

PENGARUH ELEKTRODA TERHADAP TEGANGAN SISA DAN SIFAT MEKANIK PADA PENGELASAN BAJA**Asmadi, Bahrul Ilmi**

Program Studi Teknik Mesin Universitas IBA

Email : asmadilubay4@gmail.com**ABSTRAK**

Pada proses pengelasan SMAW terdapat berbagai type elektroda dengan berbagai ukuran diameter dan kandungan unsurnya, semuanya itu dilakukan untuk menyesuaikan dengan sifat logam induk dan ketebalannya dengan tujuan untuk memperoleh kualitas las yang sempurna khususnya sifat mekanik setelah dilakukan proses pengelasan. Pengelasan dilakukan terhadap baja dengan kandung 0,37% C, 1,65% Ni, 0,9% Cr dan 0,30% Mo. Proses pengelasan dilakukan dengan memvariasikan elektroda tapi dengan diameter yang sama dan arus yang dipakai sama 150 A. Kajian penelitian ini untuk mengetahui sifat mekanik yang terjadi berdasarkan hasil uji Tarik, uji Kekerasan, dan perhitungan tegangan sisa. Hasil pengujian Kekerasan tertinggi pada E7018 sebesar 454,63 pada daerah HAZ dan hasil Uji Tarik E7016 sebesar 66,3 kg/mm² dan regangannya juga besar sehingga patahnya bersifat ulet. Hasil perhitungan tegangan sisa Tarik terendah pada logam las 1,452 kg/mm² E7016 dan logam induk tegangan sisa tekan terbesar – 0,902 kg/mm² E7018.

Kata Kunci: tegangan sisa, pengelasan SMAW, elektroda**1. PENDAHULUAN**

Prosedur pengelasan sangat rumit apabila dihadapkan pada material yang weldabilitynya rendah. Karena itu dalam pengelasan, pengetahuan sifat material dan standarisasi pengelasan harus dipakai. Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen (DIN)*^[10] las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Mutu dari hasil pengelasan di samping tergantung dari pengerjaan lasnya sendiri dan juga sangat tergantung dari persiapan sebelum pelaksanaan pengelasan, karena pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Pada penelitian ini pengelasan menggunakan las busur listrik. Hal ini sangat erat hubungannya dengan arus listrik, elektroda, kekuatan dan tegangan sisa akibat proses las.

Maka untuk mendapatkan hasil pengelasan yang baik dan berkualitas maka perlu memperhatikan sifat-sifat bahan yang akan dilas dan logam las. Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan, maka tujuan dari penelitian saya ini adalah sebagai berikut ;

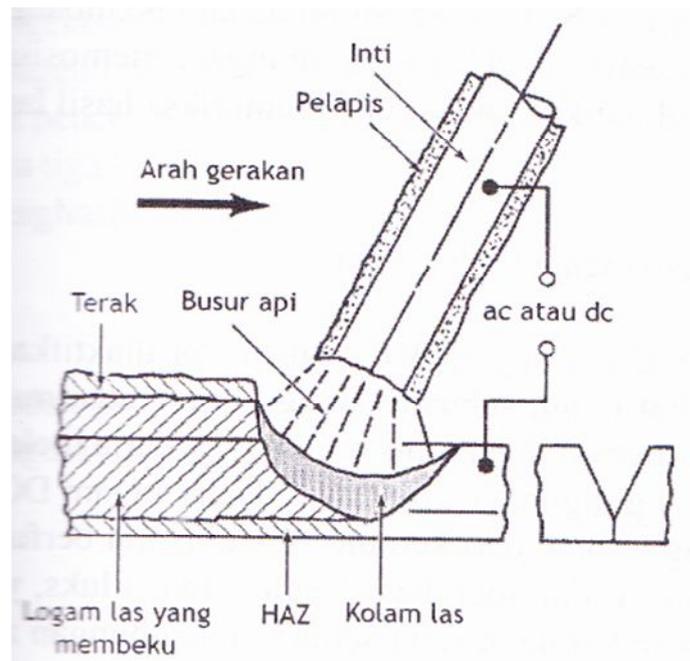
1. Untuk mengetahui pengaruh elektroda pengelasan terhadap sifat mekanis dan tegangan sisa akibat proses las.
2. Untuk mengetahui elektroda yang tepat pada pengelasan baja carbon jenis AISI 4337.

