OPTIMUM

JURNAL ILMIAH TEKNIK INDUSTRI

Pengukuran Stabilitas Master Production Schedule dalam Rolling Planning Horizon	1. Dian Retno Sari Dewi
Optimalisasi Nilai Ketangguhan dan Bentuk Perpatahan pada Pengelasan Busur Terendam Pipa Spiral Baja Api 5L X-52	2. Nur Subeki
Perbandingan Penerapan Algoritma CDS (Campell Dudek Smith) dan CDS Fuzzy pada Penjadwalan Flow Shop N Job M Mesin Ditinjau dari Makespan dan Mean Flow Time	3. Annisa Kesy Garside
Rancangan Pendeteksi Harmonisa Tegangan dan Arus Listrik pada Jala-jala Menggunakan Mikro Kontroler	4. Waluyo Sabat Anwari M. Yuansyah
The Effect of Vertical Distance Variation of Cylinder Obstacle in Side By Side Arragement to Convection Heat Transfer	5. Ali Saifullah
Pengaruh Variasi Jarak Horisontal Batang Pengganggu Silindris yang Disusun Bersilangan Terhadap Perpindahan Panas Konveksi	6. Jamal
Kecepatan Pengadukan Minimum Sistem Refined Palm Oil -Asam Asetat- Air Didalam Ekstraktor Tangki Berpengaduk ETB	7. Martunus Zuchro Helwani
Pemanfaatan Perancangan Eksperimen Faktorial Dalam Pengendalian Variabilitas Karakteristik Kualitas Beton	8. Evi Yuliawati
Analisa Simulasi Sistem Komunikasi Optik Nirkabel Untuk Penggunaan Luar Ruangan	9. A. Sjamsjiar Rachman

Terakreditasi : SK Dirjen Dikti No: 26 / DIKTI / Kep /2005 tanggal 30 Mei 2005

OPTIMUM	VOLUME 7	NOMOR 2	Hlm. 107-208	Malang, Agustus 2006 - Februari 2007	ISSN : 1412-7148

Jurusan Teknik Industri
Universitas Muhammadiyah Malang

OPTIMUM

JURNAL PENELITIAN TEKNIK INDUSTRI
Volume 7, Nomor 2, Agustus 2006 – Februari 2007

Hal

Pengukuran Stabilitas Master Production Schedule Dalam Rolling Planning Horizon
Dian Retno Sari Dewi ..... 107 - 116

Optimalisasi Nilai Ketangguhan Dan Bentuk Perpatahan Pada Pengelasan Busur Terendam Pipa Spiral Baja Api 5L X-52
Nur Sebeki ..... 117 - 129

Perbandingan Penerapan Algoritma CDS (Campel Dudek Smith) dan CDS Fuzzy Pada Penjadwalan Flow Shop N Job M Mesin Ditinjau Dari Makespan Dan Mean Flow Time
Annisa Kesy Garside ..... 130 - 139

Rancangan Pendeteksi Harmonisa Tegangan dan Arus Listrik Pada Jala-Jala Menggunakan Mikrokontroler
Waluyo, Sabat Anwari, Muhammad Yuansyah) ..... *140* -152

The Effect Of Vertical Distance Variation Of Cylinder Obstacle In Side By Side Arragement To Convection Heat Transfer
Ali Saifullah ..... 153 – 163

Pengaruh Variasi Jarak Horisontal Batang Penganggu Silinders Yang Di Susun Bersilangan Terhadap Perpindahan Panas Konveksi
Jamal ..... 164 – 173

Kecepatan Pengadukan Minimum Sistim Refined Palm Oil-Asam Asetat-Air di dalam Ekstraktor Tangki Berpengaduk (ETB)
Martunus, zuchra Helwani ..... 174 –184

Pemanfaatan Perancangan Eksperimen Faktorial Dalam Pengendalian Variabilitas Karakteristik Kualitas Beton
Evi Yuliawati i ..... 185 - 196

Analisa Simulasi Sistem Komunikasi Optik Nirkabel Untuk Penggunaan Luar-Ruangan
A. Sjamsjiar Rachman ..... 197 – 208

OPTIMALISASI NILAI KETANGGUHAN DAN BENTUK PERPATAHAN PADA PENGELASAN BUSUR TERENDAM PIPA SPIRAL BAJA API 5L X-52

Nur Subeki
Dosen Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Malang

Abstract

Submerged Arc Welding is a welding process used for fabrication of pipes, for example spiral welded pipes. The technique can be operated automatically and has a high reliability in many various welding aplication. Some factor affecting the strength of weld metals are heat input, current, chemical composition of filler and flux, welding speed and cooling rate.

