

## ANALISIS TEKSTUR PADA LASAN *STAINLESS STEEL* SS 201 DENGAN TEKNIK DIFRAKSI NEUTRON

Tri Hardi Priyanto, Rifai Muslih, Hery Mugiraharjo, Bharoto dan Andon Insani

*Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju, Badan Tenaga Nuklir Nasional*

*Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan, Indonesia*

*Email : thardi@batan.go.id*

*Diterima: 9 Februari 2018*

*Diperbaiki: 20 Maret 2018*

*Disetujui: 26 Maret 2018*

### ABSTRAK

**ANALISIS TEKSTUR PADA LASAN *STAINLESS STEEL* 201 DENGAN TEKNIK DIFRAKSI NEUTRON.** Baja tahan karat jenis *austenitik* merupakan baja tahan karat yang banyak dipakai dalam industri, salah satunya adalah industri rumah tangga. Dalam penelitian ini dilakukan karakterisasi *Stainless Steel* (SS) 201 yang banyak dijual di pasaran. Sebelum dilakukan karakterisasi, plat SS 201 dipotong dengan ukuran 150 mm × 120 mm × 10 mm, kemudian dibuat lubang berbentuk alur pada kedua permukaan, sehingga alur berbentuk X *Double V Groove* (DVG), selanjutnya alur DVG dilas dengan sistem pengelasan *multi pass* menggunakan metode pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG). Bahan yang sudah dilas kemudian dikarakterisasi dengan teknik difraksi neutron untuk mendapatkan pola difraksi dan *pole figure* pada daerah pusat lasan *Fusion Zone* (FZ), daerah terpengaruh panas *Heat Affected Zone* (HAZ) dan daerah logam dasar *Base Metal Zone* (BMZ). Selanjutnya *pole figure* dianalisis dengan perangkat lunak *Beartex* untuk menentukan arah orientasi dan kekuatan tekstur pada ketiga daerah tersebut. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pada daerah pusat lasan butir kristalit terorientasi {110}<112> dengan tipe *Brass* dengan indeks tekstur sekitar 3,12 m.r.d (*multiple random distribution*) yang ditunjukkan pada *pole figure* 200. Untuk daerah HAZ, tekstur paling kuat terorientasi pada {110}<001> atau tipe *Goss* dengan indeks tekstur 4,8 m.r.d. Pada daerah logam dasar, tekstur secara dominan terorientasi kearah {010}<100> atau tipe *Cube* dengan indeks tekstur tidak terlalu kuat, sekitar 1,53 m.r.d. Pada daerah pusat lasan, bidang (110) sejajar dengan sumbu normal (ND), dengan arah kristalit sejajar dengan arah pengerolan (RD) [112]. Pada daerah HAZ bidang (110) tersebut mengarah ke arah sumbu pengerolan [001], dengan indeks tekstur 1,5 kali lebih kuat dibanding FZ. Hal ini menunjukkan bahwa bidang (110) yang semula terorientasi kearah [112] pada FZ berubah menjadi sekitar 35,26° ke arah [001] pada daerah HAZ. Untuk daerah logam dasar bidang (010) mengarah sejajar dengan arah normal (ND) dan tekstur mengarah pada arah pengerolan (RD) [100].

**Kata kunci:** Baja tahan karat austenitik SS 201, Difraksi neutron, Tekstur, Daerah terpengaruh panas (HAZ), arah pengerolan, MIG

