

Pengaruh Variasi Suhu Preheat dan Jarak Pengelasan Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro dan Lebar HAZ Pada Material ASTM A 106 B.

Zainul Farid Musthofa^{1*}, Budi Prasajo, S.T.,M.T.², Dianita Wardani, S.SI.,M.T.³

*D4-Teknik Perpipaan, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1*2,3}*

Email: zainulfarid@student.ppns.ac.id^{1*}; budiprasajo@ppns.ac.id^{2*}; dianitawardani@ppns.ac.id^{3*};

Abstract - In welding, it is important to space the welds at sufficient distance so that the heat affected zones (HAZ) do not overlap. The distance between welding joints is usually determined based on needs and conditions in the field, but there are minimum requirements based on geometric and technical considerations. This includes avoiding overlapping stress concentrations, providing access for inspection, and avoiding residual stresses and distortion. This research examines the effect of variations in preheat temperature and welding distance on microstructure hardness and HAZ area in ASTM A 106 B material. The results of observations show that there is no HAZ overlap in all variations of welding distance and preheat spesimens. Vickers hardness testing indicates that material with a welding distance of "20 mm" without preheat has the highest hardness value, namely 235.08 HV on average, while the lowest hardness value is found in material with a welding distance of "32 mm" and preheat of 250°C, with an average value -average 215.55 HV. This shows that preheat and welding distance can influence the hardness of the material. Microstructural analysis shows significant differences in each spesimen variation. The ferrite structure dominates in spesimens that receive preheat treatment at higher temperatures, which contributes to a decrease in the hardness value of the material..

Keyword: Key words: Piping Spool, Welding, Vickers Hardness, Metallography.

Nomenclature

HAZ	Heat Affected Zone
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding

1. PENDAHULUAN

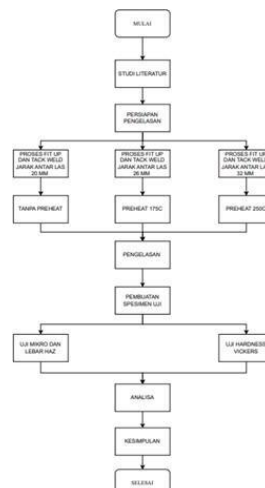
Lasan harus ditempatkan pada jarak sedemikian rupa sehingga zona yang terkena dampak panas atau heat affected zone tidak saling tumpang tindih, dalam menentukan jarak antar sambungan pada suatu pengelasan biasanya ditentukan dengan kebutuhan dan kondisi pada saat di lapangan, tidak menutup kemungkinan bahwa pengelasan terjadinya sambungan pengelasan memiliki jarak yang dekat dengan sambungan yang lain, persyaratan jarak las minimum didasarkan pada alasan geometris, seperti menghindari konsentrasi tegangan yang tumpang tindih pada ujung las atau memberikan akses yang memadai untuk peralatan inspeksi setelah pengelasan, atau hal ini mungkin didasarkan pada tegangan sisa, dan menghindari tumpang tindih tegangan sisa dan distorsi, yang dipengaruhi oleh dimensi pipa dan prosedur pengelasan dan jaraknya bisa mendekati beberapa inci.

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut : Bagaimana

pengaruh suhu Preheat dan jarak pengelasan terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro pada pengelasan pipa dengan jarak las yang berdekatan pada material ASTM 106 B, sehingga akan dilakukan penelitian “Pengaruh variasi suhu Preheat dan jarak pengelasan terhadap kekerasan struktur mikro dan lebar HAZ pada material ASTM A106 B” , tujuan dari penelitian ini adalah

: untuk mengetahui pengaruh suhu Preheat terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro pada pengelasan yang berdekatan pada material ASTM 106 B.

