

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH POSISI PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIS BAJA KARBON RENDAH

Mesak Frits Noya¹⁾, Abdul Hadi¹⁾

e-mail: ¹⁾frits.noya@fatek.unpatti.ac.id, ²⁾abdulhadi@fatek.unpatti.ac.id

Program Studi Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Pattimura - Ambon

ABSTRAK

Setiap proses pengelesan sangat berpengaruh pada sifat mekanis material yang dilas. Penelitian ini bersifat eksperimental yang bertujuan untuk mengetahui Sifat mekanis material baja karbon rendah dengan variable penelitian adalah gerakan elektroda dan posisi pengelasan. Kemudian dilakukan pengujian kekerasan pada daerah HAZ material hasil pengelasan. Salah satu jenis pengujian kekerasan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah kekerasan Rockwell (HRC). Hasil Pengujian diperoleh nilai kekerasan tertinggi rata-rata 87,18 terdapat pada variabel posisi pengelasan Vertikal pada gerakan elektroda pola C, sedangkan nilai kekerasan terendah rata-rata 86,09 terdapat pada variabel posisi pengelasan datar pada variabel gerakan elektroda pola zigzag. Uji hasil pengukuran dengan menggunakan analisis varians diperoleh bahwa posisi pengelasan tidak mempengaruhi kekerasan pada daerah HAZ. Untuk gerakan elektroda diperoleh bahwa gerakan elektroda sangat mempengaruhi nilai kekerasan pada daerah HAZ. Hal ini disebabkan karena adanya masukan panas yang besar sehingga mempengaruhi struktur mikro dari material menjadi lebih keras.

Kata kunci: Posisi Pengelasan, Gerakan Elektroda, kekerasan (HRC), Baja karbon rendah..

PENDAHULUAN

Luasnya penggunaan teknologi pengelasan disebabkan karena konstruksi bangunan baja dan mesin yang dibuat dengan menggunakan teknik penyambungan ini lebih ringan dan proses pembuatannya juga lebih sederhana sehingga biaya secara keseluruhan menjadi lebih murah (Wiriyosumarto dan Toshie, 2004). 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 (Cary, 1998). Pemakaian baja karbon rendah untuk bahan pembentukan struktur ruang seperti struktur atap, tiang serta batang kisi menambah keuntungan, karena logam mempunyai daya tahan yang besar terhadap patahan yang disebabkan oleh berbagai beban bergerak mekanis (Makowski, 1988).

Sering kali pengelasan harus dilakukan pada posisi tertentu karena mengikuti rancangan suatu konstruksi seperti pengelasan langit-langit/plafon bangunan, pada pojok bangunan, diatas lantai dan sebagainya. Terlebih lagi pada proses pengelasan berkelanjutan yaitu suatu konstruksi memerlukan pengelasan yang berurutan dan cepat dengan posisi pengelasan yang berbeda-beda. Dengan adanya keharusan posisi pengelasan tertentu, maka akan memberikan hasil yang berbeda terhadap kekuatan dan kekerasan hasil lasan (Cary, 1998).

Pergerakan atau ayunan elektroda las juga dapat mempengaruhi karakteristik hasil lasan, pada sisi lain bentuk gerakan elektroda untuk pengelasan sering menjadi pilihan pribadi dari tukang las itu

sendiri tanpa memperhatikan kekuatan lasnya. Untuk mengetahui bentuk gerakan elektroda yang menghasilkan sifat mekanik yang paling baik, perlu dilakukan penelitian dan pengujian. Salah satu sifat mekanik yang paling penting dalam pengelasan adalah sifat kekerasan (hardness). Hal-hal di atas melatarbelakangi penelitian tentang bagaimana pengaruh posisi pengelasan dan gerakan elektroda terhadap sifat kekerasan baja karbon rendah.

Tujuan Penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh gerakan dan posisi pengelasan terhadap kekerasan baja karbon rendah.