2. LANDASAN TEORI**2.1. Las Busur Listrik SMAW (Shielded Metal Arc Wilding)**

Manual *Metal Arc Welding* dapat diartikan sebagai suatu proses pengelasan yang panasnya diperoleh dari busur nyala listrik dengan menggunakan elektroda yang berselaput. Elektroda berselaput ini berfungsi sebagai bahan pengisi dan memberi perlindungan terhadap

kontaminasi atmosfer atau udara luar. Elektroda mencairkan logam dasar dan membentuk terak las pada waktu bersamaan. Ujung elektroda mencair dan bercampur dengan bahan yang dilas.

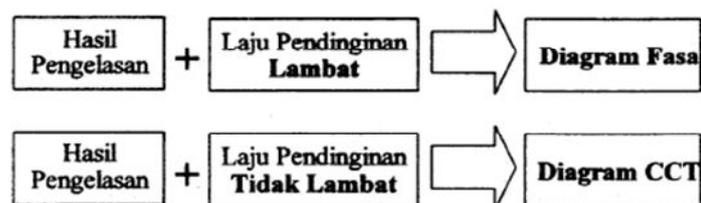
Pengelasan dengan SMAW *Shield Metal Arc Welding* (Las Busur Manual) atau disebut juga MMAW (*Metal Arc Welding*) digunakan arus listrik sampai 600 Ampere dan busur nyala listrik itu menimbulkan panas yang tinggi ($\pm 1200 - 1400$ derajat *Celsius*) yang mampu mencairkan logam yang dilas tersebut dan bersama dengan itu loncatan busur yang terdiri dari tetesan logam elektroda akan berfungsi bersatu dengan benda kerja, dan membentuk suatu kampuh, di mana kampuh las itu akan dilindungi oleh kerak yang ditimbulkan oleh *coating*/pembungkus elektroda yang mencair bersama-sama logam pengisinya. *Coating* memiliki berat jenis yang lebih rendah dari logam, maka cairan *coating* tersebut akan mengembang di atas kampuh las sehingga membentuk terak.



Gambar 2.1. Las SMAW.

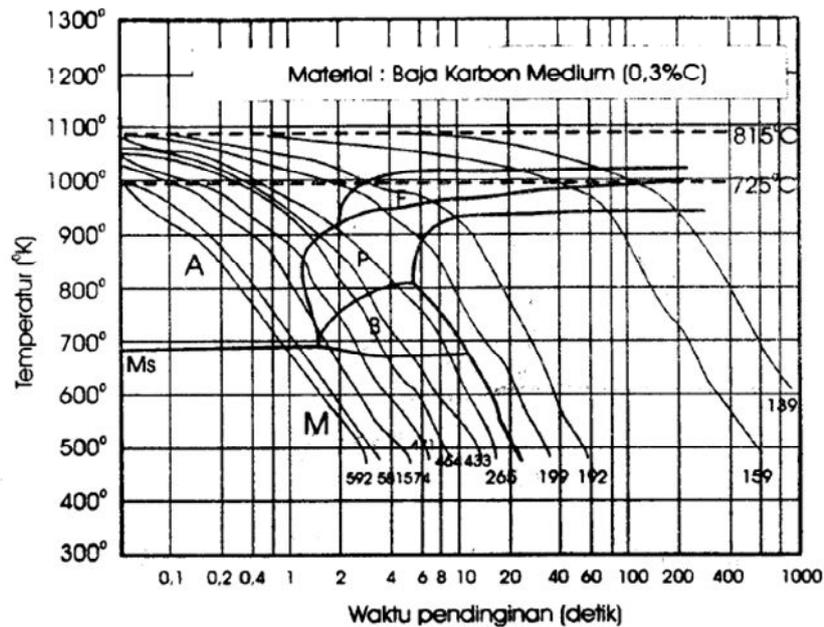
2.2 Diagram CCT

Metalurgi hasil pengelasan atau struktur mikro hasil pengelasan tidak bisa dianalisis melalui diagram fasa. Diagram fasa hanya bisa diterapkan untuk kondisi dimana laju pendinginan sangat dan proses difusi atom berlangsung.



Gambar 2.2. Perbedaan Pemakaian Diagram Fasa Dan CCT.

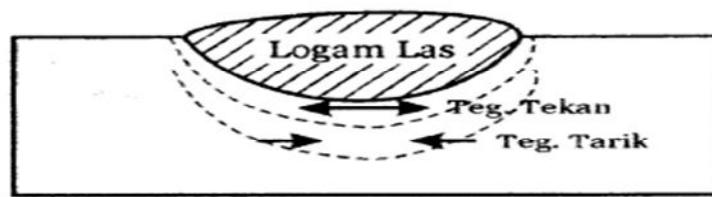
Untuk itu maka diperlukan cara lain agar dapat menganalisa struktur mikro pada produk hasil pengelasan. Cara yang dimaksud adalah dengan menggunakan diagram CCT (*continuous cooling transformation*).



