

ANALISA KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA PROSES PENGELASAN BAJA TAHAN KARAT AISI 304 (*STAINLES STEEL*) DENGAN VARIASI MEDIA PENDINGIN

Marthina Mini, Ramses Hutahaean, Arius Kambu

Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Kebumihan

Universitas Sains dan Teknologi Jayapura

Email : marthinamini@gmail.com, ramses_yh@yahoo.com

Abstrak

Pengelasan material dapat mempengaruhi struktur mikro material tersebut. Pada penelitian ini menganalisa struktur mikro daerah pengelasan Weld Metal, HAZ, Base Metal dari baja tahan karat dengan menggunakan media pendingin yang berbeda (air asin, air tawar, udara bebas).

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu dengan pengujian struktur mikro dan pengujian kekerasan pada daerah hasil pengelasan.

Dari penelitian ini didapatkan kekerasan dan struktur mikro daerah pengelasan material dimana nilai kekerasan pada daerah weld metal masing – masing dengan pendinginan air asin 24,3HV , pendinginan air tawar 25,0HV dan pendinginan udara bebas 27,0HV. Sedangkan daerah dengan struktur mikro yang berkualitas terdapat pada daerah weld metal dengan pendinginan udara bebas, dimana struktur materialnya mengandung grafit dan ferit.

Kata Kunci : baja tahan karat, pengelasan, media pendingin.

1. PENDAHULUAN

Pengelasan dengan busur listrik atau elektroda terbungkus yang sering disebut *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) merupakan proses pengelasan yang paling banyak digunakan, karena proses pengelasan dengan cara ini dapat menghasilkan sambungan yang kuat juga mudah untuk digunakan. Pengelasan (SMAW) ini termasuk dalam kategori pengelasan cair dengan media busur (elektroda) sebagai cairan pengisinya. Pengelasan ini menggunakan busur nyala listrik sebagai sumber panas pencair logam. Busur listrik terbentuk di antara logam induk dan ujung elektroda, karena panas dari busur maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair dan kemudian membeku bersama. Pengelasan busur listrik adalah proses penyambungan material yang menghasilkan bagian yang menyatu atau tumbuh bersama dari material dengan memanaskannya pada temperatur pengelasan, dengan penggunaan logam pengisi.

Proses perlakuan panas adalah kombinasi dari operasi pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat, sebagai suatu upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu. Dengan kata lain bahwa proses perlakuan panas pada dasarnya terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dengan pemanasan sampai ke temperatur tertentu, lalu diikuti dengan penahanan selama beberapa saat, baru kemudian dilakukan pendinginan dengan kecepatan tertentu. Kecepatan pendinginan dan batas temperature sangat menentukan. Proses perlakuan panas akan menurunkan atau meningkatkan kekerasan baja tahan karat, Oleh karena itu media pendingin yang digunakan akan sangat berpengaruh terhadap kenaikan kekerasan baja tahan karat (*Stainless steel*).

Corresponding Author : Marthina Mini, Staf Pengajar Program Studi Teknik Mesin Universitas Sains dan Teknologi Jayapura Jln. Raya Sentani Padang Bulan Abepura Jayapura – Papua, Email : marthinamini@gmail.com

Sifat-sifat logam utamanya sifat mekanik, sangat dipengaruhi oleh struktur mikro logam disamping posisi kimianya, suatu logam atau paduan akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda-beda bila struktur mikronya diubah. Adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka bahan-bahan logam dan paduan memperlihatkan perubahan strukturnya. Suatu paduan dengan komposisi kimia yang sama dapat memiliki struktur mikro yang berbeda, dan sifat mekaniknya akan berbeda. Struktur mikro tergantung pada proses pengerjaan yang dialami, terutama proses perlakuan-panas yang diterima selama proses pengerjaan. Baja tahan karat (*Stainless Steel*) secara garis besar dapat dijumpai didalam lingkup industri seperti pengolahan makanan, pabrik kimia, teknologi perpipaan, dan lain sebagainya. Dalam proses pengelasan pada baja tahan karat (*Stainless Steel*) dapat terjadi pembentukan karbida krom ($C_{r23}C_6$) di bagian batas butir atau disebut juga sensitisasi. Kondisi ini banyak dijumpai pada daerah terpengaruh panas (*heat affected zone/ HAZ*). Media pendingin yang biasa digunakan adalah air, minyak, air laut atau air garam, oli, dan udara.