Target penelitian ini adalah :

1. untuk menambah keilmuan di bidang material khususnya di bidang material manufaktur tentang proses pengelasan material.
2. Untuk menghitung nilai kekerasan baja karbon rendah pada proses pengelasan pada daerah HAZ.

Urgensi penelitian ini berhubungan dengan kualitas pengelasan material yang dilas, arus listrik, elektroda, kecepatan pengelasan, gerakan pengelasan dan posisi pengelasan. Pengujian Hipotesis dengan menggunakan Anova untuk mengambil kesimpulan pengaruh gerakan elektroda dan posisi pengelasan terhadap sifat kekerasan material.

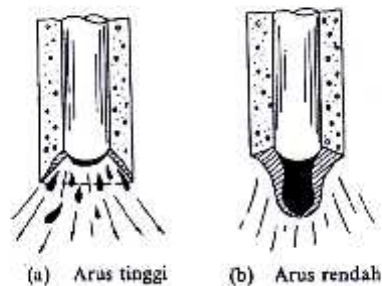
KAJIAN TEORI DAN METODE

KAJIAN TEORI

Las Elektroda Terbungkus

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk

butir-butir yang terbawa oleh arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik yang besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus seperti terlihat pada Gbr 1(a), sebaliknya bila arusnya kecil maka butirannya menjadi besar seperti tampak dalam Gbr 1(b).



Gambar 1. Pemindahan Logam cair

Secara umum dapat dikatakan bahwa logam mempunyai sifat mampu las tinggi, bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus sedangkan pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus, juga oleh komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Selama proses pengelasan bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda mencair dan membentuk terak yang kemudian menutupi logam cair yang terkumpul di tempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi. Dalam beberapa fluks bahannya tidak dapat terbakar, tetapi berubah menjadi gas yang juga menjadi pelindung dari logam cair terhadap oksidasi dan memantapkan busur.

Posisi Pengelasan

Posisi pengelasan atau sikap pengelasan adalah pengaturan posisi dan gerakan arah dari pada elektroda sewaktu mengelas. Adapun posisi mengelas terdiri dari empat macam yaitu:

1. Posisi di Bawah Tangan

Posisi di bawah tangan yaitu suatu cara pengelasan yang dilakukan pada permukaan rata/datar dan dilakukan dibawah tangan. Kemiringan elektroda las sekitar $10^\circ - 20^\circ$ terhadap garis vertikal dan $70^\circ - 80^\circ$ terhadap benda kerja.

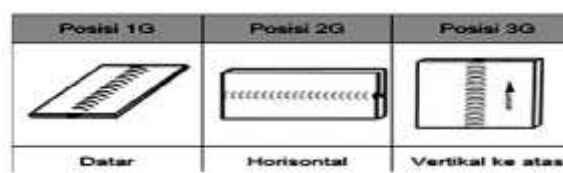
2. Posisi Tegak (Vertikal)

Mengelas posisi tegak adalah apabila dilakukan arah pengelasannya keatas atau kebawah. Pengelasan ini termasuk pengelasan yang paling sulit karena bahan cair yang mengalir atau menumpuk diarah bawah dapat diperkecil dengan kemiringan elektroda sekitar $10^\circ - 15^\circ$ terhadap garis vertikal dan $70^\circ - 85^\circ$ terhadap benda kerja.

3. Posisi Datar (Horisontal)

Mengelas dengan horisontal biasa disebut juga mengelas merata dimana kedudukan benda kerja dibuat tegak dan arah elektroda mengikuti horisontal. Sewaktu mengelas elektroda dibuat

miring sekitar $5^\circ - 10^\circ$ terhadap garis vertikal dan $70^\circ - 80^\circ$ kearah benda kerja.



