

PENGARUH SIDE HEATING PADA PENGELASAN LOGAM TAK SEJENIS ANTARA BAJA KARBON DAN BAJA TAHAN KARAT TERHADAP DISTRIBUSI TEGANGAN SISA

Zainal Arifin¹⁾, Triyono²⁾, M. Rifai Muslih³⁾, M. Noer Ilman⁴⁾, R. Soekrisno⁵⁾

Jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret^{1,2)}

Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta 57126

E-mail: zainal_mp@yahoo.co.id¹⁾

Neutron Scattering Lab. P3IB, BATAN, Serpong³⁾

Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada^{4,5)}

Abstrak

Sambungan logam tak sejenis antara baja tahan karat dengan baja karbon telah banyak diaplikasikan. Dalam pengelasan timbul distorsi akibat distribusi termal yang tidak seragam pada saat pengelasan, dan beberapa penelitian menunjukkan bahwa distorsi ini dapat diminimalisasi dengan side heating. Dengan adanya side heating maka terjadi perubahan sifat fisik-mekanik hasil pengelasan dan salah satunya adalah tegangan sisa. Material yang diteliti adalah SUS304 dengan SPHC. Pengelasan dilakukan dengan las otomatis kecepatan 2mm/det dengan pemanas samping berukuran 6x12cm berjarak 1 cm dari garis las dan temperatur hasil pemanasan adalah 300oC. Pengukuran tegangan sisa dilakukan di Neutron Scattering Laboratory BATAN Serpong. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan sisa pada bagian SUS 304 yang mengalami side heating, berubah dari tegangan tekan menjadi tegangan tarik, sedangkan pada bagian SPHC yang mengalami side heating, tegangan tekannya berkurang.

Kata kunci: sambungan logam tak sejenis, tegangan sisa, side heating

PENDAHULUAN

Sambungan logam tak sejenis antara baja karbon dan baja tahan karat banyak diaplikasikan pada konstruksi kereta api, power plant dan industri kimia [8]. Penggunaan sambungan logam tak sejenis ini bertujuan untuk memenuhi ketahanan korosi sekaligus untuk penghematan material karena akan tidak ekonomis jika material bagian tersebut seluruhnya terbuat dari baja tahan karat. Dalam proses pengelasan sering timbul permasalahan distorsi (perubahan dimensi dan bentuk) yang disebabkan oleh distribusi temperatur saat pengelasan yang tidak merata dan juga disebabkan oleh kecepatan pembekuan pada daerah lebur yang cepat sehingga terjadi penyusutan (*shrinkage*) yang tidak merata [11].

Beberapa metode mitigasi distorsi telah banyak diteliti, salah satunya adalah dengan metode *side heating* yaitu pada saat pengelasan pada kedua sisi garis las diberi pemanas sekunder yang bergerak mengikuti pergerakan gun las. Sehingga teknik ini juga disebut dengan *transient thermal tensioning*. Tujuan diadkan *side heating* adalah untuk memperkecil gradien temperatur pada garis las dengan bagian disekelilingnya. Karena metode ini mengaplikasikan panas, maka kemungkinan besar akan mempengaruhi sifat fisik-mekanik hasil pengelasan, salah satunya adalah distribusi tegangan sisa. Distribusi tegangan sisa dalam pengelasan sangat

penting untuk diteliti karena sangat mempengaruhi sifat-sifat yang lain, misalnya fatig, kerosi, kerosi tegangan atau kombinasi dari ketiga sifat tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *side heating* terhadap distribusi tegangan sisa di sekitar sambungan las logam tak sejenis antara baja karbon dengan baja tahan karat.