2. METODOLOGI .



2.1 Tahap Identifikasi Awal

Pada penelitian ini akan dilakukan jarak pengelasan antar las dengan variasi jarak 20 mm, 26 mm dan 32 mm dan pada setiap jarak las diberlakukan panas pre-heat dengan memvariasikan suhu 175°C, dan 250°C dan tanpa preheat pada pengelasan yang sudah ditentukan, dilakukan pengamatan terhadap struktur mikro material, lebar HAZ dan dilakukan pengujian sifat mekanik yakni hardness vickers yang bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik pada pipa material ASTM 106 Grade B setelah dilakukan variasi jarak pengelasan dan variasi suhu preheat..

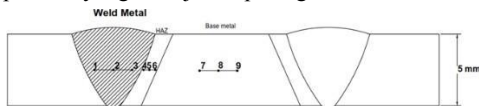
2.2 Tahap Pengolahan Data

Detail Tahap ini merupakan tahap lanjutan dari proses pengumpulan data yang telah dilakukan, Tahap pengolahan data dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Isometri
2. Spesifikasi Material
3. Data Pengelasan

2.3 Persiapan Material

Sebelum pengelasan dilakukan, harus dilakukan persiapan material yaitu pemotongan pipa dengan panjang 10 cm, setelah persiapan material selesai, dilanjutkan dengan pengelasan terhadap variasi yang sudah dijelaskan di atas, langkah selanjutnya adalah pemotongan material menjadi benda uji dilakukan dengan ukuran Panjang 80 mm dan lebar 10 mm untuk pengamatan lebar HAZ dan pengujian hardness material berikut bentuk sketsa dari spesimen yang ditunjukkan pada gambar 2.



2.4 Pengujian Metallography

Metallography test adalah suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan mikroskop optik dan mikroskop elektron. Pengamatan tersebut dilakukan terhadap spesimen yang telah diproses sehingga bisa diamati dengan pembesaran tertentu. [3]. Pengujian metallography dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu pengujian makro dan mikro.

1. Pengujian Makro

Pengujian makro adalah pengujian yang dilakukan pada penampang memanjang sebagai pengujian independen untuk mengevaluasi kondisi bawah permukaan atau sebagai langkah selanjutnya dari pengujian lain untuk mengungkap efek pada bawah 14 permukaan. Umumnya tes atau pemeriksaan makro dilakukan dengan pembesaran kurang dari 10x. Tujuan dari uji makro ini adalah untuk melihat daerah HAZ, daerah weld metal, daerah base metal, jumlah layer, dan juga beberapa cacat las yang ada di dalam weld metal. Pada penelitian ini pengujian makro digunakan untuk melihat fusi atau tidak fusinya pengelasan serta cacat pengelasan daerah haz.

2. Pengujian Mikro

Pengamatan struktur mikro adalah suatu pengujian untuk mengetahui susunan fasa pada suatu benda uji atau spesimen. Struktur mikro dan sifat paduannya dapat diamati dengan berbagai cara bergantung pada

sifat informasi yang dibutuhkan. Salah satu cara dalam mengamati struktur suatu bahan yaitu dengan teknik metalografi (pengujian mikroskopik).

Pengamatan micro test pada dasarnya adalah melihat perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang dimasukkan ke dalam mikroskop sehingga terjadi gambar yang berbeda (agak terang, terang, gelap). Dengan demikian apabila seberkas sinar dikenakan pada permukaan spesimen maka sinar tersebut akan dipantulkan sesuai dengan orientasi sudut permukaan bidang yang terkena sinar. Semakin tidak rata permukaan, maka semakin sedikit intensitas sinar yang terpantul ke dalam mikroskop. Akibatnya, warna yang tampak pada mikroskop adalah warna hitam. Sedangkan permukaan yang sedikit terkorosi akan tampak berwarna terang putih. Larutan penetes yang cocok untuk paduan

