27.8	123

2. Prosedur pengelasan untuk material ASTM A 516 grade 60 dan A 516 grade 70 dengan ketebalan 11 mm :

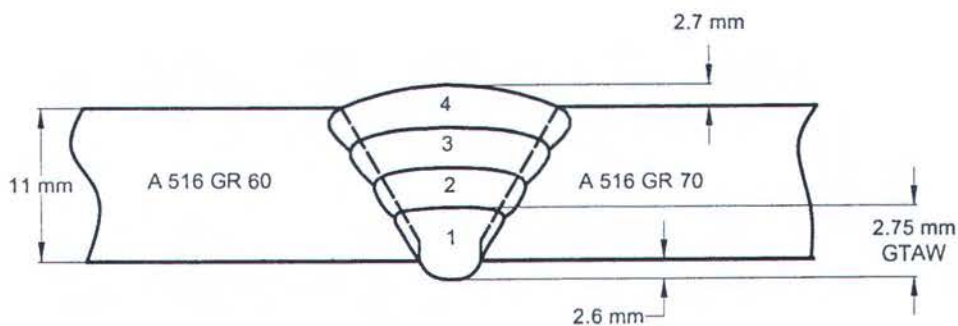
- *Welding Process* : *Combination of GTAW & SMAW*
- *Type* : *Manual*
- *Joint Design* : *Butt Joint, Single V groove*
- *Base Metal* :
 - ✓ *Groove* : *5 – 22 mm.*
- *Thickness Range* :
 - ✓ *Impact Test* : *11 – 22 mm.*
- *Filler Metal* :
 - GTAW* :
 - ✓ *AWS No.(Classification)* : *ER 70S-G*
 - ✓ *Diametres* : *2.0 – 2.4 mm*
 - ✓ *Welding Position* : *1G (Down Hand)*

SMAW :

- ✓ AWS No.(Classification) : E 7018
- ✓ Diametres : 2.6 – 4 mm
- ✓ Welding Position : 1G (Down Hand)
- Interpass Temperature : 50 °C – 300 °C
- Current AC or DC : DC
- Polarity : DCEN (GTAW)
DCEP (SMAW)
- Amperage (Range) : 80 – 170 A
- Voltage (Range) : 12 – 27 V
- String of Weave Bead : Both
- Initial and Interpass Cleaning : Brushing and Grinding.
- Technique : Back Weld / Grinding
- Speed : 30 – 110 mm/minute



Gambar 3.4 Sketsa penampang welding material dengan tebal 11 mm



Gambar 3.5 Urutan pengelasan material dengan tebal 11 mm

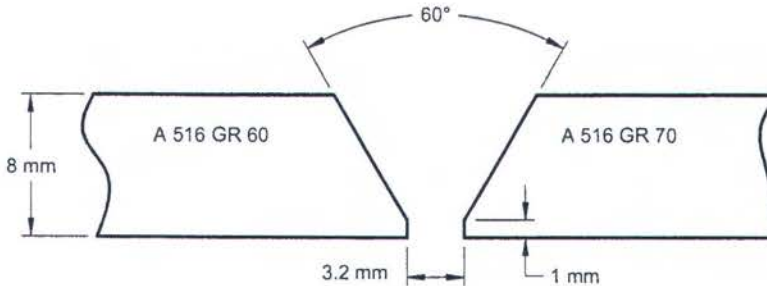
Tabel 3.2 Proses pengelasan material dengan tebal 11 mm

Weld Layer(s)	Process	Filler Metal		Amperage (A)	Voltage (V)	Travel Speed (mm/min.)
		AWS Class	Diameter (mm)			
1 st	GTAW	ER 70S-G	2.4	95	13	36
2 nd	SMAW	E 7018	2.6	90	23.6	106
3 rd	SMAW	E 7019	3.2	120	24.8	88
4 th	SMAW	E 7020	4	160	26.4	74

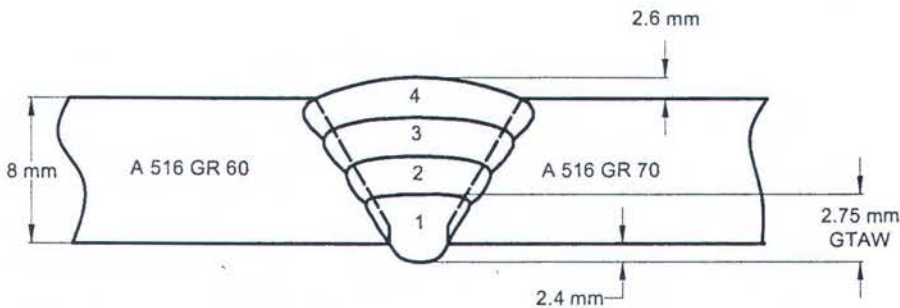
3. Prosedur pengelasan untuk material ASTM A 516 grade 60 dan A 516 grade 70 dengan ketebalan 8 mm :

- *Welding Process* : *Combination of GTAW & SMAW*
- *Type* : *Manual*
- *Joint Design* : *Butt Joint, Single V groove*
- *Base Metal* :
 - ✓ *Groove* : *1.5 – 16 mm.*
- *Thickness Range* :
 - ✓ *Impact Test* : *8 – 16 mm.*
- *Filler Metal* :
 - GTAW* :
 - ✓ *AWS No.(Classification)* : *ER 70S-G*
 - ✓ *Diametres* : *2.0 – 2.4 mm*
 - ✓ *Welding Position* : *1G (Down Hand)*
 - SMAW* :
 - ✓ *AWS No.(Classification)* : *E 7018*
 - ✓ *Diametres* : *2.6 – 3.2 mm*
 - ✓ *Welding Position* : *1G (Down Hand)*
- *Interpass Temperature* : *50 °C – 300 °C*
- *Current AC or DC* : *DC*
- *Polarity* : *DCEN (GTAW)*
DCEP (SMAW)
- *Amperage (Range)* : *85 – 130 A*
- *Voltage (Range)* : *12 – 26 V*

- *String of Weave Bead* : Both
- *Initial and Interpass Cleaning* : *Brushing and Grinding.*
- *Technique* : *Back Weld / Grinding*
- *Speed* : *40 – 110 mm/minute*



Gambar 3.6 Sketsa penampang welding material dengan tebal 8 mm



Gambar 3.7 Urutan pengelasan material dengan tebal 8 mm

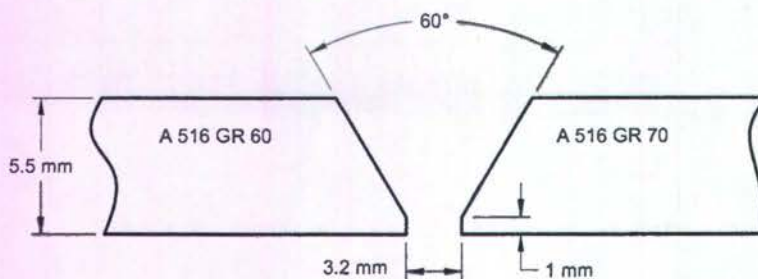
Tabel 3.3 Proses pengelasan material dengan tebal 8 mm

Weld Layer(s)	Process	Filler Metal		Amperage (A)	Voltage (V)	Travel Speed (mm/min.)
		AWS Class	Diameter (mm)			
1 st	GTAW	ER 70S-G	2.4	95	13	42
2 nd	SMAW	E 7018	2.6	95	23.8	114
3 rd	SMAW	E 7019	3.2	120	24.8	105
4 th	SMAW	E 7020	3.2	120	24.8	99

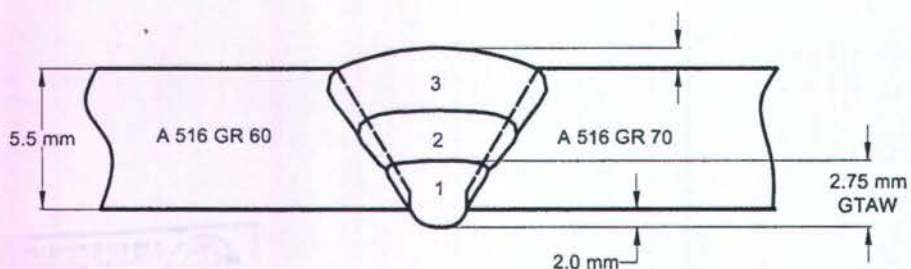
4. Prosedur pengelasan untuk material ASTM A 516 grade 60 dan A 516 grade 70 dengan ketebalan 5.5 mm :

- *Welding Process* : *Combination of GTAW & SMAW*
- *Type* : *Manual*
- *Joint Design* : *Butt Joint, Single V groove*

- *Base Metal* :
 - ✓ *Groove* : 1.5 – 11 mm.
- *Thickness Range* :
 - ✓ *Impact Test* : 2.75 – 11 mm.
- *Filler Metal* :
 - GTAW* :
 - ✓ *AWS No.(Classification)* : ER 70S-G
 - ✓ *Diametres* : 2.0 – 2.4 mm
 - ✓ *Welding Position* : 1G (Down Hand)
 - SMAW* :
 - ✓ *AWS No.(Classification)* : E 7018
 - ✓ *Diametres* : 2.6 – 3.2 mm
 - ✓ *Welding Position* : 1G (Down Hand)
- *Interpass Temperature* : 50 °C – 300 °C
- *Current AC or DC* : DC
- *Polarity* : DCEN (GTAW)
DCEP (SMAW)
- *Amperage (Range)* : 80 – 105 A
- *Voltage (Range)* : 12 – 25 V
- *String of Weave Bead* : Both
- *Initial and Interpass Cleaning* : Brushing and Grinding.
- *Technique* : Back Weld / Grinding
- *Speed* : 30 – 120 mm/minute



Gambar 3.8 Sketsa penampang welding material dengan tebal 5.5 mm



Gambar 3.9 Urutan pengelasan material dengan tebal 5.5 mm

Tabel 3.4 Proses pengelasan material dengan tebal 5.5 mm

Weld Layer(s)	Process	Filler Metal		Amperage (A)	Voltage (V)	Travel Speed (mm/min.)
		AWS Class	Diameter (mm)			
1 st	GTAW	ER 70S-G	2.4	95	13	39
2 nd	SMAW	E 7018	2.6	95	23.8	110
3 rd	SMAW	E 7019	2.6	95	23.8	90

Pengelasan dilakukan dengan proses GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) dan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Penggunaan mesin dengan cara manual lebih memudahkan untuk melakukan pengelasan pada posisi-posisi tertentu. Model pengelasan didesain sama dengan sambungan *butt joint*. Hal ini dilakukan untuk lebih memudahkan pemodelan dan pengujian.

Pemilihan arus ini didasarkan pada dimensi elektroda. Selain itu hal yang penting dipertimbangkan adalah berkenaan dengan masukan panas (*heat input*). Arus ini dipandang sesuai untuk memperoleh masukan panas yang cukup untuk baja paduan. Untuk mengatasi pengerasan yang cepat pada daerah HAZ sehingga dapat menimbulkan retak maka dilakukan pendinginan pelan. Tegangan tidak terlalu besar karena tingginya tegangan tidak banyak mempengaruhi kecepatan pencairan sehingga tegangan yang terlalu tinggi hanya akan membuang energi.

Elektroda yang digunakan adalah elektroda tipe ER 70S-G untuk proses GTAW dan untuk SMAW dipakai elektroda tipe E 7018 dengan. Elektroda ini dipilih sesuai dengan kekuatan tarik terendah kelompok E 70 yaitu sebesar 70000 Psi. Berdasarkan pengalaman pengelasan dengan kecepatan tinggi akan memperkecil deformasi yang terjadi.

3.3.2. Persiapan Pengelasan

Pada proses pengelasan ini hal-hal yang harus dipersiapkan antara lain :

- ◆ Peralatan mesin las, diatur sesuai dengan besar arus dan tegangan yang telah di tentukan pada WPS.
- ◆ Pemilihan kawat las/elektroda, disesuaikan dengan komposisi material induk terutama kandungan karbon dan kekuatan tariknya.
- ◆ Material yang akan dilas harus dibuat groove pada sisi-sisi yang akan dilas. Untuk ukuran sudut dan kedalamannya disesuaikan dengan WPS yang ada.

3.3.3. Pelaksanaan Pengelasan

Langkah-langkah pengelasan berurutan sebagai berikut :

1. Pembersihan daerah yang akan dilas sepanjang sisi material dengan gerinda dan sikat baja sehingga bersih dan terbebas dari kotoran serta karat yang timbul. Setelah benar-benar bersih maka pengelasan bisa dimulai.
2. Untuk mengurangi deformasi yang akan terjadi, maka dua pelat yang akan dilas diikat/ditahan dengan pelat penahan dan dilas titik (*tack weld*) pada bidang belakang material yang akan dilas.
3. a. Untuk material dengan tebal 25.4 mm pengelasan lapisan/layer pertama dilakukan dengan proses GTAW dengan elektroda ER 70S-G berdiameter 2.4 mm sepanjang sisi

- material dan dilakukan pengukuran kecepatan pengelasan dengan alat *stop watch*. Arus yang digunakan sebesar 95 A dan tegangan sebesar 13.4 V.
- b. Untuk material dengan tebal 11 mm pengelasan lapisan/layer pertama dilakukan dengan proses GTAW dengan elektroda ER 70S-G berdiameter 2.4 mm sepanjang sisi material dan dilakukan pengukuran kecepatan pengelasan dengan alat *stop watch*. Arus yang digunakan sebesar 95 A dan tegangan sebesar 13 V.
 - c. Untuk material dengan tebal 8 mm pengelasan lapisan/layer pertama dilakukan dengan proses GTAW dengan elektroda ER 70S-G berdiameter 2.4 mm sepanjang sisi material dan dilakukan pengukuran kecepatan pengelasan dengan alat *stop watch*. Arus yang digunakan sebesar 95 A dan tegangan sebesar 13 V.
 - d. Untuk material dengan tebal 5.5 mm pengelasan lapisan/layer pertama dilakukan dengan proses GTAW dengan elektroda ER 70S-G berdiameter 2.4 mm sepanjang sisi material dan dilakukan pengukuran kecepatan pengelasan dengan alat *stop watch*. Arus yang digunakan sebesar 95 A dan tegangan sebesar 13 V.
4. Melakukan pendinginan dengan udara biasa sampai suhu tertentu sehingga apabila dilakukan pembersihan *slag* atau terak tidak akan menimbulkan struktur martensit yang bersifat getas.
 5. Penggosokan dengan sikat baja untuk membersihkan kotoran yang masih melekat.
 6. Setelah bersih dari kotoran, logam las diukur temperturnya sebelum dilakukan pengelasan berikutnya. Berdasarkan WPS temperatur interpassnya maksimum sebesar 300 °C. Pengukuran dilakukan dengan kapur temperatur berindikator suhu 150 °C. Jika kapur meleleh maka suhu logam masih di atas 150 °C. Pengelasan dilakukan kembali setelah suhu logam di bawah 150 °C.
 7.
 - a. Untuk material dengan tebal 25.4 pengelasan lapisan kedua dilakukan dengan proses SMAW dengan elektroda E7018 berdiameter 2.6 mm dengan cara melapiskan di atas layer pertama. Arus yang digunakan sama dengan lapisan pertama yaitu 95 A dan tegangan 23.8 V.
 - b. Untuk material dengan tebal 11 mm pengelasan lapisan kedua dilakukan dengan proses SMAW dengan elektroda E7018 berdiameter 2.6 mm dengan cara melapiskan di atas layer pertama. Arus yang digunakan sama dengan lapisan pertama yaitu 90 A dan tegangan 23.6 V.
 - c. Untuk material dengan tebal 8 mm pengelasan lapisan kedua dilakukan dengan proses SMAW dengan elektroda E7018 berdiameter 2.6 mm dengan cara melapiskan di atas layer pertama. Arus yang digunakan sama dengan lapisan pertama yaitu 95 A dan tegangan 23.8 V.
 - d. Untuk material dengan tebal 5.5 mm pengelasan lapisan kedua dilakukan dengan proses SMAW dengan elektroda E7018 berdiameter 2.6 mm dengan cara melapiskan di atas layer pertama. Arus yang digunakan sama dengan lapisan pertama yaitu 95 A dan tegangan 23.8 V.
 8. Pendinginan dan pembersihan kotoran seperti pada langkah 4 dan 5.
 9.
 - a. Untuk material dengan tebal 25.4 pengelasan lapisan ketiga dengan proses SMAW dengan elektroda E7018 berdiameter 3.2 mm. Arus yang digunakan sebesar 24.8 A dan tegangan 105 V. Langkah ini dilakukan juga untuk lapisan ke-4.

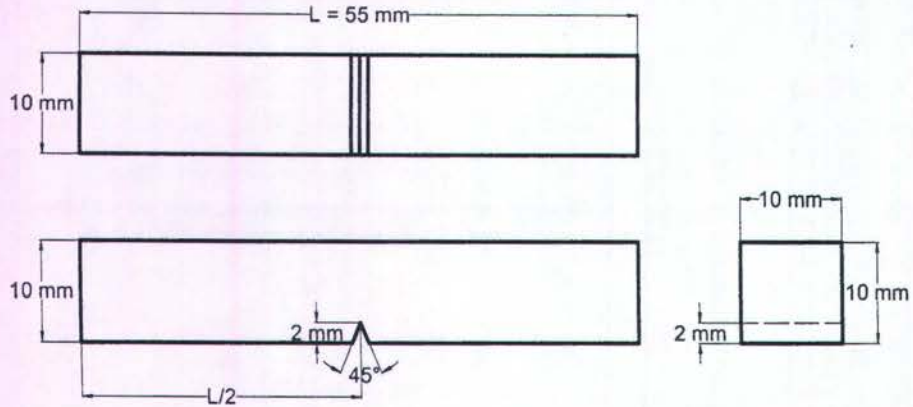
- b. Untuk material dengan tebal 11 mm pengelasan lapisan ketiga dengan proses SMAW dengan elektroda E7018 berdiameter 3.2 mm. Arus yang digunakan sebesar 120 A dan tegangan 24.8 V.
 - c. Untuk material dengan tebal 8 mm pengelasan lapisan ketiga dengan proses SMAW dengan elektroda E7018 berdiameter 3.2 mm. Arus yang digunakan sebesar 120 A dan tegangan 24.8 V.
 - d. Untuk material dengan tebal 5.5 mm pengelasan lapisan ketiga dengan proses SMAW dengan elektroda E7018 berdiameter 2.6 mm. Arus yang digunakan sebesar 95 A dan tegangan 23.8 V.
10. Pendinginan dan pembersihan kotoran seperti pada langkah 4 dan 5.
11. a. Untuk material dengan tebal 25.4 mm pengelasan lapisan keempat dengan proses SMAW dengan elektroda E7018 berdiameter 3.2 mm. Arus yang digunakan sebesar 24.8 A dan tegangan 105 V. Langkah ini dilakukan juga untuk lapisan ke-4.
- b. Untuk material dengan tebal 11 mm pengelasan lapisan keempat dengan proses SMAW dengan elektroda E7018 berdiameter 4 mm. Arus yang digunakan sebesar 160 A dan tegangan 26.4 V.
 - c. Untuk material dengan tebal 8 mm pengelasan lapisan keempat dengan proses SMAW dengan elektroda E7018 berdiameter 3.2 mm. Arus yang digunakan sebesar 120 A dan tegangan 24.8 V.
- d. Pelepasan pelat penahan.
 - e. Pembersihan sisi atas (*face*) dan sisi balik (*back*) material tepat pada alur las dan sekitarnya dengan gerinda dan sikat baja.

3.4. Pembuatan Spesimen Uji Impact

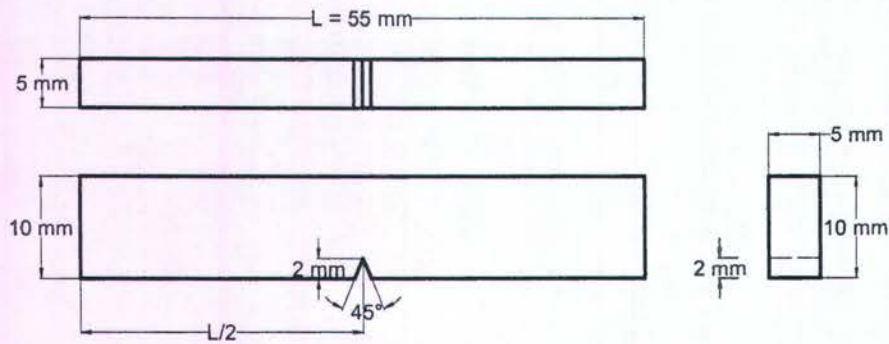
Langkah awal pembuatan spesimen untuk pengujian impact ini adalah sebagai berikut :

1. Memotong material baik yang telah melalui proses pengelasan maupun yang tidak dilakukan pengelasan (base metal) menjadi potongan pelat segi empat dengan dimensi 100 x 12 x (beberapa ketebalan masing-masing 25.4 mm, 11 mm, 8 mm dan 5.5 mm).
2. Pengurangan lebar dan tebal material dengan menggunakan mesin shaping hingga memiliki dimensi 100 x 10,25 x masing-masing tebal antara lain :
 - tebal pelat 25.4 mm menjadi 10.25 mm untuk test piece.
 - tebal pelat 11 mm menjadi 10.25 mm untuk test piece.
 - tebal pelat 8 mm menjadi 5.25 mm untuk test piece.
 - tebal pelat 5.5 mm menjadi 3.6 mm untuk test piece.

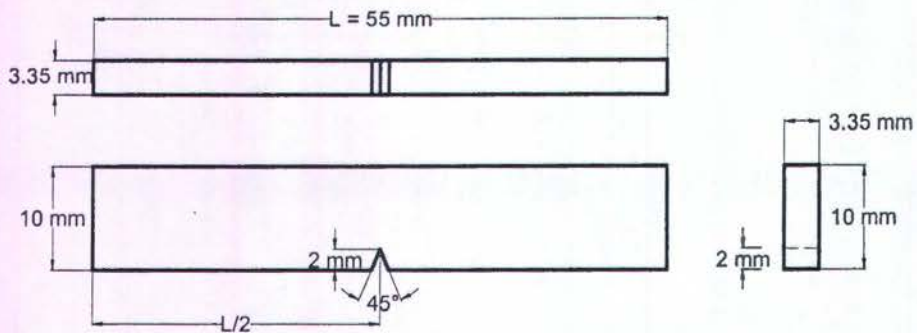
Pemberian toleransi sebesar 0,25 mm dimaksudkan agar setelah dilakukan penghalusan sisi-sisi akibat mata pahat, dimensi material masih sesuai standar yaitu 55 mm x 10 mm x (variasi tebal antara lain 10 mm, 5 mm dan 3.35 mm) seperti gambar di bawah ini.



