

ANALISIS VARIASI SUHU PREHEAT PADA SAMBUNGAN LAS GTAW MATERIAL CuDHP TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO

Moch. Yusril Ihza Mahendra

Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111¹*

Email: mochyusril@student.ppns.ac.id¹

Abstract – PT. X is a company engaged in the manufacture of heat exchangers. One of its products, namely the condenser, has parts made of CuDHP copper material. PT.X uses the GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) welding process to join CuDHP materials. This material is a copper material which has high electrical and thermal conductivity, this has an effect on the weldability of the material. Thermal conductivity is the ability of a material to conduct heat. The short thermal conductivity of the welding process results in a low heat input to the base metal. This can cause defects in the welding results. The short heat conductivity process can be avoided by preheating before the joining process is carried out on the material. However, after preheating and welding processes were carried out on the product, the results of the welding still found defects, namely hot cracks. This defect is caused by the less than optimal preheat temperature applied to the material before welding. The varied temperature values are 150°C, 200°C, 250°C, 500°C. The tests carried out were hardness and metallographic tests. The results of this study indicate that no cracks were found. There are several new phases in the fusion line area having copper phosphide precipitation in the form of granules (globular) and elongated or unbranch dendrites. The highest hardness value is in the base metal specimen with preheat variation of 150°C of 56 HVN and the lowest hardness value is in the base metal specimen with preheat variation of 500°C of 34.3 HVN. The deepest penetration of the preheat variation with a temperature of 500 °C has the greatest penetration depth and the preheat variation with a temperature of 150 °C has the lowest penetration depth.

Keyword: GTAW, CuDHP, Microstructure, Hardness

1. PENDAHULUAN

PT.X merupakan perusahaan multinasional yang bergerak dalam bidang teknologi perpindahan panas. Produk yang dihasilkan antara lain, *condensers*, *evaporative condensers*, *air cooler*, dan lain-lain. Hasil produksi yang beranekaragam ini tentunya membutuhkan bahan baku yang beranekaragam tergantung dari fungsi serta permintaan *customer*. Bahan baku yang biasa digunakan oleh PT.X untuk memenuhi kebutuhan *customer* antara lain baja, *stainless steel*, tembaga, kuningan dan aluminium yang bisa berupa plat, pipa maupun *tube*.

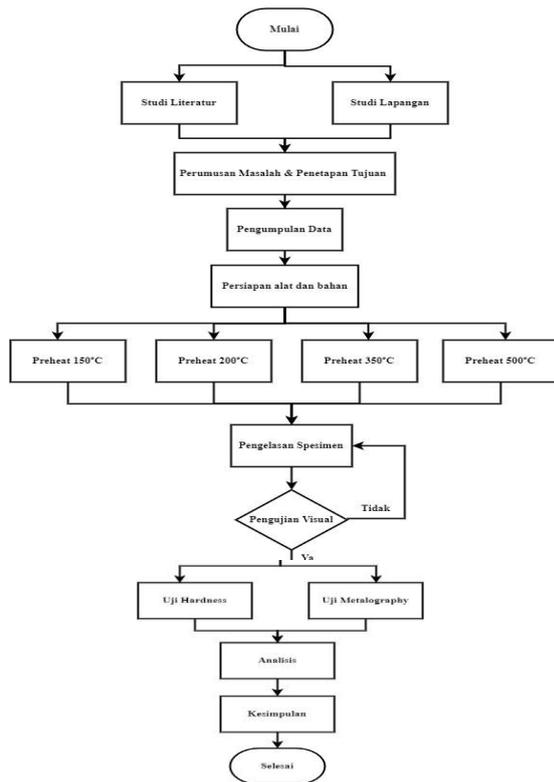
Salah satunya yaitu material paduan tembaga (*copper alloy*) CuDHP digunakan oleh PT.X sebagai bahan dasar untuk membuat instalasi *heat exchanger*. *Heat exchanger* sendiri merupakan alat vital didalam sistem PLTU yang memerlukan material yang memiliki konduktifitas termal dan sifat mekanis yang stabil pada kondisi temperatur dan tekanan tinggi, yaitu pada 17,90 MPa dengan temperatur 490°C. Dalam proses penyambungannya, material diberi perlakuan *preheating* pengelasan dengan proses GTAW (*gas tungsten arc welding*) Namun pada hasil pengelasan masih ditemukan

cacat yaitu *hot crack*. *Hot crack* atau retak panas adalah sebuah retak pada pengelasan dimana retak itu terjadi setelah proses pengelasan selesai atau saat proses pematatan logam las.

