

PENGARUH KECEPATAN *FLAME HEATING* TERHADAP LAJU PERAMBATAN RETAK FATIK LAS BUSUR RENDAM PADA PENGELASAN BAJA ASTM A572 GRADE 50

Rifky Ismail¹⁾, Sugiyanto¹⁾ dan M. Noer Ilman²⁾

Abstrak

Baja ASTM A572 Grade 50 merupakan baja paduan rendah yang banyak digunakan pada berbagai struktur. Proses penyambungan dalam pembuatan struktur ini menggunakan las busur rendam (*submerged arc weld*) karena tingkat efisiensi dan kehandalan yang tinggi. Kelemahan dari proses pengelasan ini adalah adanya tegangan sisa tarik akibat proses pengelasan yang dapat mengakibatkan sambungan las mengalami patah fatik. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh kecepatan pemanasan pascapengelasan (PWHT) menggunakan *flame heating* terhadap laju perambatan retak fatik sambungan las busur rendam baja ASTM A572 Grade 50.

Proses pengelasan busur rendam menggunakan heat input sebesar 1,5 kJ/mm dengan ketebalan pelat material logam induk 10 mm. Pemanasan pasca pengelasan dilakukan dengan jarak 3,75 mm simeteri dari pusat las dengan variasi kecepatan translasi 10,9; 4; 2,8; and 1,6 mm/s. Pengujian fatik dilakukan menggunakan stress level 20% dari tegangan luluh, $R = 0,1$, dan frekuensi 11 Hz.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa PWHT menggunakan *flame heating* yang digerakkan dengan kecepatan 2,8 mm/s menaikkan umur fatik hingga 230 % dibandingkan dengan material tanpa perlakuan panas. Nilai konstanta A dan n dari persamaan Paris didapat $1,77 E-16$ dan $5,9853$.

Keywords: Las SAW; Flame heating; Ketahanan retak fatigue;

PENDAHULUAN

Pengelasan busur rendam atau *submerged arc welding* (SAW) merupakan salah satu proses pengelasan menggunakan busur listrik yang digunakan pada berbagai struktur dan komponen karena ketangguhan, keseragaman sifat, produktivitas dan efisiensi yang tinggi (Kalpakjian, 1992). Industri pembuat konstruksi jembatan memanfaatkan SAW untuk proses pengelasan strukturnya. Salah satu material yang digunakan sebagai struktur jembatan adalah baja ASTM A572 Grade 50.

Beberapa penelitian telah menyebutkan bahwa ketahanan fatik hasil lasan pada struktur ini berhubungan dengan tegangan sisa tarik yang terjadi setelah proses pengelasan. Tegangan sisa tarik akan menurunkan ketahanan fatik bahan (Olabi dkk., 1995; Nguyen dkk., 1995; Mochizuki, 2006). Cara untuk mengurangi tegangan sisa tarik sehingga didapatkan sifat fatik bahan yang lebih baik dapat dilakukan dengan cara *water jet peening* (Mochizuki M., 2006), *steel peening* (Nguyen, dkk, 1995) dan PWHT (Olabi, dkk, 1995; Chen, dkk, 2002; Sugiharto, dkk, 2003; Cheng, dkk, 2003; Ravi, dkk, 2004).

Untuk mengurangi tegangan sisa pada hasil pengelasan, Chen, dkk, 2002 melakukan pemanasan pada daerah lokal di sekitar logam las menggunakan metode *Electron Beam Local Post Weld Heat Treatment* (EBLPWHT). Hasilnya menunjukkan perbaikan sifat fatik bahan. Michaleris, dkk., (1999) menggunakan simulasi numerik menggunakan elemen pemanas untuk memperbaiki distribusi tegangan sisa.

Distribusi tegangan sisa setelah proses pemanasan dari hasil pengujian numeric menunjukkan keseragaman yang dapat meningkatkan sifat fatik bahan. Deo, dkk. (2002) menggunakan *flame* berbahan bakar propanol yang digunakan sebagai pemanas bersamaan dengan proses pengelasan. Hasilnya eksperimen menunjukkan bahwa proses pemanasan membantu menghilangkan terjadinya *distorsi* pada *stiffners*. Distorsi adalah salah satu parameter untuk mengetahui pengaruh tegangan sisa.

Beberapa kasus kegagalan yang mengakibatkan banyak korban yang tewas dan cedera akibat runtuhnya jembatan diakibatkan oleh kegagalan fatik dari konstruksi jembatan (Broek, 1993). Atas dasar ini, perlu dilakukan upaya perbaikan sifat fatik hasil pengelasan busur rendam pada baja ASTM A572 Grade 50, agar didapatkan hasil lasan struktur dengan umur dan ketahanan terhadap perambatan retak fatik yang lebih baik. Dari beberapa pilihan energi yang ada, nyala api (*flame*) hasil reaksi pembakaran oksigen dan asetilen (C_2H_2) merupakan salah satu alternatif energi panas yang murah dan *portable* untuk perlakuan panas pasca pengelasan atau *post weld heat treatment* (PWHT).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh perlakuan panas menggunakan sumber panas nyala api (*flame heating*) oksi-asetilen setelah proses pengelasan terhadap laju perambatan retak fatik dari logam las busur rendam. Variabel yang digunakan adalah kecepatan translasi *flame heating*, yaitu 10,9; 4; 2,8; 1,6 mm/s. Posisi pemanasan

¹⁾ Staf pengajar Jurusan Teknik Mesin UNDIP

²⁾ Staf pengajar Jurusan Teknik Mesin UGM

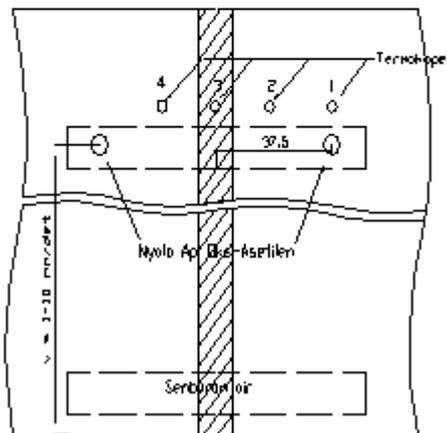
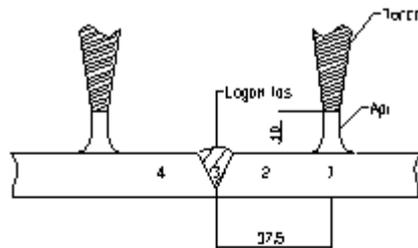
ditetapkan pada 37,5 mm simetri terhadap pusat las. Sifat fatik yang akan diteliti difokuskan pada daerah logam las.

CARA PENELITIAN

Bahan dan Proses Pengelasan

Bahan yang digunakan adalah baja ASTM A572 Grade 50 tebal 10 mm. Sambungan tumpul dengan sudut 70° direncanakan sejumlah 4 lapis sebagaimana terlihat pada Gambar 1. Pengelasan dilakukan di Unit Usaha Jembatan PT. Bukaka Teknik Utama, Tbk, Bekasi menggunakan las busur rendam dengan arus searah (DC) dengan tegangan 35 volt, arus 400 A dan kecepatan pengelasan 8,89 mm/s. Elektroda yang digunakan adalah Atlantic CHW-S3 Ø 4 mm dan fluks Atlantic CHF101GX.

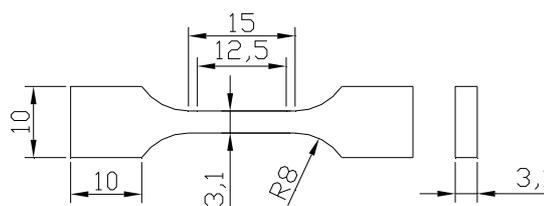
Setelah proses pengelasan selesai, dilakukan proses PWHT yang diilustrasikan sebagaimana terlihat pada Gambar 2. Panas yang berasal dari *flame heating*, hasil pembakaran oksigen dan asetilen, digerakkan pada permukaan pelat dengan variabel kecepatan translasi 10,9; 4; 2,8; dan 1,6 mm/s. Jarak *flame heating* adalah 37,5 mm simetris terhadap sumbu las. Empat buah termokopel dipasang pada specimen sebagaimana terlihat pada Gambar 2. Termokopel dihubungkan dengan data akuisisi sehingga perubahan temperatur saat PWHT bisa terpantau. Termokopel 1 menunjukkan siklus temperatur specimen yang terkena *flame heating* secara langsung. Termokopel 3 menunjukkan siklus temperatur pada daerah logam las. Termokopel 2 dan 4 berada simetris pada sisi luar logam las. Hasil pengukuran pada termokopel 1 dan 3 terlihat pada Tabel 1. Setelah proses PWHT air disiramkan pada permukaan specimen untuk menyeragamkan tegangan.



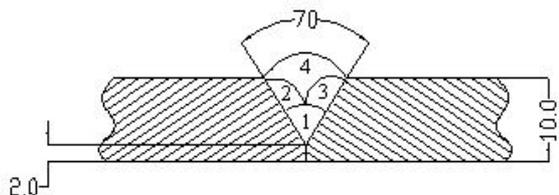
Gambar 2. Ilustrasi proses PWHT

Pengujian

Sebelum pengujian fatik, dilakukan pengujian tarik untuk mendapatkan kekuatan tarik dan kekuatan luluh logam las. Spesimen uji tarik dibuat berdasarkan standar JIS Z2201 (7). Pada penelitian ini pengujian dilakukan pada arah melintang terhadap arah pengelasan (*transversal*) seperti terlihat pada Gambar 3. Pengujian dilakukan menggunakan mesin servopulser Shimadzu tipe EHF-EB20.

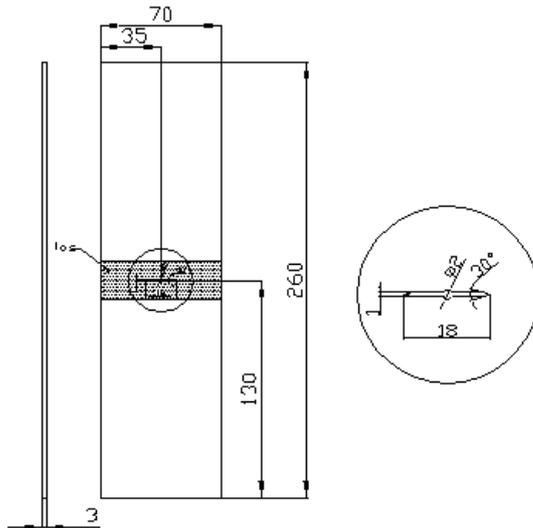


Gambar 3. Specimen uji tarik berdasar standar JIS Z2201 (7)



Gambar 1. Las lintasan dan urutan pengelasan

Specimen uji laju rambat retak fatik menggunakan standar ASTM E-647 dengan model specimen MTS (*Middle Tension Specimen*) sebagaimana terlihat pada Gambar 4. Fokus dari penelitian ini adalah mengamati perilaku fatik pada daerah las setelah mendapatkan PWHT dengan berbagai variasi kecepatan *flame heating*. Pengujian fatik menggunakan mesin uji servopulser Shimadzu tipe EHF-EB20. Beban maksimum sebesar 20% dari σ_{yield} dengan nilai R sebesar 0,1 dan frekuensi 11 Hz.



Gambar 4. Specimen pengujian laju perambatan retak fatik (ASTM E-647)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Proses PWHT

Dari Tabel 1 dapat dijelaskan bahwa dengan kecepatan translasi sebesar 10,9 mm/s *flame* memberikan pengaruh panas sebesar 157 °C pada daerah yang terkena *flame* (termokopel 1) sedangkan pada daerah logam las (termokopel 3) temperatur mencapai 101 °C. Pada T200 temperatur mencapai 213 °C (las) dan 380 °C (*flame*), pada T300 temperatur mencapai 292 °C (las) dan 410 °C (*flame*) sedangkan pada T400 temperatur mencapai 403 °C (las) dan 720 °C (*flame*).

Tabel 1. Kode specimen berdasarkan kecepatan translasi saat perlakuan

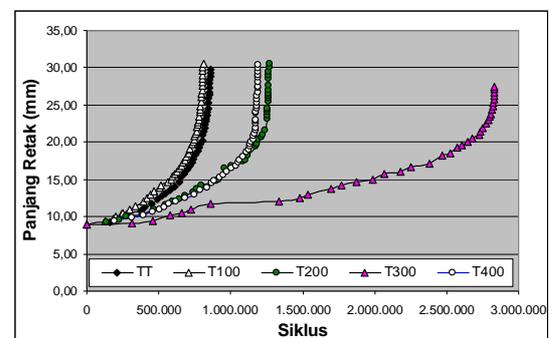
Specimen	Kecepatan <i>Flame</i> (mm/s)	Temperatur Max Logam Las (°C) (Termokopel 3)	Temperatur Max pada Logam Induk yang Terkena <i>Flame</i> (°C) (Termokopel 1)
T100	10,9	101	157
T200	4	213	380
T300	2,8	292	410
T400	1,6	403	720

Hasil Uji Fatik

Dari hasil uji kekuatan tarik didapatkan kekuatan tarik pada daerah las didapatkan kekuatan tarik 570,2 MPa, kekuatan luluh 445,8 MPa. Data ini digunakan untuk menentukan beban dalam pengujian fatik. Pengujian fatik menunjukkan efek yang berbeda terhadap masing-masing perlakuan PWHT. Terlihat pada Gambar 5 dan Tabel 2 bahwa specimen yang tidak mendapat perlakuan PWHT (specimen TT) memiliki umur fatik sekitar 858.264 siklus. Specimen T100, yang mendapat perlakuan sekitar 100 °C pada logam las, memiliki umur fatik yang lebih rendah, berkisar 808.484 siklus. Selanjutnya, umur fatik menunjukkan kenaikan pada T200 yang siklusnya mencapai 1.267.058 siklus. Pada T300, umur fatiknya meningkat secara signifikan hingga sekitar 2.835.870 siklus. Siklus specimen T300, yang merupakan umur fatik paling optimal, kenaikannya mencapai 230 % dibandingkan specimen TT. Siklus mengalami penurunan pada T400 yang berkisar 1.192.097 siklus.

Tabel 2. Umur fatik specimen las dalam uji fatik

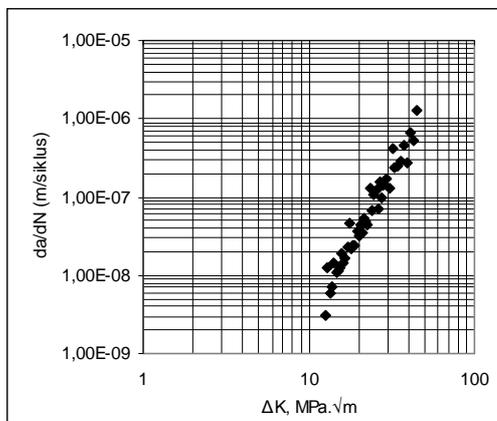
Specimen	Umur fatik (siklus)	Peningkatan Umur Fatik
TT	858.264	-
T100	808.484	-5,80 %
T200	1.267.058	47,63 %
T300	2.835.870	230,42 %
T400	1.192.097	38,90 %



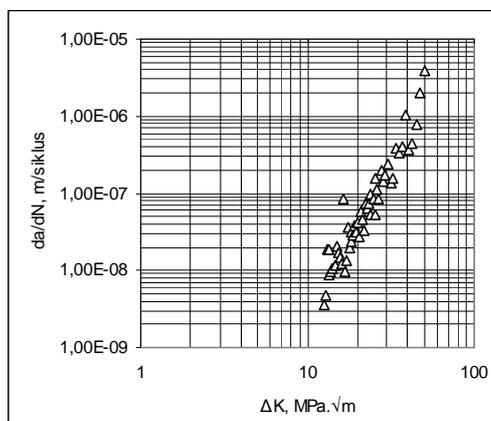
Gambar 5. Umur fatik logam pada berbagai variabel

Pada specimen T300, dimana umur fatik meningkat secara signifikan, dapat disebabkan akibat

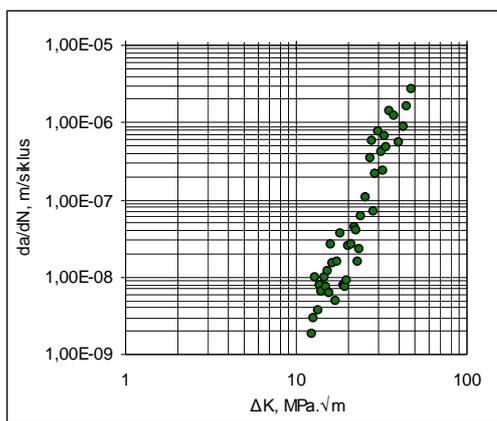
proses pemanasan PWHT menghasilkan tegangan termal yang mendekati kekuatan luluh bahan.



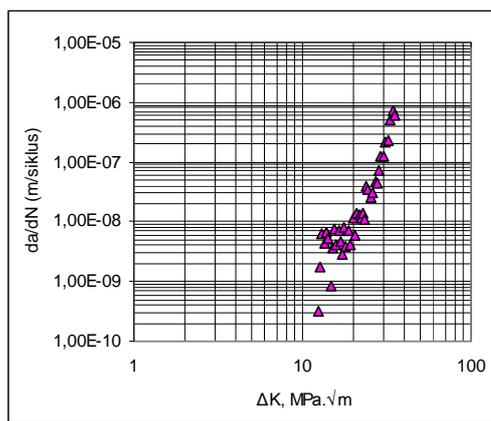
(a) TT



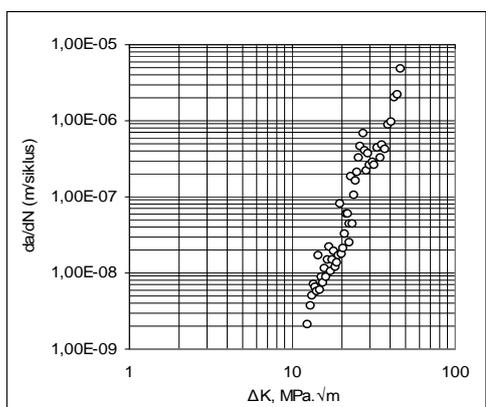
(b) T100



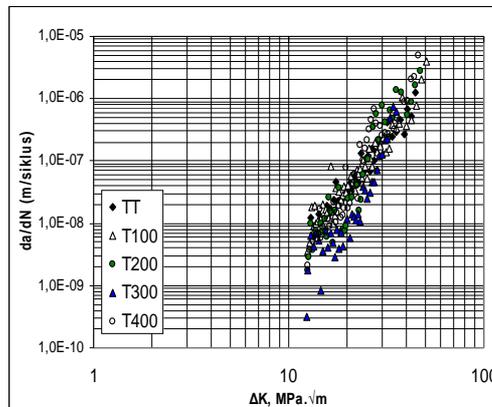
(c) T200



(d) T300



(e) T400



(f) Rekap keseluruhan specimen

Gambar 6. Grafik laju perambatan retak fatik dalam skala log

Tegangan termal ini dapat melawan tegangan sisa hasil proses pengelasan sehingga menghasilkan distribusi tegangan sisa yang lebih baik dan menghasilkan umur fatik yang lebih panjang. Penurunan umur fatik yang terjadi pada specimen T400 dimungkinkan sebagai akibat dari penurunan tegangan termal tekan sehingga efek yang diterima oleh logam las juga mengalami penurunan. Tegangan yang diakibatkan proses pemanasan setelah melewati tegangan luluh kompresi justru akan mengalami penurunan (Messler Jr., 1999).

Hasil pengamatan perambatan retak pada masing-masing perlakuan terlihat pada Gambar 6. Grafik yang menunjukkan hubungan antara perambatan retak dan ΔK dalam skala log ini diperoleh menggunakan metode secant. Data pada daerah II dapat kita gunakan untuk menentukan Konstanta Paris dari kurva linear yang dihasilkan dari masing-masing specimen uji. Tabel 3 menunjukkan nilai A dan n yang didapatkan dari *trendline* pada daerah stabil. Pada tabel tersebut diketahui bahwa untuk $\Delta K = 1$, nilai A dari specimen TT adalah 4,12 E-13 m/siklus. Nilai A turun untuk T100, yaitu sebesar 2,87 E-13 m/siklus kemudian naik pada T200 hingga mencapai 7,42 E-15m/siklus.

Nilai A paling optimal ditunjukkan oleh specimen T300 dengan nilai laju perambatan retak sebesar 1,77 E-16 m/siklus. Sedangkan pada T400, nilai A mengalami penurunan hingga di bawah T200, yaitu sebesar 6,05 E-15 m/siklus. Nilai ketahanan terhadap laju perambatan retak fatik ini konsisten terhadap umur fatik yang telah dijelaskan pada Gambar 4.11 di atas.

Tabel 3. Nilai A dan n pada pengujian fatik

Specimen	Harga A (m/siklus)	Harga n
TT	4,12 E-13	3,8123
T100	2,87 E-13	3,9428
T200	7,42 E-15	5,0733
T300	1,77 E-16	5,9853
T400	6,05 E-15	5,1936

