

LAPORAN
PENELITIAN KELOMPOK



PF.NGARUH BENTUK KAMPUH PADA PENGELASAN SMAW
BAJA EYSER TERHADAP SIFAT MEKANIK

Tim Pelaksana :

Arif Marwanto, S.Pd

NIP. 132299864

Aan Ardian, S.Pd NIP.

132304811

ardian@uny.ac.id

JURUSAN PENDIDIKAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

2004

PENELITIAN INI DIBIYAI OLEH DIKUNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
DENGAN NOMOR KONTRAK 1924 C/J 35.15)DIK-S/KU/2004

PENGARUH BENTUK KAMPUH PADA PENGELASAN SMAW BAJA EYSER TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIK

Abstrak Oleh:

ArifMarwanto(a) dan Aan Ardian(b).

ardian@uny.ac.id

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bentuk kampuh pada sambungan las terhadap sifat fisis dan mekanik, disamping itu adalah untuk mengembangkan materi bahan ajar mata kuliah praktikum pengelasan dan mata kuliah bahan teknik.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yaitu peneliti melakukan pengelasan sambungan kampuh U,V dan X kemudian diukur besarnya perubahan sudut melengkungnya sambungan bahan akibat proses pengelasan. Kemudian dilakukan uji tarik dengan 3 spesimen setiap jenis sambungan dengan mesin uji tarik Universal Testing Machine (UTM), uji kekerasan menggunakan Micro Hardness Vickers dengan mengambil 6 titik, yaitu 2 titik pada logam las, 2 titik di daerah HAZ dan 2 titik pada logam induk untuk masing-masing bentuk kampuh, uji impak / ketangguhan dengan 3 spesimen pada masing masing kampuh dan uji mikroskop optik dengan perbesaran 400x pada logam las.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa jenis kampuh U memiliki kecenderungan lebih besar untuk melengkung pada saat dilakukan pengelasan dibandingkan dengan kampuh V maupun kampuh X. Kampuh U memiliki struktur ferit lebih banyak dibanding perl it sehingga lebih lunak dan ulet. Kampuh U mempunyai kekuatan tarik rata-rata $4-2,37 \text{ kg/mm}^2$ lebih besar dibanding kampuh V sebesar $41,88 \text{ kg/mm}^2$ dan kampuh X sebesar $41,31 \text{ kg/mm}^2$. Kampuh X memiliki kekerasan lebih tinggi dibanding kampuh U dan V pada daerah logam las tetapi pada daerah HAZ dan logam induk hampir sama. Kampuh U memiliki harga impak lebih tinggi dibanding kampuh V dan X.

PRAKATA

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang senantiasa memberikan kekuatan lahir dan batin serta ilmu-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan kegiatan penelitian latihan ini. Salawat dan salam hanya untuk Rasulullah Muhammad SAW.

Dengan selesainya penulisan laporan kegiatan penelitian ini, penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terimakasih yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu, yang telah memberikan bantuan baik moral maupun material. Semoga amal baik tersebut mendapat balasan yang setimpal dari Allah SWT. Amiiin.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan guna penyempurnaan penulisan laporan kegiatan penelitian dimasa yang akan datang. Semoga hasil kegiatan penelitian ini bermanfaat untuk pengembangan pembelajaran bagi penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya.

Yogyakarta. 27 Februari 2005

Tim Pelaksana

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Abstrak	ii
Tim Pelaksana	iii
Prakata	iv
Daftar Isi.....	v
Daftar Tabel	vi
Daftar Gambar	vii
Daftar Lampiran	viii

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah	1
C. Batasan Masalah	2
D. Rumusan Masalah	2
E. Tujuan Penelitian	2
F. Manfaat Penelitian	2

BAB II. KAJIAN TEORI.....

BAB III. METODOE PENELITIAN

A. Bahan Penelitian dan Prosedur Pengelasan.....	5
B. Variabel Penelitian	5
C. Rancangan Penelitian	5

BAB IV. BASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....

BAB V. KESIMPULAN.....

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN- LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tablei 1. Parameter Pengelasan....	5
Tablei 2. Rancangan Eksperimen.....	7
Tablei 3. Data perubahan sudut benda uji	8

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktru mikro logam Las (Easterling, 1983).....	3
Gambar 2. Skema Pengelasan elektroda terbungkus	4
Gambar 3. Diagram alir penelitian proses pengelasan	6
Gambar 4. Benda Uji Tarik	7
Gambar 5. Benda Uji Impak	7
Gambar 6. Struktur mikro sambungan las	8
Gambar 7. Grafik kekuatan tarik sambungan las	9
Gambar 8. Titik pengujian kekerasan	10
Gambar 9. Grafik hasil uji kekerasan	11
Gambar 10. Grafik hasil uji impak/ketamnguhan	12

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Berita acara Seminar Proposal	17
Lampiran 2. Daftar Presensi Seminar Proposal	18
Lampiran 3. Acara Seminar Hasil Penelitian	19
Lampiran 4. Daftar Presensi Seminar Hasil Penelitian ...	20

BABI PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Sambungan tumpul adalah jenis sambungan yang paling efisien (Wirjosumarto dan Okumura, 1985). Bentuk alur sambungan tumpul sangat mempengaruhi efisiensi pengerjaan, efisiensi sambungan dan jaminan sambungan. Karena itu pemilihan bentuk alur sangat penting, pada dasarnya pemilihan alur ini harus menuju kepada penurunan masukan panas dan penurunan logam las sampai kepada harga terendah yang tidak menurunkan mutu sambungan. Bentuk sambungan akan mempengaruhi masukan panas yang selanjutnya berpengaruh pada siklus termal pengelasan.

Dalam siklus termal, proses pendinginan merupakan hal penting yang sangat menentukan sifat-sifat hasil pengelasan (Harrison dan Farrar, 1989). Laju pendinginan yang cepat pada proses pengelasan menghasilkan struktur butiran kasar, menyebabkan kegetasan pada logam las maupun daerah HAZ.

Baja eyser termasuk dalam kelompok baja karbon rendah yang disebut juga baja lunak banyak sekali digunakan untuk konstruksi umum. Baja karbon rendah mempunyai kepekaan retak las yang rendah bila dibandingkan dengan baja karbon lainnya (Wirjosumarto dan Okumura, 1985). Tetapi retak las pada baja ini dapat terjadi dengan mudah pada pengelasan plat tebal sebagai akibat masukan panas yang tinggi terkait dengan tebalnya plat. Dari uraian di atas, maka perlu diteliti pengaruh bentuk alur pada pengelasan SMA W baja eyser untuk mengetahui bentuk alur yang terbaik ditinjau dari sifat mekaniknya.

B. Identifikasi Masalah

Masukan panas yang diterima oleh baja eyser pada penyambungan dengan metode pengelasan SMAW sangat mempengaruhi kualitas sambungan. Dimana dapat dengan mudah terjadi retak akibat panas yang tinggi dari proses pengelasan berulang-ulang terkait dengan tebal plat. Untuk itu perlu dicari bentuk sambungan kampuh yang paling baik dari segi kemampuan mekanik dan kemudahan proses pengerjaannya.

C. Batasan Masalah

1. Pengelasan SMAW dibatasi hanya menggunakan jenis elektroda E6013, yang mungkin dengan jenis lainnya akan memberikan hasil berbeda.
2. Bahan yang digunakan dibatasi pada baja Eysen, yang mungkin jika digunakan jenis baja lain akan memberi hasil berbeda.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, dapat dirumuskan permasalahan penelitian ini adalah :

Bagaimanakah pengaruh bentuk kampuh terhadap sifat mekanik pengelasan SMAW baja eyser?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh bentuk kampuh terhadap sifat mekanik pengelasan SMAW baja eyser.
2. Untuk mengembangkan bahan ajar pada praktikum pengelasan maupun mata kuliah metalurgi las.

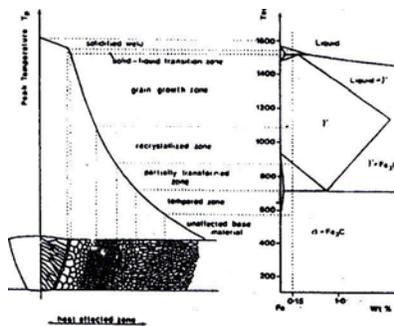
F. Manfaat Penelitian

Dengan diketahuinya pengaruh bentuk kampuh terhadap sifat-sifat mekanis, konstruksi-konstruksi yang menggunakan baja Eysen dan metode penyambungan pengelasan SMAW diharapkan dapat ditingkatkan kualitasnya. Bertambahnya khasanah ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya pada bidang metalurgi las merupakan manfaat lain dari penelitian ini.

BAB II

KAJIAN TEORI

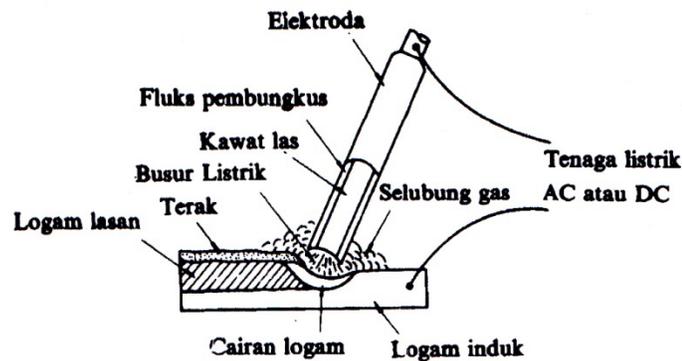
Penyambungan logam dengan metode pengelasan semakin banyak digunakan, baik pada konstruksi bangunan maupun mesin, karena banyak keuntungannya. Menurut Cary (1989), luasnya penggunaan proses penyambungan dengan pengelasan disebabkan oleh biaya murah, pelaksanaan relatif lebih cepat, lebih ringan, dan bentuk konstruksi lebih variatif. Namun, harus diakui bahwa sambungan las juga memiliki kelemahan, antara lain: timbulnya lonjakan tegangan yang besar akibat perubahan struktur mikro di daerah sekitar las yang menyebabkan turunnya kekuatan bahan dan akibat tegangan sisa, serta adanya retak akibat dari proses pengelasan (Jamasri, 1999). Kelemahan-kelemahan tersebut dipengaruhi oleh banyak hal, seperti masukan panas (*heat input*) dan siklus termal pengelasan.



Gambar 1. Struktru mikro logam Las (Easterling, 1983)

Siklus termal menyebabkan perubahan sifat fisik dan mekanik, transformasi fasa metalurgi, tegangan termal, dan pergeseran komposisi kimia saat logam masih mencair pada lasan (*weld pool*). Pada batas las terjadi konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh diskontinuitas pada kaki manik las, takik las, retak las dan lain sebagainya (Wiryo Sumarto dan Okumura, 1985).

Pengelasan busur elektroda terbungkus (*shielded metal arc welding-SMA W*) adalah proses pengelasan yang perpaduan logam-logamnya dihasilkan melalui panas dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda terbungkus dan permukaan logam yang dilas (Kou, 1987). Dalam cara pengelasan ini digunakan kawat elektroda logam yang dibungkus dengan fluks (Wiryosumarto dan Okumura, 1985). Selama pengelasan, fluks mencair dan membentuk terak yang berfungsi sebagai lapisan pelindung logam las terhadap oksidasi udara sekitar serta menghasilkan gas yang melindungi butiran-butiran logam cair dari ujung elektroda yang mencair dan jatuh ke tempat sambungan.



Gambar 2. Skema Pengelasan elektroda terbungkus
(Wiryosumarto dan Okumura, 1985)

Sambungan las dalam konstruksi baja pada dasarnya dibagi dalam sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut dan sambungan tumpang (Wiryosumarto dan Okumura, 1985). Sambungan tumpul dapat dirinci menjadi sambungan dengan kampuh persegi, V, U, Y, X, K, dan sebagainya.

Pengaruh bentuk kampuh las terhadap struktur mikro dan sifat mekanis baja EMS 45 yang merupakan baja karbon menengah telah dipelajari oleh Sujiono, dkk.(1998). Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa bentuk kampuh V memberi kekuatan tarik tertinggi.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Bahan Penelitian dan Prosedur Pengelasan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah baja plat Eysen dengan ketebalan 12 mm, dilas dengan metode SMA W menggunakan elektroda E6013 berdiameter 3,2 mm.

Pengelasan dilakukan dengan parameter sebagai berikut :

Kampuh	Arus		Diameter Elektroda	Lapisan	Kecepatan pengelasan (mm/dtk)	Metode Pendinginan
	Penembusan	Pengisian				
V	95 A	120 A	3,2	8	2,30	Udara ruangan
U	95 A	120 A	3,2	8	2,30	Udara ruangan
X	95 A	120 A	3,2	6	2,34	Udara ruangan

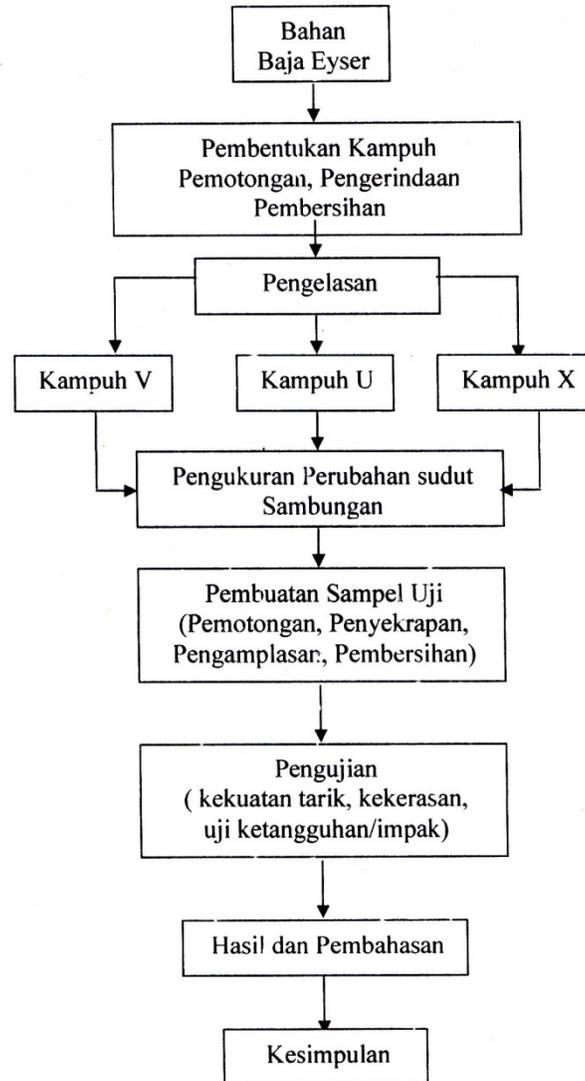
Kecepatan pengelasan dibuat konstan, oleh karena itu pengelasan dilakukan oleh tenaga ahli yang berpengalaman dalam praktisi pengelasan, di bengkel fabrikasi, Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik UNY.

B. Variabel Penelitian

Terdapat dua macam variabel yang akan diteliti, yaitu variabel bebas dan variabel respon. Variabel bebas (variabel yang tidak tergantung pada variabel lain) pada penelitian ini adalah bentuk kampuh. Variabel respon (variabel yang tergantung pada variabel bebas) : yang akan diukur adalah sifat-sifat mekanik sambungan pengelasan.

C. Rancangan Penelitian

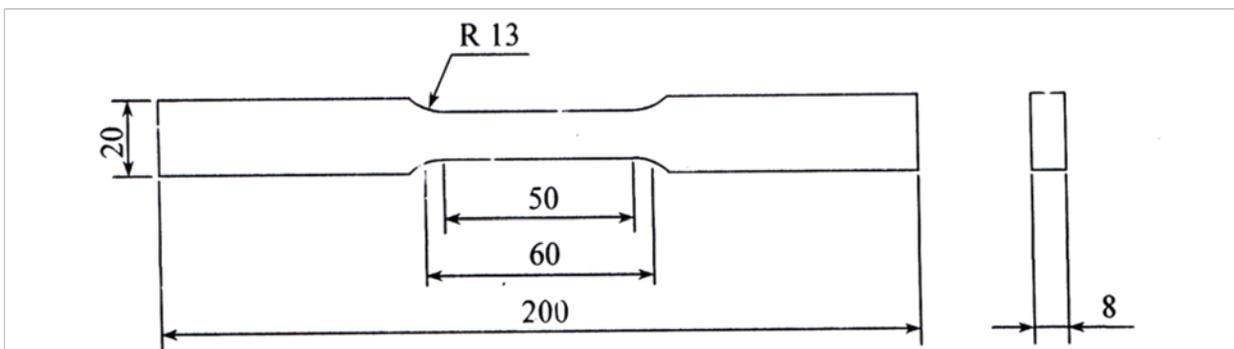
Tahapan penelitian secara garis besar ditampilkan dalam skema diagram alir gambar 3.



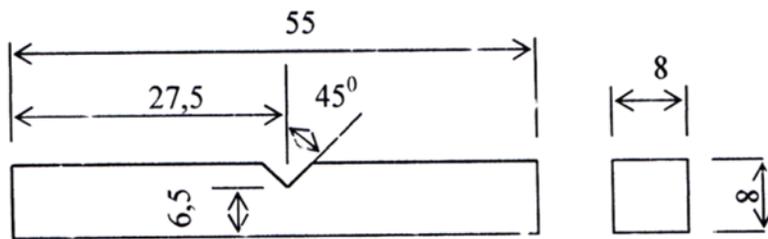
Gambar 3. Diagram alir penelitian proses pengelasan

Untuk memperoleh variable respon, dilakukan 4 macam pengujian, yaitu uji struktur mikro, uji kekuatan tarik, uji dampak dan uji kekerasan. Pada uji struktur mikro dilakukan dengan mikroskop optik dengan perbesaran 400x, uji tarik dilakukan dengan mesin uji tarik Universal Testing Machine (UTM). Spesimen benda uji dibuat sesuai standar ASTM seperti gambar 4. Uji dampak dilakukan

dengan metode *charpy* dengan spesimen uji dibuat seperti gambar 5, sedangkan uji kekerasan dilakukan menggunakan Rockwell B dengan mengambil 6 titik, yaitu 2 titik pada logam las, 2 titik di daerah HAZ dan 2 titik pada logam induk untuk masing-masing hentuk kampak. Pengujian kekerasan Rockwell B dilakukan di Lab. Bahan Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FT-UNY, sedangkan pengujian impak dan kekuatan tarik dilakukan di Lab. Bahan Teknik Mesin, UGM.



Gambar 4. Benda uji tarik



Gambar. 5. Benda Uji Impak

Tabel 2. Rancangan eksperimen

Bentuk Kampak	Pengujian			
	Uji Impak	Uji Mikro	Uji Tarik	Uji Kekerasan
V	3 benda uji	1 benda uji	3 benda uji	1 benda uji
U	3 benda uji	1 benda uji	3 benda uji	1 benda uji
X	3 benda uji	1 benda uji	3 benda uji	1 benda uji

BABIV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pengamaran, pengukuran dan pengujian didapatkan data penelitian sebagai berikut:

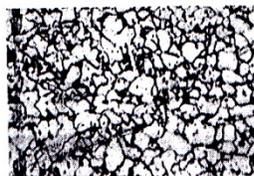
a. Hasil pengukuran perubahan sudut sambungan.

Kampuh	Sudut Awal	Sudut Perubahan
V	0 ⁰	5 ⁰
U	0 ⁰	7 ⁰
X	0 ⁰	2 ⁰

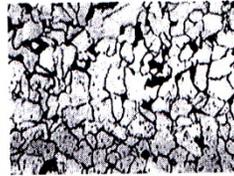
Parameter pengelasan yang digunakan hampir sama sehingga masukan panas yang terjadi juga hampir sama tetapi karena luas permukaan kampuh yang terkena panas berbeda dan proses pendinginan berbeda pula maka dari data di atas dapat kita ambil kesimpulan bahwa kampuh U memiliki kecenderungan terjadi perubahan sudut / lengkungan yang lebih besar dibandingkan dengan bentuk kampuh yang lain. Sedangkan pada kampuh X permukaan yang terkena panas lebih kecil dan terjadi pada dua bidang benda yang dilas sehingga terjadi pelengkungan balik disamping itu pendinginan lebih cepat. Pengaruh panas yang terjadi dapat dilihat pada struktur mikro dari sambungan las.

b. Hasil Uji Struktur Mikro

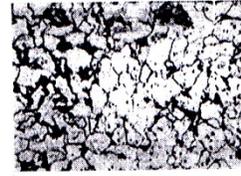
Pengujian struktur mikro menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 400 x, daerah yang diamati adalah pada daerah logam las. Seperti terlihat pada gambar 6.



a. Kampuh X



b. Kampuh U



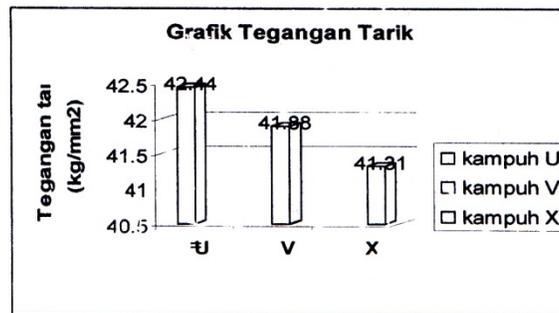
c. Kampuh V

Gambar 6. Struktur mikro sambungan las

Pada sambungan las terlihat struktur logam yang terjadi adalah sebagian besar ferit (berwarna terang) dan kemungkinan perlit, windmastaten ferrite, acicular ferrite, bainit inklusi atau presipitasi (berwarna gelap). Untuk lebih jelasnya sebaiknya dilakukan pemeriksaan struktur mikro yang lebih cermat dengan perbesaran yang lebih besar sehingga dapat dianalisa secara lebih detail.

c.Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik menggunakan mesin tarik Tarnogorchi dengan beban maksimum 20 ton.Pengujian tarik dilakukan pada bahan hasil pengelasan dengan sambungan las arah transfersal, ukurar, spesimen dibuat sesuai standar ASTM.Hasil pengujian tarik dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7.Grafik kekuatan tarik sambungan las.

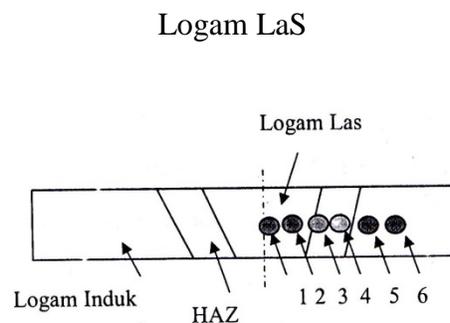
Berdasarkan gambar 7 terlihat kekuatan tarik rata-rata tertinggi terdapat pada kampuh U sebesar 42,44 kg/mrrr', diikuti oleh sambungan kampuh V dengan 41,88 kg/ mrrr' dan sambungan kampuh X dengan 41,31 kg/mrrr'. Dalam pengujian tarik spesimen kampuh V semua patah pada sambungan las, kampuh X patah diluar sambungan sedangkan kampuh U ada yang

patah pada sambungan tetapi ada yang dilogam benda kerja. Dengan demikian gambar 7 diatas tidak menggambarkan kekuatan tarik sesungguhnya dari sambungan las.

Pada sambungan dengan kampuh X, yaitu semua patahan akibat uji tarik terjadi diluar logam las, berarti kekuatan tarik sambungan las lebih tinggi dari logam induknya. Mungkin saja sambungan las dengan kampuh X mempunyai kekuatan tarik tertinggi. Sedangkan pada sambungan dengan kampuh U juga tidak dapat ditarik kesimpulan. Tetapi dari gambar struktur mikro kemungkinan besar sambungan las dengan kampuh X memiliki kekuatan tarik tertinggi karena butiran strukturnya yang halus (kecil). Gambar 6a. Sedangkan sambungan las dengan kampuh U mungkin memiliki kekuatan tarik yang sebanding atau sedikit lebih rendah dari sambungan dengan kampuh V mengingat butiran strukturnya hampir sama. (gambar 6b dan 6c) Kekuatan tarik las tidak hanya ditentukan oleh luasan yang dikenai gaya tarik tetapi akan dipengaruhi oleh prosedur dan cara pengelasan yang diterapkan. Bila prosedur dan cara pengelasan dilakukan dengan benar maka akan dihasilkan kualitas sambungan yang lebih baik.

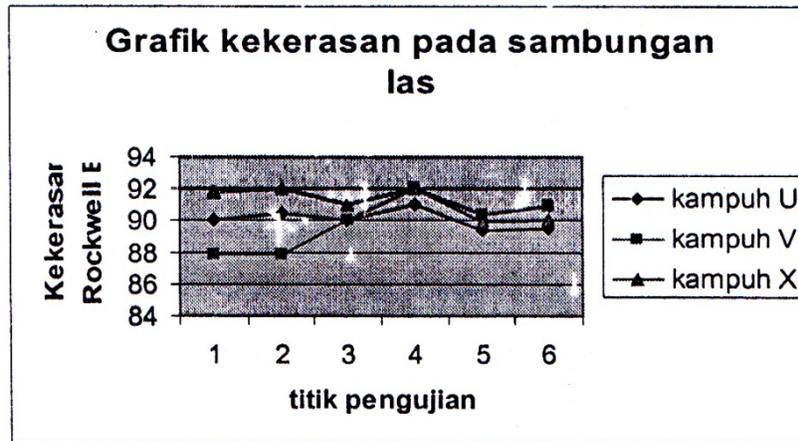
d. Hasil Uji Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan dengan uji Rockwell B pada daerah logam las, HAZ dan logam induk sambungan las seperti terlihat pada gambar 8.



Gambar 8. Titik-titik pengujian kekerasan

Hasil pengujian kekerasan ditampilkan pada gambar 9.

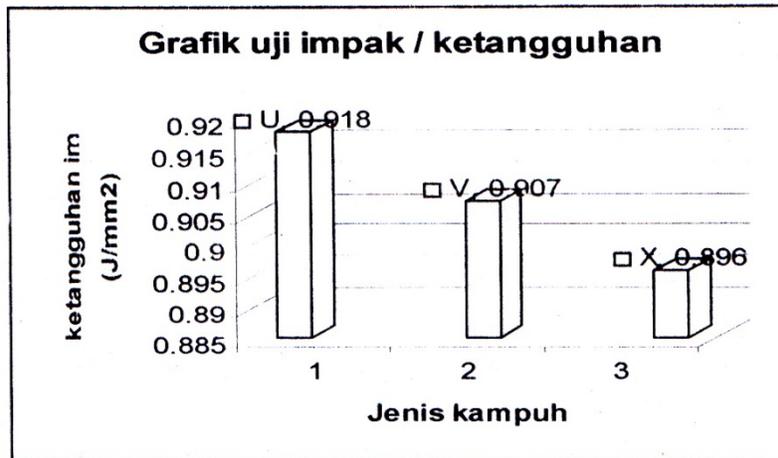


Gambar 9. Grafik hasil uji kekerasan

Dari grafik diatas terlihat sambungan las kampung X memiliki kekerasan paling tinggi berangsur turun pada logam induk. Hal ini sesuai dengan gambar 6a yang memperlihatkan butiran struktur halus yang pada umumnya akan memberikan harga kekerasan lebih tinggi. Jelas pula disini, bahwa kekuatan tarik sambungan las dengan kampung X kemungkinan memiliki harga tertinggi dibandingkan sambungan dengan kampung V dan U. sedangkan kekerasan sambungan las dengan kampung U lebih tinggi dari pada sambungan las dengan kampung V. Jika dilihat struktur mikro (gambar 6b dan c), maka seharusnya kekerasan pada sambungan las dengan kampung V sedikit lebih tinggi dari pada kampung u karena a butuiran struktur pada sambungan dengan kampung V sedikit lebih halis. Hal ini mungkin disebabkan pada saat pengujian kekerasan, permukaan benda uji kurang rata, padahal perbedaan kekerasan antara keduanya seharusnya hanya sedikit saja, kemungkinan lam adalah pada saat pengujian kekerasan sambungan las dengan kampung V lebih banyak mengenai bagian yang banyak terkandung ferit.

f. Hasil Uji Impact / Ketangguhan

Dari hasil pengujian impact yang dilakukan dengan metode *charpy* dengan panjang lengan 0.8 m dan berat palu 20 kg diperoleh harga impact seperti ditampilkan dalam gambar 10.



Gambar 10. Grafik hasil Uji Impact / Ketangguhan

Ketangguhan impact charpy diperoleh dengan cara membagi energi yang diserap oleh benda uji dengan luas penampang yang patah. Dari hasil pengujian impact yang dilakukan pada suhu ruang didapatkan ketangguhan sambungan las dengan kampuh U, V dan X yang disajikan pada gambar 10. Tampak bahwa sambungan kampuh U memiliki ketangguhan yang paling tinggi dibandingkan sambungan las dengan kampuh V dan X. Keadaan ini menunjukkan bahwa sambungan las dengan kampuh U lebih ulet. Hal ini sesuai dengan gambar struktur mikro yang memperlihatkan sambungan las dengan kampuh U mempunyai butiran struktur mikro kasar yang umumnya bersifat ulet, lunak dan kekuatannya rendah. Melihat dari perubahan sudut defleksi, hasil pengamatan struktur mikro dan uji impact charpy, semua saling terkait dan mendukung. Yaitu bahwa, sambungan las dengan kampuh U laju pelepasan panas paling lambat, akibatnya struktur mikro yang terbentuk pada logam las menjadi kasar, sehingga memberi harga ketangguhan impact charpy yang tinggi. Sedangkan sambungan kampuh V laju pelepasan panasnya sedikit lebih cepat karena celah kampuh yang sempit. Demikian pula halnya dengan

sambungan kampuh X. namun dernikian hasil uji tarik dan kekerasan tidak memberikan gambaran sesungguhnya dari karakteristik sambungan las dengan kampuh U, V dan X. tetapi hal ini telah dibahas pada uraian diatas.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada proses pengelasan, jenis sambungan kampuh U memiliki kecenderungan untuk melengkung lebih besar dibanding sambungan kampuh V dan X karena walaupun parameter pengelasan dibuat sarna tetapi luas permukaan kampuh yang menerima panas lebih luas dan laju pendinginan yang lebih lambat menyebabkan terjadinya pelengkungan sambungan lebih besar.
2. Pada pengujian struktur mikro didapatkan struktur mikro logam las terdiri dari sebagian besar ferit dan kemungkinan inklusi, perlit atau presipitasi. Jenis sambungan kampuh X struktur ferit lebih kecil dibandingkan kampuh V dan U yang disebabkan pengaruh panas yang lebih sedikit sehingga menjadikan struktur ini memiliki kekuatan tarik dan kekerasan lebih tinggi namun getas.
3. Jenis sambungan kampuh U memiliki harga impak / ketangguhan lebih tinggi disebabkan oleh besarnya struktur ferit yang terjadi pada logam las kampuh U yang disebabkan oleh pengaruh panas yang terjadi sehingga lebih lunak dan ulet, demikian sebaliknya kampuh X dengan struktur ferit yang lebih kecil memiliki kekuatan tarik dan kekerasan yang besar tetapi harga energi impaknya kecil.

DAFTAR PUSTAKA

Cary, H.B., 1998, *Modern Welding Technology*, 4th edition, Prentice Hall, New Jersey, USA.

Easterling, Kenneth., 1983 *Introduction to the Physical Metallurgy of Welding*, Butterworths & Co. Ltd.

Harrison P.L., and Farrar R.A., 1989, "Application of CCT Diagram for Welding of Steels", *International Material Review*, (34).

Jamasri dan Subarmono, 1999, Pengaruh Pemanasan Lokal terhadap Ketangguhan dan Laju Perambatan Retak Plat Baja "Grade B", *Media Teknik, UGM.*, Yogyakarta.

Kou, S., 1987, *Welding Metallurgy*, John Wiley & Sons, Singapore.

Sujiono., Mudjijana., dan Kartikasati, R., 1998, Studi Pengaruh Bentuk Kampuh Las terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanis pada JEM 45, *Jurnal Teknologi Nasional*. Vol. II, No.1, p. 31-36, S111{as, Yogyakarta.

Wiryo Sumarto, H.; dan Oku T., 1985 " *Teknologi Pengelasan Logam*, cetakan ke-3, Pradnya Paramita, Jakarta,