

KARAKTERISASI *STAINLESS STEEL DUPLEX 2205* SEBELUM DAN SESUDAH DILAS DENGAN METODE *TUNGSTEN INERT GAS (TIG)*

Muhammad Firdausi ¹⁾ dan Hendri Yoga Saputra ²⁾

Program Studi Teknik Mesin S-1, Fakultas Teknologi Industri,
Institut Sains Dan Teknologi Nasional.

email :

mmfirdausi@yahoo.com; hendriyoga0022@gmail.com

Abstract

Stainless Steel Duplex 2205 is stainless steel that has good toughness and corrosion resistance. 2205 Duplex Stainless Steel applications generally in the petrochemical industry, marine industry etc. The material used in this study was a plate of Stainless Steel Duplex 2205 with a thickness of 12 mm which was carried out by the welding process of Tungsten Inert Gas with filler ER2209 in the variations of V and X to obtain the characteristics of the test material in the form of microstructure, hardness, phase and residual stress. Phase comparison shows phase weight of 66% ferrite and 34% austenite. The results of the residual stress testing are carried out in the transverse direction (parallel to the surface), normal (perpendicular to the surface) and axial (parallel to the weld direction) showing the highest residual stress in the Metal Base area. The results of the largest residual stress are found in the bottom of V in position 5 mm from the weld center with the direction of press and the magnitude of -280 MPa, with a note that the measurements obtained are only positions 5, 7, 9, 15, 25 mm.

Keywords: *Stainless Steel Duplex, welding, residual stress.*

Abstrak

Stainless Steel Duplex 2205 merupakan baja tahan karat yang memiliki ketangguhan dan ketahanan korosi yang baik. Aplikasi Duplex Stainless Steel 2205 umumnya pada industri petrokimia, industri kelautan dsb. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah plat Stainless Steel Duplex 2205 dengan tebal 12 mm yang dilakukan proses pengelasan Tungsten Inert Gas dengan filler ER2209 pada variasi kampuh V dan X untuk didapatkan karakteristik material uji berupa struktur mikro, kekerasan, fasa, dan tegangan sisa. Perbandingan fasa menunjukkan berat fasa sebesar 66% ferrite dan 34% austenite. Hasil pengujian tegangan sisa dilakukan pada arah transversal (sejajar permukaan), normal (tegak lurus permukaan) dan axial (sejajar arah lasan) menunjukkan tegangan sisa tertinggi pada daerah Base Metal. Hasil tegangan sisa terbesar terdapat pada kampuh V diposisi 5 mm dari pusat lasan dengan arahnya tekan dan besarnya -280 MPa, dengan catatan pengukuran yang didapat hanya posisi 5, 7, 9, 15, 25 mm.

Kata kunci : *Stainless Steel Duplex , pengelasan, tegangan sisa.*

I. PENDAHULUAN

Baja tahan karat atau *Stainless Steel* adalah paduan besi dengan minimal 12% kromium. Komposisi ini membentuk lapisan pelindung anti korosi yang merupakan hasil oksidasi terhadap krom yang terjadi secara spontan. Kategori *Stainless Steel* didasarkan pada struktur metalurginya. Lima golongan utama *Stainless Steel* adalah *austenite*, *ferrite*, *martensite*, *duplex*, dan *precipitation hardening Stainless Steel*.

Stainless Steel Duplex 2205 merupakan *Stainless Steel* yang memiliki dua fasa, yaitu fasa *ferrite* dan fasa *austenite*. Dengan adanya kedua fasa tersebut dapat memberikan keuntungan berupa sifatnya lebih keras, memiliki kekuatan mampu las yang baik, ketahanan korosinya tinggi. *Stainless Steel Duplex* juga banyak digunakan pada industri petrokimia, industri kelautan dikarenakan pada industri petrokimia, industri kelautan memerlukan bahan yang memiliki ketahanan korosinya yang baik.

Meskipun *Stainless Steel Duplex 2205* memiliki keuntungan seperti tahan terhadap suhu tinggi dan ketahanan korosinya yang baik, memiliki kekuatan mampu las yang baik, tetapi tidak menutup kemungkinan ketika proses pengelasan pada *Stainless Steel Duplex* mengalami deformasi.

Metode penyambungan logam dengan pengelasan salah satunya memberikan panas (temperatur) yang tinggi pada material, dengan tujuan mencairkan BM (logam material) dengan *filler*. Temperatur tinggi dapat menimbulkan deformasi (perubahan bentuk mula-mula material) pada struktur, fasa, dan dapat menimbulkan tegangan sisa (*residual stress*).

Tegangan sisa adalah gaya internal tanpa adanya gaya yang bekerja dari luar (eksternal). Pengukuran tegangan sisa dapat menggunakan teknik difraksi sinar X, dimana pengukurannya dilakukan pada regangan elastis suatu logam yang memiliki

struktur kristal sehingga dapat menentukan pengukuran jarak kisi. Difraksi neutron memiliki keunikan dibandingkan dengan sinar-X karena daya tembus gelombang neutron yang lebih besar.

Metode difraksi digunakan untuk analisis padatan kristalin. Selain itu untuk meneliti ciri utama struktur, seperti parameter kisi dan tipe struktur juga dimanfaatkan untuk mengetahui rincian lain seperti susunan berbagai jenis atom dalam kristal, kehadiran cacat, orientasi, ukuran sub-butir dan butir, ukuran dan kerapatan presipitat. Difraksi sinar-X ataupun neutron adalah metode pengujian untuk menentukan struktur kristal, molekul, dan fasa pada spesimen, yaitu dengan mengukur sudut dari gelombang terdifraksi. Jarak antar atom merupakan pengukur regangan internal suatu benda atau material. Dimana, perubahan jarak antar atom mengindikasikan terjadi regangan pada suatu material.

Penggunaan las TIG mempunyai dua keuntungan, yaitu pertama kecepatan pengumpanan logam pengisi dapat diatur terlepas dari besarnya arus listrik sehingga penetrasi ke dalam logam induk dapat diatur sesuai kebutuhan. Cara pengaturan ini memungkinkan las TIG dapat digunakan dengan baik untuk pelat baja tipis maupun pelat yang tebal. Sumber listrik yang digunakan untuk pengelasan TIG dapat berupa listrik DC atau listrik AC. Dalam hal listrik DC rangkaian listriknya dapat dengan polaritas lurus dimana kutup positif dihubungkan dengan logam induk dan kutup negatif dihubungkan dengan batang elektroda atau rangkaian sebaliknya yang disebut polaritas balik.

Penelitian ini mempelajari perbandingan tegangan sisa antara kampuh V dan X pada pengelasan TIG dengan material *Stainless Steel Duplex 2205* terhadap struktur mikro, fasa, dan tegangan sisa.

II. METODE PENELITIAN

2.1 *Stainless Steel Duplex 2205*

Stainless Steel adalah material yang mengandung senyawa besi dan setidaknya 10.5% kromium untuk mencegah proses korosi (pengaratan logam). *Stainless Steel* termasuk material yang banyak digunakan dan dikembangkan dalam sebuah industri teknik. *Stainless Steel Duplex 2205* merupakan *stainless steel* dengan unsur paduan Fe-Cr-Ni, dimana kekuatan tarik maksimalnya 750-950 Mpa. *Stainless Steel Duplex 2205* memiliki sifat mampu las yang sangat baik. Komposisi kimia dan sifat mekanik *Stainless Steel Duplex 2205* dapat ditunjukkan pada tabel 1 dan 2.

**Tabel-1. Komposisi Kimia
Stainless Steel Duplex 2205 (%)**

Cr	Ni	Mo	Mn	Si	C	P
22,6	4,9	3,00	1,4	0,8	0,02	0,00
2	6		7	6	7	3

**Tabel-2. Sifat Mekanik
*Stainless Steel Duplex 2205***

Sifat mekanik	Baja AISI 1020
Kekuatan tarik	759-950 Mpa
Kekuatan luluh	500 Mpa
Perpanjangan	20 %
Modulus Elastisitas	190-200 GPa
Poisson Ratio	0,3

2.2 Elektroda Las ER2209

Elektroda ER2209 memiliki 2 fasa yaitu fasa *austenite* dan *ferrite*. Pada tabel 3 menunjukkan komposisi kimia *filler* ER2209, dan pada tabel 4 menunjukkan sifat mekanik *filler* ER209.

Tabel-3. Komposisi kimia *filler* ER2209

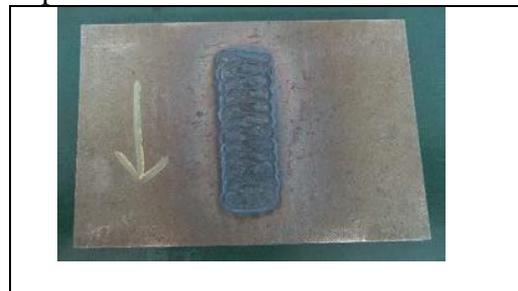
Komposisi	%
Carbon	0.02
Chromium	22.6
Copper	0.13
Iron	Balance
Manganese	1.70
Molybdenum	3.20
Nickel	8.6
Nitrogen	0.16
Phosphorous	0.016
Silicon	0.4
Sulfur	0.005

Tabel-4. Sifat mekanik *filler* ER2209

Sifat Mekanik	Keterangan
Kekuatan Tarik	740 MPa
Kekuatan luluh	640 MPa
Perpanjangan	42%

2.3 Sampel Pengujian

Berikut ini gambar sampel yang digunakan dalam penelitian ini :



Gambar-1. Kampuh V (150x120x12mm)



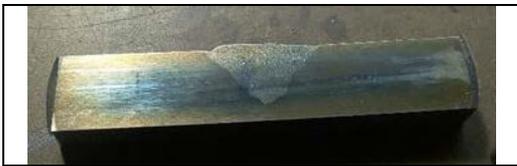
Gambar-2. kampuh X (150x120x12mm)



Gambar-3. Kampuh V (150x12x12mm)



Gambar-4. Kampuh X (150x12x12mm)



Gambar-5. Sampel potongan kampuh V setelah pengelasan (70x6x12)



Gambar-6. Sampel Base Metal (12x12x12mm)



Gambar-7. Stainless Steel Duplex 2205 serbuk

2.4. Pengujian

A. Struktur Mikro

Pengambilan data menggunakan mikroskop optik Olympus BX51 dengan pembesaran lensa objektif 40X yang ada dilaboratorium PTBIN BATAN, Serpong. Pengamatan dilakukan pada daerah *Weld Metal*, *Heat Affected Zone (HAZ)*, dan *Base Metal*. Sampel yang digunakan untuk pengujian struktur mikro dapat ditunjukkan pada gambar 5 dan 6.

B. Kekerasan

Pengujian kekerasan menggunakan *microhardness test* HV 1000 dengan metode *Vickers hardness* dengan bentuk indentor piramida 136°. Pengujian kekerasan dilakukan dilaboratorium PTBIN BATAN, Serpong. Sampel yang diuji kekerasannya yaitu pada sampel *Base Metal* atau sampel sebelum dilas diuji pada 5 titik dan dicari rata-rata kekerasannya, sedangkan sampel sesudah dilas diuji pada titik 2, 1, 0, -1, -3, -5, -10 mm dengan titik acuan 0 pada perbatasan antara *Base Metal* dan *Weld Metal*.

C. Karakterisasi Fasa

Pengujian dilakukan dengan metode difraksi sinar-X, menggunakan alat PANalytical EMPYREAN yang ada di laboratorium PTBIN BATAN, Serpong. Pengujian dilakukan menggunakan sampel *Stainless Steel Duplex 2205* serbuk yang ditunjukkan pada gambar 7 Pengujian bertujuan untuk mengetahui fasa sekaligus bidang (*hkl*) tiap puncak pada sudut cacah (2θ) yang berbeda-beda. Software yang digunakan untuk menganalisa yaitu *software MAUD (Material Analysis Using Diffraction)*.

Pengujian fasa berkaitan dengan pengujian tegangan sisa dimana penentuan bidang (*hkl*) untuk pengujian difraksi neutron didapatkan dari hasil analisis. Bidang yang digunakan untuk pengujian tegangan sisa yaitu pada

sudut cacah yang mendekati 90° dengan sebelumnya hasil dari analisis dengan menggunakan panjang gelombang difraksi sinar-X dikonversikan dengan panjang gelombang difraksi neutron, sehingga didapatkan sudut cacah (2θ) yang ditentukan. Penentuan sudut cacah (2θ) yang mendekati 90° bertujuan untuk mengurangi *gauge volume*.

D. Tegangan sisa

Metode pengukuran menggunakan standar ISO/TS 21432 dengan alat uji Difraktometer Neutron (DN1) milik BATAN, Serpong. Titik pengukuran pada kampuh V yaitu 0, 5, 7, 9, 15, dan 25 mm, sedangkan titik pengukuran pada kampuh X yaitu 0, 3, 5, 7, 15, dan 25 mm dari sumbu las. Sampel untuk pengujian tegangan sisa dapat ditunjukkan pada gambar 1 dan 2.

Setelah didapat data intensitas hamburan neutron yang terdifraksi maka persamaan yang digunakan sebagai berikut :

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

$$\varepsilon = (d_1 - d_0) / d_0 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \sigma_x &= [E / (1+\nu)(1-2\nu)] \times [(1-\nu)\varepsilon_x + \nu(\varepsilon_y - \varepsilon_z)] \\ \sigma_y &= [E / (1+\nu)(1-2\nu)] \times [(1-\nu)\varepsilon_y + \nu(\varepsilon_x - \varepsilon_z)] \\ \sigma_z &= [E / (1+\nu)(1-2\nu)] \times [(1-\nu)\varepsilon_z + \nu(\varepsilon_y - \varepsilon_x)] \end{aligned} \quad (3)$$

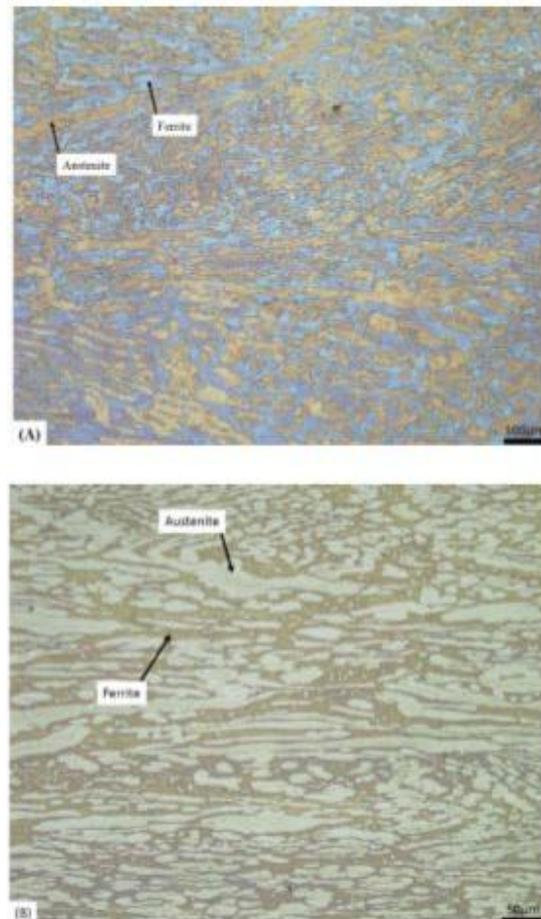
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Struktur Mikro

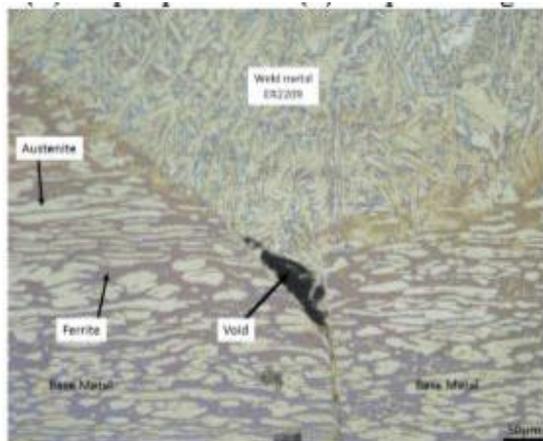
Foto sampel yang dihasilkan setelah di etsa ditunjukkan pada gambar-5, hasil foto didapatkan daerah *Weld Metal*, perbatasan antara *Base Metal* dengan *Weld Metal*, dan *Base Metal* dapat dibandingkan. Perbedaan tersebut dikarenakan proses pendinginan yang tidak merata.

Struktur mikro yang ditunjukkan pada gambar 8 terlihat perbedaan antara *Base Metal* tampak permukaan dan tampak lintang, terlihat jelas pada bagian tampak lintang bentuk struktur mikronya memanjang pipih dengan alurnya seragam berkelompok, berbeda dari *Base Metal* tampak permukaan. Perbedaan tersebut

menimbulkan adanya dugaan sampel sebelumnya telah dilakukan proses *rolling*. Terlihat fasa *austenite* lebih terang dan fasa *ferrite* lebih gelap.

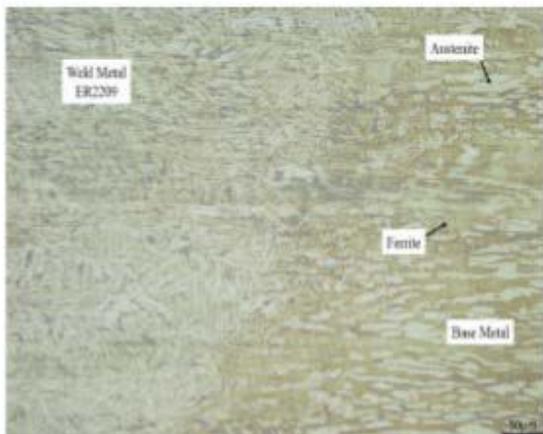


Gambar-8. Struktur mikro sampel *Base Metal*, (A) tampak permukaan (B) tampak lintang



Gambar-9. Struktur mikro sambungan pengelasan

Terlihat pada gambar 9 terdapat *void* atau lubang dikarenakan laju pendinginan sehingga *filler* yang tidak dapat mengisi ruang. Hal tersebut dapat mengakibatkan berkurangnya kekuatan pada hasil pengelasan.

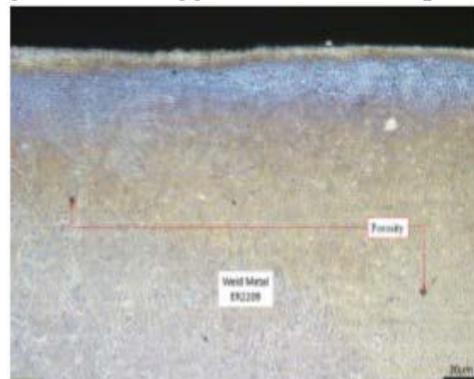


Gambar-10. Struktur mikro daerah perbatasan antara *Weld Metal* dan *Base Metal*

Terlihat pada gambar-10 daerah *HAZ* hampir tidak terlihat. Hal itu terjadi karena antara *filler* dan *Base Metal* memiliki fasa yang sama yaitu fasa *austenite* dan fasa *ferrite*.

Terlihat pada gambar 11 struktur mikro pada *Weld Metal* memiliki bentuk seperti jarum dan arahnya berbeda-beda pada setiap daerah. Dimana perbedaan ini diketahui dari

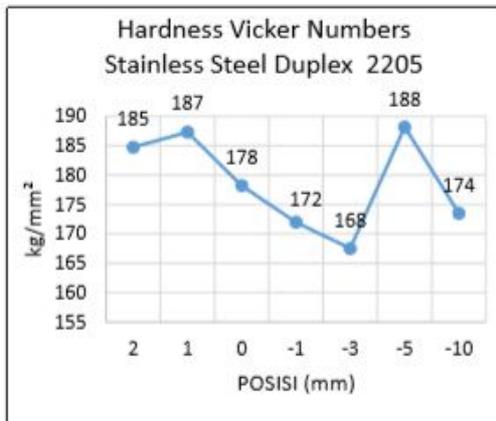
struktur jarum yang sudah berkumpul menjadi kelompok dengan struktur jarum yang belum sempat mengumpul untuk berkelompok dengan lainnya. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh laju pendinginan pada setiap daerah berbeda-beda, selain dari bentuk strukturnya laju pendinginan juga memengaruhi warna dari hasil pengamatan menggunakan mikroskop.



Gambar 11. Struktur mikro bagian *Weld Metal*

B. Distribusi Kekerasan

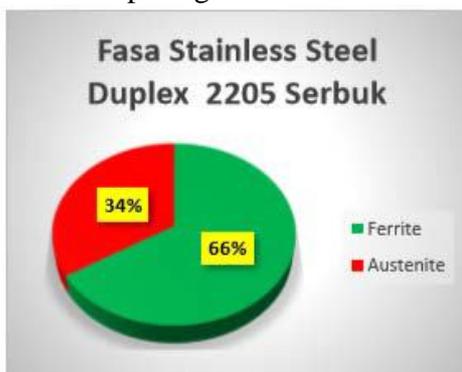
Distribusi kekerasan pada base metal didapatkan rata-ratanya sebesar 212 kg/mm^2 . Sedangkan kekerasan tertinggi pada sampel pengelasan di daerah *Base Metal* pada titik pengukuran -5 mm sebesar 188 kg/mm^2 dan kekerasan terendah didapatkan pada daerah *Base Metal* pada titik pengukuran -3 mm sebesar 168 kg/mm^2 . Grafik distribusi kekerasan pada sampel pengelasan ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar-12. Grafik kekerasan sampel lasan

C. Analisis Fasa

Hasil analisis dari pengujian difraksi sinar-X pada sampel *Stainless Steel Duplex 2205* serbuk (gambar-7) menunjukkan prosentase volume fraksi dari hasil refinement diperlihatkan pada gambar-13.



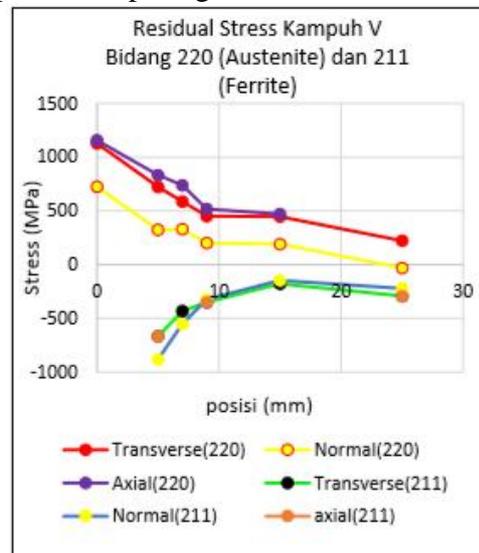
Gambar-13. Berat dan volume fraksi Stainless Steel Duplex 2205 serbuk

Dapat terlihat pada gambar 13 fasa *ferrite* lebih dominan dari fasa *austenite*, fasa *ferrite* memiliki presentase sebesar 66% sedangkan fasa *austenite* sebesar 34%.

D. Tegangan sisa

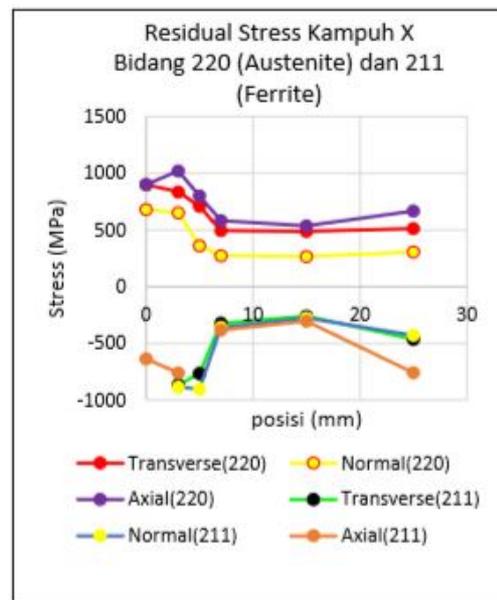
Setelah proses pengelasan selanjutnya diikuti proses pendinginan. Proses pendinginan membuat penyusutan volume material, sehingga muncul deformasi dan tegangan sisa. Hasil tegangan sisa pada setiap bidang memiliki keseimbangan, dimana tegangan sisa bidang 220 memiliki gaya tarik dan bidang 211 memiliki gaya

tekan. Tegangan sisa pada setiap bidang dapat dilihat pada gambar 14 dan 15.



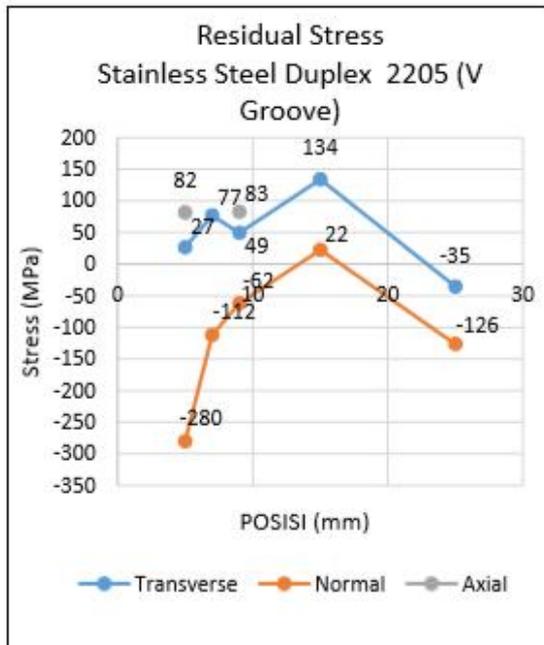
Gambar 14. Tegangan sisa setiap bidang kampuh V

Terlihat pada bidang 220 untuk kampuh V tegangan sisa tarik sedangkan bidang 211 tegangan sisa tekan

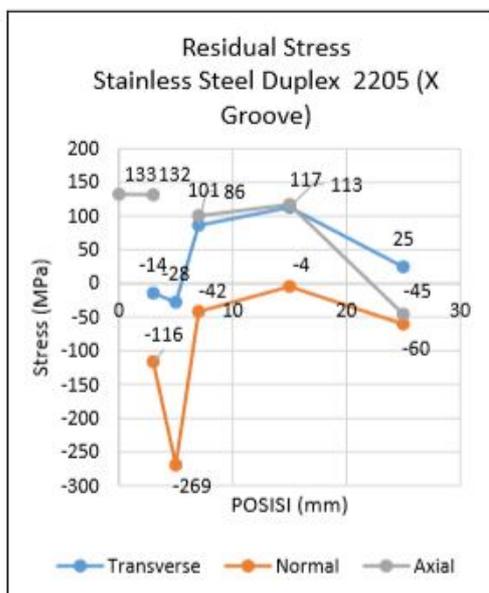


Gambar-15. Tegangan sisa setiap bidang kampuh X

Terlihat pada bidang 220 untuk kampuh X tegangan sisa tarik sedangkan bidang 211 tegangan sisa tekan.



Gambar-16. Distribusi tegangan sisa kampuh V



Gambar-17. Distribusi tegangan sisa kampuh X

Tegangan sisa tertinggi berada didaerah *Weld Metal* pada kampuh V maupun X. terjadinya tegangan sisa pada daerah *Weld Metal* disebabkan suhu pembentukannya

berbeda, sehingga kekuatannya lebih rendah dari *Base Metal* maupun *HAZ*.

Hasil distribusi tegangan sisa tertinggi kampuh V sebesar -280 MPa didaerah *HAZ*. Sedangkan kampuh X memiliki distribusi tegangan sisa tertinggi sebesar -269 MPa didaerah *Base Metal*. Distribusi tegangan sisa tertinggi kampuh V memiliki gaya tekan pada arah normal, begitu pula tegangan sisa tertinggi kampuh X memiliki gaya tekan pada arah normal.

Hasil distribusi tegangan sisa sampel *Stainless Steel Duplex 2205* dilas dengan metode *Tungsten Inert Gas* pada kampuh V dan kampuh X memiliki nilai tegangan tinggi dengan gaya tekan. Oleh karena itu pemilihan kampuh yang direkomendasikan tergantung konstruksi yang akan direncanakan. Selain regangan, pola struktur mikro dapat mempengaruhi nilai tegangan sisa. Apabila nilai regangan konstan, dengan modulus elastisitas yang tinggi, tegangan sisa dapat naik. Fenomena tersebut sejalan dengan formula tegangan, bahwa nilainya akan sama dengan modulus elastisitas dikali regangan.

IV. KESIMPULAN

1. *Stainless Steel Duplex 2205* pada penelitian ini mengandung unsur besi (Fe) mencapai 67.15%, krom (Cr) 22.62%, nikel (Ni) 4.96%, molybdenum (Mo) 3.00%, mangan (Mn) 1.51%, Karbon (C) 0.027%, Silicon (Si) 0.86%, dan Posfor (P) 0.0023%.
2. Hasil foto pada struktur mikro dibagian *Weld Metal* menunjukkan adanya cacat las dikarenakan pendinginan *filler* terlalu cepat. Struktur mikro daerah *Base Metal* memiliki struktur *ferrite* dan *austenite*. Bentuk struktur mikro pada daerah *Weld Metal* berbentuk seperti jarum, dan pada daerah *HAZ* hampir tidak dapat terlihat dikarenakan antara *filler* dan *Base Metal* memiliki fasa yang sama.
3. Hasil pengujian kekerasan *Stainless Steel*

Duplex 2205 nilai kekerasan rata-rata pada sampel tidak dilas adalah 242 kg/mm², setelah dilakukan proses pengelasan nilai kekerasan sebesar 168 kg/mm². Distribusi kekerasan menunjukkan nilai kekerasan terendah terdapat pada daerah *Base Metal* diposisi -3 mm, dikarenakan posisi tersebut mendapatkan panas yang berlebih akibat proses pengelasan.

4. Hasil pengujian difraksi sinar-X menunjukkan presentase fasa *austenite* memiliki berat dan volume fraksi sebesar 34% sedangkan fasa *ferrite* sebesar 66%. Besarnya presentase fasa dapat diamati dari foto struktur mikro pada sampel memiliki struktur *ferrite* (warna gelap) lebih banyak dari struktur *austenite* (warna terang).
5. Hasil pengujian difraksi neutron menunjukkan tegangan sisa tertinggi pada kampuh V sebesar -280 MPa dengan gaya tekan pada arah normal (tegak lurus permukaan), sedangkan pada kampuh X memiliki tegangan sisa tertinggi sebesar -269 MPa dengan gaya tekan pada arah normal.
5. Lippold, J.C. 2005. "**Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steel**", 10th edition John Wiley & Sons, Inc. New York
6. Gunn, N. Robert. 1997. "**Duplex Stainless Steel**", 1st edition, Abington Publishing. Inggris
7. [7] ISO/TS 21432. 2005. "**Non-Destructive Testing-Standard Test Method for Determining Residual Stresses by Neutron Diffraction**", 1st edition, Technical specification, Japan
8. Outokumpu, Oyj. 2013. "**Handbook of Stainless Steel**". Sandvinkens Tryckeri AB, Swedia.
9. Surdia, Tata dan Saito, S. 1995. "**Pengetahuan Bahan Teknik**". Cetakan Keempat, Pradnya Paramita, Jakarta
10. Wiryosumarto, H., dan Okumura, T. 2000. "**Teknologi Pengelasan Logam**", Cetakan kedelapan, Pradnya Paramita, Jakarta.
11. Webster, G.A. 2000. "**Neutron Diffraction Measurement of Residual Stress In A Shrink-Fit Ring and Plug**", Vamas, London.

DAFTAR PUSTAKA

1. Callister, W.D. 2001. "**Materials Science and Engineering**", 4th edition, John Wiley and Sons, New York
2. Cartz, Louis. 1995. "**Non Destructive Testing**". 1st edition, ASM International
3. Surdia, Tata dan Saito, S. 1999. "**Pengetahuan Bahan Teknik**". Cetakan Keempat. Pradnya Paramita, Jakarta
4. Muslih, M.R. 2013. "**Pengukuran Regangan Sisa dengan Menggunakan Teknik Hamburan Neutron**", BATAN, Serpong