

## Studi Eksperimental Deformasi Kristal Pada Daerah Haz Dengan Menggunakan Xrd Dan Metode Scherrer

Hery Irawan <sup>1</sup>, Sukendro Broto S <sup>2</sup>, Anzhaldy <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, ITATS

Email : [hery@itats.ac.id](mailto:hery@itats.ac.id)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, ITATS

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Mesin, ITATS

### Abstrak

Pengelasan merupakan teknologi sering digunakan untuk menggabungkan komponen menjadi bagunan rangka bodi mesin. Parameter las yang tepat dapat menghindari terjadinya cacat las, termasuk pada pengelasan baja AISI 1045. Studi mengenai deformasi hasil las diperlukan untuk menghindari cacat las

Parameter las digunakan di penelitian ini adalah kuat arus las dan tebal pelat. Alat las digunakan las GMAW dengan pengoperasian manual. Elektrode digunakan tipe AWS A/SFA 5.18ER. 70S-6. Kuat arus digunakan 175 A, 225 A dan 275. Analisa struktur kristal dengan metode X-Ray Deffractometer dan metode scherrer untuk mengetahui perkembangan kristal akibat efek kuat arus dan laju pendinginan akibat dimensi benda kerja

Hasil pengujian XRD ditunjukkan kristal logam mengalami kenaikan *peak* gelombang X-Ray 40 % pada logam induk, 30 % pada HAZ dan 25 % pada logam las. Hasil pencocokan dengan kartu JCPDS (*Joint Comittee Powder on Diffraction Standards*) #750910, sudut hamburan dan intensitas yang paling mendekati adalah 2 pada  $44,713^{\circ}$ , intensitas sebesar 338 pada *sample base metal*, dengan bidang hkl (022), yang merupakan  $Fe_3C$  dengan orthorombik dan parameter kisi  $a = 4,518 \text{ \AA}$ ,  $b = 5,069 \text{ \AA}$  dan  $c = 6,736 \text{ \AA}$ .

Kata Kunci : HAZ, Struktur Kristal, XRD, JCPDS.

### Abstract

The welding process as technology that commonly is used to join some part become the engine frame. The correct parameter can avoid the welding defect on the weld result, i.e. the welding of AISI 1045. The study of welding deformation is needed to avoid the weld result from the welding defect.

The welding current and the plat thickness are as the research parameter. As the welding tool is used GMAW that manually operated. An electrode type AWS A/SFA 5.18ER. 70S-6 as the welding electrode. The welding current are 175 A, 225 A and 275 A. The crystallic structure are analysed by using X-Ray Deffractometer and Scherrer methods are used to know the crystallic development as the weld current and the cooling rate as dimensional effect.

The result of metal structure at XRD test are showed increased about the peak of X-Ray wave about 25 % at the base metal, 30 % at the HAZ and 40 % at the weld metal that are seen from the wave reflection of X-Ray. The maching result by using JCPDS is 750910. The nearest spread angle about  $2\theta = 44,713^{\circ}$ , the X-ray intensity about 338, at hkl plane (022) as  $Fe_3C$  has orthorhombic structure with  $a = 4,518 \text{ \AA}$ ,  $b = 5,069 \text{ \AA}$  dan  $c = 6,736 \text{ \AA}$ .

Keyword : HAZ, crystallics structure, XRD, JCPDS.

### Pendahuluan

Perkembangan pengelasan sudah sangat berkembang dewasa ini, termasuk didalamnya penelitian mengenai deformasi

hasil las sebagai bentuk cacat las. Teknologi pengelasan SMAW sering dijumpai dalam proses produksi masal, dikarenakan sangat murah dan mudah pengoperasiannya. Las

SMAW memiliki kekurangan dari  $H_{net}$  yang sangat tinggi dan susah didalam pengaturan, sehingga kemungkinan menghasilkan cacat las dalam bentuk deformasi kristal sangat besar. Las GMAW merupakan teknologi las terbaru yang memiliki kemampuan mengendalikan masukan panas ( $H_{net}$ ) yang sangat baik jika dibandingkan dengan las SMAW.

