

## **Pengaruh Masukan Panas Terhadap Sifat Mekanis Sambungan Las Antara Baja Karbon Rendah Dengan Baja Tahan Karat**

Handoko<sup>1)</sup> dan D. N. Adnyana<sup>1,2)</sup>

1) Program Studi Materials Science, Program Pascasarjana Universitas Indonesia

2) UPT-Laboratorium Uji Konstruksi, BPPT

**Handoko dan D.N. Adnyana.** Pengaruh Masukan Panas Terhadap Sifat Mekanis Sambungan Las Antara Baja Karbon Rendah Dengan Baja Tahan Karat. Jurnal Ilmu dan Rekayasa Material. Desember 1999; 1(3): 1-9

### **Abstrak**

Dalam pengelasan antara baja karbon rendah dengan baja tahan karat banyak ditemukan masalah. Namun demikian di lapangan sering ditemui kondisi yang memaksa harus dilakukan pengelasan antara kedua baja tersebut, seperti pada peralatan atau konstruksi untuk tekanan tinggi, untuk pemakaian suhu tinggi atau lingkungan korosif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh masukan panas terhadap sifat mekanis sambungan las antara baja karbon rendah dengan baja tahan karat. Bahan yang digunakan adalah baja karbon rendah ST 41 Kelas E (BKI) dan baja tahan karat AISI 304. Teknik pengelasan yang digunakan adalah las busur listrik menggunakan kawat las AWS E 309 dengan variasi masukan panas. Pengujian sambungan las meliputi uji tarik, uji tekuk, uji kekerasan dan metalografi. Dari penelitian ini diperoleh kuat tarik yang hampir sama yaitu sekitar  $49,30 \text{ Kg/mm}^2$  pada masukan panas 7291 - 6742 Joule/Cm dengan keuletan sekitar 27,97 %. Kegagalan uji tekuk terjadi pada masukan panas 7291 Joule/Cm dan 6742 Joule/Cm. Kekerasan rata-rata sebesar 299,9804 Hv dicapai pada logam las bagian atas dengan masukan panas 6742 Joule/Cm. Uji metalografi dengan mikroskop optik dan SEM-EDAX menunjukkan bahwa struktur mikro HAZ - baja tahan karat mengalami presipitasi karbida serta terbentuk retak pada struktur perbatasan antara logam las dengan baja karbon rendah. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa masukan panas yang besar menghasilkan kuat tarik dan elongasi yang hampir sama dan lebar HAZ yang lebih besar, sebaliknya masukan panas yang kecil menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi.

### **Abstract**

There are many problems encountered in welding mild and stainless steels. However there are many conditions forcing to weld between those steels, for instance in high pressure, high temperature or corrosive environmental condition. The purpose of this research was to study the influence of heat input on the mechanical properties of weld joint between low carbon steel and stainless steel. In this research low carbon steel ST 41 class E (BKI) and stainless steel AISI 304 were used. Different heat inputs were applied by SMAW process and the welding electrodes used were AWS E 309 type. The tests of weld joint include tensile test, bending test, hardness test and metalography. The results show that the average tensile strength is of  $49,30 \text{ Kg/mm}^2$  obtained based on heat input 7291 and 6742 Joule/Cm with elongation of 27,97 %. The failure of bending test occurred for heat input at 7291 Joule/Cm and 6742 Joule/Cm. The heat input of 6742 J/Cm gives an average hardness values about 299,9804 Hv. The metalographic examination with microscope optical and

SEM-EDAX show that there were carbide precipitation observed in HAZ micro structure of stainless steel and there was a crack between weld metal and base metal of mild steel. It was also observed that large heat input did not affect the tensile strength and elongation but larger HAZ. On the other hand small heat input will results in high hardness.

## Pendahuluan

Pengelasan antara baja karbon rendah dengan baja tahan karat sering dijumpai pada sambungan konstruksi industri kimia dan petrokimia. Sambungan las timbul biasanya digunakan pada sambungan konstruksi yang mengalami tekanan tinggi, sambungan untuk peralatan bertemperatur tinggi (power plant), sambungan pipa yang berhubungan dengan vessel yang berisi fluida yang bersifat korosif, dan lain-lain.