2.5 Pengujian Hardness

Sebelum Pengujian Hardness dilakukan dengan menggunakan metode vickers dan menggunakan beban 1000gf dengan indenter diamond piramida 136°. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan yang dihasilkan dari proses pengelasan menggunakan variasi di atas. Pengujian ini dilakukan di semua lokasi pemotongan untuk mendapatkan hasil yang optimal dan akurat. Berikut adalah hal yang harus diperhatikan ketika melakukan vickers:

- 1) Spesimen harus memenuhi persyaratan : a.Permukaan diharuskan rata dan halus.
b.Dapat ditumpu dengan baik dan permukaan uji harus horizontal.
- 2) Indenter yang digunakan adalah pyramidan yang beralas bujur sangkar dengan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan adalah 136°
- 3) Pada dasarnya semua beban bisa digunakan, kecuali untuk plat yang tipis harus digunakan beban yang ringan.
- 4) Pada pelaksanaannya, pengujian kekerasan ini dilakukan dengan menekan indenter pada permukaan spesimen selama 10 – 30 detik.
- 5) Nilai kekerasan pengujian ini dinyatakan dalam satuan DPH (Vickers Diamond Pyramid Hardness) yang dihitung berdasarkan diagonal indentasi dengan Persamaan sebagai berikut :

$$DPH = \{ 2P \sin (\alpha/2) \} / d2 = 1,854P/d2$$

Untuk : $\alpha = 136^\circ$

Dimana : P = Gaya tekan (kgf)

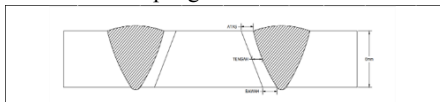
d = diagonal indentasi (mm) [3]

3.HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Lebar HAZ

Dari pengamatan yang sudah dilakukan, didapatkan data lebar daerah HAZ yang dihasilkan dari berbagai variasi yang dilakukan dalam pengujian ini. Pengamatan dan pengukuran lebar HAZ dilakukan

pada 3 bagian, yaitu bagian atas, tengah dan bawah sesuai dengan yang ditunjukkan pada gambar tabel 4.3 Tabel 4. 3 Data pengukuran lebar HAZ



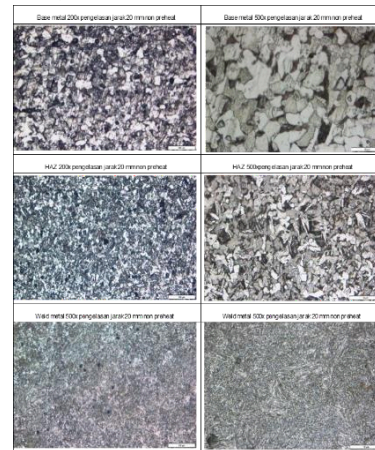
Variasi jarak mm	Suhu preheat (C)	Las 1			Average	Las 2			Average
		Atas (mm)	Tengah (mm)	Bawah (mm)		Atas (mm)	Tengah (mm)	Bawah (mm)	
20mm	-	4,8	5,2	4,1	4,70	3,6	5,5	5	4,70
20mm	175°C	5,3	7	7,8	6,70	3,7	6,6	5,6	5,30
20mm	250°C	3,3	4,3	4,9	4,17	6,8	8,5	8,6	7,97
26mm	-	5,3	8,6	7,5	7,13	4,8	5,8	7,1	5,90
26mm	175°C	5,6	7,3	7,6	6,83	3,1	5,4	3,7	4,07
26mm	250°C	5	7,5	7,3	6,60	5,4	7,5	7,4	6,77
32mm	-	3,5	5	4,9	4,47	3,9	5	4,6	4,50
32mm	175°C	2,8	3,9	5	3,90	4,8	5,5	4,7	5,00
32mm	250°C	5,2	6,5	6,7	6,13	6,6	7,7	8,7	7,67

Pada spesimen “Pengelasan 20 mm tanpa Preheat” memiliki nilai pelebaran rata rata pada las ke 1 sebesar 4,70 mm dan pada las 2 memiliki nilai pelebaran 4,70 mm. Pada spesimen “Pengelasan 20 mm Preheat 175°C” memiliki nilai pelebaran rata rata pada las ke 1 sebesar 6,70 mm dan pada las 2 memiliki nilai pelebaran 5,30 mm, spesimen “Pengelasan 20 mm tanpa Preheat 250°C” memiliki nilai pelebaran rata rata pada las ke 1 sebesar 4,17 mm dan pada las 2 memiliki nilai pelebaran 7,97 mm, spesimen “Pengelasan 26 mm tanpa Preheat” memiliki nilai pelebaran rata rata pada las ke 1 sebesar 7,13 mm dan pada las 2 memiliki nilai pelebaran 5,90 mm, spesimen “Pengelasan 26 mm Preheat 175°C” memiliki nilai pelebaran rata rata pada las ke 1 sebesar 6,83 mm dan pada las 2 memiliki nilai pelebaran 4,07 mm, spesimen “Pengelasan 26 mm Preheat 250°C” memiliki nilai pelebaran rata rata pada las ke 1 sebesar 6,60 mm dan pada las 2 memiliki nilai pelebaran 6,77 mm, spesimen “Pengelasan 32 mm tanpa Preheat” memiliki nilai pelebaran rata rata pada las ke 1 sebesar 4,47 mm dan pada las 2 memiliki nilai pelebaran 4,50 mm, spesimen “Pengelasan 32 mm Preheat 175°C” memiliki nilai pelebaran rata rata pada las ke 1 sebesar 3,90 mm dan pada las 2 memiliki nilai pelebaran 5,00 mm, spesimen “Pengelasan 32 mm Preheat 250°C” memiliki nilai pelebaran rata rata pada las ke 1 sebesar 6,13 mm dan pada las 2 memiliki nilai pelebaran 7,67 mm.

3.3 Hasil Uji Mikro

Struktur Mikro sangat berkaitan dengan sifat mekanis baja. Terdapat perbedaan antara sifat-sifat mekanis baja. Hal ini tidak hanya disebabkan kadar karbon melainkan cara mengadakan ikatan dengan besi yang dapat mempengaruhi sifat baja. Baja yang didinginkan secara lambat menuju suhu ruangan dibedakan menjadi tiga bentuk utama struktur mikro : ferrite, cementite dan Pearlite. (Schonmetz, 1985). Pengamatan terhadap struktur mikro dilakukan dengan optical microscope. Hasil dari pengujian struktur mikro

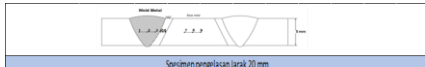
Berikut ini adalah hasil dari foto mikro di weld metal, HAZ, dan base metal.



Dari hasil pengujian struktur mikro spesimen “pengelasan jarak 20 mm” dengan variasi tanpa Preheat di daerah base metal, pada perlakuan panas non Preheat di base metal struktur mikro yang teramati mencakup dua fase utama ferrite dan pearlite. Fase ferrite terlihat dengan warna terang, sedangkan pearlite terlihat dengan warna yang lebih gelap. Ferrite, yang merupakan fase baja murni dengan struktur BCC (Body-Centered Cubic), memberikan sifat duktilitas yang baik dan konduktivitas termal yang tinggi. Sementara itu, pearlite, yang merupakan campuran dari ferrite dan karbida besi (sementit) memberikan kekuatan dan kekerasan tambahan pada material. Pada spesimen “pengelasan jarak 20 mm tanpa preheat” terbentuk di daerah HAZ terbentuk fasa berupa butiran- butiran dominasi pearlite berbentuk memanjang, ferrite, dan struktur martensite. Martensit terbentuk melalui pendinginan cepat (quenching) dari fase austenit pada suhu yang sangat tinggi ke suhu yang lebih rendah, proses ini mencegah difusi karbon, sehingga karbon terperangkap dalam larutan padat supersaturated. Martensit dikenal karena kekerasannya yang sangat tinggi, ini disebabkan oleh deformasi kristal yang signifikan dan ketegangan internal yang tinggi dalam struktur kristal martensit. Struktur kristal martensit adalah tetragonal atau badan tengah tetragonal (BCT), yang merupakan transformasi dari struktur kubus berpusat badan (BCC) pada austenit. Martensit rentan terhadap pembentukan retak mikro akibat tegangan internal yang tinggi dan kekerasannya yang ekstrem. Pada spesimen “pengelasan jarak 20 mm non Preheat di weld metal terbentuk dengan butiran- butiran kecil merata memberikan hasil yang lebih banyak perlit daripada ferit, fasa ferrite (area terang) dan Pearlite (area gelap). struktur mikro juga terlihat bainit dimana bainit berupa pelat-pelat sejajar dengan Fe3C di antara pelat-pelat tersebut atau didalamnya. Bainit mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibanding ferrit, tetapi lebih rendah dari martensit. Struktur mikro semua spesimen daerah weld metal tidak jauh berbeda karena elektroda yang digunakan memiliki komposisi kimia yang sama dan pengelasan dilakukan dengan parameter las yang sama, hanya berbeda pada perlakuan panas preheat.

3.4 Hasil Uji Hardness

Dari pengujian hardness vickers didapatkan nilai kekerasan dari spesimen uji yang nantinya akan dianalisa menggunakan grafik yang dibuat dari data yang dihasilkan untuk mengetahui sifat mekanik dari material yang diuji. Terdapat sembilan variasi spesimen variasi yang dilakukan pada pengujian ini.



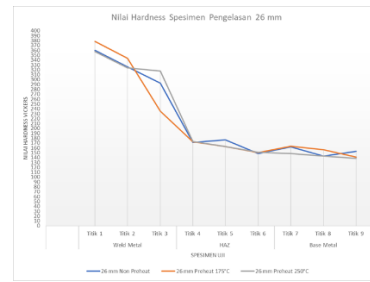
Spesimen pengelasan jarak 20 mm										
Jarak Pengelasan (mm)	Suhu Preheat(°C)	Nilai Kekerasan(Hardness Vickers)								
		Titik Pengujian								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	Tanpa preheat	337,44	336,43	340,19	174,99	172,49	173,02	157,54	162,96	159,39
	175	332,6	328,96	321,88	171,86	170,20	167,29	151,17	148,29	152,70
	250	321,88	328,96	320,94	180,6	163,1	163,39	145,96	147,16	148,11

Pada tabel 4.4 menunjukkan hasil pengujian hardness Vickers yang dilakukan pada spesimen “jarak pengelasan 20 mm” yang diperlakukan variasi Preheat. Nilai kekerasan pada weld metal spesimen “pengelasan jarak 20 mm tanpa Preheat” di titik 1 sebesar 337,44 HV, titik 2 336,43 HV dan titik 3 340,19 HV. Nilai kekerasan pada HAZ spesimen “pengelasan jarak 20 mm tanpa Preheat” di titik 4 sebesar 174,99 HV, di titik 5 sebesar 172,49 HV, di titik 6 sebesar 173,02 HV. Nilai kekerasan pada base metal “pengelasan jarak 20 mm tanpa Preheat” di titik 7 sebesar 157,54 HV, di titik 8 sebesar 162,96 HV, di titik 9 sebesar 159,39 HV.

Nilai kekerasan pada weld metal spesimen “pengelasan jarak 20 mm Preheat 175°C” di titik 1 sebesar 332,60 HV, titik 2 sebesar 328,96 HV dan titik 3 sebesar 340,19. Nilai kekerasan pada HAZ spesimen “pengelasan jarak 20 mm Preheat 175°C” di titik 4 sebesar 171,86 HV, di titik 5 sebesar 170,20 HV, di titik 6 sebesar 167,29 HV. Nilai kekerasan pada base metal “pengelasan jarak 20 mm Preheat 175°C” di titik 7 sebesar 151,17 HV, di titik 8 sebesar 148,29 HV, di titik 9 sebesar 152,70 HV.

Nilai kekerasan pada weld metal spesimen “pengelasan jarak 20 mm Preheat 250°C” di titik 1 sebesar 321,88 HV, titik 2 sebesar 328,96 HV dan titik 3 sebesar 320,94. Nilai kekerasan pada HAZ spesimen “pengelasan jarak 20 mm Preheat 250°C” di titik 4 sebesar 180,60 HV, di titik 5 sebesar 163,10 HV, di titik 6 sebesar 163,39 HV. Nilai kekerasan pada base metal “pengelasan jarak 20 mm Preheat 250°C” di titik 7 sebesar 145,96 HV, di titik 8 sebesar 147,16 HV, di titik 9 sebesar 148,11 HV.

Dari uji hardness yang sudah dilakukan, didapatkan nilai kekerasan yang dihasilkan dari berbagai variasi yang dilakukan dalam pengujian ini. Data tersebut akan dijelaskan lebih lanjut pada sub bab analisa dan pembahasan, sehingga mendapatkan informasi yang lebih detail dari hasil pengujian. Pengujian hardness dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan pada setiap bagian disetiap variasi jarak pengelasan dan variasi suhu Preheat. Setiap daerah pengujian diambil 3 titik pada daerah base metal, HAZ las ke 1, HAZ las ke 2, Weld metal las ke 1 dan weld metal las ke 2, Hasil pengujian hardness dapat dilihat pada gambar grafik 4.29 berikut



Dari grafik diatas menunjukkan data hasil uji hardness pada titik Heat affected zone (HAZ) las 1 dan las ke 2 pada pengelasan jarak 26 mm dan setiap variasi suhu Preheat. Pada spesimen “pengelasan jarak 20 mm non Preheat ” memiliki nilai kekerasan di las 1 sebesar 171,08 HV dititik 4, 172,59 HV dititik 5, 173,17 HV dititik 6 dan pada HAZ las ke 2 sebesar 178,77 HV dititik 10, 167,90 HV di titik 11, 178,26 HV dititik 12. Pada spesimen “pengelasan jarak 26 mm Preheat 175°C” memiliki nilai kekerasan di las 1 sebesar 171,86 HV dititik 4, 170,20 HV dititik 5, 167,29 HV dititik 6 dan pada HAZ las ke 2 sebesar 165,55 HV dititik 10, 162,72 HV di titik 11, 175,53 HV dititik 12. Pada spesimen “pengelasan jarak 26 mm Preheat 250°C” memiliki nilai kekerasan di las 1 sebesar 148,53 HV dititik 4, 150,40 HV dititik 5, 150,61 HV dititik 6 dan pada HAZ las ke 2 sebesar 162,57 HV dititik 10, 169,84 HV di titik 11, 169,32 HV dititik 12.

Dapat disimpulkan nilai tertinggi uji kekerasan terdapat pada spesimen variasi non Preheat dengan nilai kekerasan 178,26 HV, sedangkan nilai terendah pada spesimen variasi Preheat 250°C dengan nilai kekerasan 148,53 HV. Hal ini bisa disebabkan karena masukan panas Preheat yang semakin tinggi dapat menurunkan nilai gradient temperature antara logam las dengan daerah disamping logam las, perbedaan temperatur yang besar antara area las-lasan dengan logam induk. Hal ini dapat mengakibatkan pendinginan yang terlalu cepat sehingga menyebabkan beberapa material dengan hardenability yang tinggi mungkin terjadi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil Analisa yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya dengan variasi perlakuan panas preheat terhadap sifat mekanik, struktur mikro material dan luas daerah HAZ dapat diambil sebagai berikut :

1. Dari hasil pengamatan lebar HAZ pada tiap variasi jarak pengelasan tidak terjadi HAZ yang saling tumpang tindih, dimana jika HAZ tumpang tindih mengakibatkan kegagalan struktur akibat total tegangan sisa gabungan akan melebihi tegangan yang diizinkan dan mekanikal daerah las akan terganggu. Dapat disimpulkan pada pengelasan jarak 20 mm, 26 mm dan 32 mm aman dari tumpang tindihnya HAZ, untuk variasi suhu preheat yang diberikan mempengaruhi lebar HAZ, dimana spesimen dengan nilai terendah terdapat pada spesimen “pengelasan jarak 26 mm non preheat” dengan nilai lebar rata-rata 4,45 mm dan spesimen dengan HAZ terlebar terdapat pada spesimen pengelasan jarak 32 mm preheat 250°C dengan lebar rata-rata 6,9 mm.

2. Terdapat pengaruh proses pengelasan tanpa preheat terhadap struktur mikro material ASTM A

106 B yakni dari daerah HAZ martensite yang mendominasi (keras dan getas) menyebar diantara pearlite, ke ferrite dan pearlite (lebih lunak). Selain semakin tinggi temperatur preheat yang dilakukan, semakin sedikit struktur martensite yang terbentuk dan lebih banyak ferrite dan pearlite, dan di spesimen perlakuan preheat terbentuk struktur accicular ferrite yang bersifat lebih lunak dan membuat nilai toughness semakin meningkat, pengaruh jarak pengelasan 20 mm, 26 mm dan 32 mm terhadap struktur mikro material tidak terlalu berbeda signifikan.

3. Dari pengujian Hardness Vickers yang dilakukan dapat disimpulkan pengaruh variasi jarak pengelasan terhadap nilai hardness tidak berbeda signifikan. Pada pengaruh variasi preheat dapat disimpulkan spesimen dengan perlakuan preheat memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan preheat. Hal ini menunjukkan bahwa proses preheat mampu mengurangi kekerasan pada semua daerah, karena masukan panas Preheat yang semakin tinggi dapat menurunkan nilai gradient temperature antara logam las dengan daerah disamping logam las, perbedaan temperatur yang besar antara area las-lasan dengan logam induk. Hal ini dapat mengakibatkan pendinginan yang terlalu cepat sehingga menyebabkan beberapa material dengan hardenability yang tinggi mungkin terjadi.

6. PUSTAKA

- [1] Obie Dharmawan (2018). Pengaruh Variasi Suhu Preheat Terhadap Kekuatan Tarik Dan Lebar HAZ Pada Material A36 Dengan Menggunakan Las GTAW,
- [2] Windu Baskoro Hadi . (2018). Analisa Pengaruh Variasi Suhu Preheat Terhadap Distorsi, Lebar HAZ, dan Struktur Mikro pada Sambungan Butt Joint Single V dengan Metode Pengelasan FCAW dan SMAW
- [3] Muhammad Mulky Ardiansyah . (2023). Analisis Pengaruh Preheat dan PWHT Pengelasan Dissimilar Material Terhadap Sifat Mekanik Material dan Lebar HAZ Pada Condensate Polishing System
- [4] Cahya Sutowo, Arief Sanjaya. (2018). Pengaruh Hasil Pengelasan GTAW dan SMAW Pada Pelat Baja SA 516 dengan Kampuh Tunggal.
- [5] Ubaidillah, M. G., Prasojo, B., Studi, P., Perpipaian, D. T., Teknik, J., Kapal, P., ... Negeri, P. P. (2017). Pengaruh Suhu PWHT Terhadap Kekuatan Bending dan Kekerasan Pipa Astm Grade B pada Pengelasan SMAW
- [6] Callister, William. (2004). Material Science and Engineering an Introduction. New York.
- [7] Wiryosumatro, H. d. (1996). Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [8] Rananggono, D, TA, Studi Kekuatan Mekanik dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan SMAW Dengan Variasi Preheat dan Postheat Menggunakan Metode Pendinginan Cepat dan Pendinginan Lambat, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).