Gambar 3.10 Dimensi spesimen uji impact V-Charpy dengan ketebalan 10 mm

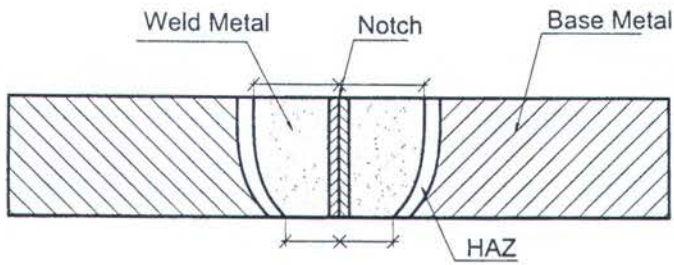


Gambar 3.11 Dimensi spesimen uji impact V-Charpy dengan ketebalan 5 mm

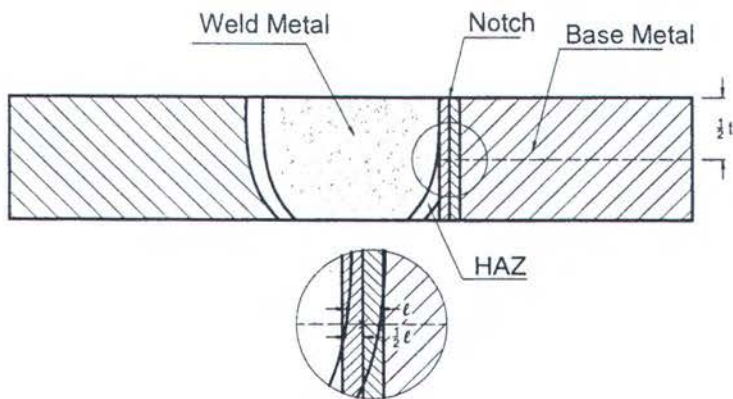


Gambar 3.12 Dimensi spesimen uji impact V-Charpy dengan ketebalan 3.35 mm

3. Pemberian notch atau takik yang memiliki ukuran sesuai dengan standar. Notch dibuat tegak lurus dengan besar sudut 45° dengan menggunakan mesin shaping dan mata pahat tertentu.
4. Pemotongan material segi empat menjadi dimensi 55 mm x 10.25 mm x (variasi tebal 10 mm, 5 mm dan 3.35 mm) dan sisanya dibuang. Untuk material yang dilas diusahakan logam lasar atau daerah HAZ yang merupakan daerah pengamatan pengujian (letak notch) berada tepat di tengah. Untuk penentuan lokasi takik dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

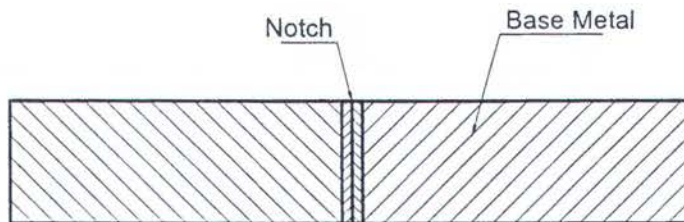


Gambar 3.13 Penempatan lokasi takik (notch) pada weld metal [BKI volume VI]



ℓ = lebar HAZ pada $\frac{1}{2}$ tebal spesimen

Gambar 3.14 Penempatan lokasi takik (notch) pada HAZ [BKI volume VI]



Gambar 3.15 Penempatan lokasi takik (notch) pada base metal

5. Penghalusan sisi-sisi spesimen kecuali sisi atas dan sisi yang terdapat notch. Proses penghalusan ini menggunakan kertas gosok grade 100. Tahap ini dilakukan untuk menghilangkan goresan-goresan akibat proses pengerjaan yang dapat mengurangi keakuratan hasil pengujian.
6. Pengecekan notch dengan bantuan mal bentuk V dengan sudut 45° dan diperbesar dengan mikroskop.

Jumlah spesimen uji impact sebanyak 36 buah dengan rincian sebagai berikut :

- ✓ Spesimen dengan ketebalan 10 mm dari test coupon dengan tebal 25.4 mm :
 - Notch pada weld metal : 3 buah
 - Notch pada HAZ : 3 buah
 - Notch pada base metal : 3 buah
- ✓ Spesimen dengan ketebalan 10 mm dari test coupon dengan tebal 11 mm :
 - Notch pada weld metal : 3 buah
 - Notch pada HAZ : 3 buah
 - Notch pada base metal : 3 buah
- ✓ Spesimen dengan ketebalan 5 mm dari test coupon dengan tebal 8 mm :
 - Notch pada weld metal : 3 buah
 - Notch pada HAZ : 3 buah
 - Notch pada base metal : 3 buah
- ✓ Spesimen dengan ketebalan 3.35 mm dari test coupon dengan tebal 5.5 mm :
 - Notch pada weld metal : 3 buah
 - Notch pada HAZ : 3 buah
 - Notch pada base metal : 3 buah

3.5. Pengujian Impact V-Notch Charpy Pada Suhu -46 °C

Peralatan pengujian yang diperlukan :

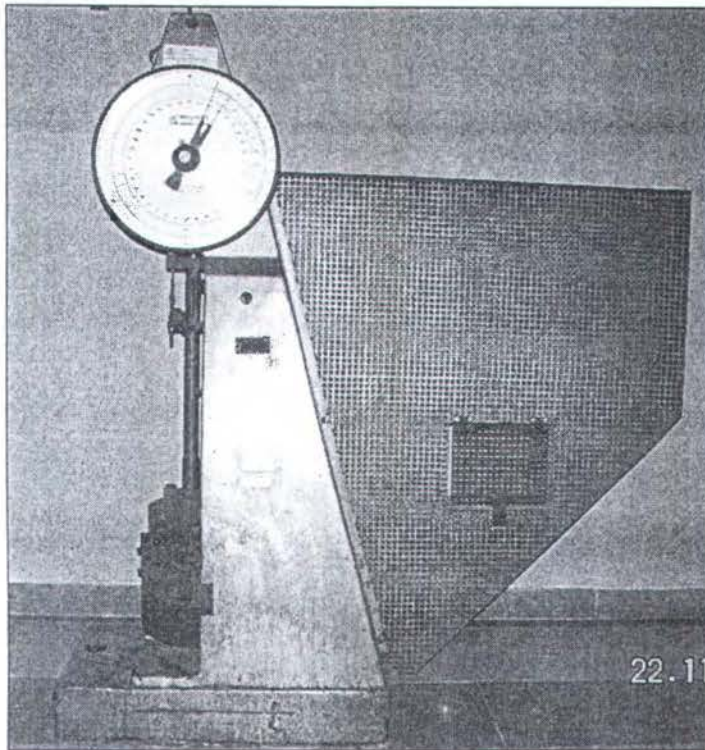
1. Mesin Impact merek Wolpert Testor Amsler.
2. Jangka sorong.
3. Kertas gosok.
4. Mikroskop dengan pembesaran 5x.
5. Alkohol dan es kering (*dry ice*)

Lokasi Pengujian : Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Jurusan Teknik Perkapalan – FTK ITS.

Adapun langkah – langkah pengujiannya adalah sebagai berikut :

1. Mengukur dimensi spesimen dengan menggunakan jangka sorong.
2. Memasukkan spesimen-spesimen yang telah diukur ke dalam cairan alkohol dan es kering (*dry ice*) selama kurang lebih 15 menit. Selama proses pendinginan dilakukan, suhu harus terus diperhatikan. Jika suhu stagnan di atas suhu yang diinginkan maka ditambahkan es kering sampai suhu yang diinginkan tercapai yaitu -46 °C.
3. Meletakkan spesimen pada landasan, notch harus terletak di tengah dengan arah notch menghadap ke dalam.
4. Beban / bandul dinaikkan sebesar sudut X.
5. Posisi jarum penunjuk skala diatur pada posisi nol.

6. Bandul dilepas tanpa kecepatan awal sehingga memukul spesimen.
7. Mencatat besar energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen dalam tabel pengamatan yang ditunjukkan pada jarum skala penunjuk.
8. Mengukur lebar penampang di bawah takik pada saat sebelum dan setelah diuji impact.
9. Menghitung kekuatan impact berdasarkan hasil bagi total energi dengan luas penampang yang bertakik.
10. Menghitung harga ekspansi lateral.



Gambar 3.16 Mesin uji impact Charpy merek Wolpert Testor Amsler

3.6. Pengujian Kekerasan Vickers (Hardness Vickers Test)

Jumlah spesimen uji hardness vickers berjumlah 4 buah dengan rincian sebagai berikut :

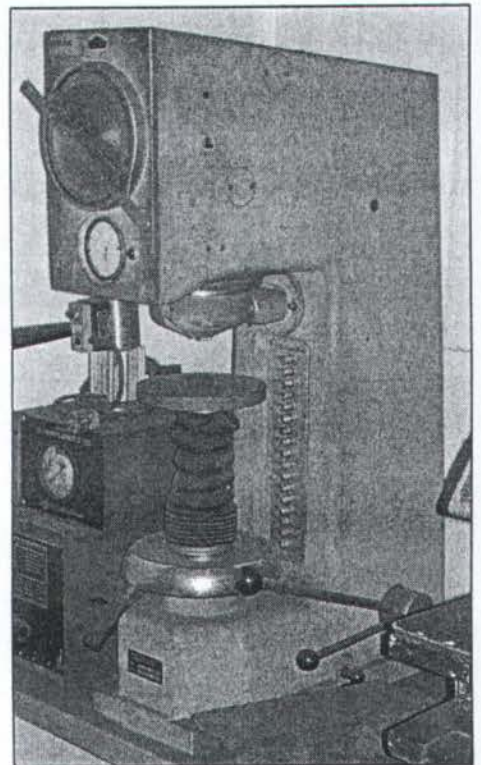
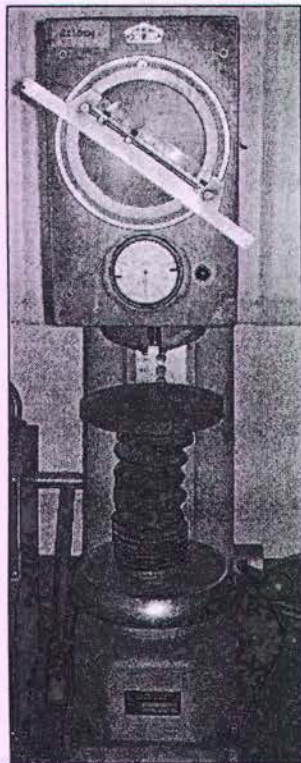
- ✓ Spesimen dengan ketebalan 10 mm dari test coupon dengan tebal 25.4 mm : 1 buah
- ✓ Spesimen dengan ketebalan 10 mm dari test coupon dengan tebal 11 mm : 1 buah
- ✓ Spesimen dengan ketebalan 5 mm dari test coupon dengan tebal 8 mm : 1 buah
- ✓ Spesimen dengan ketebalan 3.35 mm dari test coupon dengan tebal 5.5 mm : 1 buah

Sebelum pelaksanaan pengujian, permukaan spesimen uji harus dalam keadaan bersih dan halus. Hal ini dimaksudkan untuk mempermudah pelaksanaan pengujian pada daerah atau titik-titik yang akan diuji.

3.6.1. Pelaksanaan Pengujian

1. Pengungkit yang pendek ditekan ke bawah dan tunggu sampai beban bergerak ke bawah.
2. Menyalakan mesin pada posisi pengujian Vickers dengan menarik keluar tombol pada sisi kanan mesin.

3. Pengungkit yang panjang ditekan ke bawah sampai posisi habis. Beban terangkat dan batang kili-kili (*swivel piece*) diubah.
4. Menyalakan illuminator
5. Menyesuaikan obyek yang diinginkan dan menempatkan aturan yang diinginkan ke dalam aturan standar.
6. Menyalakan beban pengujian yang diinginkan dengan menekan salah satu tombol. Tombol – tombol beban uji yang lain harus dalam keadaan mati.
7. Mengeraskan pelindung (*hood*) yang menahan spesimen jatuh ke bawah. Poles spesimen uji pada daerah permukaan yang akan diuji, tempatkan spesimen di atas meja pengujian dan dengan memutar roda pada mesin, gerakkan spesimen sampai gambar permukaan spesimen terlihat di layar.
8. Mengendorkan pelindung (*hood*) yang menahan spesimen dan ikat (*klem*) spesimen dengan kuat. Pastikan gambar pada layar sampai benar – benar tajam.
9. Pengungkit yang kecil ditekan ke bawah, batang kili-kili (*swivel piece*) diubah, penetrator yang menembus material secara vertikal di atas permukaan pengujian, beban pengujian dilepaskan dan penetrator ditekan ke dalam spesimen uji. Waktu pembebanan kira-kira 10 detik dan dipastikan dengan sistem minyak peredam. Tidak diperkenankan terdapat getaran pada mesin selama pengujian.
10. Setelah beban diangkat, tekan pengungkit yang panjang sampai posisi habis. Batang kili-kili putar balik dan pembekasan terlihat pada layar. Ketidaktajaman pada gambar tergantung pada putaran roda (*handwheel*).
11. Panjang diagonal dari pembekasan diamond adalah yang diproyeksikan pada layar yang kemudian diukur berdasarkan aturan (*rule*) dan harga kekerasan dapat dibaca pada tabel Vickers berdasarkan panjang diagonal.



Gambar 3.17 Mesin uji hardness merek Frank

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, dimana pengujian impact V-Charpy dan hardness ini meneliti kekuatan impact dan nilai kekerasan pada material lasan untuk weld metal, HAZ dan base metal dengan beberapa macam ketebalan *sub-size*. Pada bab ini akan dibahas dan dianalisa data hasil pengujian pada material baja karbon ASTM A 516 yang telah mengalami proses pengelasan.

Proses pelaksanaan pengujian impact (*impact test*) ini dilakukan pada kondisi suhu rendah (-46 °C). Dari pengujian impact dan hardness dihasilkan data – data yang diperlukan untuk dianalisa guna menunjukkan pengaruh ketebalan yang terjadi pada material ASTM A 516 grade 60 dan A 516 grade 70 yang telah mengalami proses pengelasan terhadap beban impact. Dari analisa tersebut diharapkan dapat menghasilkan data dan referensi tentang pengaruh ketebalan *sub-size* pada material baja karbon ASTM A 516 grade 60 dan A 516 grade 70 terhadap kekuatan impact, ekspansi lateral dan nilai kekerasan (*hardness value*).

4.1. Pengumpulan Data Hasil Pengujian

4.1.1. Hasil Pengujian Impact V-Notch Charpy (*V-Notch Charpy Impact Test*)

Hasil lengkap dari pengujian terhadap spesimen uji impact untuk beberapa ketebalan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Hasil uji impact V-Notch Charpy material ASTM A 516 grade 60 dan grade 70 tebal 3.3 mm dari test coupon tebal 5.5 mm

Lokasi Notch	No. Spesimen	Energi Absorb (Joule)	Energi Absorb Rata-rata (J)
Base Metal Grade 60	1	31.20	31.07
	2	31.00	
	3	31.00	
HAZ Grade 60	1	32.50	32.77
	2	33.60	
	3	32.20	
Weld Metal	1	37.00	36.33
	2	37.00	
	3	35.00	
HAZ Grade 70	1	31.00	31.67
	2	32.00	
	3	32.00	
Base Metal Grade 70	1	28.50	28.43
	2	28.60	
	3	28.20	

Tabel 4.2 Hasil uji impact V-Notch Charpy material ASTM A 516 grade 60 dan grade 70 tebal 5 mm dari test coupon tebal 8 mm

Lokasi Notch	No. Spesimen	Energi Absorb (Joule)	Energi Absorb Rata-rata (J)
Base Metal Grade 60	1	37.20	37.00
	2	36.80	
	3	37.00	
HAZ Grade 60	1	48.00	45.67
	2	47.00	
	3	42.00	
Weld Metal	1	52.00	52.00
	2	53.00	
	3	51.00	
HAZ Grade 70	1	42.00	46.17
	2	48.50	
	3	48.00	
Base Metal Grade 70	1	42.00	42.17
	2	42.50	
	3	42.00	

Tabel 4.3. Hasil uji impact V-Notch Charpy material ASTM A 516 grade 60 dan grade 70 tebal 10 mm dari test coupon tebal 11 mm

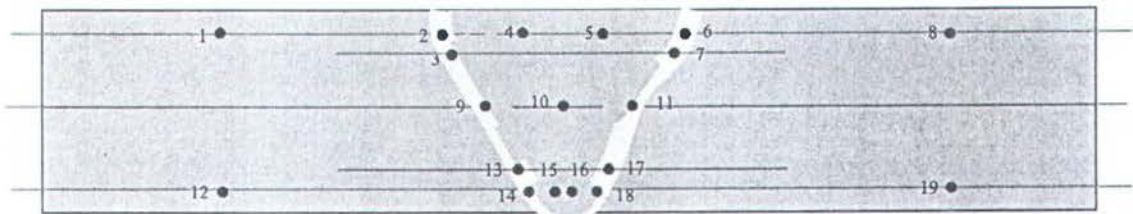
Lokasi Notch	No. Spesimen	Energi Absorb (Joule)	Energi Absorb Rata-rata (J)
Base Metal Grade 60	1	42.40	43.30
	2	46.50	
	3	41.00	
HAZ Grade 60	1	54.00	54.67
	2	52.00	
	3	58.00	
Weld Metal	1	76.50	73.50
	2	71.00	
	3	73.00	
HAZ Grade 70	1	63.00	64.27
	2	65.00	
	3	64.80	
Base Metal Grade 70	1	47.50	48.47
	2	51.40	
	3	46.50	

Tabel 4.4. Hasil uji impact V-Notch Charpy material ASTM A 516 grade 60 dan grade 70 tebal 10 mm dari test coupon tebal 25.4 mm

Lokasi Notch	No. Spesimen	Energi Absorb (Joule)	Energi Absorb Rata-rata (J)
Base Metal Grade 60	1	40.00	43.33
	2	47.00	
	3	43.00	
HAZ Grade 60	1	63.50	61.77
	2	61.00	
	3	60.80	
Weld Metal	1	74.00	74.57
	2	71.50	
	3	78.20	
HAZ Grade 70	1	61.00	62.00
	2	63.00	
	3	62.00	
Base Metal Grade 70	1	45.00	48.33
	2	52.00	
	3	48.00	

4.1.2. Hasil Pengujian Hardness Vickers (*Hardness Vickers Test*)

Berdasarkan standar *NACE MR0175/180/15156-2:2003(E)* pemberian nomor untuk uji hardness Vickers terhadap lokasi pengamatan untuk material lasan dengan sambungan butt joint seperti dijelaskan pada gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4.1 Lokasi indentasi pengujian Hardness Vickers

Hasil lengkap dari pengujian terhadap spesimen uji hardness Vickers untuk beberapa ketebalan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.5. Hasil uji hardness Vickers material ASTM A 516 grade 60 dan grade 70 tebal 3.3 mm dari test coupon tebal 5.5 mm

Lokasi	Nomor Hardness Vickers (HV 10)					
Base metal grade 60	1	12				Rata-rata
	131.2	128.4				129.8
HAZ grade 60	2	3	9	13	14	Rata-rata
	136.9	136.2	138.4	140.0	135.5	137.4
Weld metal	4	5	10	15	16	Rata-rata
	160.0	162.0	154.0	134.7	149.7	152.1
HAZ Grade 70	6	7	11	17	18	Rata-rata
	149.7	149.7	143.9	149.7	148.0	148.2
Base metal grade 60	8	19				Rata-rata
	143.1	142.3				142.7

Tabel 4.6. Hasil uji hardness Vickers material ASTM A 516 grade 60 dan grade 70 tebal 5 mm dari test coupon tebal 8 mm

Lokasi	Nomor Hardness Vickers (HV 10)					
Base metal grade 60	1	12				Rata-rata
	135.5	139.2				137.4
HAZ grade 60	2	3	9	13	14	Rata-rata
	143.1	142.3	147.1	140.7	144.7	143.6
Weld metal	4	5	10	15	16	Rata-rata
	176.0	170.0	179.0	166.0	173.0	172.8
HAZ Grade 70	6	7	11	17	18	Rata-rata
	153.0	149.7	164.0	159.0	160.0	157.1
Base metal grade 60	8	19				Rata-rata
	153.0	151.0				152.0

Tabel 4.7. Hasil uji hardness Vickers material ASTM A 516 grade 60 dan grade 70 tebal 10 mm dari test coupon tebal 11 mm

Lokasi	Nomor Hardness Vickers (HV 10)					
Base metal grade 60	1	12				Rata-rata
	151.0	144.0				147.5
HAZ grade 60	2	3	9	13	14	Rata-rata
	188.0	176.0	182.0	183.0	162.0	178.2
Weld metal	4	5	10	15	16	Rata-rata
	170.0	172.0	167.0	159.0	159.0	165.4
HAZ Grade 70	6	7	11	17	18	Rata-rata
	162.0	164.0	176.0	167.0	161.0	166.0
Base metal grade 60	8	19				Rata-rata
	145.0	146.0				145.5

Tabel 4.8. Hasil uji hardness Vickers material ASTM A 516 grade 60 dan grade 70 tebal 10 mm dari test coupon tebal 25.4 mm

Lokasi	Nomor Hardness Vickers (HV 10)					
Base metal grade 60	1	12				Rata-rata
	140.7	143.1				141.9
HAZ grade 60	2	3	9	13	14	Rata-rata
	153.0	151.4	144.7	151.4	151.4	150.4
Weld metal	4	5	10	15	16	Rata-rata
	179.0	164.0	153.0	152.0	158.0	161.2
HAZ Grade 70	6	7	11	17	18	Rata-rata
	176.0	170.0	146.3	163.0	164.0	163.9
Base metal grade 60	8	19				Rata-rata
	156.0	156.0				156.0

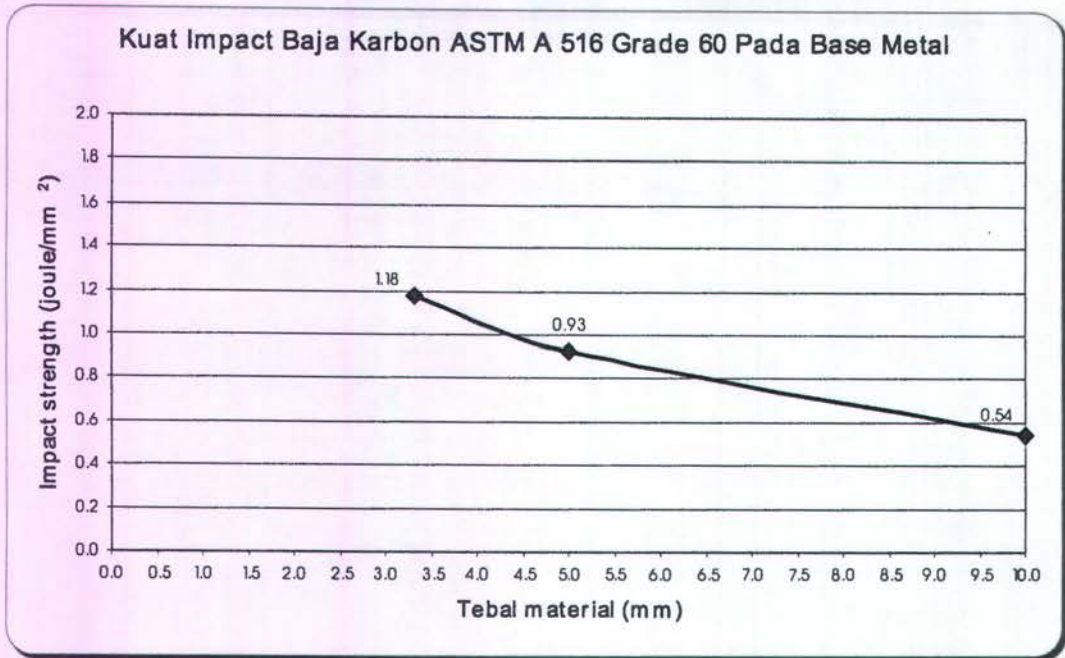
4.2. Analisa Data Hasil Pengujian

4.2.1 Analisa Data Hasil Uji Impact V-Charpy

Tabel 4.9. Hasil uji impact V-Notch Charpy material ASTM A 516 grade 60 pada base metal.