Penggunaan teknik *Transient Thermal Tensioning* sebagai metode untuk mitigasi distorsi sambungan T baja karbon telah diteliti oleh Deo & Michaleris [3]. Material yang digunakan adalah baja karbon dengan ketebalan 1/8 inchi. Metode *Transient Thermal Tensioning* adalah dengan menggunakan pemanas sekunder dengan temperatur 200°C dan jarak dengan garis las adalah 2 cm, dimensi pemanas adalah panjang 6 cm dan lebar 1 cm. Dalam penelitian ini juga dibandingkan beberapa alternatif penggunaan pemanas sekunder, yaitu *Steady Thermal Tensioning* dan hybrid antara penjepit dan pemanas sekunder. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hybrid antara penjepit dan *Transient Thermal Tensioning* menghasilkan sambungan las tanpa distorsi dan tanpa *bowing*.

Metode pengukuran tegangan sisa dengan sinar X digunakan oleh Assis et al. [1] untuk mengukur tegangan sisa pada sambungan las baja Al106GrB untuk pengelasan lurus dan las melingkar. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada pengelasan lurus tegangan sisa pada permukaan adalah kompresif

sedangkan pada HAZ dan lasan terjadi tegangan sisa tarik. Sedangkan pada pengelasan lingkaran pola distribusi tegangan sisa sangat kompleks.

Maurus and Fiala [10] mengukur tegangan sisa pengelasan spiral pada pipa dengan menggunakan metode *hole drilling*. Material yang diteliti adalah B37A. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tegangan sisa maksimum dicapai pada batas las yaitu 300 MPa, dan tegangan sisa ini dapat dikurangi dengan cara proses anealing pada temperatur 710°C dimana tegangan sisa maksimum tinggal 150 MPa.

Penggunaan difraksi neutron untuk mengukur tegangan sisa pada hasil pengelasan *Friction Stirring Welding* (FSW) pada material paduan Aluminium dilakukan oleh Sutton et al. [12]. Material yang digunakan adalah paduan Al 2024-T3. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa distribusi tegangan sisa adalah simetris terhadap garis las. Gradien tegangan antara garis las dan daerah setelahnya pada sepanjang garis las sangat besar. Pada arah ketebalan di dalam daerah shoulder terjadi tegangan sisa tekan dan gradien tegangan dengan bagian luar shoulder juga sangat besar.

Pengaruh geometri sambungan las pipa terhadap distribusi tegangan sisa diteliti oleh Katsumasa et al. [5]. Material yang digunakan adalah material pipa dan katup pada bejana tekan dengan diameter luar 609,6 dan tebal 37,43 mm. Panjang pipa yang dilas divariasikan 20,7, 51,8, 103,5 dan 256,8 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panjang pipa yang dilas tidak mempengaruhi distribusi tegangan sisa pada daerah sambungan las.

Geo et al [4] melakukan pengukuran tegangan sisa pada hasil pengelasan baja HSLA-100 dengan tebal 19 mm. Pengukuran tegangan sisa menggunakan difraksi sinar X portable. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada arah transversal tegangan sisa adalah tekan pada permukaan las kemudian berubah menjadi tegangan tarik pada jarak semakin jauh dari lasan, sedangkan pada arah longitudinal tegangan sisa adalah tarik dan semakin berkurang besarnya pada jarak yang semakin jauh dari las.

Menurut Weisman [14] tegangan sisa yang terjadi pada proses pengelasan mempengaruhi dua hal yaitu distorsi dan kegagalan fatig walaupun pada tegangan kerja yang rendah. Kitoumi dkk [6] meneliti pengaruh tegangan sisa terhadap perilaku perambatan retak korosi fatik (*corrosion fatigue crack growth*). Untuk tujuan ini pengujian dilakukan pada dua spesimen yang berbeda yaitu spesimen *center cracked tension* (CCT) dan spesimen *single edge cracked tension* (SECT). Tegangan sisa tarik pada ujung retak spesimen SECT lebih besar dari pada ujung retak spesimen CCT. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perambatan retak korosi pada spesimen SECT lebih besar dari pada perambatan retak korosi pada spesimen CCT, hal ini berkenaan dengan adanya distribusi tegangan sisa tarik. Pengaruh tegangan sisa terhadap fatig termal baja tahan karat martensitik telah diteliti oleh Lin and Chen [9]. Untuk membuat variasi tegangan sisa, hasil las SMAW

