

**PENGARUH ARUS DAN ZAT KIMIA PADAT (LOGAM PENGISI) PADA
PENGELASAN TIG TERHADAP KEKERASAN, JENIS CACAT, DAN STRUKTUR
MIKRO PADUAN TEMBAGA BERILIUM C82000**

Abdul Aziz¹, Aditya Trenggono², Muhammad Fitrullah³, Yeni Muriani⁴, A. Ali Alhamidi⁵

¹Jurusan Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
2,3,4,5. Jurusan Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jln. Jendral Sudirman km. 3, Cilegon-Banten, 41353
Telp: (0254)-39550, Fax: 0254-395440
E-mail: mang_azis@yahoo.com

Abstrak

Pada saat ini salah satu permasalahan dihadapi di industri manufaktur adalah terjadinya keausan pada komponen-komponen yang digunakan pada proses manufaktur tersebut. Komponen-komponen yang mengalami keausan yang diakibatkan oleh pembebanan dinamis, atau komponen-komponen yang tererosi akibat proses, seperti cetakan yang tererosi oleh proses pengecoran dapat diperbaiki dengan melakukan pengelasan pada bagian tersebut. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan kualitas lasan yang baik dengan bervariasi arus dan logam pengisi yang digunakan. Variasi Arus yang digunakan adalah arus tinggi 260, 250, 240 A dan arus rendahnya 130, 125, dan 120 A. Sedangkan variasi logam pengisi yang digunakan adalah tembaga dan besi. Setelah dilakukan pengujian tidak merusak terdapat cacat low of fusion sehingga benda uji tidak tersambung seluruhnya pada benda uji yang dilas dengan arus 240 dan 250 A yang logam pengisinya besi dan 250 A yang logam pengisinya tembaga. Struktur mikro yang dihasilkan dari benda uji adalah fasa copper matrix dan beryllide. Setelah dilas terjadi perubahan bentuk fasa beryllide pada struktur mikro. Dan penurunan nilai kekerasan pada daerah yang terpengaruh panas. Perolehan hasil lasan yang paling optimum adalah yang dilas dengan 260 A dan besi sebagai logam pengisinya dengan nilai kekerasan pada lasannya 588,5 HVN.

Kata Kunci: *low of fusion, copper matrix, beryllide*

PENDAHULUAN

Pada saat ini salah satu permasalahan dihadapi di industri manufaktur adalah terjadinya keausan pada komponen-komponen yang digunakan pada proses manufaktur tersebut. Akibat dari keausan tersebut produk yang dihasilkan pun terdapat cacat-cacat, sehingga terdapat banyak produk yang gagal yang menyebabkan kerugian bagi industri. Komponen-komponen yang mengalami keausan yang diakibatkan oleh pembebanan dinamis, atau komponen-komponen yang tererosi akibat proses, seperti cetakan yang tererosi oleh proses pengecoran dapat diperbaiki dengan melakukan pengelasan pada bagian tersebut.

Saat ini teknik las telah dipergunakan secara luas dalam penyambungan batang-batang pada konstruksi baja dan mesin serta manufaktur. Luasnya pembangunan teknologi ini disebabkan karena bangunan, mesin dan pembangkit listrik yang dibuat dengan penyambungan ini menjadi lebih ringan dan proses pembuatannya juga lebih sederhana,

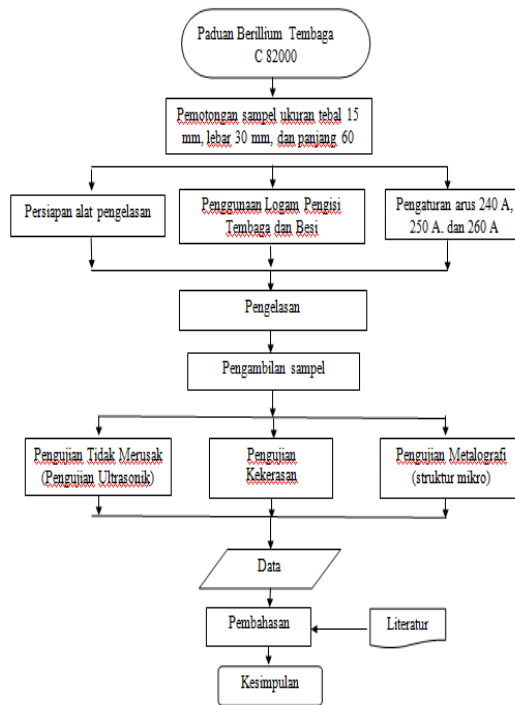
sehingga biaya keseluruhannya lebih murah. Selain untuk penyambungan pengelasan juga dapat digunakan untuk proses perbaikan. Dengan demikian diharapkan proses pengelasan untuk tujuan perbaikan ini bisa menjadi solusi untuk masalah keausan komponen pada industri.

