

PENGARUH VARIASI ARUS PENGLASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL AISI 1030 PADA SAMBUNGAN FILLET POSISI 2F DENGAN PROSES LAS BUSUR MANUAL

Sunarko

Widyaiswara Madya pada Departemen Teknik Mesin PPPPTK BMTI Bandung
e-mail: sunarko64@gmail.com

Abstrak

Baja AISI 1030 adalah material yang baik untuk pembuatan konstruksi umum karena baja AISI 1030 mempunyai nilai C_{eq} 0,425% sehingga mempunyai sifat mampu las yang baik dan tidak mudah terjadi cacat las. Juga aman terhadap kemungkinan retak dingin dan retak pemanasan ulang karena mempunyai nilai CE 0,3375% (retak dingin) dan nilai CE -2% (retak pemanasan ulang). Hasil pemeriksaan visual dan pemeriksaan makro terhadap hasil las dari beberapa variasi arus pengelasan (80A, 100A, 120A, 140A, dan 160A) terbukti tidak terjadi adanya cacat las, disamping itu *welder* yang mengelas telah mempunyai sertifikat kompetensi yang dikeluarkan oleh Badan Nasional Sertifikasi Profesi (BNSP), sehingga kualitas pengelasannya bisa dipertanggungjawabkan. Pertumbuhan butiran pada logam lasan mengarah ke sumber panas, karena awal membekunya dimulai dari dinding logam dasar (*Base metal*) menuju ke logam lasan (*weld metal*). Waktu pendinginannya juga sangat cepat yaitu sekitar 6 (enam) detik, sehingga fasa terjadi pada logam lasan yaitu fasa ferit dan perlit untuk arus pengelasan 80A dan 100A, sedangkan arus pengelasan 120A, 140A, dan 160A terbentuk fasa ferit, perlit, dan martensit dengan *heat input* antara 4800 *joule/cm* sampai dengan 8400 *joule/cm*. Diameter butiran terbesar berlokasi pada logam dasar (BM), sedangkan diameter butiran pada daerah pengaruh panas (HAZ) dan logam lasan (WM) perbedaannya relatif kecil. Sesuai dengan teori bahwa diameter butiran semakin kecil mengindikasikan kekuatannya semakin meningkat, hal ini dibuktikan dari hasil penelitian urutan dari nilai kekerasan yang tertinggi atau kekuatan tertinggi berturut-turut berlokasi pada logam lasan (WM), daerah pengaruh panas (HAZ), dan logam dasar (BM). Dari hasil penelitian terbukti bahwa variasi arus 120A mempunyai nilai kekerasan dan kekuatan tariknya tertinggi yaitu nilai kekerasan pada WM 276,867 HVN; HAZ 253,000 HVN; dan BM 240,989 HVN atau setara dengan kekuatan tarik pada WM 907,35 MPa; HAZ 831,45 MPa, dan BM 786,60 MPa.

Kata kunci: Baja AISI 1030, *base metal* (BM), *heated affected zone* (HAZ), *weld metal* (WM), ferit, perlit, dan martensit

Abstract

AISI 1030 is a good material for the manufacture of general construction because it has C_{eq} 0.425% means AISI 1030 has a good weldability and not easily occur weld defects. It is also safe against the possibility of cold cracking and reheat cracking because it has a value of 0.3375% CE (cold cracks) and CE -2% (cracked reheat). In visual and the macro inspection to the weld metal for several variations of the welding current (80A, 100A, 120A, 140A, and 160A) proved not happen any welding defects. The welder who perform welding has a certificate of competency issued by the National Board for Professional Certification (BNSP), so the quality of welding can be accounted for. Grains Growth of the weld metal towards to a heat source, because the beginning of the solidification starts from the walls of the base metals to weld metal. The cooling time is also very fast which is about six (6) seconds, so that phase occurs in weld metal is the phase of ferrite and pearlite for welding current 80A and 100A, while the welding current 120A, 140A, and 160A are formed phases of ferrite, pearlite, and martensite with heat input between 4800 joules / cm up to 8400 joules / cm. The biggest grain diameter located in the base metals (BM), while the grain diameter of heated affected zone (HAZ) and weld metal (WM) the difference is relatively small. In accordance the theory that the grain diameter of smaller indicates its strength is increasing, this is proved from the results sequence of the highest hardness or the highest strength respectively located on the weld metal (WM), the heated affected zone (HAZ), and base metals (BM). From the results of the research proved that the current variation 120A has the highest hardness or the highest strengths by hardness value at WM 276.867 HVN; HAZ 253 000 HVN; and BM 240.989 HVN or equivalent with a tensile strength of at WM 907.35 MPa; HAZ 831.45 MPa, 786.60 MPa and BM.

Key word: Steel AISI 1030, base metal (BM), heated affected zone (HAZ), weld metal (WM), ferrite, pearlite, and martensite

1. PENDAHULUAN

Proses pengelasan busur manual adalah proses yang paling banyak digunakan di masyarakat, baik untuk keperluan industri kecil, menengah, maupun besar. Dengan demikian pada saat ini maupun masa mendatang banyak dibutuhkan tenaga-tenaga welder yang berkualitas dan berstandar.

Penelitian yang berkaitan dengan pengelasan sambungan sudut (*fillet*) dengan proses las busur manual bertujuan untuk :

1. Mengetahui kualitas material pelat baja AISI 1030 terhadap sifat mampu las dan kepekaan retak.
2. Mengetahui pengaruh variasi arus pengelasan Las Busur Manual pada posisi pengelasan 2F terhadap struktur mikro yang terbentuk pada daerah sambungan las.
3. Mengetahui pengaruh variasi arus pengelasan Las Busur Manual pada posisi pengelasan 2F terhadap sifat mekanik lasan.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai masukan bagi pelaksanaan diklat LBM Dasar yang akan datang agar dapat meningkatkan kualitas peserta diklat.

pengamatan hasil pengujian. Penelitian ini berdasarkan pada variabel yang telah ditentukan.^[2] Spesimen untuk analisis penelitian digunakan lasan SMAW. Data-data *base metal* (BM) dan proses Las Busur Manual diambil dari studi literatur dan jurnal-jurnal, sedangkan pembahasan penelitian diperoleh dari pengujian struktur mikro dan sifat mekanik. Diagram alir metode penelitian dapat dilihat pada gambar 1.