### ABSTRACT

**TEXTURE ANALYSIS OF WELDED SS 201 STAINLESS STEEL USING NEUTRON DIFFRACTION TECHNIQUE.** Austenitic stainless steel is a stainless steel type which is widely used in the industry, such as household industry. SS 201 is sold in the market. Prior to characterization, SS 201 plat was cut to a size of 150 mm × 120 mm × 10 mm, then the surface was perforated to form the X-shaped groove (Double V Groove, DVG). The DVG is then welded with multi pass weldment system using Metal Inert Gas (MIG) welding method. Materials that have been welded then characterized by neutron diffraction method to obtain diffraction patterns and pole figure in the Fusion Zone (FZ), Heat Affected Zone (HAZ) and Base Metal Zone (BMZ). Pole figure from the experiment subsequently was analyzed using *Beartex* software to determine crystallite orientation and its strength in all three zones. From the calculated normalized pole figures, it can be concluded that in the FZ the crystallites are oriented tend {110} <112> or Brass type orientation, with an texture index is about 3.12 m.r.d (multiple random distribution). In the HAZ region, the most powerful texture oriented to {110} <001> or Goss type orientation with a texture index is 4.8 m.r.d. In the area of the BMZ, the texture is predominantly oriented to {010} <100> or Cube type orientation, the texture index is not too strong, is about 1.53 m.r.d., In the FZ, (110) plane parallel to the Normal Axis (ND), with the direction of crystallites

parallel to the rolling direction (RD) [112]. In the HAZ region, the (110) plane are pointing to the rolling direction of the [001] axis, with texture index is 1.5 times stronger than the FZ. This shows that the (110) plane which was originally oriented toward the [112] on the FZ turned to about 35,26° direction [001] in the HAZ. For the base metal, the (010) plane leads parallel to the normal direction (ND) and texture lead to the rolling direction (RD) [100].

**Key words:** Austenitic stainless steel SS 201, Neutron diffraction, Texture, Heat Affected Zone (HAZ), rolling direction, MIG

## PENDAHULUAN

Baja tahan karat adalah paduan berbasis besi. Dari berbagai jenis baja tahan karat, baja tahan karat jenis *austenitik* merupakan jenis baja tahan karat yang paling umum digunakan dalam industri [1]. Secara umum *austenitik* mempunyai komposisi kimia paling sedikit 16 % Chromium dan 6 % Nikel. *Austenitik* terdiri dari dua tipe yaitu tipe 200 dan tipe 300. Baja tahan karat *austenitik* seri SS 304 memiliki komposisi Cr dan Ni lebih tinggi dibandingkan dengan SS 201, dimana pada SS 201 komposisi Ni dikompensasi dengan unsur Mn dan tambahan nitrogen [2,3]. SS 201 bersifat non magnetik pada kondisi *anneal* dan menjadi magnetik pada pengerjaan dingin (*cold worked*), karena itu mudah dibentuk sehingga banyak digunakan untuk peralatan memasak, perlengkapan rumah tangga dan arsitektur, selain itu juga dapat dilas (*weldable*).

Pada proses pengelasan, sambungan yang dilas bersifat heterogen dan terdapat kecondongan sifat pada daerah yang terpengaruh panas *Heat Affected Zone (HAZ)* dan daerah logam dasar *Base Metal (BM)*. Sambungan yang dilas dapat diklasifikasikan berdasarkan pada koherensi antara daerah lasan dan logam dasar. Karakteristik dan kontrol stuktur mikro merupakan hal yang utama dari daerah tersebut [4]. Diantara berbagai jenis baja tahan karat, karakterisasi baja *austenitik* telah dilakukan baik dengan dua cara yaitu secara non neutronik dan neutronik. Karakterisasi secara non neutronik misalnya untuk mengamati peningkatan kekerasan pada permukaan [5].

Pengukuran mikroteksur [6,7], Karakterisasi secara neutronik dengan teknik difraksi neutron, misalkan dipakai untuk mengamati kandungan *austenitik* pada baja TRIP [8], karakterisasi baja tahan karat austenit yang dibuat dari bahan *scrap* [9], perilaku deformasi [10] dan model simulasi proses pengelasan untuk suhu dan tegangan sisa [11]. Pengelasan SS 201 telah dilakukan dengan berbagai kecepatan pengelasan yang berbeda dan dikarakterisasi secara non neutronik [12]. Efek perbaikan pengelasan pada strukturmikro dan tekstur, sifat dampak dan sifat korosi telah dilaporkan untuk *Stainless Steel SS304L* [13]. Karakterisasi tekstur dan evolusi struktur selama pengerolan dingin dari baja tahan karat austenit seri SS304 telah dilakukan untuk menyatakan derajat deformasi mempunyai pengaruh yang penting terhadap struktur dan tekstur bahan [14].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan sifat dan karakter tekstur baja tahan karat