Ketika suatu cetakan perlu diperbaiki. Pembuat cetakan dapat memilih beberapa metode pengelasan untuk memperbaiki cetakan. Sebenarnya semua metode pengelasan dapat digunakan untuk memperbaiki cetakan. Namun karena banyak hal yang harus dipertimbangkan sebelum proses panas diaplikasikan pada cetakan seperti deformasi panas yang harus minimal, material tambahan yang minimal, dan waktu tahan hasil perbaikan cetakan terhadap siklus pengecoran ke biaya minimal produksi dibanding pergantian cetakan. Maka metode pengelasan yang saat ini banyak digunakan adalah pengelasan TIG dan pengelasan laser.

Pengelasan TIG lebih ekonomis dibandingkan pengelasan laser. Namun banyak variabel yang harus diperhatikan agar didapat hasil lasan yang baik dan tidak terlalu merubah secara signifikan sifat mekanik dan fisik cetakan. Seperti penggunaan arus, pemilihan filler metal, penggunaan diameter elektroda, dan komposisi campuran gas pelindung. Serta hal yang pentinglainnya seperti kemampuan mengelas dan seni pengelasan mikro. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh variabel pengelasan TIG terhadap sifat mekanik dan struktur mikro hasil lasan untuk aplikasi perbaikan cetakan.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di moulding centre PT.X, selama Periode Juli-Agustus 2012 dengan mesin las TIG proton. Tahapan penelitian dimulai dengan pemotongan sample dengan ukuran 15 x 30 x 60 mm. Kemudian dilakukan pengelasan TIG pada sample tersebut. Pengelasan dilakukan dengan menggunakan logam pengisi tembaga dan besi. Serta memvariasikan arusnya menjadi 240 A, 250 A dan 260 A, dilakukan *pre heat* dan pengelasan titik, Menurunkan arus menjadi 120 A, 125 A, dan 130 A kemudian dilakukan pengelasan. Sample hasil pengelasan diuji dengan pengujian tidak merusak (*ultrasonic test*), pengujian kekerasan (vickers), dan pengujian metalografi.



HASIL dan PEMBAHASAN

Hasil perhitungan masukan panas diketahui dengan rumus sebagai berikut:

$$E = \frac{\eta \times V \times I \times 60}{C}$$

Dimana diketahui bahwa E adalah masukan panas (J/mm), V adalah tegangan dalam volt (V), I adalah kuat arus (A), C adalah kecepatan pengelasan (mm/menit) dan η adalah efisiensi dari Las TIG (0,7). Berdasarkan rumus tersebut dapat dihitung masukan panas yang digunakan dan disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Masukan panas yang digunakan

Sampel	Logam Pengisi		Arus Pulsa (A)	Arus Pulsa rata-rata	Tegangan (V)	Kecepatan rata-rata (mm/menit)	Masukan Panas (J/mm)
	Pulsa Renda	Pulsa Tinggi					
1	120	240	180	28	72	2940	
Tembaga							

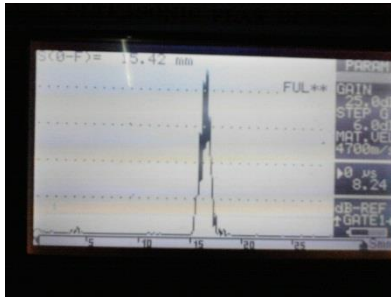
2	Tembaga	125	250	187,5	28	72	3062,5
3		130	260	195	28	72	3185
4	Besi	120	240	180	28	72	2940
5	Besi	125	250	187,5	28	72	3062,5
6	Besi	130	260	195	28	72	3185

Pengaruh Arus dan Logam Pengisi Pengelasan TIG Terhadap Jenis Cacat

Berikut akan diamati bagaimana pengaruh dari arus dan logam pengisi pengelasan TIG terhadap jenis cacat yang terjadi pada paduan tembaga beryllium C82000. Dari Pengelasan dengan variasi arus dan logam pengisi yang telah dilakukan kemudian dilanjutkan dengan pengujian tidak merusak dengan menggunakan metode *ultrasonic test* diperoleh data kurva *display UT*. Dari data yang ada pada Tabel 3 tersebut didapatkan hubungan antara variabel proses dengan jenis cacat yang terjadi yang dapat dilihat pada pembahasan masing-masing benda uji di bawah ini.

1. Sampel Tanpa Pengelasan

Berdasarkan pengujian tidak merusak dengan metode *ultrasonic test* didapat kurva *display UT* seperti pada gambar 5 berikut ini.

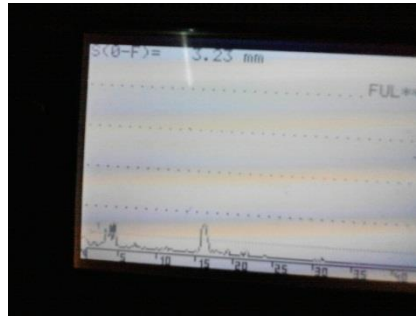


Gambar 5. Kurva *display UT* sampel tanpa pengelasan

Pada sampel pertama yang merupakan sample yang tidak dilakukan pengelasan. Pada pemeriksaan *ultrasonic test* tidak terlihat adanya cacat. Karena puncak kurva terlihat jelas dan tidak ada kurva lain sebelum kurva *back wall*.

2. Sampel masukan panas 2940 J/mm (besi)

Berdasarkan pengujian tidak merusak dengan metode *ultrasonic test* pada benda uji yang dilas dengan masukan panas 2940 J/mm dan logam pengisinya besi didapat kurva *display UT* seperti pada gambar 9 berikut ini.



Gambar 9. Kurva *display* UT sampel masukan panas 2940 J/mm (besi)

Pada sampel dengan masukan panas 2940 J/mm dan logam pengisinya besi terdapat cacat terlihat dari kurva yang didapat melalui pengamatan pada display. Pada kurva yang dihasilkan dari pengamatan *display*, terlihat adanya cacat bidang yaitu tidak menyambung benda uji yang dilas karena peleburan yang kurang pada ketebalan 3.23 mm.

3. Sampel masukan panas 3062.5 J/mm
(besi)

Berdasarkan pengujian tidak merusak dengan metode *ultrasonic test* pada benda uji yang dilas dengan masukan panas 3062.5 J/mm dan logam pengisinya besi didapat kurva *display* UT seperti pada gambar 10 berikut ini.



Gambar 10. Kurva *display* UT sampel masukan panas 3062.5 J/mm (besi)

Pada sampel dengan masukan panas 3062.5 J/mm dan logam pengisinya besi terdapat cacat terlihat dari kurva yang didapat melalui pengamatan pada display. Pada kurva yang dihasilkan dari pengamatan *display*, terlihat adanya cacat bidang yaitu tidak menyambung benda uji yang dilas karena peleburan yang kurang pada ketebalan 7.77 mm.

Berdasarkan pembahasan masing-masing benda uji yang dilas maka dapat diketahui bahwa arus yang digunakan mempengaruhi masukan panas yang digunakan. Kekurangan masukan panas menyebabkan kurangnya peleburan benda uji pada daerah las sehingga pada masukan panas 2940 J/mm logam pengisi besi, 3062.5 J/mm logam pengisi besi, dan 3062.5 J/mm logam pengisi tembaga. Sedangkan penggunaan logam pengisi yang berbeda tidak berpengaruh secara signifikan.