Tebal Spesimen	No. Spesimen	Energi Absorb (Joule)	Energi Absorb Rata-rata (J)	Kuat Impact (Joule/mm ²)
10 mm (Test Coupon 25.4 mm)	1	40.00	43.33	0.54
	2	47.00		
	3	43.00		
10 mm (Test Coupon 11 mm)	1	42.40	37.00	0.93
	2	46.50		
	3	41.00		
5 mm (Test Coupon 8 mm)	1	37.20	31.07	1.18
	2	36.80		
	3	37.00		
3.3 mm (Test Coupon 5.5 mm)	1	31.20	31.07	1.18
	2	31.00		
	3	31.00		

Dari hasil pengujian di atas terlihat bahwa spesimen baja karbon ASTM A 516 grade 60 dengan ketebalan paling kecil yaitu 3.3 mm mempunyai kuat impact (*impact strength*) lebih besar dibanding dengan spesimen lain yang mempunyai ketebalan lebih besar. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada grafik 4.1 tentang perbandingan kuat impact pada base metal dengan beberapa ketebalan di bawah ini.

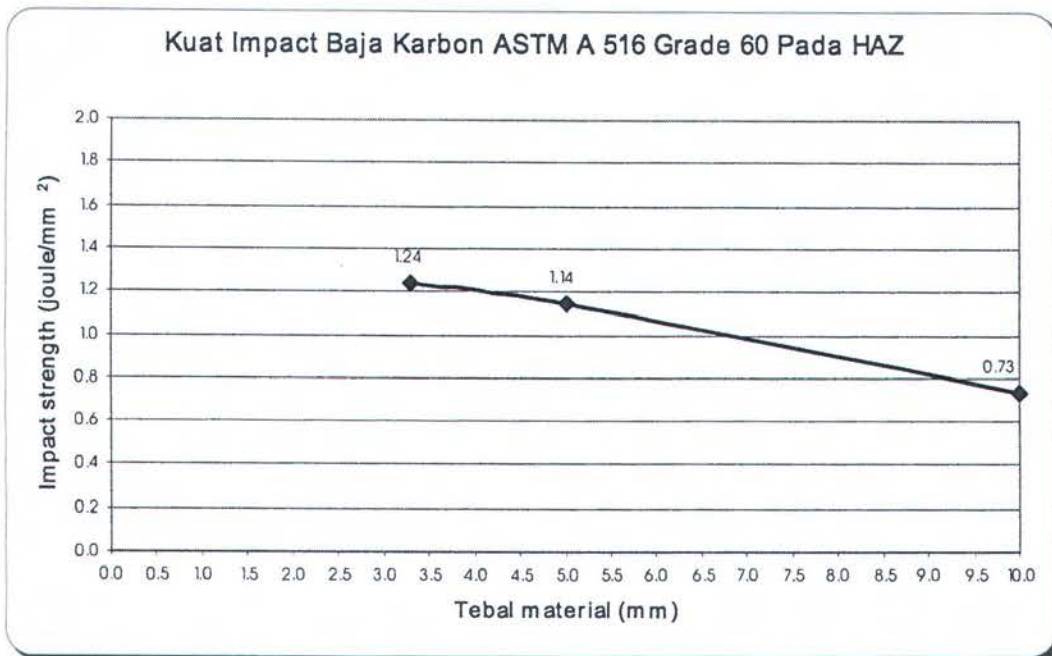


Grafik 4.1 Kuat impact material ASTM A 516 grade 60 pada base metal

Tabel 4.10. Hasil uji impact V-Notch Charpy material ASTM A 516 grade 60 pada HAZ

Tebal Spesimen	No. Spesimen	Energi Absorb (Joule)	Energi Absorb Rata-rata (J)	Kuat Impact (Joule/mm ²)
10 mm (Test Coupon 25.4 mm)	1	63.50	58.22	0.73
	2	61.00		
	3	60.80		
10 mm (Test Coupon 11 mm)	1	54.00		
	2	52.00		
	3	58.00		
5 mm (Test Coupon 8 mm)	1	48.00	45.67	1.14
	2	47.00		
	3	42.00		
3.3 mm (Test Coupon 5.5 mm)	1	32.50	32.77	1.24
	2	33.60		
	3	32.20		

Untuk pengujian impact pada daerah HAZ di atas terlihat bahwa spesimen baja karbon ASTM A 516 grade 60 dengan ketebalan 3.3 mm mempunyai kuat impact (*impact strength*) paling besar dibanding dengan spesimen yang lain. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada grafik 4.2 tentang besarnya kuat impact pada spesimen dengan beberapa ketebalan pada daerah HAZ untuk material grade 60 di bawah ini.

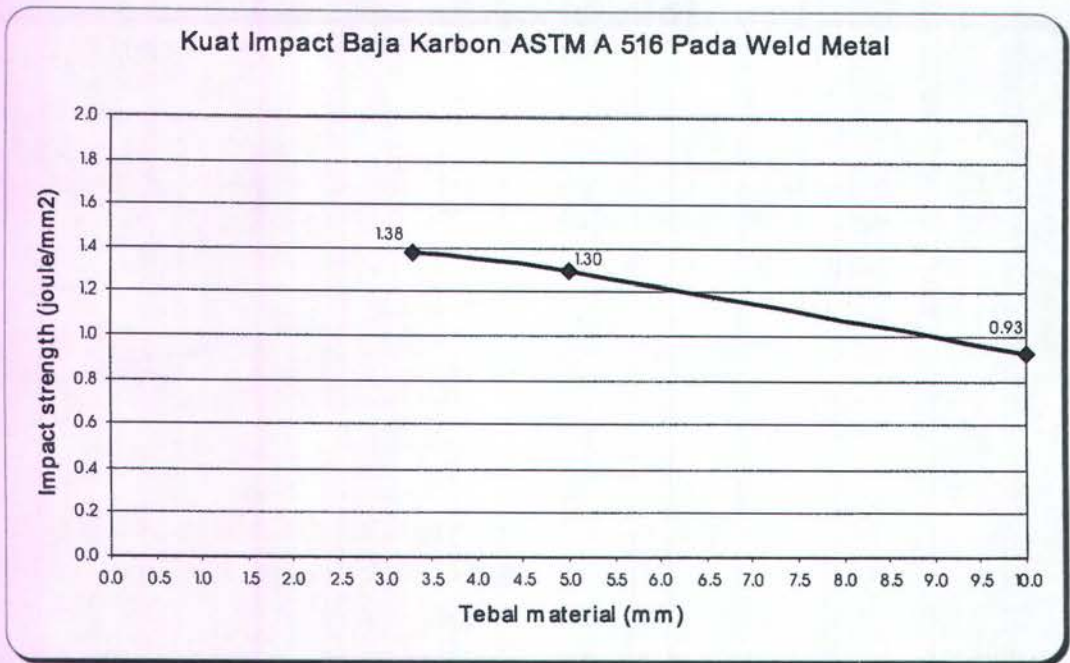


Grafik 4.2 Kuat impact material ASTM A 516 grade 60 pada HAZ

Tabel 4.11. Hasil uji impact V-Notch Charpy material ASTM A 516 pada weld metal

Tebal Spesimen	No. Spesimen	Energi Absorb (Joule)	Energi Absorb Rata-rata (J)	Kuat Impact (Joule/mm ²)
10 mm (Test Coupon 25.4 mm)	1	74.00	74.03	0.93
	2	71.50		
	3	78.20		
10 mm (Test Coupon 11 mm)	1	76.50	52.00	1.30
	2	71.00		
	3	73.00		
5 mm (Test Coupon 8 mm)	1	52.00	36.33	1.38
	2	53.00		
	3	51.00		
3.3 mm (Test Coupon 5.5 mm)	1	37.00	36.33	1.38
	2	37.00		
	3	35.00		

Demikian juga untuk pengujian impact pada daerah weld metal terlihat bahwa spesimen baja karbon ASTM A 516 grade 60 dengan ketebalan 3.3 mm mempunyai kuat impact (*impact strength*) paling besar dibanding dengan spesimen yang lain yang mempunyai ketebalan lebih besar. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada grafik 4.3 tentang harga kuat impact pada daerah weld metal untuk beberapa ketebalan di bawah ini.

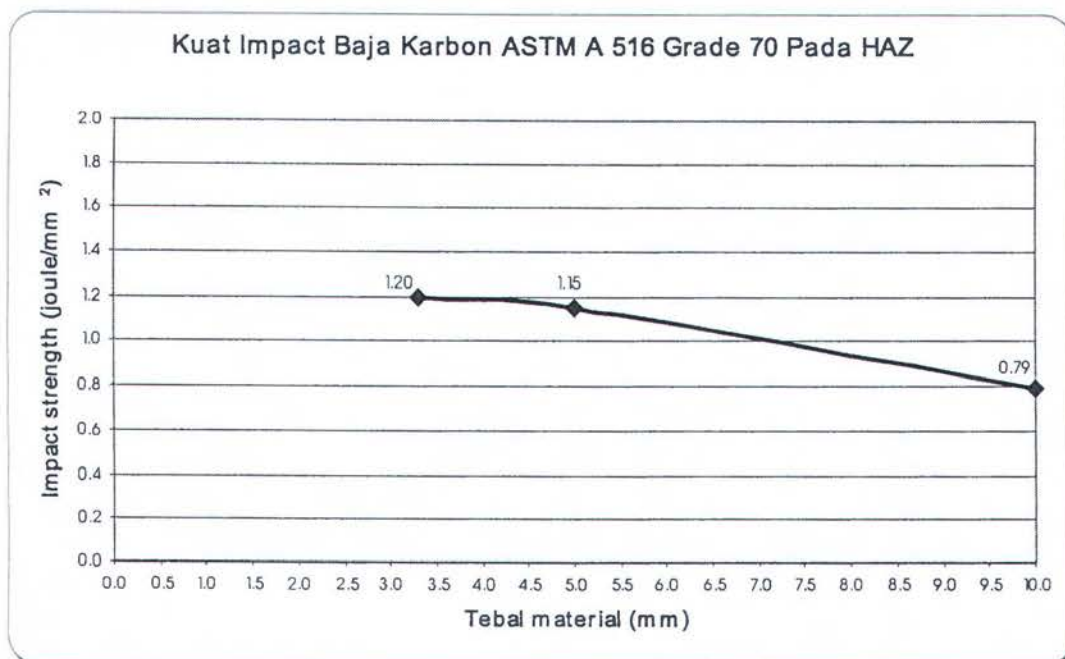


Grafik 4.3 Kuat impact material ASTM A 516 pada weld metal

Tabel 4.12. Hasil uji impact V-Notch Charpy material ASTM A 516 grade 70 pada HAZ

Tebal Spesimen	No. Spesimen	Energi Absorb (Joule)	Energi Absorb Rata-rata (J)	Kuat Impact (Joule/mm ²)
10 mm (Test Coupon 25.4 mm)	1	61.00	63.13	0.79
	2	63.00		
	3	62.00		
10 mm (Test Coupon 11 mm)	1	63.00	46.17	1.15
	2	65.00		
	3	64.80		
5 mm (Test Coupon 8 mm)	1	31.00	31.67	1.20
	2	32.00		
	3	32.00		

Dari hasil pengujian impact pada daerah HAZ di atas terlihat bahwa spesimen baja karbon ASTM A 516 grade 70 dengan ketebalan 3.3 mm mempunyai harga kuat impact (*impact strength*) paling besar dibandingkan dengan specimen uji yang lain. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada grafik 4.4 tentang harga energi absorb dan ekspansi lateral pada material baja karbon ASTM A 516 grade 70 dengan beberapa ketebalan untuk daerah HAZ di bawah ini.

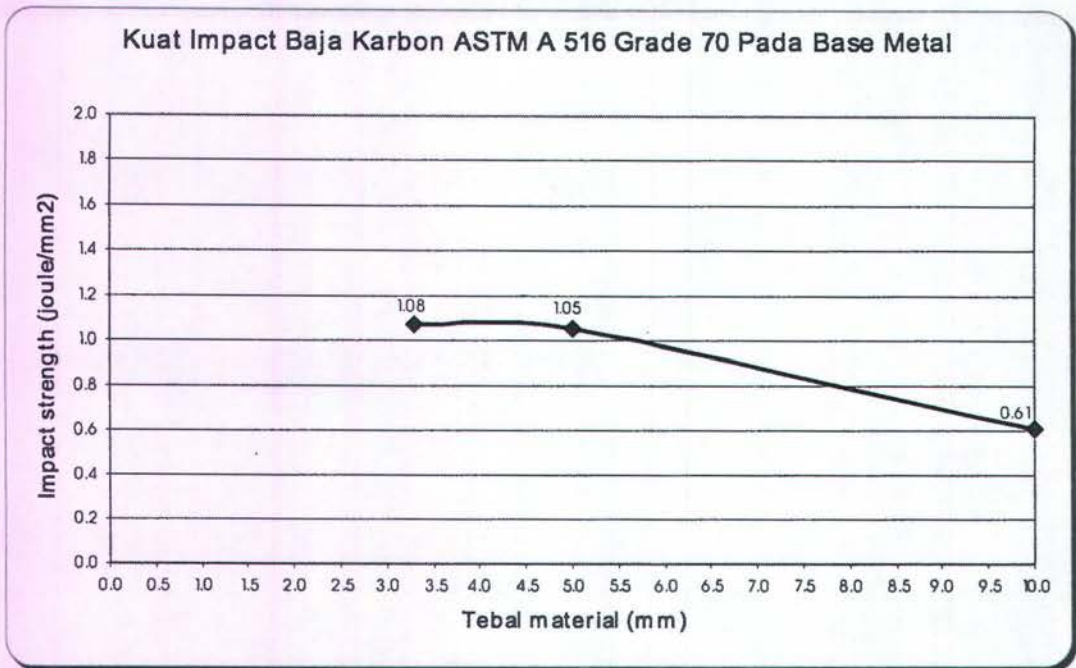


Grafik 4.4 Kuat impact material ASTM A 516 grade 70 pada HAZ

Tabel 4.13. Hasil uji impact V-Notch Charpy material ASTM A 516 grade 70 pada base metal

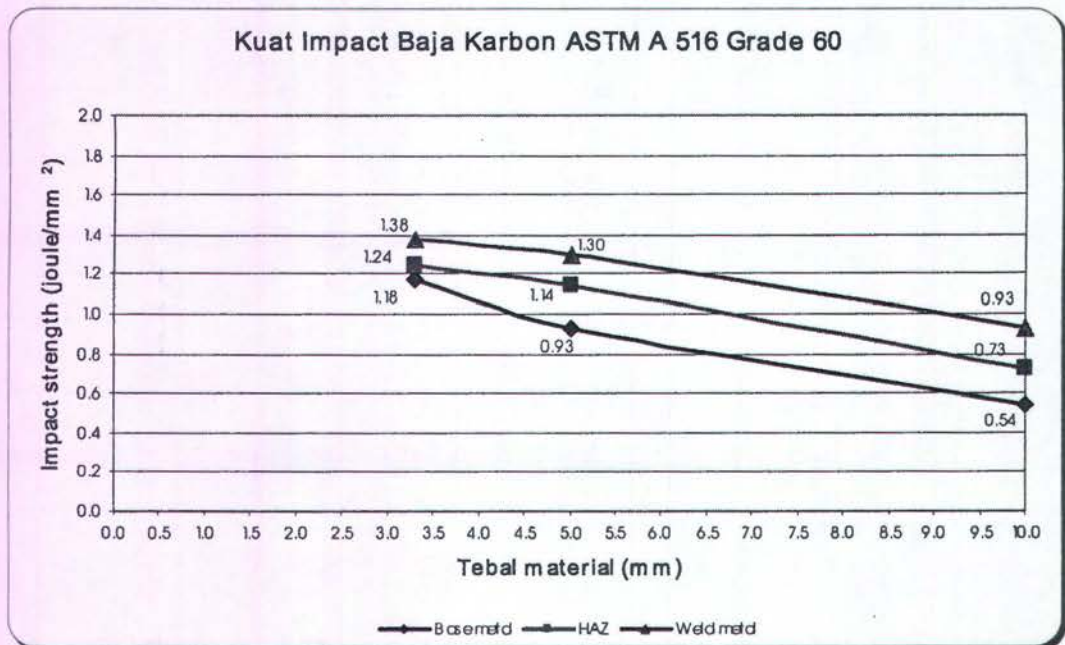
Tebal Spesimen	No. Spesimen	Energi Absorb (Joule)	Energi Absorb Rata-rata (J)	Kuat Impact (Joule/mm ²)
10 mm (Test Coupon 25.4 mm)	1	45.00	48.40	0.61
	2	52.00		
	3	48.00		
10 mm (Test Coupon 11 mm)	1	47.50		
	2	51.40		
	3	46.50		
5 mm (Test Coupon 8 mm)	1	42.00	42.17	1.05
	2	42.50		
	3	42.00		
3.3 mm (Test Coupon 5.5 mm)	1	28.50	28.43	1.08
	2	28.60		
	3	28.20		

Dari hasil pengujian di atas terlihat bahwa spesimen baja karbon ASTM A 516 grade 70 dengan ketebalan paling besar yaitu 3.3 mm mempunyai kuat impact (*impact strength*) yang lebih besar dibanding dengan spesimen lain yang mempunyai ketebalan lebih besar. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada grafik 4.5 tentang harga kuat impact pada spesimen baja karbon ASTM A 516 grade 70 pada base metal dengan beberapa ketebalan di bawah ini.

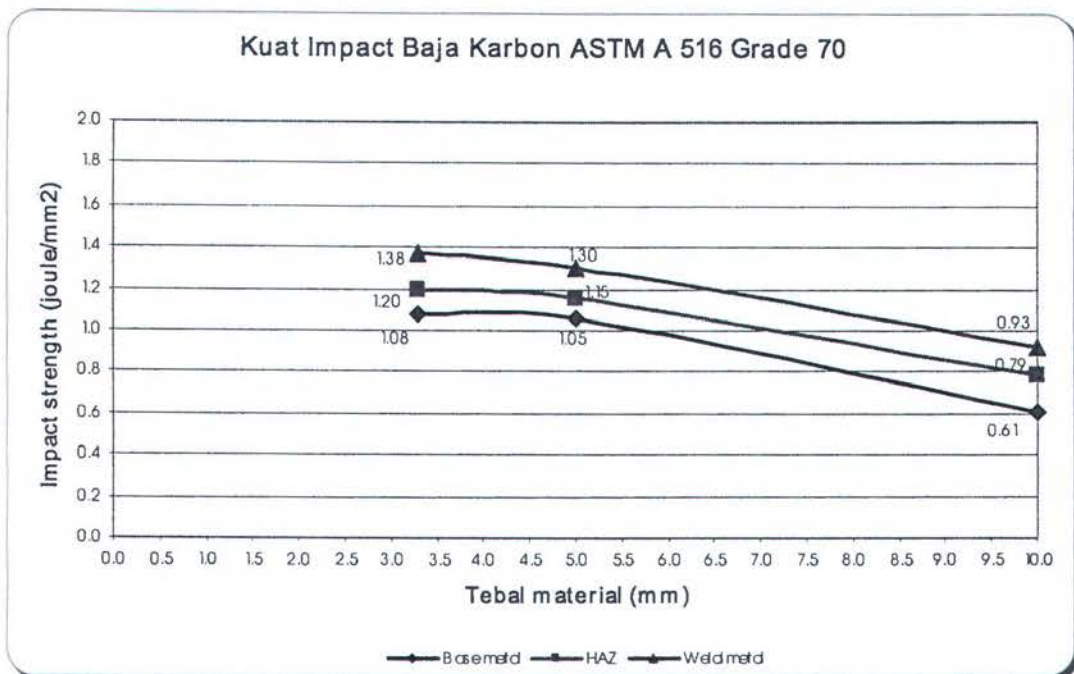


Grafik 4.5 Kuat impact material ASTM A 516 grade 70 pada base metal

Secara keseluruhan kuat impact (*impact strength*) untuk spesimen uji impact V-Notch Charpy dari material baja karbon ASTM A 516 grade 60 dan A 516 grade 70 dapat disimpulkan dari grafik 4.6 sampai 4.7 di bawah ini.



Grafik 4.6 Kuat impact material ASTM A 516 grade 60



Grafik 4.7 Kuat impact material ASTM A 516 grade 70

Dari hasil pengujian impact didapatkan harga energi absorb untuk masing-masing ketebalan material. Material dengan ketebalan 10 mm harga energi absorb paling besar dibandingkan material dengan ketebalan 5 mm dan 3.3 mm. Hal tersebut dapat dijelaskan bahwa material dengan ketebalan 10 mm mempunyai luas penampang lebih besar yang berarti mempunyai ketahanan yang lebih besar terhadap pukulan dari pendulum sehingga menghasilkan energi absorb yang lebih besar.

Sedangkan untuk di HAZ, selain mempunyai luas penampang yang lebih besar, pengambilan takik pada spesimen uji juga mempengaruhi terhadap besarnya energi absorb. Pada material dengan ketebalan 10 mm pengambilan takik pada HAZ tidak sepenuhnya berada pada daerah tersebut. Sebagian mengenai base metal dan weld metal. Base metal dan weld metal yang mengenai takik pada HAZ untuk material dengan ketebalan 10 mm, mempunyai prosentase yang lebih besar dibandingkan material dengan ketebalan 5 mm dan 3.3 mm yang berarti pada lokasi takik tersebut mempunyai tambahan kekuatan dari base metal dan weld metal lebih besar dimana pada daerah weld metal terjadi mekanisme penguatan larutan padat dan pengaruh penguatan partikel-partikel halus yang mengandung unsur Mangan (Mn) yang berfungsi meningkatkan kekerasan logam.

