

ANALISIS KEBOCORAN PIPA REFORMER DI SEBUAH PERUSAHAAN PETROKIMIA

*Sri Nugroho, Rusnaldy

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH, Tembalang, Semarang 50275

*Email: srinugroho2004@yahoo.com

ABSTRAK

Primary Reformer adalah suatu alat yang dioperasikan pada suhu 600-800°C dan tekanan 30-40 kg/cm². Alat ini berbentuk *tube* yang berfungsi untuk memecahkan gas hidrokarbon menjadi hidrogen. *Primary reformer* dibuat material yang berbeda, pada *flange* menggunakan material baja karbon dan pada *top tube* menggunakan material baja tahan karat. Kedua material tersebut disambung dengan menggunakan las GTAW (*Gas Tungsten arc Welding*) dengan *filler metal inconel 82*. Namun ditemukan kobocoran antara sambungan *flange* dengan material baja karbon dan *weld metal* yang menggunakan *filler metal inconel 82*. Hal ini diduga karena adanya *dark band* pada *weld metal* di batas *fusi* material baja karbon yang terbentuk akibat temperatur operasi. Masalah yang terjadi ini mengakibatkan terjadinya *disbonding* atau lepasnya *weld metal* pada *base metal*.

Kata kunci: *Humanoid robot*, Kinematik, Dinamik, *Lagrangian*, MATLAB

1. PENDAHULUAN

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh seringnya ditemukan kebocoran pada pipa reformer di sebuah perusahaan petrokimia (lihat Gambar 1). Kebocoran ini mengakibatkan proses produksi perusahaan berhenti total (*total shut down*) dalam tempo 2-3 hari dan mengakibatkan kerugian mencapai puluhan juta rupiah [1]. Di perusahaan tersebut, *primary reformer* (pipa reformer yang sering bocor ini berada) berfungsi untuk mengubah gas hidrokarbon menjadi gas hidrogen. Proses ini membutuhkan tekanan dan temperatur yang sangat tinggi, yaitu masing-masing 30-40 bar dan 600-800°C. Pada Gambar 1 terlihat bentuk pipa reformer yang terdiri dari dua bagian yaitu *flange* dan *top tube*.



Gambar 1. Bentuk pipa reformer [2]

Bagian *flange* terbuat dari baja karbon rendah/medium dan bagian *top tube* dari baja tahan karat. Kedua bagian yang berbeda material ini disambung dengan menggunakan pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW). Menurut literatur [3-4], pengelasan yang dilakukan terhadap dua buah komponen yang berbeda material disebut *Dissimilar Metal Welding* (DMW). Penelitian ini telah didahului dengan penelitian awal yang dilakukan peneliti bersama dua mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro (JTM Undip). Penelitian tersebut didanai dari DIP A JTM Undip tahun anggaran 2010 dan telah dipublikasikan di prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin IX (ISBN : 978-602-97742-0-7, Halaman MIV-95) di Palembang [3]. Hasil dari penelitian tersebut adalah telah diperoleh kesimpulan sementara bahwa ada dua kemungkinan mekanisme kegagalan yang terjadi yaitu *disbonding* dan *creep failure* [3]. *Disbonding* adalah fenomena terlepasnya sambungan lasan yang disebabkan oleh terbentuknya *dark band* di daerah antara *Heat Affected Zone* (HAZ) baja karbon dengan daerah lasan (*weld zone*) []. Sedangkan *creep failure* adalah kegagalan mulur yang disebabkan oleh tumbuhnya butir ferit secara berlebihan di daerah HAZ baja karbon [4]. Kemungkinan penyebab dari kegagalan ini adalah kesalahan prosedur pengelasan (pekerjaan lapangan tidak sesuai dengan *Welding Procedure Specification/WPS*), kesalahan pemilihan material dan kesalahan pemilihan logam pengisi lasan (*filler metal*) [2,3]. Kesimpulan dari penelitian sebelumnya masih berupa kemungkinan sehingga masih dibutuhkan beberapa pengujian lanjutan. Beberapa pertanyaan yang masih butuh pengujian lanjutan antara lain:

”Apakah *dark band* itu merupakan senyawa getas karbida atau martensit? Adakah pengaruh *preheat* dan *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) terhadap kualitas sambungan lasan? Jawaban dari pertanyaan tersebut jika dicari dari paper-paper DMW di jurnal internasional [6 – 10] juga masih belum begitu jelas jawabannya. Oleh karena itu, penelitian ini diajukan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas.