The purpose of this research is to obtaine microstructure containing acicular ferrite which give good impact toughness of the submerged arc welded pipes.

Material used in this experiment was API 5L X-52 spiral welded steel pipes, Welding was carried out using voltage of 35 volt, welding speed of 13,67 mm/s whereas current was varied, namely 800 Ampere, 825 Ampere, 850 Ampere, 875 Ampere and 900 Ampere. A series of mechanical properties test were carried out including hardness, tensile test and V-Charpy notch impact toughness test.

The result show that, an increase in weld current increase the amount of acicular ferrite structures. The highest toughness were obtained at the current of 900 Ampere where tougthness was 150 joule with transition temperature -10 °C, and the dimple fracture have higher toughness than the shard fracture.

Key Words : spiral ,pipes, current, toughness, mechanics

A. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak dan gas bumi terbesar di dunia, diantaranya tersebar di wilayah : Sumatra, Natuna, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Papua dan dilepas pantai Indonesia. Sebagai konsekuensinya, kebutuhan akan pipa transmisi sebagai sarana untuk menghubungkan sumber dan pengguna energi tersebut semakin meningkat, sehingga hal ini merupakan peluang bisnis khususnya untuk industri baja dan industri yang memproduksi pipa.

Pada saat ini, pengelasan merupakan salah satu teknik penyambungan yang banyak digunakan pada perpipaan, misalnya pada konstrusi pipa pemancangan, pipa minyak dan pipa gas. Hal ini disebabkan oleh banyaknya keuntungan yang dapat diperoleh dari sambungan las. Menurut Cary (1989) luasnya penggunaan proses penyambungan dengan pengelasan disebabkan oleh biaya murah, pelaksanaan relatif lebih cepat, lebih ringan, dan bentuk konstruksi lebih variatif. Salah satu teknik pengelasan yang banyak dipakai untuk penyambungan pada konstruksi baja adalah las busur terendam atau *submerged*

arc welding (SAW). Pada pengelasan dengan las *submerged arc welding* (SAW), logam cair ditutup dengan fluks yang diatur melalui suatu penampang, fluks dan logam pengisi yang berupa kawat pejal diumpankan secara terus menerus (Wiryosumarto dan Okumura, 2000) sehingga pengelasan dapat dilakukan secara otomatis, oleh karena itu memberi kenyamanan dalam pengoperasiannya dan memiliki keandalan yang tinggi.

Spesifikasi yang harus dipenuhi oleh baja yang digunakan untuk pipa gas dan minyak diantaranya adalah baja tersebut harus mempunyai kekuatan tarik yang tinggi yaitu sekitar 500 MPa dan ketangguhan impak (*Charpy impact toughness*) yang baik, yaitu sebesar 100 Joule pada suhu 0°C atau 27 Joule pada suhu -50°C. Baja paduan tegangan tinggi atau HSLA *(high strength low alloy steel)* yang diproduksi dengan menggunakan *thermomechanical controlled processing* (TMCP) biasanya memenuhi persyaratan diatas dan digunakan sebagai bahan pipa gas dan minyak.

Di beberapa negara Eropa, pipa untuk gas dan minyak biasanya diproduksi dengan sambungan las spiral (*spiral welded pipes*) dan las yang digunakan berupa las busur terendam atau *submerged arc welding (*SAW), karena proses pengelasanya dapat dilakukan secara otomatis dan memiliki keandalan yang tinggi. Untuk memenuhi persyaratan perpipaan, sambungan las harus mempunyai kekuatan dan ketangguhan mendekati logam induknya. Untuk itu dalam pengelasan harus diperhatikan faktor-faktor seperti komposisi kimia filler dan fluks, kekuatan arus, *heat input*, kecepatan las dan laju pendinginan.