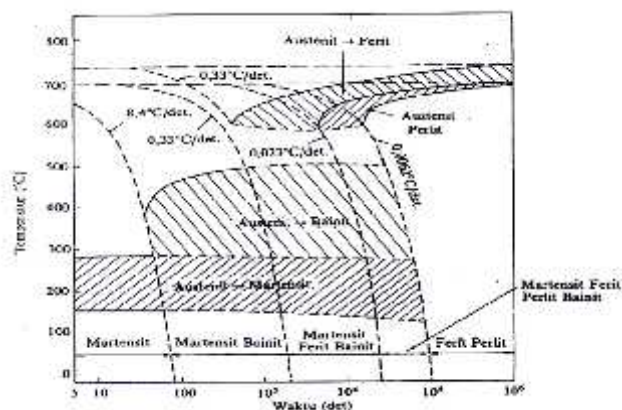
Gambar 2. Posisi Pengelasan

Struktur Mikro dan Sifat-Sifat Mekanik Pada Lasan

Pada umumnya struktur micro dari baja tergantung dari kecepatan pendinginannya dari suhu daerah austenit sampai ke suhu kamar. Dengan perubahan struktur ini, dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimiliki juga berubah. Hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur micro yang terbentuk biasanya digambarkan dalam diagram yang berhubungan waktu, suhu dan transformasi (Continuous Cooling Transformation) atau CCT. Dari gambar 2. dapat dilihat bahwa kecepatan pendinginan naik yang berarti waktu pendinginan dari suhu austenit turun, struktur akhir yang terjadi berubah dari campuran ferrit-pearlit-bainit-martensit, ferrit-bainit-martensit. Kemudian bainit-martensit dan akhirnya pada kecepatan yang tinggi sekali struktur akhirnya adalah martensit. Kekuatan baja ferrit-perlit terutama batas luluhnya sangat tergantung pada ukuran butir ferrit. Hubungan ini oleh Hall-Petch dirumuskan dalam persamaan:

$$\sigma_y = \sigma_f + K.D^{-1/2}$$

Di samping berhubungan dengan kekuatan, ternyata besar butir juga mempengaruhi energi patah dan perambatan retak. Penelitian-penelitian menunjukkan bahwa makin halus butir-butir kristal makin rendah suhu transisi ulet-getasnya. Karena itu memperhalus butir adalah sangat tepat dalam usaha memperbaiki kekuatan dan ketangguhan.



Gambar 3. Diagram Pendinginan Kontinue atau diagram CCT

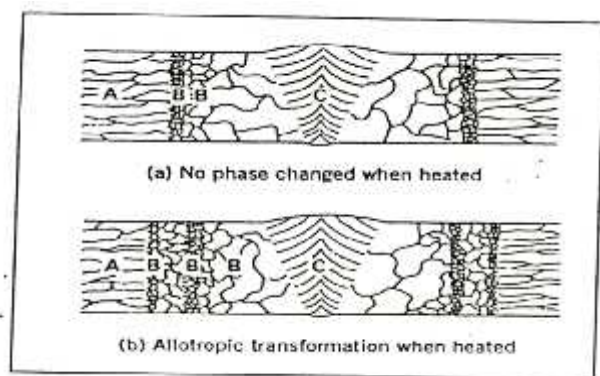
Di samping berhubungan dengan kekuatan, ternyata besar butir juga mempengaruhi energi patah dan perambatan retak. Penelitian-penelitian menunjukkan bahwa makin halus butir-butir kristal makin rendah suhu transisi ulet-getasnya. Karena itu memperhalus butir adalah sangat tepat dalam usaha memperbaiki kekuatan dan ketangguhan.

Siklus Termal Daerah Lasan

Daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas (Heat Affected Zone). Logam lasan adalah bagian logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Daerah pengaruh panas atau daerah HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk tak terpengaruhi adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat.

Pembekuan dan Struktur Logam Las

Cacat terbentuk dalam logam las, pemisahan atau segregasi, lubang halus dan retak. Banyaknya cacat yang terjadi tergantung dari pada kecepatan pembekuan.



Gambar 4. Perubahan Struktur Micro

Pada gambar 4. menunjukkan secara skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las yang berbentuk pilar. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah yang sama dengan gerakan sumber panas. Pada garis lebur sebagian dari logam dasar turut mencair dan selama proses pembekuan logam las tumbuh pada butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama.

Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik material, merupakan salah satu faktor terpenting yang mendasari pemilihan bahan dalam suatu perancangan. Sifat mekanik dapat diartikan sebagai respon atau perilaku material terhadap pembebanan yang diberikan, dapat berupa gaya, torsi atau gabungan keduanya. Dalam prakteknya

pembebanan pada material terbagi dua yaitu beban statik dan beban dinamik.

Persentase pengecilan yang terjadi dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$q = A - \frac{A1}{A0} \times 100\%$$

Dimana :

q = Reduksi penampang (%)

A₀ = Luas penampang mula (mm²)

A₁ = Luas penampang akhir (mm²)

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dengan sistem Rockwell ini paling banyak digunakan di bengkel-bengkel permesinan, karena prosesnya mudah dan cepat memperoleh angka kekerasan bahan uji, dimana angka kekerasan Rockwell dapat dibaca langsung dari pesawat uji yang kita gunakan, disamping itu pengujian kekerasana dengan sistem Rockwell ini memiliki fungsi pemakaian yang cukup luas sehingga memungkinkan digunakan pada berbagai jenis dan karakteristik bahan dengan tersedianya skala kekerasan untuk berbagai aplikasi. Dilihat dari konstruksinya Mesin uji ini tidak jauh berbeda dengan mesin-mesin yang digunakan oleh Brinell dan Vickers, bahkan untuk beberapa jenis mesin dibuat dengan fungsi universal dapat digunakan pada semua pengujian kekerasan dengan cara penekanan (indentation test), serta dibuat dengan ukuran kecil yang dapat digunakan pada pengujian kekerasan ditempat dimana produk itu ditempatkan. Berikut diperlihatkan jenis mesin uji kekerasan Rockwell



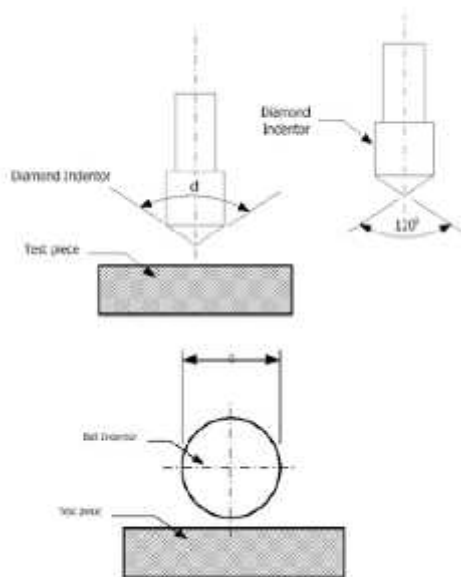
Gambar 5. Mesin Uji Kekerasan Rockwell

Prinsip dasar penentuan kekerasan yang dilakukan dalam pengujian Kekerasan Rockwell ini berbeda dengan yang dilakukan oleh Brinell dan Vickers, jika dalam pengujian kekerasan Brinell dan Vickers menentukan kekerasannya dengan melihat seberapa jauh bahan tersebut dapat menahan beban yang diberikan pada setiap satuan luas

penampang (mm^2) bidang benda uji (test piece) yang kita lakukan. Sedangkan pada pengujian kekerasan sistem Rockwell ini angka kekerasan bahan ini ditentukan oleh kedalaman masuknya indenter kedalam bahan akibat penekanan dengan besaran beban tertentu yang kita berikan.

Pengujian kekerasan dengan sistem Rockwell ini menggunakan dua jenis indenter (alat penekan), yaitu Indentor yang dibuat dari bahan intan dibentuk kerucut dengan sudut penekan 120° dan Indentor dari bentuk bola dengan berbagai ukuran untuk berbagai skala kekerasan dan aplikasi. Oleh keran itu pengujian kekerasan Rockwell ini dibedakan menjadi 2 jenis berdasarkan pemakaian indentornya, yaitu :

1. Rockwell cone ialah pengujian kekerasan dengan sistem Rockwell yang menggunakan indenter Kerucut bersudut intan 120° .
2. Rockwell ball ialah pengujian kekerasan dengan sistem Rockwell yang menggunakan indenter Bola baja dengan berbagai ukuran untuk berbagai aplikasi. Gambar berikut memperlihatkan perilaku penekanan dalam pengujian kekerasan dengan sistem Rockwell tersebut.



