

PENGARUH SIDE HEATING TERHADAP DISTORSI SAMBUNGAN LAS LOGAM TAK SEJENIS ANTARA BAJA KARBON DAN BAJA TAHAN KARAT

Zainal Arifin¹⁾, Triyono²⁾, M. Noer Ilman³⁾, R. Soekrisno⁴⁾

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

Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta 57126

E-mail: zainal_mj@yahoo.co.id¹⁾

Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada^{3,4)}

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh temperatur side heating terhadap distorsi pada pengelasan logam tak sejenis antara baja tahan karat SUS 304 dengan baja karbon SPHC. Proses pengelasan yang digunakan adalah Gas Metal Arc Welding (GMAW). Pengelasan dilakukan secara otomatis dengan membuat alat distortion mitigator. Pada penelitian ini terdapat 5 variasi temperatur side heating yaitu temperatur 100°C, 150°C, 200°C, 250°C, 300°C dan tanpa perlakuan. Pengukuran yang dilakukan adalah pengukuran distorsi angular dan bowing menggunakan dial indicator dan magnetic stand. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur side heating akan menghasilkan distorsi angular dan bowing yang semakin kecil. Dengan temperatur 300°C, side heating mampu mengurangi distorsi bowing sekitar 40% dibandingkan dengan pengelasan tanpa side heating. Distorsi yang terjadi pada baja tahan karat SUS 304 lebih besar bila dibandingkan dengan baja karbon SPHC.

Kata kunci : pengelasan logam tak sejenis, distorsi, side heating

PENDAHULUAN

Ruang lingkup aplikasi teknologi pengelasan di bidang konstruksi, baik dalam pembuatan maupun pemeliharaan sangat luas, meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, perpipaan, kendaraan rel dan lain sebagainya. Luasnya penggunaan teknologi pengelasan disebabkan karena prosesnya lebih mudah, sederhana dan murah [14, 15]. Pada kasus tertentu, diperlukan sambungan las untuk logam yang berbeda (*dissimilar-metal welds/ DMWs*). Sebagai contoh, untuk ketahanan korosi baja karbon (*carbon steel*) dilas dengan baja tahan karat (*stainless steel*) [5]. Selain memenuhi syarat kondisi operasi, las baja karbon dengan baja tahan karat lebih ekonomis dari pada seluruh konstruksi menggunakan baja tahan karat. Pengelasan logam berbeda digunakan secara luas dalam industri minyak kimia, proses pengolahan makanan, pembangkit daya, pabrikasi trailer, kereta api dan lain sebagainya [10].

Penyambungan material logam tak sejenis antara baja tahan karat dengan baja karbon memiliki beberapa permasalahan, seperti terjadinya distorsi setelah pengelasan. Distorsi adalah perubahan dimensi pada struktur las akibat tegangan termal pada saat proses pengelasan. Tegangan termal dapat disebabkan oleh perubahan volume akibat perubahan fasa (misal : pada

pembekuan logam cair) dan perbedaan suhu bagian yang satu dengan bagian yang lain dalam suatu bahan sehingga terjadi perbedaan kecapatan pemanasan saat pemanasan dan pendinginan.

Distorsi yang terbentuk dalam pengelasan tidak hanya mengurangi ketelitian ukuran dan penampakan luarnya saja tetapi juga menurunkan kekuatannya. Distorsi ini menyebabkan desain dimensi pengelasan menjadi rusak dan bahkan untuk kasus-kasus konstruksi yang presisi seperti bogie kereta api dan struktur jembatan, jika terjadi distorsi yang berlebihan maka sambungan las tersebut harus dilepas kembali.

Untuk mengatasi masalah distorsi yang terjadi biasanya dilakukan PWHT (*Post Weld Heat Treatment*) berupa *flame heating*, yaitu memanasi daerah las dengan *torch* las oksiasetilen serta dipukul-pukul. Perurusan distorsi dengan cara *flame heating* ini berdasarkan hasil penelitian Triyono dkk [13] ternyata sangat merugikan terhadap ketahanan korosi baja tahan karat dimana terjadi penurunan ketahanan korosi sampai 23%. Selain itu *flame heating* memerlukan keahlian khusus serta berakibat korektif sehingga memerlukan waktu serta biaya produksi tambahan.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut dapat dilakukan pengelasan dengan metode *transient thermal tensioning* yaitu menggunakan *side heating* pada saat pengelasan untuk mengurangi distorsi serta tegangan sisa yang terjadi. Metode ini bernilai sebagai preventif,

berbeda dengan *flame heating* yang bersifat korektif terhadap distorsi. Sehingga lebih mudah serta efisien waktu, yang mengakibatkan biaya produksi semakin kecil. Pengelasan menggunakan *side heating* ini memunculkan penelitian yang lebih lanjut untuk menentukan dimensi, posisi serta temperatur *heater* yang tepat untuk menghasilkan lasan yang mengalami distorsi seminimal mungkin.

Tujuan penelitian ini adalah meneliti pengaruh temperatur *side heating* pada pengelasan baja tahan karat SUS 304 dengan baja karbon SPHC terhadap distorsi pengelasan.

Sambungan logam berbeda biasanya terdiri dari logam las (*weld metal*) yang memiliki komposisi berbeda dengan satu atau kedua logam dasar (*base metal*). Sifat logam las bergantung pada komposisi logam pengisi (*filler metal*), prosedur pengelasan, dan dilusi relatif setiap logam dasar. Selain itu terdapat dua daerah terpengaruh panas (*Heat Affected Zone/HAZ*) yang berbeda, satu pada setiap logam dasar yang letaknya berdekatan dengan logam las [3].

Deo & Michaleris [2] meneliti penggunaan teknik *Transient Thermal Testoning* sebagai metode untuk mitigasi distorsi sambungan T baja karbon. Material yang digunakan adalah baja karbon dengan temperatur *heater* 200°C. Dalam penelitian ini juga dibandingkan beberapa alternatif penggunaan pemanas sekunder, yaitu *steady thermal testoning* serta *hybrid* antara penjejit dengan pemanas sekunder. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *hybrid* antara penjejit dan *transient thermal testoning* menghasilkan sambungan las tanpa distorsi *buckling* dan tanpa distorsi angular.

Shin dkk [12] meneliti dan menganalisa dengan menggunakan metode elemen hingga tentang pengaruh masukan panas terhadap distorsi sambungan las. Masukan panas pada pemanas dikur dengan mengontrol arus. Hasil penelitian menunjukkan dengan masukan panas yang tepat dapat mengurangi distorsi mencapai 95%.

Luo, Ichiyama dan Murakawa [7] membuat modeling distorsi pada sambungan las yang panjang. Analisa modeling menggunakan metode elemen hingga dengan program ABAQUS. Metode analisisnya adalah dengan termal elastis-plastis. Hasil penelitian menunjukkan keakuratan antara hasil modeling dengan eksperimen.

Michaleris dan Xin Sun [9] membuat pendekatan menggunakan analisa metode elemen hingga untuk mengoptimalkan proses *steady state thermal testoning* pada plat baja karbon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengoptimalan proses *steady state thermal testoning* dapat menghasilkan spesimen las tanpa distorsi *buckling*, menurunkan tegangan sisa dari pengelasan serta integritas strukturnya meningkat.

Beyrounis dan Olabi [1] meneliti tentang persamaan matematika antara parameter masukan las dengan hasil sambungan las seperti geometri manik las, sifat mekanik, dan distorsi logam las. Hasil penelitian menunjukkan kombinasi pengoptimalan menggunakan teknik *genetic algorithm* serta *response surface*

methodology menunjukkan hasil yang bagus dalam menentukan parameter pengelasan yang optimal.

Michaleris, Dantzig dan Tortorelli [8] membuat pendekatan menggunakan analisa metode elemen hingga, analisa sensitivitas, dan program nonlinier untuk mengoptimalkan proses *thermal testoning* pada plat baja karbon lebar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *transient thermal testoning* tanpa pendinginan serta pemanasan pada tempat tertentu dapat menghasilkan panel dengan tegangan sisa nol, tanpa distorsi *buckling*, menurunkan penyusutan longitudinal, serta integritas strukturnya meningkat.

Herbiana [4] meneliti pengaruh masukan panas serta urutan pengelasan terhadap distorsi pada baja tahan karat dengan baja karbon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil *heat input* menghasilkan distorsi yang lebih kecil pula, serta dengan urutan pengelasan *intermittent* akan menghasilkan distorsi yang lebih kecil daripada pengelasan kontinyu.

METODOLOGI PENELITIAN

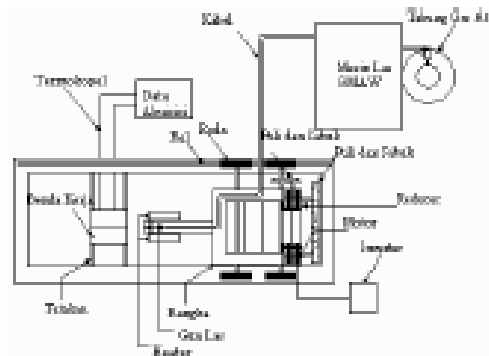
Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah plat baja SPHC dan plat baja tahan karat SUS304 dengan tebal 1,5 mm yang disambung dengan filler E70S. Komposisi kimia material adalah seperti terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. komposisi kimia material penelitian

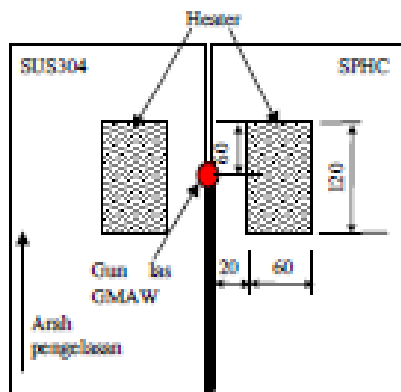
Material	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Mo	Cu
SUS304	0,08	2,00	1,00	18	8	0,045	0,030	-	-
SPHC	0,2	1,35	0,30	-	-	0,033	0,040	-	-
E70S	0,2	1,3	0,3	-	-	0,01	0,02	-	-

Proses pengelasan dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin UNS Surakarta dengan menggunakan alat *distortion mitigator* yang telah dibuat. Ukuran spesimen adalah 300 x 100 x 1,5 mm. 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.

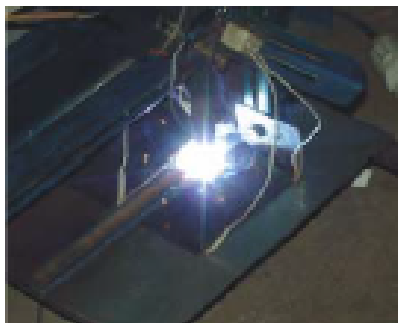
Pengelasan menggunakan alat *distortion mitigator*, dengan dimensi pemanas (*heater*) 12 cm x 6 cm. Jarak pemanas dengan gun las 2 cm. Rangkaian *distortion mitigator* seperti terlihat pada gambar 1. Sedangkan gambar 2 merupakan skema *side heating* dan proses pengelasan dapat dilihat pada gambar 3. Pada penelitian ini terdapat 6 eksperimen dan tiap eksperimen terdapat 3 sampel maka total pengelasan ada 18 spesimen las. Yang pertama merupakan pengelasan tanpa perlakuan *side heating*. Selanjutnya pengelasan menggunakan *side heating* dengan variasi suhu pemanas : 100°C, 150°C, 200°C, 250°C, serta 300°C.



Gambar 1. Alat Distorsi Mitigator

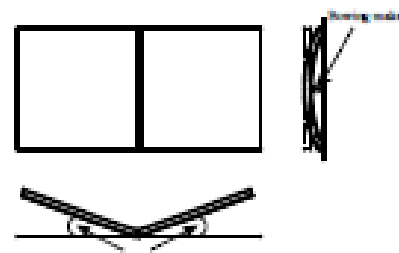


Gambar 2. Skema side heating

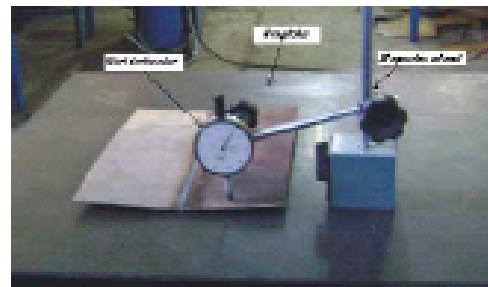
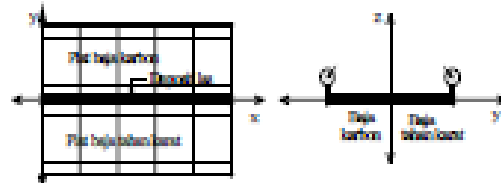


Gambar 3. Proses pengelasan

Pengukuran distorsi menggunakan alat indicator dengan magnetic stand sebagai tempat berdirinya alat indicator. Pengukuran distorsi ini dilakukan di atas gresplate untuk menjamin kestabilan alas yang digunakan. Distorsi yang akan diukur dalam penelitian ini adalah distorsi sudut/ angular distortion (α) dan distorsi bowing (β). Penjelasan tentang 2 distorsi tersebut dapat dilihat pada gambar 4.

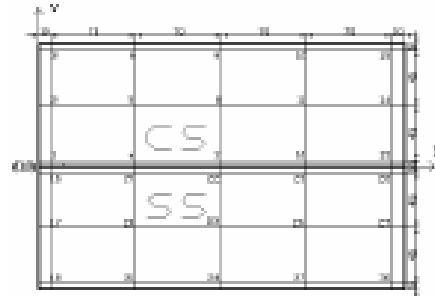


Gambar 4. Distorsi angular dan bowing



Gambar 5. Setting dan pelaksanaan pengukuran distorsi

Pengukuran distorsi dilakukan pada saat pengelasan telah selesai. Untuk mengukur distorsi digunakan setting pengukuran dan pelaksanaan pengukuran seperti pada gambar 5. Sebelum dilakukan pengukuran dibuat mesh pengukuran distorsi seperti terlihat pada gambar 6.



Gambar 6. Mesh pengukuran distorsi (mm)

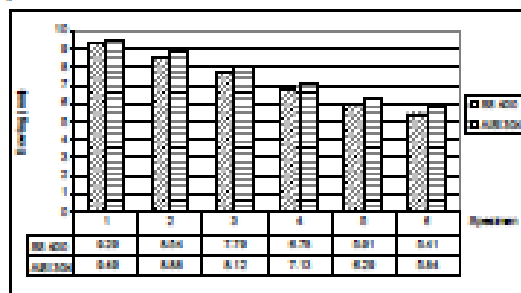
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Setelah mendapatkan data pengukuran distorsi, maka dilakukan mapping distorsi pada specimen dan ternyata terdapat titik-titik kritis yaitu titik-titik yang hampir

untuk semua spesimen mempunyai distorsi terbesar. Letak titik-titik kritis ini berbeda untuk distorsi bowing dan distorsi angular. Data untuk distorsi bowing diambilkan dari data maksimum diantara data pada titik-titik 1, 4, 7, 10, 13 (untuk baja karbon SPHC) dan data maksimum diantara data pada titik-titik 16, 19, 22, 25, 28 (untuk baja tahan karat SUS 304). Distorsi bowing maksimum rata-rata dari kesemua spesimen dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. Bowing maksimum rata-rata pada masing-masing spesimen

Carbon Steel					Stainless Steel			
Spec	No. Titik	x	y	Bowing maks. (mm)	No. Titik	x	y	Bowing maks. (mm)
1	7	15	0.5	9.29	22	15	-0.5	9.49
2	7	15	0.5	8.54	22	15	-0.5	8.88
3	7	15	0.5	7.79	22	15	-0.5	8.12
4	7	15	0.5	6.78	22	15	-0.5	7.13
5	7	15	0.5	5.91	22	15	-0.5	6.29
6	7	15	0.5	5.41	22	15	-0.5	5.84



Gambar 7. Histogram bowing maksimum rata-rata

Pada gambar 7 menunjukkan histogram perbandingan bowing maksimum rata-rata baja karbon SPHC dan baja tahan karat SUS 304 pada ke-6 spesimen dengan variasi temperatur side heating dan tanpa perlakuan side heating. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa bowing maksimum paling tinggi ditunjukkan pada spesimen 1 (9,29 mm pada baja karbon dan 9,49 mm pada baja tahan karat) dimana pada spesimen 1 merupakan spesimen tanpa perlakuan side heating, diikuti dengan spesimen 2 (8,54 mm pada baja karbon dan 8,88 mm pada baja tahan karat) dengan temperatur side heating 100°C. Kemudian spesimen 3 (7,79 mm pada baja karbon dan 8,12 mm pada baja tahan karat) dengan temperatur side heating 150°C, lalu spesimen 4 (6,78 mm pada baja karbon dan 7,13 mm pada baja tahan karat) dengan temperatur side heating 200°C, spesimen 5 (5,91 mm pada baja karbon dan 6,29 mm pada baja tahan karat) dengan temperatur side heating 250°C serta bowing maksimum paling kecil ditunjukkan pada spesimen 6 (5,41 mm pada baja

karbon dan 5,84 mm pada tahan karat) dengan temperatur side heating 300°C.

Dari data di atas maka dapat diketahui bahwa semakin tinggi temperatur side heating maka semakin kecil distorsi yang terjadi. Hal ini disebabkan karena dengan temperatur side heating yang semakin tinggi mengakibatkan beda temperatur antara logam las dengan daerah logam induk semakin kecil, yang membuat distribusi temperatur pada spesimen las semakin merata, sehingga meningkatkan keceragaman pemanasan serta penyusutan longitudinal, yang mengakibatkan distorsi bowing yang terjadi semakin kecil pula.

Jika dibandingkan dengan spesimen tanpa side heating, spesimen dengan side heating 300°C mempunyai distorsi 42% lebih kecil untuk sisi baja karbon dan 38% untuk baja tahan karat. Penurunan ini sebenarnya masih jauh dari harapan, karena dalam beberapa proses manufaktur di industri sebagai contoh di PT. INKA Madam menyarankan distorsi maksimum adalah 1 mm. Sehingga jika dilihat dari kecenderungan data, maka perlu dilakukan side heating dengan temperatur yang lebih besar lagi.

Selain itu dari grafik tersebut juga dapat dilihat bahwa distorsi pada sisi baja tahan karat lebih besar dibandingkan dengan distorsi pada baja karbon. Hal ini berkaitan dengan sifat termal kedua material yaitu koefisien muai termal dan konduktivitas termal. Baja tahan karat mempunyai konduktivitas termal yang lebih rendah tetapi mempunyai koefisien muai termal yang lebih tinggi dibandingkan baja karbon. Konduktivitas termal yang lebih rendah berarti penjarakan panas lebih lambat sehingga perbedaan temperatur pada daerah sekitar las tidak lebih cepat menjadi seragam. Dan dengan koefisien muai termal yang lebih tinggi berarti penambahan panjang muai lebih besar untuk setiap kenaikan temperatur yang diberikan.

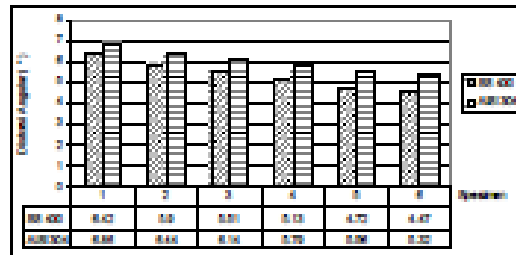
Data untuk distorsi sudut diambil dari data titik-titik 3, 6, 9, 12, 15 (baja karbon) dan data titik-titik 18, 21, 24, 27, 30 (baja tahan karat). Data-data pengukuran masih dalam satuan mm, kemudian dilakukan perhitungan agar didapatkan satuan ° sudut dengan aturan sinus. Hasil perhitungan untuk semua spesimen dapat dilihat pada tabel 3. Dan tampilan grafik dari data tersebut dapat dilihat pada gambar 8.

Dari tabel 3 dan gambar 8 tersebut dapat dilihat bahwa distorsi angular paling tinggi ditunjukkan pada spesimen 1 (6,42° pada baja karbon dan 6,86° pada baja tahan karat) dimana pada spesimen 1 ini merupakan spesimen tanpa perlakuan side heating, diikuti dengan spesimen 2 (3,9° pada baja karbon dan 6,44° pada baja tahan karat) dengan temperatur side heating 100°C. Kemudian spesimen 3 (5,51° pada baja karbon dan 6,14° pada baja tahan karat) dengan temperatur side heating 150°C, lalu spesimen 4 (5,13° pada baja karbon dan 5,79° pada baja tahan karat) dengan temperatur side heating 200°C, spesimen 5 (4,72° pada baja karbon dan 5,56° pada baja tahan

karat) dengan temperatur *side heating* 250°C serta *distorsi angular* paling kecil ditunjukkan pada spesimen 6 (4,47° pada baja karbon dan 5,32° pada baja tahan karat) dengan temperatur *side heating* 300°C.

Tabel 3. Data distorsi angular baja karbon dan baja tahan karat dengan variasi temperatur *side heating*

Spesimen	Angular baja karbon (°)	Angular baja tahan karat (°)
1	6.42	6.86
2	5.9	6.44
3	5.51	6.14
4	5.13	5.79
5	4.72	5.56
6	4.47	5.32



Gambar 8. Histogram Perbandingan distorsi angular baja karbon dan baja tahan

Dari gambar dan data di atas dapat dilihat bahwa terjadi kecenderungan yang sama antara distorsi bowing dengan distorsi angular pada pengelasan baja karbon dan baja tahan karat dengan variasi temperatur *side heating*. Semakin tinggi temperatur *side heating* yang diberikan pada proses pengelasan maka semakin kecil pula distorsi angular yang terjadi. Hal ini karena dengan temperatur *side heating* yang semakin tinggi mengakibatkan beda temperatur antara daerah las dengan daerah logam induk semakin kecil, yang mengakibatkan distribusi temperatur pada ketebalan plat semakin merata sehingga pemuaian serta penyusutan transversal menjadi lebih seragam.

Jika dibandingkan dengan spesimen tanpa *side heating*, spesimen dengan *side heating* 300°C mempunyai distorsi angular 30% lebih kecil untuk sisi baja karbon dan 22% untuk baja tahan karat. Jika dibandingkan dengan pemuaian pada distorsi bowing, maka pemuaian pada distorsi angular lebih kecil. Hal ini dapat dipahami karena yang memegang peranan penting dalam distorsi angular adalah penyusutan pembekuan [11]. Dan penyusutan ini hanya dapat dikontrol dengan mengontrol temperatur logam las. Sehingga dengan adanya *side heating* pada titik yang

agak jauh dari logam las tidak akan memberi pengaruh yang signifikan [5].

Demikian karena perbedaan sifat termal antara baja karbon dan baja tahan karat, maka besarnya distorsi angular yang terjadi juga berbeda yaitu baja tahan karat mempunyai distorsi angular yang lebih besar.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa data dan pembahasan tersebut di atas maka dapat ditarik kesimpulan bahwa pada pengelasan logam berbeda antara baja tahan karat SUS 304 dengan baja karbon SPHC, dengan temperatur *side heating* 100°C, 150°C, 200°C, 250°C, 300°C dan tanpa perlakuan, didapatkan hasil bahwa semakin tinggi temperatur *side heating* pada saat pengelasan akan menghasilkan distorsi (*bowing* maupun *angular*) yang semakin kecil. Dengan temperatur 300°C, *side heating* mampu mengurangi distorsi bowing sekitar 40%.

Pada plat baja tahan karat SUS 304 akan mengalami distorsi yang lebih besar dibandingkan dengan distorsi yang terjadi pada plat baja karbon SPHC.

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 dengan surat perjanjian pelaksanaan hibah penelitian nomor: 033/SP2H/PP/DP2M/III/2007 tanggal 29 maret 2007.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Banyonisa, K.Y., Olabi, O.G. (2006) Optimization of Different Welding Processes Using Statistical and Numerical Approaches, School of Mechanical and Manufacturing Engineering, Ireland
- [2] Deo, M.V., & Michaleris, P. (2002). Mitigation of Welding Induced Buckling Distortion Using Transient Thermal Tensioning. Science and Technology of Welding and Joining.
- [3] Davis, J. R. (1995) Handfacing, Weld Cladding and Dissimilar Metal Joining, ASM Handbook Vol. 6.
- [4] Herbinna, D. I. (2008) Pengaruh Heat Input Dan Urutan Pengelasan Terhadap Distorsi Pada Pengelasan Logam Tak Sejenis, Skripsi S1 Teknik Mesin FT. UNS, Surakarta.
- [5] Kou, Sindo. (1987). Welding Metallurgy, John Wiley & Son Inc, Canada.
- [6] Kirtin, F. B. (1997). Locomotive Builder Welds Carbon to Stainless, Welding Design and Fabrication, p. 16-20.
- [7] Luo, Y., Ishiyama, M., & Murakawa, H. (1999) Welding Deformation of Plate with Longitudinal Curvature, Transaction of JWRI, Vol. 28, No.2.
- [8] Michaleris, P., Dautzig, J and Tortorelli, D. (1999) Minimization of welding residual stress and

- distortion in large structures, The Penn State University.
- [9] Michalek, P., and Sun, X. (1997) Finite Element Analysis of Thermal Tensioning Techniques Mitigating Weld Buckling Distortion, *Welding Journal*, 76(11): 451-457.
- [10] Morris, R. (2003) Comparing the Physical Properties of Joining A36 Carbon Steel to 304 Stainless Steel, *Welding Research Supplement*.
- [11] Radaj D. (1992). *Heat Effects of Welding*. Springer-Verlag, Berlin.
- [12] Shim, S.B., Lee, D. J., Park, I. H. (2002) A Study on Control of Bending Distortion by Induction Heating During Manufacturing of Built-up T Bar, Hyundai Heavy Industries CO., LTD Report, Korea.
- [13] Triyono, Diharjo, D., Ilman, M.N., Soekrisno, R. (2005). Pengaruh Flame Heating terhadap Ketahanan Korosi dan Sifat Mekanis Sambungan Las Logam Tak Sejenis sebagai Struktur Utama Gerbong 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.
- [15] Wiryosumarto, Harsono., (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*, Pradnya Paramita, Jakarta.