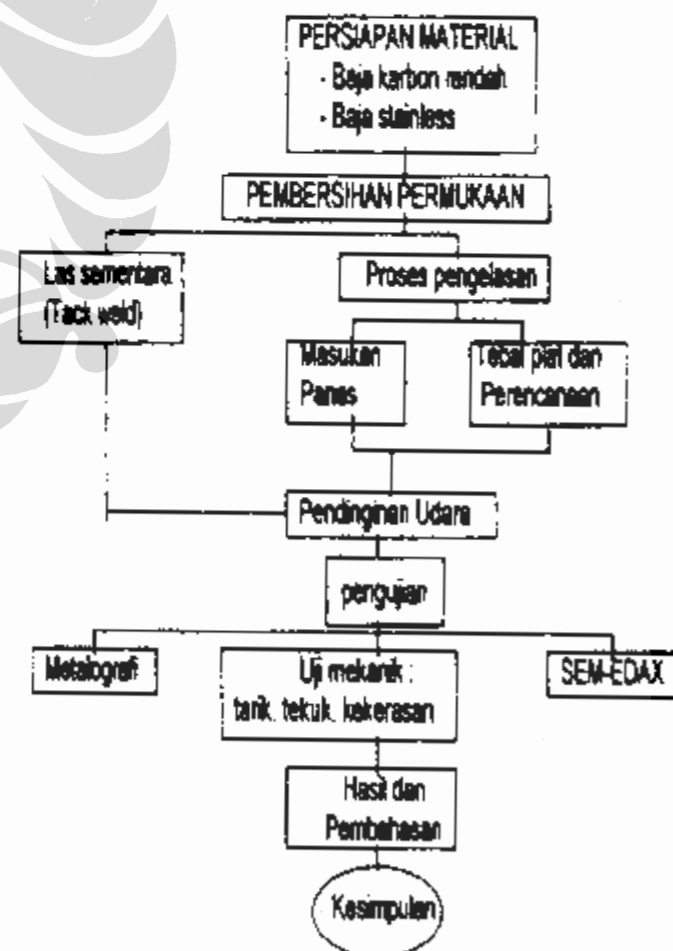
Dalam proses pengelasan busur listrik elektroda terbungkus (SMAW) antara baja karbon rendah dengan baja tahan karat banyak ditemukan masalah, seperti pemuaihan yang berbeda, pemilihan elektroda harus sesuai untuk pengelasan baja karbon rendah dengan baja tahan karat, kemudian pada pengejaan struktur mikro penampang spesimen sambungan las harus dilakukan 2 tahap yaitu dengan manual dan electric. Baja tahan karat jenis austenit mempunyai sifat mampu las yang lebih baik dibandingkan kedua jenis lainnya. Tetapi pada pendinginan lambat dari 680°C ke 480°C akan terbentuk Karbid Khrom yang mengendap diantara butir dan menyebabkan penurunan sifat tahan karat dan sifat mekaniknya<sup>1</sup>.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh masukan panas terhadap sifat mekanis sambungan las antara baja karbon rendah dengan baja tahan karat. Masukan panas dalam hal ini merupakan salah satu faktor yang selalu berubah untuk setiap pengelasan. Dengan diketahuinya hubungan ini dapat menentukan masukan panas yang tepat sesuai dengan sifat mekanis sambungan yang diinginkan.

Kualitas hasil pengelasan dapat diketahui dengan melakukan pengujian sifat mekanik dan pemeriksaan mikro struktur yang meliputi uji tarik, uji tekuk, dan uji kekerasan, mikroskop optik dan SEM-EDAX

## Bahan Dan Cara Kerja

Metode penelitian ini dirancang menurut proses pengelasan SMAW. Secara umum langkah-langkah kerja dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir proses Penelitian

Pada pengujian ini spesimen uji yang digunakan adalah baja karbon rendah dan baja tahan karat. Baja karbon rendah yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai tebal 10 mm, dengan dasar sifat tarik sebagai berikut : Kekuatan luluh = 286 N/mm<sup>2</sup>

Kekuatan tarik = 438 N/mm<sup>2</sup>

Regangan = 26 %

Sedangkan Komposisi kimianya dapat dilihat pada Tabel 1. Baja tahan karat yang digunakan sebagai spesimen uji adalah baja tahan karat tipe 304 yang mempunyai tebal 10 mm dengan komposisi kimia seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Elektrode yang digunakan dalam penelitian ini adalah merk Nikko type NSN 309 (AWS E 309 - 315) yang dapat digunakan untuk mengelas baja tahan karat 22% Cr -12% Ni dan dissimilar metal<sup>4,5,6</sup>, seperti baja tahan karat dengan baja karbon rendah. Komposisi kimia elektrode las tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.