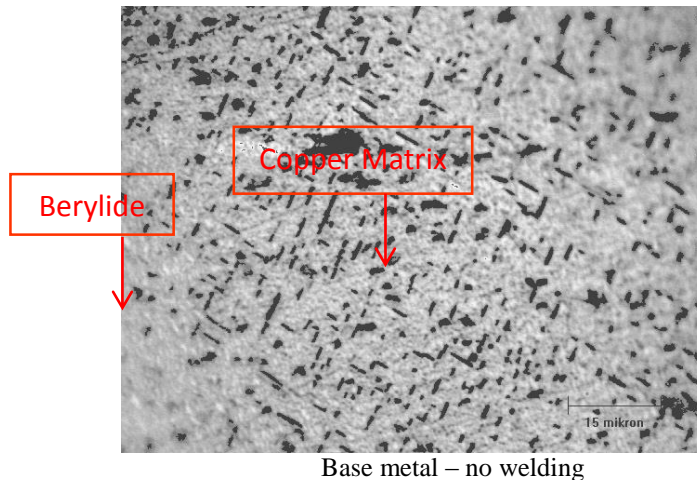
Pengaruh Arus dan Logam Pengisi Pengelasan TIG Terhadap Struktur Mikro

Berikut akan diamati bagaimana pengaruh dari arus dan logam pengisi pengelasan TIG terhadap struktur mikro yang terjadi pada daerah *base metal*, *heat affected zone* dan *welding* paduan tembaga beryllium C82000. Dari Pengelasan dengan variasi arus dan logam pengisi yang telah dilakukan kemudian dilanjutkan dengan pengujian metalografi dengan menggunakan pembesaran 1000x diperoleh data gambar struktur mikro pada Tabel . Dari data yang ada pada Tabel 4 tersebut didapatkan hubungan antara variabel

proses dengan struktur mikro yang terjadi yang dapat dilihat pada pembahasan benda uji tanpa pengelasan dan benda uji yang dilas dengan variasi arus dan logam pengisi pada daerah *base metal*, *heat affected zone* dan *welding* di bawah ini.

1. Sample Tanpa Pengelasan

Bahan yang digunakan pada sample ini merupakan bahan yang digunakan untuk pembuatan cetakan low pressure die casting (LPDC). Menurut penandaan UNS bahan tersebut adalah paduan tembaga beryllium C8200 yang diberi perlakuan panas *solution annealed and aged*. paduan tembaga beryllium C8200 memiliki komposisi 0.8 % wt Be dan 2.7 % wt Co+Ni. Adapun gambar foto mikro, nilai kekerasan serta diameter butir yang diperoleh hasil pengamatan metalografi pada benda uji awal dapat dilihat pada Gambar 12 di bawah ini.



Nilai kekerasan = 254.8 HVN

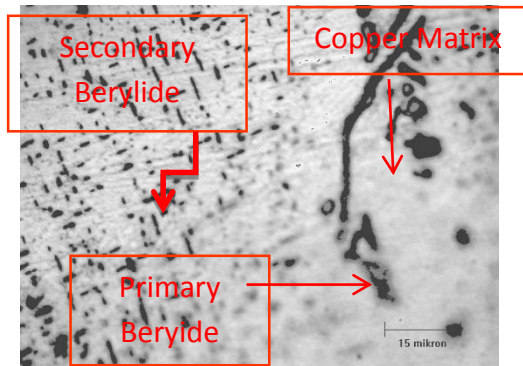
Diameter ukuran butir = 7.1 μm

Gambar 12. Struktur mikro data benda uji awal paduan tembaga berillium C82000. Pembesaran 1000x. Etsa dichromate.

Dari Gambar 12 diatas dapat kita lihat bahwa struktur mikro yang dimiliki oleh benda uji awal yaitu paduan tembaga berillium C82000 dengan kandungan berillium 0,8% wt Be dan 2.7 % wt Co+Ni memiliki struktur mikro *Copper matrix* (bagian yang terang) dengan sedikit *beryllide* (bagian yang gelap). Fasa ini dimiliki oleh benda uji ini dikarenakan paduan tembaga dengan kandungan berillium 0,8% berat Be dan 2.7 % wt Co+Ni berada dikategori paduan tembaga konduktivitas tinggi C82000 yang memiliki fasa *Copper matrix-beryllide*. Bentuk struktur mikro yang dendritik (jarum-jarum) dengan ukuran diameter butir sebesar μm menunjukkan bahwa paduan tembaga konduktivitas tinggi ini memiliki nilai kekerasan yang cukup besar yaitu sebesar 254.8 HVN dengan kuat tarik sebesar 760 Mpa dan konduktivitas termal 195 W/m. $^{\circ}\text{C}$. Nilai-nilai tersebut membuktikan bahwa paduan tembaga C82000 memiliki sifat mekanik dan fisik yang baik untuk menjadi cetakan proses pengecoran LPDC. [John C. Harkness, ASM vol 2 p.1306-1324]

1. Struktur mikro variasi arus dan logam pengisi pada daerah *base metal*

Adapun gambar foto struktur mikro hasil pengelasan pada daerah *base metal* dengan variasi masukan panas 2940, 3062.5, 3185 J/mm dan logam pengisi tembaga dan besi dapat dilihat pada gambar 13 dibawah ini.

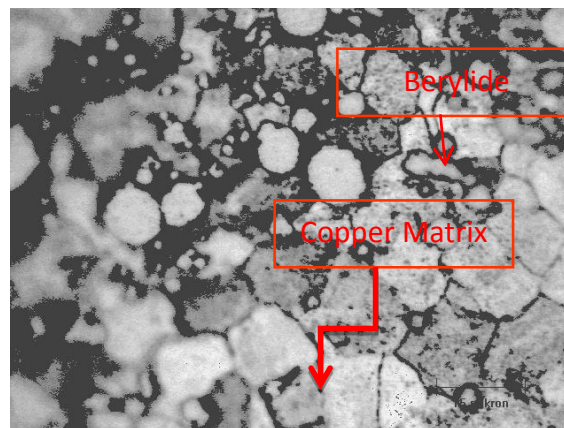


Gambar 13. Struktur mikro benda uji hasil pengelasan pada daerah *base metal*. Logam pengisi tembaga masukan panas 3062.5 J/mm , Pembesaran 1000x.. Etsa dichromate.

Dari gambar 13 dapat dilihat bahwa struktur mikro yang dihasilkan dari benda uji yang dilas dengan masukan panas 2940, 3062.5, 3185 J/mm, yang logam pengisinya tembaga dan benda uji yang dilas dengan masukan panas 2940 yang logam pengisinya adalah *Copper matrix* (bagian yang terang) dengan sedikit *berylide* (bagian yang gelap). Meskipun struktur mikro seperti logam yang tidak dilas tapi adanya pengotor dan distribusi berylide yang tidak merata, serta menyebabkan penurunan kekerasan dari benda uji tersebut. Pada masukan panas. Namun pada benda uji yang dilas dengan masukan panas 3062.5 dan 3185 J/mm yang logam pengisi besi. Mengalami penurunan kekerasan yang lebih rendah dari benda uji yang dilas sebelumnya karena butir yang terbentuk lebih besar. Sifat mekanik sebuah logam akan sangat dipengaruhi oleh ukuran butir dari logam tersebut. Semakin kecil ukuran butir logam maka logam tersebut akan memiliki nilai kekerasan yang semakin tinggi [Callister, 2003]. Maka begitu pun sebaliknya semakin besar ukuran butir maka kekerasannya akan semakin rendah.

2. Struktur mikro variasi arus dan logam pengisi pada daerah HAZ

Adapun gambar foto struktur mikro hasil pengelasan pada daerah *heat affected zone* dengan variasi masukan panas 2940, 3062.5, 3185 J/mm dan logam pengisi tembaga dan besi dapat dilihat pada gambar 14 dibawah ini.

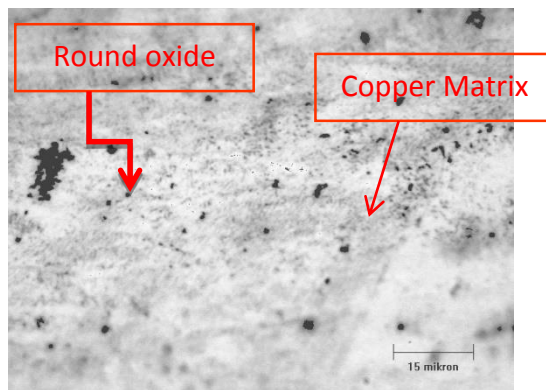


Gambar 14. Struktur mikro benda uji hasil pengelasan pada daerah HAZ. Logam pengisi besi, masukan panas 3062.5 J/

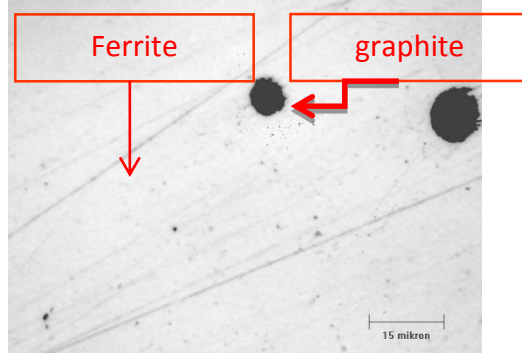
Dari gambar 14 dapat dilihat bahwa struktur mikro daerah terpengaruh panas yang dihasilkan dari pengelasan dengan masukan panas 2940, 3062.5, 3185 J/mm dan logam pengisinya tembaga berubah ukuran butirnya menjadi lebih besar pada *base* benda uji yang tidak dilas diameter butir 7.1 μm sedangkan pada HAZ benda uji A1 diameter rata-rata ukuran butirnya 19 μm dan terlihat distribusi yang tidak seragam. Hal ini terjadi karena pengaruh panas. Struktur mikro yang dihasilkan adalah *Copper matrix* (bagian yang terang) dengan *berylide* yang tidak lagi berbentuk dentrik atau jarum-jarum, kemudian berubah bentuk mulai menjadi *equiaxed* atau poligon (bagian yang gelap). Sedangkan pada benda uji yang dilas dengan masukan panas 2940, 3062.5, 3185 J/mm dan logam pengisinya besi. Perubahan bentuk struktur mikronya sudah menjadi *equiaxed* atau poligon. Ini berpengaruh pada penurunan kekerasan yang dimiliki benda-benda uji tersebut. Sehingga benda uji yang dilas dengan besi menjadi lebih lunak dibanding yang dilas dengan tembaga.

3. Struktur mikro variasi arus dan logam pengisi pada daerah *welding*

Adapun gambar foto struktur mikro hasil pengelasan pada daerah *welding* dengan variasi masukan panas 2940, 3062.5, 3185 J/mm dan logam pengisi tembaga dan besi dapat dilihat pada gambar 15 dibawah ini



Pengelasan masukan panas 3062.5 J/mm – Logam pengisi tembaga



Pengelasan masukan panas 2940 J/mm – Logam pengisi besi

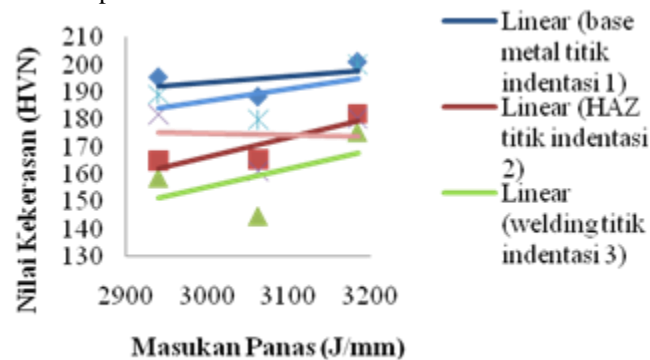
Gambar 15. Struktur mikro benda uji hasil pengelasan pada daerah *welding*. Logam pengisi tembaga masukan panas 3062.5 J/mm. Logam pengisi besi, masukan panas 2940 J/mm. Pembesaran 1000x.. Etsa dichromate.

Dari gambar 15 dapat dilihat bahwa struktur mikro daerah terpengaruh panas yang dihasilkan dari pengelasan dengan masukan panas 2940, 3062.5, 3185 J/mm dan logam pengisinya tembaga *Copper matrix* (bagian yang terang) dengan *round oxide* (bagian yang gelap) dan tidak ada *berylide*. Maka sifat mekanik yang dimiliki daerah ini lebih rendah dari daerah logam induk maupun daerah terpengaruh panas. Sedangkan pada

benda uji yang dilas dengan masukan panas 2940, 3062.5, 3185 J/mm dan logam pengisinya besi. Struktur mikro yang terbentuk besi cor kelabu adalah ferrite (putih) dan *graphite* (hitam). Karena perbedaan logam yang digunakan serta struktur mikro yang dihasilkan sehingga nilai kekerasannya berbeda jauh. benda uji yang dilas dengan besi pada daerah lasannya menjadi sangat keras. Sedangkan yang dilas dengan tembaga pada daerah lasannya cukup lunak.

Pengaruh Arus dan Logam Pengisi Pengelasan TIG Terhadap Nilai Kekerasan

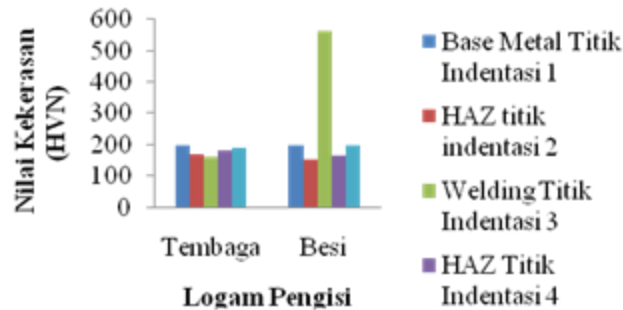
Berikut akan diamati bagaimana pengaruh dari masukan panas pengelasan logam terhadap nilai kekerasan yang didapatkan oleh paduan tembaga beryllium C82000. Dari pengelasan dengan variasi masukan panas dan logam pengisi yang telah dilakukan kemudian dilanjutkan dengan pengujian kekerasan dengan menggunakan metode *vickers* (HV 5) diperoleh data nilai kekerasan yang ada pada Tabel 5 sampai tabel 11. Dari data yang ada pada Tabel 6 sampai tabel 8 tersebut didapatkan hubungan antara variabel proses dengan nilai kekerasan yang dapat dilihat pada Gambar 16 di bawah ini.



Gambar 16. Grafik Pengaruh Masukan Panas Terhadap Nilai Kekerasan

Pada Gambar 16 di atas diperoleh *trendline* (kecenderungan) yang cukup seragam. Dapat dilihat pada daerah titik indentasi satu, dua, tiga, dan lima yang memiliki kecenderungan yang hampir serupa yaitu kekerasan mengalami peningkatan. Pada pengelasan pada *base metal* titik indentasi satu dengan masukan panas 2940 J/mm diperoleh nilai kekerasan sebesar 195.5 HVN, masukan panas sebesar 3062 J/mm didapatkan nilai kekerasan sebesar 188.5 HVN, dan masukan panas sebesar 3185 J/mm didapatkan nilai kekerasan sebesar 201 HVN. Peningkatan nilai kekerasan ini diakibatkan oleh mekanisme penguatan logam dengan metode penghalusan butir melalui proses pemanasan yang diakibatkan oleh pengaruh panas dari pengelasan. Pemanasan dengan masukan panas berbeda, menghasilkan struktur mikro yang berbeda. Fasa yang dimiliki oleh benda uji pada saat dilakukan pengelasan yaitu *beryllide-copper matrix* turut pula mempengaruhi mekanisme perubahan struktur mikro pada benda uji. Pada saat dilakukan pemanasan awal terjadi mekanisme rekristalisasi dan pertumbuhan butir pada benda uji. Rekristalisasi yang belum begitu mengakibatkan atom – atom belum mengalami pertumbuhan butir yang signifikan. Waktu difusi atom yang belum maksimal mengakibatkan besar butir yang belum optimal, Sehingga dihasilkan ukuran butir yang lebih halus jika dibandingkan dengan proses pengelasan dengan masukan panas 2940 J/mm. Sedangkan yang terjadi pada *trendline* di daerah HAZ yang cenderung lebih di bawah jika dibandingkan dengan *trendline base metal* adalah akibat, semakin meningkat temperatur pemanasan maka ukuran butir pada benda uji akan semakin besar dikarenakan mengalami rekristalisasi dan pertumbuhan butir. Penurunan nilai kekerasan ini terjadi akibat dari *beryllide* yang mulai berubah menjadi *equiaxed. Beryllide* yang berbentuk denritik seperti halnya martensit yang memiliki kekerasan tinggi akan semakin berkurang, hal ini yang menyebabkan menurunnya nilai kekerasan pada daerah HAZ. *Trendline* pada daerah welding pun paling rendah diantara *trendline* daerah lain. Ini disebabkan penggunaan logam pengisi yang berbeda dengan logam induk sehingga kekerasannya pun lebih rendah dari *base metal* atau pun *heat affected zone*.

Pada variasi logam pengisi yang digunakan dapat dilihat dari data yang ada pada Tabel 6 sampai tabel 9. Dari kedua tabel tersebut didapatkan hubungan antara variabel logam pengisi dengan nilai kekerasan yang dapat dilihat pada Gambar 17 di bawah ini.



Gambar 17. Grafik Pengaruh Logam Pengisi Terhadap Nilai Kekerasan

Pada Gambar 17 di atas diperoleh diagram batang yang cukup seragam pada hampir semua daerah kecuali pada daerah *welding*. Dapat dilihat pada daerah titik indentasi satu, dua, empat, dan lima yang memiliki kecenderungan yang hampir serupa yaitu kekerasan mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena benda yang uji yang dilas dengan kawat las besi mengalami pemanasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pemanasan yang ada saat benda uji dilas dengan tembaga. Seperti yang diketahui tembaga meleleh pada temperature 1000°C, sedangkan besi meleleh pada temperature 1200 °C. Pada daerah lasan terjadi perbedaan kekerasan yang sangat signifikan. Ini dikarenakan kedua logam pengisi tersebut logam pengisi besi cor kelabu memiliki kekerasan 562 HVN sedangkan logam pengisi tembaga memiliki kekerasan 157,65 HVN.

Kesimpulan

1. Nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada daerah lasan paduan tembaga beryllium hasil pengelasan dengan masukan panas 3185 J/mm dengan dengan logam pengisi besi yaitu sebesar 588.5 HVN yang artinya berbeda jauh dengan *base metal* tanpa pengelasan sebesar 333.7
2. Perbedaan struktur mikro yang terjadi pada benda uji yang dilas dan tidak dilas akan mempengaruhi kekerasan benda uji tersebut. Semakin besar ukuran butir maka semakin rendah nilai kekerasannya.
3. Pada penelitian ini cacat yang terjadi akibat pengelasan adalah kekurangan peleburan sehingga terjadi cacat bidang. Dimana pada daerah tertentu benda uji tidak tersambung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASM Handbook Comitte. 1986. *Metal Handbook Volume 2 Edisi 9, Properties and Selection : Nonferrous Alloys and Special-Purpose Material*. American Society for Metals International. New York.
- [2] ASM Handbook Comitte. 1986, *Metal Handbook, Volume 6 Edisi 9, Welding Brazing and Soldering*. American Society for Metals International. New York.
- [3] Dieter, G.E. 1987. *Metalurgi Mekanik*. Edisi 3. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- [4] Hadi, Basuki. 2006. *Pengaruh Arus dan Kecepatan Automatic TIG Orbital Welding Terhadap Kedalaman Penetrasi Lasan dan Kekerasan Austenitic Stainless Steel X5CrNi 18-10*. FT. UNTIRTA. Cilegon.
- [5] Harsono, Wiryosumarto dan Okumura Toshi. 2001. *Teknologi Pengelasan Logam*. Praditya Paramita. Jakarta.
- [6] Roy, Steve dan Francoeur, Michael. 2002. *Options for Restoring Molds*. Trumpf Inc. Plymouth