2. MATERIAL DAN METODOLOGI

Fenomena yang terjadi pada DMW antara baja karbon dan baja tahan karat saat ini adalah ditemukannya *disbonding* antara *weld metal* dengan baja karbon. Hal ini di prediksi akibat terjadi kesalahan *filler metal*. Pipa ini digunakan pada sebuah instalasi pada temperature 600-800°C dan tekanan 30bar. Proses pengelasan menggunakan mesin las GTAW, menggunakan *filler metal Inconel 82*. Sebelum melakukan pengelasan, dikasih *preheat* dengan temperatur 150°C. Karena proses pengelasan ini maka logam disekitar *weld zone* mengalami siklus termal cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan – perubahan metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan – tegangan. Hal ini sangat erat hubungannya dengan ketangguhan, cacat las, retak dan lain sebagainya yang umumnya mempunyai pengaruh yang fatal terhadap keamanan dan konstruksi las. Unsur karbon pada suatu material logam mempunyai pengaruh terhadap kemampuan dari material logam. Sesuai standar ASME QW-461.4, 2001, ”*Welding General Requirements*” baja karbon ini memerlukan *preheat*, PWHT dan kontrol temperatur interpass pada pengelasannya. PWHT ini diharapkan *stress relieving* (pelepasan tegangan internal) kekuatan material turun, creep akan terjadi pada suhu tinggi dan regangan akan terbentuk oleh mekanisme difusi dan menurunkan tegangan sisa. Pengujian yang dilakukan sebagai berikut:

a. Pengujian Metalografi

Pengujian ini dilakukan sebelum dan sesudah PWHT, dan membandingkan struktur mikro sebelum dan sesudah PWHT.

b. Pengujian Sifat Mekanik

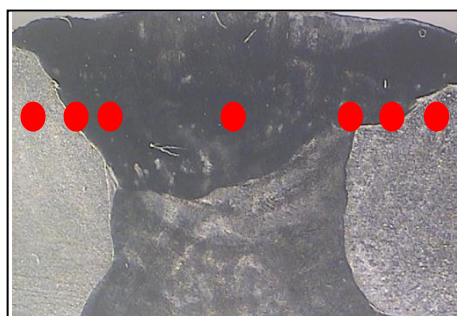
Pengujian kekerasan, pengujian ini menggunakan metode *mikro hardness Vickers* yang bertujuan mengetahui nilai kekerasan pada spesimen dan membandingkannya antara sebelum PWHT dan sesudah PWHT.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini adalah hasil pengujian mikrografi pada hasil pengelasan DMW antara baja karbon A-106 dan baja tahan karat A-312 yang disambung dengan *filler metal Inconel 82*, sebelum dan sesudah PWHT dengan temperatur 400, sd. 800°C. Hasil uji kekerasan *micro vickers hardness* disajikan dalam bentuk grafik.

3.1. Data dan Analisa Hasil Pengujian Mikrografi

Pengambilan gambar struktur mikro ini dilakukan pada bagian – bagian tersendiri, bagian – bagian tersebut diantaranya adalah : *Base metal* baja karbon dan baja tahan karat, HAZ baja karbon dan baja tahan karat, serta batas antara HAZ dan *weld metal* baja karbon dan baja tahan karat yang akan dibahas satu persatu sesuai variasi temperatur dan lebih fokus pada batas antara HAZ baja karbon dan *weld metal*. Gambar 2 menunjukkan skema pengambilan struktur mikro.