Salah satu bentuk cacat yang merugikan pada hasil las adalah deformasi bentuk yang berlebihan setelah proses pendinginan selesai akibat masukan panas dari proses pengelasan yang berlebihan. Untuk mengatasi deformasi yang berlebihan pada hasil las diperlukan proses pembentukan atau *thermal revealing* yang membutuhkan biaya dan waktu jika dilakukan didalam proses produksi [1], sehingga perlu dilakukan penelitian untuk melihat pengaruh efek masukan panas dan laju pendinginan sebagai efek dimensi benda kerja.

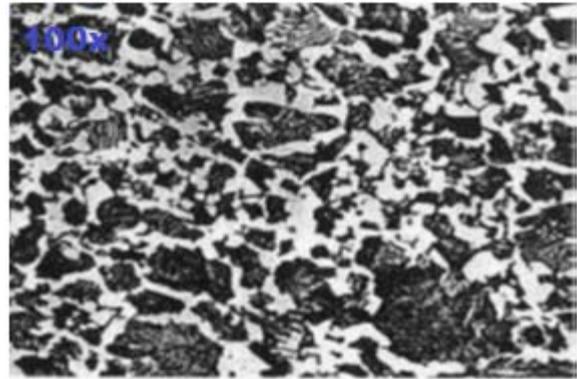
Banyak penelitian sudah dilakukan untuk mengetahui efek masukan panas dan laju pendinginan pada hasil las dalam bentuk makro struktur. Penelitian makro struktur penting untuk melihat bentuk deformasi yang terjadi, akan tetapi belum dapat menjelaskan perkembangan mikro struktur [1][8][11][13] Perkembangan mikro struktur didalam logam akan sangat menentukan hasil makro struktur dari hasil las. Distorsi kristal yang tidak seragam dan merata dapat menimbulkan tegangan sisa pada batas butir yang memicu terjadinya distorsi.

Penelitian ini dilakukan pada material baja medium, dimana karakteristik sifat mekanik baja medium mudah diperbaiki secara thermal dan penggunaannya banyak digunakan didalam industri otomotif maupun struktur rangka bangunan.

### Kajian pustaka

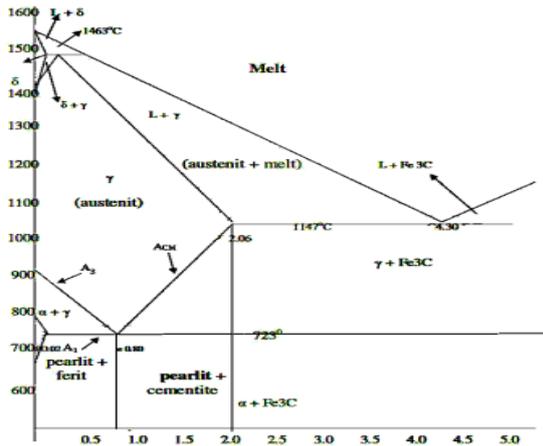
Baja karbon AISI 1045 diklasifikasikan menurut standar *American International and Steel Iron* (AISI) dalam 4 digit kode. Dua angka pertama adalah 10 yang menunjukan nominal 1/100 % sebagai contoh AISI 1045 menunjukan kadar karbon 0,45 %. Baja AISI 1045 adalah jenis *heat treatable steel* dan sering digunakan sebagai bahan pembuatan komponen-komponen mesin [1][6]. Baja kelompok *heat treatable* memiliki keuntungan yaitu sifat mekanik baja yang dapat dimodifikasi dengan menggunakan *heat treatment*. Struktur yang dihasilkan dari proses

pemanasan dan pendinginan yang lambat adalah fasa ferit dan fasa perlit. Struktur mikro baja karbon medium (AISI 1045) dinormalisasi menghasilkan hasil austenisasi pada temperature 1095 °C pendinginan di udara [1][6][7]. Mikro struktur baja AISI 1045 ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Struktur mikro baja karbon medium AISI 1045.

Pemanasan pada suhu 723 °C dengan komposisi 0,8 % C disebut dengan titik *eutectoid*, jika dilakukan pemanasan sebelum mencapai titik *eutectoid*, pada titik *hypoeutectoid* terbentuk fasa *pearlit* dan *ferrit*. Sedangkan dibawah *hypereutectoid* mempunyai fasa *pearlit* dan *cementit*. Pada pemanasan melewati garis *eutectoid*, terjadi perubahan fasa *pearlit* menjadi *austenite*. Diagram phase baja ditunjukkan pada gambar 2. Daerah HAZ pada pengelasan baja medium mudah keras bila dibandingkan baja karbon rendah [1][6]. Sifatnya yang mudah menjadi keras ditambah dengan adanya presipitasi *hydrogen* menyebabkan baja ini sangat peka terhadap retak las. Ketika dipanaskan sampai pada suhu 800-1200 °C dengan komposisi 0,68 % karbon mencapai fase *austenite*, kemudian didinginkan sampai 600 °C menghasilkan fase *pearlit* tetapi bila didinginkan sampai batas kritis 738 °C, fasa  $\gamma$  sebagian akan terdistorsi menjadi fase  $\alpha$ , dan bila dilanjutkan pendinginan di bawah sedikit batas kritis, *ferrit* akan bergabung didalam *pearlit* dan *austenite* akan bertransformasi menjadi besi karbida (*cementit*). Pada daerah dibawah  $A_1$  didinginkan cepat, struktur kristal bertransformasi menjadi *cementit* dan *pearlit*, dan *holding time* saat fase pendinginan sangat menentukan perkembangan butir kristal [1][4][5][6].



Gambar 2. Diagram fasa besi karbon (Fe-C) [3].

Elektroda tipe ER70S-6 memiliki kandungan silikon terbesar (1,15 %) dan mangan yang besar (1,85 %) sebagai elemen doksidasi [3][11] dan sering digunakan untuk baja karbon rendah menggunakan gas pelindung CO<sub>2</sub> dan arus listrik yang tinggi [1][5][6][7][11]. Komposisi kimia elektroda ditunjukkan pada tabel 1.

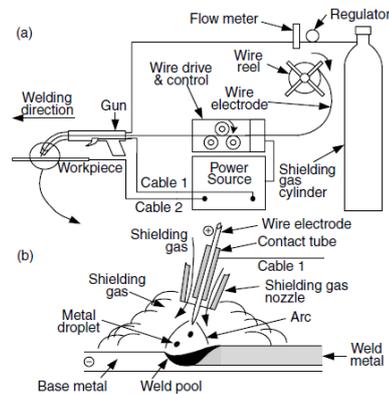
Tabel 1. Komposisi electrode standar AWS [3].

AWS CLASS	CARBON	MANGAN	SILICON	SULFUR	PHOS	MOLYB	OTHER
ER70S-2	0.07	0.90-1.40	0.40-0.70	0.035	0.025		0.05-0.15 Ti 0.02-0.12 Zr 0.05-0.15 Al
ER70S-3	0.06-0.15	0.90-1.40	0.45-0.75	0.035	0.025		
ER70S-4	0.07-0.15	1.00-1.50	0.65-0.85	0.035	0.025		
ER70S-5	0.07-0.19	0.90-1.40	0.30-0.60	0.035	0.025		0.50-0.90 Al
ER70S-6	0.07-0.15	1.40-1.8	0.80-1.15	0.035	0.025		
ER70S-7	0.07-0.15	1.50-2.00	0.50-0.80	0.035	0.025		
ERSOS-D2	0.07-0.12	1.60-2.10	0.50-0.80	0.035	0.025	0.40-0.60	
ER70S-G	NOT SPECIFIED						

Pada pengelasan baja sering digunakan gas pelindung CO<sub>2</sub> dengan alasan faktor ekonomis, *welding speed* yang tinggi dan penetrasi yang dalam, jika dibandingkan dengan gas pelindung campuran [3][5][6][7]. Pengelasan carbon steel sering menggunakan debit gas pelindung 10÷20 Lt/min.

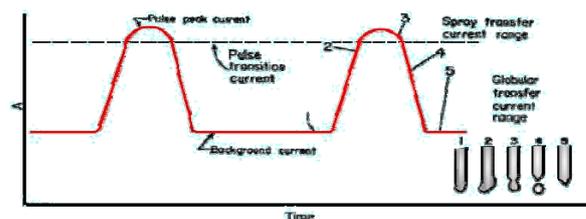
Las listrik gas metal atau *gas metal arc welding (GMAW)* adalah alat las listrik yang menggunakan nyala busur listrik yang berasal dari elektroda yang dipasang terus-menerus dalam suatu mekanisme yang tetap kedalam kampuh las. Alat las ini digunakan untuk mengelas baja karbon, baja paduan rendah berkekuatan tinggi, *stainless steel*,

aluminium, tembaga, titanium dan paduan nikel dalam segala posisi dengan merubah jenis gas pelindung, elektroda, dan variabel las lainnya [3][4][11]. Daya generator mesin las ini digunakan jenis DC 9,5 ÷ 15KVA dengan frekuensi baik 50 maupun 60 Hz. Skema las GMAW ditunjukkan pada gambar 3.



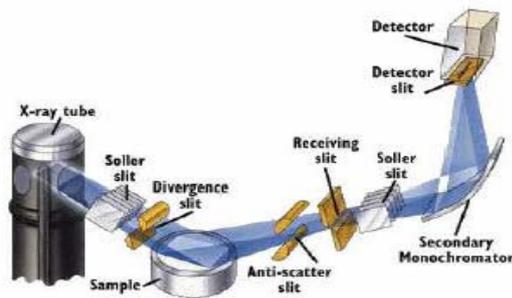
Gambar 3. Mesin Las GMAW semi otomatis. (a) rangkaian alat las GMAW secara keseluruhan dan (b) proses pengelasan pada las GMAW [3].

Pemasok tenaga tipe pulsa terdiri dari dua jenis arus, yaitu: Arus background yang menahan busur tanpa memberikan cukup tenaga untuk melelehkan logam las dan arus yang berpulsa tumpang tindih (*superimposed*) yang beramplitudo lebih besar dari arus transisi yang berfungsi menciptakan transfer berbentuk spray. Karakteristik arus busur spray dengan berbentuk pulsa ditunjukkan pada gambar 4. Amplitudo dan frekuensi berfungsi mengendalikan tenaga busur, yang berperan didalam pengendalian laju pencairan logam las. Sehingga dengan adanya pembangkit tenaga, maka transfer metal tipe pulsa dapat digunakan untuk mengelas pelat tebal dan dalam segala posisi. Metal transfer tipe pulsa menggunakan arus transisi, yang berada diantara globular dan spray.



Gambar 4. Karakteristik arus busur spray berbentuk pulsa [3].

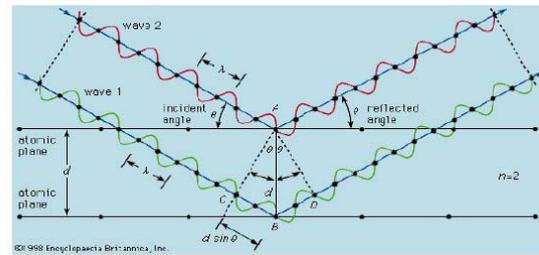
Proses analisis menggunakan *X-ray diffraction* (XRD) merupakan salah satu metode karakterisasi material yang paling tua dan paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fase kristal dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel [1][2][4]. Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV sampai 1 MeV. Sinar-X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar-X memiliki panjang gelombang  $10^{-10}$  s/d  $5^{-10}$  nm, berfrekuensi 1017-1020 Hz dan memiliki energi 103-106 eV. Panjang gelombang sinar-X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. Tahapan kerja XRD terdiri dari empat tahap, yaitu: produksi sinar-X, difraksi, deteksi, dan interpretasi. Komponen utama X-ray diffraction ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Komponen-komponen XRD [10]. Sinar-X diarahkan pada bidang-bidang kristal akan timbul pola-pola difraksi ketika sinar-X melewati celah-celah kecil di antara bidang-bidang Kristal tersebut. Gambar 2.20 menunjukkan difraksi yang terjadi. Pola-pola difraksi tersebut sebenarnya menyerupai pola gelap dan terang. Pola gelap terbentuk ketika terjadi interferensi destruktif, sedangkan pola terang terbentuk ketika terjadi interferensi konstruktif dari pantulan gelombang-gelombang sinar-X yang saling bertemu. Pola refleksi sinar X yang memantul ditunjukkan pada gambar 6. Interferensi konstruktif tersebut terjadi sesuai dengan Hukum *Bragg* [10] berikut ini:

$$n = 2d \sin \theta$$

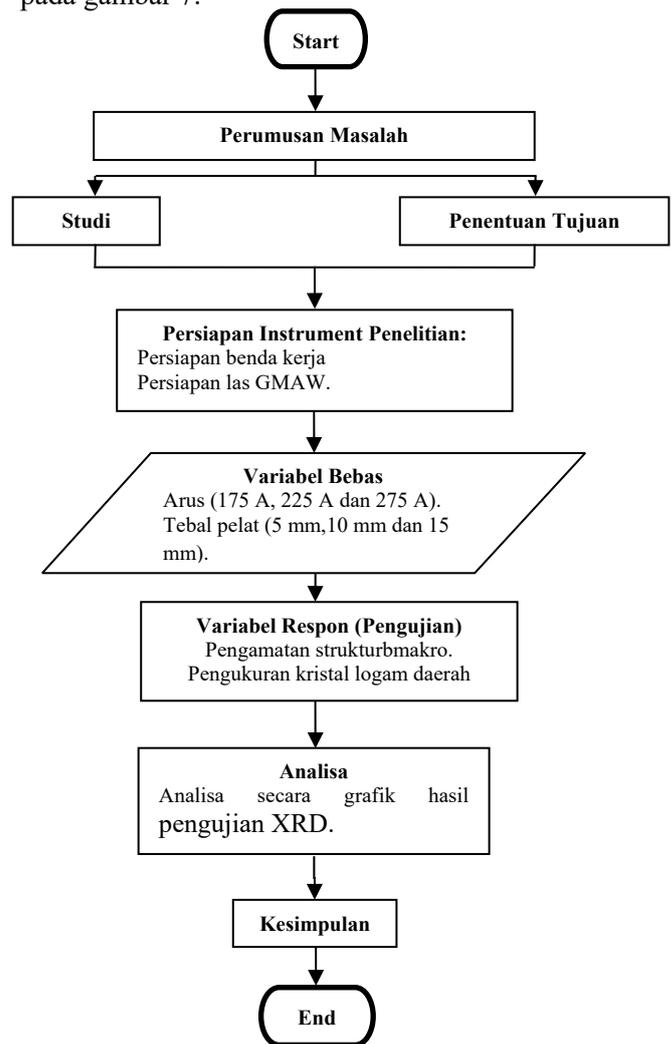
dimana,  $n$  = urutan difraksi;  $\lambda$  = panjang gelombang sinar-X;  $d$  = jarak antar bidang kristal; dan  $\theta$  = sudut difraksi.



Gambar 6. Refleksi sinar X yang mengenai objek [2].

### Metode Penelitian

Metode penelitian ini ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Alur penelitian.

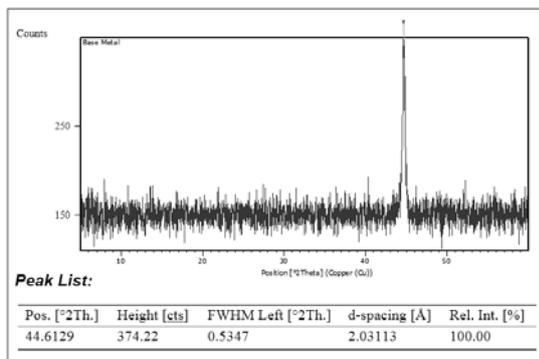
Spesimen yang digunakan baja medium **AISI 1045** dengan komposisi kimia Mn (0,7 %), P (0,01 %), S (0,02 %), Si (0,3 %) dan C (0,45 %). Spesimen benda kerja berasal dari satu lot produksi dalam satu pabrik pembuatan baja. Komposisi elektroda yang digunakan C (0,06 %), Si (0,9 %), Mn (1,7 %), P (0,02 %), S (0.03).

Pelaksanaan eksperimen meliputi pengelasan dengan alat las GMAW, foto makro, dan pengujian XRD. Data hasil pengujian XRD berupa informasi-informasi grafik, puncak difraksi, dan sudut *Bragg* yang nantinya digunakan sebagai perhitungan besar butir kristal logam Hasil perhitungan kristal kemudian diolah dengan menggunakan *software origin*. Hasil pengolahan grafik dengan *software origin* nantinya akan digunakan untuk menganalisa pengaruh kuat arus dan tebal pelat terhadap besar butir kristal di daerah **HAZ** tersebut. Kemudian disesuaikan dengan data standart difraksi sinar-X (JCPDS). Dari data grafik XRD dilakukan pencocokan dengan JCPDS, dan foto makro. Kemudian dianalisa dan ditarik kesimpulan.

Pengujian *X-ray diffraction* menggunakan mesin *PANalytical X'Pert PRO MPD X-ray diffraction system type PW3040/60* dengan spesifikasi mesin 200 – 240 V, single phase (50 atau 60 Hz), arus maksimum 45 A, dimensi sistem (1975 mm x 1132 mm x 1371 mm), berat mesin 1100 kg hingga 1250 kg dan maksimum pembebanan 3200 kN/m<sup>2</sup> (3,2 Mpa pada sistem pembebanan *four feet*) atau 12,8 kN/m<sup>2</sup> 12,8 pada sistem tekanan rata – rata lantai).

### Hasil dan Pembahasan

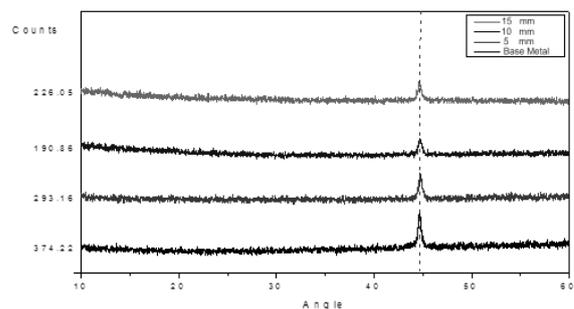
Hasil pengujian dengan XRD dilakukan pada daerah HAZ pada variasi arus dan tebal pelat, dimana untuk mengetahui perubahan kristal dilakukan perbandingan dengan logam induk. Hasil pengujian dengan menggunakan XRD pada logam induk ditunjukkan pada gambar 8.



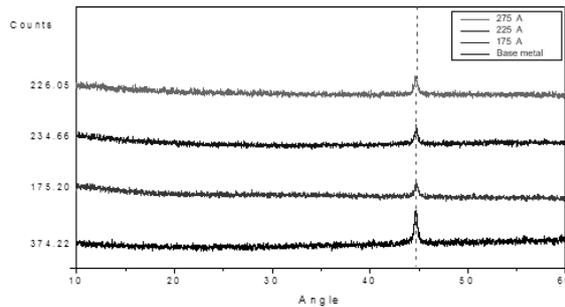
Gambar 8. Hasil pengujian kristal pada logam induk sebelum dilakukan pengelasan.

Efek masukan panas ( $H_{nett}$ ) yang ditimbulkan oleh kuat arus memberikan perubahan *peak* difraksi akibat perubahan kecepatan pendinginan yang ditimbulkan dimensi benda kerja. Pengaruh kecepatan pendinginan akibat perubahan tebal ditunjukkan pada gambar 9. Pada tebal 5 mm terlihat tinggi *peak* tertinggi diantara tebal pelat yang lain, dimana mengindikasikan bahwa kristal yang terbentuk cenderung lebih halus didaerah HAZ. Sehingga *peak* yang terbentuk dari difraksi sinar X lebih tinggi jika dibandingkan dengan yang lain akan tetapi masih dibawah *peak* dari logam induk. Dari hasil menunjukkan bahwa dengan ketebalan yang tinggi, masukan panas belum bisa ditanggulangi pendinginan akibat perpindahan panas dari dimensi kulit benda kerja, sehingga kristal masih bisa berkembang dengan residu panas yang tertinggal didalam benda kerja.

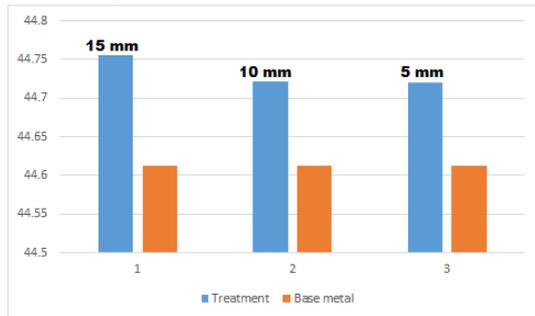
Efek perubahan masukan panas akibat perubahan kuat arus ditunjukkan pada gambar 9. Efek arus pengelasan ditunjukkan bahwa arus 275 A menimbulkan ketinggian *peak* tertinggi, jika dibandingkan dengan yang lain. Kejadian tersebut mengindikasikan bahwa butir kristal didaerah HAZ lebih halus jika dibandingkan dengan yang lain, akan tetapi masih lebih kasar jika dibandingkan dengan logam induk yang terlihat tinggi *peak* masih lebih rendah dari logam induk. Masukan panas yang ditimbulkan pemakaian arus pengelasan. Hasil perhitungan besar butir kristal ditunjukkan pada gambar 11 dan gambar 12.



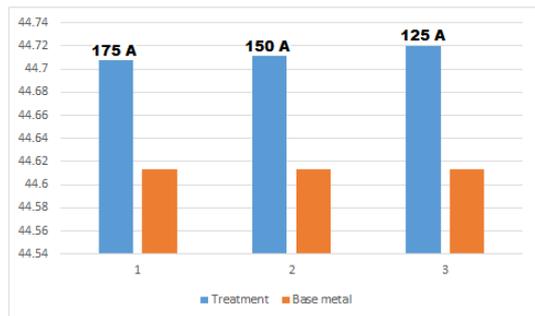
Gambar 9. *Peak* difraksi arus 275 A terhadap ketebalan 5,10 dan 15 mm.



Gambar 10. Peak difraksi tebal 15 mm terhadap variasi arus 125, 150 dan 175 A.



Gambar 11. Perbandingan ukuran butir kristal logam di daerah HAZ akibat efek tebal pelat.



Gambar 12. Perbandingan ukuran butir kristal logam didaerah HAZ akibat efek kuat arus pengelasan.

### Kesimpulan

Dari pembahasan hasil pengujian XRD dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut ini,

1. Efek tebal pelat dapat menimbulkan perpindahan panas yang menghasilkan fenomena pendinginan, dimana tebal pelat 5 mm memberikan memberikan kecepatan pendinginan tercepat jika dibandingkan dengan tebal pelat yang lain.
2. Efek kuat arus memberikan bentuk masukkan panas kedalam kristal logam yang memungkinkan kristal berkembang, dimana arus 175 A memberikan masukan panas yang merata sehingga butir kristal paling

halus jika dibandingkan dengan arus yang lain.

3. Pada hasil perbandingan antara *treatment* dengan logam induk terlihat perbedaan yang signifikan dalam ukuran butir kristal.

### Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini terlaksana dengan sistem pendanaan yang berasal dari Kemenristek Dikti dalam bentuk Hibah skema penelitian Dosen Pemula tahun pembiayaan 2017.

### Daftar Pustaka

- [1] Amanto, H. dan Daryanto, (1999), *Ilmu Bahan*, Bumi Aksara, Jakarta.
- [2] Asis J.T., Monin V, Teodosio J.R., Gurova2 T., (2002), “X-Ray Analysis Of Residual Stress Distribution In Weld Region” *Advances in X-ray Analysis*, Vol 45 pp 225- 231.
- [3] AWS D1.1/D1.1 M – 2002, *Struktur Welding Code – Steel*, American Welding Society, An American National Standart.
- [4] J.I. Langford and A.J.C. Wilson, “Scherrer after Sixty Years: A Survey and Some New Results in the Determination of Crystallite Size”, *J. Appl. Cryst.* 11 (1978) pp 102-113.
- [5] Kou, Sindo, (2003), *Welding Metallurgy*, 2th Edition, John Wiley and Sons, Canada.
- [6] Kusmayadi, dkk, *Analisa Hasil Pengelasan SMAW Butt Join Pada Baja AISI 1020 Dengan Variasi Tebal Pelat*, Jurnal Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknik Industri, ITS, Surabaya.
- [7] Smallman, R.E., (1991), *Metalurgi Fisik Modern*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [8] Sukendro, BS., (2010), *Analisa Pengaruh Tebal Pelat Dan Kuat Arus Terhadap Distorsi Sudut Pada Pengelasan Multilayer Pelat Datar Dengan Metal Transfer Tipe Pulsa*, ITS, Surabaya.
- [9] Susita, Lely, R.M., dkk (2008), *Analisa Struktur Kristal Lapisan Tipis Aluminium Pada Substrat Kaca Menggunakan XRD*, ISSN 1411-1349, Vol 10.

- [10] Warren, S.E., 1969. *X-Ray Diffraction*, Addison-Wesley. Massachusetts.
- [11] Widharto, Sri, (2001), *Petunjuk Kerja Las*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [12] Wiryosumarto, Harsono dan Toshie Okumura (2004), *Teknologi*
- Pengelasan Logam*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [13] \_\_\_\_\_, 2004. **Metal Hand Book vol. 9**. ASM Hand Book Committee.