Demikian juga pada daerah weld metal, material dengan ketebalan 10 mm mempunyai luas penampang yang lebih besar daripada material dengan ketebalan 5 mm dan 3.3 mm yang berarti bahwa kandungan unsur Mangan (Mn) pada material tersebut lebih besar dimana unsur Mangan tersebut mengakibatkan kekerasan logam las meningkat. [Esterling, 1992]

Apabila ditinjau dari segi kuat impact dimana harga energi absorb masing-masing spesimen dibagi dengan luas penampangnya, maka material dengan ketebalan 3.3 mm mempunyai harga kuat impact paling besar. Hal tersebut dapat dijelaskan melalui teori ketangguhan material bahwa kuat impact berhubungan dengan ketangguhan material dimana ketangguhan material berbanding

terbalik dengan tebal material. Mengacu pada persamaan berikut $K_i = \frac{P}{B\sqrt{a}} f(a/w)$ dimana P

adalah besar pembebanan dan B adalah tebal material maka dari persamaan tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar tebal material maka semakin kecil ketangguhannya dan

sebaliknya semakin kecil ketebalan material maka semakin besar ketangguhannya dimana ketangguhan material berhubungan dengan kuat impact. Sehingga semakin besar tebal material maka semakin kecil kuat impact-nya dan semakin kecil ketebalannya maka semakin besar kuat impact-nya.. [Broek,1987]

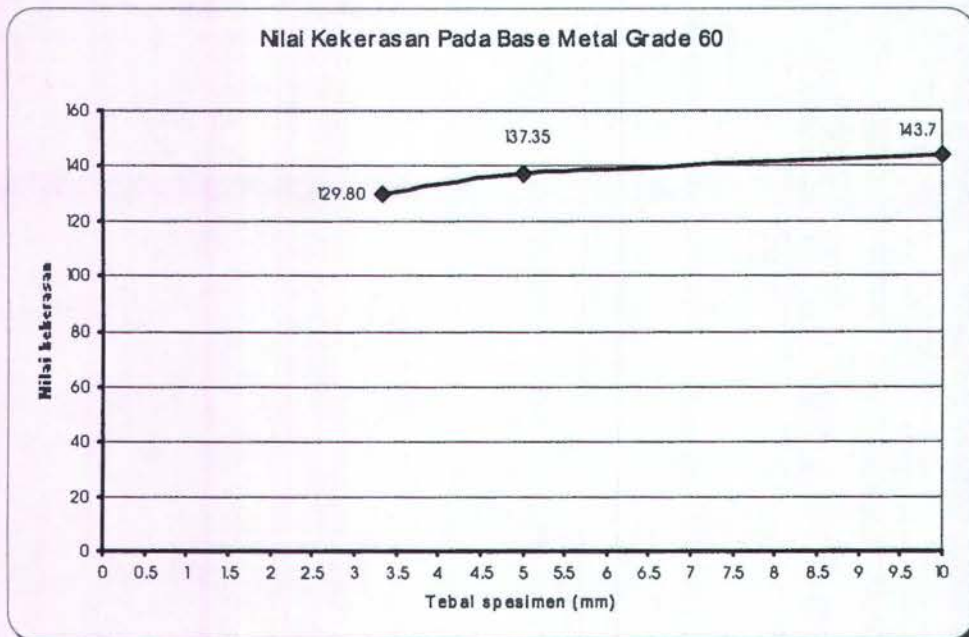
4.2.2. Analisa Data Hasil Pengujian Hardness Vickers (*Hardness Vickers Test*)

Hasil lengkap dari pengujian terhadap spesimen uji hardness untuk beberapa ketebalan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.14. Hasil uji hardness Vickers material ASTM A 516 grade 60 pada base metal

Lokasi	Tebal spesimen	Nilai Hardness Vickers	Rata-rata
Base Metal Grade 60	10 mm	140.7	141.90
	(Test Coupon 25.4 mm)	143.1	
	10 mm	145.0	145.50
	(Test Coupon 11 mm)	146.0	
	5 mm	135.5	137.35
	(Test Coupon 8 mm)	139.2	
3.35 mm	131.2	129.80	
(Test Coupon 5.5 mm)	128.4		

Dari tabel 4.14 di atas terlihat bahwa semakin kecil ukuran ketebalan spesimen uji maka nilai kekerasannya berbanding lurus dengan ukuran ketebalannya. Dengan kata lain bahwa semakin kecil ketebalannya maka sifat dari material tersebut semakin tidak keras atau semakin ductile. Hal tersebut dapat digambarkan pada grafik 4.8 di bawah ini.



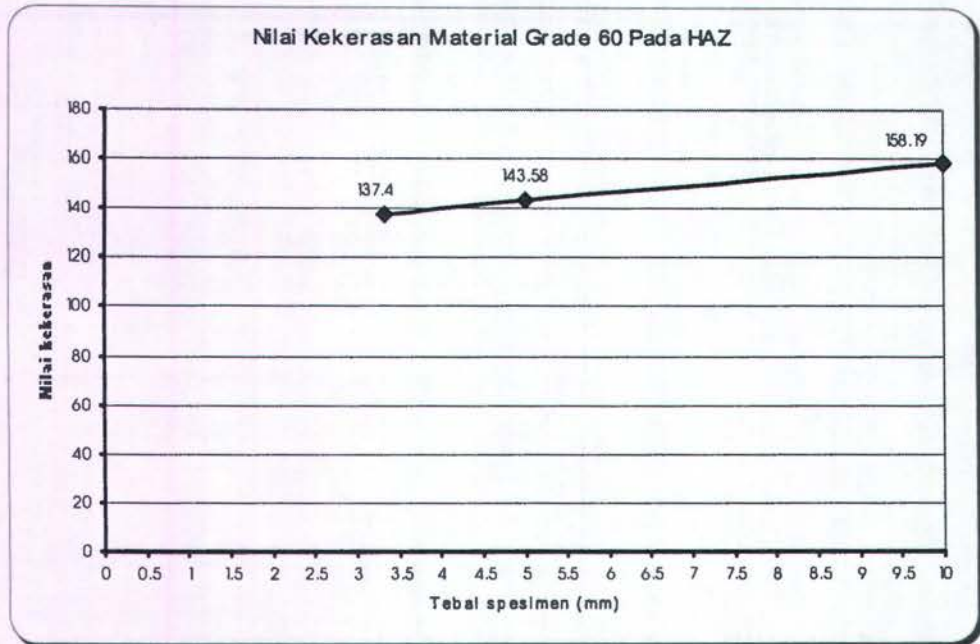
Grafik 4.8 Nilai kekerasan material ASTM A 516 grade 60 pada base metal

Dari grafik 4.8 di atas terlihat bahwa material dengan ketebalan 3.35 mm memiliki nilai kekerasan lebih rendah dibandingkan dengan material yang mempunyai ketebalan yang lebih besar. Ini menunjukkan bahwa material yang mempunyai ketebalan yang lebih kecil mempunyai kecenderungan untuk bersifat lebih ductile.

Tabel 4.15. Hasil uji hardness Vickers material ASTM A 516 grade 60 pada HAZ

Lokasi	Tebal spesimen	Nilai Hardness Vickers	Rata-rata
HAZ Grade 60	10 mm (Test Coupon 25.4 mm)	153.0	150.38
		151.4	
		144.7	
		151.4	
		151.4	
	10 mm (Test Coupon 11 mm)	162.0	166.00
		164.0	
		176.0	
		167.0	
		161.0	
	5 mm (Test Coupon 8 mm)	143.1	143.58
		142.3	
		147.1	
		140.7	
		144.7	
	3.35 mm (Test Coupon 5.5 mm)	136.9	137.40
		136.2	
		138.4	
		140.0	
		135.5	

Seperti halnya pada base metal, dari tabel 4.15 terlihat bahwa nilai kekerasan untuk material yang mempunyai ketebalan yang lebih kecil mempunyai nilai kekerasan yang kecil pula. Namun nilai kekerasan di daerah HAZ mempunyai nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan nilai kekerasan di base metal. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada grafik 4.9 di bawah ini.



Grafik 4.9 Nilai kekerasan material ASTM A 516 grade 60 pada HAZ

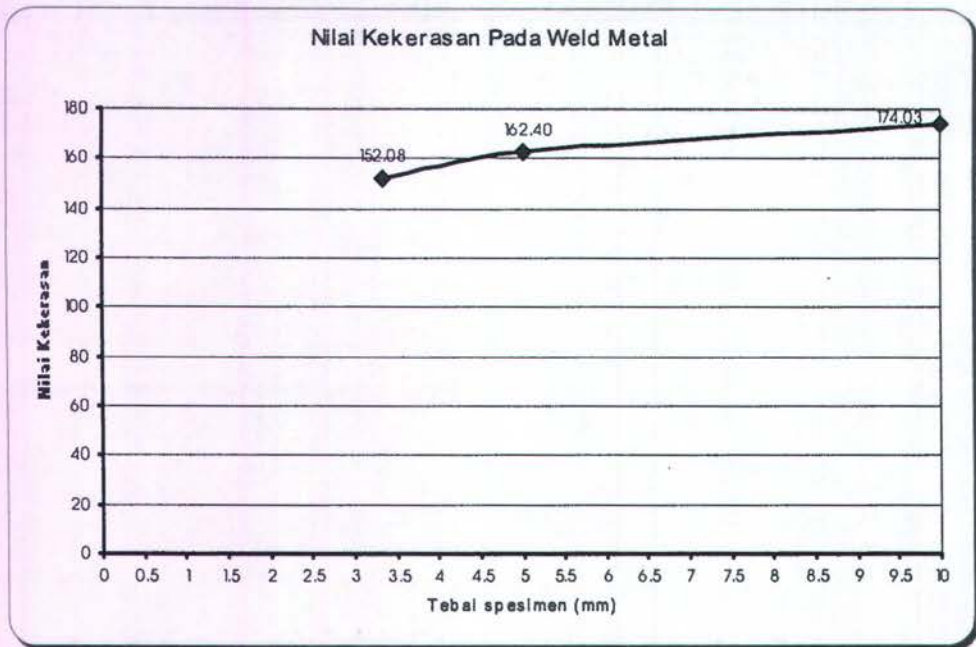
Dari grafik 4.9 di atas juga terlihat bahwa material dengan ketebalan yang lebih kecil memiliki nilai kekerasan lebih rendah dibandingkan dengan material yang mempunyai ketebalan yang lebih besar. Yang artinya bahwa material yang mempunyai ketebalan yang lebih kecil mempunyai kecenderungan untuk bersifat lebih ductile meskipun nilai kekerasannya lebih besar daripada nilai kekerasan di daerah base metal. Akan tetapi dari segi ukuran nilai kekerasan berbanding lurus dengan nilai ketebalan material.

Tabel 4.16. Hasil uji hardness Vickers material ASTM A 516 pada weld metal

Lokasi	Tebal spesimen	Nilai Hardness Vickers	Rata-rata
Weld Metal	10 mm (Test Coupon 25.4 mm)	176.0	167.86
		170.0	
		166.3	
		163.0	
		164.0	
	10 mm (Test Coupon 11 mm)	188.0	180.20
		176.0	
		182.0	
		183.0	
		172.0	
	5 mm (Test Coupon 8 mm)	163.0	162.40
		160.0	
		160.0	
		166.0	
		163.0	
	3.35 mm (Test Coupon 5.5 mm)	160.0	152.08
		162.0	
		154.0	
		134.7	
		149.7	

Berdasarkan tabel 4.16 di atas bahwa pada weld metal juga terjadi fenomena seperti pada base metal maupun HAZ dimana material yang mempunyai ketebalan yang lebih kecil mempunyai nilai kekerasan yang lebih kecil semakin kecil ukuran ketebalan material maka material tersebut lebih bersifat tidak keras atau lebih bersifat ulet (ductile). Hal tersebut dapat dilihat pada grafik 4.10 di bawah ini.





Grafik 4.10 Nilai kekerasan material ASTM A 516 pada weld metal

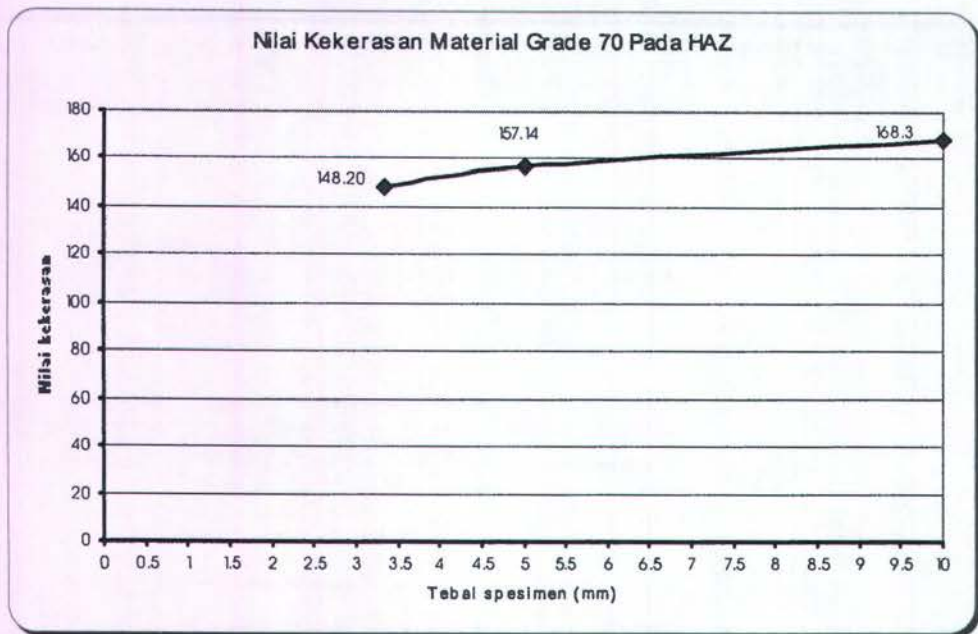
Dari grafik 4.10 di atas semakin menguatkan hipotesa bahwa semakin kecil ketebalan material maka material tersebut lebih bersifat ductile. Hal tersebut berlaku untuk semua daerah pengamatan baik pada base metal, HAZ maupun pada weld metal. Akan tetapi untuk variable pengamatan yang berdasarkan grade material dapat dilihat pada pengamatan selanjutnya untuk material ASTM A 516 grade 70.

Tabel 4.17. Hasil uji hardness Vickers material ASTM A 516 grade 70 pada HAZ

Lokasi	Tebal spesimen	Nilai Hardness Vickers	Rata-rata
HAZ Grade 70	10 mm (Test Coupon 25.4 mm)	179.0	167.20
		164.0	
		163.0	
		162.0	
		168.0	
	10 mm (Test Coupon 11 mm)	170.0	169.40
		172.0	
		167.0	
		169.0	
		169.0	
	5 mm (Test Coupon 8 mm)	153.0	157.14
		149.7	
		164.0	
		159.0	
		160.0	
	3.35 mm (Test Coupon 5.5 mm)	149.7	148.20
		149.7	
		143.9	
		149.7	
		148.0	

Dari tabel 4.17 dijelaskan bahwa dengan perubahan grade material dari grade 60 menjadi grade 70 ternyata juga terjadi kecenderungan bahwa material menjadi lebih tidak keras (ductile) dengan semakin kecilnya ukuran ketebalan material tersebut. Dengan artian bahwa dari segi ketebalan, grade material tidak mempengaruhi sifat keras material. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada grafik 4.11 di bawah ini.





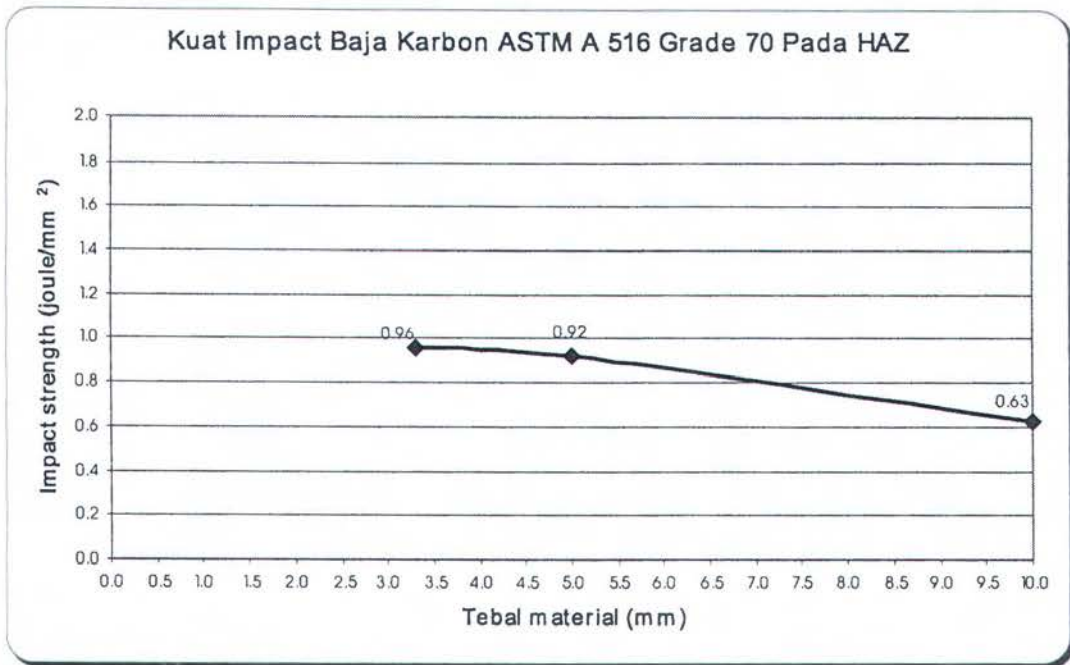
Grafik 4.11 Nilai kekerasan material ASTM A 516 grade 70 pada HAZ

Dari grafik 4.11 di atas juga terlihat bahwa material dengan ketebalan yang lebih kecil memiliki nilai kekerasan lebih rendah dibandingkan dengan material yang mempunyai ketebalan yang lebih besar. Yang artinya bahwa material yang mempunyai ketebalan yang lebih kecil mempunyai kecenderungan untuk bersifat lebih ductile. Pada daerah HAZ, baik material grade 60 maupun material grade 70 mempunyai kecenderungan bersifat lebih ulet dengan semakin kecilnya ukuran ketebalan material tersebut.

Tabel 4.18. Hasil uji hardness Vickers material ASTM A 516 grade 70 pada base metal

Lokasi	Tebal spesimen	Nilai Hardness Vickers	Rata-rata
Base Metal Grade 70	10 mm	156.0	156.00
	(Test Coupon 25.4 mm)	156.0	
	10 mm	151.0	147.50
	(Test Coupon 11 mm)	144.0	
	5 mm	151.0	149.50
	(Test Coupon 8 mm)	148.0	
3.35 mm	143.1	142.70	
(Test Coupon 5.5 mm)	142.3		

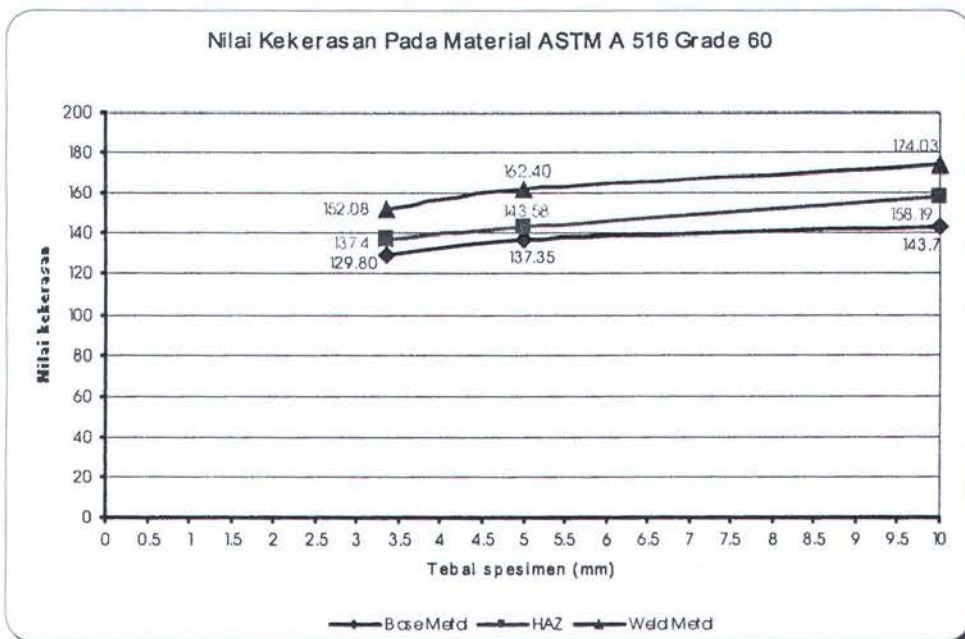
Dari tabel 4.18 di atas terlihat bahwa seperti halnya pada base metal grade 60, pada base metal grade 70 juga terjadi kecenderungan material bersifat lebih ductile untuk material yang mempunyai ketebalan yang lebih kecil. Dari data hasil uji kekerasan secara keseluruhan dapat dikatakan bahwa material yang mempunyai ketebalan yang lebih kecil mempunyai sifat kekerasan yang lebih kecil pula atau mempunyai sifat lebih ulet. Lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik 4.12 di bawah ini.



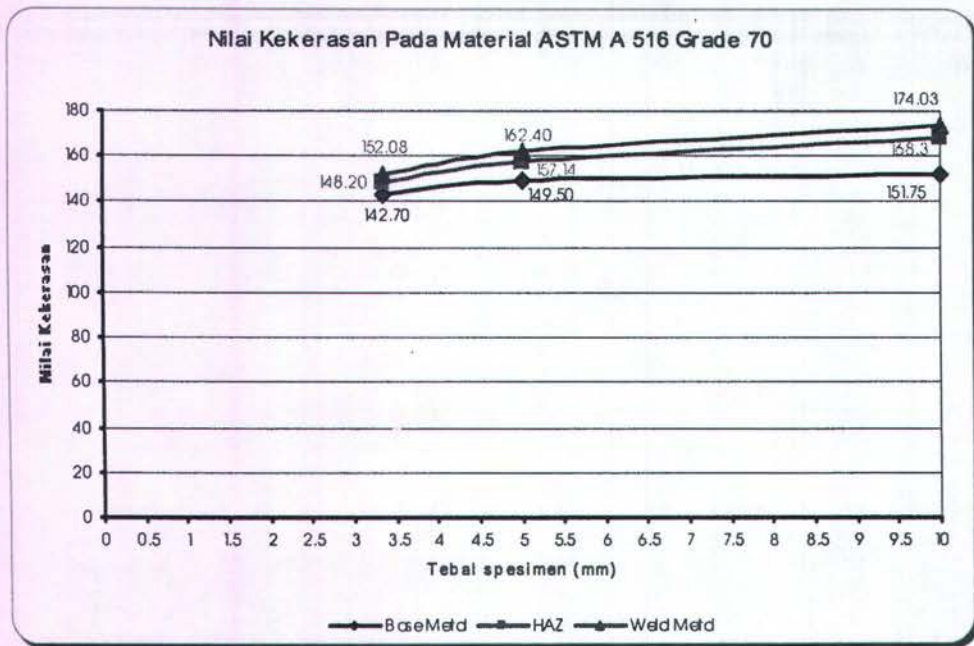
Grafik 4.12 Nilai kekerasan material ASTM A 516 grade 70 pada base metal

Dari grafik 4.12 di atas terlihat bahwa material dengan ketebalan 3.35 mm memiliki nilai kekerasan lebih rendah dibandingkan dengan material yang mempunyai ketebalan yang lebih besar. Ini menunjukkan bahwa material yang mempunyai ketebalan yang lebih kecil mempunyai kecenderungan untuk bersifat lebih ductile. Tetapi untuk base metal grade 70 mempunyai kekerasan yang lebih besar dari base metal grade 60 dengan ketebalan material yang sama.

Secara keseluruhan nilai kekerasan untuk spesimen uji hardness Vickers dari material baja karbon ASTM A 516 grade 60 dan A 516 grade 70 dapat disimpulkan dari grafik 4.13 dan 4.14 di bawah ini.