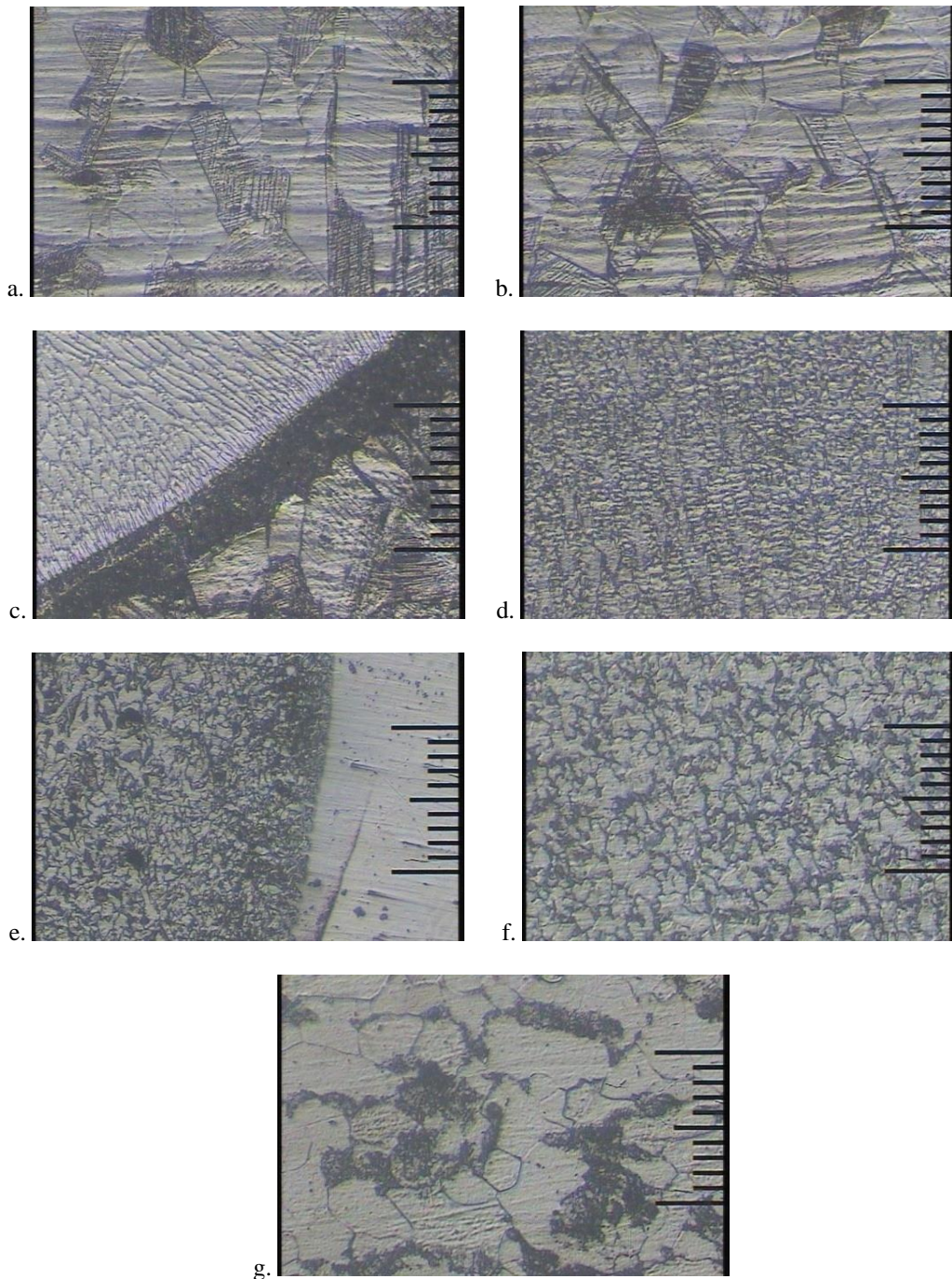


Gambar 2. Skema pengujian mikrografi (perbesaran 10X, menggunakan etsa aquaregia).

Terjadinya kegagalan pada DMW terletak pada batas *weld metal* dengan HAZ baja karbon. Kegagalan diprediksi oleh adanya daerah berwarna gelap di sepanjang batas *weld metal*, yang juga sering disebut dengan *dark band* atau LHZ (*Lord Hard Zone*). Menurut John C. Lippold (2005), *dark band* ini terbentuk oleh adanya migrasi karbon akibat proses pengelasan. Gambar 3 menunjukkan hasil dan analisis mikrografi dari DMW tersebut, sesuai dengan variasi temperatur PWHT.