Proses pengelasan busur listrik elektroda terbungkus dilakukan beberapa kali sesuai masukan panas yang dikehendaki yakni :

Masukan panas 1 =7291.01(Joule/Cm)

Masukan panas 2 =6931.32(Joule/Cm)

Masukan panas 3 =6742.889(Joule/Cm)

Pengujian sifat mekanik meliputi uji tarik, bending, kekerasan dan metalografi.

1) Uji tarik.

Pengujian tarik dilakukan memakai standart AWS/ANSI B.4.0-77, dimana benda uji dengan ukuran dan bentuk tertentu diberikan beban tarik yang kontinue sampai benda uji patah<sup>7</sup>.

2) Uji Tekuk (Bending Test)

Untuk mengetahui keuletan dari spesimen, dimana pada uji ini benda uji ditekan hingga membentuk huruf U<sup>7</sup>.

3) Uji Kekerasan (Hardness Test)

Pengujian kekerasan menggunakan metode mikro Vickers dengan beban 100 gram, dilakukan dengan cara menekan indenter dari intan yang berbentuk piramid dengan sudut puncak antara dua bidang sebesar 136°. Lebar HAZ diukur bersamaan dengan pengujian kekerasan<sup>8</sup>.

4) Uji Metalografi dengan mikroskop optik dan SEM-EDAX

Proses etsa mikro benda uji sambungan las antara baja karbon rendah dengan baja tahan karat dilakukan dalam 2 tahap. *Pertama*, Etsa mikro baja karbon rendah menggunakan larutan etsa (etsa reagent) 2 % nital dengan komposisi HNO<sub>3</sub> 3 ml, 90 % Ethyl alkohol 9.8 ml dengan waktu pencelupan 30 detik. *Kedua*, Electro etching dilakukan untuk etsa mikro baja stainless menggunakan 15 gram asam oksalat (powder) + 100 ml aquades disertai dengan aliran arus 7 - 8 Ampere selama 60 - 80 detik.

Selanjutnya dilakukan pemotretan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 200 X. Pengujian SEM-EDAX berfungsi untuk mengetahui dan

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja Karbon Rendah

Unsur (%)	C	Si	Mn	P	S
	0,166	0,034	0,746	0,010	0,008

Tabel 2 Komposisi Kimia Baja Stainless type 304<sup>2,3</sup>

Unsur (%)	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
	0,08	2,00	1,00	18,0 - 20,0	8,0-10,5	0,045	0,03

Tabel 3. Komposisi Kimia Elektroda Nikko (AWS E 309)<sup>4</sup>.

Unsur (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
	0,07	0,35	1,89	0,025	0,08	24,29	12,41

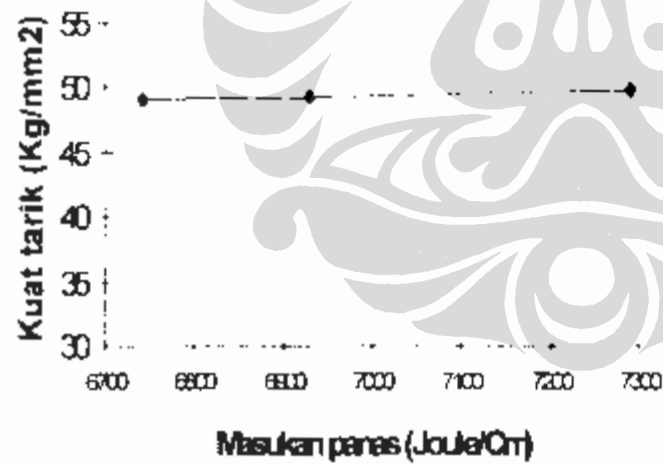
mengamati terjadinya perbedaan komposisi akibat difusi pada daerah sekitar sambungan las. Untuk proses pengamatan dengan SEM sama seperti yang dilakukan untuk mikroskop optik. Dari pengujian ini diperoleh data semi kuantitatif untuk distribusi komposisi kimia<sup>2</sup>.