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan tersebut, maka dilakukan penelitian mengenai "Analisis Variasi Suhu *Preheat* Pada sambungan Las GTAW Material CuDHP Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro". Suhu *preheat* yang akan digunakan pada penelitian ini sebesar 150°C, 200°C, 350°C, 500°C. Hasil pengelasan masing-masing suhu *preheat* akan diamati untuk mengetahui pengaruh suhu *preheat* pada material tembaga CuDHP.

2. METODOLOGI.

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan *flowchart* yang ditunjukkan pada Gambar berikut.



Gambar 1. Flowchart

2.1 Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan material yaitu persiapan material yang akan digunakan dalam penelitian ini meliputi persiapan *base metal* material *copper* CuDHP sedangkan *filler metal* menggunakan ERCu. Selain itu juga dilakukan persiapan peralatan yang digunakan sebagai penunjang dalam proses tugas akhir ini, meliputi:

a. Material

Setelah rekognisi material yang dijelaskan pada tinjauan pustaka langkah berikutnya dalam penelitian persiapam specimen dan spesifikasi material sebelum dilakukan proses pengelasan dijelaskan seperti dibawah ini :

Material : CuDHP

Dimensi :

- *Tube* : 150 mm x 88,9 mm x 3,9 mm

- *Plate* : 88,9 mm x 9 mm

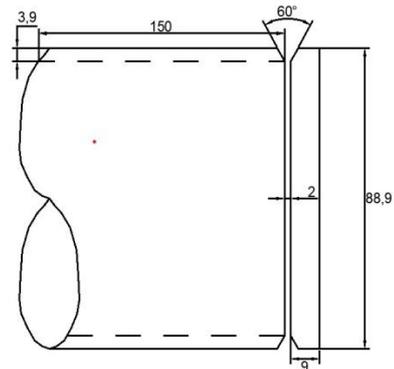
Jumlah : 4 *test piece*

Proses Las : GTAW

Sambungan : *fillet Joint*

b. Dimensi Spesimen

Pada penelitian ini penggunaan dimensi dan sambungan specimen yang dilakukan menggunakan dimensi panjang 150 mm dan lebar 88,9 mm dengan sambungan yang digunakan adalah *fillet weld*. Dimana ini juga sesuai dengan ukuran sudut *bevel* disetiap material adalah 30° untuk sambungan las. Yang ditunjukkan pada Gambar berikut.



Gambar 2. Dimensi Spesimen

c. Parameter Pengelasan

Sebelum dilakukan proses pengelasan perlu adanya parameter pengelasan yang digunakan sebagai acuan pengelasan agar didapat hasil dari rodok pengelasan yang diinginkan melalui pengujian-pengujian yang telah dilakukan. Berikut merupakan parameter pengelasan yang digunakan.

Tabel 1. Parameter Pengelasan

| Code | ASME Section IX | |
|----------------------------|---|---------|
| Material | Tube CuDHP Plate CuDHP | |
| Dimension | Tube : 150 mm x 88,9 mm x 3,9 mm Plate : 88,9 mm x 9 mm | |
| Welding Process / Position | GTAW / 1G | |
| Filler Metal | A No. | - |
| | F No. | 31 |
| | SFA | SFA-5.7 |
| | AWS No. | ERCu |
| ∅ | 3,2 mm | |
| Arus (A) | 178 | |
| Tegangan (V) | 17 | |
| Shielding Gas | Ar (99%) | |
| Gas Flow Rate | 15lt/min | |
| Gas Flow Rate - Backing | 10lt/min | |
| Current Polarity | DC EN | |

d. Alat Pengelasan

Pembuatan, pengujian dan penganalisaan spesimen uji guna mendapatkan hasil yang diharapkan. Peralatan tersebut antara lain :

1. Mesin las GTAW
2. Gas pelindung argon
3. Thermo gun
4. Cipping hummer
5. Tang ampere
6. Penggaris
7. Stopwatch
8. Welding gauge

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Visual

Hasil dari *visual test* pada setiap spesimen yang dapat dilihat pada Gambar dibawah.