Gambar 2.3. Diagram CCT Baja Karbon Medium.

Diagram CCT merupakan diagram Temperatur (T) vs Waktu (t) yang bermanfaat untuk *ferit finish* memprediksi struktur *mikro* dan harga kekerasan dibawah laju pendinginan tertentu. Selain memperlihatkan hubungan temperatur dan waktu, pada diagram itu juga terdapat fasa-fasa yang mungkin terjadi pada kasus pendinginan tertentu. Sedangkan angka-angka ditiap garis pendinginan menyatakan angka kekerasan. Garis-garis yang ada pada diagram CCT merupakan batas antara satu fasa dengan fasa lain. Sebagai contoh daerah F merupakan daerah yang dibatasi oleh garis Fs dan Ff. Fs dan Ff berturut-turut berarti *ferit start* dan *ferit finish*. Garis Fs memiliki arti apabila suatu garis pendinginan mulai memotong garis ini maka pada saat ini terjadi *transformasi fasa*, sedangkan bila garis pendinginan memotong garis Ff maka proses *transformasi ferit* telah selesai.

2.3. Tegangan Sisa



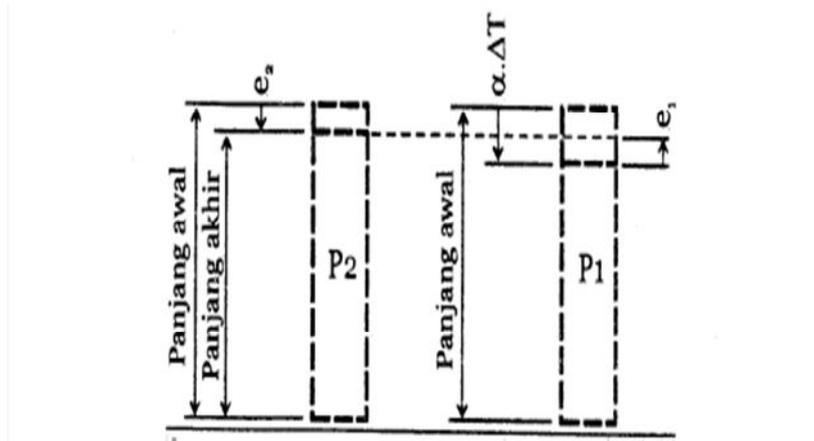
Gambar 2.4. Kondisi Tegangan Selama Pemanasan.

Sebaliknya, selama proses pendinginan, daerah dibawah logam las mengalami tegangan tarik dan daerah dibawahnya melawannya dengan tekan. Tegangan-tegangan yang terjadi pada pelat yang dilas ini terus ada hingga temperatur kamar. Tegangan yang demikian disebut dengan tegangan sisa (*residual stress*). Jika tegangan yang "*tersisa*" itu berupa tegangan tarik maka hal ini dapat membahayakan konstruksi las, karena tegangan tarik ini jika melebihi kekuatan tarik daerah itu maka dapat mengakibatkan retak (*crack*). Tegangan tarik pada gambar diatas mungkin saja sampai ke permukaan logam las dan sekali lagi ini sangat membahayakan konstruksi las. Seperti yang telah dijelaskan, logam cenderung akan memuai bila dipanaskan dan akan menyusut bila didinginkan. Besarnya pemuaian dan penyusutan logam merupakan

hasil perkalian koefisien pemuaian material (α) dan besar temperatur (ΔT) dan dirumuskan sebagai berikut :

$$e = \alpha \cdot \Delta T \tag{2.1}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 \tag{2.2}$$



Gambar 2.5. Perbedaan Penyusutan Logam Las Dan Logam Induk.

Bagian yang diambil dari logam las disebut dengan P1 sedangkan bagian dari logam induk disebut dengan P2. Luas keduanya dianggap sama atau $A_1 = A_2$. Bagian P2 mengalami penyusutan lebih kecil dari bagian P1. Penyusutan pada bagian P2 dinyatakan dengan e_2 dan pada bagian P1 dinyatakan dengan $\alpha \cdot \Delta T$. Penyusutan yang terjadi pada daerah basil pengelasan itu dapat dinyatakan secara matematik sebagai berikut :

$$e_2 = \alpha \cdot \Delta T + e_2$$

$$e_2 - e_1 = \alpha \cdot \Delta T \tag{2.3}$$

dari persamaan hukum *Hooke* dimana $\sigma = E \cdot e$ maka persamaan diatas dapat dimodifikasi menjadi:

$$e_2 - e_1 = \alpha \cdot \Delta T$$

$$\frac{\sigma_2}{E} - \frac{\sigma_1}{E} = \alpha \cdot \Delta T \tag{2.4}$$

$$\sigma_2 - \sigma_1 = E \cdot \alpha \cdot \Delta T \tag{2.5}$$

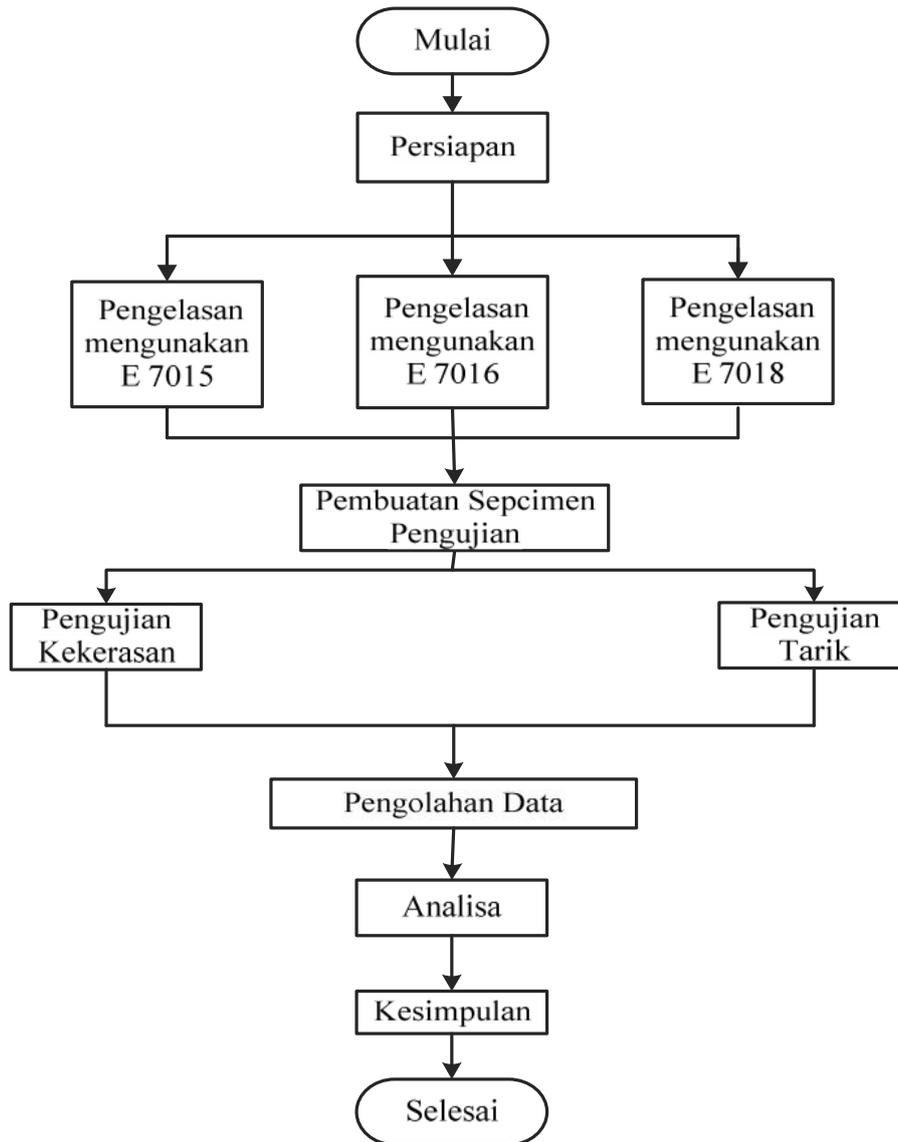
Luas daerah P1 dan P2 dianggap sama, sehingga $A_1 = A_2$.

$$F_1 = - F_2$$

$$\sigma_1 \cdot A = -\sigma_2 \cdot A \tag{2.6}$$

$$\sigma_1 = -\sigma_2$$

3. METODE PENELITIAN



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

4. PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

4.1 Data Pengaruh Karbon *ekivalen* (C_{ek}) dan Pengaruh Parameter Retak (p_c)

1. Pengaruh karbon *ekivalen* (C_{ek})

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} (\%)$$

$$CE = 0.38 + \frac{0.45}{6} + \frac{0.10}{24} + \frac{1.30}{5} + \frac{1.30}{40} + \frac{0.15}{4} + \frac{0.01}{14} = 0,79 (\%)$$