Gambar 6. Ball Indentor dan Posisi Siap Menekan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini bersifat eksperimental untuk menganalisis sifat mekanis material baja karbon rendah yang mengalami proses pengelasan. Proses pengelasan yang dilakukan adalah gerakan pengelasan dan posisi pengelasan. Setelah proses pengelasan material didinginkan kemudian dilakukan pengujian kekerasan di daerah HAZ

dengan menggunakan metode Vickers. Hasil akan disimulasikan dengan menggunakan uji Hipotesis.

Penelitian pengelasan suatu material dilakukan dengan berbagai cara untuk mengetahui sifat mekanis dari material setelah mengalami proses pengelasan. Sehingga untuk melihat perbedaan sifat mekanis material maka pengujian dilakukan sebelum dan sesudah proses pengelasan. Yang menjadi acuan adalah sifat dari material uji. Sifat dari pengujian ini adalah memverifikasi sifat material setelah proses pengelasan dan perlakuan apa yang harus dilakukan agar kekuatan hasil pengelasan sama pada seluruh bagian dari material.

Penelitian ini dilakukan di Lab. Mekanika Kekuatan Material Fakultas Teknik Universitas Pattimura (Unpatti) Ambon.

Rencana penelitian kekuatan mekanis hasil pengelasan pada baja karbon rendah akan berlangsung sesuai jadwal, seperti pada table dibawah ini.

Variabel dalam semua penelitian dibedakan atas variabel bebas dan variabel terikat.

- Variable bebas dalam penelitian ini yaitu Gerakan elektroda yaitu melingkar, zig-zac dan gerak membentuk C. Serta posisi yang dipakai yaitu posisi pengelasan vertical dan horizontal.
- Variable terikat dalam penelitian ini adalah sifat mekanis material yaitu kekerasan Rockwell (HRC).

HASIL DAN PEMBAHASAN

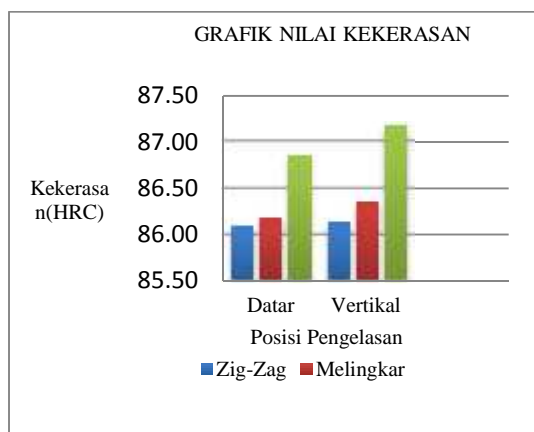
Pengukuran kekerasan dengan metode Rockwell pada material sebelum perlakuan adalah 83,06 HRC. Kemudian baja karbon rendah dipakai sebagai bahan dalam proses pengelasan. Hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan alat uji kekerasan Rocwell terhadap baja karbon rendah setelah proses pengelasan (ST 37) pada daerah Heat Affective Zone (HAZ) dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. Hasil pengujian kekerasan pada daerah HAZ Untuk Setiap Gerakan Elektroda Dengan Posisi pengelasan Datar dan Posisi Vertical

Posisi Pengelasan	Gerakan Elektroda		
	Melingkar	Zig-Zag	Pola C
Datar	87	88,5	85,5
	87,5	86	85,75
	85	85,75	86,5
	87	85	87
	85	87	85,5
	86	88,85	86
	86,5	86,25	85,5
	87	86,5	87,5
	85	88	87
	87	85,5	86