Gambar 3. Visual test preheat 150°C

Pada Gambar diatas dapat dilihat hasil *visual variabel preheat 150°C* bahwa pengelasan dengan material CuDHP memiliki tinggi *reinforcement* sebesar 1 mm. Tidak di temukan cacat baik *porosity* maupun *undercut* dan menghasilkan kondisi permukaan yang baik, dan menurut standart kriteria penerimaan ASME *section IX* hasil uji *visual* adalah *accepted*.



Gambar 4. Visual Test preheat 200°C

Pada Gambar diatas dapat dilihat hasil *visual variabel preheat 200°C* bahwa pengelasan dengan material CuDHP memiliki tinggi *reinforcement* sebesar 1 mm. Tidak di temukan cacat baik *porosity* maupun *undercut* dan menghasilkan kondisi permukaan yang baik, dan menurut standart kriteria penerimaan ASME *section IX* hasil uji *visual* adalah *accepted*.



Gambar 5. Visual Test preheat 350°C

Pada Gambar diatas dapat dilihat hasil *visual variabel preheat 350°C* bahwa pengelasan dengan material CuDHP memiliki tinggi *reinforcement* sebesar 1 mm. Tidak di temukan cacat baik *porosity* maupun *undercut* dan menghasilkan kondisi permukaan yang baik, dan menurut standart kriteria penerimaan ASME *section IX* hasil uji *visual* adalah *accepted*.



Gambar 6. Visual Test preheat 500°C

Pada Gambar diatas dapat dilihat hasil *visual variabel preheat 500°C* bahwa pengelasan dengan material CuDHP memiliki tinggi *reinforcement* sebesar 1 mm. Tidak ditemukan cacat baik *porosity* maupun *undercut* dan menghasilkan kondisi permukaan yang baik, dan menurut standart kriteria penerimaan ASME *section IX* hasil uji *visual* adalah *accepted*.

3.2 Hasil Pengujian Hardness

Pengujian *hardness* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai kekerasan pada material CuDHP setelah dilakukan *preheat* dengan variasi suhu *preheat 150°C, 200°C, 350°C, 500°C*. Pengujian *hardness* dilakukan dengan metode *vickers* (HVN) diambil total 9 titik pada bagian tengah tiap variasi, yaitu 3 titik di daerah *weld metal*, 3 titik di daerah HAZ, 3 titik di daerah *base metal*, dengan pembebanan 0,5 Kgf dengan waktu 15 detik. Adapun nilai yang didapat pada tiap spesimen ditunjukkan pada Tabel berikut.

Tabel 2. Hasil *Hardness Test preheat 150°C*

| <i>Preheat 150°C (kgf/mm²)</i> | | | | |
|---|--------------------|---------------------|-------------------|---------------|
| | TITIK 1 (Bawah) | TITIK 2 (Tengah) | TITIK 3 (Atas) | RATA- RATA |
| <i>BASE METAL</i> | 44.2 | 45 | 47 | 45.4 |
| <i>HAZ</i> | 42 | 43.2 | 45.3 | 43.5 |
| <i>WELD METAL</i> | 56 | 52 | 51 | 53 |

Pada spesimen *preheat 150°C* diketahui nilai kekerasan tertinggi pada lokasi *weld metal* bagian bawah sebesar 56 kgf/mm². Sedangkan nilai kekerasan terkecil pada lokasi *HAZ* bagian bawah sebesar 42 kgf/mm².

Tabel 3. Hasil *Hardness Test preheat 200°C*

| <i>Preheat 200°C (kgf/mm²)</i> | | | | |
|---|--------------------|---------------------|-------------------|---------------|
| | TITIK 1 (Bawah) | TITIK 2 (Tengah) | TITIK 3 (ATAS) | RATA- RATA |
| <i>BASE METAL</i> | 41 | 38,9 | 39,2 | 39,7 |
| <i>HAZ</i> | 43.8 | 42,4 | 43.2 | 43.06 |
| <i>WELD METAL</i> | 45 | 44,5 | 45,5 | 45 |

Pada specimen *preheat 200°C* diketahui nilai kekerasan tertinggi pada lokasi *weld metal* bagian atas sebesar 45.5 kgf/mm². Sedangkan nilai kekerasan terkecil pada lokasi *base metal* bagian tengah sebesar 38,9 kgf/mm².