2. Pengaruh parameter retak (p_c)

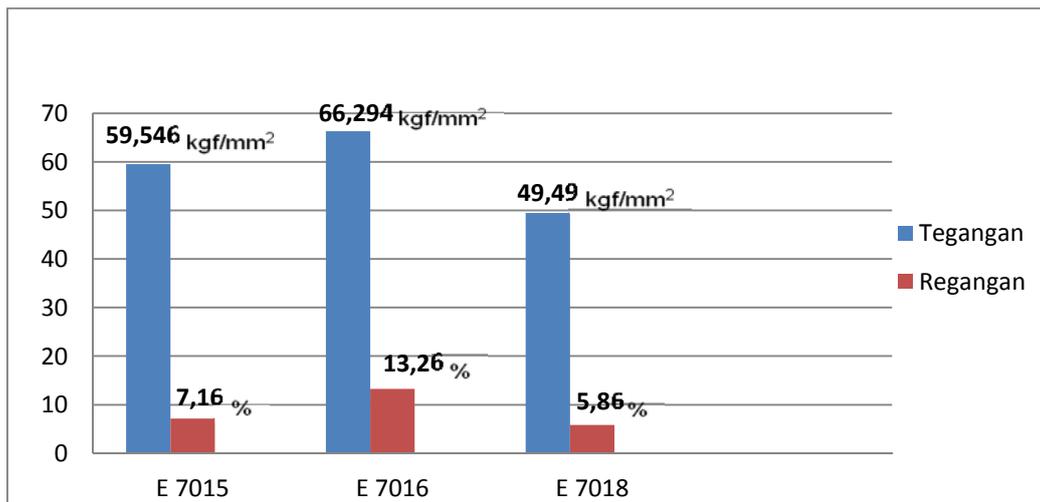
$$P_c = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn + Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} (\%)$$

$$P_c = 0,38 + \frac{0,10}{30} + \frac{0,45 + 1,30}{20} + \frac{1,30}{60} + \frac{0,15}{15} + \frac{0,01}{10} = 0,50 (\%)$$

Hasil Pengaruh Karbon Ekuivalen (C_{ek}) Dan Pengaruh Parameter Retak.

Pengaruh komposisi kimia terhadap sensitifitas retak, atau kepekaan retak dingin di daerah pengaruh panas diakomodasi dengan nilai karbon ekuivalen yang dinotasikan dengan C_{ek} dan nilai parameter retak pada perhitungan. Pengaruh karbon ekuivalen (C_{ek}) 0,79 (%) sedangkan Pengaruh parameter retak (p_c) sebesar 0.50 (%). Nilai karbon ekuivalen dan parameter retak berkorelasi positif dengan kesensitifan terjadinya retak. Artinya kepekaan baja terhadap retak dingin akan turun, jika nilai karbon ekuivalen dan parameter retak juga turun. Paduan atau unsur yang ditambahkan pada baja, merupakan usaha untuk mendapatkan sifat mekanik yang lebih tinggi. Dengan demikian, ketika nilai karbon ekuivalen harus diturunkan, maka sifat mekanik baja yang diperoleh juga akan turun. Pada kebanyakan baja, nilai karbon ekuivalen yang disarankan adalah kurang daripada 0,5 dan nilai parameter retak kurang daripada 0,36.

4.2 Data Hasil Pengujian Tarik.



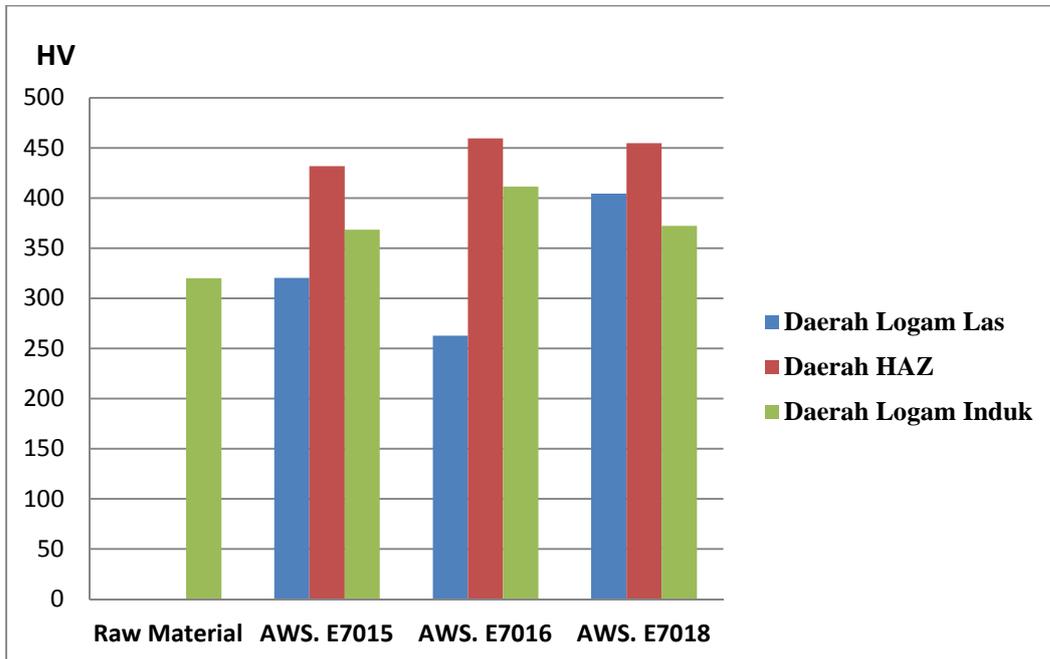
Gambar 4.1. Grafik Perbandingan Tegangan Dan Regangan