Gambar 3 (a) adalah struktur mikro dari *base metal* baja tahan karat A-312 yang tergolong baja tahan karat *austenitic*. Nilai kekerasannya 298.5 VHN. Gambar 3 (b) adalah struktur mikro dari HAZ baja tahan karat, struktur mikronya tidak jauh beda dengan *base metal*. Selama pengelasan tidak mengubah struktur mikronya tetapi ukuran butir menjadi lebih kecil dibanding *base metal*, yaitu sekitar 49.1µm. Gambar 3 (c) menunjukkan struktur mikro batas antara HAZ baja tahan karat dan *weld metal*. Pada gambar tersebut ditemukan daerah berwarna gelap pada batas *weld metal*, yang sering juga disebut dengan *dark band*. Terbentuknya *dark band* ini akibat migrasi karbon dari konsentrasi tinggi

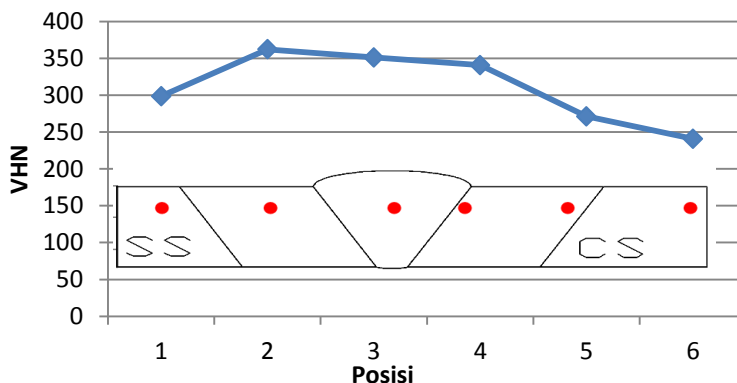
ke konsentrasi karbon yang rendah. Tebal dari *dark band* tersebut sekitar $45\mu\text{m}$ dan nilai kekerasannya 379.8 VHN. Gambar 3 (d) adalah struktur mikro dari *weld metal* dengan menggunakan *filler metal inconel 82*, struktur mikronya austenite, seperti yang diprediksikan pada diagram *schaeffler*, nilai kekerasan pada daerah ini 351.1 VHN. Gambar 3 (e) struktur mikro yang belum terpengaruh efek PWHT, hasil murni dari pengelasan DMW, bagian HAZ struktur mikronya berbentuk bulat kecil dengan ukuran sekitar $7.39\mu\text{m}$ dan berstruktur ferit + pearlite. Nilai kekerasan pada daerah tersebut sekitar 340.60 VHN. Demikian juga pada gambar 3 (f) HAZ ini juga mempunyai kekerasan yang sangat tinggi, sekitar 271,36 VHN besarnya ukuran butir pada daerah ini sekitar $9.1\mu\text{m}$. Gambar 3 (g) adalah struktur mikro dari base metal baja karbon yang berbentuk bulat – bulat besar dan berstruktur ferit + pearlit. Nilai – nilai kekerasan ini sangat tinggi dan tidak sesuai realitanya, seperti yang dipersyaratkan oleh *NACE MR0715* dimana kekerasannya < 250 VHN. Hal ini dimungkinkan disebabkan oleh efek dari pengerjaan permesinan pada saat pengambilan sample spesimen.



Gambar 3. Struktur mikro pengelasan DMW dengan *preheat* 150°C tanpa *PWHT* (a) *Base metal* baja tahan karat A 312, (b) Bagian HAZ baja tahan karat, (c) Batas HAZ baja tahan karat dengan *weld metal*, (d) *Weld metal* dengan *filler metal Inconel 82*, (e) Batas *weld metal* dengan HAZ baja karbon, (f) Bagian HAZ baja karbon, (g) *Base metal* baja karbon A-106. (Perbesaran 200X, untuk gambar a-e menggunakan etsa aquaregia, dan f dan g menggunakan etsa nital HNO_3 2,5%).

3.2. Data Hasil Pengujian Kekerasan

Pengambilan nilai kekerasan dilakukan pada 6 bagian pengelasan, dengan pembebanan 200 gf dan waktu indentasi dilakukan selama 5 detik.

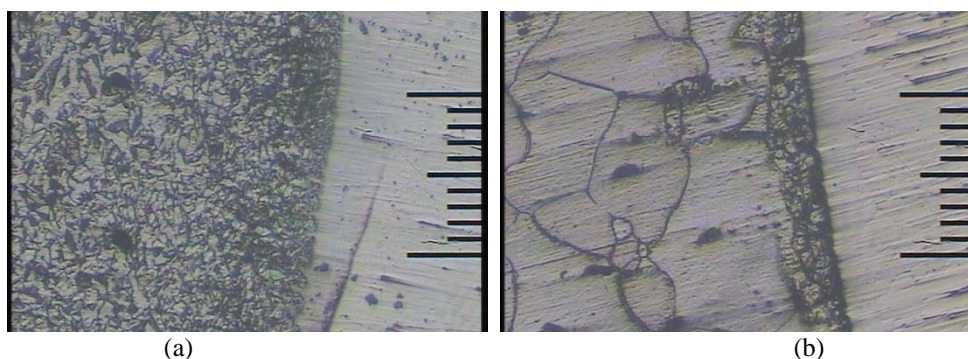


Gambar 4. Grafik nilai kekerasan DMW dengan *preheat* 150°C tanpa PWHT

Dari Gambar 4 didapatkan nilai kekerasan pada bagian – bagian pengelasan DMW, diantaranya adalah bagian *base metal* baja tahan karat dengan kekerasan 298.5 VHN. Daerah HAZ baja tahan karat 362.1 VHN termasuk daerah paling keras dan melebihi kekerasan pada *weld metal*. Nilai kekerasan pada *weld metal* bernilai 351.1 VHN. Daerah batas antara *weld metal* dan HAZ baja karbon 340.6 VHN, daerah ini pula juga keras apalagi terkandung *dark band* akibat pengelasan meskipun tidak tampak pada hasil mikrografi. Nilai kekerasan daerah HAZ baja karbon sekitar 271.3 VHN, lebih rendah dari daerah batas *weld metal*. Nilai kekerasan *base metal* baja karbon 240.7 VHN. Nilai – nilai kekerasan ini tidak sesuai realitanya karena sangat tinggi, dan tidak seperti yang dipersyaratkan oleh *NACE MR0715* dimana kekerasannya < 250 VHN. Hal ini dimungkinkan disebabkan oleh efek dari pengerjaan permesinan pada saat pengambilan sample spesimen.

3.3. Fenomena *Dark Band* dan Pengkasaran Butir

Terbentuknya *dark band* pada batas *weld metal* dan HAZ baja karbon ini akibat migrasi karbon dari konsentrasi karbon tinggi ke konsentrasi karbon rendah, yang ditimbulkan oleh efek dari temperatur dan waktu (AWS WHB-4). Karena disinilah terjadinya kegagalan pada aplikasi, yang dioperasikan dengan temperatur 600-800°C dan bertekanan 30-40 kg/cm² sehingga menyebabkan *disbonding*. Dilakukannya perlakuan panas dengan temperatur 400-800°C ini untuk mengetahui fenomena *dark band* akibat migrasi karbon, dan didapatkan hasil dari mikrografi seperti dapat dilihat dibawah.



Gambar 5. (a) Mikrografi daerah batas *weld metal* dan HAZ baja karbon tanpa PWHT, (b) mikrografi daerah batas *weld metal* dan HAZ baja karbon dengan PWHT 800°C

Diperlihatkan pada gambar hasil uji mikrografi tersebut, adanya LHZ (*Lord Hard Zone*) atau sering disebut dengan *dark band* akibat migrasi karbon dari HAZ menuju batas *weld metal* karena efek perlakuan panas 800°C dan *holding time* 1 jam. Komposisi baja karbon dengan 0.3% C dan berstruktur ferit + pearlit berubah menjadi ferit akibat perlakuan panas tersebut, dan pengkasaran butir pada daerah sekitar *dark band*, yang cenderung dapat menurunkan sifat mekanik pada daerah ini, karena unsur C dapat terbentuk perlit yang meningkatkan kekuatan baja ini, tetapi adanya migrasi karbon pada daerah ini mengalami kekurangan karbon sehingga hanya berstruktur perlit. Nilai kekerasan daerah ini cenderung lebih rendah dibandingkan dengan *base metalnya*, yaitu bernilai 79.6 VHN. Dari nilai kekerasan tersebut baja ini menjadi lemah dan dapat terjadi retak pada daerah tersebut, sedangkan pada aplikasi dioperasikan pada

temperatur 600-800°C ditambah lagi tekanan operasi yang cukup tinggi, sehingga baja ini tidak dapat menahan beban operasi dan mengalami *disbonding*.