Untuk nilai ΔK tinggi uji perambatan retak fatik pada specimen TT menunjukkan nilai $n = 3,8123$. Nilai n ini terus mengalami peningkatan untuk specimen T100, T200, dan T300 yaitu sebesar sebesar 3,9428; 5,0733; dan 5,9853. Nilai n kemudian mengalami penurunan untuk T400 yaitu sebesar 5,1936.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kecepatan *flame heating* mempengaruhi temperatur pada logam las dan daerah yang terkena *flame* secara langsung. Pada kecepatan 10,9 mm/s (T100) menghasilkan temperatur pada logam las mencapai 101°C dan temperatur daerah *flame* mencapai 157°C. Pada kecepatan 4 mm/s (T200) menghasilkan temperatur 213°C (las) dan 380°C (*flame*). Pada kecepatan 2,8 mm/s (T300) menghasilkan temperatur 292°C (las) dan 410°C (*flame*) sedangkan pada kecepatan 1,6 mm/s (T400) menghasilkan temperatur 403°C (las) dan 720°C (*flame*).
2. Proses perlakuan panas pasca pengelasan (PWHT) menunjukkan hubungan yang signifikan terhadap umur fatik. Meskipun tidak berpengaruh banyak terhadap umur fatik specimen T100 yang mencapai 808.484 siklus tetapi PWHT berpengaruh terhadap umur fatik specimen T200 yang naik menjadi 1.267.058 siklus. Pada specimen T300 terjadi kenaikan umur fatik yang cukup tajam hingga mencapai 2.835.870 siklus sedangkan pada T400 kembali mengalami penurunan umur fatik yang mencapai 1.192.097 siklus.
3. Laju perambatan retak fatik ditentukan oleh nilai konstanta Paris, yaitu nilai A dan n. Nilai konstanta A dan n untuk logam las pada specimen TT sebesar 4,12 E-13 dan 3,8123; pada specimen T100 sebesar 2,87 E-13 dan 3,9428; pada specimen T200 sebesar 7,42 E-15 dan 5,0733; pada specimen T300 sebesar 1,77 E-16 dan 5,9853 sedangkan pada T400 sebesar 6,05 E-15 dan 5,1936

Saran

Dari hasil penelitian ada terdapat beberapa saran sebagai berikut :

1. Disain perlu dikembangkan agar dapat dimanfaatkan secara langsung untuk industri struktur dengan ukuran yang besar.
2. Untuk mengetahui lebih detail mengenai pengaruh PWHT terhadap laju perambatan retak fatik diperlukan penelitian lebih mendalam pada temperatur yang berkisar antara 200-350°C sehingga ditemukan temperatur paling optimal.

DAFTAR PUSTAKA

1. Broek, D., 1987, "Elementary Engineering Fracture Mechanics", Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, Netherlands.
2. Chen, F.R., Huo, L.X., Zhang, Y.F., Zhang, L., Liu, F.J., Chen, G., 2002, "Effect of Electron Beam Local Post-Weld Heat Treatment on The Microstructure and Properties of 30CrMnSiNi2A Steel Welded Joints", Journal of Material Processing Technology 129, 412-417

3. Cheng, X., Fisher, J.W., Prask, H.J., Gnaupel-Herold, T., Yen, B.T., Roy, S., R, 2003, "Residual Stress Modification by Post-Weld Treatment and Its Beneficial Effect on Fatigue Strength of Welded Structures", *International Journal of Fatigue*, 1259-1269
4. Deo, M.V., Michaleris, P., 2002, "Elimination of Bowing Distortion in Welded Stiffeners", Manuscript submitted to *Journal of Ship Production* 4.
5. Kalpakjian, S., 1992, "Manufacturing Engineering and Technology", 2 ed, pp 843-853, Addison-Wesley Publishing Company Inc., USA
6. Messler Jr., R.W., 1999, "Principle of Welding : Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy", John Willey and Sons, New York.
7. Michaleris, P., Dantzig, J., Tortorelli, D., 1999, "Minimization of Welding Residual Stress and Distortion in Large Structures", *Welding Journal* 8, 361-366s.
8. Mochizuki, M., 2006, "Control of Welding Residual Stress for Ensuring Integrity Against Fatigue and Stress-Corrosion Cracking", NED-4568, *Journal of Nuclear Engineering and Design*.
9. Nguyen, T.N., Wahab, M.A., 1995, "The Effect of Residual Stresses and Weld Geometry on The Improvement of Fatigue Life", *Journal of Materials Processing Technology* 48, 581-588.
10. Olabi A.G., Hashmi, M.S.J., 1995, "The Effect of Post Weld Heat Treatment on Mechanical Properties and Residual Stress Mapping in Weld Structural Steel", *Journal of Material Processing Technology* 55, 117-122.
11. Ravi, S., Balasubramanian, V., Nasser, N., 2004, "Influence of Post Weld Heat Treatment on Fatigue Life Prediction of Strength Mis-matched HSLA Steel Welds", *International Journal of Fatigue* 27, 547-553.