Bahan yang dilas menggunakan elektroda E7015 dan 7018 dapat patah begitu saja tanpa mengalami deformasi, yang berarti benda tersebut bersifat rapuh atau getas (*brittle*) dengan nilai yang didapat pada pengelasan menggunakan elektroda tipe E7015 sebesar 59,546 Kgf/mm² dan E7018 sebesar 49,490 Kgf/mm². Sedangkan bahan yang dilas menggunakan elektroda E7016 sebesar 66,294 Kgf/mm², meregang dan mengalami *deformasi* sebelum patah, yang disebut dengan benda *elastis* dan dilihat dari data kekerasannya sebelumnya bahwa bahan yang dilas menggunakan elektroda E7016 kekerasannya paling kecil dibanding E7015 dan E7018.

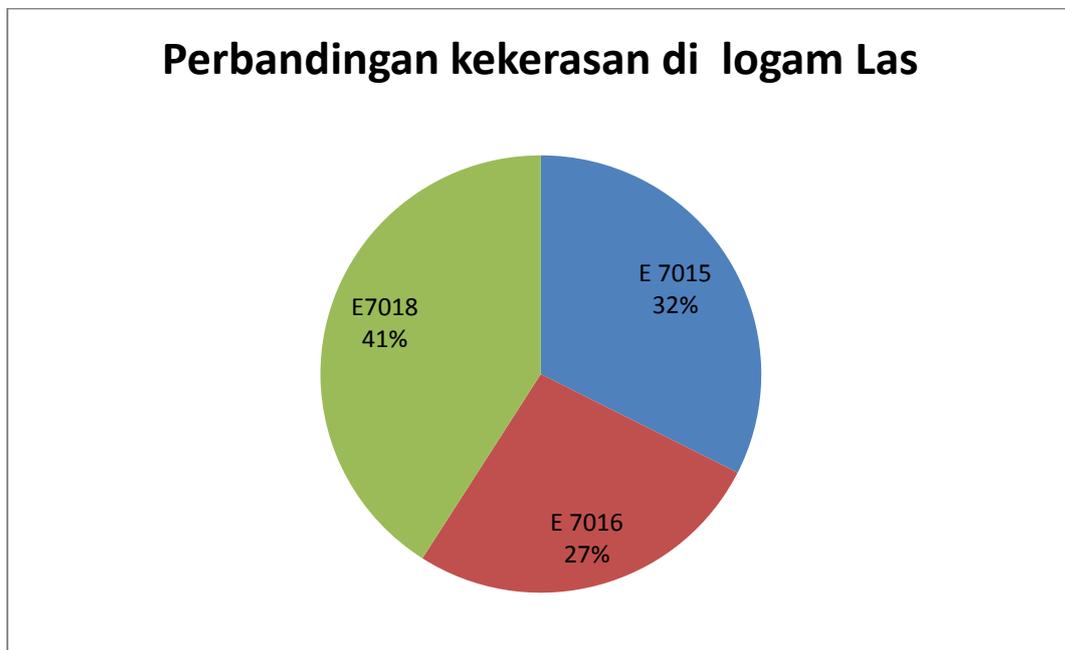
Makin besar tegangan pada sebuah benda, makin besar juga regangannya. Artinya, X juga makin besar. Jadi tegangan terbesar dialami pengelasan menggunakan elektroda E7016 maka regangan terbesar juga di alaminya sebesar 13,26 %.. Bisa dikata *specimen* yang dilas menggunakan elektroda tipe E7016 lebih ulet dari *specimen* yang dilas menggunakan elektroda E7015 dan E7018.

4.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil rata rata pengujian kekerasan yang didapat dari ketiga macam variasi elektroda pengelasan yang telah di hitung.dapat dilihat ditabel dibawah ini



Gambar 4.2. Nilai Kekerasan Keseluruhan



Gambar. 4.3. Persentase Nilai Kekerasan Di Logam Las

Berdasarkan tabel dan grafik pengujian kekerasan yang dilakukan bahwa bahan uji dengan pengelasan menggunakan elektroda tipe E7018 menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibanding dengan menggunakan elektroda tipe E7015 dan E7016. Pada daerah HAZ ini dipengaruhi oleh besarnya panas yang masuk pada logam induk dan las serta cepatnya laju

pendinginan pada logam las karena terak yang dihasilkan sewaktu pengelasan langsung lepas dari logam las sebelum logam las dingin dengan sendirinya, peristiwa inilah yang menyebabkan terjadinya laju pendinginan yang cepat, pada daerah ini terjadinya kenaikan panas yang di hasilkan dari pengelasan maka daerah ini ikut menjadi keras dan laju pendinginan yang cepat dan fasa *martensit* juga terjadi pada daerah HAZ.

Tabel 4.1. Data Keseluruhan Pengujian Kekerasan

No	Bahan Uji	Nilai Kekerasan (HV)		
		Logam las	HAZ	Logam induk
1	Dengan elektroda tipe AWS. E7015	320.26	431.8	368,53
2	Dengan elektroda tipe AWS. E7016	262.56	459.3	411,4
3	Dengan elektroda tipe AWS. E7018	404.3	454.63	372,33

4.4 Laju Pendinginan

1. Pengukuran laju pendinginan pada specimen yang di las menggunakan elektroda type E 7015.
 - a. Percobaan 1 temperatur 798°c – 500°c waktu pendinginan 8 s
 - b. Percobaan 2 temperatur 785°c – 500°c waktu pendinginan 5 s
 - c. Percobaan 3 temperatur 790°c – 500°c waktu pendinginan 6 s

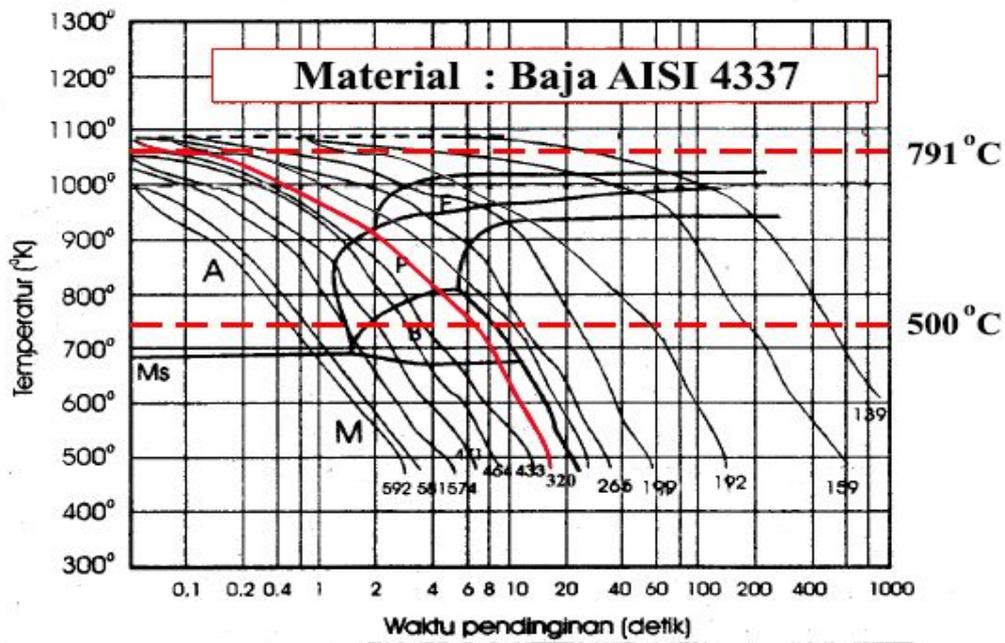
Dari data diatas maka kita akan mendapatkan rata-rata laju pendinginan pada *specimen* yang dilas menggunakan elektroda type E7015.