Baja tahan karat (*Stainless Steel*) secara mendasar bukanlah logam mulia seperti halnya emas (Au) & Platina (Pt) yang hampir tidak mengalami korosi karena pengaruh kondisi lingkungan, sementara baja tahan karat masih mengalami korosi. Daya tahan korosi baja tahan karat disebabkan lapisan yang tidak terlihat (*invisible layer*) yang terjadi akibat oksidasi *Stainless Steel* dengan oksigen yang akhirnya membentuk lapisan pelindung anti korosi (*protective layer*). Sumber oksigen bias berasal dari udara maupun air. Material lain yang memiliki sifat sejenis antara lain *Titanium* (Ti) dan juga Aluminium (Al). Secara umum *protective layer* terbentuk dari reaksi kromium + oksigen secara spontan membentuk krom-oksida. Jika lapisan oksida baja tahan karat digores/terkelupas, maka *protective layer* akan segera terbentuk secara spontan, tentunya jika kondisi lingkungan cukup mengandung oksigen. Walaupun demikian kondisi lingkungan tetap menjadi penyebab kerusakan *protective layer* tersebut. Pada keadaan dimana *protective layer* tidak dapat lagi terbentuk, maka korosi akan terjadi.

Banyak media yang dapat menjadi penyebab korosi, seperti halnya udara, cairan/ larutan yang bersifat asam/basa, gas-gas proses (misal gas asap hasil buangan ruang bakar atau reaksi kimia lainnya), logam yang berlainan jenis dan saling berhubungan dan sebagainya. Pada dasarnya baja tahan karat (*stainless steel*) diklasifikasikan menjadi tiga bagian besar yaitu :

- a. Baja tahan karat martensitik, baja tahan karat ini mengandung kurang lebih satu persen karbon dengan peningkatan nilai kekerasan dengan proses *heat treatment*. Baja tahan karat martensitik juga memungkinkan untuk dilakukan proses pengelasan setelah melalui proses *anealing*, *tempering*, atau perlakuan peningkatan kekerasan (*hardened*). Pengelasan akan menghasilkan "*martensit*" pada hasil lasan. Pengontrolan temperatur pada saat pengelasan adalah cara yang efektif untuk menghindari retak pada logam.
- b. Baja tahan karat ferritik, baja tahan karat ini mengandung karbon yang relatif sedikit sehingga kerapuhan terjadi karena nilai kekerasan yang kurang. Apabila endapan batas butir sudah mulai terbentuk di sekitar daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) maka akan mempengaruhi nilai kekuatan pada logam. Pada proses ini seharusnya tidak digunakan pada tempat yang berhubungan dengan getaran. Pengelasan *Stainless Steel* seri ferrit digunakan dengan resistansi tinggi dengan ketinggian temperatur yang stabil. *Anealing* dilakukan pada kisaran suhu 1200°F sampai 155°F (649°C – 843°C), tetapi untuk tipe 430, 430F, 442, dan 446 tidak dapat dinormalisasikan.
- c. Baja tahan karat austenitik, baja tahan karat ini tidak dapat ditingkatkan kekerasannya melalui proses *heat treatment* dan kandungan karbon yang relatif rendah, tetapi dapat ditingkatkan kekerasannya dengan pengerjaan dingin. Pemanasan ulang hasil pengelasan dari 800°F sampai 1600°F (427°C - 871°C) akan menjadikan *chromium* membentuk endapan batas butir yang berpengaruh terhadap ketahanan korosi.

Pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam dimana logam menjadi satu akibat dengan atau tanpa tekanan, atau dapat didefinisikan sebagai akibat dari metalurgi yang di timbulkan oleh gaya tarik-menarik antara atom. Sebelum atom-atom tersebut membentuk



ikatan, permukaan yang akan menjadi satu perlu bebas dari gas yang terserap atau oksidasi-oksidasi.

Pemilihan Parameter Las

Pemilihan parameter Las yang harus dilakukan dalam proses pengelasan adalah :

1. Arus Pengelasan.

Berpengaruh langsung pada penetrasi logam las, bentuk manik las, lebar HAZ dan dilusi. Arus las makin besar dapat memperdalam penetrasi logam las dan juga memperlebar HAZ, demikian sebaliknya. Pemakaian arus las makin tinggi juga dapat memperlebar manik las. Arus las mempengaruhi dilusi atau pencampuran. Semakin besar arus las maka semakin besar juga dilusi yang artinya makin banyak logam induk yang mencair.

2. Tegangan Pengelasan.

Tegangan listrik yang digunakan pada mesin las berkisar 55 volt sampai 85 volt. Hal ini berhubungan dengan keselamatan kerja operator las, dikarenakan tubuh manusia tidak akan mampu menahan arus listrik dengan tegangan yang tinggi.

3. Kecepatan Pengelasan

Makin tinggi kecepatan pengelasan biasanya dipengaruhi oleh tingginya arus pengelasan. Kecepatan pencairan elektroda yang tidak diimbangi dengan kecepatan pengelasan biasa menyebabkan penumpukan cairan logam las dipermukaan logam induk.

Jenis-Jenis Mesin Las Listrik

Jenis-jenis dari mesin las adalah :

1. Mesin las listrik- tranformator arus bolak-balik (AC)

Mesin ini memerlukan arus bolak-balik dengan tegangan yang lebih rendah pada lengkung listrik.

2. Mesin Las Listrik Rectifier Arus Searah (DC)

Mesin ini mengubah arus listrik bolak-balik (AC) yang masuk, menjadi arus listrik searah(DC) keluar. Pada mesin AC, kabel masa dan kabel elektroda dapat dipertukarkan tanpa mempengaruhi perubahan panas yang timbul pada busur nyala.

Masukan Panas (*Heat Input*)

Masukan panas adalah besarnya energi panas tiap satuan panjang las ketika sumber panas bergerak. Masukan panas (*Heat Input*), dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$H = p/v = EI/v \dots\dots\dots(1)$$

Dimana : P = Tenaga input (Watt)

V = Kecepatan pengelasan (m/s)

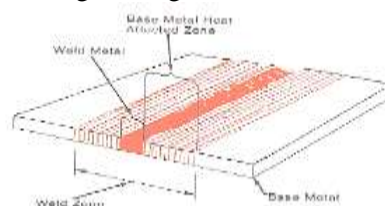
E = Potensial listrik (volt)

I = Arus listrik (Amper)

Heat input juga mempengaruhi bentuk penampang lintang las, meliputi besarnya permukaan logam induk yang mencair, permukaan bahan pengisi dan HAZ. Pada penggunaan *heat input* yang semakin tinggi akan meningkatkan prosentase ferit acicular, upper bainit, dan ferit widmanstatten (Bhole and Billingham, 1983).

Fungsi utama sumber panas pada las cair (*fusion welding*) adalah untuk mencairkan logam yang mempunyai dua fungsi yaitu :

1. Sebagai bahan pengisi (*filler*) pada bagian yang disambung sehingga terbentuk bahan yang kontinyu.
2. Membersihkan permukaan sambungan dengan reaksi kimia.



Gambar 1. Distribusi panas pada pengelasan
(Sumber : Bhadeshia dan Svensson)

Pengujian Kekerasan Vickers

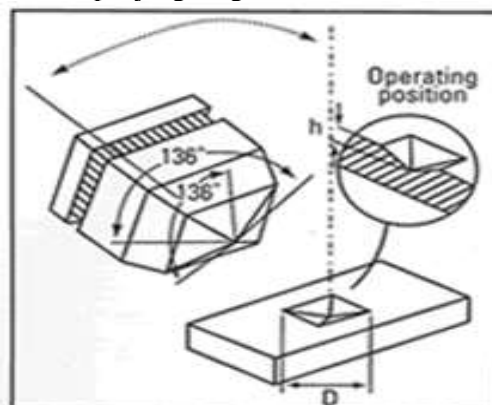
Uji kekerasan Vickers menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan- permukaan pyramida yang saling berhadapan adalah 136° . Sudut ini dipilih karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan brinell. Angka kekerasan piramida intan (DPH), atau angka kekerasan Vickers (VHN atau VPH), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan, prinsip pengukuran untuk kekerasan mikro vickers dapat dilihat pada Gambar 2.8. Pada prakteknya luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. VHN dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$HVN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{1,854 \cdot p}{d^2} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana : P = Beban yang digunakan (kg)
 d = Panjang diagonal rata-rata (mm)
 θ = Sudut antara permukaan intan yang berlawanan = 136°

Uji kekerasan Vickers memberikan hasil berupa skala kekerasan yang kontinu, untuk suatu beban tertentu dan digunakan pada logam yang sangat lunak, yakni DPH-nya 5 hingga logam yang sangat keras dengan DPH 1500.

Hal-hal yang menghalangi keuntungan pemakaian metode Vickers adalah uji kekerasan Vickers tidak dapat digunakan untuk pengujian rutin karena pengujian tersebut lamban, memerlukan persiapan permukaan benda uji yang hati-hati, dan terdapat pengaruh kesalahan manusia yang besar pada penentuan panjang diagonal.



Gambar 2 Prinsip Pengukuran Kekerasan Mikro Vickers

Sumber : pusat-lingkar.com/2017/06/pengujian-kekerasan-material-dengan.html

Lekukan yang benar terbuat dari penumbuk piramida intan harus berbentuk bujur sangkar. Akan tetapi, penyimpangan yang telah dijelaskan untuk uji brinell sering juga terdapat pada penumbuk piramida. Lekukan bantal jarum terjadi akibat penurunan logam disekitar permukaan piramida yang datar. Keadaan demikian terdapat pada logam-logam yang dilunakan dan mengakibatkan pengukuran panjang diagonal yang berlebihan. Bentuk demikian diakibatkan oleh penimbunan ke atas logam-logam disekitar permukaan penumbuk. Ukuran diagonal pada kondisi demikian akan menghasilkan luas permukaan kontak yang kecil, sehingga menimbulkan kesalahan angka kekerasan yang besar ada koreksi empiris untuk menanggulangi hal tersebut.

Struktur Mikro Logam Las

Untuk mendapatkan struktur mikro hasil pengelasan yang baik yaitu berupa ferit acicular maka unsur paduan, kandungan oksigen, waktu pendingin ($At_{8/5}$) dan ukuran butir austenit harus tepat.



Menurut Abson dan Pargeter (1986), struktur mikro dari las biasanya konibinasi dari struktur mikro berikut ini :

1. Ferit Batas Butir

Ferit batas butir terbentuk pertama kali pada transformasi γ - α , biasanya terbentuk sepanjang batas austenit pada suhu 1000 °C – 650 °C

2. Ferit Widmanstatten

Jika suhunya lebih rendah maka akan terbentuk ferit Widmanstatten. Ukurannya besar dan pertumbuhannya cepat sehingga akan memenuit permukaan butirnya (Thewlis,1992). Struktur mikro ini terbentuk pada suhu 750 °C – 650 °C disepanjang batas butir austenit. Ferit widmanstatten mempunyai ukuran besar dengan orientasi arah yang hampir sama sehingga memudahkan terjadinya perambatan retak.

3. Ferit Acicular

Ferit acicular berbentuk intragranular dengan ukuran yang kecil dan mempunyai orentasi arah yang acak (Dalam dkk, 1985). Jika terjadi retak hasil las dengan struktur mikro ferit acicular maka retak tersebut tidak akan cepat merambat karena oreientasi arahnya acak. Karena hal tersebut maka bentuk struktur mikro ferit acicular mempunyai ketangguhan paling tinggi dibanding strutur mikro yang lain. Biasanya ferit aciculat terbentuk sekitar suhu 650 °C. Dalam pengelasan, penambahan titanium dan boron bersama-sama dengan oksigen dengan konsentrasi rendah sangat efektif untuk membentuk ferit acicular (Fleck dkk, 1986), selain itu ferit acicular juga dapat terbentuk pada hasil pengelasan jika inklusi yang terjadi mempunyai diameter lebih dari 0,2 μ m.(Liu, & Olson, 1986). Mo dan Cr merupakan pembentuk karbida yang kuat yang dapat menahan pembentukan proeutectic ferrite dan meningkatkan pembentukan ferit acicular (Easterling,1993). Hasil pengelasan akan mempunyai sifat-sifat yang baik jika jumlah ferit acicular yang terbentuk paling banyak (Thewlis,1992).

4. Bainit

Bainit merupakan ferit yang tumbuh dari batas butir austenit dan berupa pelat-pelat sejajar dengan Fe_3C diantara pelat-pelat tersebut atau didalam pelat. Bainit mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibanding ferit, tetapi lebih rendah dari pada martensit.

5. Martensite

Martensite akan terbentuk pada proses pengelasan dengan pendinginan sangat cepat, mempunyai sifat sangat keras dan getas sehingga kekuatan tarik dan ketangguhannya rendah.

Pada proses pengelasan, transformasi γ (austenit) dan α (ferit) merupakan tahap yang paling krusial karena struktur mikro logam las yang berarti juga sifat-sifat mekanisnya sangat ditentukan pada tahap ini. Diantara faktor-faktor yang mempengaruhi transformasi γ (austenit) α (ferit) adalah masukan panas (heat input), komposisi kimia las, kecepatan pendinginan dan bentuk sambungan las seperti ditunjukkan oleh diagram Fe-Fe3C dan diagram CCT (*Continuous Cooling Time*)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu dengan melakukan pengelasan spesimen kemudian didinginkan dengan menggunakan media pendinginan yang berbeda, kemudian dilakukan pengujian kekerasan.

4. DATA DAN PEMBAHASAN

Panas Input (H) Air Asin

$$H = \frac{P}{v} = \frac{E.I}{v}$$

$$p = E.I = 380 \text{ volt} \times 75 \text{ Ampere}$$

$$= 28,500 \text{ Watt}$$

$$H = \frac{28,500}{v} = \frac{28,500}{2,517} = 11,323 \text{ J/mm}$$

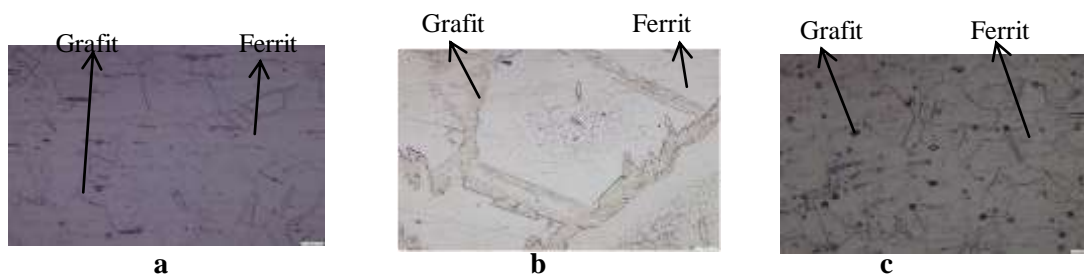
Dengan perhitungannya yang sama, didapat panas input pada air tawar dan udara bebas, masing – masing 11, 22096 J/mm dan 11, 296J/mm



Tabel 4.1 Nilai Kekerasan pada daerah pengelasan

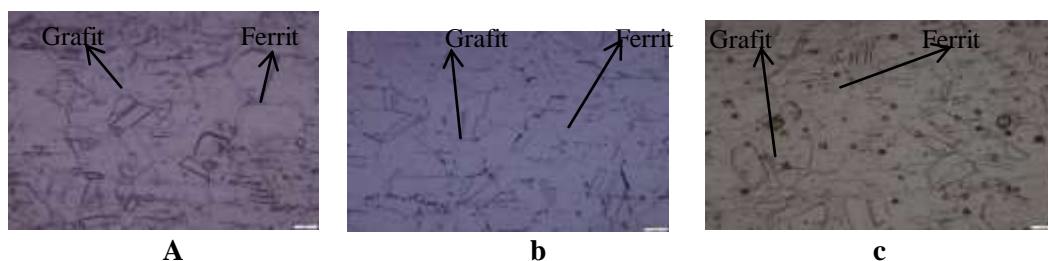
Arus (A)	Panjang pengelasan	Daerah kekerasan	Nilai Kekerasan (0,1HV)	
75 (A)	100 mm	Weld Metal	Air Asin	245
			Air Tawar	250
			UdaraBebas	335
		HAZ	Air Asin	227
			Air Tawar	231
			Udara Bebas	224
		Base Metal	Air Asin	222
			Air TAwAr	231
			Udara bebas	227

Pengamatan struktur mikro daerah, HAZ adalah daerah dimana terjadi proses pengelasan dan terpengaruh panas pada plat baja AISI 304 stainless steel. dengan pembesaran 500x pendinginan air asin, air tawar, udara pada gambar 4.1. terbentuknya Grafit dan ferrit disekitar temperatur 1000°C-250°C dengan pendinginan cepat dan penahanan beberapa menit sehingga terjadi perubahan fasa terbentuknya struktur mikro Grafit yaitu berwarna hitam dan ferrit yaitu yang berwarna putih. Dan mempunyai nilai kekerasan yang berbeda.



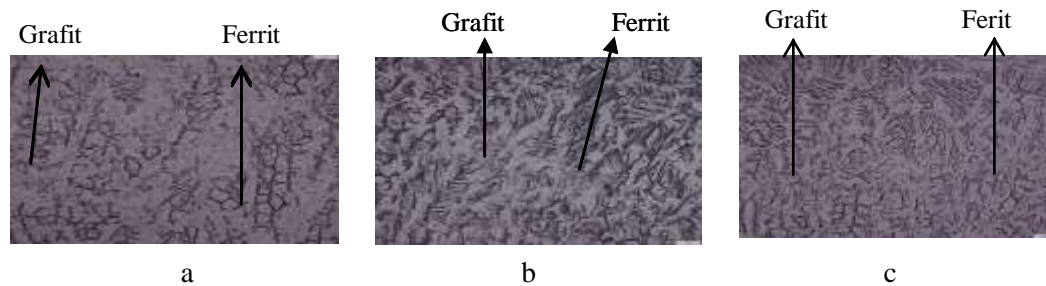
Gambar 3. Struktur Mikro pada daerah HAZ dengan media pendingin yang berbeda (a. udara bebas; b. air asin; c. air tawar)

Pengamatan struktur mikro daerah, Base Metal adalah daerah dimana terjadi proses pengelasan dan terpengaruh panas pada plat baja AISI 304 stainless steel. dengan pembesaran 500x pendinginan air asin, air tawar, udara pada gambar 4.2 terbentuknya Grafit dan ferrit disekitar temperatur 1000°C-250°C dengan pendinginan cepat dan penahanan beberapa menit sehingga terjadi perubahan fasa terbentuknya struktur mikro Grafit yaitu berwarna hitam dan ferrit yaitu yang berwarna putih. Dan mempunyai nilai kekerasan yang berbeda

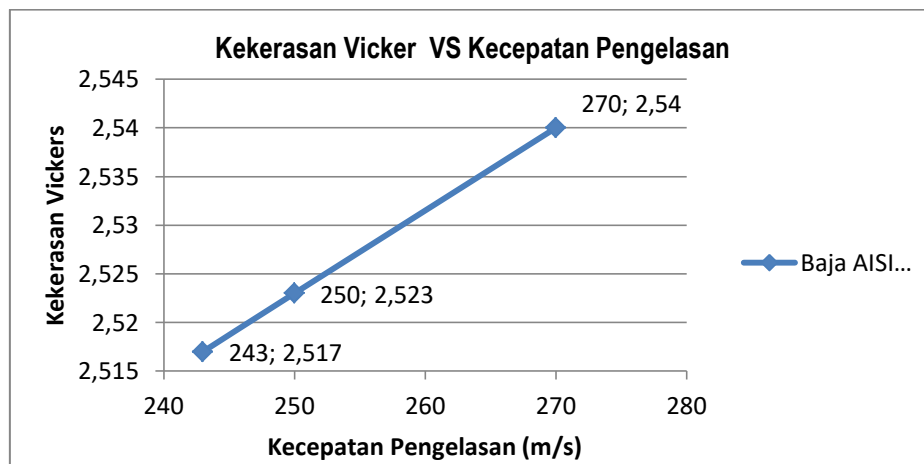


Gambar 4. Struktur Mikro pada daerah Base Metal dengan media pendingin yang berbeda (a.air asin;b.udara bebas;c.air tawar)

Pengamatan struktur mikro daerah, Weld Metal adalah daerah dimana terjadi proses pengelasan dan terpengaruh panas pada plat baja AISI 304 stainless steel. Dengan pembesaran 500x pendinginan air asin, air tawar, udara pada gambar 4.3. terbentuknya Grafit dan ferrit disekitar 32 temperature 1000°C-250°C dengan pendinginan cepat dan penahanan beberapa menit sehingga terjadi perubahan fasa terbentuknya struktur mikro Grafit yaitu berwarna hitam dan ferrit yaitu yang berwarna putih. Dan mempunyai nilai kekerasan yang berbeda

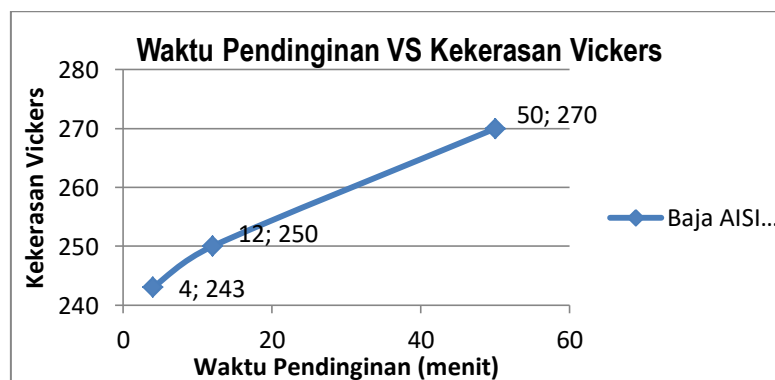


Gambar 5. Struktur Mikro pada daerah Weld Metal dengan media pendingin yang berbeda (a. udara bebas; b. air asin; c. air tawar)



Gambar 6. Grafik Kekerasan vs Kecepatan Pengelasan

Dari gambar diatas menunjukkan bahwa hasil dari uji kekerasan terhadap ketiga spesimen yang mempunyai nilai tertinggi adalah pendinginan udara bebas dengan nilaikekerasan 270. dan nilai dari kecepatan pengelasan yang tertinggi adalah pendinginan udara bebas dengan nilai kecepatan pengelasan adalah 2,540 (mm/detik).



Gambar 7. Grafik Waktu Pendinginan vs Kekerasan (Vickers)

Dari gambar diatas menunjukkan bahwa hasil dari waktu pendinginan terhadap uji kekerasan yang mempunyai nilai tertinggi adalah pendinginan udara bebas dengan nilai kekerasan 27,0 HV.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada proses pengelasan dengan variasi media pendingin dan arus 75 (A) yang sama mempunyai sturuk mikro dan uji kekerasan yang berbeda Yaitu : pendinginan air asin mempunyai nilai kekerasan yang tertinggi pada daerah Weld Metal yaitu 243 kg dan nilai kekerasan air tawar mempunyai nilai tertinggi pada daerah Weld Metal yaitu 250 kg. sedangkan pendinginan udara bebas mempunyai nilai kekerasan yang lebih tertinggi pada daerah Weld Metal yaitu 270 kg.
2. Pada proses pengelasan dengan variasi media pendingin yang berbeda dan Arus 75 (A) dan bahan baja AISI 304 stainless steel yang sama. pendinginan Air Asin didapatkan waktu pengelasan 2,517 mm/detik. dan masukan Panas (*Heat Input*) 11,323J/mm. dan pendinginan air tawar didapatkan waktu pengelasan yaitu 2,523 mm/detik dan masukan panas (*heat input*) yaitu 11,296 J/mm. dan pendinginan udara bebas didapatkan waktu pengelasan 2,540 mm/detik. Dan masukan panas(*Heat Input*) yaitu 11,220 J/mm.
3. Grafit ($C_{r23}C_6$) yang paling banyak adalah pada pendinginan udara , karna tersedia waktu yang cukup untuk reaksi chromium dengan carbon untuk membentuk ($C_{r23}C_6$) pada batas butir dengan demikian chromium bebas didalam daerah batas butir berkurang, sehingga logam akan mudah terkorosi sehingga didalam industri perminyakan, pertambangan kita temui pada sambungan las pada pipa stainless steel dilakukan pengelasan untuk menghindari terjadinya korosi.

DAFTAR PUSTAKA

- Erizal, (2015) “*Kajian ekspremen pengujian kekerasan baja karbon medium yang disambung dengan SMAW dan Quenching dengan air laut*”
- Hendri Saputra, Achmad Syarief dan Yassyir Maulana, (2014), “*Analiasa pengaruh media pendingin terhadap kekuatan tarik baja St 37 pasca pengelasan menggunakan las listrik*”,
- Sukamto, (2009), “*Pengaruh media pendingin terhadap hasil pengelasan TIG pada baja karbon rendah*”, *Jurnal Janateknika* Vol. 11 No. 2
- Tata Surdia, (1989), “*Pengetahuan BahanTeknik*”, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Wirjosumarto H. dan Okumura T, (2000), “*Teknologi pengelasa logam*”, Cetakan ke delapan, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Wahid Suherman (1988), *Ilmu Logam*, ITS, Surabaya.