Tabel 4. Hasil *Hardness Test preheat 350°C*

| Preheat 350°C (kgf/mm ²) | | | | |
|--------------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------|---------------|
| | TITIK 1 (bawah) | TITIK 2 (tengah) | TITIK 3 (atas) | RATA- RATA |
| BASE METAL | 34.2 | 34.5 | 34.4 | 34.4 |
| HAZ | 37 | 36.7 | 36 | 36.5 |
| WELD METAL | 39.6 | 39.8 | 38.8 | 39.4 |

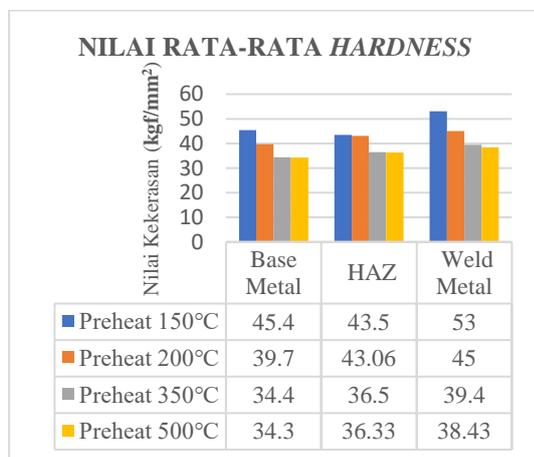
Pada spesimen *preheat* 350°C diketahui nilai kekerasan tertinggi pada lokasi *weld metal* bagian bawah sebesar 39,6 kgf/mm². Sedangkan nilai kekerasan terkecil pada lokasi *base metal* bagian bawah sebesar 34,2 kgf/mm².

Tabel 5. Hasil Hardness Test *preheat* 500°C

| Preheat 500°C (kgf/mm ²) | | | | |
|--------------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------|---------------|
| | TITIK 1 (bawah) | TITIK 2 (tengah) | TITIK 3 (atas) | RATA- RATA |
| BASE METAL | 34.2 | 33 | 35 | 34.3 |
| HAZ | 37 | 35.7 | 36.3 | 36.33 |
| WELD METAL | 40.1 | 38.2 | 37 | 38.43 |

Pada spesimen *preheat* 500°C diketahui nilai kekerasan tertinggi pada lokasi *weld metal* bagian bawah sebesar 40,1 Kgf/mm². Sedangkan nilai kekerasan terkecil pada lokasi *base metal* bagian tengah sebesar 33 Kgf/mm².

Berdasarkan rata-rata dari masing-masing kekerasan pada Tabel diatas, dapat disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar sebagai berikut



Gambar 7. Grafik Hasil Hardness Test

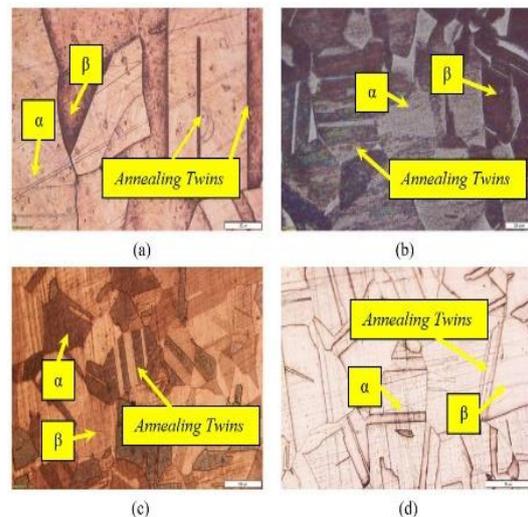
Berdasarkan Gambar diatas dapat dilihat jika seluruh spesimen variasi setelah dilakukan pengujian kekerasan *hardness vickers*, dapat dilihat nilai kekerasan pada *weld metal* lebih tinggi dari pada daerah HAZ dan *base metal*. Pada spesimen dengan variasi *preheat* 150°C memiliki kekerasan tertinggi yaitu 53 Kgf/mm², disebabkan oleh kurangnya suhu *preheat* pada material dan *heat input* yang tinggi. Pada spesimen dengan variasi *preheat* 500°C memiliki kekerasan terendah, disebabkan oleh suhu *preheat* yang tinggi dan *heat input* yang rendah yaitu

34,3 Kgf/mm² hal ini sejalan dengan AWS *Copper and Alloy* (1997).

Dapat diketahui bahwa nilai kekerasan berbeda pada setiap daerah HAZ dan *weld metal*. Hal ini disebabkan oleh perbedaan suhu temperatur *preheat* yang diterima berbeda pada tiap-tiap daerah. Pada daerah HAZ ataupun pada *weld metal* terjadi perubahan nilai kekerasan. Hal ini dipengaruhi oleh daerah titik pengambilan data pada spesimen uji, semakin jauh dari *weld center* maka nilai kekerasan yang diperoleh semakin kecil (Savolainen, Kati 2004). Mengacu pada *mill certificate* material CuDHP, semua spesimen uji diketahui bahwa nilai kekerasan dibawah *acceptance criteria* dari material sehingga hasil uji kekerasan tidak *accepted*.

3.3 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

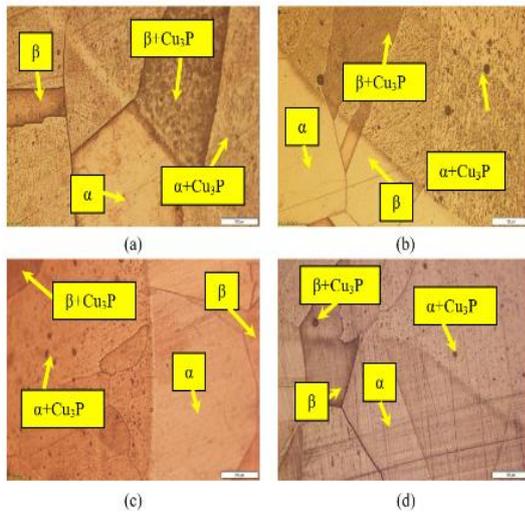
Pengujian mikro adalah pengujian yang digunakan untuk melihat struktur mikro dari suatu material pada daerah-daerah tertentu. Pada pengujian ini dilakukan pengambilan gambar pada daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal* dengan perbesaran 200x untuk melihat secara lebih detail struktur mikro yang terjadi dikarenakan perbedaan suhu *preheat* pada material, sehingga memungkinkan perubahan-perubahan struktur mikro. Hasil pengujian struktur mikro dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.



Gambar 8. (a) *Base Metal preheat* 150°C, (b) *Base Metal preheat* 200°C, (c) *Base Metal preheat* 350°C, (d) *Base Metal preheat* 500°C

Hasil mikro tembaga CuDHP (*Phosphorus Deoxidized Copper*) memiliki beberapa fasa yang terbentuk. Pada daerah *base metal* terdiri dari struktur fasa α -phase dan β -phase (Mousavi, 2020). Pada α -phase memiliki butir yang berwarna terang sedangkan β -phase memiliki butir yang berwarna gelap. Selain itu terdapat pula butir yang memiliki dua fasa sekaligus dan dinamakan *annealing twins*. Pada daerah *base metal* memiliki sedikit kandungan persipitasi *chopper phosphide* (Cu₃P), namun tidak terlalu terlihat. Hasil uji mikro, pada semua spesimen belum ditemukan perbedaan karena

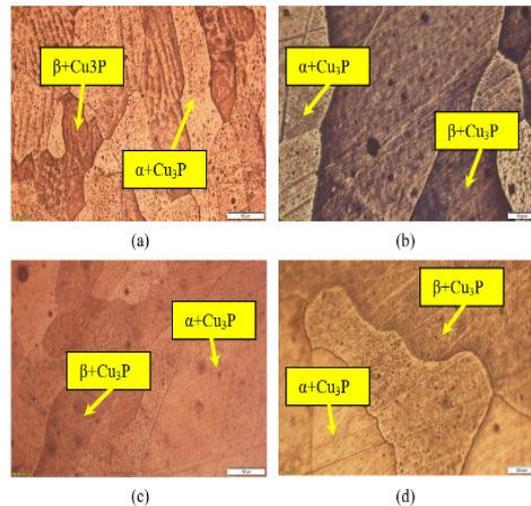
strukturnya masih asli dan belum terpengaruh proses apapun.



Gambar 9. (a) fusion line preheat 150°C, (b) fusion line preheat 200°C, (c) fusion line preheat 350°C, (d) fusion line preheat 500°C

Hasil uji mikro pada daerah *fusion line* terdiri dari fasa α -phase dan β -phase, dan presipitasi *copper phosphide* (Cu_3P). Presipitasi *copper phosphide* terbentuk karena ketika pemanasan terjadi unsur *copper* (Cu) dan *phosphorus* (P_2) yang semula menyebar merata pada material akan membentuk senyawa *copper phosphide* (Cu_3P) (H.Von Lintel, 2021). Senyawa Cu_3P ini mengalami pembekuan paling akhir dari semuanya sehingga presipitasinya menyebar di semua fasa baik α -phase maupun β -phase. Daerah campuran antara $\alpha+\text{Cu}_3\text{P}$ dan $\beta-\text{Cu}_3\text{P}$ dapat juga disebut fasa *eutectic*. Presipitasi Cu_3P pada material menambah sifat *machinability* (ASM, 2004).

Pada daerah *fusion line*, memiliki presipitasi *copper phosphide* berbentuk butiran (*globular*) dan berbentuk memanjang atau *unbranch dendrite*. Pada spesimen *preheat* 150°C memiliki presipitasi Cu_3P berbentuk *dendrite*. Lalu pada spesimen *preheat* presipitasi Cu_3P memiliki bentuk *dendrite* pada daerah dekat *fusion line* dan berbentuk butiran ke arah tengah *weld metal*. Sedangkan pada spesimen *preheat* 350°C dan *preheat* 500°C daerah *fusion line* memiliki presipitasi berbentuk butiran merata.

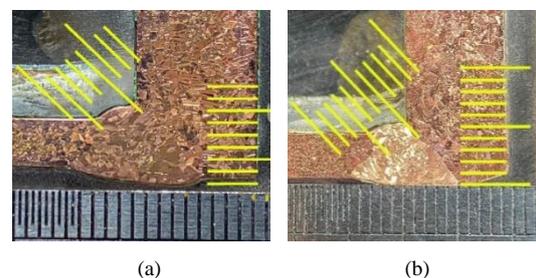


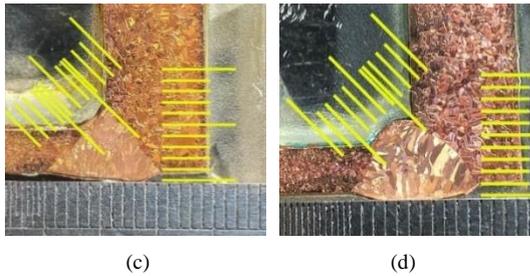
Gambar 10. (a) weld metal preheat 150°C, (b) weld metal preheat 200°C, (c) weld metal preheat 350°C, (d) weld metal preheat 500°C

Hasil mikro pada daerah *weld metal* memiliki fasa yang hampir sama seperti *fusion line* untuk fasa penyusunnya yaitu terdiri dari $\alpha+\text{Cu}_3\text{P}$ dan $\beta-\text{Cu}_3\text{P}$. Presipitasi Cu_3P pada spesimen *preheat* 150°C memiliki bentuk campuran antara butiran dan dendrit. Sedangkan pada spesimen *preheat* 200°C, *preheat* 350°C, dan *preheat* 500°C memiliki presipitasi Cu_3P berbentuk butiran dan merata. Daerah *weld metal* juga memiliki ukuran butir yang lebih besar dibanding *base metal* karena proses pendinginan yang lambat setelah dilakukan pengelasan. Bentuk butir juga dipengaruhi oleh arah perambatan panas, sehingga semakin besar ukuran butir berarti wilayah tersebut adalah daerah terakhir yang terpengaruh panas.

3.4 Hasil Pengamatan Struktur Makro

Pengujian makro etsa dilakukan untuk mengetahui kualitas dari proses pengelasan yang telah dilakukan *preheat* 150°C, 200°C, 350°C, dan 500°C. Berikut adalah hasil dari pengujian makro etsa dari tiap-tiap spesimen.





Gambar 11. (a) *preheat* 150°C, (b) *preheat* 200°C, (c) *preheat* 350°C, (d) *preheat* 500°C

Pengujian makro ini dilakukan dengan menghaluskan salah satu sisi dari potongan melintang spesimen uji makro dengan menggunakan kertas gosok dari grit kasar hingga ke grit halus atau yang dirasa cukup untuk digunakan untuk pengujian makro. Dari hasil uji makro diatas, dapat dilihat jika semua spesimen menghasilkan hasil pengelasan tanpa cacat las dan mengalami penembusan yang baik. Dari tabel hasil mikro diatas dapat dilihat bahwa suhu *preheat* berpengaruh terhadap penetrasi pengelasan. Temperatur *preheat* yang semakin tinggi mempengaruhi *welding penetration* sesuai dengan AWS *Copper and alloys* (1997).

4. KESIMPULAN

Dari hasil penyajian data dan analisis hasil pengujian dalam penelitian ini dapat diambil kesimpulan antara lain :

1. Hasil pengujian mikro pada semua daerah *fusion line*, memiliki presipitasi *copper phosphide* berbentuk butiran (*globular*) dan berbentuk memanjang atau *unbranch dendrite*. Pada spesimen *preheat* 150°C memiliki presipitasi Cu_3P berbentuk *dendrite*. Lalu pada spesimen *preheat* 200°C presipitasi Cu_3P memiliki bentuk *dendrite* pada daerah dekat *fusion line* dan berbentuk butiran ke arah tengah *weld metal*. Sedangkan pada spesimen *preheat* 350°C dan *preheat* 500°C daerah *fusion line* memiliki presipitasi berbentuk butiran merata. Hasil uji mikro pada semua daerah *weld metal*, memiliki fasa yang hampir sama seperti *fusion line* untuk fasa penyusunnya. Presipitasi Cu_3P pada spesimen *preheat* 150°C memiliki bentuk campuran antara butiran dan *dendrite*. Sedangkan pada spesimen *preheat* 200°C, *preheat* 350°C, dan *preheat* 500°C memiliki presipitasi Cu_3P berbentuk butiran dan merata. Hasil dari pengujian makro diperoleh data bahwa hasil variasi *preheat* mempengaruhi kedalaman penetrasi dan terdapat perbedaan yang signifikan setelah dilakukan pengolahan data. Pada pengujian makro variasi *preheat* dengan suhu 500°C mempunyai kedalaman penetrasi paling besar dan pada variasi *preheat* dengan suhu 150°C mempunyai kedalaman penetrasi paling rendah.
2. Hasil dari pengujian *hardness* diketahui bahwa spesimen dengan variasi *preheat* 150°C pada

daerah *weld metal* memiliki nilai kekerasan tertinggi yaitu sebesar 53 Kgf/mm². Sedangkan rata-rata nilai kekerasan paling rendah terdapat pada daerah *base metal* spesimen *preheat* 500°C yaitu sebesar 34,3 Kgf/mm². Sehingga didapatkan hasil pengujian kekerasan dinyatakan tidak *accepted* karena didapatkan nilai kekerasan dibawah *acceptance criteria* mengacu pada *mill certificate material CuDHP*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] [American Society of Mechanical Engineering. (2019). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section II B*. New York: American Society of Mechanical Engineering.
- [2] American Society of Mechanical Engineering. (2019). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section II C*. New York: American Society of Mechanical Engineering.
- [3] American Society of Mechanical Engineering. (2015). *Asme Boiler and Pressure Vessel Code Sec IX Qualification Standart for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators*. New York: American Society of Mechanical Engineering.
- [4] American Welding Society (2015). *AWS D1.1 Structural Welding Code*
- [5] American Welding Society (1997). *AWS Copper and Copper Alloy*
- [6] H. Von Lintel (2021). *Laser beam welding of deoxidized copper: microstructure investigation and thermodynamic consideration*
- [7] Kati Savolainen (2004). *Friction Stir Weldability of Copper Alloys*
- [8] M.M. Munir, ST., M., M. Thoriq Wahyudi, ST., M., Hendri Budi Kurniyanto, S.ST., M., & Dika Anggara, S.ST., M. (2019). Modul Praktikum DT NDT (Issue April). <http://eprints.stikes-aisyiyah.ac.id/773/1/28>. [Modul Praktikum Komunitas.pdf](#)
- [9] Mousavi, (2020) *Different behavior of alpha and beta phases in a Low Stacking Fault Energy copper alloy under severe plastic deformation*