### Hasil Penelitian

- Hasil Uji Tarik

Uji tarik menggunakan alat uji tarik merk Servopulser Shimadzu dengan kapasitas 30 ton. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 3 dan 4.

Semua patahan uji tarik dalam penelitian ini terjadi di luar sambungan las, yaitu pada daerah logam induk, hal ini telah memenuhi syarat.



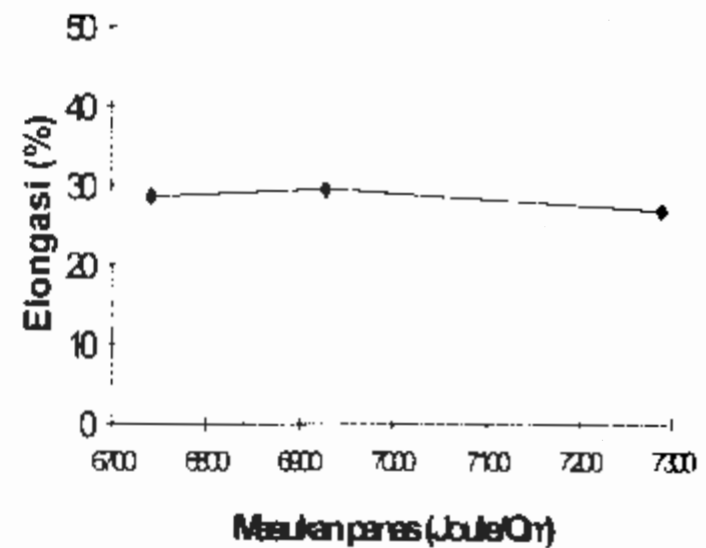
Gambar 2. Hubungan masukan panas dan kuat tarik (titik menunjukkan data pengamatan)

- Hasil Uji Tekuk

Uji tekuk menggunakan alat uji tekuk merk Instron kapasitas 10 Ton yang ditekan sampai sudut 150°, hasil uji tekuk tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.

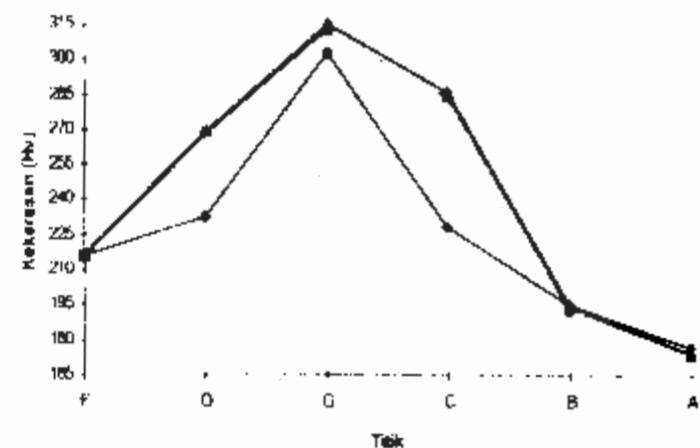
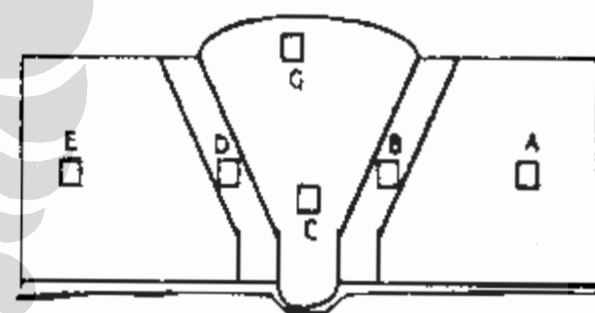
- Uji Kekerasan

Uji kekerasan menggunakan sistem kekerasan mikro Vickers, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 7 dan Gambar 4.

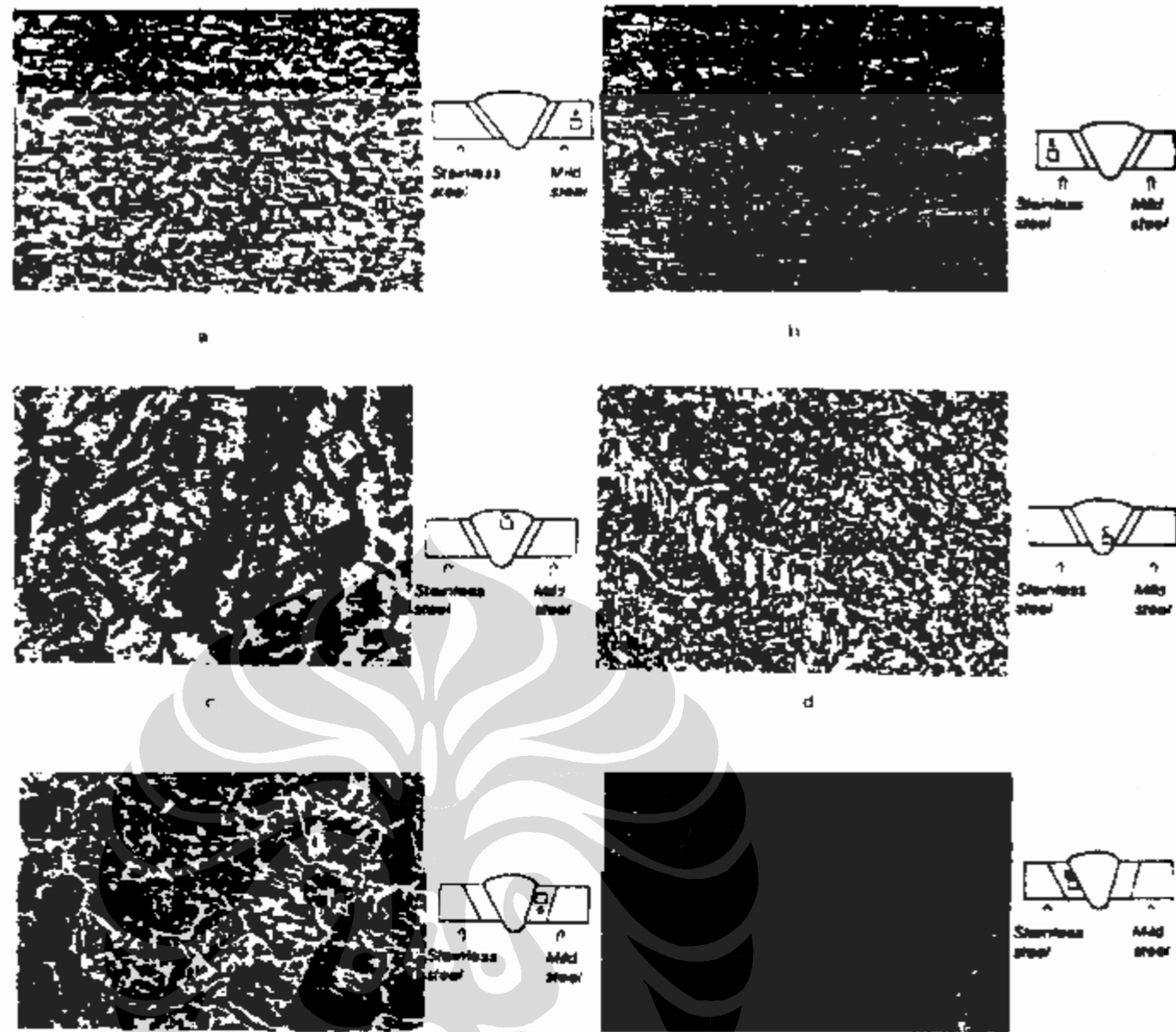


Gambar 3. Hubungan masukan panas dan elongasi (titik menunjukkan data pengamatan)

Stainless steel ⇒ ⇒ Mild steel



Gambar 4. Hubungan kekerasan dengan titik (Posisi) pengukuran (titik menunjukkan data pengamatan)



Gambar 6. Hasil pengamatan struktur mikro pada bagian daerah, (a) logam induk baja karbon rendah, (b) logam induk baja stainless, (c) logam las atas, (d) logam las bawah, (e) HAZ antara logam las dengan baja karbon rendah, (f) HAZ antara logam las dengan baja stainless (200 X).

• Hasil Pemeriksaan Metalografi.

Pemeriksaan dengan mikroskop optik terhadap spesimen hasil pengelasan antara baja karbon rendah dengan baja tahan karat pada setiap posisi yang mengenai daerah logam las, HAZ, batas las dan logam induk dapat dilihat pada Gambar 7.

Hasil pengamatan dari Gambar 6 selanjutnya dapat dianalisa bagaimana jenis fasa struktur mikro yang terbentuk dari ketiga daerah tersebut.

a. Struktur logam induk

Dari Gambar 6.a foto struktur Mikro logam induk baja karbon rendah

dari benda uji menunjukkan bahwa strukturnya terdiri dari perlit yang berwarna kelabu dan ferrit yang berwarna putih, tetapi struktur perlit lebih mendominasi dari struktur ferrit. Sedangkan dari Gambar 6.b foto struktur mikro logam induk baja tahan karat menunjukkan struktur Austenit

b. Struktur daerah terpengaruh panas (HAZ)

Dari Gambar 6.e foto struktur mikro daerah HAZ antara logam las dengan baja karbon rendah, terlihat bahwa struktur mikro yang terbentuk adalah Widmanstatten dan fasa yang terbentuk

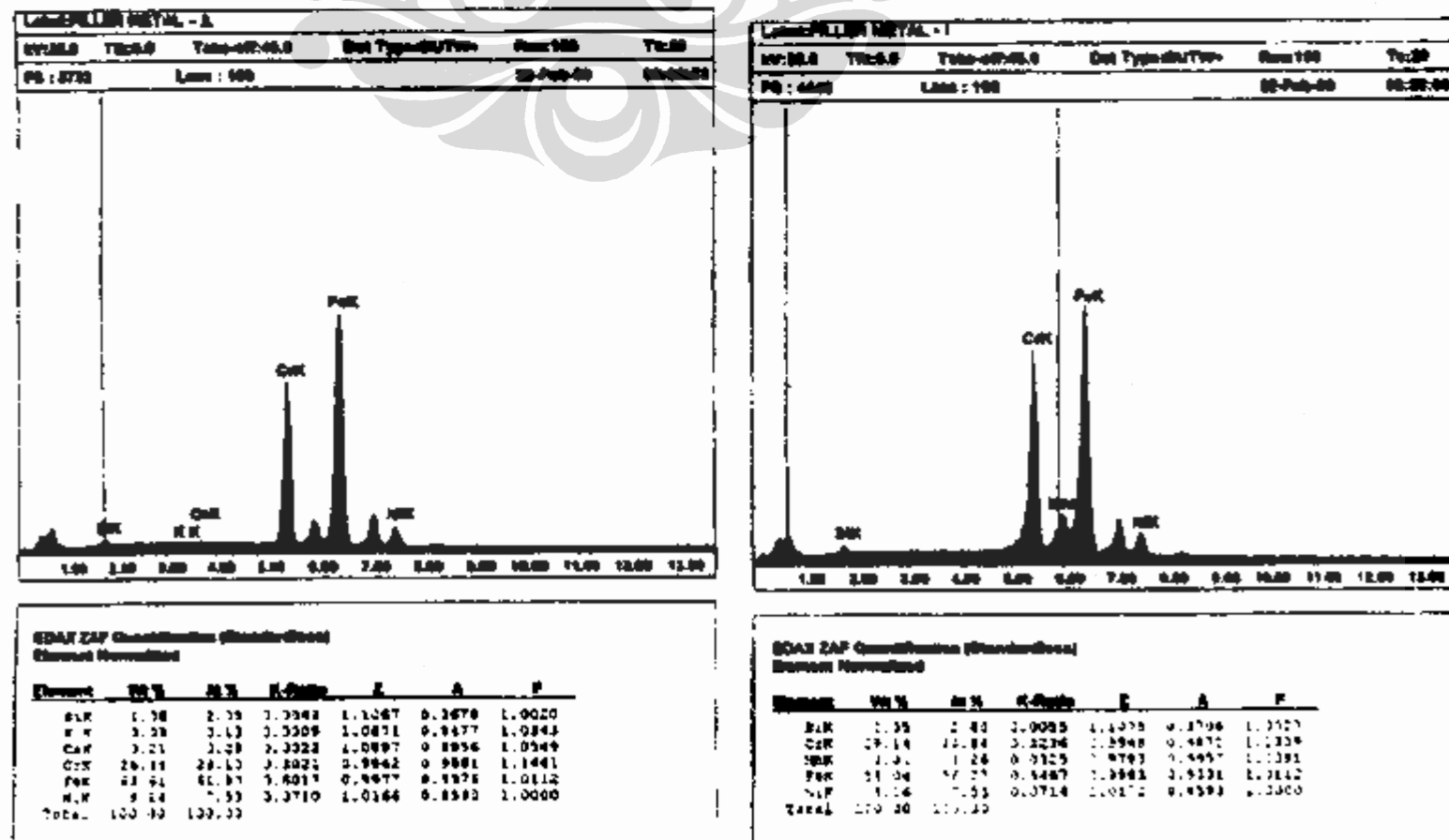
terdiri dari perlit dan ferrit. Pada daerah ini ukuran butir yang terbentuk besar dan kasar serta berbentuk fasa bainit, hal ini disebabkan karena daerah ini sangat berdekatan dengan daerah lebur yang mempunyai temperatur puncak yang tinggi. Perbedaan masukan panas pada setiap spesimen memberikan pengaruh terhadap besar ukuran butir, dengan demikian dapat dikatakan bahwa semakin besar masukan panas akan menyebabkan ukuran butir semakin besar dan HAZ semakin lebar.

Sedangkan dari Gambar 6.f foto struktur mikro pada bagian daerah HAZ – baja tahan karat SS 304 terlihat terdiri dari austenit, ferrit dan karbida. Terbentuknya endapan karbida khrom disebabkan pendinginan yang perlahan-lahan, untuk menghindari terbentuknya karbida khrom sebaiknya menggunakan baja stainless SS 304L yang memiliki %C lebih rendah.

c. Struktur daerah logam las

Dari foto struktur mikro pada Gambar 6.c dan 6.d terlihat bahwa struktur mikro pada daerah logam las bagian atas mempunyai komposisi struktur bainit, martensit, karbida dan austenit, tetapi pada daerah las bagian bawah mempunyai komposisi perlit, austenit dan karbida.. Hal ini disebabkan karena pada bagian logam las bagian atas mengalami pendinginan yang lebih cepat dibandingkan dengan logam las bagian bawah. Terbentuknya fasa bainit - martensit pada logam las bagian atas dapat menyebabkan sambungan las menjadi getas. Pada daerah ini temperatur puncaknya diatas 1500°C, hal ini menyebabkan struktur mikro pada daerah logam las berbentuk kolumnar (pilar-pilar). Semakin besar masukan panas akan menyebabkan struktur pilar semakin besar dan kasar.

Hasil pengujian SEM -EDAX dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Spektrum Analisis kuantitatif "EDAX" pada logam las (a) spesimen 1, (b) spesimen 2.



## Diskusi

Hasil uji tarik pada Tabel 5 dan grafik pada Gambar 2 dan 3 memperlihatkan bahwa secara umum menghasilkan kuat tarik yang hampir sama untuk semua masukan panas, hal ini disebabkan karena perbedaan masukan panas tertinggi dan terendah tidak berbeda jauh hanya sekitar 600 Joule/Cm, sehingga menghasilkan struktur mikro yang hampir sama.

Dari hasil uji bending pada Tabel 6, diketahui terjadi 2 kegagalan pada face bend dengan masukan panas 7291 Joule/Cm dan 6742,89 Joule/Cm. Hal ini disebabkan karena masukan panas yang besar menghasilkan sifat ulet lebih buruk dibandingkan masukan panas lebih kecil dan pendinginan yang cepat, sehingga membentuk fasa bainit-martensit pada logam las bagian atas yang menyebabkan sambungan las menjadi getas.

Dari grafik pada Gambar 6 terlihat bahwa pada masukan panas yang kecil memiliki nilai kekerasan yang tinggi, sebaliknya pada masukan panas yang lebih besar memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah. Hal ini disebabkan karena pada masukan panas yang lebih kecil mengalami pendinginan yang lebih cepat, sehingga membentuk struktur mikro fasa bainit - martensit yang keras. Secara umum dapat dikatakan bahwa daerah logam las (titik G dan C) yang struktur mikronya fasa bainit - martensit yang memiliki nilai kekerasan paling tinggi, kemudian berangsur-angsur turun kekerasannya hingga daerah batas las dan turun lagi pada daerah logam induk (titik E dan A) karena struktur mikro logam induk baja karbon rendah terdiri dari fasa perlit dan ferit.

Dari grafik pada Gambar 6 dapat dianalisis bahwa lebar daerah HAZ baja karbon rendah lebih lebar dari daerah HAZ baja tahan karat, hal ini disebabkan karena baja karbon rendah mempunyai sifat konduksi panas lebih besar dari baja tahan karat (konduktivitas panas (k) baja

karbon rendah 52 W/m.K dan baja tahan karat 16 W/m.K)<sup>10</sup>.

Dari hasil SEM terlihat struktur perbatasan antara logam las dengan baja karbon rendah terdapat retak pada benda uji No. 3, hal ini kemungkinan disebabkan karena perbedaan pemuaihan dan perbedaan tegangan termal.

Hasil pengamatan dengan EDAX, analisis kualitatif dimulai dari puncak tertinggi, kemudian dicocokkan puncak-puncak (energi sinar-X karakteristik) suatu unsur dengan garis-garis spektrum unsur yang tampil pada layar monitor EDAX maka dari puncak tersebut dapat diketahui nama unsurnya. Sedangkan untuk analisa semi kuantitatif dipakai satu puncak pada setiap unsurnya, biasanya puncak terbesar. Dengan analisis semikuantitatif komposisi kimia dari bahan yang dianalisa dapat diperkirakan.

## Kesimpulan

Dari hasil eksperimen dan analisis yang telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh masukan panas terhadap sifat mekanis sambungan las antara baja karbon rendah dengan baja stainless dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Secara umum untuk kuat tarik sulit diambil kesimpulan karena menghasilkan kuat tarik yang hampir sama, hal ini disebabkan karena perbedaan masukan panas tertinggi dan terendah hanya sekitar 600 Joule/Cm. Sedangkan untuk nilai kekerasan semakin kecil masukan panas menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi.
2. Kegagalan uji tekuk dalam bentuk keretakan terjadi pada masukan panas 7291 Joule/Cm dan 6742,89 Joule/Cm
3. Lebar daerah HAZ (daerah terpengaruh panas) baja karbon rendah lebih lebar dari pada HAZ baja stainless, hal ini disebabkan karena baja karbon rendah mempunyai daya hantar panas lebih besar dari baja stainless (konduktivitas panas (k) baja

karbon rendah 52 W/m.K dan baja stainless 16 W/m.K)<sup>10</sup>.

4. Terbentuknya presipitasi karbida khrom pada batas butir di daerah HAZ-baja stainless SS 304 akan mengakibatkan daerah batas butir menjadi lebih mudah terkorosi dibandingkan dengan butirnya.
5. Struktur perbatasan antara logam las dengan baja karbon rendah setelah di foto dengan SEM-EDAX terdapat retak pada sampel no. 3, hal ini dimungkinkan karena perbedaan pemuaian, perbedaan tegangan thermal yang besar dan *galvanic corrosion*.

#### Daftar Pustaka

1. Wiryosumarto. H dan Okumura. T. *Teknologi Pengelasan logam*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta. 1979.
2. Sedriks. A.J. *Corrosion of Stainless Steels*, John Wiley & Son. Inc., New York. 1979.
3. AWS Committee On Piping And Tubing. *Spesification For Qualification Of Welding Procedures And Welder For Piping And Tubing*. American Welding Society, Inc. Florida. 1980.
4. Alam Lestari. *Welding Consumables*. Nikko Steel, Jakarta. 1996.
5. Davies. A.C. *The Science And Practice Of Welding*. Cambridge University Press. 1990.
6. Intan. P. *Industri Kawat Las Listrik RB-26*. Kobe Steel, Japan. 1993.
7. American National Standar Institute. *Standar Methods For Mechanical Testing Of Welds*. American Welding Society, Inc. Florida. 1976.
8. Biro Klasifikasi Indonesia. *Peraturan Klasifikasi Dan Konstruksi Kapal Laut. Peraturan Bahan Dan Las*. Kantor Pusat BKI, Jakarta. 1978.
9. Ari. H dan Wagiyono H. *Petunjuk Praktikum Scanning Electron Microscope (SEM) Dan Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS)*. Pusat Penelitian Sains Materi BATAN. Serpong, Jawa Barat. 1997.
10. William D. C. Jr. *Materials Science and Engineering An Introduction*. John Wiley & Sons, Inc New York. 1994.