divariasikan dengan pemanasan paralel, *stress relief* vibrasi, *shot peening* dan *stress relief* temperatur rendah. Tegangan sisa diukur dengan metode *hole drilling* sesuai standar ASTM E837. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan sisa menurun dengan meningkatnya jumlah siklus fatig termal. Pada siklus temperatur rendah, retak pada garis fusi lebih besar dibandingkan dengan retak pada pusat las. Pada siklus temperatur tinggi, jumlah retak pada daerah fusi lebih rendah dibandingkan dengan pusat las, tetapi ukuran retaknya lebih besar.

Triyono, Diharjo K, Ilman dan Soekrisno melalui Hibah Pakarti III [13], berhasil memodifikasi *flame heating* yang mampu meningkatkan ketahanan korosi sambungan las logam tak sejenis antara baja karbon SS400 dengan baja tahan karat AISI 304 dengan filler ER308 dengan kondisi pengelasan mengikuti standar PT. INKA. *Flame heating* dilakukan dengan memanaskan sampai 1100°C dan didinginkan cepat dengan semburan air pada sisi baja tahan karat dan 700°C dengan pendingin udara pada sisi baja karbon. Alat ini mampu meningkatkan korosi 11% dibandingkan dengan tanpa perlakuan. Sedangkan metode *flame heating* yang dilakukan PT. INKA untuk mengurangi distorsi terbukti justru menurunkan ketahanan korosi sampai 23%.

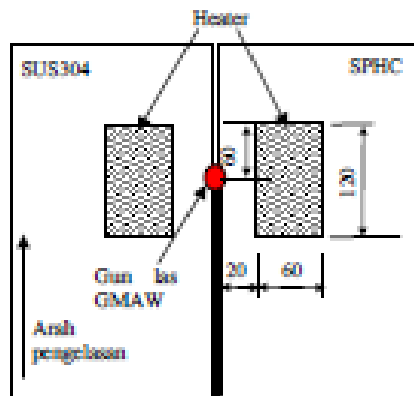
METODOLOGI PENELITIAN

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah plat baja SPHC dan plat baja tahan karat SUS304 dengan tebal 1,5 mm yang disambung dengan filler E70S. Komposisi kimia material adalah seperti terlihat pada tabel 1.

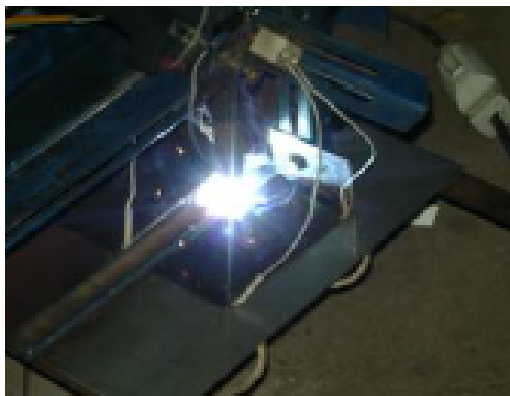
Tabel 1. komposisi kimia material penelitian

Material	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Mo	Cu
SUS304	0,08	2,00	1,00	18	8	0,045	0,030	-	-
SPHC	0,2	1,35	0,30	-	-	0,035	0,040	-	-
E70S	0,2	1,5	0,1	-	-	0,01	0,02	-	-

Pengelasan spesimen dilakukan menggunakan las GMAW (Gas Metal Arc Welding) yang dirancang otomatis dengan gas pelindung Argon, arus 70 A, tegangan 30 V, kecepatan las 3 mm/s, heat input 0,7 kJ/mm dan selama pengelasan pada sisi-sisi busur las diberi pemanas dengan ukuran 6x12cm yang dapat memberi panas kepada plat hingga mencapai temperatur 300°C. Skema alat *side heating* dapat dilihat pada gambar 1. Sedangkan proses pengelasan dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 1. Skema side heating