Grafik 4.13 Nilai kekerasan material ASTM A 516 grade 60



Grafik 4.14 Nilai kekerasan material ASTM A 516 grade 70

Kekerasan yang paling tinggi terjadi pada logam las (*weld metal*) pada material baja karbon ASTM A 516 grade 60 maupun grade 70 untuk semua ketebalan dalam pengujian ini. Fenomena tersebut dapat dijelaskan bahwa sifat-sifat logam las, terutama dari segi kekuatan, biasanya dikehendaki oleh mekanisme penguatan larutan padat dan pengaruh penguatan partikel-partikel halus. Pada keadaan ini, kandungan unsur Mangan (Mn) pada logam las menjadi lebih tinggi dibandingkan logam induk meskipun kandungan karbonnya lebih rendah. Adanya kadar Mn yang lebih tinggi tersebut mengakibatkan kekerasan logam las meningkat karena unsur Mn berfungsi meningkatkan kekerasan logam. [Esterling, 1992]

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah dilakukan serangkaian pengujian impact V-Notch Charpy dan pengujian hardness Vickers pada material baja karbon ASTM A 516 grade 60 dan A 516 grade 70 dengan beberapa ketebalan, didapatkan data-data hasil pengujian yang kemudian dianalisa. Berdasarkan analisa perbandingan pada spesimen dengan beberapa ketebalan tersebut, baik untuk uji impact V-Charpy maupun uji hardness Vickers, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan dan saran sebagai berikut :

5.1. Kesimpulan

1. Ditinjau dari segi kuat impact dimana harga energi absorb masing-masing spesimen dibagi dengan luas penampangnya, maka material dengan ketebalan 3.3 mm mempunyai harga kuat impact paling besar. Hal tersebut dapat dijelaskan melalui teori ketangguhan material bahwa kuat impact berhubungan dengan ketangguhan material dimana ketangguhan material berbanding terbalik dengan tebal material. Semakin besar tebal material maka semakin kecil ketangguhannya dan sebaliknya semakin kecil ketebalan material maka semakin besar ketangguhannya. Jadi, semakin besar tebal material maka semakin kecil kuat impact-nya dan semakin kecil ketebalannya maka semakin besar kuat impact-nya.
2. Dari hasil pengujian kekerasan Vickers (*Hardness Vickers Test*) terhadap material baja karbon ASTM A 516 grade 60 dan A 516 grade 70 bahwa semakin kecil ketebalan material maka nilai kekerasannya juga semakin rendah. Atau semakin kecil ketebalan material maka material tersebut bersifat lebih ulet (*ductile*).

5.2. Saran

Hasil penelitian ini menyajikan informasi tentang perbandingan besarnya harga kuat impact dan nilai kekerasan pada material baja karbon ASTM A 516 grade 60 dan A 516 grade 70 dengan beberapa ketebalan melalui pengujian impact V-notch Charpy dan hardness Vickers. Untuk mengetahui pengaruh perubahan struktur logam setelah proses pengelasan dan proses pendinginan terhadap harga energi absorb dan nilai kekerasan, perlu dilakukan pengujian foto mikro terhadap material uji dengan beberapa ketebalan.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, "Annual Book Of ASTM Standard Volume 03.01", ASTM Publishing Philadelphia, 1986.
- ASME, "Boiler and Pressure Vessel Code Section IX ", New York, 2004.
- Broek, David, "Elementary Engineering Fracture Mechanics", Martinus Nijhoff Inc., Boston, 1982.
- Farid, Mohammad, "Studi Pengaruh Heat Treatment Pada Pengelasan Baja Kekuatan Tinggi Terhadap Keretakan Pada Daerah HAZ", Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS, Surabaya, 1992.
- Horath, Larry, "Fundamental of Materials Science for Technologists", Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 1995.
- Jeffus, Larry, "Welding ; Principles and Applications " Delmar Publishing Inc., New York, 1993.
- Suherman, Wahid, "Ilmu Logam", Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya, 1998.
- Theining, Karl-Erik, "Steel And Its' Heat Treatment", Butterworths, London, 1984.
- Tokumura, Oshie & Wiryosumarto, Harsono, "Teknologi Pengelasan Logam", PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1996.



WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)

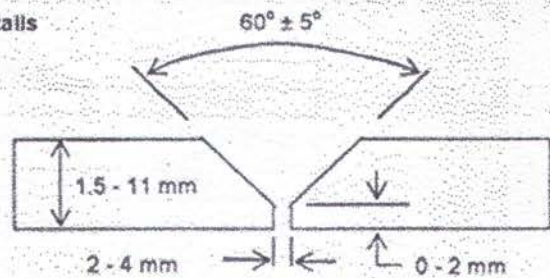
Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code

Company Name	: HILMI AMRULLOH	Date	: December 1, 2006
WPS No.	: 001/WPS/HMS-CS/ASME/06	Date	: September 29, 2006
Supporting PQR No.	: 001/PQR/HMS-CS/ASME/06	Date	: -
Revision No.	: 0	Date	: -
Welding Process(es)	: Combination of GTAW & SMAW	Type(s)	: Manual

JOINTS (QW-402)

Joint Design : Butt joint, single V groove
 Backing Material : N/A
 Backing Material (Type) : N/A
 Metal Nonfusing Metal
 Nonmetallic Others

Details



BASE METALS (QW-403)

P-No. : 1	Group No. : 1	to P-No. : 1	Group No. : 2
Specification Type and Grade : -		to Specification Type and Grade : -	
Chem. Analysis and Mech. Prop. : N/A		to Chem. Analysis & Mech. Prop. : N/A	

Thickness Range:

Base Metal:	Impact Test : 2.75 mm to 11 mm	Fillet : All
Pipe Diameter Range : All	Groove : 1.5 mm to 11 mm	Fillet : All
Others : N/A		

FILLER METALS (QW-404)

Specification No. (SFA)
 AWS No. (Classification)
 F-No.
 A-No.
 Size of Filler Metals (mm)
 Weld Metal Thickness (mm)

Groove
 Fillet Throat

GTAW	SMAW
A5.18	A5.1
ER 70S-G	E 7018
6	4
1	1
2.0 - 2.4	2.6 - 3.2
5.5 max.	5.5 max.
All	All

Consumable Insert : N/A
 Others : No single pass more than 13 mm

POSITIONS (QW-405)

Position(s) of Groove : All
 Welding Progression : Uphill
 Position(s) of Fillet : All

PREHEAT (QW-406)

Preheat Temperature Min. (°C) : N/A
 Interpass Temperature (°C) : 50 min.
 300 max.
 Preheat Maintenance : During welding

POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)

Temperature Range (°C) : 595-650
 Time Range : 1 hr/in
 Min. 1 hour

GAS (QW-408)

	Percent Composition		
	Gas(es)	Mixture	Flow Rate
Shielding	Argon HP	99.997	10 - 20 l/min
Trailing	N/A	N/A	N/A
Backing	N/A	N/A	N/A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)

Current AC or DC : DC
 Amperage (range) : 80 - 105 A
 Tungsten Electrode Type : EWTh-2
 Tungsten Electrode Diameter : 2.4 mm
 Polarity : GTAW : DCEN
 SMAW : DCEP
 Voltage (range) : 12 - 25 V

TECHNIQUE (QW-410)

String or Weave Bead : Both
 Orifice or Gas Cup Size (mm) : 6 - 10
 Initial and Interpass Cleaning : Brushing and grinding
 Method of Back Gouging : N/A
 Contact Tube Work Distance : 11 mm max.
 Multiple or Single Pass (per-side) : Multiple
 Multiple or Single Electrodes : Multiple
 Travel Speed (Range) : See below
 Peening : N/A
 Others : N/A

Weld Layer(s)	Process	Filler Metal		Current		Volt Range (V)	Travel Speed Range (mm/min)	Other
		AWS Class	Diameter (mm)	Type of Polarity	Amp. Range (A)			
1st	GTAW	ER 70S-G	2.4	DCEN	80 - 105	12 - 15	30 - 60	-
2nd	SMAW	E 7018	2.6	DCEP	80 - 105	22 - 25	80 - 120	-
3rd	SMAW	E 7018	2.6	DCEP	80 - 105	22 - 25	80 - 120	-

PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR)

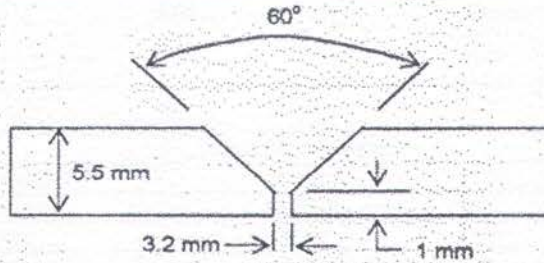
Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code

Company Name : HILMI AMRULLOH
 PQR No. : 001/PQR/HMS-CS/ASME/06
 WPS No. : -
 Welding Process(es) : Combination of GTAW & SMAW

Date : September 29, 2006
 Date : -
 Type(s) : Manual

Revision No.: 0

JOINTS (QW-402)



BASE METALS (QW-403)

Material Specification : SA 516 to : SA 516
 Type or Grade : 60 to : 70
 Class : - to : -
 P-No. : 1 Group No. : 1 to P-No. : 1 Group No. : 2
 Thickness of Test Coupon : 5.5 mm
 Diameter of Test Coupon : N/A
 Others : N/A

FILLER METALS (QW-404)

Specification No. (SFA)
 AWS No. (Classification)
 F-No.
 A-No.
 Size of Filler Metals (mm)
 Weld Metal Thickness (mm)

GTAW	SMAW
A5.18	A5.1
ER 70S-G	E 7018
6	4
1	1
2.4	2.6
2.75	2.75

POSITION (QW-405)		PREHEAT (QW-406)						
Position of Groove	: 1G	Preheat Temperature (°C)	: N/A					
Weld Progression	: N/A	Interpass Temperature (°C)	: 91					
Others	: N/A	Others	: N/A					
POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)								
Heating Rate (°C/hr)	: 100	Cooling Rate (°C/hr)	: 100					
Holding Temperature (°C)	: 650	Others	: See PWHT Diagram					
Holding Time (minutes)	: 90							
GAS (QW-408)								
	Percent Composition							
	Gas(es)	Mixture	Flow Rate					
Shielding	Argon HP	99.997	10 l/min					
Trailing	N/A	N/A	N/A					
Backing	N/A	N/A	N/A					
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)								
Current	: DC	Amperage	: 95 A					
		Voltage	: 13.4 - 23.8 V					
Polarity	: GTAW : DCEN	Tungsten Electrode Type	: EWTh-2					
	: SMAW : DCEP	Tungsten Electrode Diameter	: 2.4 mm					
TECHNIQUE (QW-410)								
Travel Speed	: 39 - 110 mm/min	Multiple or Single Pass (per-side)	: Multiple					
String or Weave Bead	: Both	Multiple or Single Electrodes	: Multiple					
Oscillation	: N/A	Others	: N/A					
Weld Layer(s)	Process	Filler Metal		Current		Voltage (V)	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (J/mm)
		AWS Class	Diameter (mm)	Type of Polarity	Amperage (A)			
1st	GTAW	ER 70S-G	2.4	DCEN	95	13.4	39	1958
2nd	SMAW	E 7018	2.6	DCEP	95	23.8	110	1233
3rd	SMAW	E 7018	2.6	DCEP	95	23.8	90	1507

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)

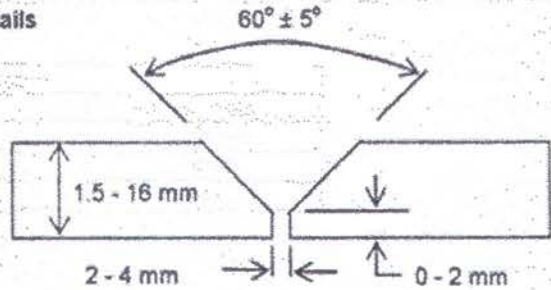
Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code

Company Name	: HILMI AMRULLOH	Date	: December 1, 2006
WPS No.	: 002/WPS/HMS-CS/ASME/06	Date	: September 29, 2006
Supporting PQR No.	: 002/PQR/HMS-CS/ASME/06	Date	: -
Revision No.	: -	Type(s)	: Manual
Welding Process(es)	: Combination of GTAW & SMAW		

JOINTS (QW-402)

Joint Design : Butt joint, single V-groove
 Backing Material : N/A
 Backing Material(Type) : N/A
 Metal Nonfusing Metal
 Nonmetallic Others

Details



BASE METALS (QW-403)

P-No. : 1	Group No. : 1	to P-No. : 1	Group No. : 2
Specification Type and Grade : -		to Specification Type and Grade : -	
Chem. Analysis and Mech. Prop. : N/A		to Chem. Analysis & Mech. Prop. : N/A	
Thickness Range:	Impact Test : 8 mm to 16 mm		
Base Metal:	Groove : 1.5 mm to 16 mm	Fillet : All	
Pipe Diameter Range : All		Fillet : All	
Others : N/A			

FILLER METALS (QW-404)

Specification No. (SFA)
 AWS No. (Classification)
 F-No.
 A-No.
 Size of Filler Metals (mm)
 Weld Metal Thickness (mm)

GTAW	SMAW
A5.18	A5.1
ER 70S-G	E 7018
6	4
1	1
2.0 - 2.4	2.6 - 3.2
5.5 max	10.5 max
All	All

Consumable Insert : N/A
 Others : No single pass more than 13 mm

POSITIONS (QW-405)

Position(s) of Groove : All
 Welding Progression : Uphill
 Position(s) of Fillet : All

PREHEAT (QW-406)

Preheat Temperature Min. (°C) : N/A
 Interpass Temperature (°C) : 50 min.
 : 300 max.
 Preheat Maintenance : During welding

POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)

Temperature Range (°C) : 595-650
 Time Range : 1 hr/in
 : Min. 1 hour

GAS (QW-408)

	Percent Composition		
	Gas(es)	Mixture	Flow Rate
Shielding	Argon HP	99.997	10 - 20 l/min
Trailing	N/A	N/A	N/A
Backing	N/A	N/A	N/A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)

Current AC or DC : DC
 Amperage (range) : 85 - 130 A
 Tungsten Electrode Type : EWTh-2
 Tungsten Electrode Diameter : 2.4 mm
 Polarity : GTAW : DCEN
 : SMAW : DCEP
 Voltage (range) : 12 - 26 V

TECHNIQUE (QW-410)

String or Weave Bead : Both
 Orifice or Gas Cup Size (mm) : 6 - 10
 Initial and Interpass Cleaning : Brushing and grinding
 Method of Back Gouging : N/A
 Contact Tube Work Distance : 11 mm max.
 Multiple or Single Pass (per-side) : Multiple
 Multiple or Single Electrodes : Multiple
 Travel Speed (Range) : See below
 Peening : N/A
 Others : N/A

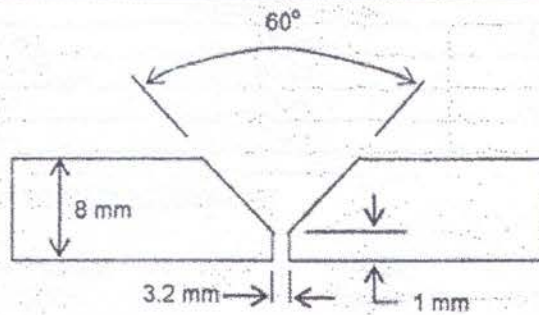
Weld Layer(s)	Process	Filler Metal		Current		Volt Range (V)	Travel Speed Range (mm/min)	Others
		AWS Class	Diameter (mm)	Type of Polarity	Amp. Range (A)			
1st	GTAW	ER 70S-G	2.4	DCEN	85 - 105	12 - 15	40 - 70	-
2nd	SMAW	E 7018	2.6	DCEP	85 - 105	22 - 25	70 - 120	-
3rd	SMAW	E 7018	3.2	DCEP	100 - 130	23 - 26	70 - 110	-
4th	SMAW	E 7018	3.2	DCEP	100 - 130	23 - 26	70 - 110	-

PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR)

Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code

Company Name : HILMI AMRULLOH
 PQR No. : 002/PQR/HMS-CS/ASME/06
 WPS No. : -
 Revision No. : 0
 Welding Process(es) : Combination of GTAW & SMAW
 Date : September 29, 2006
 Date : -
 Date : -
 Type(s) : Manual

JOINTS (QW-402)



BASE METALS (QW-403)

Material Specification : SA 516 to : SA 516
 Type or Grade : 60 to : 70
 Class : - to : -
 P-No. : 1 Group No. : 1 to P-No. : 1 Group No. : 2
 Thickness of Test Coupon : 8 mm
 Diameter of Test Coupon : N/A
 Others : N/A

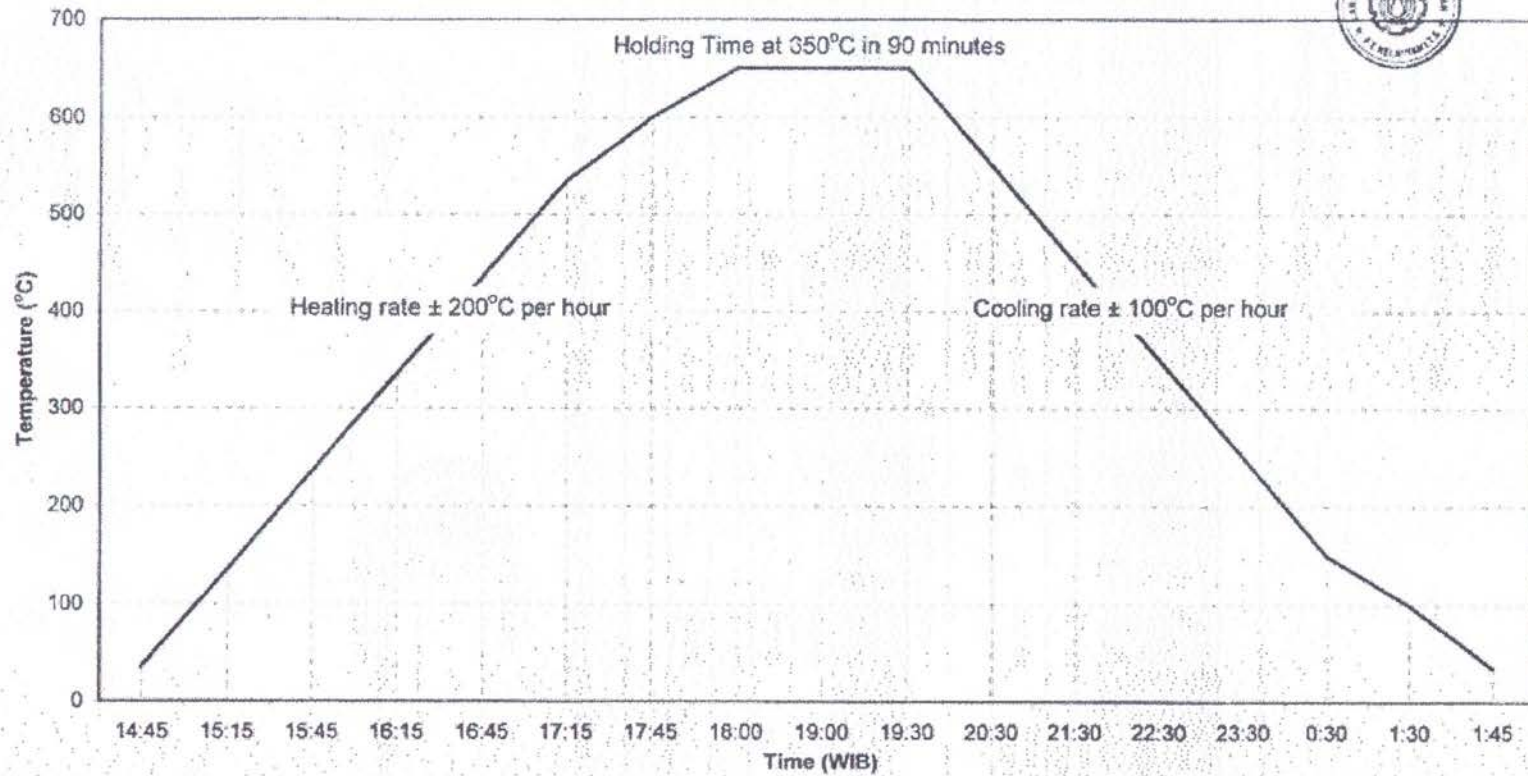
FILLER METALS (QW-404)

	GTAW	SMAW
Specification No. (SFA)	A5.18	A5.1
AWS No. (Classification)	ER 70S-G	E 7018
F-No.	6	4
A-No.	1	1
Size of Filler Metals (mm)	2.4	2.6 & 3.2
Weld Metal Thickness (mm)	2.75	5.25

POSITION (QW-405)		PREHEAT (QW-406)						
Position of Groove	1G	Preheat Temperature (°C)	: N/A					
Weld Progression	N/A	Interpass Temperature (°C)	: 109					
Others	N/A	Others	: N/A					
POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)								
Heating Rate (°C/hr)	: 200	Cooling Rate (°C/hr)	: 100					
Holding Temperature (°C)	: 650	Others	: See PWHT Diagram					
Holding Time (minutes)	: 90							
GAS (QW-408)								
	Percent Composition							
	Gas(es)	Mixture	Flow Rate					
Shielding	Argon HP	99.997	10 l/min					
Trailing	N/A	N/A	N/A					
Backing	N/A	N/A	N/A					
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)								
Current	: DC	Amperage	: 95 - 120 A					
Voltage			: 13.4 - 24.8 V					
Polarity	: GTAW	: DCEN	Tungsten Electrode Type					
			: EWTh-2					
	: SMAW	: DCEP	Tungsten Electrode Diameter					
			: 2.4 mm					
TECHNIQUE (QW-410)								
Travel Speed	: 42 - 114 mm/min	Multiple or Single Pass (per-side)	: Multiple					
String or Weave Bead	: Both	Multiple or Single Electrodes	: Multiple					
Oscillation	: N/A	Others	: N/A					
Weld Layer(s)	Process	Filler Metal		Current		Voltage (V)	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (J/mm)
		AWS Class	Diameter (mm)	Type of Polarity	Amperage (A)			
1st	GTAW	ER 70S-G	2.4	DCEN	95	13.4	42	1819
2nd	SMAW	E 7018	2.6	DCEP	95	23.8	114	1190
3rd	SMAW	E 7018	3.2	DCEP	120	24.8	105	1701
4th	SMAW	E 7018	3.2	DCEP	120	24.8	99	1804



PWHT Diagram
WPS No. 002/WPS/HMS-CS/ASME/06



WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)

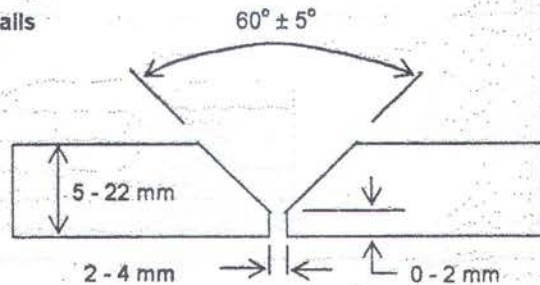
Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code

Company Name	: HILMI AMRULLOH	Date	: December 1, 2006
WPS No.	: 004/WPS/HMS-CS/ASME/06	Date	: September 29, 2006
Supporting PQR No.	: 004/PQR/HMS-CS/ASME/06	Date	: -
Revision No.	: -	Type(s)	: Manual
Welding Process(es)	: Combination of GTAW & SMAW		

JOINTS (QW-402)

Joint Design : Butt joint, single V groove
 Backing Material : N/A
 Backing Material (Type) : N/A
 Metal Nonfusing Metal
 Nonmetallic Others

Details



BASE METALS (QW-403)

P-No. : 1	Group No. : 1	to P-No. : 1	Group No. : 2
Specification Type and Grade : -		to Specification Type and Grade : -	
Chem. Analysis and Mech. Prop. : N/A		to Chem. Analysis and Mech. Prop. : N/A	

Thickness Range:

Base Metal:	Impact Test : 11 mm to 22 mm	Fillet : All
Pipe Diameter Range	Groove : 5 mm to 22 mm	Fillet : All
Others	: All	
	: N/A	

FILLER METALS (QW-404)

Specification No. (SFA)
 AWS No. (Classification)
 F-No.
 A-No.
 Size of Filler Metals (mm)
 Weld Metal Thickness (mm)

	GTAW	SMAW
Specification No. (SFA)	A5.18	A5.1
AWS No. (Classification)	ER 70S-G	E 7018
F-No.	6	4
A-No.	1	1
Size of Filler Metals (mm)	2.0 - 2.4	2.6 - 4
Weld Metal Thickness (mm)	5.5 max.	16.5 max.
Groove	All	All
Fillet Throat	All	All

Consummable Insert : N/A
 Others : No single pass more than 13 mm

POSITIONS (QW-405)

Position(s) of Groove : All
 Welding Progression : Uphill
 Position(s) of Fillet : All

PREHEAT (QW-406)

Preheat Temperature Min. (°C) : N/A
 Interpass Temperature (°C) : 50 min.
 300 max.
 Preheat Maintenance : During welding

POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)

Temperature Range (°C) : N/A
 Time Range : N/A

GAS (QW-408)

	Percent Composition		
	Gas(es)	Mixture	Flow Rate
Shielding	Argon HP	99.997	10 - 20 l/min
Trailing	N/A	N/A	N/A
Backing	N/A	N/A	N/A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)

Current AC or DC : DC
 Amperage (range) : 80 - 170 A
 Tungsten Electrode Type : EWTh-2
 Tungsten Electrode Diameter : 2.4 mm
 Polarity GTAW : DCEN
 SMAW : DCEP
 Voltage (range) : 12 - 27 V

TECHNIQUE (QW-410)

String or Weave Bead : Both
 Orifice or Gas Cup Size (mm) : 6 - 10
 Initial and Interpass Cleaning : Brushing and grinding
 Method of Back Gouging : N/A
 Contact Tube Work Distance : 11 mm max.
 Multiple or Single Pass (per-side) : Multiple
 Multiple or Single Electrodes : Multiple
 Travel Speed (Range) : See below
 Peening : N/A
 Others : N/A

Weld Layer(s)	Process	Filler Metal		Current		Volt Range (V)	Travel Speed Range (mm/min)	Others
		AWS Class	Diameter (mm)	Type of Polarity	Amp. Range (A)			
1st	GTAW	ER 70S-G	2.4	DCEN	80 - 105	12 - 15	30 - 60	-
2nd	SMAW	E 7018	2.6	DCEP	85 - 105	22 - 25	70 - 110	-
3rd	SMAW	E 7018	3.2	DCEP	100 - 130	23 - 26	70 - 100	-
4th	SMAW	E 7018	4	DCEP	130 - 170	24 - 27	70 - 100	-



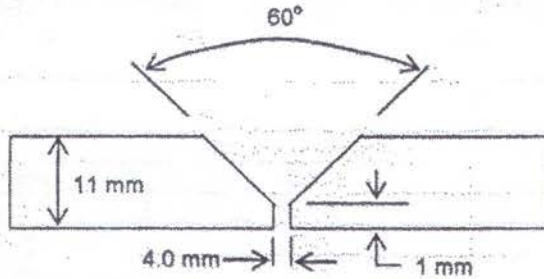
PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR)

Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code

Company Name : HILMI AMRULLOH
 PQR No. : 004/PQR/HMS-CS/ASME/06
 WPS No. : -
 Welding Process(es) : Combination of GTAW & SMAW

Date : September 29, 2006
 Revision No.: 0
 Date : -
 Type(s) : Manual

JOINTS (QW-402)



BASE METALS (QW-403)

Material Specification : SA 516 to : SA 516
 Type or Grade : 60 to : 70
 Class : - to : -
 P-No. : 1 Group No. : 1 to P-No. : 1 Group No. : 2
 Thickness of Test Coupon : 11 mm
 Diameter of Test Coupon : N/A
 Others : N/A

FILLER METALS (QW-404)

	GTAW	SMAW
Specification No. (SFA)	A5.18	A5.1
AWS No. (Classification)	ER 70S-G	E 7018
F-No.	6	4
A-No.	1	1
Size of Filler Metals (mm)	2.4	2.6, 3.2, & 4.0
Weld Metal Thickness (mm)	2.75	8.25

POSITION (QW-405)		PREHEAT (QW-406)						
Position of Groove	: 1G	Preheat Temperature (°C)	: N/A					
Weld Progression	: N/A	Interpass Temperature (°C)	: 114					
Others	: N/A	Others	: N/A					
POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)								
Heating Rate (°C/hr)	: N/A	Cooling Rate (°C/hr)	: N/A					
Holding Temperature (°C)	: N/A	Others	: N/A					
Holding Time (minutes)	: N/A							
GAS (QW-408)								
	Percent Composition							
	Gas(es)	Mixture	Flow Rate					
Shielding	Argon HP	99.997	10 l/min					
Trailing	N/A	N/A	N/A					
Backing	N/A	N/A	N/A					
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)								
Current	: DC	Amperage	: 90 - 160 A					
Voltage			: 13.4 - 26.4 V					
Polarity	: GTAW : DCEN	Tungsten Electrode Type	: EWTh-2					
	: SMAW : DCEP	Tungsten Electrode Diameter	: 2.4 mm					
TECHNIQUE (QW-410)								
Travel Speed	: 36 - 106 mm/min	Multiple or Single Pass (per-side)	: Multiple					
String or Weave Bead	: Both	Multiple or Single Electrodes	: Multiple					
Oscillation	: N/A	Others	: N/A					
Weld Layer(s)	Process	Filler Metal		Current		Voltage (V)	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (J/mm)
		AWS Class	Diameter (mm)	Type of Polarity	Amperage (A)			
1st	GTAW	ER 70S-G	2.4	DCEN	95	13.4	36	2122
2nd	SMAW	E 7018	2.6	DCEP	90	23.6	106	1202
3rd	SMAW	E 7018	3.2	DCEP	120	24.8	88	2029
4th	SMAW	E 7018	4	DCEP	160	26.4	74	3425

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)

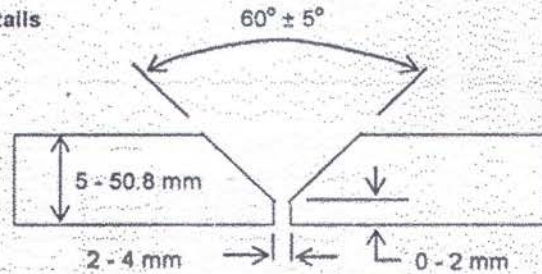
Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code

Company Name	: HILMI AMRULLOH	Date	: December 1, 2006
WPS No.	: 005/WPS/HMS-CS/ASME/06	Date	: September 29, 2006
Supporting PQR No.	: 005/PQR/HMS-CS/ASME/06	Date	: -
Revision No.	: -	Date	: -
Welding Process(es)	: Combination of GTAW & SMAW	Type(s)	: Manual

JOINTS (QW-402)

Joint Design : Butt joint, single V groove
 Backing Material : N/A
 Backing Material (Type) : N/A
 Metal Nonfusing Metal
 Nonmetallic Others

Details



BASE METALS (QW-403)

P-No. : 1	Group No. : 1	to P-No. : 1	Group No. : 2
Specification Type and Grade : -		to Specification Type and Grade : -	
Chem. Analysis and Mech. Prop. : N/A		to Chem. Analysis and Mech. Prop. : N/A	

Thickness Range:

Base Metal:	Impact Test : 16 mm to 50.8 mm	Fillet : All
Pipe Diameter Range	Groove : 5 mm to 50.8 mm	Fillet : All
Others	: N/A	

FILLER METALS (QW-404)

Specification No. (SFA)
 AWS No. (Classification)
 F-No.
 A-No.
 Size of Filler Metals (mm)
 Weld Metal Thickness (mm)

GTAW	SMAW
A5.18	A5.1
ER 70S-G	E 7018
6	4
1	1
2.0 - 2.4	3.2 - 4.0
11 max.	40 max.
All	All

Consumable Insert : N/A
 Others : No single pass more than 13 mm

POSITIONS (QW-405)

Position(s) of Groove : All
 Welding Progression : Uphill
 Position(s) of Fillet : All

PREHEAT (QW-406)

Preheat Temperature Min. (°C) : 65 min.
 : 300 max.
 Interpass Temperature (°C) : 50 min.
 : 300 max.
 Preheat Maintenance : During welding

POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)

Temperature Range (°C) : 595 - 650
 Time Range : 1 hr/in
 min. 1 hour

GAS (QW-408)

	Percent Composition		
	Gas(es)	Mixture	Flow Rate
Shielding	Argon HP	99.997	10 - 20 l/min
Trailing	N/A	N/A	N/A
Backing	N/A	N/A	N/A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)

Current AC or DC : DC
 Amperage (range) : 95 - 190 A
 Tungsten Electrode Type : EWTh-2
 Tungsten Electrode Diameter : 2.4 mm
 Polarity : GTAW : DCEN
 : SMAW : DCEP
 Voltage (range) : 12 - 28 V

TECHNIQUE (QW-410)

String or Weave Bead : Both
 Orifice or Gas Cup Size (mm) : 6 - 10
 Initial and Interpass Cleaning : Brushing and grinding
 Method of Back Gouging : N/A
 Contact Tube Work Distance : 11 mm max.
 Multiple or Single Pass (per-side) : Multiple
 Multiple or Single Electrodes : Multiple
 Travel Speed (Range) : See below
 Peening : N/A
 Others : N/A

Weld Layer(s)	Process	Filler Metal		Current		Volt Range (V)	Travel Speed Range (mm/min)	Others
		AWS Class	Diameter (mm)	Type of Polarity	Amp. Range (A)			
1st	GTAW	ER 70S-G	2.4	DCEN	95 - 110	12 - 15	30 - 60	-
2nd	GTAW	ER 70S-G	2.4	DCEN	100 - 125	13 - 16	70 - 100	-
3rd	SMAW	E 7018	3.2	DCEP	100 - 130	23 - 26	70 - 110	-
4th	SMAW	E 7018	4.0	DCEP	140 - 180	24 - 27	70 - 110	-
5th	SMAW	E 7018	4.0	DCEP	145 - 190	25 - 28	70 - 110	-
6th	SMAW	E 7018	4.0	DCEP	145 - 190	25 - 28	80 - 130	-
7th	SMAW	E 7018	4.0	DCEP	145 - 190	25 - 28	80 - 130	-
8th	SMAW	E 7018	4.0	DCEP	145 - 190	25 - 28	80 - 110	-
9th	SMAW	E 7018	4.0	DCEP	145 - 190	25 - 28	80 - 110	-
10th	SMAW	E 7018	4.0	DCEP	145 - 190	25 - 28	80 - 110	-
11th	SMAW	E 7018	4.0	DCEP	145 - 190	25 - 28	80 - 110	-
12th	SMAW	E 7018	4.0	DCEP	145 - 190	25 - 28	90 - 130	-
13th	SMAW	E 7018	4.0	DCEP	145 - 190	25 - 28	90 - 130	-
14th	SMAW	E 7018	4.0	DCEP	145 - 190	25 - 28	90 - 130	-

PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR)

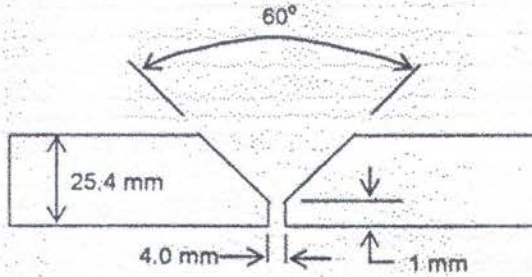
Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code

Company Name : HILMI AMRULLOH
 PQR No. : 005/PQR/HMS-CS/ASME/06
 WPS No. : -
 Welding Process(es) : Combination of GTAW & SMAW

Date : September 29, 2006
 Date : -
 Type(s) : Manual

Revision No.: 0

JOINTS (QW-402)



BASE METALS (QW-403)

Material Specification : SA 516 to : SA 516
 Type or Grade : 60 to : 70
 Class : - to : -
 P-No. : 1 Group No. : 1 to P-No. : 1 Group No. : 2
 Thickness of Test Coupon : 25.4 mm
 Diameter of Test Coupon : N/A
 Others : N/A

FILLER METALS (QW-404)

	GTAW	SMAW
Specification No. (SFA)	A5.18	A5.1
AWS No. (Classification)	ER 70S-G	E 7018
F-No.	6	4
A-No.	1	1
Size of Filler Metals (mm)	2.4	3.2 & 4.0
Weld Metal Thickness (mm)	5.4	20

POSITION (QW-405)

Position of Groove : 1G
 Weld Progression : N/A
 Others : N/A

PREHEAT (QW-406)

Preheat Temperature (°C) : 100
 Interpass Temperature (°C) : 168
 Others : N/A



LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

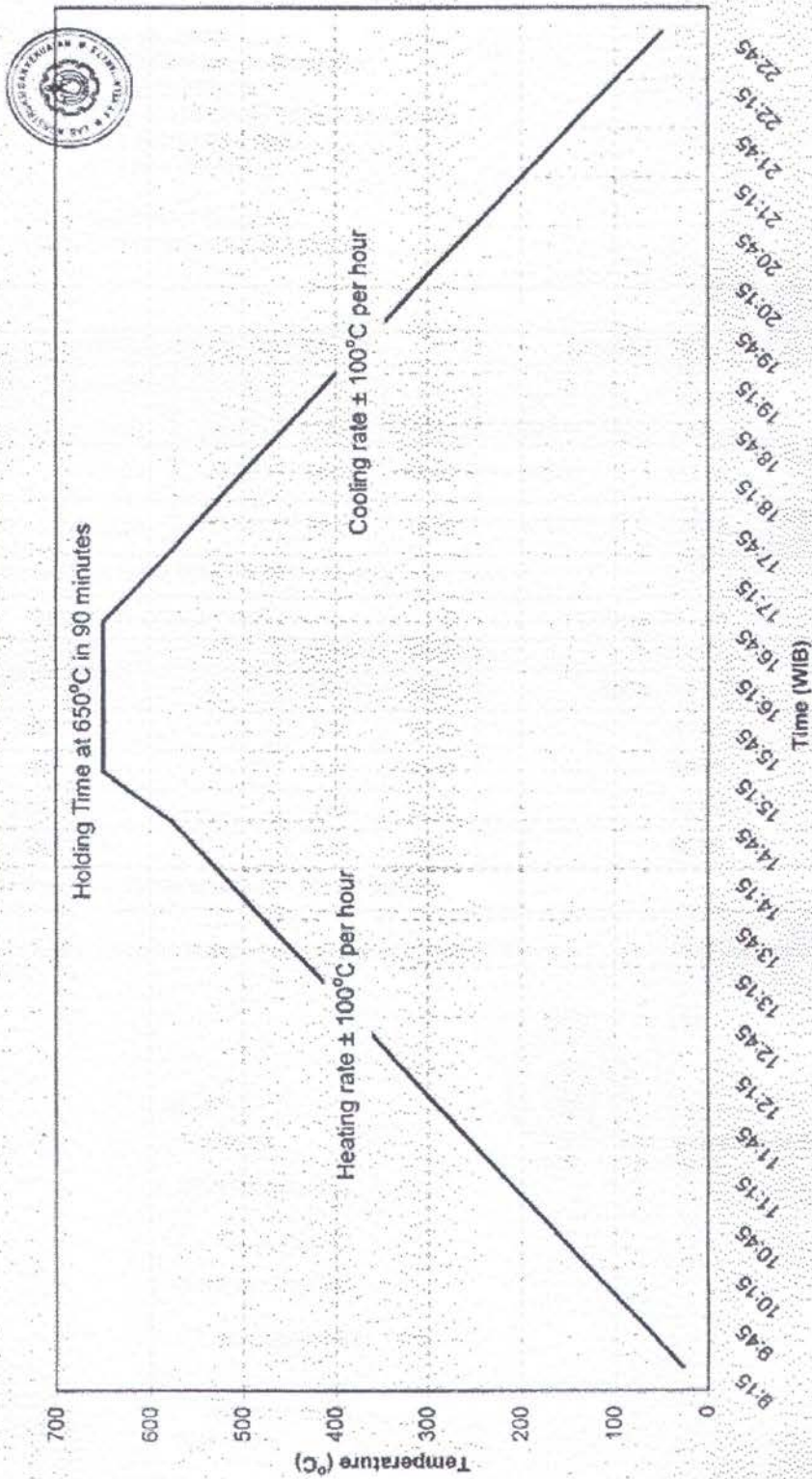
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

Gedung W Lt. 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp./Fax. 031 599-4933, HP. 0816 542-8017

PWHT Diagram

WPS No. 005/WPS/HMS-CS/ASME/06



thinning of a specimen bent due to residual stresses, and the rapid change permitted in 7.4.1. Generally, the aberrations in this portion of the curve should be ignored when fitting a modulus line, such as that used to determine the extension-under-load yield, to the curve.

7.2 Yield Strength—Yield strength is the stress at which a material exhibits a specified limiting deviation from the proportionality of stress to strain. The deviation is expressed in terms of strain, percent offset, total extension under load, etc. Determine yield strength by one of the following methods:

7.2.1 Offset Method—To determine the yield strength by the "offset method," it is necessary to secure data (autographic or numerical) from which a stress-strain diagram may be drawn. Then on the stress-strain diagram (Fig. 9) lay off Om equal to the specified value of the offset, draw mn parallel to the initial portion of the stress-strain curve and thus locate r , the intersection of mn with the stress-strain curve corresponding to load R which is the yield strength load. In recording values of yield strength determined by this method, the value of offset specified or used, both, shall be stated in parentheses after the term yield strength, for example:

$$\text{Yield strength (0.2 \% offset)} = 52\,000 \text{ psi (360 MPa)} \quad (1)$$

When the offset is 0.2 % or larger, the extensometer used shall qualify as a Class B2 device over a strain range of 0.05 to 0.25 %. If a smaller offset is specified, it may be necessary to employ a more accurate device (that is, a Class B1 device) or increase the lower limit of the strain range (for example, to 0.025 %) or both. See also Note 8 for automatic devices.

7.2.2 Extension Under Load Method—For tests to determine the acceptance or rejection of material whose stress-strain characteristics are well known from previous tests of similar material in which stress-strain diagrams were plotted, the total strain corresponding to the stress at which the specified offset (see Note 8 and Note 9) occurs will be known within satisfactory limits. The stress on the specimen, when this total strain is reached, is the value of the yield strength. In recording values of yield strength obtained by this method, the value of "extension" specified or used, or both, shall be stated in parentheses after the term yield strength, for example:

$$\text{Yield strength (0.5 \% EUL)} = 52\,000 \text{ psi (360 MPa)} \quad (2)$$

The total strain can be obtained satisfactorily by use of a Class B1 extensometer (Note 4, Note 5, and Note 7).

Note 8—Automatic devices are available that determine offset yield strength without plotting a stress-strain curve. Such devices may be used if their accuracy has been demonstrated.

Note 9—The appropriate magnitude of the extension under load will usually vary with the strength range of the particular steel under test. In general, the value of extension under load applicable to steel at any strength level may be determined from the sum of the proportional strain and the plastic strain expected at the specified yield strength. The following equation is used:

$$\text{Extension under load, in./in. of gage length} = (YS/E) + r \quad (3)$$

where:

- YS —specified yield strength, psi or MPa,
- E —modulus of elasticity, psi or MPa, and
- r —limiting plastic strain, in./in.

7.3 Tensile Strength—Calculate the tensile strength by dividing the maximum load the specimen sustains during a

tension test by the original cross-sectional area of the specimen.

13.4 Elongation:

13.4.1 Fit the ends of the fractured specimen together carefully and measure the distance between the gage marks to the nearest 0.01 in. (0.25 mm) for gage lengths of 2 in. and under, and to the nearest 0.5 % of the gage length for gage lengths over 2 in. A percentage scale reading to 0.5 % of the gage length may be used. The elongation is the increase in length of the gage length, expressed as a percentage of the original gage length. In recording elongation values, give both the percentage increase and the original gage length.

13.4.2 If any part of the fracture takes place outside of the middle half of the gage length or in a punched or scribed mark within the reduced section, the elongation value obtained may not be representative of the material. If the elongation so measured meets the minimum requirements specified, no further testing is indicated, but if the elongation is less than the minimum requirements, discard the test and retest.

13.5 Reduction of Area—Fit the ends of the fractured specimen together and measure the mean diameter or the width and thickness at the smallest cross section to the same accuracy as the original dimensions. The difference between the area thus found and the area of the original cross section expressed as a percentage of the original area, is the reduction of area.

BEND TEST

14. Description

14.1 The bend test is one method for evaluating ductility, but it cannot be considered as a quantitative means of predicting service performance in bending operations. The severity of the bend test is primarily a function of the angle of bend and inside diameter to which the specimen is bent, and of the cross section of the specimen. These conditions are varied according to location and orientation of the test specimen and the chemical composition, tensile properties, hardness, type, and quality of the steel specified. Method E 190 and Test Method E 290 may be consulted for methods of performing the test.

14.2 Unless otherwise specified, it shall be permissible to age bend test specimens. The time-temperature cycle employed must be such that the effects of previous processing will not be materially changed. It may be accomplished by aging at room temperature 24 to 48 h, or in shorter time at moderately elevated temperatures by boiling in water, heating in oil, or in an oven.

14.3 Bend the test specimen at room temperature to an inside diameter, as designated by the applicable product specifications, to the extent specified without major cracking on the outside of the bent portion. The speed of bending is ordinarily not an important factor.

HARDNESS TEST

15. General

15.1 A hardness test is a means of determining resistance to penetration and is occasionally employed to obtain a quick approximation of tensile strength. Table 2, Table 3, Table 4, and Table 5 are for the conversion of hardness measurements

from one scale to another or to approximate tensile strength. These conversion values have been obtained from computer-generated curves and are presented to the nearest 0.1 point to permit accurate reproduction of those curves. Since all converted hardness values must be considered approximate, however, all converted Rockwell hardness numbers shall be rounded to the nearest whole number.

15.2 Hardness Testing:

15.2.1 If the product specification permits alternative hardness testing to determine conformance to a specified hardness requirement, the conversions listed in Table 2, Table 3, Table 4, and Table 5 shall be used.

15.2.2 When recording converted hardness numbers, the measured hardness and test scale shall be indicated in parentheses, for example: 353 HB (38 HRC). This means that a hardness value of 38 was obtained using the Rockwell C scale and converted to a Brinell hardness of 353.

16. Brinell Test

16.1 Description:

16.1.1 A specified load is applied to a flat surface of the specimen to be tested, through a hard ball of specified diameter. The average diameter of the indentation is used as a basis for calculation of the Brinell hardness number. The quotient of the applied load divided by the area of the surface of the indentation, which is assumed to be spherical, is termed the Brinell hardness number (HB) in accordance with the following equation:

$$HB = P / \left[(\pi D / 2) (D - \sqrt{D^2 - d^2}) \right] \quad (4)$$

where:

HB = Brinell hardness number,

P = applied load, kgf,

D = diameter of the steel ball, mm, and

d = average diameter of the indentation, mm.

NOTE 10—The Brinell hardness number is more conveniently secured from standard tables such as Table 6 which show numbers corresponding to the various indentation diameters, usually in increments of 0.05 mm.

NOTE 11—In Test Method E 10, the values are stated in SI units whereas in this section, kg/m units are used.

16.1.2 The standard Brinell test using a 10-mm ball employs a 3000-kgf load for hard materials and a 1500 or 500-kgf load for thin sections or soft materials (see Annex on Steel Tubular Products). Other loads and different size indentors may be used when specified. In recording hardness values, the diameter of the ball and the load must be stated except when a 10-mm ball and 3000-kgf load are used.

16.1.3 A range of hardness can properly be specified only for quenched and tempered or normalized and tempered material. For annealed material a maximum figure only should be specified. For normalized material a minimum or a maximum hardness may be specified by agreement. In general, no hardness requirements should be applied to untreated material.

16.1.4 Brinell hardness may be required when tensile properties are not specified.

16.2 Apparatus—Equipment shall meet the following requirements:

16.2.1 Testing Machine—A Brinell hardness testing machine is acceptable for use over a loading range within which its load measuring device is accurate to $\pm 1\%$.

16.2.2 Measuring Microscope—The divisions of the micrometer scale of the microscope or other measuring devices used for the measurement of the diameter of the indentations shall be such as to permit the direct measurement of the diameter to 0.1 mm and the estimation of the diameter to 0.05 mm.

NOTE 12—This requirement applies to the construction of the microscope only and is not a requirement for measurement of the indentation, see 16.4.3.

16.2.3 Standard Ball—The standard ball for Brinell hardness testing is 10 mm (0.3937 in.) in diameter with a deviation from this value of not more than 0.005 mm (0.0004 in.) in any diameter. A ball suitable for use must not show a permanent change in diameter greater than 0.01 mm (0.0004 in.) when pressed with a force of 3000 kgf against the test specimen.

16.3 Test Specimen— Brinell hardness tests are made on prepared areas and sufficient metal must be removed from the face to eliminate decarburized metal and other surface irregularities. The thickness of the piece tested must be such that no bulge or other marking showing the effect of the load appears on the side of the piece opposite the indentation.

16.4 Procedure:

16.4.1 It is essential that the applicable product specifications state clearly the position at which Brinell hardness indentations are to be made and the number of such indentations required. The distance of the center of the indentation from the edge of the specimen or edge of another indentation must be at least two and one-half times the diameter of the indentation.

16.4.2 Apply the load for a minimum of 15 s.

16.4.3 Measure two diameters of the indentation at right angles to the nearest 0.1 mm, estimate to the nearest 0.05 mm, and average to the nearest 0.05 mm. If the two diameters differ more than 0.1 mm, discard the readings and make a new indentation.

16.4.4 Do not use a steel ball on steels having a hardness over 450 HB nor a carbide ball on steels having a hardness over 600 HB. The Brinell hardness test is not recommended for materials having a hardness over 650 HB.

16.4.4.1 If a ball is used in a test of a specimen which shows Brinell hardness number greater than the limit for the ball as detailed in 16.4.4, the ball shall be either discarded and replaced with a new ball or remeasured to ensure conformance with the requirements of Test Method E 10.

16.5 Detailed Procedure—For detailed requirements of this test, reference shall be made to the latest revision of Test Method E 10.

Rockwell Test

17.1 Description:

17.1.1 In this test a hardness value is obtained by determining the depth of penetration of a diamond point or a steel ball on the specimen under certain arbitrarily fixed conditions. A major load of 10 kgf is first applied which causes an initial penetration, sets the penetrator on the material and holds it in position. A major load which depends on the scale being used is then applied increasing the depth of indentation. The major load is then removed and, with the minor load still acting, the Rockwell hardness number, which is proportional to the difference in penetration between the major and minor loads is determined; this is usually done by the machine and shows on a dial, digital display, printer, or other device. This is an arbitrary number which increases with increasing hardness. The scales most frequently used are as follows:

Scale Symbol	Penetrator	Major Load, kgf	Minor Load, kgf
R	1/16-in. steel ball	100	10
C	Diamond brale	150	10

17.1.2 Rockwell superficial hardness machines are used for testing of very thin steel or thin surface layers. Loads of 15, 30, or 45 kgf are applied on a hardened steel ball or diamond penetrator, to cover the same range of hardness values as for

the heavier loads. The superficial hardness scales are as follows:

Scale Symbol	Penetrator	Major Load, kgf	Minor Load, kgf
15T	1/16-in. steel ball	15	3
30T	1/16-in. steel ball	30	3
45T	1/16-in. steel ball	45	3
15N	Diamond brale	15	3
30N	Diamond brale	30	3
45N	Diamond brale	45	3

17.2 Reporting Hardness—In recording hardness values, the hardness number shall always precede the scale symbol, for example: 96 HRB, 40 HRC, 75 HR15N, or 77 HR30T.

17.3 Test Blocks—Machines should be checked to make certain they are in good order by means of standardized Rockwell test blocks.

17.4 Detailed Procedure—For detailed requirements of this test, reference shall be made to the latest revision of Test Methods E 18.

18. Portable Hardness Test

18.1 Although the use of the standard, stationary Brinell or Rockwell hardness tester is generally preferred, it is not always possible to perform the hardness test using such equipment due to the part size or location. In this event, hardness testing using portable equipment as described in Practice A 833 or Test Method E 110 shall be used.

CHARPY IMPACT TESTING

19. Summary

19.1 A Charpy V-notch impact test is a dynamic test in which a notched specimen is struck and broken by a single blow in a specially designed testing machine. The measured test values may be the energy absorbed, the percentage shear fracture, the lateral expansion opposite the notch, or a combination thereof.

19.2 Testing temperatures other than room (ambient) temperature often are specified in product or general requirement specifications (hereinafter referred to as the specification). Although the testing temperature is sometimes related to the expected service temperature, the two temperatures need not be identical.

20. Significance and Use

20.1 Ductile vs. Brittle Behavior—Body-centered-cubic or ferritic alloys exhibit a significant transition in behavior when impact tested over a range of temperatures. At temperatures above transition, impact specimens fracture by a ductile (usually microvoid coalescence) mechanism, absorbing relatively large amounts of energy. At lower temperatures, they fracture in a brittle (usually cleavage) manner absorbing less energy. Within the transition range, the fracture will generally be a mixture of areas of ductile fracture and brittle fracture.

20.2 The temperature range of the transition from one type of behavior to the other varies according to the material being tested. This transition behavior may be defined in various ways for specification purposes.

20.2.1 The specification may require a minimum test result for absorbed energy, fracture appearance, lateral expansion, or

combination thereof, at a specified test temperature.

20.2.2 The specification may require the determination of the transition temperature at which either the absorbed energy or fracture appearance attains a specified level when testing is performed over a range of temperatures.

20.3 Further information on the significance of impact testing appears in Annex A5.

21. Apparatus

21.1 Testing Machines:

21.1.1 A Charpy impact machine is one in which a notched specimen is broken by a single blow of a freely swinging pendulum. The pendulum is released from a fixed height. Since the height to which the pendulum is raised prior to its swing, and the mass of the pendulum are known, the energy of the blow is predetermined. A means is provided to indicate the energy absorbed in breaking the specimen.

21.1.2 The other principal feature of the machine is a fixture (see Fig. 10) designed to support a test specimen as a simple beam at a precise location. The fixture is arranged so that the notched face of the specimen is vertical. The pendulum strikes the other vertical face directly opposite the notch. The dimensions of the specimen supports and striking edge shall conform to Fig. 10.

21.1.3 Charpy machines used for testing steel generally have capacities in the 220 to 300 ft-lbf (300 to 400 J) energy range. Sometimes machines of lesser capacity are used; however, the capacity of the machine should be substantially in excess of the absorbed energy of the specimens (see Test Methods E 23). The linear velocity at the point of impact should be in the range of 16 to 19 ft/s (4.9 to 5.8 m/s).

21.2 Temperature Media:

21.2.1 For testing at other than room temperature, it is necessary to condition the Charpy specimens in media at controlled temperatures.

21.2.2 Low temperature media usually are chilled fluids such as water, ice plus water, dry ice plus organic solvents, or liquid nitrogen) or chilled gases.

21.2.3 Elevated temperature media are usually heated liquids such as mineral or silicone oils. Circulating air ovens may be used.

21.3 *Handling Equipment*—Tongs, especially adapted to fit the notch in the impact specimen, normally are used for moving the specimens from the medium and placing them on the anvil (refer to Test Methods E 23). In cases where the machine fixture does not provide for automatic centering of the test specimen, the tongs may be precision machined to provide centering.

22. Sampling and Number of Specimens

22.1 Sampling:

22.1.1 Test location and orientation should be addressed by the specifications. If not, for wrought products, the test location shall be the same as that for the tensile specimen and the orientation shall be longitudinal with the notch perpendicular to the major surface of the product being tested.

22.1.2 Number of Specimens.

22.1.2.1 A Charpy impact test consists of all specimens taken from a single test coupon or test location.

22.1.2.2 When the specification calls for a minimum average test result, three specimens shall be tested.

22.1.2.3 When the specification requires determination of a transition temperature, eight to twelve specimens are usually needed.

22.2 Type and Size:

22.2.1 Use a standard full size Charpy V-notch specimen (Type A) as shown in Fig. 11, except as allowed in 22.2.2.

22.2.2 Subsize Specimens.

22.2.2.1 For flat material less than $\frac{7}{16}$ in. (11 mm) thick, or when the absorbed energy is expected to exceed 80 % of full scale, use standard subsize test specimens.

22.2.2.2 For tubular materials tested in the transverse direction, where the relationship between diameter and wall thickness does not permit a standard full size specimen, use standard subsize test specimens or standard size specimens containing outer diameter (OD) curvature as follows:

(1) Standard size specimens and subsize specimens may contain the original OD surface of the tubular product as shown in Fig. 12. All other dimensions shall comply with the requirements of Fig. 11.

NOTE 13—For materials with toughness levels in excess of about 50 ft-lbs, specimens containing the original OD surface may yield values in excess of those resulting from the use of conventional Charpy specimens.

22.2.2.3 If a standard full-size specimen cannot be prepared, the largest feasible standard subsize specimen shall be prepared. The specimens shall be machined so that the specimen does not include material nearer to the surface than 0.020 in. (0.5 mm).

22.2.2.4 Tolerances for standard subsize specimens are shown in Fig. 11. Standard subsize test specimen sizes are: 10 × 7.5 mm, 10 × 6.7 mm, 10 × 5 mm, 10 × 3.3 mm, and 10 × 2.5 mm.

22.2.2.5 Notch the narrow face of the standard subsize specimens so that the notch is perpendicular to the 10 mm wide face.

22.3 *Notch Preparation*—The machining of the notch is critical, as it has been demonstrated that extremely minor variations in notch radius and profile, or tool marks at the bottom of the notch may result in erratic test data. (See Annex A5).

23. Calibration

23.1 *Accuracy and Sensitivity*—Calibrate and adjust Charpy impact machines in accordance with the requirements of Test Methods E 23.

24. Conditioning—Temperature Control

24.1 When a specific test temperature is required by the specification or purchaser, control the temperature of the heating or cooling medium within $\pm 2^\circ\text{F}$ (1°C) because the effect of variations in temperature on Charpy test results can be very great.

NOTE 14—For some steels there may not be a need for this restricted temperature, for example, austenitic steels.

NOTE 15—Because the temperature of a testing laboratory often varies from 60 to 90°F (15 to 32°C) a test conducted at "room temperature" might be conducted at any temperature in this range.

Procedure

25.1 Temperature:

25.1.1 Condition the specimens to be broken by holding them in the medium at test temperature for at least 5 min in liquid media and 30 min in gaseous media.

25.1.2 Prior to each test, maintain the tongs for handling test specimens at the same temperature as the specimen so as not to affect the temperature at the notch.

25.2 Positioning and Breaking Specimens:

25.2.1 Carefully center the test specimen in the anvil and release the pendulum to break the specimen.

25.2.2 If the pendulum is not released within 5 s after moving the specimen from the conditioning medium, do not break the specimen. Return the specimen to the conditioning medium for the period required in 25.1.1.

25.3 *Recovering Specimens*—In the event that fracture appearance or lateral expansion must be determined, recover the broken pieces of each broken specimen before breaking the next specimen.

25.4 Individual Test Values:

25.4.1 *Impact energy*—Record the impact energy absorbed to the nearest ft-lbf (J).

25.4.2 Fracture Appearance:

25.4.2.1 Determine the percentage of shear fracture area by one of the following methods:

1) Measure the length and width of the brittle portion of the fracture surface, as shown in Fig. 13 and determine the percent shear area from either Table 7 or Table 8 depending on the units measurement.

2) Compare the appearance of the fracture of the specimen with a fracture appearance chart as shown in Fig. 14.

3) Magnify the fracture surface and compare it to a calibrated overlay chart or measure the percent shear fracture area by means of a planimeter.

4) Photograph the fractured surface at a suitable magnification and measure the percent shear fracture area by means of a planimeter.

25.4.2.2 Determine the individual fracture appearance value to the nearest 5 % shear fracture and record the value.

25.4.3 Lateral Expansion:

25.4.3.1 Lateral expansion is the increase in specimen width, measured in thousandths of an inch (mils), on the compression side, opposite the notch of the fractured Charpy notch specimen as shown in Fig. 15.

25.4.3.2 Examine each specimen half to ascertain that the protrusions have not been damaged by contacting the anvil, machine mounting surface, and so forth. Discard such samples if they may cause erroneous readings.

25.4.3.3 Check the sides of the specimens perpendicular to the notch to ensure that no burrs were formed on the sides during impact testing. If burrs exist, remove them carefully by rubbing on emery cloth or similar abrasive surface, making sure that the protrusions being measured are not rubbed during removal of the burr.

25.4.3.4 Measure the amount of expansion on each side of the specimen half relative to the plane defined by the undeformed portion of the side of the specimen using a gage similar to that shown in Fig. 16 and Fig. 17.

25.4.3.5 Since the fracture path seldom bisects the point of maximum expansion on both sides of a specimen, the sum of the larger values measured for each side is the value of the test. Arrange the halves of one specimen so that compression sides are facing each other. Using the gage, measure the protrusion on each half specimen, ensuring that the same side of the specimen is measured. Measure the two broken halves individually. Repeat the procedure to measure the protrusions on the opposite side of the specimen halves. The larger of the two values for each side is the expansion of that side of the specimen.

25.4.3.6 Measure the individual lateral expansion values to the nearest mil (0.025 mm) and record the values.

26. Interpretation of Test Result

26.1 When the acceptance criterion of any impact test is specified to be a minimum average value at a given temperature, the test result shall be the average (arithmetic mean) of the individual test values of three specimens from one test location.

26.1.1 When a minimum average test result is specified:

26.1.1.1 The test result is acceptable when all of the below are met:

(1) The test result equals or exceeds the specified minimum average (given in the specification),

(2) The individual test value for not more than one specimen measures less than the specified minimum average, and

(3) The individual test value for any specimen measures not less than two-thirds of the specified minimum average.

26.1.1.2 If the acceptance requirements of 26.1.1.1 are not met, perform one retest of three additional specimens from the same test location. Each individual test value of the retested specimens shall be equal to or greater than the specified minimum average value.

26.2 Test Specifying a Minimum Transition Temperature:

26.2.1 *Definition of Transition Temperature*—For specification purposes, the transition temperature is the temperature at which the designated material test value equals or exceeds a specified minimum test value.

26.2.2 Determination of Transition Temperature:

26.2.2.1 Break one specimen at each of a series of temperatures above and below the anticipated transition temperature using the procedures in Section 25. Record each test temperature to the nearest 1°F (0.5°C).

26.2.2.2 Plot the individual test results (ft-lbf or percent shear) as the ordinate versus the corresponding test temperature as the abscissa and construct a best-fit curve through the plotted data points.

26.2.2.3 If transition temperature is specified as the temperature at which a test value is achieved, determine the temperature at which the plotted curve intersects the specified test value by graphical interpolation (extrapolation is not permitted). Record this transition temperature to the nearest 5°F (3°C). If the tabulated test results clearly indicate a transition temperature lower than specified, it is not necessary to plot the data. Report the lowest test temperature for which test value exceeds the specified value.

26.2.2.4 Accept the test result if the determined transition

temperature is equal to or lower than the specified value.

26.2.2.5 If the determined transition temperature is higher than the specified value, but not more than 20°F (12°C) higher than the specified value, test sufficient samples in accordance with Section 25 to plot two additional curves. Accept the test results if the temperatures determined from both additional curves are equal to or lower than the specified value.

26.3 When subsize specimens are permitted or necessary, or when, modify the specified test requirement according to Table 26.1 or test temperature according to ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Table UG-84.2, or both. Greater energies or lower temperatures may be agreed upon by purchaser and supplier.

Records

27.1 The test record should contain the following information as appropriate:

27.1.1 Full description of material tested (that is, specification number, grade, class or type, size, heat number).

27.1.2 Specimen orientation with respect to the material axis.

27.1.3 Specimen size.

27.1.4 Test temperature and individual test value for each specimen broken, including initial tests and retests.

27.1.5 Test results.

27.1.6 Transition temperature and criterion for its determination, including initial tests and retests.

28. Report

28.1 The specification should designate the information to be reported.

29. Keywords

29.1 bend test; Brinell hardness; Charpy impact test; elongation; FATT (Fracture Appearance Transition Temperature); hardness test; portable hardness; reduction of area; Rockwell hardness; tensile strength; tension test; yield strength

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. STEEL BAR PRODUCTS

A1.1 Scope

A1.1.1 This supplement delineates only those details which are peculiar to hot-rolled and cold-finished steel bars and are not covered in the general section of these test methods.

A1.2 Orientation of Test Specimens

A1.2.1 Carbon and alloy steel bars and bar-size shapes, due to their relatively small cross-sectional dimensions, are customarily tested in the longitudinal direction. In special cases where size permits and the fabrication or service of a part justifies testing in a transverse direction, the selection and orientation of test or tests are a matter of agreement between the manufacturer and the purchaser.

A1.3 Tension Test

A1.3.1 *Carbon Steel Bars*—Carbon steel bars are not commonly specified to tensile requirements in the as-rolled condition for sizes of rounds, squares, hexagons, and octagons under 1 in. (13 mm) in diameter or distance between parallel faces

nor for other bar-size sections, other than flats, less than 1 in.² (645 mm²) in cross-sectional area.

A1.3.2 *Alloy Steel Bars*—Alloy steel bars are usually not tested in the as-rolled condition.

A1.3.3 When tension tests are specified, the practice for selecting test specimens for hot-rolled and cold-finished steel bars of various sizes shall be in accordance with Table A1.1, unless otherwise specified in the product specification.

A1.4 Bend Test

A1.4.1 When bend tests are specified, the recommended practice for hot-rolled and cold-finished steel bars shall be in accordance with Table A1.2.

A1.5 Hardness Test

A1.5.1 *Hardness Tests on Bar Products*—flats, rounds, squares, hexagons and octagons—is conducted on the surface after a minimum removal of 0.015 in. to provide for accurate hardness penetration.

A2. STEEL TUBULAR PRODUCTS

A2.1 Scope

A2.1.1 This supplement covers definitions and methods of testing peculiar to tubular products which are not covered in the general section of these methods.

A2.1.2 Tubular shapes covered by this specification shall be limited to products with circular cross sections but include shapes such as rectangular structural tubing.

A2.2 Tension Test

A2.2.1 *Full-Size Longitudinal Test Specimens:*

A2.2.1.1 It is standard practice to use tension test specimens of full-size tubular sections within the limit of the testing equipment. Snug-fitting metal plugs should be inserted far enough in the end of such tubular specimens to permit the testing machine jaws to grip the specimens properly without

difficulties of measuring the reduced cross sections.

4.6 Rockwell Hardness Test

A4.6.1 On heat-treated wire of diameter 0.100 in. (2.54 mm) and larger, the specimen shall be flattened on two parallel faces by grinding before testing. The hardness test is not recommended for any diameter of hard drawn wire or heat-treated wire less than 0.100 in. (2.54 mm) in diameter. For hard wire, the tensile strength test is greatly preferred over the hardness test.

4.7 Wrap Test

A4.7.1 This test is used as a means for testing the ductility of certain kinds of wire.

A4.7.2 The test consists of coiling the wire in a closely spaced helix tightly against a mandrel of a specified diameter for a required number of turns. (Unless other specified, the required number of turns shall be five.) The wrapping may be done by hand or a power device. The wrapping rate may not

exceed 15 turns per min. The mandrel diameter shall be specified in the relevant wire product specification.

A4.7.3 The wire tested shall be considered to have failed if the wire fractures or if any longitudinal or transverse cracks develop which can be seen by the unaided eye after the first complete turn. Wire which fails in the first turn shall be retested, as such fractures may be caused by bending the wire to a radius less than specified when the test starts.

4.8 Coiling Test

A4.8.1 This test is used to determine if imperfections are present to the extent that they may cause cracking or splitting during spring coiling and spring extension. A coil of specified length is closed wound on an arbor of a specified diameter. The closed coil is then stretched to a specified permanent increase in length and examined for uniformity of pitch with no splits or fractures. The required arbor diameter, closed coil length, and permanent coil extended length increase may vary with wire diameter, properties, and type.

A5. NOTES ON SIGNIFICANCE OF NOTCHED-BAR IMPACT TESTING

A5.1 Notch Behavior

A5.1.1 The Charpy and Izod type tests bring out notch behavior (brittleness versus ductility) by applying a single overload of stress. The energy values determined are quantitative comparisons on a selected specimen but cannot be converted into energy values that would serve for engineering design calculations. The notch behavior indicated in an individual test applies only to the specimen size, notch geometry, and testing conditions involved and cannot be generalized to other sizes of specimens and conditions.

A5.1.2 The notch behavior of the face-centered cubic metals and alloys, a large group of nonferrous materials and the ferritic steels can be judged from their common tensile properties. If they are brittle in tension they will be brittle when notched, while if they are ductile in tension, they will be ductile when notched, except for unusually sharp or deep notches which are more severe than the standard Charpy or Izod specimens. Even low temperatures do not alter this characteristic of these materials. In contrast, the behavior of the ferritic steels under notch conditions cannot be predicted from their properties as revealed by the tension test. For the study of these materials the Charpy and Izod type tests are accordingly very useful. Some metals that display normal ductility in the tension test may nevertheless break in brittle fashion when tested or when used in the notched condition. Notched conditions include restraints to deformation in directions perpendicular to the major stress, or multiaxial stresses, and stress concentrations. It is in this field that the Charpy and Izod tests prove useful for determining the susceptibility of a steel to notch-brittle behavior though they cannot be directly used to appraise the serviceability of a structure.

A5.1.3 The testing machine itself must be sufficiently rigid. Tests on high-strength low-energy materials will result in excessive elastic energy losses either upward through the pendulum shaft or downward through the base of the machine.

If the anvil supports, the pendulum striking edge, or the machine foundation bolts are not securely fastened, tests on ductile materials in the range of 80 ft-lbf (108 J) may actually indicate values in excess of 90 to 100 ft-lbf (122 to 136 J).

A5.2 Notch Effect

A5.2.1 The notch results in a combination of multiaxial stresses associated with restraints to deformation in directions perpendicular to the major stress, and a stress concentration at the base of the notch. A severely notched condition is generally not desirable, and it becomes of real concern in those cases in which it initiates a sudden and complete failure of the brittle type. Some metals can be deformed in a ductile manner even down to the low temperatures of liquid air, while others may crack. This difference in behavior can be best understood by considering the cohesive strength of a material (or the property that holds it together) and its relation to the yield point. In cases of brittle fracture, the cohesive strength is exceeded before significant plastic deformation occurs and the fracture appears crystalline. In cases of the ductile or shear type of failure, considerable deformation precedes the final fracture and the broken surface appears fibrous instead of crystalline. In intermediate cases the fracture comes after a moderate amount of deformation and is part crystalline and part fibrous in appearance.

A5.2.2 When a notched bar is loaded, there is a normal stress across the base of the notch which tends to initiate fracture. The property that keeps it from cleaving, or holds it together, is the "cohesive strength." The bar fractures when the normal stress exceeds the cohesive strength. When this occurs without the bar deforming it is the condition for brittle fracture.

A5.2.3 In testing, though not in service because of side effects, it happens more commonly that plastic deformation precedes fracture. In addition to the normal stress, the applied load also sets up shear stresses which are about 45° to the normal stress. The elastic behavior terminates as soon as the

ear stress exceeds the shear strength of the material and formation or plastic yielding sets in. This is the condition for brittle failure.

A5.2.4 This behavior, whether brittle or ductile, depends on whether the normal stress exceeds the cohesive strength before the shear stress exceeds the shear strength. Several important aspects of notch behavior follow from this. If the notch is made deeper or more drastic, the normal stress at the root of the notch will be increased in relation to the shear stress and the specimen will be more prone to brittle fracture (see Table A5.1). Also, as the speed of deformation increases, the shear strength increases and the likelihood of brittle fracture increases. On the other hand, by raising the temperature, leaving the notch and the speed of deformation the same, the shear strength is lowered and ductile behavior is promoted, leading to shear failure.

A5.2.5 Variations in notch dimensions will seriously affect the results of the tests. Tests on E 4340 steel specimens⁹ have shown the effect of dimensional variations on Charpy results (see Table A5.1).

5.3 Size Effect

A5.3.1 Increasing either the width or the depth of the specimen tends to increase the volume of metal subject to distortion, and by this factor tends to increase the energy absorption when breaking the specimen. However, any increase in size, particularly in width, also tends to increase the degree of restraint and by tending to induce brittle fracture, may decrease the amount of energy absorbed. Where a standard-size specimen is on the verge of brittle fracture, this is particularly true, and a double-width specimen may actually require less energy for rupture than one of standard width.

A5.3.2 In studies of such effects where the size of the material precludes the use of the standard specimen, as for example when the material is 1/4-in. plate, subsize specimens are necessarily used. Such specimens (see Fig. 6 of Test Methods E 23) are based on the Type A specimen of Fig. 4 of Test Methods E 23.

A5.3.3 General correlation between the energy values obtained with specimens of different size or shape is not feasible, but limited correlations may be established for specification purposes on the basis of special studies of particular materials and particular specimens. On the other hand, in a study of the relative effect of process variations, evaluation by use of some arbitrarily selected specimen with some chosen notch will in most instances place the methods in their proper order.

5.4 Effects of Testing Conditions

A5.4.1 The testing conditions also affect the notch behavior. The most pronounced is the effect of temperature on the behavior of steel when notched that comparisons are frequently made by examining specimen fractures and by plotting energy value and fracture appearance versus temperature from tests of notched specimens at a series of temperatures. When the test temperature has been carried low enough to start cleavage fracture, there may

be an extremely sharp drop in impact value or there may be a relatively gradual falling off toward the lower temperatures. This drop in energy value starts when a specimen begins to exhibit some crystalline appearance in the fracture. The transition temperature at which this embrittling effect takes place varies considerably with the size of the part or test specimen and with the notch geometry.

A5.4.2 Some of the many definitions of transition temperature currently being used are: (1) the lowest temperature at which the specimen exhibits 100 % fibrous fracture, (2) the temperature where the fracture shows a 50 % crystalline and a 50 % fibrous appearance, (3) the temperature corresponding to the energy value 50 % of the difference between values obtained at 100 % and 0 % fibrous fracture, and (4) the temperature corresponding to a specific energy value.

A5.4.3 A problem peculiar to Charpy-type tests occurs when high-strength, low-energy specimens are tested at low temperatures. These specimens may not leave the machine in the direction of the pendulum swing but rather in a sidewise direction. To ensure that the broken halves of the specimens do not rebound off some component of the machine and contact the pendulum before it completes its swing, modifications may be necessary in older model machines. These modifications differ with machine design. Nevertheless the basic problem is the same in that provisions must be made to prevent rebounding of the fractured specimens into any part of the swinging pendulum. Where design permits, the broken specimens may be deflected out of the sides of the machine and yet in other designs it may be necessary to contain the broken specimens within a certain area until the pendulum passes through the anvils. Some low-energy high-strength steel specimens leave impact machines at speeds in excess of 50 ft (15.3 m)/s although they were struck by a pendulum traveling at speeds approximately 17 ft (5.2 m)/s. If the force exerted on the pendulum by the broken specimens is sufficient, the pendulum will slow down and erroneously high energy values will be recorded. This problem accounts for many of the inconsistencies in Charpy results reported by various investigators within the 10 to 25-ft-lbf (14 to 34 J) range. The Apparatus Section (the paragraph regarding Specimen Clearance) of Test Methods E 23 discusses the two basic machine designs and a modification found to be satisfactory in minimizing jamming.

A5.5 Velocity of Straining

A5.5.1 Velocity of straining is likewise a variable that affects the notch behavior of steel. The impact test shows somewhat higher energy absorption values than the static tests above the transition temperature and yet, in some instances, the reverse is true below the transition temperature.

A5.6 Correlation with Service

A5.6.1 While Charpy or Izod tests may not directly predict the ductile or brittle behavior of steel as commonly used in large masses or as components of large structures, these tests can be used as acceptance tests of identity for different lots of the same steel or in choosing between different steels, when correlation with reliable service behavior has been established. It may be necessary to make the tests at properly chosen temperatures other than room temperature. In this, the service

⁹ Fahey, N. H., "Effects of Variables in Charpy Impact Testing," *Materials Research & Standards*, Vol 1, No. 11, November, 1961, p. 872.

temperature or the transition temperature of full-scale specimens does not give the desired transition temperatures for Charpy or Izod tests since the size and notch geometry may be so different. Chemical analysis, tension, and hardness tests may

not indicate the influence of some of the important processing factors that affect susceptibility to brittle fracture nor do they comprehend the effect of low temperatures in inducing brittle behavior.

A6. PROCEDURE FOR CONVERTING PERCENTAGE ELONGATION OF A STANDARD ROUND TENSION TEST SPECIMEN TO EQUIVALENT PERCENTAGE ELONGATION OF A STANDARD FLAT SPECIMEN

A6.1 Scope

A6.1.1 This method specifies a procedure for converting percentage elongation after fracture obtained in a standard 0.500-in. (12.7-mm) diameter by 2-in. (51-mm) gage length test specimen to standard flat test specimens ½ in. by 2 in. and 1½ in. by 8 in. (38.1 by 203 mm).

A6.2 Basic Equation

A6.2.1 The conversion data in this method are based on an equation by Bertella,¹⁰ and used by Oliver¹¹ and others. The relationship between elongations in the standard 0.500-in. diameter by 2.0-in. test specimen and other standard specimens can be calculated as follows:

$$e = e_o [4.47 (\sqrt{A}/L)]^2 \quad (A6.1)$$

where:

e_o = percentage elongation after fracture on a standard test specimen having a 2-in. gage length and 0.500-in. diameter,

e = percentage elongation after fracture on a standard test specimen having a gage length L and a cross-sectional area A , and

a = constant characteristic of the test material.

A6.3 Application

A6.3.1 In applying the above equation the constant a is characteristic of the test material. The value $a = 0.4$ has been found to give satisfactory conversions for carbon, carbon-manganese, molybdenum, and chromium-molybdenum steels

within the tensile strength range of 40,000 to 85,000 psi (275 to 585 MPa) and in the hot-rolled, in the hot-rolled and normalized, or in the annealed condition, with or without tempering. Note that the cold reduced and quenched and tempered states are excluded. For annealed austenitic stainless steels, the value $a = 0.127$ has been found to give satisfactory conversions.

A6.3.2 Table A6.1 has been calculated taking $a = 0.4$, with the standard 0.500-in. (12.7-mm) diameter by 2-in. (51-mm) gage length test specimen as the reference specimen. In the case of the subsize specimens 0.350 in. (8.89 mm) in diameter by 1.4-in. (35.6-mm) gage length, and 0.250-in. (6.35-mm) diameter by 1.0-in. (25.4-mm) gage length the factor in the equation is 4.51 instead of 4.47. The small error introduced by using Table A6.1 for the subsize specimens may be neglected. Table A6.2 for annealed austenitic steels has been calculated taking $a = 0.127$, with the standard 0.500-in. diameter by 2-in. gage length test specimen as the reference specimen.

A6.3.3 Elongation given for a standard 0.500-in. diameter by 2-in. gage length specimen may be converted to elongation for ½ in. by 2 in. or 1½ in. by 8-in. (38.1 by 203-mm) flat specimens by multiplying by the indicated factor in Table A6.1 and Table A6.2.

A6.3.4 These elongation conversions shall not be used where the width to thickness ratio of the test piece exceeds 20, as in sheet specimens under 0.025 in. (0.635 mm) in thickness.

A6.3.5 While the conversions are considered to be reliable within the stated limitations and may generally be used in specification writing where it is desirable to show equivalent elongation requirements for the several standard ASTM tension specimens covered in Test Methods A 370, consideration must be given to the metallurgical effects dependent on the thickness of the material as processed.

A7. METHOD OF TESTING MULTI-WIRE STRAND FOR PRESTRESSED CONCRETE

A7.1 Scope

A7.1.1 This method provides procedures for the tension testing of multi-wire strand for prestressed concrete. This method is intended for use in evaluating the strand properties prescribed in specifications for "prestressing steel strands."

A7.2 General Precautions

A7.2.1 Premature failure of the test specimens may result if there is any appreciable notching, cutting, or bending of the specimen by the gripping devices of the testing machine.

A7.2.2 Errors in testing may result if the seven wires constituting the strand are not loaded uniformly.

A7.2.3 The mechanical properties of the strand may be materially affected by excessive heating during specimen preparation.

A7.2.4 These difficulties may be minimized by following the suggested methods of gripping described in A7.4.

A7.3 Gripping Devices

A7.3.1 The true mechanical properties of the strand are determined by a test in which fracture of the specimen occurs in the free span between the jaws of the testing machine. Therefore, it is desirable to establish a test procedure with suitable apparatus which will consistently produce such results.

¹⁰ Bertella, C. A., *Giornale del Genio Civile*, Vol 60, 1922, p. 343.

¹¹ Oliver, D. A., *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 1928, p. 827.

TABLE 7 Percent Shear for Measurements Made in Inches

 NOTE 1—Since this table is set up for finite measurements or dimensions *A* and *B*, 100% shear is to be reported when either *A* or *B* is zero.

Dimension B, in.	Dimension A, in.																
	0.05	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40
0.05	98	96	95	94	94	93	92	91	90	90	89	88	87	86	85	85	84
0.10	96	92	90	89	87	85	84	82	81	79	77	76	74	73	71	69	68
0.12	95	90	88	86	85	83	81	79	77	75	73	71	69	67	65	63	61
0.14	94	89	86	84	82	80	77	75	73	71	68	66	64	62	59	57	55
0.16	94	87	85	82	79	77	74	72	69	67	64	61	59	56	53	51	48
0.18	93	85	83	80	77	74	72	68	65	62	59	56	54	51	48	45	42
0.20	92	84	81	77	74	72	68	65	61	58	55	52	48	45	42	39	36
0.22	91	82	79	75	72	68	65	61	57	54	50	47	43	40	36	33	29
0.24	90	81	77	73	69	65	61	57	54	50	46	42	38	34	30	27	23
0.26	90	79	75	71	67	62	58	54	50	46	41	37	33	29	25	20	16
0.28	89	77	73	68	64	59	55	50	46	41	37	32	28	23	18	14	10
0.30	88	76	71	66	61	56	52	47	42	37	32	27	23	18	13	9	3
0.31	88	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	18	10	5	0

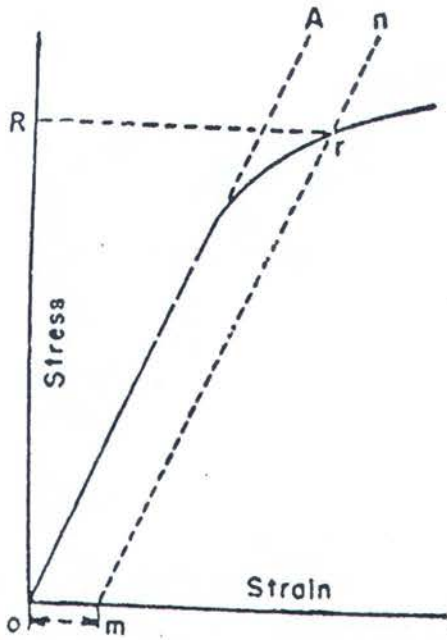
TABLE 8 Percent Shear for Measurements Made in Millimetres

 NOTE 1—Since this table is set up for finite measurements or dimensions *A* and *B*, 100% shear is to be reported when either *A* or *B* is zero.

Dimension B, mm	Dimension A, mm																		
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10
1.0	99	98	98	97	96	96	95	94	94	93	92	92	91	91	90	89	89	88	88
1.5	98	97	96	95	94	93	92	92	91	90	89	88	87	86	85	84	83	82	81
2.0	98	96	95	94	92	91	90	89	88	86	85	84	82	81	80	79	77	76	75
2.5	97	95	94	92	91	89	88	86	84	83	81	80	78	77	75	73	72	70	69
3.0	96	94	92	91	89	87	85	83	81	79	77	76	74	72	70	68	66	64	62
3.5	96	93	91	89	87	85	82	80	78	76	74	72	69	67	65	63	61	58	56
4.0	95	92	90	88	85	82	80	77	75	72	70	67	65	62	60	57	55	52	50
4.5	94	92	89	86	83	80	77	75	72	69	66	63	61	58	55	52	49	46	44
5.0	94	91	88	85	81	78	75	72	69	66	62	59	56	53	50	47	44	41	37
5.5	93	90	86	83	79	76	72	69	66	62	59	55	52	48	45	42	38	35	31
6.0	92	89	85	81	77	74	70	66	62	59	55	51	47	44	40	36	33	29	25
6.5	92	88	84	80	76	72	67	63	59	55	51	47	43	39	35	31	27	23	19
7.0	91	87	82	78	74	69	65	61	56	52	47	43	39	34	30	26	21	17	12
7.5	91	86	81	77	72	67	62	58	53	48	44	39	34	30	25	20	16	11	6
8.0	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0

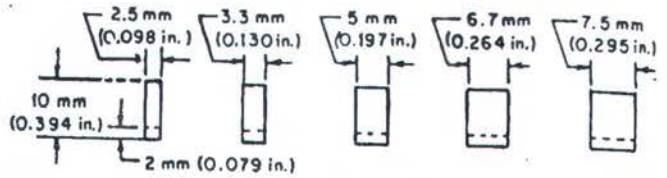
TABLE 9 Charpy V-Notch Test Acceptance Criteria for Various Sub-Size Specimens

1/4 Size, 10 by 10 mm		1/4 Size, 10 by 7.5 mm		1/4 Size, 10 by 6.7 mm		1/4 Size, 10 by 5 mm		1/4 Size, 10 by 3.3 mm		1/4 Size, 10 by 2.5 mm	
ft-lbf	[J]	ft-lbf	[J]	ft-lbf	[J]	ft-lbf	[J]	ft-lbf	[J]	ft-lbf	[J]
40	[54]	30	[41]	27	[37]	20	[27]	13	[18]	10	[14]
35	[48]	26	[35]	23	[31]	18	[24]	12	[16]	9	[12]
30	[41]	22	[30]	20	[27]	15	[20]	10	[14]	8	[11]
25	[34]	19	[26]	17	[23]	12	[16]	8	[11]	6	[8]
20	[27]	15	[20]	13	[18]	10	[14]	7	[10]	5	[7]
16	[22]	12	[16]	11	[15]	8	[11]	5	[7]	4	[5]
15	[20]	11	[15]	10	[14]	8	[11]	5	[7]	4	[5]
13	[18]	10	[14]	9	[12]	6	[8]	4	[5]	3	[4]
12	[16]	9	[12]	8	[11]	6	[8]	4	[5]	3	[4]
10	[14]	8	[11]	7	[10]	5	[7]	3	[4]	2	[3]
7	[10]	5	[7]	5	[7]	4	[5]	2	[3]	2	[3]



$m = \text{Specified Offset}$

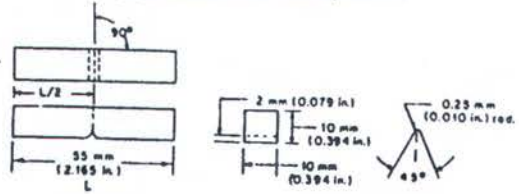
FIG. 9 Stress-Strain Diagram for Determination of Yield Strength by the Offset Method



NOTE 1—Permissible variations shall be as follows:

Notch length to edge	$90 \pm 2^\circ$
Adjacent sides shall be at	$90^\circ \pm 10 \text{ min}$
Cross-section dimensions	$\pm 0.075 \text{ mm } (\pm 0.003 \text{ in.})$
Length of specimen (L)	$+ 0, - 2.5 \text{ mm } (+ 0, - 0.100 \text{ in.})$
Centering of notch (L/2)	$\pm 1 \text{ mm } (\pm 0.039 \text{ in.})$
Angle of notch	$\pm 1^\circ$
Radius of notch	$\pm 0.025 \text{ mm } (\pm 0.001 \text{ in.})$
Notch depth	$\pm 0.025 \text{ mm } (\pm 0.001 \text{ in.})$
Finish requirements	$2 \mu\text{m } (63 \mu\text{in.})$ on notched surface and opposite face; $4 \mu\text{m } (125 \mu\text{in.})$ on other two surfaces

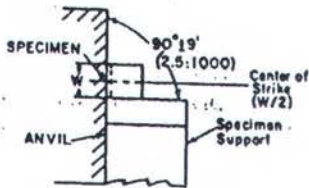
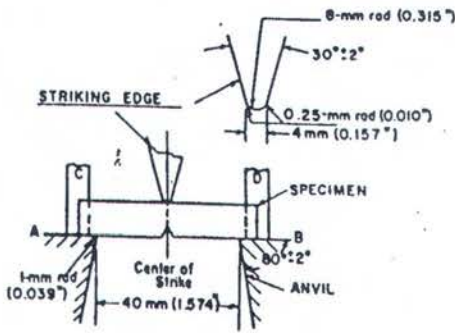
(a) Standard Full Size Specimen



NOTE 2—On subsize specimens, all dimensions and tolerances of the standard specimen remain constant with the exception of the width, which varies as shown above and for which the tolerance shall be $\pm 1\%$.

(b) Standard Subsize Specimens

FIG. 11 Charpy (Simple Beam) Impact Test Specimens



dimensional tolerances shall be $\pm 0.05 \text{ mm } (0.002 \text{ in.})$ unless otherwise noted.

NOTE 1—A shall be parallel to B within 2:1000 and coplanar with B within $0.05 \text{ mm } (0.002 \text{ in.})$.

NOTE 2—C shall be parallel to D within 20:1000 and coplanar with D within $0.125 \text{ mm } (0.005 \text{ in.})$.

NOTE 3—Finish on unmarked parts shall be $4 \mu\text{m } (125 \mu\text{in.})$.

FIG. 10 Charpy (Simple-Beam) Impact Test



Vickers hardness HV 10
for load production 98 N
d = 1/100 mm

	H	d	H	d	H	d	H
1	1083	19,2	503	27,2	251	46	87,6
2	1065	19,4	493	27,4	247	47	83,9
3	1047	19,6	483	27,6	243	48	80,5
4	1030	19,8	473	27,8	239	49	77,2
5	1015	20,0	464	28,0	236	50	74,2
6	1000	20,2	454	28,2	233	51	71,3
7	985	20,4	445	28,4	230	52	68,6
8	970	20,6	437	28,6	227	53	66,0
9	957	20,8	429	28,8	224	54	63,6
0	945	21,0	420	29,0	220	55	61,3
1	932	21,2	413	29,2	217	56	59,1
2	920	21,4	405	29,4	214	57	57,1
3	907	21,6	397	29,6	212	58	55,1
4	895	21,8	390	29,8	209	59	53,3
5	882	22,0	383	30,0	206	60	51,5
6	870	22,2	376	30,5	199	61	49,8
7	858	22,4	369	31,0	193	62	48,2
8	847	22,6	363	31,5	187	63	46,7
9	835	22,8	357	32,0	181	64	45,3
0	824	23,0	350	32,5	176	65	43,9
2	803	23,2	344	33,0	170	66	42,6
4	782	23,4	339	33,5	165	67	41,3
6	762	23,6	333	34,0	160	68	40,1
8	743	23,8	327	34,5	156	69	38,9
0	724	24,0	322	35,0	151	70	37,8
2	707	24,2	317	35,5	147	71	36,8
4	689	24,4	311	36,0	143	72	35,8
6	673	24,6	306	36,5	139	73	34,8
8	657	24,8	301	37,0	135	74	33,9
0	642	25,0	297	37,5	132	75	33,0
2	627	25,2	292	38,0	128	76	32,1
4	612	25,4	287	38,5	125	77	31,3
6	598	25,6	283	39,0	122	78	30,5
8	585	25,8	279	39,5	119	79	29,7
0	572	26,0	274	40,0	116	80	29,0
2	560	26,2	270	41	110	81	28,3
4	548	26,4	266	42	105	82	27,6
6	536	26,6	262	43	100	83	26,9
8	525	26,8	258	44	95,7	84	26,3
0	541	27,0	254	45	91,6	85	25,7

7	Tag	Name	Besteht aus	Nr.
b.				
.				
			1 Blatt	F 354
			Blatt 1	