*austenitik* SS 201 yang dilas dengan metode *Metal Inert Gas (MIG)*. Sejauh yang penulis ketahui karakterisasi tekstur hasil lasan baja tahan karat *austenitik* SS 201 belum dilakukan dengan metode difraksi neutron. Hal ini akan menjadi informasi penting bagi dunia pengelasan terkait dengan tekstur *bulk* pada bahan tersebut yang tidak dapat diperoleh dengan metode karakterisasi lainnya, misalkan dengan karakterisasi menggunakan sinar X. Bahan baja antikatik austenitik banyak digunakan dalam industri rumah tangga seperti wastafel dapur, arsitektur rumah (atas, talang, pintu, jendela), alat pemrosesan makanan, oven, tangki kimia, dan pembangkit tenaga listrik [15].

## METODE PERCOBAAN

### Penyiapan Bahan

Bahan lasan SS 201 diperoleh dari pasaran dengan spesifikasi teknis komposisi kimia austenitk *stainless steel* SS 201 dengan %berat setiap unsur pembentuk paduan ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Komposisi kimia austenitik *stainless steel* SS 201 dengan %berat setiap unsur.

C	Cr	Ni	Si	Mn	P	S	N
≤ 0,15	16,00-18,00	3,5-5,5	≤ 0,75	5,5 ~7,5	≤ 0,06	≤ 0,03	≤ 0,25

Sebelum bahan SS 201 dikarakterisasi dengan metode difraksi neutron, diawali dengan penyiapan untuk proses pengelasan. Proses pengelasan dimulai dengan pengikisan pada permukaan dengan tujuan untuk menghilangkan kerak dan kotoran yang melekat pada permukaan. Bahan plat mempunyai ketebalan 12 mm dikikis dengan menggunakan mesin miling hingga memiliki ketebalan 10 mm. Selanjutnya, plat dipotong sehingga memiliki ukuran 150 mm × 120 mm × 10 mm. Bahan dengan ukuran tersebut selanjutnya dilubangi pada kedua permukaan dengan bentuk lubang tipe X untuk kemudian dilakukan proses pengelasan dengan metode *Metal Inert Gas (MIG)*.

### Metode Pengelasan MIG

Pengelasan bahan dengan metode *Gas Metal Arc Welding (GMAW)* atau metode *Metal Inert Gas (MIG)*, disebut juga metode *Metal Gas Aktif (MAG)* adalah salah

satu jenis pengelasan yang pada proses pengelasan tersebut terbentuk sebuah busur listrik antara elektroda kawat pengisi dan logam benda kerja. Proses ini akan memanaskan logam benda kerja yang menyebabkan logam mencair dan kemudian bergabung. Pada elektroda kawat terdapat *shielding* gas yang diumpungkan melalui pistol las. Perisai gas berfungsi untuk melindungi proses pengelasan dari kontaminan di udara. Proses ini bisa dilakukan secara semi otomatis atau otomatis. Pengelasan menggunakan tegangan konstan, dengan sumber arus searah ini paling sering digunakan *GMAW*, tapi dapat juga digunakan sistem arus bolak-balik.

Dalam proses pengelasan, baja tahan karat SS 201 dilas menggunakan metode *MIG* dan pengelasan dilakukan dengan sistem *multi pass*. Pada pengelasan bahan SS 201, arus disetting pada 110 amper dengan tegangan 25 volt. Kecepatan alir gas argon diset dengan laju 5 liter/menit. Lama pengelasan untuk satu pelewatan (*pass*) 23 detik. Kecepatan pengelasan diset pada laju 3 mm/detik menggunakan *filler* ER 308. Pengelasan dilakukan secara *multi pass* pada permukaan benda kerja dengan arah pengelasan yang berlawanan pada setiap permukaan. Metode pengelasan dengan arah berlawanan digunakan untuk mengurangi pengaruh tegangan sisa dan efek tekstur akibat pemanasan yang dihasilkan akibat proses pengelasan. Dalam pengelasan tersebut telah dilakukan sebanyak tiga *pass* pada setiap permukaan. Penelitian dengan metode pengelasan *TIG* pada bahan *austenitik* SS304 ditunjukkan besarnya arus input mempengaruhi strukturmikro dan sifat mekanik bahan [16].

## Eksperimen Difraksi Neutron

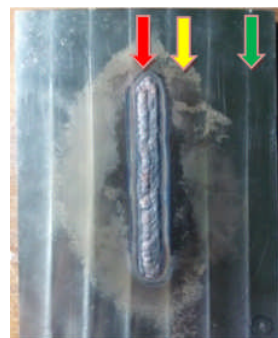
Karakterisasi tekstur pada daerah logam dasar *Base Metal* (BM), daerah terpengaruh panas *Heat Affected Zone* (HAZ), dan daerah pusat lasan *Fusion Zone* (FZ) dilakukan dengan metode difraksi neutron. Data difraksi neutron diambil menggunakan  $\theta$ - $2\theta$  *step skip scanning* untuk menentukan posisi tiga puncak Bragg pertama yaitu (111), (200) dan (220). Struktur kristal SS 201 memiliki struktur kubus *Face Centered Cubic* (FCC) sehingga untuk mendapatkan distribusi orientasi kristalit diperlukan minimal tiga buah *pole figure* (111), (200) dan (220). Dalam eksperimen *pole figure*, digunakan *incomplete pole figure* dalam jangkauan sudut  $0^\circ \leq \alpha \leq 70^\circ$  dan  $0^\circ \leq \beta \leq 355^\circ$ , dengan  $a = 90^\circ - c$  dan  $b = 355^\circ - f$ , dimana  $c$  adalah sudut *tilt* cuplikan dan  $f$  adalah sudut rotasi cuplikan, dan  $a$  adalah *zenith angle* dan  $b$  adalah *azimuth angle*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengelasan Bahan *Stainless Steel*

Hasil pengelasan SS 201 dilakukan secara *multi pass*, dengan masing-masing permukaan dengan tiga kali

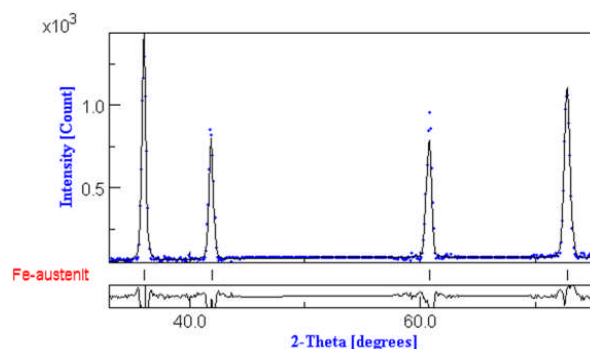
pelewatan las (*pass*). Hasil lasan ditunjukkan pada Gambar 1. Panah berwarna merah, kuning dan hijau masing-masing menunjukkan daerah FZ, HAZ, dan BMZ. Bagian yang dilas adalah bagian tengah dari daerah lasan (FZ), hal ini dilakukan untuk mengurangi efek tegangan sisa akibat pengelasan.



Gambar 1. Hasil pengelasan SS 201 secara *multi pass*. Pengelasan dilakukan dengan metode *MIG*. Tanda panah merah, kuning dan hijau, secara berurut masing-masing menunjukkan daerah FZ, HAZ dan BMZ.

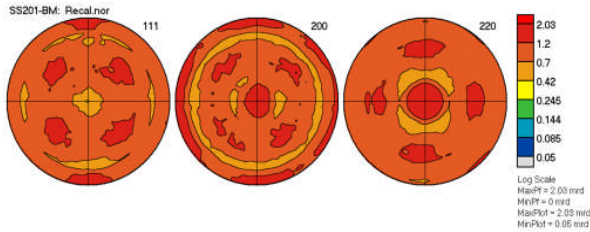
### Analisis *Pole Figure*

Dari pola difraksi neutron diperoleh empat puncak Bragg (111), (200), (220) dan (311) dengan nilai parameter kisi  $a = 3,5776 \pm 0,0002 \text{ \AA}$ . Cacahan latar belakang diabaikan (*skip*) bila jarak antara dua puncak Bragg lebih besar dari  $6^\circ$ . Pola difraksi untuk SS 201 ditunjukkan pada Gambar 2.

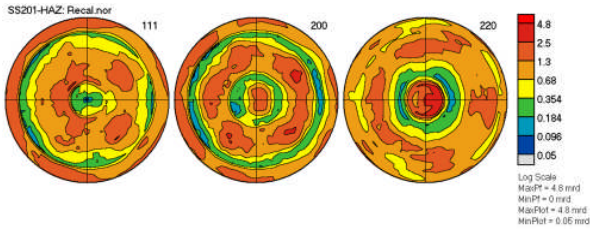


Gambar 2. Pola difraksi neutron untuk daerah *base metal* SS 201.

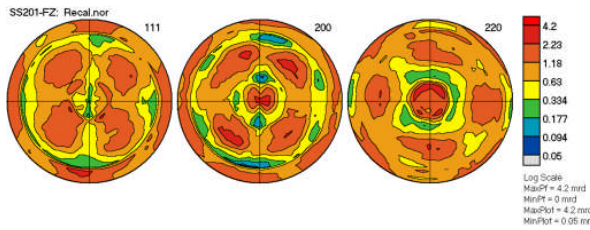
Data pola difraksi analisis menggunakan perangkat lunak *Materials Analysis Using Diffraction* (MAUD). Selanjutnya dengan parameter kisi  $a = 3,5776 \text{ \AA}$  diperoleh tiga buah *incomplete pole figure* 111, 200 dan 220 untuk *Fusion Zone* (FZ), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Base Metal Zone* (BMZ). Analisis *pole figure* dilakukan menggunakan perangkat lunak *Beartex* dengan metode *William Imhoff Mathias Vinnel* (WIMV). Koordinat kristalografi dengan sistem kubus dan koordinat cuplikan menggunakan sistem triklinik dipilih dalam analisis *pole figure* tersebut. *Pole figure* 111, 200 dan 220 untuk daerah BMZ, HAZ dan FZ, masing-masing ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 3. Pole figure 111, 200 dan 220 untuk Base Metal Zone (BMZ).



Gambar 4. PPole figure 111, 200 dan 220 untuk daerah terpengaruh panas (HAZ).



Gambar 5. Pole figure 111, 200 dan 220 untuk daerah pusat lasan (FZ).

Dari ketiga daerah karakterisasi yaitu BMZ, HAZ dan FZ tampak adanya perbedaan indeks tekstur. BMZ mempunyai indeks tekstur kira-kira 0,5 kali dibandingkan pada daerah HAZ dan FZ. Indeks tekstur FZ lebih kecil dibandingkan HAZ. Indeks tesktur pada daerah FZ, HAZ dan BMZ masing-masing sebesar 2,5; 4,8 dan 4,2 *multiple of random distribution (m.r.d)*.

Ditinjau dari jenis tekstur yang ada. Untuk daerah BMZ, pada *pole figure* 111 memiliki dua jenis tekstur yaitu  $Cube \{100\} \langle 001 \rangle$  dan  $Copper \{112\} \langle 111 \rangle$ , pada *pole figure* 200 terdapat tekstur jenis  $Cube \{100\} \langle 001 \rangle$  dan  $Copper \{112\} \langle 111 \rangle$ , dan pada *pole figure* 220,  $Copper \{112\} \langle 111 \rangle$ ,  $Cube \{010\} \langle 100 \rangle$ , dan  $Goss \{110\} \langle 001 \rangle$ . Dari hasil tersebut untuk BMZ dominasi tekstur terorientasi pada tipe  $Cube$ . Untuk HAZ, pada *pole figure* 111 kristal terorientasi pada jenis  $Copper \{112\} \langle 111 \rangle$ . Pada *pole figure* 200 kristalit terorientasi pada tipe  $Brass \{110\} \langle 112 \rangle$  dan  $Cube \{100\} \langle 001 \rangle$ . Untuk *pole figure* 220 kristal terorientasi pada tipe  $Goss \{110\} \langle 001 \rangle$  dan  $Cube \{100\} \langle 001 \rangle$ .

Untuk daerah FZ, pada *pole figure* 111, tekstur terorientasi dalam tiga jenis orientasi yaitu tipe  $Copper \{112\} \langle 111 \rangle$ ,  $Brass \{110\} \langle 112 \rangle$ , dan  $Cube \{100\} \langle 001 \rangle$ . Untuk *pole figure* 200, tekstur terorientasi dengan tipe  $Cube$ ,  $Brass$ , dan  $Copper$ , dan *pole figure* 220, tekstur terorientasi dengan tipe  $Cube$  dan  $Copper$ ,

Dari hasil analisis *pole figure* di atas tampak bahwa pada daerah FZ, tekstur mempunyai tipe  $Brass \{110\} \langle 112 \rangle$  dengan indeks tekstur sekitar 3,12 *m.r.d*. sama halnya yang ditunjukkan pada *pole figure* 200. Untuk daerah HAZ, tekstur paling kuat terorientasi pada tipe  $Goss \{110\} \langle 001 \rangle$  dengan indeks tekstur 4,8 *m.r.d*. Dibandingkan dengan hasil karakterisasi SS 304 mempunyai tekstur kuat pada tipe  $Brass \{110\} \langle 112 \rangle$  pada kondisi awal dan hyperquenched, hal tersebut juga nampak pada *austenitik steel* seri 304 [17]. Pada daerah logam dasar (BM), tekstur secara dominan terorientasi dengan tipe  $Cube \{010\} \langle 100 \rangle$ , indeks tekstur tidak terlalu kuat, sekitar 1,53 *m.r.d*.

## KESIMPULAN

Dari hasil karakterisasi *pole figure* SS 201 dapat disimpulkan bahwa pada *pole figure* 200 tekstur pada daerah pusat lasan (FZ) terorientasi dengan tipe  $Brass \{110\} \langle 112 \rangle$  dengan indeks tekstur sekitar 3,12 *m.r.d*. Pada daerah HAZ, tekstur paling kuat terorientasi pada  $\{110\} \langle 001 \rangle$  atau tipe  $Goss$  dengan indeks tekstur 4,8 *m.r.d*. Pada daerah logam dasar (BM), tekstur secara dominan terorientasi  $\{010\} \langle 100 \rangle$  atau tipe  $Cube$  dengan indeks tekstur tidak terlalu kuat, sekitar 1,53 *m.r.d*.

Pada daerah pusat lasan (FZ), bidang (110) sejajar dengan sumbu normal (ND), dengan arah butir kristalit sejajar dengan arah pengerolan (RD) [112]. Pada daerah HAZ bidang (110) tersebut mengarah ke arah sumbu pengerolan [001], dengan indeks tekstur HAZ, yang lebih kuat 1,5 kali dibanding FZ. Hal ini menunjukkan bahwa bidang (110) yang semula terorientasi kearah [112] pada FZ berubah orientasi kristalit sekitar  $35,26^\circ$  ke arah [001] pada daerah HAZ. Untuk daerah BMZ bidang (010) mengarah sejajar dengan arah normal (ND) dan tekstur mengarah pada arah pengerolan (RD) [100].

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Nur Ilman dan staf pada Fasilitas Pengelasan, Laboratorium Teknik Fakultas Teknik UGM atas kerjasamanya dalam menggunakan fasilitas pengelasan MIG. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada bapak Saparudin, ST, staf bengkel mekanik pada Laboratorium Berkas Neutron.

## DAFTAR ACUAN

- [1]. A. Steels, *The Atlas Steels Technical Handbook of Stainless Steels*, no. July. 2010.
- [2]. D. Kotecki, *Stainless Steels Welding Guide*, no. Cc. 2003.
- [3]. O. Outokumpu, *Handbook of Stainless Steel*. 2013.
- [4]. E. Gharibshahiyan, A. Honarbakhsh, N. Parvin, and M. Rahimian, "The effect of microstructure on hardness and toughness of low carbon welded

- steel using inert gas welding.” *Mater. Des.*, vol. 32, no. 4, pp. 2042-2048, 2011.
- [5]. H. S. Luo and C. Zhao, “Low temperature salt bath hardening of AISI 201 austenitic stainless steel.” *Phys. Procedia*, vol. 50, pp. 38-42, 2013.
- [6]. I. R. Souza Filho, M. J. R. Sandim, R. Cohen, L. C. C. M. Nagamine, J. Hoffmann, R. E. Bolmaro, and H. R. Z. Sandim, “Effects of strain-induced martensite and its reversion on the magnetic properties of AISI 201 austenitic stainless steel.” *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 419, pp. 156-165, 2016.
- [7]. A. Eghlimi, M. Shamanian, M. Eskandarian, A. Zabolian, and J. A. Szpunar, “Characterization of microstructure and texture across dissimilar super duplex/austenitic stainless steel weldment joint by super duplex filler metal.” *Mater. Charact.*, vol. 106, pp. 27-35, 2015.
- [8]. T. Gnäupel-Herold and a. Creuziger, “Diffraction study of the retained austenite content in TRIP steels,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 528, no. 10-11, pp. 3594-3600, 2011.
- [9]. T. H. Priyanto and M. Li, “Texture Analysis using The Neutron Diffraction Method on The Non Standardized Austenitic Steel Process by Machining , Annealing , and Rolling.” *Makara J. Technol.*, vol. 20, no. 1, pp. 19-23, 2016.
- [10]. S. Harjo, J. Abe, K. Aizawa, W. Gong, and T. Iwahashi, “Deformation Behavior of An Austenitic Steel by Neutron Diffraction.” vol. 14017, pp. 1-6, 2014.
- [11]. H. Vemanaboina, S. Akella, and R. K. Buddu, “Welding Process Simulation Model for Temperature and Residual Stress Analysis.” *Procedia Mater. Sci.*, vol. 6, pp. 1539-1546, 2014.
- [12]. W. Chuaiphan and L. Srijaroenpramong, “Effect of welding speed on microstructures, mechanical properties and corrosion behavior of GTA-welded AISI 201 stainless steel sheets.” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 214, no. 2, pp. 402-408, 2014.
- [13]. C. Lin, H. Tsai, C. Cheng, and C. Yang, “Effect of repeated weld-repairs on microstructure , texture , impact properties and corrosion properties of AISI 304L stainless steel.” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 21, pp. 9-20, 2012.
- [14]. W. Ozigowicz and W. Ratuszek, “Texture and structure evolution during cold rolling of austenitic stainless steel.” *J. Achiev. Mater. Manuf. Eng.*, vol. 52, no. 1, pp. 22-30, 2012.
- [15]. Y. Yin, R. Faulkner, and F. Starr, “5-Austenitic steels and alloys for power plants.” *Struct. Alloy. Power Plants*, vol. 1, pp. 105-152, 2014.
- [16]. S. Kumar and A. S. Shahi, “Effect of heat input on the microstructure and mechanical properties of gas tungsten arc welded AISI 304 stainless steel joints.” *Mater. Des.*, vol. 32, no. 6, pp. 3617-3623, 2011.
- [17]. A. Kurc-Lisiecka, “Forming of the texture, structure and mechanical properties of cold-rolled AISI 304 steel.” *Bulletin.Is.Gliwice. Pl*, no. 2, pp. 23-29, 2013.