2. Kajian Pustaka

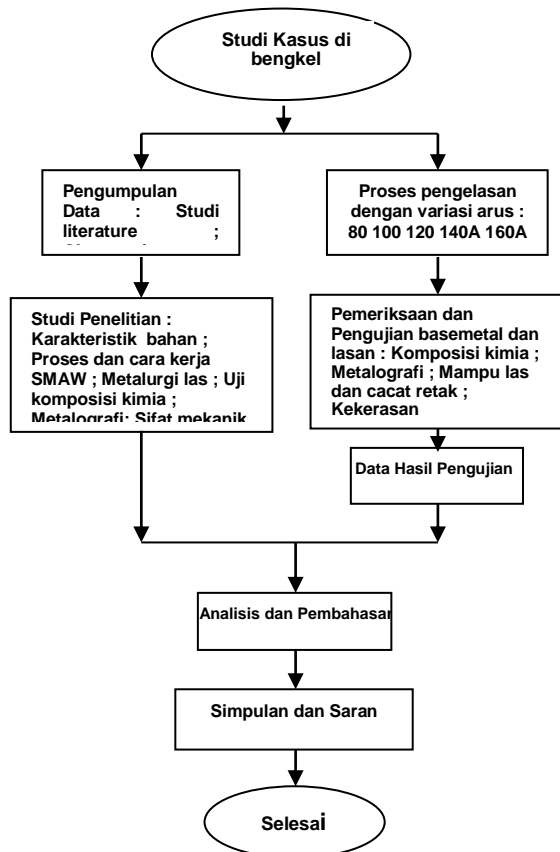
Definisi pengelasan menurut *American Welding Society* (AWS) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, mengelas adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Dalam proses penyambungannya ada yang disertai dengan tekanan dan pemberian material tambahan (*filler*).^[3]

Salah satu dari beberapa proses pengelasan adalah Las Busur Manual (*Shielded Metal Arc Welding/SMAW*), suatu proses pengelasan yang panasnya diperoleh dari nyala busur listrik dengan menggunakan elektroda yang berselaput. Elektroda berselaput ini berfungsi sebagai bahan pengisi dan memberi perlindungan terhadap kontaminasi atmosfer. Operator las memegang penjepit elektroda (tang las) yang berisolasi dan menarik busur pada posisi dimana sambungan dibuat. Penjepit/ pemegang elektroda menjepit ujung elektroda yang tidak berselaput untuk mengalirkan arus listrik. Elektroda mencairkan logam dasar dan membentuk terak las pada waktu yang bersamaan; ujung elektroda mencair dan bercampur dengan bahan yang di las.

Las Busur Manual termasuk salah satu proses las yang paling banyak digunakan dalam proses manufaktur dan perbaikan barang-barang mekanik dan konstruksi, tetapi tidak seefisien jenis-jenis las semi otomatis yang lain, karena memerlukan waktu untuk mengganti elektroda dan harus membersihkan terak, akan tetapi peralatan lebih murah, lebih mudah mengoperasikan dan hanya memerlukan pemeliharaan sederhana. Posisi pengelasan yang berbeda dan dapat digunakan di bengkel atau di lapangan, sehingga banyak digunakan pada pekerjaan keteknikan, mulai dari yang ringan sampai berat. Misalnya untuk saluran, bejana bertekanan dan rangka baja untuk konstruksi bangunan serta industri alat berat dan perkapalan. Berikut ini beberapa contoh aplikasi penggunaan proses las busur manual, antara lain :

- a. Sambungan-sambungan kaki kolom,
- b. Konstruksi baja
- c. Balok-balok penyangga,
- d. Bejana bertekanan,
- e. Alat berat, dll.

Jenis elektroda menurut salutannya adalah sbb:



Gambar 1. Diagram alir Metode Penelitian

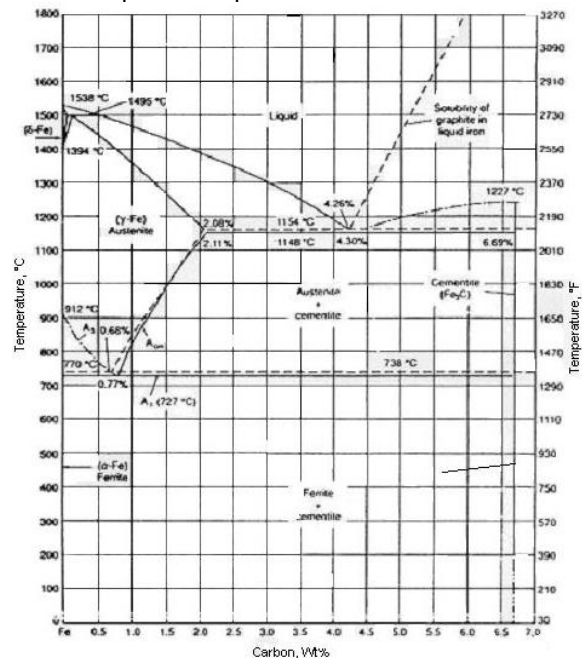
Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen (*experimental research*) yang di laksanakan di *workshop*, laboratorium, dan

- a. Elektroda rutile (E 6012 dan E 6013) dinamakan juga elektroda untuk tujuan umum. Mengandung rutil (utama) mudah digunakan untuk semua posisi menghasilkan penembusan yang sedang dan rigi las bersih. E 6012 mengandung rutile natrium dan E 6013 mengandung rutile kalium. E 6013 menghasilkan cairan terak yang lebih encer dan terak mudah lepas, elektroda ini lebih sesuai untuk pengelasan posisi di atas kepala dan tegak, untuk mesin yang mempunyai *out put* rendah E xx13 lebih mudah dinyalakan bila dibanding E xx12.
- b. Elektroda Cellulose (E xx10 dan E xx11). Mempunyai salutan yang tipis dan mengandung banyak cellulose yang dapat menghasilkan gas pelindung sangat banyak. Elektroda ini khusus untuk penembusan yang dalam seperti akar lasan pada sambungan tumpul dengan volume terak yang kecil juga baik digunakan untuk pengelasan yang memerlukan perubahan posisi selama pengelasan berlangsung, misal pengelasan pipa. Perbedaan pemakaian E xx10 dan E xx11 terletak pada mesin las yang digunakan : E xx10 digunakan pada DC dan E xx11 dapat digunakan pada AC / DC.
- c. Elektroda serbuk besi (E xx24 dan E xx27) Mempunyai kandungan flux yang dapat melindungi cairan logam dari udara disekitarnya dan dapat menambahkan sejumlah kecil unsur-unsur lain, seperti : carbon, silikon, mangan. Elektroda yang mempunyai salutan lebih tebal berisi lebih banyak serbuk besi, hasil lasan lebih cepat dan lebih lebar. Dua angka terakhir menunjukkan kandungan serbuk besi dan pada umumnya lebih tinggi angkanya, lebih banyak serbuk besi dan lebih besar ampere yang digunakan.
- d. Elektroda hidrogen rendah (E xx15, E xx16, dan E xx18) Dapat mencegah masuknya gas hidrogen dan udara ke kawah las, seperti diketahui bahwa gas hidrogen di dalam cairan logam akan mengakibatkan keretakan di dalam. Elektroda ini biasanya digunakan pada pengelasan baja-baja yang mengandung lebih banyak karbon daripada baja lunak. Selain itu juga digunakan untuk baja paduan yang mengandung sejumlah besar unsur paduan seperti : chromium, malibdenum, vanadium, mangan, sulfur, dll. Salutan yang terlalu keluar kadang-kadang menyebabkan sukar menghasilkan busur. Elektroda ini kurang baik digunakan dengan mesin yang mempunyai voltage output rendah. Disarankan pengelasan dengan busur pendek dan elektroda disimpan di tempat yang kering.

Penentuan temperatur pemanasan dan laju pendinginan yang diberikan pada logam, sehingga diperoleh sifat mekanik dan struktur mikro yang diinginkan berpedoman pada diagram fasa. Diagram

fasa adalah suatu peta yang memberikan hubungan antara beberapa fasa (fasa kesetimbangan dan metastabil) dalam suatu sistem paduan sebagai fungsi temperatur, tekanan dan komposisi kimia. Keadaan setimbang dari suatu sistem adalah keadaan yang paling stabil dengan energi bebas sistemnya minimum, sedangkan keadaan metastabil merupakan keadaan stabil untuk kondisi tertentu atau keadaan antara^[5].

Untuk baja digunakan diagram fasa Fe – Fe₃C sedangkan diagram fasa Fe – C dan Fe – Fe₃C. Kandungan karbon di dalam baja tidak pernah melebihi 2%, kandungan karbon yang tinggi lebih dari 2% akan dikelompokkan ke dalam besi cor^[3]. Proses pemanasan dalam perlakuan panas tidak boleh melebihi temperatur melting (garis solidus). Diagram fasa dapat dilihat pada Gambar 2. Sedangkan letak titik (*arrest point*) pada diagram fasa ini dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 2. Diagram fasa Fe – C dengan kadar karbon maksimum 7% [6]

Tiga alotropi besi murni adalah α-Fe (BCC), γ-Fe (FCC) dan δ-Fe (BCC). Atom karbon yang kecil larut dan menempati lokasi interstisi dalam alotropi tersebut, dan membentuk tiga larutan padat primer : masing-masing fasa-α (ferrit), fasa-γ (austenit) dan fasa-δ (ferrit). Pada ujung lain terdapat fasa intermediet ortorombik Fe₃C yang disebut sementit^[7].

Tabel 1 Letak titik pada diagram fasa [8]

Letak Tt	Temperatur	Arti
A1	727°C	Transformasi eutektoid austenit, ferrit, & sementit
A2	770 °C	Perubahan sifat magnetik dan sifat lainnya pd. ferrit (bukan perubahan fasa).

A3	727 – 910°C	Permulaan terpisahnya ferit dari austenit selama pendinginan, terjadi penyempurnaan larutan ferit dalam austenit selama pemanasan.
A1 (Fe murni)	910°C	Temperatur besi murni mengalami perubahan kristalografi dari struktur BCC menjadi FCC
Acm	727 – 1148°C	Kurva pengkayaan untuk fasa austenit dengan kadar karbon di atas komposisi eutektoid
A4	1394°C	Pendinginan pada daerah ini, sementit akan terpisah Transformasi austenit menjadi besi δ (Fe- δ).

Definisi Beberapa Struktur Pokok dalam Diagram Fasa Fe – C:

- Austenit adalah nama struktur yang ditetapkan sebagai larutan padat γ dengan kemampuan larut maksimum austenit sebesar 2% C pada suhu 1.130°C. Di bawah kondisi tertentu struktur austenit dimungkinkan dapat terbentuk pada suhu ruang. Sifat-sifat austenit yaitu tegangan tarik 150.000 psi, perpanjangan 10%, kekerasannya sebesar 40 HRC, dan keuletan yang tinggi.
- Sementit adalah berbentuk karbida besi dengan simbol Fe₃C, mengandung 6,67 % C dari beratnya. Sifat sementit adalah keras dan getas dengan tegangan tarik 5.000 psi tetapi tegangan kompresinya cukup tinggi.
- Ladeburit adalah nama struktur campuran dari austenit dan sementit. Ladeburit terbentuk dengan kadar karbon 4,3 % pada suhu 1.130°C.
- Ferit adalah struktur yang berlaku pada larutan padat α . Yaitu suatu larutan padat dengan sejumlah kecil kadar karbon yang larut dalam besi α BCC. Sifat mampu larut maksimum struktur ferit adalah sebesar 0,025 % C pada suhu 723°C dan pada suhu ruang hanya mampu larut 0,008 % C. Struktur ferit sifatnya sangat lunak dengan tegangan tarik sekitar 40.000 psi, perpanjangan 40 %, dan kekerasannya kurang dari 90 HRB.
- Perlit, adalah campuran eutektoid dengan kadar karbon 0,8 % dan terbentuk pada suhu 723°C dengan pendinginan yang sangat lambat. Perlit merupakan struktur seperti lapisan-lapisan tipis dan rata yang baik, atau berbentuk campuran lamelar dari struktur ferit dan sementit. Struktur ferit berwarna putih cerah sebagai latar belakang berbentuk matrik dari campuran eutektoid dengan sementit berbentuk lapisan tipis dan rata. Sifat-sifat dari struktur perlit yaitu tegangan tarik sebesar 120.000 psi, perpanjangan 20 % dan kekerasan sekitar 20 HRC, 95 – 100 HRB atau 250 – 300 HB.[9]

Material AISI 1030 adalah baja etektoid yang digunakan untuk kebutuhan konstruksi dengan

kekuatan sedang, komposisi kimianya terdiri dari 0,30% C dan sisanya Fe termasuk *low carbon steel*.

Dalam proses pengelasan, sifat mampu las (*weldability*) logam dasar (*base metal*/BM) merupakan bagian penting yang dapat mempengaruhi kualitas hasil pengelasan. Sifat mampu las baja dapat diketahui dengan pengujian tak merusak pada daerah lasan dan hasil pemeriksaan cacat lasan dengan menggunakan ultrasonik atau radiografi.

Jenis sambungan pengelasan yang biasa digunakan adalah dengan mencairkan logam dasar di daerah sambungan dengan/atau tanpa logam pengisi (*filler*). Daerah sambungan las menjadi daerah rentan timbulnya kegagalan pengelasan, ini diakibatkan oleh adanya pencairan logam dan tambahan logam pengisi yang mengisi kampuh las sehingga terjadi diskontinuitas struktur mikro dan sifat mekanik (terjadi perbedaan struktur mikro antara daerah sambungan dengan logam dasar yang menyebabkan sifat mekaniknya akan berbeda).

Mampu las baja dipengaruhi dua faktor yaitu karbon ekuivalen (*Ceq*) dan parameter retak las. Sebagai aturan umum, suatu baja dinyatakan dapat dilas dengan baik jika $Ceq \leq 0,45$ %. [10] Harga tersebut diperoleh dari unsur-unsur paduannya yang mempengaruhi karakteristik transformasi. Unsur paduan dapat menggeser kurva C (*nose*) pada diagram CCT bergerak ke waktu pendinginan yang lebih lama (ke kanan) atau lebih singkat (ke kiri). Pada prinsipnya *Ceq* dapat mengindikasikan jenis/tipe struktur mikro dan sifat kekerasan yang akan terjadi pada daerah pengaruh panas (HAZ) sebagai fungsi laju pendinginan. Secara lebih khusus, *Ceq* mengindikasikan martensit dapat terbentuk atau tidak. Jadi hubungan antara *Ceq* dengan nilai kekerasan linier berbanding lurus artinya semakin besar nilai *Ceq*, maka angka kekerasan pada daerah pengaruh panas (HAZ) akan semakin tinggi pula. [10]

Baja dikatakan mampu las tanpa menggunakan beberapa tindakan pencegahan khusus (pemanasan awal, pemanasan akhir) jika $Ceq \leq 0,45$ %. Mampu las tergantung juga pada ketebalan material yang akan dilas dan kandungan paduan baja. Mampu Las secara kasar dapat diperkirakan dengan menggunakan rumus kesetaraan karbon (*Carbon Equivalent*). Rumus karbon ekuivalen menurut *International Institute of Welding* (IIW) adalah sebagai berikut :

$$C_{ek} \% = C\% + \frac{Mn\%}{6} + \frac{Cr\%+Mo\%+V\%}{5} + \frac{Cu\%+Ni\%}{15}$$

Faktor yang sangat mempengaruhi sifat mampu las dari baja karbon rendah adalah kekuatan impak dan kepekaan terhadap retak las. Kekuatan impak pada baja dapat dipertinggi dengan menurunkan kadar karbon dan menaikkan kadar Mn, maka dengan naiknya harga perbandingan Mn/C.[1]

Retak lasan adalah cacat yang berbahaya bagi keamanan konstruksi lasan, karena itu retak pada lasan harus dihindari. Terdapat tiga faktor yang mempengaruhi terbentuknya retak lasan, yaitu pengerasan daerah pengaruh panas yang tergantung pada komposisi kimia baja, difusi hidrogen pada daerah pengaruh panas, dan tegangan yang terjadi pada sambungan las. Kepekaan retak tersebut meliputi retak dingin (*cold cracking*), retak panas ulang (*reheat cracking*), dan retak panas (*hot cracking*).

No	Posisi Pelat	Ukuran	Jumlah	Stand ar
1.	Vertikal	10 x 40 x 200 mm	5 potong	ASME
2.	Horizontal	10 x 80 x 200 mm	5 potong	IX

Keretakan bahan akibat proses pengelasan terjadi pada tahap akhir proses pembekuan (dibawah garis transformasi), karena pembekuan tersebut, maka sebagian struktur dendrit tidak mampu menahan konsentrasi regangan atau external restrain yang terjadi. Struktur itu terbentuk karena adanya segregasi karbon pada proses pembekuan.[11] Segregasi ini berbanding lurus dengan kadar karbon yang terbentuk. Maka jika kandungan C rendah kemungkinan terjadinya keretakan sangat kecil dan tidak cukup kisi kristal untuk terjadi segregasi.

Retak panas pada logam las biasanya disebabkan adanya fasa bertitik cair rendah dari pengotor-pengotor yang masih terdapat pada logam dasar maupun dari filler sehingga pembekuan dan pendinginan yang terjadi tidak secara homogen atau terjadi segregasi. Sedangkan retak dingin lebih disebabkan oleh penggetasan, karena pembentukan martensit maupun kandungan hidrogen pada filler yang tinggi. Cacat lasan ini dapat dilihat pada foto klise hasil tes radiografi sinar-X, jika terdapat bintik-bintik, garis, lubang, dan/atau guratan terang mengkilap tandanya terjadi cacat, tetapi bila berwarna hitam kelam maka lasan bebas dari cacat.

Kandungan karbon pada pelat baja AISI 1030 adalah 0,3% termasuk baja karbon rendah, menurut Ito dan Bessyo besarnya CE adalah :

$$CE = C\% + \frac{Si\%}{30} + \frac{Mn\%Cu\%Cr\%}{20} + \frac{Ni\%}{60} + \frac{Mo\%}{15} + \frac{V\%}{10} + 5\%B$$

Jika $CE \geq 0,35$ menunjukkan bahwa baja tersebut peka terhadap retak dingin pada daerah pengaruh panas kecuali diambil langkah untuk menurunkan jumlah kontaminasi hydrogen yang masuk dalam logam lasan (*weld pool*).^[9]

Pengelasan baja yang dipadu dengan V, B, Nb, Mo, atau Ti memacu pembentukan ferit asikular. Postweld stress relief seringkali dihindari oleh retak panas ulang dalam daerah pengaruh panas (HAZ). Kecenderungan untuk retak ulang secara kualitatif diukur dengan persamaan Ito.

$$C = 10 V + 7 Nb + 5 Ti + Cr + Cu - 2$$

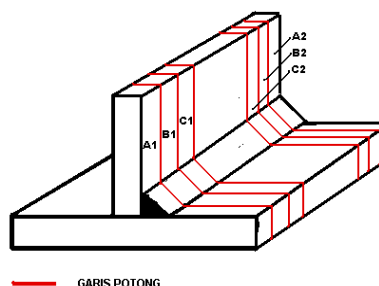
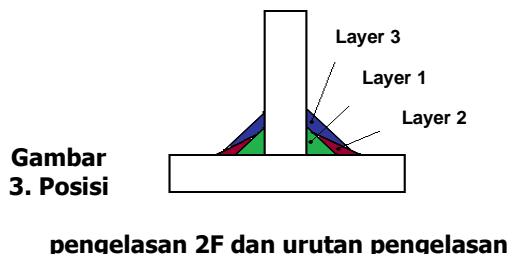
Jika ≥ 0 , baja peka terhadap retak panas ulang . Pencegahan terbaik untuk retak panas ulang adalah tidak menggunakan paduan yang dapat memberikan C yang tinggi.^[9]

3. Prosedur Penelitian

a. Persiapan

Menyiapkan material uji yaitu pelat baja AISI 1030 berjumlah 5 (lima) pasang (tabel 2) dengan ukuran sebagai berikut :

Tabel 2. Ukuran dan jumlah spesimen uji.^[18]



Setelah itu dilanjutkan dengan melakukan pengelasan proses Las Busur Manual (SMAW) pada posisi 2F (gambar 3) dengan variasi arus 80A, 100A, 120A, 140A, dan 160A menggunakan elektroda (*filler*) E-6013. Proses pengelasan *multi-pass* dengan jumlah 3 (tiga) *layer* dan harus mengikuti prosedur pengelasan dengan benar.

Setelah dilakukan pengelasan oleh welder yang bersertifikat dari Badan Nasional Sertifikasi Profesi (BNSP), selanjutnya material uji (hasil lasan) dipersiapkan untuk dijadikan spesimen uji (gambar 4) dengan cara sebagai berikut :

- 1) Bagian A1 dan A2 dihilangkan, pada bagian ini saat pengelasan belum normal dan biasanya las cacat (*tack-weld*) ditempatkan pada bagian ini.

- 2) Bagian B1 dan B2 dipersiapkan untuk spesimen uji kualitas dengan menggunakan pemeriksaan makro (makro etsa).
- 3) Bagian C1 dan C2 dipersiapkan untuk spesimen uji foto makro dan foto mikro dengan tujuan menganalisa strukturnya.

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

No	Peralatan utama	Peralatan pendukung
1.	Mesin las SMAW	Cutting disk machine
2.	Mesin poles	Gergaji tangan
3.	Mikroskop optik dengan kamera digital	Kikir
4.	Kamera SLR	Penggores
5.	Microhardness Tester	-

Bahan-bahan lain yang digunakan untuk penelitian adalah kertas *abrasive* (*mesh* 200, 500, 1000, 1500, dan 2000), kain polis, cairan etsa (nital 3%), micro SD, dan lain-lain.

b. Deskripsi Pra Pengujian

Secara teori dilakukan perhitungan tentang mampu las dan kepekaan cacat retak lasan pada logam dasar, pemeriksaan metalografi dilakukan pada daerah logam lasan (BM), logam pengaruh panas (HAZ), dan logam dasar (BM). Secara paralel juga dilakukan pengujian sifat mekanik hasil lasan dengan pengujian kekerasan Vickers (VHN) untuk memperoleh data-data yang diperlukan.

4. Hasil Penelitian

a. Hasil Pengujian Komposisi Kimia Material pelat baja AISI 1030

Hasil pengujian komposisi kimia pelat baja AISI 1030 dapat dilihat pada tabel 2. Dari data komposisi kimia ini, sifat mampu las dan kepekaan cacat retak akibat pengelasan pada pelat baja AISI 1030 akan dibahas.

Tabel 2. Komposisi kimia pelat baja AISI 1030 [11]

No	Unsur	Persentase (%)
1.	Karbon (C)	0,30
2.	Mangan (Mn)	0,75
3.	Phospor (P)	0,04
4.	Sulfur (S)	0,05
5.	Ferro (Fe)	98,86

b. Hasil Pemeriksaan Makro

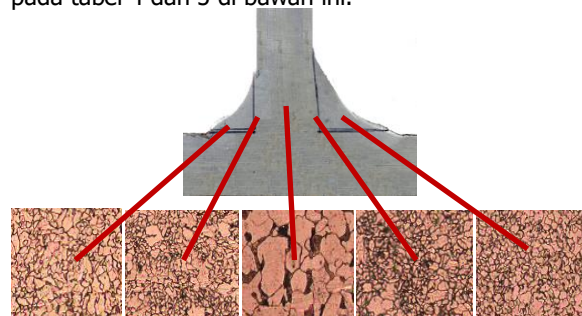
Dari hasil pemeriksaan makro untuk mengetahui kualitas hasil lasan dengan cara melakukan makro etsa terhadap spesimen uji, hasil pemeriksaan dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan makro

No	Parameter cacat	Arus (A)				
		80	100	120	140	160
1.	Incomplete Penetration (IP)	No	No	No	No	No

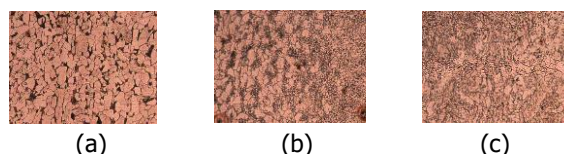
c. Metalografi

Proses metalografi diawali dengan melakukan pengampelasan, pemolesan, dan selanjutnya dietsa dengan larutan nital 3% (3 ml HNO₃, 97 ml *ethanol*), difinishing dengan dipicral 4% dengan komposisi 4 gr *picric acid* dan 96 ml *ethanol* dengan waktu kurang dari 60 detik. Pengamatan struktur mikro dengan program optimas untuk mengetahui persentase fasa, dan besar butiran (gambar 7) , rata-rata ukuran butiran dan fraksi fasa yang terkandung dalam hasil pengelasan dapat dilihat pada tabel 4 dan 5 di bawah ini.

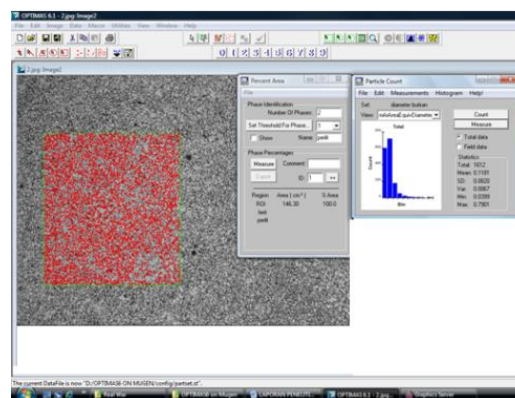


Gambar 5. Contoh struktur makro dengan pembesaran 20x dan mikro pembesaran 200x

Struktur mikro daerah hasil pengelasan dapat dilihat pada gambar 6a, 6b, dan 6c di bawah ini.



Gambar 6. Struktur mikro *base metal* (a) ; *base metal-HAZ* (b) ; *HAZ-weld metal* (c) dengan pembesaran 200x



Gambar 7. Contoh hasil tampilan program Optimas untuk mencari persentase fasa dan besar butiran

Tabel 4. Rerata besar butiran dan fraksi fasa lasan

Daerah /Variasi	Rerata Persentase Area		Rerata Butiran
	Ferit	Perlit	

Arus (A)					(pixel)	
	Cm ²	%	Cm ²	%	Ferit	Perlit
BM (80)	45,190	62,90	26,631	37,10	0,1790	0,1962
HAZ (80)	48,745	61,00	31,174	39,00	0,2195	0,2154
WM (80)	29,569	57,30	22,018	42,70	0,1729	0,2019
BM (100)	457,15	78,00	128,84	22,00	0,2569	0,2350
HAZ (100)	184,51	61,40	116,14	38,60	0,1893	0,1878
WM (100)	180,21	76,60	55,117	23,40	0,2023	0,1502
BM (120)	261,84	79,00	69,804	21,00	0,3080	0,2312
HAZ (120)	51,117	57,80	37,253	42,20	0,2051	0,1905
WM (120)	40,653	55,90	32,010	44,10	0,2121	0,2179
BM (140)	56,579	65,40	29,939	34,60	0,2791	0,2093
HAZ (140)	42,375	57,10	31,836	42,90	0,1959	0,2075
WM (140)	66,129	66,10	33,889	33,90	0,2547	0,1935
BM (160)	84,336	77,60	24,376	22,40	0,3212	0,2470
HAZ (160)	77,658	64,20	43,290	35,80	0,2145	0,2112
WM (160)	70,189	73,50	25,322	26,50	0,1977	0,1574

Tabel 5. Rerata ukuran butiran pada daerah lasan

Variasi Arus (A)	Kode Daerah	Diameter Butiran (µm)		Daerah Lasan
		Ferit	Perlit	
80	1	0,0392	0,0430	BM
	2	0,0481	0,0472	HAZ
	3	0,0379	0,0443	WM
100	1	0,0563	0,0515	BM
	2	0,0415	0,0412	HAZ
	3	0,0444	0,0330	WM
120	1	0,0675	0,0507	BM
	2	0,0450	0,0418	HAZ
	3	0,0465	0,0478	WM
140	1	0,0612	0,0459	BM
	2	0,0430	0,0455	HAZ
	3	0,0564	0,0424	WM
160	1	0,0704	0,0542	BM
	2	0,0470	0,0463	HAZ
	3	0,0434	0,0345	WM

d. Pengujian Sifat Mekanik

Melengkapi kevaliditasan analisis penelitian antara struktur mikro dengan karakteristik sifat mekanik material hasil lasan dilakukan analisis pengujian sifat kekerasan. Pengujian kekerasan dilakukan pada daerah BM, HAZ, dan WM. Alat uji kekerasan yang digunakan *Leco Micro Hardness Tester Machine Model M 400-HI* dengan pembebanan statis sebesar 100 gram, waktu penetrasi 10 detik pada 9 titik penetrasi. Di bawah ini data-data hasil pengujian kekerasan lasan dengan arus 80A, 100A, 120A, 140A, dan 160A (tabel 6 sampai 11).

Tabel 6. Distribusi Kekerasan Lasan Arus 80 Amper

Titik Uji	HVN	Rerata HVN	Rerata HBN	Daerah Lasan
1.	228,0	229,100	219	BM
2.	226,8			BM
3.	232,5			BM
1.	216,2	222,533	212	HAZ

2.	218,9	266,767	254	HAZ
3.	232,5			HAZ
1.	253,5			WM
2.	282,8	266,767	254	WM
3.	264,0			WM

Tabel 7. Distribusi Kekerasan Lasan Arus 100 Amper

Titik Uji	HVN	Rerata HVN	Rerata HVN	Daerah Lasan
1.	217,2	214,400	204	BM
2.	219,1			BM
3.	206,9			BM
1.	210,1	212,467	202	HAZ
2.	214,4			HAZ
3.	212,9			HAZ
1.	256,9	254,200	242	WM
2.	251,0			WM
3.	254,7			WM

Tabel 8. Distribusi Kekerasan Lasan Arus 120 Amper

Titik Uji	HVN	Rerata HVN	Rerata HBN	Daerah Lasan
1.	249,3	240,989	228	BM
2.	236,0			BM
3.	237,6			BM
1.	250,6	253,000	241	HAZ
2.	260,8			HAZ
3.	247,6			HAZ
1.	288,4	276,867	263	WM
2.	271,8			WM
3.	270,4			WM

Tabel 9. Distribusi Kekerasan Lasan Arus 140 Amper

Titik Uji	HVN	Rerata HVN	Rerata HBN	Daerah Lasan
1.	219,4	224,133	213	BM
2.	234,1			BM
3.	218,9			BM
1.	237,0	233,300	222	HAZ
2.	228,7			HAZ
3.	234,2			HAZ
1.	262,5	262,900	250	WM
2.	262,7			WM
3.	263,5			WM

Tabel 10. Distribusi Kekerasan Lasan Arus 160 Amper

Titik Uji	HVN	Rerata HVN	Rerata HBN	Daerah Lasan
1.	199,0	201,333	191	BM
2.	202,8			BM
3.	202,8			BM
4.	202,2			BM
1.	211,2	209,833	200	HAZ
2.	211,9			HAZ
3.	206,4			HAZ
1.	240,2	252,43	240	WM

2.	249,2	3		WM
3.	267,9			WM

Tabel 11. Perbandingan Rerata Kekerasan Daerah Lasan

Rerata HVN					Daerah Lasan
80 A	100 A	120 A	140 A	160 A	
229,100	214,400	240,989	224,133	201,333	BM
222,533	212,467	253,000	233,300	209,833	HAZ
266,767	254,200	276,867	262,900	252,433	WM

5. Pembahasan

a. Analisis Sifat Mampu Las dan Kepekaan Cacat Retak Lasan Pelat Baja AISI 1030

Karbon adalah unsur yang menstabilkan austenit sehingga meningkatkan rentang pembentukan austenit dalam baja.^[14] Austenit mempunyai struktur kristal FCC dalam pengelasan bersifat nonmagnetik dan stabil pada suhu tinggi.^[15]

Semakin banyak kadar karbon akan semakin banyak kandungan perlit, tetapi kadar karbon yang tinggi juga dapat menyebabkan peluang terbentuknya struktur martensit yang lebih besar pada waktu pendinginan. Hal ini disebabkan pada waktu pendinginan yang cepat dari 800°C sampai 200°C karbon tidak sempat untuk mengendap dan bereaksi dengan Fe membentuk karbida/sementit (Fe_3C), akibatnya terjadi distorsi kisi (pergeseran kisi) pada rangka batas butir. Ferit yang terbentuk pada batas butir akan secara cepat meningkatkan konsentrasi karbon pada butir bagian tengah dengan cara menurunkan *undercooling*. Hal ini menyebabkan pengintian yang terjadi akan lebih sulit.^[17] Kerawanan retak ini terjadi pada garis fusi logam las, karena pada batas ini terjadi penggetasan yang disebabkan butirannya sangat kasar (*most coarsening*), memungkinkan retak akibat pengelasan akan lebih besar, artinya kadar karbon yang tinggi menyebabkan mampu las menurun dan hasil pengelasan menjadi getas (*brittle*). Selain itu jika kandungan C tinggi akan menyebabkan meningkatkan kepekaan retak hydrogen pada daerah pengaruh panas. Pelat baja AISI 1030 kandungan karbonnya 0,3% dan mempunyai nilai C_{eq} 0,425% atau < 0,45% artinya baja ini dapat dilas tanpa terjadinya cacat pada waktu proses pengelasan.

Retak dingin lasan yang terjadi dihitung berdasarkan kandungan unsur paduan baja AISI 1030 yang besarnya CE 0,3375% atau < 0,35% artinya logam ini tidak peka terhadap retak dingin pada daerah pengaruh panas. Retak dingin berawal dari retak yang terjadi dengan arah melintang (*transverse crack*), hal ini disebabkan oleh interaksi dari *diffusible hydrogen supply*, kepekaan struktur mikro, dan tegangan sisa (residual stress).^[18]

Retak pemanasan ulang, baja AISI 1030 mempunyai nilai pemanasan ulang sebesar CE - 2% atau < 0, artinya CE masih sangat jauh di bawah persyaratan. Retak pemanasan ulang disebabkan oleh adanya unsur V, Nb, Mo, dan Ti. Unsur-unsur ini akan memacu pembentukan ferit asikular, sedangkan ferit asikular sangat diharapkan bila dilakukan *tempering* karena berguna untuk menurunkan tegangan sisa.^[18]

Dari uraian di atas, maka baja AISI 1030 mempunyai sifat mampu las dan kepekaan cacat retak pengerjaan pengelasan dengan nilai baik (tabel 12).

Tabel 12. Hasil Perhitungan Sifat Mampu Las dan Kepekaan Cacat Retak Pelat Baja AISI 1030 akibat Proses Pengelasan

No	Kepekaan retak	Nilai CE	Keterangan
1.	Mampu las	0,425%	Baik
2.	Retak dingin	0,3375%	Aman
3.	Retak pemanasan ulang	- 2%	Aman

b. Analisis Struktur Mikro dan Sifat Mekanik

Dalam proses pengelasan adanya sumber panas (*heat source*) yang bergerak akan menghasilkan 3 daerah utama, yaitu logam lasan (*weld metal/WM*), daerah pengaruh panas (*Heat Affected Zone/HAZ*), dan logam dasar (*Base Metal/BM*). Struktur mikro yang terbentuk pada daerah logam lasan dipengaruhi oleh perilaku pembekuan daerah sambungan las (*weld pool*). Proses pembekuan yang terjadi akan mengontrol ukuran dan bentuk butir, segregasi, distribusi inklusi dan porositas. Sehingga laju pertumbuhan, gradien temperatur, *undercooling*, dan komposisi paduan menjadi parameter yang penting dalam mempelajari pembentukan struktur mikro pada sambungan las.

Dari data dapat diamati bahwa pada proses SMAW dengan variasi pada arus pengelasannya telah terjadi pembentukan struktur mikro yang berbeda dari logam lasan hingga logam dasar. Struktur mikro yang diperlihatkan, menunjukkan proses pembekuan lasan mengarah pada sumber panas (*epitaxial structure*). Dalam prakteknya kristal cenderung tumbuh disepanjang arah kristalografi yang disukai < 100 >, hal ini terjadi pada kristal kubik seperti pada BCC dan FCC. Struktur lasan ini bermuara dan membentuk struktur dendritik yang bercabang-cabang mengarah pada sumber panas. Struktur dendrit ini terbentuk karena segregasi karbon pada pembekuan dan bersifat getas dan keras.^[17]

Struktur mikro baja tergantung pada waktu pendinginan dari temperatur austenit ke temperatur kamar. Dalam memprediksi waktu pendinginan yang

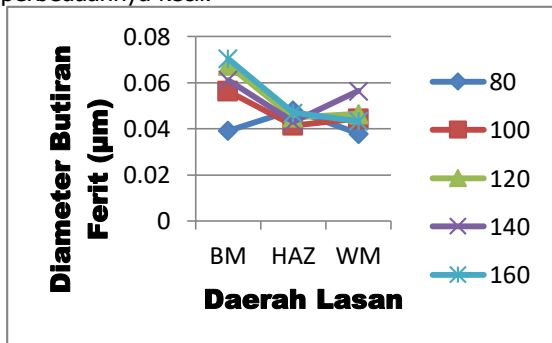
terjadi pada proses pengelasan digunakan nomograf Inagaki. Setelah itu diplotkan waktu pendinginan terhadap diagram CCT pada material tersebut. Dari diagram ini dapat diketahui waktu pendinginan yang terjadi adalah sekitar 6 detik dari temperatur 800°C sampai 500°C. Selanjutnya mengikuti perubahan transformasi fasa yang terjadi pada garis lengkung mulai dari temperatur 800°C (garis vertikal) sampai pada temperatur kamar. Adapun prediksi transformasi fasa yang terjadi sebagai berikut :

- 1) Transformasi fasa yang terjadi pada garis bantu CCT dengan waktu pendinginan 6 detik adalah austenit berubah menjadi ferit berawal dari temperatur 700 °C dan berakhir pada temperatur 590 °C (bersamaan dengan mulai terbentuknya fasa perlit).
- 2) Pembentukan fasa perlit berakhir pada temperatur 550 °C (bersamaan dengan mulai terbentuknya fasa martensit). Pembentukan fasa martensit berakhir sampai temperatur 500 °C. Dari analisa ini maka dapat memprediksi fasa yang akan terjadi yaitu ferit, perlit dan martensit.

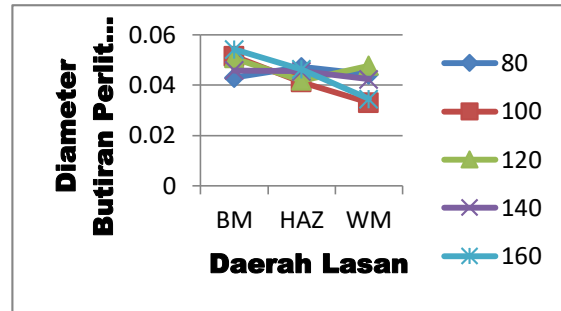
Struktur mikro lasan SMAW berbentuk ferit asikular yang berukuran kasar (*coarse*), hal ini terjadi karena pengelasan berulang yang menyebabkan lasan pertama mengalami pemanasan ulang yang diakibatkan fasa ferit asikular tumbuh membesar.

Pada gambar 8, dapat diamati dan dianalisis daerah logam lasan (*weld meta*). Temperatur yang terjadi pada daerah logam lasan di atas garis A₃ (di atas titik cairnya) menyebabkan laju pendinginan yang terjadi sangat cepat. Strukturnya berbentuk pilar (*dendrite*) dengan arah struktur sesuai dengan arah pembekuan.

Pada gambar 9, dapat dilihat hubungan ukuran diameter butiran dengan daerah lasan (BM, HAZ, dan WM) pada variasi arus 80A, 100A, 120A, 140A, dan 160A. Secara keseluruhan menunjukkan bahwa butiran pada logam dasar (*base meta*) berdiameter lebih besar dibandingkan dengan daerah pengaruh panas (HAZ) dan daerah lasan (WM), karena waktu pembekuannya sangat singkat (6 detik), maka ukuran butiran daerah pengaruh panas (HAZ) dan logam lasan (WM) relatif mendekati, artinya ukuran butiran HAZ dan WM perbedaannya kecil.

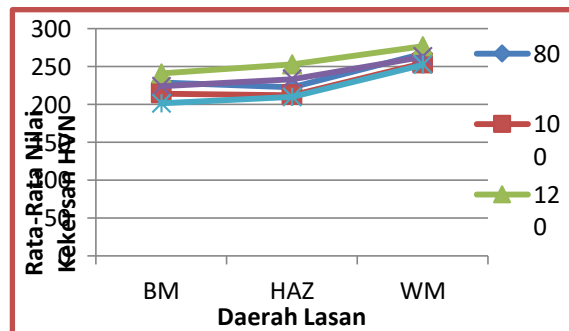


Gambar 8, Grafik hubungan ukuran butiran Ferit terhadap daerah Lasan



Gambar 9. Grafik hubungan ukuran butiran Perlit terhadap daerah Lasan

Distribusi kekerasan merata pada daerah lasan seperti yang ditunjukkan pada gambar 10, tentang grafik hubungan nilai kekerasan dengan daerah lasan terlihat bahwa terjadi perbedaan nilai kekerasan yang signifikan dari ketiga daerah yaitu daerah BM, HAZ, dan WM. Dari 5 (lima) variasi arus nilai kekerasan yang tertinggi terdapat pada arus 120 Amper. Jika dilihat dari struktur mikronya, maka hal ini bisa dipahami karena struktur mikro pada arus 120 amper mempunyai fasa martensit. Sesuai dengan sifatnya bahwa fasa martensit mempunyai nilai kekerasan yang baik.



Gambar 10. Grafik hubungan nilai kekerasan terhadap daerah lasan

6. Simpulan dan Saran

Berdasarkan pada pembahasan yang telah diuraikan pada bab IV dan mengacu pada metode penelitian, maka dapat ditarik beberapa simpulan dan saran sebagai berikut :

a. Simpulan

- 1) Material pelat baja AISI 1030 mempunyai nilai C_{eq} 0,425% artinya sifat mampu las baik. Logam ini aman terhadap retak dingin dan retak pemanasan ulang karena nilai C_{ENy} dibawah ambang batas yang ditentukan (nilai

CE retak dingin 0,3375% dan nilai CE retak pemanasan ulang -2%).

- 2) Hasil pemeriksaan cacat las dengan pengamatan visual dan pemeriksaan makro (etsa) , di daerah lasan tidak ditemukan cacat las khususnya cacat *incomplete penetration* (IP).
- 3) Arah pembekuan (pertumbuhan butiran) pada logam lasan menuju sumber panas, karena awal pembekuan terjadi dimulai dari dinding logam dasar menuju logam lasan.
- 4) Pada variasi arus 80A dan 100A fasa yang terjadi ferit dan perlit, sedangkan variasi arus 120A, 140A, dan 160A adalah ferit, perlit, dan martensit. Hal ini sesuai dengan waktu pendinginan yang cukup cepat yaitu sekitar 6 (enam) detik dan unsur karbon yang rendah 0,3% pada *heat input* antara 4800 *joule/cm* sampai dengan 8400 *joule/cm*.
- 5) Diameter butiran yang terbesar berlokasi pada logam dasar (BM), sedangkan pada daerah pengaruh panas (HAZ) dan logam lasan (WM) perbedaan diameter butirannya relatif kecil karena waktu pendinginan sangat singkat 6 (enam) detik.
- 6) Nilai kekerasan secara umum yang tertinggi berlokasi pada logam lasan (WM), daerah pengaruh panas (HAZ), dan logam dasar (BM). Secara khusus nilai kekerasan yang tertinggi pada variasi arus 120 Amper dengan nilai kekerasan WM 276,867 HVN, HAZ 253,000 HVN, dan BM 240,989 atau setara dengan kekuatan tarik WM 907,35 MPa, HAZ 831,45 MPa, dan BM 786,60 MPa.

b. Saran

- 1) Pada konstruksi umum yang disambung dengan proses pengelasan, maka disarankan menggunakan material baja AISI 1030 karena tidak diperlukan pemanasan awal, tidak terjadi retak dingin, dan retak pemanasan ulang.
- 2) Bila dalam proses pengelasan posisi 2F menginginkan hasil las tanpa fasa martensit, maka disarankan arus yang digunakan adalah 80A sampai dengan 100A, bila menginginkan hasil las mempunyai fasa ferit, perlit, dan martensit, maka arus yang digunakan 120A sampai 160A.
- 3) Untuk pengelasan posisi lainnya silahkan dilakukan penelitian agar diperoleh informasi yang lebih lengkap tentang material baja AISI 1030.

DAFTAR PUSTAKA

- Wirjosumarto, Harsono dan Toshie Okumura (1985), *Teknologi Pengelasan Logam*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Nazir, Moch., (2003), *Metode Penelitian dan Prosedur Penelitian*, Angkasa, Jakarta.
-, *Welding Handbook*, Volume 2, (1992), *Welding Process American Welding Society*, 2nd ed.
- Basuki, E.A. (2005), *Transformasi Fasa Lanjut*, Program Pascasarjana Rekayasa Mineral dan Metalurgi ITB.
- Basuki, E.A. (2004), *Metalurgi Fisika*, Option Metalurgi, Departemen Teknik Pertambangan ITB.
- (2001), *Heat Treating*, forth edition, fifth printing, *Metal Handbook*, American Society for Metals, Metal Park, Ohio.
- Smallman, R.E., Bishop, R.J., Djaprie, S. (2000), *Metalurgi Fisik Modern dan Rekaya Material*, Erlangga, Jakarta.
- Wilson, R. (1975), *Metalurgy and Heat Treatment of Tool Steels*, McGraw-Hill, Book Company Limited, Maidenhead, England
-, (1983), *Welding, Brazing and Soldering*, *Metal Handbook Volume 6*, American Society for Metal, Ohio.
-, (1982) *Metal and Their Weldability*, *Welding Handbook Volume 4*, American Welding Society, 7nd ed.
- (2002), *Engineering Properties of Steel*, Seventh Printing, American Society For Metals, Metals Park, Ohio.
- Easterling, Kenneth., (1983), *Introduction to Physical Metallurgy of Welding*, Butterworth, London.
- Indachea, J.E., *Heat Treating of Steels and Metallic Materials*, University of Illinois of Chicago Civil & Materials Engineering Dept, Heat %20 Treatment %20 of %20 Steel %20 and %20 Metallic %20 Materials 551 % 5D.Pdf.
- Krauss, George. (1989), *Steel Heat Treat and Processing Principles*, ASM International, Ohio.
- Surdia, Tata, dan Saito, Shinroku. (1995), *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Smith, W.F. (1981), *Structure and Properties of Engineering Alloys*, McGraw-Hill Publishing Co.
- Porter, D.A., and Easterling, K.E., (1992), *Phase Transformation in Metal and Alloys*, Chapman & Hill, London.
-, (1999), *Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators*, The American Society of Mechanical Engineers, Three Park Avenue, New York.