	84,5	86	88,25
	85,5	85	87
	86	84	86,25
	85	85,5	88
	86	84,25	86
	85,5	85	88,5
	87	84	86,5
	86	85,75	86
	86,5	87,5	89
	88,5	87,5	89
Rata-rata	86,18	86,09	86,84
Vertikal	86	86	86,5
	85,5	88,5	86
	89	88,5	87,5
	86,5	87,5	87,5
	85,5	85	87
	85	88,5	86
	85	87,5	86,5
	85,25	86,5	86
	85,5	87	88
	85,25	86,25	87
	88	85,5	88
	87,75	84,5	89,75
	85,75	85	86,5
	88,5	85,5	87
	86,25	84	86
	85	84,5	85,75
86	84	88	
87,5	85	86,5	
86,75	87	87	
87	86,25	91	
Rata-rata	86,35	86,13	87,18

Nilai rata-rata hasil uji kekerasan pada daerah HAZ baja karbon rendah dapat dilihat pada grafik berikut:



Grafik. Nilai Kekerasan pada Daerah HAZ

Hasilnya menunjukkan bahwa untuk posisi pengelasan mendatar nilai kekerasan tertinggi pada gerakan elektroda dengan pola C sebesar 86,84 HRC. Sedangkan untuk posisi pengelasan vertikal, nilai kekerasan tertinggi terdapat pada gerakan elektroda dengan pola C yaitu sebesar 87,18 HRC.

Pembahasan Hasil Pengujian

Pengujian terhadap hasil pengukuran kekerasan baja karbon rendah setelah pengujian dilakukan dengan melakukan uji statistic dengan menggunakan desain eksperimental dengan sumber varian yang diamati pengaruhnya yaitu Posisi pengelasan dan Gerakan elektroda. Jadi terdapat 2 faktor yang mempengaruhi nilai kekerasan. Desain Eksperimental mengidentifikasi 2 posisi pengelasan mempengaruhi kekerasan dengan 3 level yang terdiri dari gerakan elektroda melingkar, zig-zag dan pola C. Dengan menggunakan data hasil pengukuran kekerasan maka Hasil simulasi desain factorial menunjukkan bahwa untuk perlakuan posisi pengelasan yang digunakan dengan taraf signifikan yang diambil = 0,05 maka nilai statistic F melebihi $F_{0,05;1;114} = 3,92$. Dari hasil output F untuk posisi pengelasan adalah 0,84. Kesimpulannya adalah menerima hipotesis awal dengan kesimpulan bahwa tidak ada pengaruh posisi pengelasan terhadap kekerasan material hasil pengelesan pada daerah HAZ.

Untuk gerakan elektroda dengan $F_{0,05;2;114} = 3,08$ dari hasil simulasi diperoleh F untuk gerakan elektroda = 6,76. Artinya bahwa F hitung lebih besar dari F table sehingga kesimpulan yang dapat diambil adalah menolak hipotesis H_0 . Artinya bahwa gerakan elektroda sangat berpengaruh pada nilai kekerasan pada hasil pengelasan material baja karbon rendah pada daerah HAZ.

Untuk perlakuan interaksi posisi pengelasan dan gerakan elektroda. Taraf signifikan yang diambil adalah $F_{0,05;2;114}$ (Nilai F tabel) = 3,0 dan nilai F hitung hasil simulasi 2,6 ternyata lebih kecil dari F tabel maka hipotesa (H_0) diterima. Kesimpulan yang dapat di ambil adalah bahwa tidak terdapat pengaruh interaksi antara posisi pengelasan dan gerakan elektroda terhadap kekerasan material hasil pengelasan.

Nilai kekerasan tertinggi rata-rata 87,18 terdapat pada variabel posisi pengelasan Vertikal dan pada variabel gerakan elektroda pola C, sedangkan nilai kekerasan terendah rata-rata 86,09 terdapat pada variabel posisi pengelasan datar dan pada variabel gerakan elektroda pola zigzag.

