

PENGARUH PERLAKUAN PANAS DIAWAL DAN AKHIR TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS PADA PENGELASAN BAJA KARBON SEDANG

Jarot Wijayanto¹, Murdjani², Anhar Khalid³
^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banjarmasin
E-mail : jarot@poliban.ac.id

INTI SARI

Penelitian Pengaruh Perlakuan Panas Diawal dan Akhir Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis pada Pengelasan Baja Karbon Sedang guna menghilangkan tegangan sisa (Residual Stress) akibat perbedaan panas pada daerah logam induk, daerah terpengaruh panas (HAZ) dan logam lasan akibat proses pengelasan. Kajian dititik beratkan pada bagaimana pengaruh pemanasan diawal dan akhir pengelasan baja karbon sedang terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro.

Proses pengelasan pada baja karbon sedang (EMS-45) ketebalan 10 mm menggunakan las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) dengan heat input sebesar 925,5 J/mm pemanasan diawal konstan sebesar 400 oC dan kombinasi pemanasan akhir 550, 600 dan 650 oC. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian pemanasan awal 400 oC dan akhir 650 oC menaikkan tegangan tarik 37,5 % dibanding dengan specimen tanpa perlakuan panas. Nilai distribusi kekerasan specimen yang mengalami perlakuan panas terjadi peningkatan kekerasan pada bagian daerah logam las menuju bagian HAZ halus dan akan mengalami penurunan kembali ke arah logam induk. Sedangkan hasil pengamatan struktur mikro, perlakuan panas yang diberikan dapat memperhalus butir khususnya pada daerah HAZ tidak seperti yang terjadi pada spesimen pada daerah logam induk

Kata kunci : tegangan sisa, HAZ, SMAW.

PENDAHULUAN

Pengelasan adalah salah satu penyambungan tetap dua buah logam yang dilakukan dalam keadaan cair (lumer). Banyak manfaat yang diperoleh dari sambungan dengan menggunakan bantuan las, tetapi dilain sisi juga tidak sedikit masalah-masalah yang timbul dan harus diatasi berkaitan dengan sifat fisik, sifat mekanik, dan sifat kimia dari material yang di las. Salah satu contoh dari masalah tersebut adalah terjadinya perbedaan struktur mikro yang cukup menonjol antara lain daerah terpengaruh panas (*heat affected zone* atau *HAZ*) dengan logam induknya akibat dari pengaruh panas yang ditimbulkan pada waktu melakukan pengelasan cair. Selain itu pengelasan juga dapat menimbulkan terjadi retak las pada daerah logam las dan daerah *HAZ* baik akibat adanya tegangan sisa maupun akibat dari cara pengelasan yang kurang memenuhi prosedur

sehingga dapat mengurangi ketangguhan dari sambungan las tersebut.

Pada pengelasan (misalnya) dengan menggunakan las cair jenis las busur listrik dengan elektroda terbungkus (*Shielded Metal Arc Welding* atau *SMAW*) akan mengakibatkan logam yang terkena busur las mencair sehingga daerah logam las pernah mencair artinya pernah mencapai temperatur yang tinggi pula. Bahkan pada pengelasan baja, di sekitar logam las akan mencapai temperatur *austenit* dimana setelah temperaturnya turun maka fasa di sekitar logam las akan berubah (tidak sama dengan logam induknya). Pada baja karbon sedang dan tinggi serta baja paduan mempunyai resiko terjadi fasa *martensit* yang getas di daerah sekitar logam las.

Aris Mawardi, (2006) tekanan gas pelindung sangat berpengaruh pada

pengelasan baja, kekuatan tarik tertinggi pada tekanan gas 10 bar yaitu 43,067 kg/mm², dan kekuatan tarik terendah pada tekanan 5 bar yaitu 32,399 kg/mm², pengujian dilakukan dengan menggunakan tiga sample untuk setiap variasi tekanan sedangkan pada pengujian kekerasan justru terjadi peningkatan kekerasan akibat dari variasi tekanan gas pelindung terutama pada tekanan 20 bar 43,16 HRC.

I Made Suparso Putra, (2006) meneliti Pengaruh Pengelasan Pada Las Titik Terhadap Nilai Kekuatan Geser Dan Struktur Mikro Pada Bahan Baja Karbon Rendah (MS). Dari perhitungan atau pengolahan data uji tarik dapat disimpulkan bahwa nilai uji tarik maksimum tertinggi adalah 39,3 kg/mm² ini terjadi pada arus 6 Amper sedangkan nilai kekuatan tarik terendah adalah 7,02 kg/mm² dan terjadi pada arus 4 Amper.

Dwi Susanto, (2007) mengatakan bahwa untuk mengelas pipa JIS G 3445 dengan las MIG maka arus yang dipergunakan sebaiknya 100 Amper dengan tekanan gas 6 kg/cm². Dan struktur mikro yang terbentuk pada daerah las, daerah batas las, daerah HAZ, dan daerah logam induk mayoritas tersusun atas struktur ferit dan sedikit perlit.

Pemanasan awal dan akhir pada temperatur tertentu terhadap logam yang akan di las merupakan salah satu cara untuk meminimalkan terjadinya retak las dan perbedaan struktur mikro terutama antara daerah logam induk dengan daerah yang terpengaruh panas. Waktu pendinginan maka akan menyebabkan material menjadi bersifat keras tetapi getas, tetapi apabila laju pendinginan terlalu lambat akan membentuk sifat lunak tetapi ulet, sehingga kecepatan pendinginan yang nantinya digunakan harus dipertimbangkan dengan matang sesuai kebutuhan.

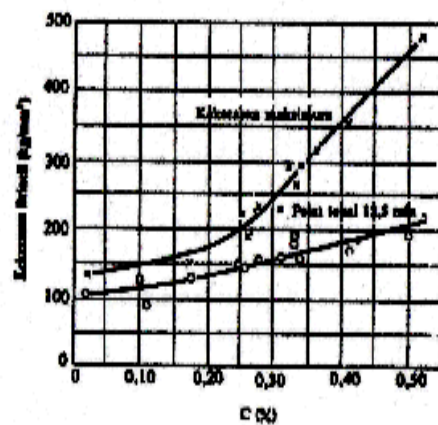
Perbedaan Temperatur pada logam induk dengan daerah yang terpengaruh panas menyebabkan kualitas sambungan yang kurang baik. Dari latar belakang permasalahan tersebut diatas penulis ingin mengetahui sejauh mana pengaruh pemanasan diawal dan akhir pengelasan baja karbon sedang terhadap kekuatan tarik. Bagaimana pengaruh pemanasan

diawal dan akhir pengelasan baja karbon sedang terhadap kekerasan. Dan bagaimana pengaruh pemanasan diawal dan akhir pengelasan baja karbon sedang terhadap struktur mikro.

Tujuan Penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik sifat proses pengelasan setelah diberikan perlakuan panas dari sifat kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro hasil pengelasan.

FUNDAMENTAL

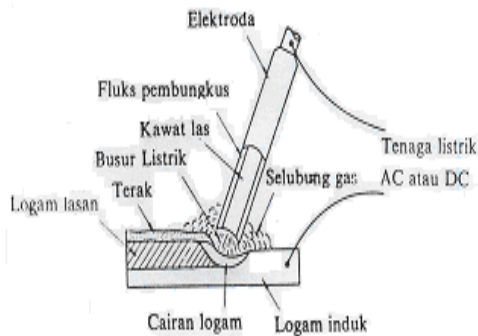
Baja karbon sedang dan tinggi banyak mengandung karbon dan unsure lain yang dapat memperkeras baja. Karena itu daerah pengaruh panas atau HAZ pada baja ini mudah menjadi keras bila dibandingkan dengan baja karbon rendah. Hubungan antara kekerasan maksimum yang dapat dicapai dan kadar karbon dapat dilihat dalam Gambar 1. Sifatnya yang mudah menjadi keras ditambah dengan adanya hydrogen difusi menyebabkan baja ini sangat peka terhadap retak las. disamping itu pengelasan dengan menggunakan elektroda yang sama kuat dengan logam lasnya mempunyai perpanjangan yang rendah. Terjadinya retak dapat dihindari dengan pemanasan mula dengan suhu yang sangat tergantung dari pada kadar karbon atau harga ekuivalen karbon.



Gambar 1. Hubungan antara Kekerasan Maksimum pada daerah HAZ dan Kadar Karbon dan Baja Karbon (Wiryo Sumarto)

Prinsip kerja SMAW (Shielded Metal Arc Welding) ditunjukkan oleh gambar 2 Busur listrik terbentuk diantara logam induk dan ujung elektroda. Karena panas dari busur ini maka logam induk dan ujung elektroda tersebut

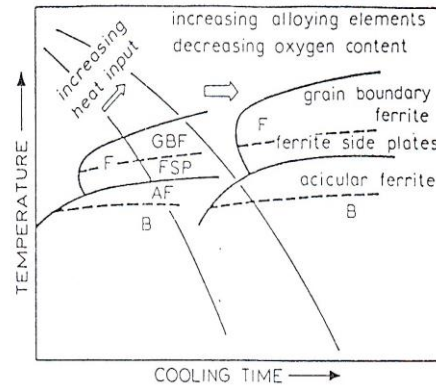
mencair yang selanjutnya akan membeku bersama. Logam cair ini terlindung dari oksidasi oleh gas dan terak yang berasal dari fluks. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Untuk arus listrik yang besar, butiran logam cair dari ujung elektroda yang dipindahkan kelogam induk berbentuk halus. Sebaliknya untuk arus rendah, butiran-butiran yang dipindahkan berbentuk kasar. Panas busur listrik dipengaruhi oleh intensitas arus dan panjang busur. Diameter dan bahan elektroda akan menentukan jenis dan jumlah arus listrik yang dibutuhkan. Besarnya temperature pada pusat busur untuk las busur elektroda terbungkus adalah antara $4.726,8\text{ }^{\circ}\text{C} - 5.726,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Gambar 2. Prinsip Kerja SMAW (Shielded Metal Arc Welding) (Wiryo Sumarto)

Proses pengelasan akan mengakibatkan logam di sekitar lasan mengalami siklus termal cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan-tegangan termal. Hal ini sangat erat hubungannya dengan ketangguhan, cacat las, retak dan lain sebagainya yang pada umumnya mempunyai pengaruh yang fatal terhadap keamanan dan konstruksi yang di las. Siklus termal merupakan proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan. Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi kualitas sambungan. Skema yang menggambarkan kondisi relatif fasa logam las dan struktur mikro dapat diamati pada Gambar 3. Banyak sekali usaha pendekatan untuk menentukan laju pendinginan logam las untuk mengetahui struktur mikro yang terjadi. Struktur mikro logam las paduan

dipengaruhi oleh masukan panas (*heat input*) dan kandungan oksigen dalam logam las (Horrison dan Farrar, 1989).



Gambar 3. Skema yang menggambarkan struktur mikro untuk logam las (Horrison dan Farrar, 1989)

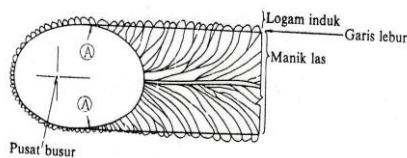
Struktur mikro yang mungkin terjadi di logam las adalah ferit batas butir (*grain boundary ferrite* atau α) yang terbentuk pertama kali pada transformasi γ menjadi α sepanjang batas butir austenit dari temperatur $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $650\text{ }^{\circ}\text{C}$, Widmanstättent *ferrite* (α_w) yang tumbuh pada temperatur $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada arah dalam butir disepanjang batas butir austenit, *acicular ferrite* (α_a) yang biasanya terbentuk pada temperatur $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ di dalam butir dengan orientasi acak. Bainit (B) yang merupakan ferit terbentuk pelat dengan Fe_3C diantara pelat-pelat tersebut dan martensit (M) yang terbentuk jika terjadi proses pendinginan sangat cepat dan terdapat kandungan karbon (C) yang cukup.

Tegangan Sisa

Selama proses pengelasan, pada bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat dan selama proses berjalan temperturnya berubah terus sehingga distribusi temperturnya tidak merata. Karena panas tersebut, maka bagian yang dilas terjadi pengembangan termal sedangkan bagian yang dingin tidak berubah sehingga terbentuk penghalangan pengembangan yang mengakibatkan tegangan sisa (*residual stress*) dan distorsi (*distorsion*). Tegangan sisa bisa menyebabkan pengetasan, berkurangnya ketahanan leleh, menurunnya ketangguhan las.

Pembekuan Dan Struktur Logam Lasan

Dalam pengelasan cair bermacam-macam cacat terbentuk dalam logam las, misalnya atau segegarsi, lubang halus dan retak. Banyaknya macamnya cacat yang terjadi tergantung dari pada kecepatan pembekuan. Selama kejadian selama proses pendinginan dalam pengelasan hampir sama dengan pendinginan dalam pengecoran. Perbedaannya adalah: Kecepatan pendinginan dalam las lebih tinggi; Sumber panas dari las bergerak terus; Dalam proses pengelasan, pencairan dan pembekuan terjadi secara terus menerus; Pembekuan logam las mulai dari dinding logam induk yang dapat dipersamakan dengan dinding cetakan pada pengecoran, hanya saja dalam pengelasan, logam las harus menjadi satu dengan logam induk, sedangkan dalam pengecoran yang terjadi harus sebaliknya.



(b) Allotropic transformation when heated

Gambar 4. Arah Pembekuan dari Logam Las (Kou. S. 1987)

Dalam Gambar 4. ditunjukkan secara skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las yang berbentuk pilar. Titik A dari gambar tersebut adalah titik mula dari struktur pilar yang selalu terletak dalam logam induk. 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.

Pemanasan Awal (*Preheating*) dan Akhir (*Postheating*)

Pada pengelasan baja karbon sedang, terjadinya retak lasan dapat

dihindari dengan melakukan pemanasan awal dan akhir pada temperature yang tergantung dari besarnya kadar karbon, atau harga ekivalen karbon. Pemanasan mula (awal) pada logam juga dimasukkan untuk menghindari terjadinya fasa martensit yang bersifat keras tetapi getas, akibat pengaruh kecepatan pendinginan. Waktu penahanan temperature untuk *preheat* dan *postweld* yaitu satu jam untuk ketebalan dibawah 25 mm. Pada daerah batas las di mana butir-butirnya sangat kasar, logam menjadi sangat getas dan disebut penggetasan batas las. Kegetasan dari batas ini, disamping disebabkan oleh butir-butir yang kasar, mungkin juga karena cacat las atau titik-titik pusat konsentrasi tegangan yang ada di dalamnya. Berhubungan dengan hal tersebut, maka pengurangan regangan pada batas las merupakan usaha yang sangat penting dalam menjamin ketangguhan sambungan las.

Ketika pengelasan berlangsung, logam induk di sekitar logam las akan mengalami siklus thermal berupa pemanasan sampai mendekati titik cair kemudian diikuti pendinginan. Sebagai akibatnya struktur mikro dan sifat-sifat mekanisnya berubah dari keadaan semula. Daerah atau zona ini dinamakan daerah terpengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ). Selain siklus thermal, daerah HAZ juga dipengaruhi oleh jenis perlakuan mekanis dan perlakuan panas sebelum pengelasan. Beberapa jenis logam induk bisa dijelaskan sebagai berikut :

Jika suatu logam diberi perlakuan mekanis, misalnya pengerolan, hingga terjadi regangan plastis pada suhu di bawah $0,35-0,5 T_m$ (T_m titik cair logam) maka akan terjadi cacat kristal seperti dislokasi. Jika gerakan dislokasi ini terhalang oleh batas butir (grain boundary) atau partikel fasa kedua (second phase particle) misalnya endapan (precipitate) maka ketahanan logam terhadap regangan plastis meningkat. Sebagai hasilnya kekuatan logam akan meningkat pula dan proses ini dinamakan *work hardening* atau *strain hardening*. Jika kemudian logam yang telah mengalami *work hardening* ini dipanaskan pada suhu di atas $0,4 T_{solidus}$ (annealing) maka akan terjadi pengurangan energi regangan dan

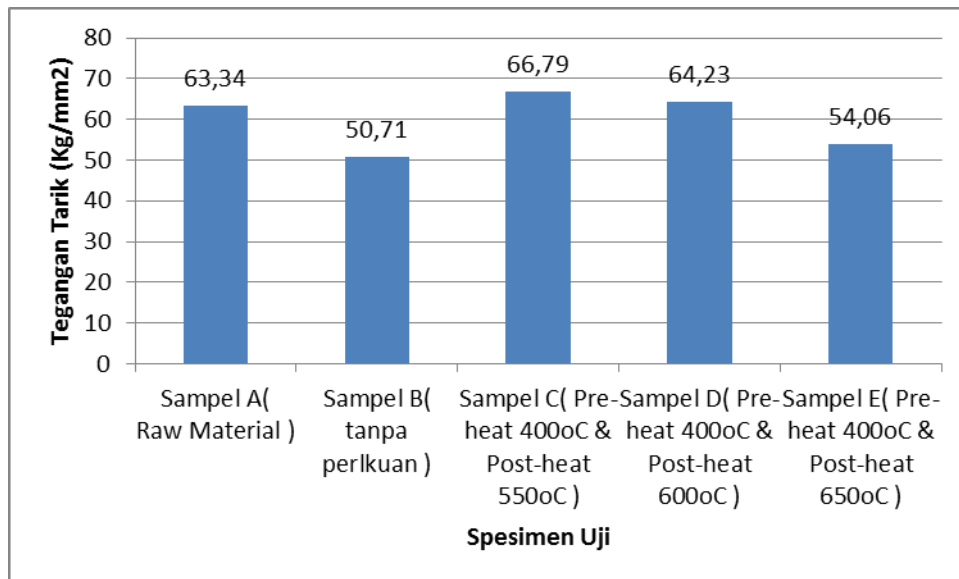
menyebabkan butir-butir baru yang bebas regangan. Proses ini dinamakan rekristalisasi (recrystallization).

Proses rekristalisasi menyebabkan terjadinya perubahan pada sifat mekanisnya : kekuatan dan kekerasan turun sedangkan keuletan dan ketanguhan (toughness) naik, seperti terlihat pada Gambar 2.10. Sebenarnya, proses rekristalisasi didahului oleh proses recovery di mana terjadi pengurangan jumlah cacat kristal seperti kekosongan (vacancy). Akan tetapi proses ini hanya berpengaruh pada sifat listrik di mana tahanan listrik turun dan biasanya kurang begitu penting pada pengelasan.

Jika logam induk yang mengalami pengerjaan dingin bersifat allotropic (= mengalami transformasi fasa saat

pemanasan / pendinginan) maka logam tersebut biasanya sangat sensitif terhadap panas saat pengelasan. Untuk logam yang tak mengalami transformasi fasa hanya mempunyai satu zona kristalisasi yang berupa butir-butir halus, sedangkan logam yang bersifat allotropic seperti baja, titanium dan paduan logam lainnya mempunyai dua zona kristalisasi. Pengaruh pengerjaan dingin hilang sama sekali pada daerah las karena terjadinya proses peleburan dan pembekuan logam, sedangkan pada daerah HAZ pengaruh pengerjaan dingin masih ada meskipun hanya sebagian.

PEMBAHASAN Uji Tarik



Gambar 5. Perbandingan Uji Tarik

Dari gambar diatas terlihat bahwa specimen C dengan perlakuan panas pengelasan dengan suhu awal 400°C dan suhu akhir 550°C, memiliki peningkatan uji tarik yang lebih tinggi 66,79 kg/mm², karena pengelasan yang sempurna dan padat membuat alur, dan tidak ada rongga-rongga udara, selain itu dengan semakin uletnya suatu bahan berarti lebih banyak energi yang diserap sampai bahan tersebut patah.

Perbedaan besar tegangan antar sampel yang kecil ini lebih disebabkan karena sifat dasar baja lunak sebagai logam induk yang kurang responsif terhadap perlakuan panas, sedang

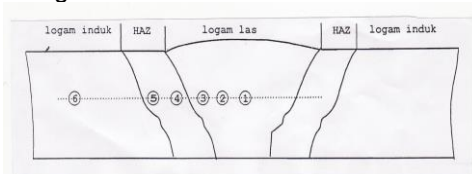
peningkatan regangan yang terjadi disebabkan karena perlakuan panas yang dilakukan dengan tujuan memperlambat proses pendinginan ini berhasil menghambat terbentuknya struktur yang keras dan getas, yang disebabkan oleh panas pengelasan.

Dengan demikian specimen ini menerima suatu factor dari luar yang menyebabkan terjadinya percepatan pendinginan. Jika diruntut dari proses pengelasan sampai proses pendinginan setelah proses perlakuan panas, satu kemungkinan penyebab proses pendinginan cepat ini adalah ketika sampel dikeluarkan dari dapur

pemanas, specimen diletakan dimeja bengkel yang basah oleh minyak pelumas (oil), sehingga seolah-olah pada sampel mendapatkan kejutan termal yang menyebabkan adanya gradient suhu. Luasnya bidang kontak sampel dengan meja yang jauh lebih besar dari tebal specimen menyebabkan hantaran kalor menjadi lebih cepat, karena hantaran kalor berbanding lurus dengan luas permukaan dan berbanding terbalik dengan ketebalan plat.

Pengujian Kekerasan

Kekerasan suatu sambungan las sangat dipengaruhi oleh struktu mikro dan besar butir, sedangkan struktur mikro dan besar butir dipengaruhi oleh masukan panas dan kecepatan pendinginan. Proses pendinginan yang cepat akan cenderung membuat struktur yang keras dan getas, untuk itu dalam pengelasan selalu diusahakan tidak terjadinya struktur yang keras dan getas, umumnya dengan menurunkan perbedaan temperature antara logam induk dan sumber panas dengan cara memberikan perlakuan panas baik sebelum pengelasan, sesudah pengelasan maupun kedua-duanya. Dan setiap specimen memiliki kecenderungan peningkatan kekerasan pada bagian daerah logam las menuju bagian HAZ halus. Hal tersebut terjadi karena pengaruh pengerjaan dingin akan hilang pada daerah las saat proses pengelasan tetapi pada daerah HAZ halus masih tetap ada. Ini dapat ditunjukkan pada specimen E yang mengalami peningkatan dari terbesar kekerasannya dari 35,5 kg/mm² menjadi 45 kg/mm².



Gambar 6. Pembagian daerah uji kekerasan

Tabel 1. Hasil Uji Kekerasan

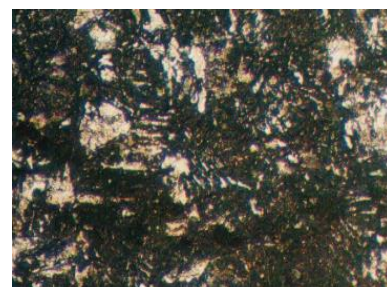
Sam -pel	Logam las		Daerah HAZ		Logam Induk	
	1	3	4	5	6	
A					39	
B	43	44	43	45	42	38

Dengan mengkombinasikan antara tegangan maksimum dan regangan yang dihasilkan dari pengujian tarik, specimen dengan Raw Material, perlakuan panas setelah pengelasan (post-heat) dapat dikatakan memiliki ketangguhan yang paling optimal, hal ini dilihat dari tingginya tegangan tarik yang diikuti pula oleh regangan yang besar, karena suatu bahan teknik dikatakan tangguh apabila memiliki kekuatan tarik dan regangan yang tinggi,

C	44	39	42	44	40	37
D	38	38	40	43	41	39
E	39	38	35	40	39	39

Struktur Mikro Logam Las

Logam las merupakan bagian dari daerah las yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku, sehingga struktur mikro yang terbentuk akan sangat dipengaruhi komposisi kimia kawat las yang digunakan dan proses pendinginan. Dari gambar 7. terlihat struktur mikro yang terjadi pada logam las specimen tanpa perlakuan adalah ferit dan perlit pada batas butir ferit. Adanya ferit dipengaruhi oleh rendahnya kandungan karbon pada kawat las yang digunakan, sedang perlit terbentuk pada temperature dibawah garis GS (diagram Fe-Fe3C) sebagai hasil dekomposisi austenit, perlit merupakan paduan ferit dan sementit.



Gambar 7. Logam Las Sampel C

Hubungan Struktur Mikro, Pengujian Tarik dan Kekerasan

Perlakuan panas yang diberikan baik sebelum maupun sesudah pengelasan ditujukan untuk menurunkan gradient suhu yang disebabkan masukan panas pengelasan, sehingga kecepatan pendinginan dapat diturunkan dan terbentuknya struktur yang keras dang etas dapat dihindari.

Dari pengujian tarik dapat dilihat patah terjadi pada logam induk, maka konstruksi las dapat dianggap memiliki sambungan yang baik, untuk itu analisis hubungan antara struktur mikro, kekuatan tarik dan kekerasan akan ditekankan pada logam induk terutama pada daerah terpengaruh panas (HAZ), karena pada logam induk yang tidak terpengaruh panas tidak terjadi perubahan struktur mikro dan kekerasan yang cukup. Dari hasil pengujian terlihat bahwa perlakuan panas yang diberikan dapat menurunkan kecepatan pendinginan sehingga austenit dapat ditahan untuk mentransformasikan bentuknya menjadi ferit dan perlit yang cenderung bersifat lunak dan ulet, hal ini dilihat dari adanya peningkatan besar regangan dan penurunan angka kekerasan pada specimen dengan perlakuan panas.

KESIMPULAN

1. Perlakuan panas diakhir pengelasan dengan suhu 550 °C, 600 °C, dan 650°C pada pengelasan baja karbon sedang (EMS-45) merupakan perlakuan panas yang menghasilkan ketangguhan yang terbaik, yang ditunjukkan dengan besaran tegangan tarik (66,79 kg/mm²) dan regangan (20,20%), bahkan lebih besar dari regangan.
2. Dari pengujian kekerasan, perlakuan panas diakhiri dengan suhu 550 °C, 600 °C, dan 650 °C pada pengelasan baja karbon sedang (EMS-45) lebih dapat menurunkan kekerasan baik pada logam las 43,5 kg/mm² maupun HAZ 42,5 kg/mm² terhadap specimen tanpa perlakuan panas.
3. Dari pengamatan struktur mikro, perlakuan panas yang diberikan dapat memperhalus butir khususnya pada daerah HAZ tidak seperti yang terjadi pada spesimen pada daerah logam induk.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook Comitte, 1995, "Metal Handbook , Volume 6 : Welding, Brasing and Soldering", Edisi 3, American Society for Metal International, New York.
- Carry. H.B. 1994, "Modern Welding Technology" 3rd Ed. Regent / Practice- Hall. Inc / New Jersey
- Kou. S. 1987, "Welding Metalurgi", A. Welly Interscience ce Publication Wisconsin
- Kosasih, Hafid dan Teguh Setiyawan, "Pengaruh Suhu Pemanasan awal pada Pengelasan SMAW Terhadap struktur Mikro dan Sifat Material Baja AISI 1045H." Jurnal Metal, Vol 026/2004. ISSN 0216-3463 BBLM
- Vlack. V, Djaprie. S, "Ilmu dan Teknologi Bahan" Edisi keempat Penerbit Erlangga, Jakarta
- Wiryo Sumarto, H. Okumura, T., "Teknologi Pengelasan Logam" Cet. 4 Pradya Paramita, Jakarta.
- Wiriosumarto, H., Okumura, T., 2000, "Teknologi Pengelasan", PT Pradnya Paramita, Jakarta.