B. TINJAUAN PUSTAKA

Submerged Arc Welding (SAW)

Submerged Arc Welding (SAW) merupakan proses pengelasan otomatis dimana busur listrik dan logam cair tertutup oleh lapisan serbuk fluks, sedangkan kawat pengisi diumpankan secara kontinyu. Karena panas yang hilang dalam bentuk radiasi sangat kecil maka efisiensi perpindahan panas dari elektroda ke logam las sangat tinggi yaitu sekitar 90 % (Wiryosumarto dan Okumura, 2000)

Fluks

Fungsi dari fluks adalah sebagai sumber terak untuk melindungi logam cair dari udara sekitarnya, menjaga busur listrik agar tetap stabil, sebagai deoksidator, menghasilkan gas pelindung, mengurangi percikan api dan uap padapengelasan, dan

sebagai sumber dari unsur paduan.*Basicity Index (BI)* atau indeks kebasaan digunakan untuk menentukan derajat keasaman atau kebasaan suatu fluks. Menurut IIW *(International Institute of Welding), BI* dapat dibedakan menjadi 4 jenis yaitu :bersifat asam jika BI < 1, bersifat netral untuk 1 < BI < 1,5, bersifat semi basa untuk 1,5 < BI < 2,5 dan bersifat basa jika BI > 2,5.

Masukan Panas (*Heat Input*)

Masukan panas adalah besarnya energi panas tiap satuan panjang las ketika sumber panas bergerak. Masukan panas (H), dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$H = P/v = EI/v \quad \text{.....} \quad (1)$$

Dimana,

P : Tenaga input (Watt) v : Kecepatan pengelasan (mm/s)

E : Potensial listrik (volt) I : Arus listrik (Amper)

Heat input juga mempengaruhi bentuk penampang lintang lasan *(bead on plate*) yang meliputi besarnya permukaan logam induk yang mencair, permukaan bahan pengisi dan HAZ.

Pengaruh Energi Panas Pada Pengelasan

Fungsi utama sumber panas pada las cair (*fusion welding*) adalah untuk mencairkan logam, yang mempunyai dua fungsi yaitu:

1. Sebagai bahan pengisi (*filler*) pada bagian yang disambung sehingga terbentuk bahan yang kontinyu.
2. Membersihkan permukaan sambungan dengan reaksi kimia.

Efisiensi cair (*melting efficiency*) adalah masukan panas yang digunakan untuk mencairkan logam yang besarnya bisa dihitung dengan bantuan gambar. Bentuk penampang lintang dari gambar dinamakan "*bead on plate*" (logam las diatas las).

Siklus Thermal Daerah Lasan

Dareah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas (*Heat Affected Zone*) dan logam induk. Logam lasan adalah bagian logam

yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Daerah pengaruh panas atau daerah HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk tak terpengaruhi adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat.

Selama proses pengelasan berlangsung, logam las dan daerah pengaruh panas akan mengalami serangkaian siklus thermal yang berupa pemanasan sampai mencapai suhu maksimum dan diikuti dengan pendinginan. Pada pengelasan baja, kandungan C pada logam las biasanya dibuat rendah yaitu 0,1 % massa, dengan tujuan untuk mempertahankan sifat mampu las atau *weldability* (Easterling, 1992). Sebagai akibatnya, jika kondisi kesetimbangan *(equilibrium)* tercapai maka logam las akan mengalami serangkaian transformasi fasa selama proses pendinginan, yaitu dari logam las cair berubah menjadi ferit-δ kemudian γ (*austenit*) dan akhirnya menjadi α *(ferrit)*. Pada umumnya laju pendinginan pada proses pengelasan cukup tinggi sehingga kondisi kesetimbangan tidak terjadi dan akibatnya struktur mikro yang terbentuk tidak selalu mengikuti diagram fasa.

Faktor lain yang mempengaruhi siklus termal adalah waktu pendinginan (*cooling time*). Suhu yang dipakai sebagai acuan dalam menentukan waktu pendinginan adalah antara 800°C-500°C.

Besarnya waktu pendinginan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\Delta t_{8/5} = \frac{q/v}{2\pi k}\left[\frac{1}{500-T_0} - \frac{1}{800-T_0}\right] \quad \text{.....(2)}$$

Struktur Mikro Las

Penambahan unsur paduan pada logam las menyebabkan struktur mikro cenderung berbentuk bainit dengan sedikit ferit batas butir, kedua macam struktur mikro tersebut juga dapat terbentuk jika ukuran butir austenitnya besar.

Nilai $\Delta t_{8/5}$ yang semakin besar (waktu pendinginan semakin lama) akan meningkatkan ukuran ferit batas butir, selain itu waktu pendinginan yang lama akan menyebabkan struktur mikro yang paling banyak terbentuk adalah ferit widmanstatten. Kandungan oksigen yang besar juga akan menyebabkan terbentuknya ferit Widmanstatten dan ferit batas butir dengan ukuran yang besar.

Untuk mendapatkan struktur mikro hasil pengelasan yang baik yaitu berupa ferit acicular maka unsur paduan, kandungan oksigen, waktu pendingin ($At_{8/5}$) dan ukuran butir austenit harus tepat.

Dari beberapa bentuk struktur mikro, ferit acicular merupakan struktur mikro yang diinginkan karena dapat meningkatkan kekuatan dan ketangguhan logam las seperti yang dilaporkan oleh Harrison dan Farrar (1981). Pada sisi lain, ketangguhan las disebabkan karena struktur ferit acicular berbentuk anyaman (*interlocking structure*) sehingga dapat memberikan ketangguhan yang baik.

C. METODOLOGI

Bahan Sambungan

Bahan penelitian ini : Plat Baja API 5L X52

Spesifikasi pipa : Tebal :12 mm, Ø luar : 711,2 mm

Tegangan : 35 volt

Kuat arus (IW) : 650 Amper

Tegangan (IW) : 34 volt

Kecepatan pengelasan : 0,82 m/menit

Spesifikasi bahan

- Tegangan luluh min : 52.000 Psi (365 MPa)
- Tegangan tarik min : 66.000 Psi (463 MPa)
- Komposisi kimia :

Tabel 1. Standar komposisi kimia logam induk (wt %) API 5L X-52 Line Pipe

C	Mn	P	S	Al	Nb	Si	Nb	V
0,08	0,9	0,02	0,01	0,04	0,03	0,05	0,03	0,134

Bahan Pengelasan

Proses Pengelasan : SAW

Jenis elektrode : AWS A5.17-80:EM 12 K Ø 3,2 mm

Jenis fluk : OK Flux 10.71. (by ESAB)

Tabel 2. Komposisi kimia elektrode las (wt %)

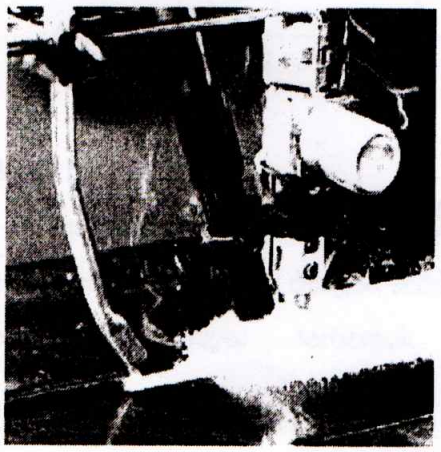
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al
0,11	1,09	0,29	0,009	0,011	0,03	0,02	0,01	0,12	0,00

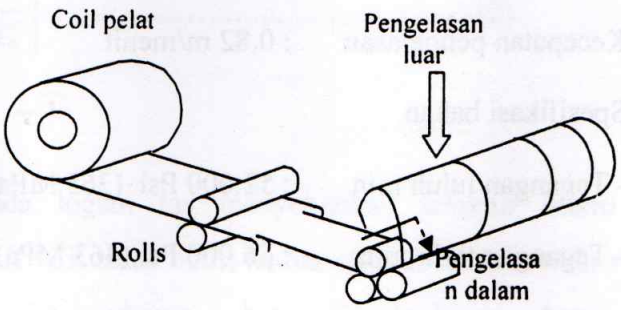
Tabel 3. Komposisi kimia fluks (wt %)

AL_2O_3	SiO_3	MgO	CaO	MnO	ZrO_2	TiO	Na_2O	K_2O	Fe	F	S	P
22-26	18-22	15-19	11-15	6-10	4-7	2-5	1-3	1	1-3	8	<0,03	<0,03

Cara Pengelasan

Pelat yang berbentuk koil dirol tekuk membentuk pipa spiral dilakukan pengelasan dimulai bagian dalam kemudian pada jarak 1,5 meter dilakukan pengelasan pada bagian luar pipa dengan las SAW seperti terlihat pada gambar 1. Dari model pengelasan spiral kontinyu yang divariasi adalah pengelasan luar pipa. Prosedur pengelasan adalah menurut standard AWS A5.17. Pengelasan dilakukan dengan 5 jenis variasi kuat arus yang berbeda-beda. Pengelasan dilakukan di PT. KHI Pipe Industries Cilegon Banten.

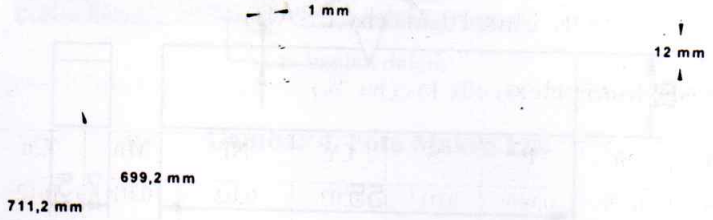




b)

Gambar 1. a). Proses pengelasan pipa spiral (TWI, 1998) b) Skema pengelasan pipa spiral

Untuk memenuhi pengelasan pipa yang baik, maka harus memperhatikan ukuran dan posisi alur yang akan disambung, hal ini bisa dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Potongan alur pengelasan

Alat yang Digunakan

a. Mesin perkakas
b. Mesin las SAW
c. Mesin uji impak
d. Termokopel
e. Mikroskop optik
f. SEM

Pengujian Ketangguhan Impak

Pengujian impak digunakan untuk mengukur ketangguhan suatu material. Ketangguhan suatu bahan adalah kemampuan bahan tersebut untuk menyerap energi pada daerah plastis. Cara pengujian impact ada dua macarn yaitu *Charpy* dan *Izod.* Dari pengujian impact akan diperoleh 2 buah sudut, yaitu :

1. Sudut α : sudut antara pemukul pada saat kedudukan awal sarnpai saat membentur benda uji.
2. Sudut β : sudut antara pemukul pada saat membentur benda uji sampai dengan jarak sisa benturan ayunan setelah membentur.

Pada alat impact Charpy sudut $a = 157°$

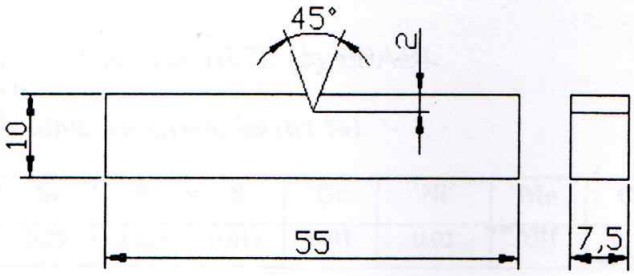
Pengujian impak yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan metode Charpy. Pengujian dilakukan dengan memvariasi temperatur uji untuk mengetahui suhu transisi dari kondisi ulet ke kondisi getas. Temperatur uji yang digunakan adalah -60°C, -40°C, -20°C, O°C, 26°C. dan 60°C. Dengan pengujian pada daerah logam las dan HAZ masing-masing spesimen untuk setiap satu variasi suhu dengan perubahan

kuat arus pengelasan. Jadi jumlah spesimen impak total 60 buah dengan spesimen Untuk pengujian di daerah HAZ 3.

Dari pengujian impak Charpy dapat diperoleh nilai :

$$\text{Harga keuletan} = \frac{Tenaga.patah}{Luas.penampang.patah} \quad \frac{Joule}{mm^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

$$G \times R = \frac{Tenaga.patah}{\cos\beta - \cos\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$



Gambar 3. Spesimen uji impack (Standar ASTM E23)

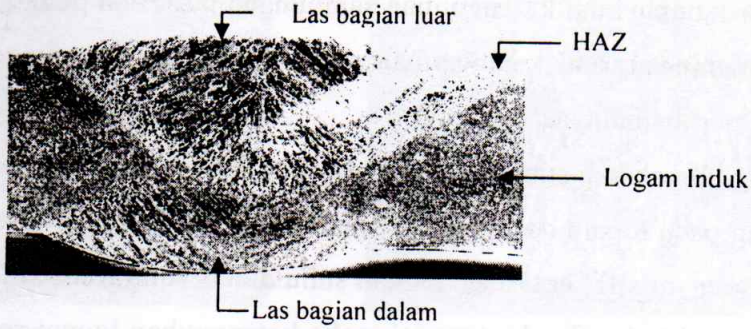
Foto Makro Dan Pengamatan SEM

Setelah mendapatkan perpatahan hasil pengujian impak, kemudian diadakan foto makro hasil perpatahan dan diperbesar dengan SEM. Hasil pengamatan SEM digunakan dasar untuk pembahasan yang membuktikan perubahan perpatahan dari perubahan pengujian dan perubahan suhu pengujian.

D. ANALISA

Foto Makro

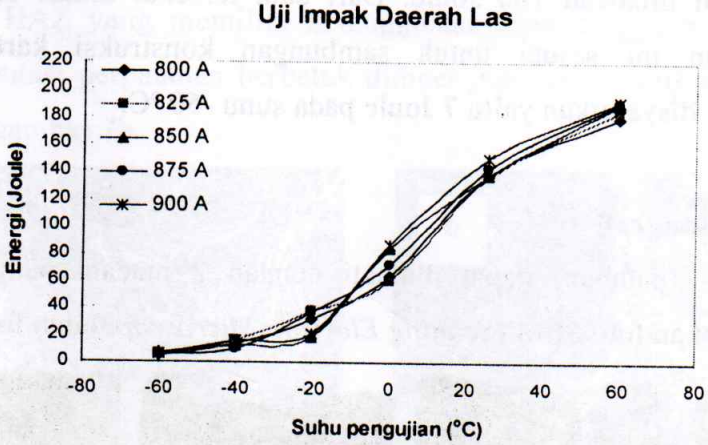
Foto makro bertujun untuk mengetahui bentuk dan batas antara daerah las, HAZ, logam induk, las bagian luar dan las bagian dalam. Pada pengelasan pipa faktor kekuatan terdapat pada pengelasan bagian luat, dari gambar terlihat bahwa daerah las luar lebih besar dari pada yang dalam.



Gambar 4. Foto Makro Las

Ketangguhan Impak Daerah Las

Pengujian impak pada daerah las bertujuan untuk mengetahui ketanguhan daerah las. Pengujian ketangguhan dilakukan pada suhu -60 °C, -40 °C, -20 °C, 0 °C, 26 °C dan 60 °C. Pengujian impak menunjukkan bahwa besarnya kuat arus mempengaruhi ketanguhan lasan.



Gambar 5. Grafik Ketangguhan Impak Daerah Las

Gambar grafik 5 di atas menunjukkan bahwa kuat arus sangat mempengaruhi ketangguhan sambungan las. Secara umum terjadi ketangguhan yang tertinggi pada penggunaan kuat arus 900 Amper. Ketangguhan tertinggi ini dipengaruhi oleh besarnya prosestase ferit acicular logam las (Kou, 1987)

Hasil uji ketangguhan impak pada daerah las terlihat bahwa variasi suhu pengujian sangat mempengaruhi nilai ketangguhan dari sambungan las. Dari

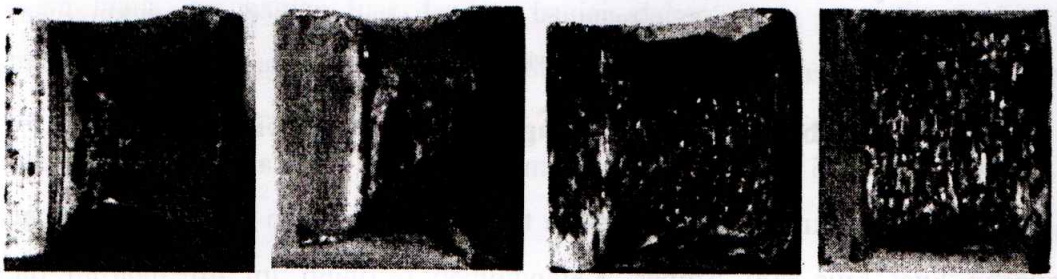
pengujian ditunjukkan bahwa semakin rendah suhu pengujian maka nilai ketangguhan dari sambungan las semakin rendah, dan semakin tinggi suhu pengujian maka semakin besar nilai ketangguhan sambungan las. Pada pengujian terendah kuat arus tidak mempengaruhi ketangguhan suatu pengelasan karena pada grafik terihat kecil sekali perubahannya.

Yang dimaksud suhu transisi adalah suhu dimana terjadi perubahan sifat ketangguhan pada logam dari getas menjadi ulet. Pada kondisi dibawah suhu transisi logam mempunyai sifat getas sedangkan suhu diatas suhu transisi logam mempunyai sifat ulet. Semakin kecil suhu transisi maka ketangguhan logam semakin baik. Suhu transisi pada logam daerah pengelasan dengan menggunakan kuat arus 800 dan 875 Amper mempunyai range 0 °C sampai dengan 26 °C sedangkan pada pengelasan dengan kuat arus 825, 850 dan 900 Amper terjadi pada range suhu -20 °C sampai dengan 0 °C

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa nilai pengujian impak logam las pada suhu -50 °C bernilai 7 Joule kecuali pada kuat arus 875 yang memiliki ketangguhan dibawah 7 Joule, sedangkan pada suhu pengujian 0 °C dari semua perlakuan menunjukkan nilai dibawah 100 Joule. Dari data tersebut diatas dapat diartikan bahwa pengelasan ini sesuai untuk sambungan konstruksi karena memiliki ketangguhan yang disyaratkan yaitu 7 Joule pada suhu -50 °C.

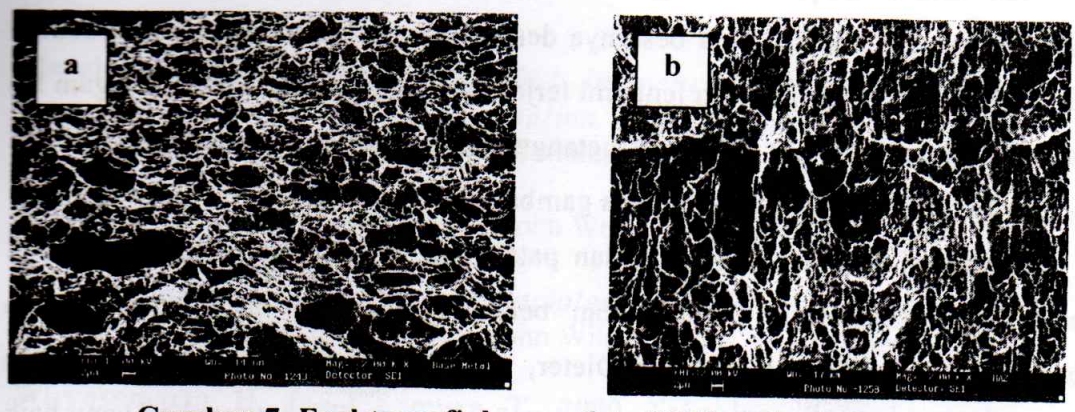
Pengamatan Fraktografi

Faktrografi (patahan) dapat diamati dengan 2 macam pengematan yaitu dengan menggunakan foto SEM (*Scaning Electron Microscope*) dan foto makro.



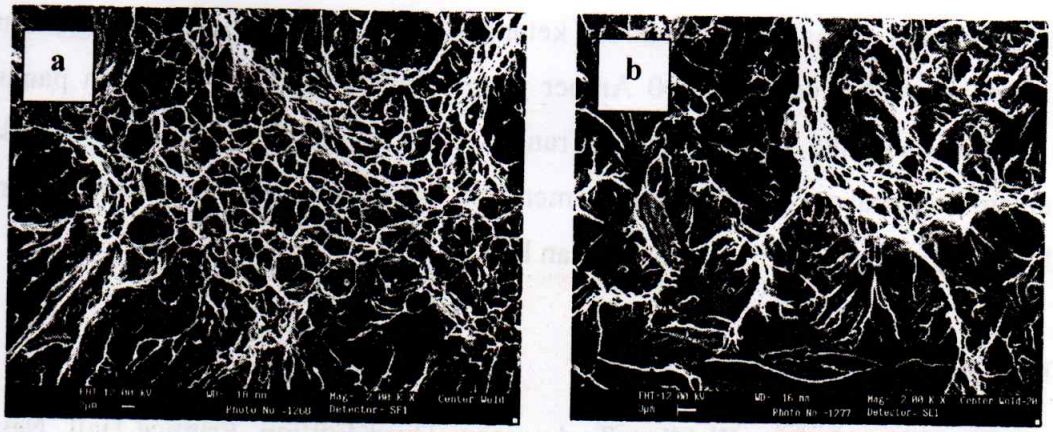
a b c d

Gambar. 6. Foto makro patahan a). Logam Induk b). HAZ c). Logam las d). Logam las -20 °C



Gambar 7. Fraktografi dengan foto SEM pada a). Logam induk b). Daerah HAZ

Hasil pengamatan permukaan patah hasil pengujian impak dari setiap daerah pengujian terdapat perbedaan bentuk patahan getas (*clevage fracture*),dan patahan ulet. Pada pengujian impak di daerah logam induk menunjukkan fraktografi permukaan yang dipenuhi dengan *dimple-dimple* yang hampir merata sehingga memiliki ketangguhan yang tinggi, hal ini ditandai dengan adanya cekungan-cekungan yang berbentuk parabola atau elips terlihat pada gambar 7a. Perpatahan jenis ini adalah jenis perpatahan ulet (Dieter, 1987). Perpatahan jenis ini juga terjadi pada daerah HAZ yang memiliki ketangguhan lebih tinggi, hal ini dikarenakan memiliki orientasi perpatahan berbetuk dimpel juga ada bentuk serabut-serabutnya terlihat pada gambar 7b.



Gambar 8. Fraktografi dengan foto SEM pada a). logam las b). Logam las -20 °C.

Fraktografi permukaan yang berbeda terjadi pada daerah logam las dimana sudah banyak menunjukkan patah getas (*clevage fracture*), patah ini juga dikatakan

patah belah dimana perpatahan terjadi sepanjang kristalografi, yang memiliki ciri perpatahan fase datar yang sama besarnya dengan ukuran butir ferit dan berbentuk sungai (Dieter, 1987), perpatahan jenis ini terjadi pada pengujian impak di logam las dengan suhu pengujian -20 °C. Hasil ketangguhan menunjukkan nilai yang sangat kecil, bentuk fraktografinya seperti pada gambar 8b.

Kombinasi antara patah getas dan patah ulet terjadi pada pengujian impak didaerah logam las yang ditunjukkan bentuk perpatahan antara dimpel dan bumbungan cabik sekitar ferit, oleh Dieter, (1987), dinamakan perpatahan belah semu. Perpatahan ini bisa dilihat pada gambar 8a dengan nilai ketanguhan yang baik dan memiliki kekerasan yang lebih tinggi.

Dari penjelasan di atas sangat jelas bahwa ketagguhan suatu material bisa dilihat dari bentuk fraktografi permukaan patahannya dimana yang memiliki bentuk patahan yang dipenuhi dimple dan serabut memiliki ketangguhan yang paling tinggi sedang untuk patahan berbentuk serpihan yang menterupai sungai memiliki ketangguhan yang paling kecil.

E. KESIMPULAN

Peningkatan kuat arus dari 800 Amper ke 900 Amper dan meningkatkan jumlah prosentase ferit acicular dari ketangguhan sambungan las, sedangkan suhu pengujian impach sangat mempengaruhi ketangguhan sambungan las, ketangguhan optimal terjadi pada kuat arus 900 Amper yang ekivalen dengan masukan panas 2,304 kJ/mm dan suhu transisi dengan range -20 ^{0}C. – 0 ^{0}C dilihat dari bentuk perpatahan, perpatahan bentuk dimple memiliki nilai ketangguhan tertinggi dan bentuk serpihan memiliki nilai ketangguhan kecil.

DAFTAR PUSTAKA

Cary, H.B., 1989, ***Modern Welding Technology***, Third Edition, Printice Hall, New Jersey

Dieter, G.E., 1987, ***Metalurgi Mekanik***, Edisi 3, Penerbit Erlangga Jakarta.

Easterling, K.E., 1993, ***Introduction to the Phisical Metallurgy of Welding***, Sutterworths, pp. 115 -123

Harrison, P.L, dan Farrar, R.A., 1981, ***Influence of Oxigen-rich Inclusions on the γ - a Phase Transformation in High Strength Low Alloy (HSLA) Steel Weld Metals***, Journal of Material Science, 16, pp 2218-2226.

Kou, S., 1987, ***Welding Metallurg y***, John Welley and Sons

Messler, Robert, W., 1999, ***Principles of Welding Processes, Physics, Chemistry, & Metallurgy***, John Wiley & Sons, New York.

Wiryosumarto, H. dan Okumura, T., 2000, *Teknologi Pengelasan Logam*, PT. Pradya Paramita, Jakarta.