Daerah HAZ logam dasar yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal yaitu pemanasan $900 \pm ^\circ\text{C}$ sampai $1300 \pm ^\circ\text{C}$ dan pendinginan. Setelah proses pemanasan dan mengalami pendinginan, besi-gamma atau austenit mulai bertransformasi menjadi besi-alpha atau ferrit, dimana ferrit memiliki daya larut karbon yang sangat sedikit mengendap terus di sepanjang batas-batas butir austenit yang terjadi pada suhu dibawah A_3 dan proses berlanjut sampai pada temperature

A_1 , pada temperatur di bawah A_1 austenit akan bertransformasi menjadi perlit dan berakhir pada temperatur sekitar pada $500 \pm ^\circ\text{C}$, dibawah temperature $500 ^\circ\text{C}$ austenite akan bertransformasi menjadi bainit dan berakhir pada temperature $300 ^\circ\text{C}$. dibawah temperature ini sisa austenite akan bertransformasi menjadi martensit, sehingga diperkirakan struktur akhir yang terbentuk adalah ferrit, perlit, bainit dan martensit. Struktur ini mempunyai kekerasan yang cukup baik, kemudian dengan meningkatnya persentase kandungan perlit di bandingkan dengan ferrit akibat meningkatnya masukan panas las akan menaikkan sifat kekerasan suatu bahan.

Disini gerakan pola C memberi masukan panas lebih besar dari pola melingkar dan zig -zag. Dengan meningkatnya panas pengelasan, maka laju pendinginan menjadi besar sehingga struktur mikro yang terbentuk lebih keras. Hal ini sesuai dengan gambar 4.1, dimana posisi pengelasan vertikal menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan posisi pengelasan yang lainnya. Pada semua posisi pengelasan yang dilakukan, gerakan elektroda C mempunyai nilai kekerasan yang tinggi, ini disebabkan karena bidang kontak dari ujung elektroda ke logam induk lebih besar sehingga temperatur puncak daerah HAZ lebih tinggi, akibatnya laju pendinginan lebih besar sehingga struktur mikro yang dihasilkan lebih getas.

Kesimpulan

Dari hasil pengujian kekerasan dan hasil analisis yang dilakukan dapat di simpulkan beberapa hal :

1. Untuk posisi pengelasan datar dan vertikal tidak memberikan pengaruh terhadap nilai kekerasan pada daerah pengaruh panas (HAZ), posisi pengelasan datar nilai kekerasannya adalah 86,37 HRC dan nilai kekerasan posisi pengelasan vertikal 86,55 HRC
2. Untuk gerakan elektroda memberikan pengaruh terhadap nilai kekerasan pada daerah pengaruh

panas(HAZ),di mana gerakan elektroda dengan pola C memberikan nilai kekerasan 87,01 lebih besar dibandingkan dengan pola gerakan melingkar maupun pola gerakan zig-zag.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Fajri, MH. Aris, M. 2013, Jurnal Pengelasan GTAW Terhadap Bentuk Hasil Lasan Dan Struktur Mikro SS316L, Departemen Metalurgi Dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Alip, M., 1989, Teori dan praktik Las, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Djfri, Sriati., 1990 Dasar Metalurgi untuk Rekayasa. Terjemahan dan essential Metallurgy For Engineers. Erlangga Jakarta.
- Indraswari, R. 2010, Jurnal Pengaruh Pengelasan Pada *Stainless Steel*, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- Indraswari, R. 2010, Jurnal Pengaruh Pengelasan pada *Stainless Steel*, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- Sudjana, 1995, Desain dan Analisis Eksperimen. Edisi IV, Penerbit Tarsito Bandung.
- Suheni, Harijanto. I, Putra E.P. 2015, Pelindung Dan Arus Terhadap Kekerasan Pada Proses Las MIG Dengan Material *Stainless Steel AISI 304*, Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III 2015, Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama, Surabaya.
- Wirjosumarto. H, Okumura.T. 2008, Teknologi Pengelasan Logam, cetakan kesepuluh, halaman 1. PT. Balai Pustaka, Jakarta.
- Sutowo. C, Budiawan. I. 2014, Jurnal Analisa Pengaruh Pengelasan TIG Dan MIG Pada Sambungan Las Dengan Material Tipe SS 316 Dan SS304, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta.