PENGARUH SUHU PEMANASAN AWAL PADA PENGELASAN SMAW TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MATERIAL BAJA AISI 1045 H

Oleh :
Kosasih ^{*)}, Hafid ^{**)}, Teguh Stiyawan ^{***)}

INTISARI

Peralatan yang terbuat dari baja karbon yang relatif tebal, akan cenderung retak setelah di las. Hal ini karena pendinginan yang cepat. Pemanasan awal sangat berpengaruh terhadap laju pendinginan, semakin besar temperatur pemanasan awal, maka laju pendinginan semakin lambat, juga sebaliknya temperatur pemanasan awal semakin kecil laju pendinginan semakin cepat. Penelitian ini menyajikan pengaruh temperatur pemanasan awal terhadap struktur mikro dan sifat mekanik. Metode ini dengan memvariasikan temperatur pemanasan awal pada 200 °C, 350 °C, dan 500 °C terhadap baja karbon AISI 1045 H yang di las dengan proses pengelasan busur logam terlindung (SMAW). Hasil pemeriksaan dan pengujian menunjukkan bahwa : (1) pelat dengan pemanasan awal 200 °C, 350 °C dan 500 °C tidak terjadi retak di daerah las, (2) pelat dengan pemanasan awal 200 °C mempunyai kekuatan tarik = 74 kgf/mm², kuat luluh = 58,2 kgf/mm² dan regangan 16,65 %, (3) pelat dengan pemanasan awal 350 °C mempunyai kuat tarik = 73,5 kgf/mm², kuat luluh = 52 kgf/mm² dan regangan 16,65 %, (4) pelat dengan pemanasan awal 500 °C mempunyai kuat tarik = 73 kgf/mm², kuat luluh = 55,7 kgf/mm² dan regangan = 17 %, (5) fasa yang terbentuk pada daerah logam induk dan pengaruh panas untuk semua sampel menunjukkan fasa ferit dan perlit, sedangkan pada logam las struktur matrik dendrit dengan fasa ferit dan perlit, (6) semakin besar temperatur pemanasan awal sifat mekanik las semakin ulet.

Kata kunci-kata kunci : pemanasan awal, pengelasan SMAW, daerah terpengaruh panas.

ABSTRACT

The thickness of carbon steel equipments will influence the material to crack after welding. The cooling rate on weld zone has an important effect on it's micro structure, properties and risk of cracking. Another factor that influence the cooling rate is preheating. Increasing the preheat temperature will reduce cooling rate (weld will take longer to cool) and vice-versa. This research is presenting the effect of preheating variation in 200 °C, 350 °C, and 500 °C to carbon steel AISI 1045 H with shielded metal arc welding process (SMAW) to the micro structure, and mechanical properties indicate are : (1) the preheat in 200 °C, 350 °C and 500 °C that plate no indication crack on weld zone, (2) the preheat in 200 °C, that the plate has tensile strength = 74 kgf/mm², yield strength = 58,2 kgf/mm² and strain = 15,4 %, (3) the preheat 350 °C, that the plate has tensile strength = 73,5 kgf/mm², yield strength = 52 kgf/mm² and strain = 16,65 %, (4) the preheat in 500 °C, that the plate has tensile strength = 73 kgf/mm², yield strength = 55,7 kg/mm², and strain = 17 %, (5) micro structure in base metal, and heat affected zone indicate ferrite and pearlite phase, whereas for weld metal indicate ferrite and pearlite phase in dendritic matrix, (6) the increasing preheat temperature, so the increasing ductile properties.

Keywords : preheating, SMAW welding, heat affected zone.

I. PENDAHULUAN

Saat ini pengelasan banyak sekali digunakan untuk mendukung semakin majunya teknologi. Kalau kita perhatikan, logam-logam yang di sambung banyak sekali menggunakan sistem lasan. Dari mula peralatan rumah tangga sampai dengan struktur rangka bangunan menggunakan las sebagai salah satu cara untuk menyambung dua buah logam atau lebih.

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 terjadinya 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 elektoda terbungkus (*Shielded Metal Arc Welding* atau *SMAW*) akan mengakibatkan logam yang terkena busur las mencair sehingga daerah logam las pernah mencair artinya pernah mencapai suhu yang tinggi, maka daerah di sekitar logam las akan mencapai suhu yang tinggi pula. Bahkan pada pengelasan baja, di sekitar logam las akan mencapai suhu *austenit* dimana setelah suhunya 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 terjadinya fasa *martensit* yang getas di daerah sekitar logam las.

Pemanasan awal pada suhu 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 sangat besar pengaruhnya terhadap fasa akhir yang akan terbentuk akibat proses pengelasan. Semakin cepat laju 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.

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka penelitian ini langsung diarahkan pada perubahan struktur mikro dan sifat mekanik yang terjadi pada pengelasan *SMAW* menggunakan baja AISI 1045 H dengan temperatur pemanasan awal yang divariasikan. Sehingga hasilnya diharapkan menjadi alternatif metode memperoleh penyambungan las yang lebih unggul dibandingkan dengan sambungan las tanpa pemanasan awal.

II. LANDASAN TEORI

2.1. Teori Bahan

Logam *ferro* (besi dan baja) paling banyak dipakai sebagai bahan industri karena pertimbangan nilai ekonomisnya, dan yang paling penting karena sifat-sifatnya yang bervariasi, yaitu bahwa bahan tersebut mempunyai berbagai sifat dari yang paling lunak dan mudah dibentuk sampai yang paling keras dan sukar dibentuk.

Baja karbon merupakan paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada besarnya kandungan kadar karbon, menurut buku *Heat Treater's Guide* ⁽¹⁾ mengklasifikasikan baja karbon dalam tiga bagian yaitu : baja karbon rendah yang mempunyai kandungan kadar karbon antara 0,008 – 0,20 %, baja karbon sedang mengandung 0,20 – 0,50 % kadar karbon, dan baja karbon tinggi kadar karbonnya yaitu antara 0,50 – 2 %. Klasifikasi baja karbon secara lengkap dapat dilihat pada tabel 1 ⁽²⁾. Bila kadar karbon naik, kekuatan dan kekerasannya juga bertambah tinggi tetapi perpanjangannya/keuletannya menurun.

Tabel 1. Klasifikasi baja karbon ⁽²⁾.

Jenis dan kelas	Kadar karbon (%)	Kekerasan (maks)	Kemampuan las	Penggunaan
Baja karbon rendah	Baja lunak khusus	0,08	baik sekali	Pelat tipis, elektroda las, batang kawat, dll.
	Baja sangat lunak	0,08 – 0,12	baik sekali	
	Baja setengah lunak	0,12 – 0,20	baik	Konstruksi umum
	Baja lunak	0,20 – 0,30	baik	
Baja karbon sedang	Baja setengah keras	0,30 – 0,40	cukup	Komponen mesin
	Baja keras	0,40 – 0,50	cukup	
Baja karbon tinggi	Baja sangat keras	0,50 – 2,00	40 HRC (372 HB)	kurang
				Rel, pegas, kawat piano

Baja dengan nomor AISI 1045 H termasuk dalam kelas baja karbon biasa yang mempunyai unsur paduan $\leq 1\%$ (yaitu 0.66 % Mn, 0.16 % Si, 0.014 % S, 0.145 % Cu, 0.0062 % Co, 0.0022 % Ti) dan kandungan karbon sekitar 0,47 % (merupakan baja karbon sedang). Fungsi dari unsur paduan utama baja ini adalah sebagai berikut :

- Mangan (Mn) = meningkatkan kekuatan, kekerasan, ketahanan aus, berfungsi sebagai deoksidan, dan memperhalus perlit. Menurunkan regangan, dan mampu las.
- Silikon (Si) = meningkatkan kekuatan, kekerasan, mampu keras, kekenyalan, ketahanan aus dan ketahanan terhadap panas dan karat. Menurunkan regangan, dan mampu las.
- Tembaga (Cu) = dapat memperbaiki ketahanan korosi, tetapi merusak kualitas permukaan dan sifat pengerjaan panas.

Pada AISI 1045 akan mengandung 0.43 – 0.50 % C, 0.60 – 0.90 % Mn, P maks. 0.040 %, dan sulfur maks. 0.050 %. Sedangkan AISI 1045 H (EMS 45) mengandung unsure-unsur kimia sebesar 0.42 – 0.51 % C, 0.50 – 1.00 % Mn, maks. 0.040 % P, 0.15 – 0.30 % Si, dan maks. 0.050 % S. Unsur komposisi kimia tersebut dapat memperkeras baja, karena itu daerah pengaruh panas atau HAZ pada baja ini mudah menjadi keras. Sifatnya yang mudah menjadi keras ditambah dengan adanya difusi hydrogen menyebabkan baja ini sangat peka terhadap retak las, disamping itu pengelasan

dengan menggunakan elektroda yang sama kuat dengan logam lasnya mempunyai perpanjangan yang rendah. Bila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan logam induk, maka proses pengelasannya menjadi sukar dan pemilihan elektrodanya harus betul-betul diperhatikan. Terjadinya ratak las dapat dihindari dengan melakukan pemanasan awal pada logam induk dengan suhu yang sangat tergantung dari kandungan kadar karbon atau harga ekivalen karbon yang akan dibahas pada sub bab selanjutnya.

2.2. Las Busur Elektroda Terbungkus (SMAW)

Prinsip kerja SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) ditunjukkan oleh gambar 1 ⁽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 ke logam induk berbentuk halus. Sebaliknya untuk arus rendah, butiran-butiran yang dipindahkan berbentuk kasar.

Gambar 1. Proses kerja SMAW⁽²⁾.

Panas busur listrik dipengaruhi oleh intensitas arus dan panjang busur. Diameter dan bahan elektroda akan menentukan jenis dan jumlah arus listrik yang dibutuhkan. Besarnya temperatur pada pusat busur untuk las busur elektroda terbungkus adalah antara $4.726,8^{\circ}\text{C} - 5.726,8^{\circ}\text{C}$.

2.3. Metalurgi Las

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.

Pada dasarnya daerah lasan terdiri dari 3 bagian, yaitu :

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

Di samping ketiga daerah utama tersebut masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah pengaruh panas, yang disebut batas las. Untuk lebih jelasnya batas keempat daerah tersebut dapat dilihat pada gambar 2⁽²⁾.

Gambar 2. Daerah las⁽²⁾.

Struktur, kekerasan dan berlangsungnya transformasi dari HAZ dapat dibaca dengan segera pada diagram transformasi antara waktu dengan temperatur (*Time Temperature Transformation* atau TTT) yang dapat dilihat pada gambar 3⁽³⁾. Diagram ini dapat digunakan untuk membahas struktur mikro yang ada setelah sambungan las mengalami pendinginan.

Gambar 3. Diagram transformasi isothermal Baja AISI 1045⁽³⁾.

Struktur logam pada HAZ berubah secara berangsur dari struktur logam induk ke struktur logam las ⁽⁴⁾, seperti ditunjukkan pada gambar 4. Pada daerah batas las, kristalnya tumbuh dengan cepat dan membentuk butir-butir kasar. Di dalam HAZ, besarnya butir dan struktur berubah sesuai dengan siklus termal yang terjadi pada waktu pengelasan, karena siklus termal yang terjadi sangat rumit maka dengan sendirinya perubahan ketangguhannya pun sangat rumit.

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.

Gambar 4. Skema struktur mikro pada daerah HAZ ⁽⁴⁾.

2.4. Pemanasan Awal (*Preheating*)

Pada pengelasan baja karbon sedang, terjadinya retak lasan dapat dihindari dengan melakukan pemanasan awal pada suhu yang tergantung dari besarnya kadar karbon, atau harga ekuivalen karbon. Pemanasan mula (awal) pada logam juga dimaksudkan untuk menghindari terjadinya fasa martensit yang bersifat keras tetapi getas, akibat pengaruh kecepatan pendinginan. Waktu penahanan temperatur untuk *preheat* dan *postweld* ⁽⁵⁾ yaitu satu jam untuk ketebalan di bawah 25 mm.

Harga karbon ekuivalen (CE) dari unsure-unsur yang dikandung oleh baja dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang diambil dari buku *Metal Handbook Vo. 6* ⁽⁶⁾, sebagai berikut :

$$CE = C + \frac{1}{16} Mn + \frac{1}{15} Ni + \frac{1}{5} Cr + \frac{1}{4} Mo + \frac{1}{5} V (\%) \quad (1)$$

Salah satu metode yang digunakan untuk menentukan temperatur pemanasan awal dengan melihat besarnya CE dan dihubungkan dengan tabel 2.

Tabel 2. Temperatur *preheat*

CE (%)	Temp. (°C)
< 0.40	tidak perlu <i>preheat</i> dan <i>postweld</i>
0.40 – 0.60	94 – 205 diperlukan <i>preheat</i>
> 0.60	206 – 371 memerlukan <i>preheat</i> dan <i>postweld</i>

III. HIPOTESIS

Hipotesis dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Setelah mengalami proses pengelasan, struktur akhir dari baja karbon sedang AISI 1045 H berupa ferit + perlit kasar jika menggunakan temperatur pemanasan awal sebesar 350 °C.
2. Untuk temperatur pemanasan awal 200 °C struktur akhir yang terbentuk hampir sama dengan struktur akhir dari sample uji tanpa pemanasan awal yaitu ferit + perlit halus, bahkan fasa yang terbentuk dapat berupa martensit.

3. Sampel yang menggunakan pemanasan awal sebesar 500 °C mempunyai struktur mikro berupa ferit + perlit kasar (lebih kasar dari temperatur 350 °C).

IV. METODOLOGI PENELITIAN

Berdasarkan sifat masalahnya, penelitian ini dikategorikan sebagai penelitian gabungan antara deskriptif, eksperimental dan historik. Penelitian deskriptif bertujuan untuk pemecahan masalah yang terjadi pada masa sekarang. Penelitian eksperimental dengan cara percobaan serta membandingkan secara teliti keempat sample uji. Sedangkan penelitian historik berupa aplikasi pemecahan masalah secara ilmiah dari prespektif historik suatu masalah. Dalam penelitian ini memakai tahapan penelitian seperti diperlihatkan pada gambar 5 dan selanjutnya pada gambar 6 ditunjukkan aliran proses skema prosedur pengelasan.

Gambar 5. Skema penelitian

Gambar 6. Skema pengelasan.

4.1. Prosedur Pengelasan

1. Proses Pengelasan :

Dipilih pengelasan *SMAW*⁽⁷⁾ dengan mesin las AC yang didasarkan atas⁽⁷⁾ :

- Mutu lasan yang dihasilkan sangat baik.
- Untuk plat dengan ketebalan 1,5 – 19 mm proses pengelasan *SMAW* sangat dianjurkan.
- Lebih ekonomis dan efisien dibandingkan dengan proses pengelasan yang lain.
- Pengoperasiannya relatif lebih mudah dan murah dibandingkan dengan jenis las yang lain.

2. Spesifikasi Prosedur Pengelasan :

WPS (Welding Prosedure Spesification) adalah prosedur las berkualifikasi tertulis yang disiapkan untuk memberikan petunjuk tentang tata cara pembuatan sambungan las. *WPS* yang digunakan harus menurut persyaratan ASME CODE IX, atau standar lainnya ; misalnya *AWS (American Welding Society)*. *WPS* digunakan untuk memberikan petunjuk kepada juru las atau operator las, sehingga meyakinkan pemenuhan persyaratan standar konstruksi las.

3. Penentuan Elektroda :

Digunakan elektroda hidrogen rendah produk *ESAB Asia/Pasific* untuk jenis *low alloyed steels* yaitu *basic OK 74.78*⁽⁸⁾. Elektroda tersebut dapat digunakan dalam pengelasan baja kekuatan tinggi dan juga untuk pekerjaan konstruksi pada temperatur rendah. Sangat cocok untuk sambungan las pada rel kereta api (atau pager rel kereta api) dan perlengkapannya karena kekerasannya mencapai 250 HV. Kadar uap airnya sangat rendah sehingga cocok untuk pengelasan pada bahan yang sangat memerlukan pemanasan mula.

4. Parameter Pengelasan :

Parameter las yang dipakai, seperti : arus (I), tegangan (E) dan kecepatan las (v) yaitu jarak las dibagi waktu pengelasan. Masukan panasnya (*heat input /HI*) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$HI = \frac{F.E.I}{v} \quad (J/mm) \quad (2)$$

Proses pemindah logam dari elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh semburan busur listrik. Bila digunakan arus listrik yang besar maka butiran logam cair yang terjadi adalah halus. Sebaliknya bila arus kecil maka butiran akan menjadi kasar.

4.2. Prosedur Pengujian

1. Pemeriksaan Radiografi :

Pada dasarnya adalah penyinaran spesimen hasil pengelasan dengan menggunakan sinar bertenaga tinggi seperti sinar X yang dapat menembus logam, sehingga cacat atau retak yang terjadi di sepanjang sambungan las dapat dilihat.

2. Pengujian Tarik :

Dalam hal penelitian ini, uji tarik dimaksudkan untuk membandingkan kemampuan tarik suatu material baik dari pengelasan tanpa menggunakan pemanasan mula maupun yang menggunakan pemanasan mula pada temperatur berlainan.

3. Pengujian Bending U :

Yaitu suatu pengujian di mana spesimen ditumpu pada kedua sisinya, kemudian dikenakan beban pada bagian tengahnya, dengan besar dan kecepatan tertentu sesuai dengan spesifikasi standar pengujian.

4. Pengujian Kekerasan :

Yang digunakan adalah jenis *Rockwell* skala B untuk menguji kekerasan logam awal (pembebanan 100 kg) dan jenis *Vickers* untuk menguji kekerasan daerah sambungan las (beban 200 gram). Pengujian jenis ini dipilih karena dapat digunakan untuk menguji baja karbon sedang sampai dengan tinggi. Hasil pengujian dapat dibaca dengan segera pada piringan skala yang terdapat di dalam kepala mesin uji di mana skala tersebut terbagi dalam 130 bagian.

5. Pemeriksaan Metalografi :

Setelah spesimen uji dibentuk kemudian diadakan tahapan proses sebagai berikut :

a. Penggerindaan (pengampelasan) :

Menggunakan *abrasive* amplas dari yang kasar sampai yang halus dengan tingkat kekerasan mulai dari 500, 1000, 1500, 2400, dan 3600 dengan tujuan untuk memperkecil kerusakan permukaan yang terjadi sebagai akibat dari proses pemotongan spesimen.

b. Pemolesan (*polishing*) :

Proses penghalusan dan perataan permukaan yang akan di etsa hingga kekasaran $\pm 0,01 \mu\text{m}$. Bahan *polishing* yang dipakai adalah kain beludru.

c. Etsa (*etching*) :

Proses penetasan cairan ke permukaan spesimen uji yang akan dilihat struktur mikronya dengan menggunakan larutan kimia tertentu.

d. Analisis :

Sampel yang telah memenuhi syarat untuk dianalisis diamati dibawah mikroskop optik. Berhasil tidaknya dalam mengidentifikasi dan menganalisis stuktur mikro, lebih banyak ditentukan oleh pengetahuan dan pengalaman mengenai struktur berbagai logam dan paduannya.

4.3. Peralatan

Pada pelaksanaan penelitian ini, peralatan yang dipergunakan adalah dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Peralatan yang digunakan dalam penelitian

No.	Peralatan
1	Mesin las AC merek SIP 200 (spesifikasi : 220/380 volt, 50 Hz, arus minimal 45 A)
2	Jangka sorong merk Miyoto, ketelitian 0,05mm
3	Mesin perkakas (mesin : sekrup, gergaji & gerinda) untuk mendukung pengujian
4	Mesin uji tarik merk Alfred J. Amsler (beban 50.000 kg)
5	Mesin uji bending merk Tokyo Testing Machine
6	Mesin uji komposisi kimia merk DVM-1012 (Spectrometer)
7	Radiografi merk Andrex Smart, merk film yang dipakai Agea D-7 (panjang 10 inch)
8	Microscope Metalografi merk Nikon Epihot
9	Mesin uji kekerasan jenis Vickers merk Mikromet II Buehler
10	Tungku untuk <i>preheating</i>

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Komposisi Kimia

Dari data penelitian pada tabel 4 dapat dilihat perbedaan antara komposisi kimia menurut spesifikasi standar pabrik pembuatnya dengan komposisi kimia hasil uji. Perbedaan tersebut terletak pada banyaknya unsur paduan yang ada dimana unsur-unsur tersebut nantinya akan berpengaruh terhadap sifat fisik dan sifat mekanik suatu logam. Unsur-unsur paduan yang bukan utama seperti belerang (S), titanium (Ti), cobal (Co), dan timah hitam (Pb) ada yang menguntungkan dan ada yang merugikan terhadap sifat mekanik dan sifat fisik dari baja AISI 1045 H.

Unsur-unsur paduan yang menguntungkan pada baja AISI 1045 H diantaranya adalah :

- Ti = menaikkan mampu keras
- Co = meningkatkan kekerasan, ketahanan aus, ketahanan karat dan panas, serta daya hantar listrik.
- Pb = memperbaiki mampu di mesin.

Unsur paduan yang berakibat buruk pada baja AISI 1045 H adalah belerang (S) yang mempunyai sifat sangat merusak kekuatan tumbuk, serta sedikit merusak kualitas sambungan dan mampu di las.

Tabel 4. Perbandingan komposisi kimia spesifikasi pabrik dengan hasil uji

Nama material	Unsur Kimia	Prosentase (%)	
		Spesifikasi	Hasil Uji
Baja EMS 45 (AISI 1045 H)	Karbon (C)	0,48	0,4702
	Silikon (Si)	0,3	0,1598
	Mangan (Mn)	0,7	0,6589
	Belerang (S)	0,00	0,0140
	Titanium (Ti)	0,00	0,0022
	Kobalt (Co)	0,00	0,0062
	Tembaga (Cu)	0,00	0,1453
	Timah hitam (Pb)	0,00	0,0010

5.2. Pemeriksaan Radiografi Sinar X

Pemeriksaan radiografi dengan menggunakan sinar X dimaksudkan untuk mengetahui apakah sambungan las tersebut memenuhi syarat atau tidak untuk digunakan di lapangan yang sangat memperhitungkan atau mempertimbangkan faktor keamanan.

Syarat ditolak atau diterima suatu sambungan las tergantung dari standar acuan yang digunakan. Misalnya : standar penerimaan (penolakan) pada *ASME* akan berbeda dengan standar penerimaan (penolakan) pada *AWS* maupun *ASTM*.

Dari hasil analisis diketahui bahwa tidak ada indikasi terjadinya retak las pada spesimen uji baik pada sambungan las yang mengalami pemanasan mula terlebih dahulu maupun sambungan las yang tidak mengalami pemanasan mula. Dengan demikian pemanasan mula pada proses pengelasan baja medium AISI 1045 H tidak diperlukan, jika prosedur proses pengelasan dilakukan dengan benar dan menggunakan logam pengisi aatau kawat las (*filler metal*) berhidrogen rendah, serta pengelasan dilakukan oleh juru las yang berkualitas dan berpengalaman yang mempunyai sertifikasi pengelasan dikelasnya, dengan begitu ia sudah paham terhadap jenis sambungan las yang akan dikerjakannya. Selain itu, mesin las yang digunakan serta kondisi lingkungan yang lembab dan kotor sangat mempengaruhi terhadap hasil pengelasan karena dapat menyebabkan terjadinya cacat las yang semakin parah, seperti : timbulnya lubang-lubang halus (*porosity*) yang semakin banyak, adanya penetrasi yang tidak cukup, pelumeran yang tidak sempurna dan sebagainya.

5.3. Hasil Pengujian Tarik

Standar yang digunakan untuk membuat spesimen uji tarik yaitu berdasarkan *ASME Section IX (QW-462.1)* berbentuk pelat. Hasil penarikan spesimen uji dapat dilihat pada gambar 7. Hasil pengujian tarik ke 4 (empat) sampel uji yang telah dirata-ratakan dan kondisi daerah patah baja AISI 1045 H akibat beban tarik dapat dilihat pada tabel 5 – 6. Pada gambar 8 dapat dilihat grafik kekuatan luluh rata-rata dan gambar 9 adalah grafik regangan dan pengecilan penampang (kontraksi).

Gambar 7. Contoh spesimen uji tarik yang telah mengalami penarikan.

Tabel 5. Hasil pengujian tarik rata-rata

Kondisi Contoh	Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Mula (Preheating)			
	Tanpa Preheating (A)	200 °C (B)	350 °C (C)	500 °C (D)
Kekuatan tarik (σ_u) (kgf/mm ²)	73,6	74	73,5	73
Kekuatan luluh (σ_s) (kgf/mm ²)	51,6	58,2	52	55,7
Regangan (ϵ) (%)	15,5	15,4	16,65	17
Kontraksi (%)	25,1	19,9	24,1	23,1

Tabel 6. Kondisi daerah patah akibat beban tarik pada baja AISI 1045 H

Sampel	Spesimen uji	Daerah patah	Kondisi patah
Pelat A	Batang uji tarik 1	logam induk	getas
	Batang uji tarik 2	HAZ-logam induk	getas-ulet
	Batang uji tarik 3	HAZ-logam induk	getas-ulet
	Batang uji tarik 4	HAZ-logam las	getas
Pelat B	Batang uji tarik 1	HAZ-logam las	getas
	Batang uji tarik 2	logam induk	getas
	Batang uji tarik 3	HAZ-logam induk	getas
	Batang uji tarik 4	HAZ-logam induk	getas
Pelat C	Batang uji tarik 1	HAZ-logam induk	ulet
	Batang uji tarik 2	HAZ-logam las	ulet
	Batang uji tarik 3	HAZ	ulet
	Batang uji tarik 4	logam las	ulet
Pelat D	Batang uji tarik 1	logam las	ulet
	Batang uji tarik 2	HAZ-logam las	ulet
	Batang uji tarik 3	logam las	ulet
	Batang uji tarik 4	HAZ-logam las	ulet

Gambar 8. Grafik kekuatan tarik dan kekuatan luluh rata-rata.

Gambar 9. Grafik regangan dan pengecilan penampang rata-rata.

Secara rata-rata dapat dikatakan bahwa harga kekuatan tarik pada pelat B lebih tinggi dari pelat C, A dan D sebesar 74 kgf/mm^2 . Kekuatan tarik pelat D berharga paling rendah yaitu 73 kgf/mm^2 , karena ada kemungkinan terjadinya penggetasan batas las akibat pemanasan mula yang berlebihan. Untuk pelat C kekuatan tariknya adalah $73,5 \text{ kgf/mm}^2$, lebih rendah dari harga kekuatan tarik pelat A sebesar $73,6 \text{ kgf/mm}^2$. Patah yang terjadi pada masing-masing spesimen bervariasi, ada yang patah di bagian HAZ, logam induk, maupun logam lasan. Tetapi secara keseluruhan patah mulai merambat dari bagian HAZ, yang memang secara teori sangat rentan terhadap adanya beban yang dikenakan pada sambungan.

Harga kekuatan luluh untuk pelat B lebih tinggi dari yang lainnya yaitu sebesar $58,2 \text{ kgf/mm}^2$, kemudian pelat D sebesar $55,7 \text{ kgf/mm}^2$. Pelat A mempunyai harga kekuatan luluh yang paling kecil yaitu $51,6 \text{ kgf/mm}^2$, sedangkan pelat C besarnya kekuatan luluh hanya sedikit di atas pelat A yaitu 52 kgf/mm^2 . Hal ini berarti pemanasan mula pada temperatur 200°C mempunyai elastisitas yang sangat bagus. Regangan yang terjadi pada pelat D lebih tinggi jika dibandingkan dengan yang lain sebesar 17 % dan pelat B mempunyai regangan terendah sebesar 15,5 %. Pelat C mempunyai regangan sebesar 16,65 dan harga regangan yang terjadi pada pelat A hampir sama dengan harga regangan yang terjadi pada pelat B sebesar $15,4 \text{ kgf/mm}^2$.

Secara fisik besar kecilnya regangan pada suatu material dapat dilihat dari hasil perpatahannya, jika patahannya berbentuk patah ulet biasanya material tersebut regangannya cukup tinggi, tetapi bila patahannya berbentuk patah getas maka regangan yang terjadi biasanya berharga lebih rendah. Dalam penelitian, pelat D dan C patahannya berbentuk patah ulet, sedangkan pelat A mempunyai bentuk patahan berupa patah ulet dan patah getas, serta pada pelat B semua spesimen uji tariknya berbentuk patah getas.

Harga kontraksi/reduksi penampang/pengecilan penampang setelah spesimen mengalami perpatahan ternyata tidak berbanding lurus dengan harga regangan yang terjadi. Jika pelat D mempunyai regangan yang paling tinggi, maka untuk reduksi penampang justru pelat A yang mempunyai harga paling tinggi yaitu 25,1 %, sedangkan reduksi penampang terkecil dimiliki oleh pelat B sebesar 19,9 %. Pada pelat C harga kontraksinya adalah 24,1 %, harga ini lebih besar dari harga reduksi penampang yang terjadi pada pelat D yaitu sebesar 23,1 %. Ini menunjukkan bahwa pemanasan mula yang cukup mempunyai pengecilan penampang yang besar, tetapi proses pengelasan tanpa pemanasan mula mempunyai pengecilan penampang yang lebih besar walaupun bentuk patahannya getas-ulet.

5.4. Hasil Pengujian Bending U

Hasil uji bending rata-rata dapat dilihat pada tabel 7 dan gambar 10. Dari grafik beban yang mampu ditahan oleh spesimen uji pada pengujian bending terlihat bahwa pelat B mempunyai tahanan yang paling tinggi terhadap adanya penetrasi beban luar sebesar 36000 kgf, sedangkan pelat C dan pelat A mempunyai harga yang cukup rendah jika dibandingkan pelat B yaitu 3575 kgf. Pelat D mempunyai tahanan yang paling rendah jika dibandingkan pelat lainnya yaitu 3550 kgf, hal ini dapat disebabkan karena ada indikasi kerapuhan batas las akibat pemanasan mula yang berlebihan.

Tabel 7. Hasil uji bending rata-rata

Sampel	Pelat A	Pelat B	Pelat C	Pelat D
Lebar x Tebal penampang (mm)	9,5 x 15,90			
Diameter duri lengkung (mm)	37,6 (1 1/2 in)			
Sudut lengkung	Guide Bend Test Jig ASME Section IX			
Hasil uji	Baik	Baik	Baik	Baik

Gambar 10. Grafik beban bending rata-rata.

5.5. Pengujian Kekerasan

Lokasi dan hasil uji kekerasan dari sambungan las baja AISI 1045 H yang mengalami variasi temperatur pemanasan mula dapat dilihat pada gambar 11 dan tabel 8.

Gambar 11. Lokasi uji kekerasan pada pengelasan baja AISI 1045 H.

Tabel 8. Hasil uji kekerasan sambungan las baja AISI 1045 H

Sampel	Hasil pengujian rata-rata (Hv)		
	Logam las (X _I)	HAZ (X _H)	Logam induk (X _M)
Pelat A	254.2	257.3	217.4
Pelat B	250.1	245.6	216.6
Pelat C	239.8	242.6	210.1
Pelat D	231.2	228.6	205.4
Logam awal	92.9 HR _B		

Berdasarkan data kekerasan dapat dikatakan bahwa pemanasan mula yang sesuai akan membuat butirnya menjadi halus sehingga kekerasannya menjadi tinggi, dan pemanasan mula yang berlebih justru akan membuat butir menjadi kasar sehingga harga kekerasannya menjadi rendah, selain itu baja yang telah mengalami pemanasan mula harga kekerasannya akan lebih rendah dibandingkan sambungan las pada baja yang tidak mengalami pemanasan mula terlebih dahulu. Hal ini terlihat dari harga kekerasan pelat B ternyata lebih tinggi jika dibandingkan harga kekerasan C dan D tetapi lebih kecil dari pelat A sebesar 250.1 Hv untuk daerah logam las, 254.6 Hv untuk HAZ dan 216.6 Hv untuk daerah logam induk. Harga kekerasan pelat A paling tinggi dimana harga logam lasnya adalah 254.2 Hv, HAZ 257.3 Hv, serta logam induknya sebesar 217.4 Hv. Sedangkan harga kekerasan pelat D paling rendah karena pemanasan mula yang digunakan 150 0C lebih tinggi dari pelat C, yaitu untuk logam las 231.2 Hv, HAZ 228.6 Hv dan daerah logam induk adalah 205.4 Hv. Pelat C harga kekerasannya pada logam induk sebesar 210.1 Hv, HAZ 242.6 Hv, serta untuk daerah las adalah 239.8 Hv.

5.6. Pemeriksaan Metalografi

Dari pengamatan struktur mikro pada keempat spesimen uji, dapat disimpulkan bahwa unsure fasa utama pada sambungan las baja AISI 1045 H adalah ferit (berwarna putih), dan perlit (berwarna gelap). Ini terjadi pada logam induk, HAZ, maupun logam las. Adapun fasa yang berbentuk struktur dendrit hanya terjadi pada daerah logam las saja, hal ini karena unsure paduan dari logam pengisi yang digunakan cukup besar (mengandung 1.5 Mn, 0.35 Si, dan 0.35 Mo) sedangkan kandungan karbonnya sangat kecil yaitu sebesar 0.06 %. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 12 - 15.

Gambar 12. Bentuk struktur makro dan mikro pelat A.
Pembesaran : makro 2x dan 400 x

Gambar 13. Bentuk struktur makro dan mikro pelat B.
Pembesaran : makro 2x dan 400 x

Gambar 14. Bentuk struktur makro dan mikro pelat C.
Pembesaran : makro 2x dan 400 x

Gambar 15. Bentuk struktur makro dan mikro pelat D.
Pembesaran : makro 2x dan 400 x

Dari gambar struktur makro, batas antar daerah (logam induk – *fision line* – HAZ – logam las) terlihat dengan jelas, untuk pelat A cacat yang ada berupa undercut di bagian kiri atas. Pada pelat B tidak terlihat adanya cacat, untuk pelat C batas HAZ terlihat dengan jelas dan lebih lebar jika dibandingkan dengan lainnya, selain itu cacat yang terlihat berupa *undercut* di bagian kiri atas dan lubang halus di bagian kiri tengah (berupa titik hitam). Untuk pelat D indikasi cacat terlihat pada bagian kanan atas (ada *undercut* tetapi sedikit).

Pada gambar struktur mikro, pelat A mempunyai bentuk butir yang kasar karena butir perlit dan ferit terlihat besar sehingga diperkirakan pendinginan yang terjadi berlangsung dengan cukup pelan tetapi tidak sepelan pelat C. Bentuk butir pelat B terlihat lebih halus dibandingkan bentuk butir pelat A yang berarti butir ferit dan perlitnya lebih kecil dari pelat A, sehingga diperkirakan laju pendinginan yang terjadi berlangsung dengan pelan. Pelat C bentuk butir ferit dan perlitnya lebih besar dari pelat A, sehingga diperkirakan laju pendinginan yang terjadi lebih pelan dari pelat A terutama pada bagian HAZ. Untuk pelat D bentuk butirnya hampir sama dengan bentuk butir pelat B yang berarti laju pendinginannya lebih cepat dari pelat C.

Jadi dalam kasus pengelasan baja AISI 1045 H akan lebih efisien jika pada waktu melakukan proses pengelasan apabila tidak memungkinkan, proses *preheating* boleh tidak digunakan, karena bentuk struktur mikro yang terjadi hampir sama dengan bentuk struktur mikro pelat yang menggunakan pemanasan mula terlebih dahulu, ditinjau dari hasil pemeriksaan metalografi yang telah dilakukan.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Hasil penelitian membuktikan bahwa pengelasan *SMAW* menggunakan metode pemanasan awal pada temperatur : (a) 200 °C, (b) 350 °C, (c) 500 °C terhadap material baja AISI 1045 H yang akan disambung dapat meminimalkan terjadinya retak las dan perbedaan struktur mikro.
2. Dari hasil uji : (a) tarik, (b) kekerasan, (3) bending jenis *side bend* dan pemeriksaan : (a) radiografi sinar x, (b) metalografi diperoleh semua sampel uji tidak ada yang retak.
3. Hasil semua specimen uji adalah sebagai berikut : (a) pelat B mempunyai kekuatan tarik dan luluh (74 dan 58,2 kgf/mm²) yang terbesar tetapi berbanding terbalik dengan harga regangannya (15,4 dan 19,9 %). Pelat A dan C mempunyai kekuatan yang hampir sama (73,6 ; 73,5 dan 51,6 ; 52 kgf/mm²) dengan harga regangan yang berbeda (15,5 dan 16,65 %). Pelat D mempunyai kekuatan tarik (73 kgf/mm²) terkecil tetapi mempunyai regangan (17 %) yang paling besar.
4. Batas antar daerah las dan jenis cacat yang dapat dilihat dengan mata biasa terlihat dengan jelas dari gambar struktur makro. Gambar struktur mikro memperlihatkan besarnya butir dan jenis fasa yang ada, dari semua sample uji untuk daerah logam induk dan HAZ fasa yang dominan adalah ferit, perlit serta karbida logam. Fasa pada daerah logam las adalah ferit, perlit dan dendrit.

DAFTAR PUSTAKA

1. American Society for Metal, "*Heat Treater's Guide. Standard Practices and Procedures for Steel*", Metal Park, USA, 1988.
2. Rifian Kemas, "*Diktat Kuliah Desain Konstruksi Las*", UNJAAANI, Bandung, 2001.
3. Djaprie Sriati, Van Vlack, "*Ilmu dan Teknologi Bahan*", Erlangga, Jakarta, 1991.
4. Wiryosunarto Harsono, Toshie Okumura, "*Teknologi Pengelasan Logam*", Cetakan Kedelapan, Pradnya Paramita, Jakarta, 2000.
5. Smith, Dave, "*Welding Skills and Technology*", Gregg Division, Mc Graw Hill Book Company, Singapore, 1989.
6. American Society for Metal, "*Metal Handbook Volume 6, Welding and Brazing*", Metal Park, USA, 1941.
7. Koellholer Leonard, "*Shielded metal Arc Welding*", by John Willey & sons Inc, USA, 1983.
8. ESAB Asia Pasific, "*Filler Metal for Carbon Steel and Low Alloy Steel*", Essabindo Pratama, Bandung, 2003.

^{*)} dan ^{**)} Peneliti pada B4T dan BBLM/MIDC Depperindag. Bandung.

^{***)} Alumnus Jurusan Teknik Mesin UNJANI.