

PENGARUH KEKERASAN TERHADAP VARIASI *POST WELD HEAT TREATMENT* PADA PENGELASAN DISSIMILAR METALS ANTARA BAJA KARBON (ST42) DAN BAJA TAHAN KARAT (AISI 304)

Agus Hariyanto¹, Markus Tato' Mangando
Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Samarinda

ABSTRACT

In dissimilar welding between stainless steel and low carbon steel, the welding metal and the base metal have a thermal cycle of heating and cooling which causes residual stress. Residual stress can cause shaking, decreasing weld strength and corrosion resistance. One method used to reduce residual stress is PWHT (Post Weld Heat Treatment). The heat treatment applied in this study was relieving stresses on specimens with a heating temperature variation of 600° C and 700° C with a holding time of one hour and then cooled slowly in the furnace. Tests carried out were testing the hardness of Vickers including base metal, HAZ area, and welding area with micro hardness test equipment. The results show that in the HAZ area, carbon steel refinement occurs and crystal hardness decreases. Decreased hardness of dissimilar metals specimens with PWHT 600° C and 700° C occurred in St 42, HAZ St 42, welding metal and HAZ AISI 304. PWHT 600° C increased hardness of AISI 304 base metal due to the formation of chromium carbide at grain boundaries and the hardness value of AISI base metal 304 with PWHT 700°C is almost the same as the hardness value of AISI 304 base metal without PWHT.

Keywords: *Dissimilar Welding, Stainless Steels, Carbon Steel, PWHT, Vickers Hardness*

1. Pendahuluan.

Pada waktu sekarang teknik pengelasan telah banyak dipergunakan dalam penyambungan batang-batang pada konstruksi bangunan baja dan konstruksi mesin. Luasnya penggunaan ini disebabkan karena bangunan dan mesin yang dibuat dengan mempergunakan teknik penyambungan ini menjadi lebih ringan dan proses pembuatannya lebih sederhana, sehingga keseluruhannya menjadi lebih murah. Namun demikian disamping keuntungan harus diakui bahwa sambungan las juga memiliki kelemahan, diantaranya adalah : timbulnya lonjakan tegangan yang besar disebabkan oleh perubahan struktur mikro pada daerah sekitar las yang menyebabkan turunnya kekuatan bahan dan akibat adanya tegangan sisa, serta adanya retak akibat dari proses pengelasan. Juga sangat rentan korosi terutama pada pengelasan tidak sejenis (*dissimilar metals*). Banyak hal yang dapat mempengaruhi sifat mekanis maupun sifat kimia pada hasil pengelasan, antara lain: jenis elektroda las yang digunakan, masukan panas (*heat input*) dan perlakuan panas setelah pengelasan. Penggunaan pengelasan terhadap 2 (dua) material atau logam induk yang berbeda atau istilahnya *dissimilar* banyak digunakan di industri kimia dan konstruksi- konstruksi mesin dan bangunan. Hal ini berhubungan dengan efisiensi bahan dan fungsi dari bagian-bagian mesin dan bangunan tersebut, yang tidak kalah penting adalah ketangguhan 2 (dua) material yang disambung terhadap beban statis.

Untuk mengatasi masalah-masalah yang timbul tersebut perlu adanya penelitian-penelitian untuk meningkatkan kualitas hasil lasan. Salah satu penelitian yang dilakukan yaitu dengan melakukan *post weld heat treatment* (PWHT). Perlakuan panas ini bertujuan untuk menghilangkan tegangan dalam, menghaluskan butiran dan mengurangi kekerasan, sehingga diperoleh sifat-sifat yang lebih plastis dan ulet,

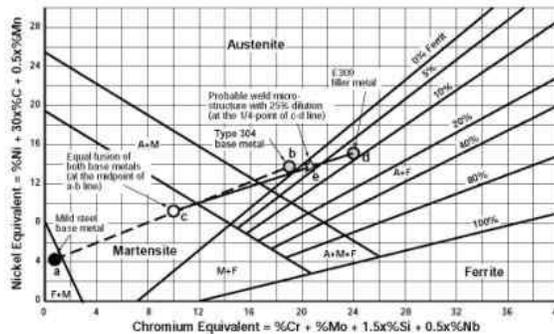
Masukan panas pada proses pengelasan mempengaruhi nilai dan distribusi tegangan sisa. Tegangan sisa bisa menyebabkan penggetasan, menurunnya kekuatan las dan ketahanan korosi. Pembebasan tegangan sisa setelah pengelasan biasanya menggunakan cara *stress relieving* (Paradowska, dkk, 2006). Pada pengelasan *dissimilar* antara baja tahan karat martensit dan baja karbon menggunakan las GTAW, masukan panas las rendah menyebabkan kekerasan lebih tinggi dalam logam las dan di sepanjang batas lebur baja karbon daripada masukan panas tinggi (Barnhouse dan Lippold, 2002

¹ Korespondensi penulis: Agus Hariyanto, Telp. 082351389500, hariyantoagus95@yahoo.co.id

Huang dan Wang (1998) meneliti perpindahan karbon pada pengelasan baja feritik dan baja austenitik menggunakan las SMAW setelah diberi perlakuan panas 500°C – 700°C. Distribusi karbon, kromium, nikel dan besi terjadi di daerah lasan dan sekitarnya. Rodrigues, dkk (2003) meneliti tentang pengaruh PWHT terhadap ketangguhan pengelasan *dissimilar* antara *stainless steel* dan *Cr-Mo steel*. Semakin besar suhu PWHT akan terjadi penurunan kekerasan yang signifikan terutama HAZ *Cr-Mo steel*.

Pengelasan Dissimilar

Pada dasarnya sebagian besar baja tahan karat dapat dilas dengan baja karbon rendah. Pada sambungan dissimilar metal mengacu pada diagram Schaeffler. Dengan menghitung Cr-equivalen dan Ni-equivalen pada raw material maupun filler yang digunakan, maka endapan struktur mikro dapat diperkirakan. Analisa struktur mikro pada diagram schaeffler berlaku pada berbagai macam jenis pengelasan seperti: GTA welding, SMA welding, SAW maupun GMAW.



Gambar 1 Diagram schaeffler (Barnhouse dan Lippold, 2002)

Masukan panas yang terjadi pada pengelasan dapat dirumuskan
$$H = \frac{\eta \cdot P}{v} = \frac{\eta \cdot E \cdot I}{v} \dots\dots 1$$

Dimana H adalah Heat Input..J/mm,P :Tenaga input (watt),v:Kecepatan pengelasan (mm/s), η: Efisiensi, E: Potensial listrik (volt),I : Arus listrik (ampere)

Kekerasan Vickers

Uji kekerasan vickers menggunakan indentor piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujursangkar. Besar sudut antar permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136. Nilai ini dipilih karena mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan brinell (Dieter, 1987).

Angka kekerasan vickers didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. VHN dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$VHN = \frac{2P \sin(\theta / 2)}{d^2} = \frac{(1,854)P}{d^2} \dots\dots\dots 2$$

dengan: P = beban yang digunakan (kg)
d = panjang diagonal rata-rata (mm)

Post Weld Heat Treatment

PWHT adalah bagian dari proses heat treatment yang bertujuan untuk menghilangkan tegangan sisa yang terbentuk setelah proses weldingan selesai. Material terutama carbon steel akan mengalami perubahan struktur dan grain karena effect dari pemanasan dan pendinginan. Struktur yang tidak homogen ini menyimpan banyak tegangan sisa yang membuat material tersebut memiliki sifat yang lebih keras namun ketangguhannya lebih rendah.. Selama proses pemanasan dan pendinginan tersebut, akan terjadi beberapa perubahan ukuran butiran dan struktur mikro. Karena semakin tinggi temperatur austenisasi diberikan pada material yang sama ukuran butir akan semakin besar. Dan dengan harga laju pendinginan yang bervariasi material yang sama akan mempunyai struktur mikro yang berbeda, dapat berupa fine ferrit-pearlit, medium ferrit-pearlit, coarse ferrit-pearlit, bainit ataupun martensit.

2. Metodologi Penelitian

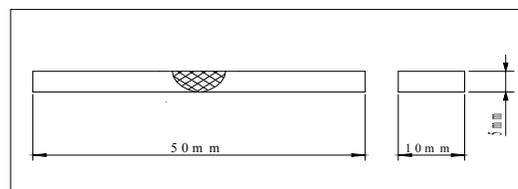
Bahan yang dipakai penelitian ini adalah Plate ST42 tebal 10 mm dan Stainless Steels tebal 10 mm masing-masing sebanyak 3 buah.

Proses pengelasan yang dilakukan menggunakan metode SMAW dengan elektrode E312-16, sedangkan kuat arus yang dipakai 120 A dengan potensial listrik 70 V.

Proses selanjutnya adalah melakukan PWHT 600°C dan 700°C ditahan 1 jam kemudian didinginkan dalam tungku dan plate hasil pengelasan ke 3 tidak dilakukan PWHT.

Untuk mengetahui kekerasan dan struktur mikro material diadakan pengujian dengan alat uji mikro hardness, dengan metode Vickers seperti rumus di bawah ini dan pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optic. bentuk dan spesimen seperti terlihat pada gambar 2.

$$H_v = \frac{2P \sin(\alpha/2)}{d^2} \quad (2)$$



Gambar 2 : Spesimen Uji kekerasan dan pengamatan struktur mikro

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Masukan Panas (Head Input)

Tabel 1 Komposisi Kimia sebelum pengelasan

Bahan	Komposisi kimia (%berat)								
	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	Nb
AISI 304	0,044	0,526	0,018	0,034	1,35	8,473	18,47	0,339	0,04
St 42	0,137	0,258	0,002	0,004	1,11	0,018	0,015	0,191	-
Elektroda E312-16	0,09	0,86	0,012	0,018	0,8	8,73	29,32	-	-

Tabel 2 Komposisi kimia setelah pengelasan

Bahan	Komposisi kimia (%berat)								
	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	Nb
HAZ St 42	0,21	0,41	0,013	0,015	0,62	0,646	1,072	0,028	-
Logam las	0,08	0,98	0,007	0,024	0,84	10,93	28,58	-	-

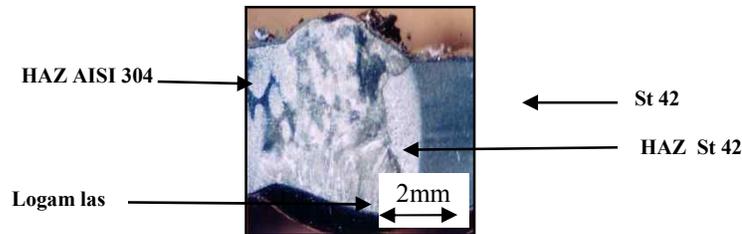
Dari hasil komposisi kimia bahan sebelum pengelasan, harga Cr-equivalen dan Ni-equivalen yang diperlukan untuk sambungan *dissimilar metals* mengacu pada diagram Schaeffler (Gambar 1).

- Nilai dari Cr-equivalen dan Ni-equivalen baja tahan karat (AISI 304) adalah 19,62 % dan 10,47 %.
- Nilai dari Cr-equivalen dan Ni-equivalen baja karbon rendah (St 42) adalah 0,59 % dan 4,68 %.
- Nilai dari Cr-equivalen dan Ni-equivalen logam pengisi (E312-16) adalah 30,61 % dan 11,83 %.

Dengan menggambarkan Cr-equivalen dan Ni-equivalen untuk logam induk AISI 304 dan logam induk St 42 pada diagram Schaeffler kemudian menghubungkan kedua logam induk tersebut dengan garis lurus, kemudian titik tengah dari garis lurus logam induk dihubungkan ke Cr-dan Ni-equivalen logam pengisi E312-16. Pada pengelasan SMAW dengan posisi *one side flat*, faktor pencairan logam induk adalah 30% sehingga endapan struktur mikro logam las yang dapat diperkirakan adalah 32% ferit dan austenit, dan diidentifikasi sebagai baja tahan karat berfase ganda (dupleks). Pada kondisi ini, logam las dan HAZ AISI 304 akan mengalami peningkatan kekerasan dan penurunan ketahanan korosi akibat dari presipitasi karbida (Ornig, 1994).

3.2 Pengamatan Makro

Tujuan pengamatan makro adalah untuk mengetahui bentuk dan batas antara daerah logam induk, HAZ dan logam las pada pengelasan *dissimilar metals*.

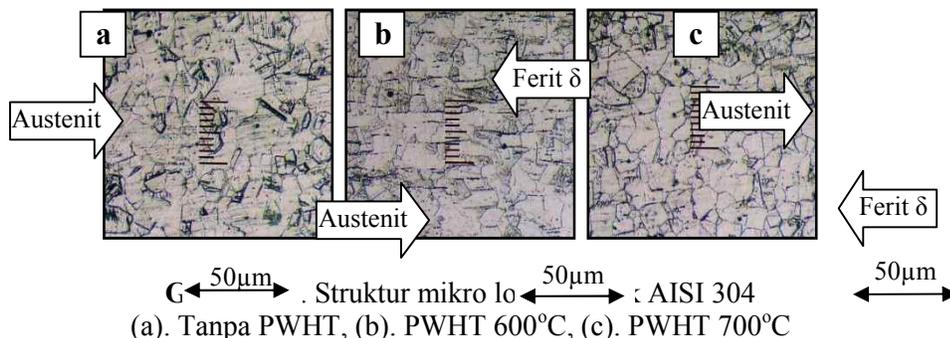


Gambar 3. Foto makro sambungan las

3.3 Pengamatan Struktur Mikro

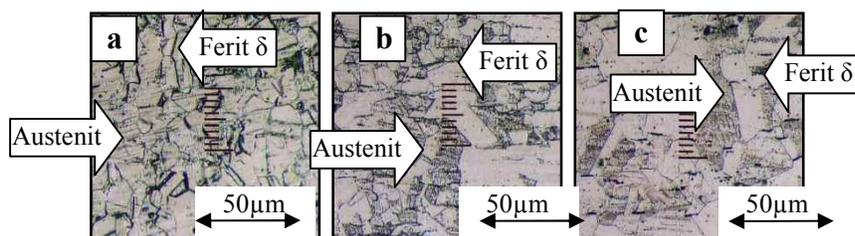
Setiap spesimen memiliki bentuk struktur mikro yang berbeda, hal ini disebabkan karena setiap spesimen mendapatkan perlakuan panas yang berbeda mulai dari tanpa PWHT, PWHT 600°C dan PWHT 700°C. Pengambilan foto spesimen dilakukan dengan perbesaran 200X.

3.3.1 Struktur mikro logam induk AISI 304



Pada Gambar 4.(a), logam induk AISI 304 merupakan material berstruktur austenit berfase FCC pada suhu kamar yang berarti sangat sulit mengalami perubahan fase meskipun dilakukan PWHT. Perbedaan yang mencolok pada Gambar 4.2(b) adalah pada PWHT 600°C, dimana batas butirnya hampir tidak kelihatan yang disebabkan pengendapan karbida pada batas butirnya. Pada pendinginan lambat dari 680°C ke 480°C akan terbentuk kromium karbida yang mengendap di antara butir (Wiryosumarto dan Okumura, 1988). PWHT 700°C menyebabkan pelarutan kembali kromium karbida yang terbentuk pada batas butir sehingga bentuk strukturnya hampir sama dengan logam induk AISI 304 tanpa PWHT seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4(c).

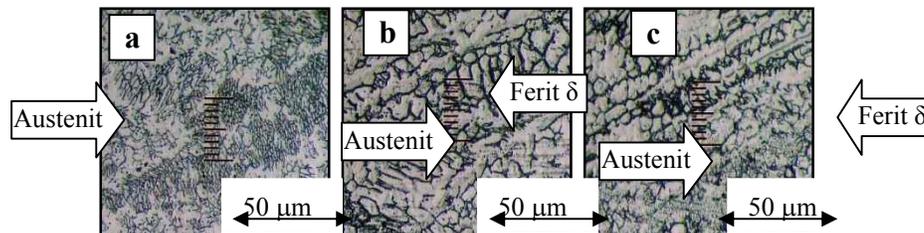
3.3.2 Struktur mikro HAZ AISI 304



Gambar 5. Struktur mikro HAZ AISI 304
(a). Tanpa PWHT, (b). PWHT 600°C, (c). PWHT 700°C

Pada Gambar 5(a), struktur mikro HAZ AISI 304 tetap berupa ferit δ dan austenit karena material tersebut sangat stabil sehingga panas yang berasal dari pengelasan tidak mengubah fasanya. Pada kondisi ini, kromium karbida ($Cr_{23}C_6$) akan terbentuk pada batas butir akibat dari peluruhan las (Trethewey dan Chamberlain, 1991). PWHT menyebabkan pembesaran butir dan penghalusan pada batas butirnya seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5(b) dan Gambar 5(c).

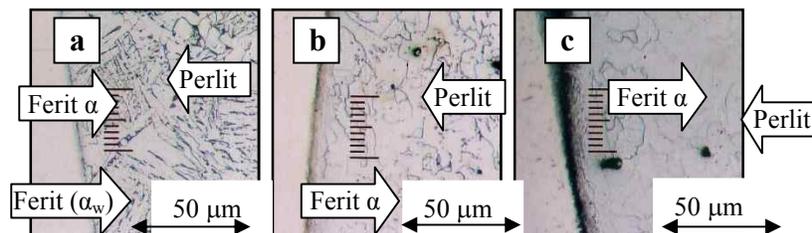
3.3.3 Struktur mikro logam las



Gambar 6. Struktur mikro logam las
(a). Tanpa PWHT, (b). PWHT 600°C, (c). PWHT 700°C

Pada Gambar 6(a), selama pendinginan dari logam cair sampai mencapai suhu kamar, logam las mengalami serangkaian perubahan fasa menjadi ferit δ dan austenit dengan bentuk struktur *equiaxed dendritic*. PWHT 600°C dan 700°C menyebabkan perubahan struktur *equiaxed dendritic* menjadi bentuk *columnar dendritic* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 6(b) dan Gambar 6(c). Struktur mikro dengan bentuk *columnar dendritic* menunjukkan batas butir yang relatif besar (Rusli, 1995).

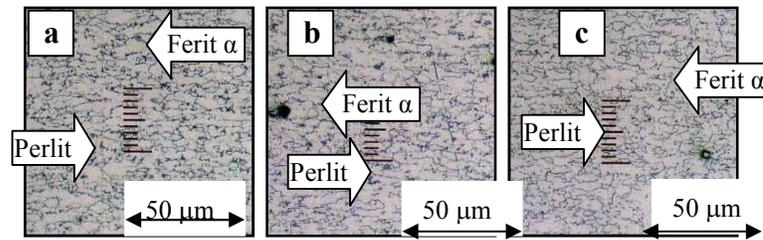
3.3.4 Struktur mikro batas logam las dan HAZ St 42



Gambar 8. Struktur mikro batas logam las dan HAZ St 42
(a). Tanpa PWHT, (b). PWHT 600°C, (c). PWHT 700°C

Pada Gambar 8(a), HAZ St 42 yang terpengaruh logam las mempunyai struktur ferit Widmanstätten (α_w) dan ferit batas butir (ferit α) dan sedikit perlit. Pada Gambar 8(b), PWHT 600°C menyebabkan perubahan struktur menjadi sedikit perlit dan ferit batas butir dengan jumlah lebih banyak dan bentuk lebih bulat. Dalam waktu yang sama terbentuk endapan pada batas logam las dan HAZ St 42 yang ditandai dengan garis vertikal gelap. Pada Gambar 8(c), PWHT 700°C menyebabkan perubahan bentuk ferit batas butir menjadi lebih besar dengan penghalusan pada batas butirnya dan endapan yang terbentuk semakin banyak.

3.3.5 Struktur mikro logam induk St 42

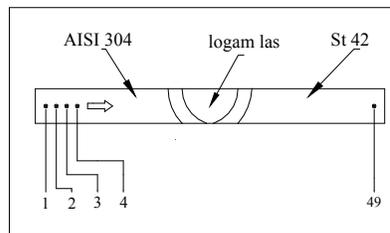


Gambar 10. Struktur mikro logam induk St 42
(a). Tanpa PWHT, (b). PWHT 600°C, (c). PWHT 700°C

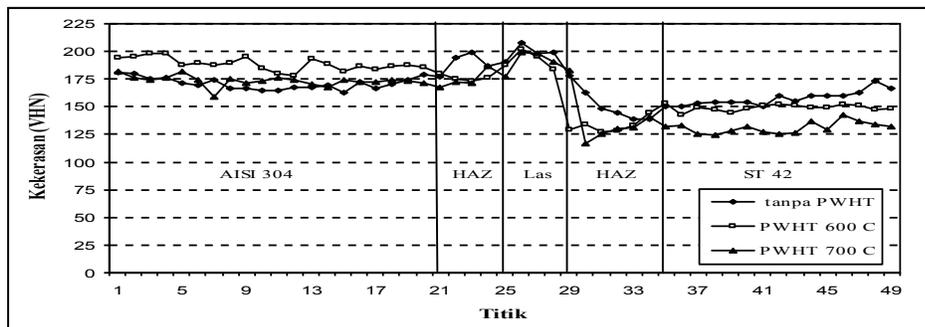
Pada Gambar 10(a), logam induk St 42 mempunyai struktur ferit α (terang) dan perlit(gelap). Jumlah ferit lebih banyak daripada perlit karena merupakan baja karbon rendah ($C=0,13\%$). PWHT 600°C dan 700°C menyebabkan penambahan jumlah ferit α dan pengurangan jumlah perlit akibat dari larutnya karbon didalam austenit seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 10(b) dan Gambar 10(c).

3.4 Uji Kekerasan Vickers

Uji kekerasan pada spesimen tanpa PWHT, PWHT 600°C dan PWHT 700°C dilakukan pada 49 titik yang berbeda pada masing-masing spesimen, jarak injak sejauh 1mm dengan pembebanan 1 kg. Kekerasan logam menyatakan ukuran ketahanan terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen



Gambar 11. Pembagian daerah kekerasan



Gambar 12. Grafik distribusi kekerasan las

Nilai kekerasan rata-rata logam induk AISI 304 tanpa PWHT dan PWHT 700°C hampir sama, yaitu 171 VHN dan 173 VHN. Sedangkan PWHT 600°C meningkatkan nilai kekerasan rata-rata menjadi 189 VHN karena pada batas-batas butirnya terbentuk kromium karbida yang mempunyai sifat keras dan getas. Sedangkan daerah HAZ AISI 304 dan logam las tanpa PWHT mempunyai kekerasan rata-rata yang tinggi karena mengalami pembentukan kromium karbida akibat dari siklus thermal pengelasan. Dengan PWHT 600°C dan PWHT 700°C terjadi penurunan kekerasan, terutama pada daerah HAZ AISI 304.

Nilai kekerasan rata-rata logam induk St 42 tanpa PWHT adalah 158 VHN. PWHT 600°C menyebabkan penurunan kekerasan rata-rata 149 VHN sedangkan PWHT 700°C menyebabkan terjadinya penurunan kekerasan

rata-rata 130 VHN. HAZ St 42 yang merupakan pusat korosi galvanik mempunyai kekerasan rata-rata 147 VHN lebih rendah dari pada kekerasan rata-rata logam induknya. PWHT 600°C dan 700°C menyebabkan penurunan kekerasan rata-rata 133 VHN dan 129 VHN yang ditandai dengan perubahan bentuk butir yang semakin besar dan batas butir yang semakin halus.

4. Kesimpulan

Berdasarkan data yang diperoleh maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Besarnya masukan panas berpengaruh terhadap distribusi kekerasan dimana makin besar masukan panas akan mengakibatkan nilai kekerasan daerah HAZ baja karbon, HAZ *Stainless Steels* dan daerah las menurun.
2. Besarnya masukan panas juga berpengaruh nilai kekerasan pada daerah las yang menunjukkan peningkatan nilai kekerasan

5. Daftar Pustaka

- Ahluwalia, H., 2003, *Improving corrosion resistance through welding*, fabrication methods, The fabricator.
- Huang, M.L. and Wang, L., 1998, *Carbon Migration in 5Cr-0.5Mo/21Cr-12Ni Dissimilar Metal Welds*, Metallurgical and Material Transactions A, Vol. 29A, 3037-3046.
- JIS, 2009, *Ferrous Materials and Metallurgy*, JIS Handbook 1980, Japanese Standards Association.
- Jones, D.A., 2009, *Principles and Prevention of Corrosion*, MacMillan Publishing Company, New York.
- Ornig, H., 2006, *Joining Dissimilar Materials*, Welding Engineer Training The Technical Assistance from The Australian Government to Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, Austria.
- Rusli, R.H., 2005, *Dasar Teori Solidifikasi Metal*, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Surdia, T. dan Saito, S., 2006, *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Wirjosumarto, H. dan Okumura, T., 2007, *Teknologi Pengelasan Logam*, Pradnya Paramita, Jakarta.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar besarnya kepada Politeknik Negeri Samarinda yang telah mendanai penelitian sampai selesai melalui dana PNPB.