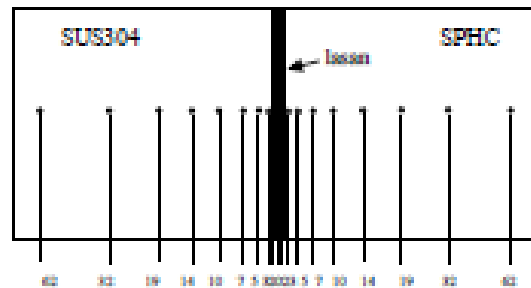
Gambar 2. Proses pengelasan

Pengukuran tegangan sisa dilakukan dengan hamburan neutron yang dilakukan di Neutron Scattering Laboratory, Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN), dengan $SiCr$ yang digunakan masing-masing untuk *sliter* dan *detector* adalah 1×1 dan 1×15 mm² untuk arah aksial sedangkan untuk arah normal dan transversal menggunakan 1×10 dan 1×15 mm². Titik pengukuran adalah seperti terlihat pada gambar 3. dengan posisi pengujian terlihat pada gambar 4.

Pada pengujian tegangan sisa dengan hamburan neutron ini menggunakan prinsip Bragg yang dapat dinyatakan seperti pada rumus (1).

$$2d \sin \theta = \lambda \quad (1)$$

dimana λ adalah panjang gelombang neutron yang difinisikan dengan puncak sampel Nikel standar. Untuk tipe bidang difraksi Nikel yang digunakan dalam pengukuran ini yaitu bidang 111, 200 dan 311. Rata-rata pengukuran panjang gelombang adalah: $\lambda = 1836461$ nm.



Gambar 3. Titik-titik pengujian (jarak dalam mm dihitung dari pusat las)



a) arah normal & transversal



b). Arah aksial

Gambar 4. Posisi pengujian untuk masing-masing arah

Kemudian regangan dihitung berdasarkan perubahan spasi lattice pada titik uji dibandingkan dengan spasi lattice material tanpa tegangan dengan persamaan seperti pada rumus (2).

$$\epsilon = \frac{d - d_0}{d_0} \quad (2)$$

Spasi lattice tanpa tegangan (d_0) diukur pada titik yang jauh dari garis las yaitu berjarak 60 mm dari garis las dan diambil pada spesimen tanpa perlakuan.

Masing-masing titik dilakukan tiga kali pengukuran yaitu arah normal, transversal dan arah aksial. Tegangan

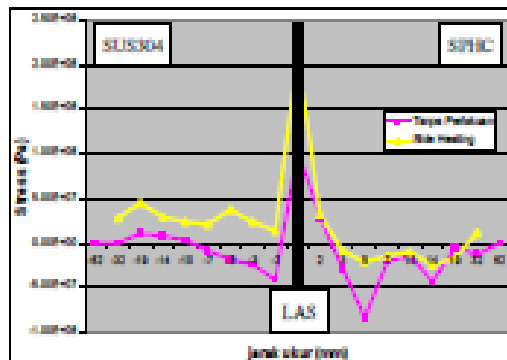
sisa dihitung dengan hukum Hooke, dengan rumusan sebagai berikut:

$$\sigma_{11} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [(1-\nu)\epsilon_{11} + \nu(\epsilon_{22} + \epsilon_{33})] \quad (3)$$

Dimana E adalah modulus elastisitas material dan ν adalah poisson ratio.

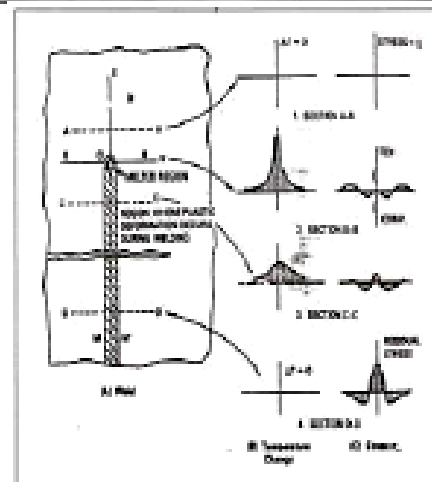
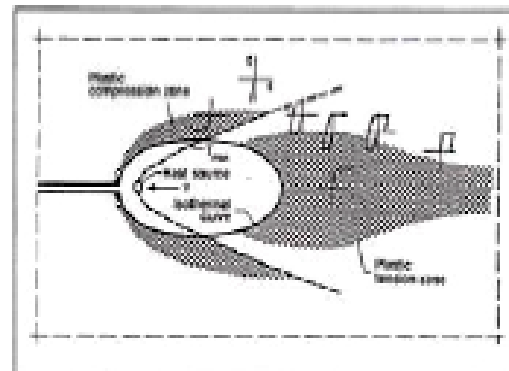
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Distribusi tegangan sisa hasil pengukuran dapat ditampilkan dalam bentuk grafik seperti terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Distribusi tegangan sisa

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa secara umum distribusi tegangan sisa pada pengelasan adalah pada garis las terbentuk tegangan tarik (+) yang cukup tinggi, pada daerah terpengaruh panas (*Heat Affected Zone/HAZ*) tegangan sisanya menurun bahkan umumnya berubah menjadi tegangan tekan (-) dan pada daerah yang jauh dari lasan dianggap daerah bebas tegangan (0). Timbulnya tegangan tarik pada lasan disebabkan oleh gaya penyusutan (*shrinkage*) ketika logam las membeku. Karena pembekuan dimulai dari sisi logam yang tidak mencair, maka daerah pusat las tertarik oleh gaya penyusutan ini sehingga terbentuk tegangan sisa tarik. Sedangkan pada daerah HAZ, selama pengelasan terjadi pemanasan dan pemanasan ini ditahan oleh plat yang tidak terpengaruh panas; maka pada daerah HAZ ini terjadi tegangan sisa tekan. Semakin dekat dengan garis las pemanasan semakin tinggi dan semakin jauh dari garis las pemanasannya semakin kecil, sehingga tegangan sisa tekan yang terjadi juga semakin kecil. Mekanisme terjadinya tegangan sisa pada pengelasan tersebut dapat diperlihatkan dalam Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. *Stress history* dan terbentuknya tegangan sisa dalam pengelasan [7]

Besarnya tegangan sisa tekan pada HAZ sisi baja tahan karat SUS304 lebih rendah dibandingkan dengan tegangan sisa pada HAZ baja karbon SPHC. Hal ini disebabkan oleh konduksi termal baja tahan karat lebih rendah daripada konduksi termal baja karbon. Konduksi termal baja tahan karat SUS304 pada temperatur 400°C adalah 21,1 W.m⁻¹.K⁻¹ sedangkan konduksi termal pada baja karbon pada temperatur 400°C adalah 39,8 W.m⁻¹.K⁻¹ [2]. Dengan sifat termal ini menyebabkan perambatan panas pada baja tahan karat lebih rendah sehingga pemanasan juga semakin kecil dan pada akhirnya tegangan sisa tekan juga semakin kecil.

Dari gambar 5 juga terlihat bahwa, dengan adanya penambahan *side heating* dalam proses pengelasan, pada sisi baja tahan karat tegangan sisa tekan berubah menjadi tegangan sisa tarik dan pada sisi baja karbon tegangan sisa tekannya berkurang. Hal ini dapat dijelaskan bahwa dengan adanya pemanas tambahan pada sisi-sisi *gas* las, maka gradien temperatur antara garis las dan plat disekitar las menjadi lebih kecil. Selain itu *side heating* pada penelitian ini cukup panjang dan lebar (6x12 cm) jika dibandingkan dengan spesimennya (10x30 mm).

sehingga bisa dikatakan hampir semua spesimen menerima panas dari *side heating*, sehingga bagian penghalang pemuaian yang terjadi pada saat pengelasan hanya sedikit saja.

KESIMPULAN

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa pengaruh *side heating* pada proses pengelasan logam tak sejenis antara baja karbon dengan baja tahan karat terhadap distribusi tegangan sisa adalah:

1. Tegangan sisa pada sisi baja tahan karat berubah dari tegangan sisa tekan untuk pengelasan tanpa *side heating* menjadi tegangan sisa tarik untuk pengelasan dengan *side heating*.
2. Tegangan sisa tekan pada sisi baja karbon semakin kecil dengan adanya *side heating* pada proses pengelasan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DP2M), Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah berkenan membiayai penelitian ini melalui kontrak pelaksanaan penelitian dengan nomor kontrak: 017/SP2H/PP/DP2M/III/2008.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anis J.T., Momin V., Teodosio J.R., and Gurova T. (2002). *X-Ray Analysis Of Residual Stress Distribution In Weld Region*, ICPDS-International Centre for Diffraction Data 2002. *Advances in X-ray Analysis*, Volume 45.
- [2] Brandes & Brook. (1992). *Smithells Metals Reference Book*. 7th edition, Butterw orth-Heinemann, Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP
- [3] Deo, M.V., & Michalaris, P. (2002). *Mitigation of Welding Induced Buckling Distortion Using Transient Thermal Tensioning*. Science and Technology of Welding and Joining.
- [4] Guo H., Guo H., Blackburn J.M. and Hendricks R.W. (2007). *Determination of Residual Stress by X-Ray Diffraction in HSLA-100 Steel Weldments*. Proceeding of 9th International Conference of Residual Stress.
- [5] Katsumasa M., Masanori N., Koichi S., and Masahito M. (2006). *Effects of Distance from Center of a Weld to Fixed End on Residual Stress and Stress Intensity Factor of a Piping Weld*. Quarterly Journal of The Japan Welding Society, 24-1 (2006), p. 70-77.
- [6] Kitsumai, Y., Tamaka, M., and Yoshihisa, E. (1998). *Influence of Residual Stresses and Loading Frequencies on Corrosion Fatigue Crack Growth Behavior of Weldments*. Metallurgical and Materials Transactions, Volume 29A.
- [7] Kou, Sindo. (1987). *Welding Metallurgy*, John Wiley & Son Inc, Canada.
- [8] Kurvin, F. B. (1997). *Locomotive Builder Welds Carbon to Stainless*, Welding Design and Fabrication, p. 16-20.
- [9] Lin Y.C and Chen S.C. (2003). *Effect Of Residual Stress On Thermal Fatigue In A Type 420 Martensitic Stainless Steel Weldment*. Journal of Materials Processing Technology 138 (2003) 22–27.
- [10] Macura P. and Fiala A. (2002). *Experimental Residual Stress Analysis At Welded Pipelines*. Proceeding of 40th International Conference Experimental Stress Analysis 3– 6 June 2002, Praha/Prague, Czech Republic.
- [11] Radaj D. (1992). *Heat Effects of Welding*. Springer-Verlag, Berlin.
- [12] Sutton M.A., Reynolds A. P., Wang D. Q. And Hubbard C. R. (2002). *A Study of Residual Stresses and Microstructure in 2024-T3 Aluminum Friction Stir Butt Welds*. Journal of Engineering Materials and Technology Vol. 124 p. 215-221.
- [13] Triyono, Diharjo, D., Ilman, MN, Soekrisno, R. (2005). *Pengaruh Flame Heating terhadap Ketahanan Korosi dan Sifat Mekanis Sambungan Las Logam Tak Sejenis sebagai Struktur Utama Gerbang Kereta Api*. Laporan Tahun I, Hibah Pakarti III
- [14] Weisman C., (1976). *Welding Handbook*, Vol. 1 Fundamental of Welding, Seven Edition, American Welding Society, Miami, Florida.