4. KESIMPULAN

Pengaruh yang terjadi pada struktur mikronya adalah, semakin tinggi temperatur PWHT terjadi pengkasaran butir pada daerah HAZ baja karbon, hal ini dapat dilihat pada hasil pengujian mikrografi, ukuran butir berkisar sekitar: 7.39 μm untuk spesimen tanpa PWHT, 9 μm untuk spesimen PWHT 400°C, 10.45 μm untuk spesimen PWHT 500°C, 17.1 μm untuk spesimen PWHT 600°C, 27.7 μm untuk spesimen PWHT 700°C, dan 36.1 μm serta berstruktur ferrit untuk spesimen PWHT 800°C. Pengaruh yang terjadi pada sifat mekaniknya adalah, semakin tinggi temperatur PWHT maka pada daerah batas *weld metal* dengan HAZ baja karbon semakin keras, yaitu ditunjukkan dengan nilai kekerasan pada daerah ini yang semakin meningkat. Pada variasi temperatur PWHT 800°C nilai kekerasan mencapai 270.9 VHN tetapi terjadi penurunan nilai kekerasan pada HAZ baja karbon menjadi 94.6 VHN. Hal ini melebihi yang dipersyaratkan oleh NACE MRO715 dimana kekerasannya < 250 VHN.

Pengaruh *preheat* dan PWHT pada DMW, dengan DMW *preheat* tanpa PWHT menimbulkan migrasi karbon pada daerah batas *weld metal* semakin besar. Struktur mikro ferrit pada daerah HAZ efek dari PWHT 800°C ini menunjukkan telah terjadi migrasi karbon yang besar disana, ditunjukkan dengan nilai kekerasan yang sangat tinggi pada daerah batas *weld metal*, yang melebihi kekerasan dari *weld metal* dan *base metalnya*, serta penurunan nilai kekerasan pada HAZ baja karbon karena kekurangan unsur C. Terjadinya kegagalan *disbonding* dapat disebabkan dari dua (2) hal yaitu, efek dari menurunnya kekuatan pada HAZ baja karbon sehingga menyebabkan kegagalan *creep*. Atau senyawa yang terkandung pada *dark band* merupakan pengikatan unsur krom (Cr) terhadap unsur karbon (C) yang membentuk karbida krom (Cr_23C_6) pada batas *weld metal* yang mengakibatkan timbulnya fasa getas.

5. REFERENSI

- [1] Kou Sindo, 2003, “*Welding Metallurgy*“, second edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [2] Lippold, John C, 2005, “*Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*“, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [3] Okumura, Toshie., Wiryosumarto Harsono., 2000, “*Teknologi Pengelasan Logam*“, Cetakan ke-8, PT Pradnya Paramita, Jakarta
- [4] ASTM, 2002, A-106, “*Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service*”
- [5] AWS, 1997, WHB-4, “*Dissimilar Metals*”
- [6] ASM team, 1993, “*ASM Metal Handbook Volume 6 Welding, Brazing and Soldering*”, American Society for Metals, The United States of America.
- [7] Tugas Akhir, Lukman Arianto, L2E604219, 2010, “Pengaruh Penggunaan *Filler Metal* ER 308, ER 309 Dan Inconel 82 Pada Pengelasan *Dissimilar Metal* Antara Baja Karbon A-106 dan Baja Tahan Karat A-312 TP 304H”
- [8] Tugas Akhir, Yoeangga Setyoko Putra, L2E604232, 2010, “Analisa Kegagalan *Dissimilar Metal Welding* Antara Baja Tahan Karat Austenitik SS-312 Dengan Baja Paduan Rendah 21/4 Cr-1Mo Pada *Tube Air Preheater Convection Section Primary Reformer*”