Rata rata laju pendinginan

$$\bar{X}_T = \frac{\sum [798\text{ }^{\circ}\text{c} + 785\text{ }^{\circ}\text{c} + 790\text{ }^{\circ}\text{c}]}{3} = 791\text{ }^{\circ}\text{c} \text{ (} 1064\text{ }^{\circ}\text{k} \text{)}$$

Rata-rata Waktu pendinginan

$$\bar{X}_t = \frac{\sum [8\text{ s} + 5\text{ s} + 6\text{ s}]}{3} = 6.3\text{ s}$$



Gambar 4.4. Diagram Laju Pendinginan.

Tabel 4.2. Data Rata-rata Keseluruhan Variasi Terhadap Laju Pendinginan.

No	Variasi Elektroda	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	t (s)
1	AWS. E 7015	791	500	6.3
2	AWS. E 7016	783	500	9.3
3	AWS. E 7018	800,66	500	6.3

4.5 Tegangan Sisa

1. Tegangan Sisa Pada Specimen yang di Las Menggunakan Elektroda 7015.

Tegangan-tegangan yang terjadi di daerah hasil pengelasan dapat diperkirakan secara teoritis. Pada pengelasan baja AISI 4337 dengan tipe elektroda E7015, baja mengalami pendinginan dari temperatur 791 °C ke 500 °C. Koefisien pemuaan baja 11×10^{-6} °C dan modulus elastisitas 831,64 kgf/mm².

Diketahui :

$$\alpha = 11 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$E = 831,64 \text{ kgf/mm}^2$$

$$= 831,64 \text{ kgf/mm}^2 \times \frac{9,80665 \text{ N/mm}^2}{1 \text{ kgf/mm}^2} = 8150,072 \text{ N/mm}^2$$

$$T_1 = 791 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 500 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\sigma_2 - \sigma_1 = E \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$$\sigma_2 - \sigma_1 = 8150,072 \text{ N/mm}^2 (11 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}) (500 \text{ } ^\circ\text{C} - 791 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$\sigma_2 - \sigma_1 = -2,608 \text{ N/mm}^2$$

Jika hasil diatas disubstitusikan kepersamaan 2.10 . maka akan diperoleh:

$$\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_2 = 0$$

$$\sigma_1 = -2\sigma_2$$

$\sigma_2 - \sigma_1 = -2,608 \text{ N/mm}^2$ substitusikan ke persamaan diatas:

$$\sigma_2 = \frac{-2,608 \text{ N/mm}^2}{3}$$

$$\sigma_2 = -0,869 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_1 = -2 \cdot \sigma_2$$

$$\sigma_1 = 1,738 \text{ Mpa}$$

Perhitungan selanjutnya dengan cara yang sama dilanjutkan untuk elektroda E7016 dan E7018

Tabel 4.3. Tegangan Sisa yang Terjadi di Masing-masing Variasi Elektroda.

NO	Variasi elektroda	(logam las) σ_1	(Logam induk) σ_2
1	Tipe AWS. E7015	1,738	-0,869
2	Tipe AWS. E7016	1,016	-0,508
3	Tipe AWS. E7018	1,824	-0,912

Yang terbaik disini adalah elektroda E7016 karena memiliki tegangan tarik terendah (**logam las**) $\sigma_1 = 1,016 \text{ Mpa}$. Walaupun demikian elektroda E7018 memiliki tegangan tekan yang besar pada logam induknya (σ_2) = -0,912 Mpa adalah tegangan tekan (negatif) . Daerah yang semakin jauh dari logam las akan mengalami tegangan semakin kecil karena pengaruh beda temperatur yang semakin kecil. Tegangan tarik yang rendah akan mencegah logam las menjadi retak, sementara itu pada logam induk dibutuhkan tegangan tekan yang tinggi untuk mencegah retak juga.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pengelasan yang dilakukan dengan menggunakan 3 macam jenis elektroda berhidrogen rendah yaitu : E7015 jenis *fluks Natrium, Berhidrogen* rendah, E7016 jenis *fluks Kalium berhidrogen* rendah, E7018 jenis *fluks serbuk besi berhidrogen* rendah, dapat ditarik suatu kesimpulan :

1. Elektroda tipe AWS. E7016 yang tepat digunakan pada penyambungan pengelasan pada baja AISI 4337 karena dari hasil pengujian kekuatan tarik paling besar dan regangannya juga besar, indikasi ini hasil lasnya cukup ulet,
2. Elektroda tipe AWS. E7016 tegangan sisa tarik (positip) terkecil pada logam las (1,452 kg/mm²).
3. Untuk pengelasan baja AISI 4337 direkomendasikan menggunakan elektroda E7016

DAFTAR PUSTAKA

- Alibaba. Spesifikasi elektroda AWS E7015 : <http://indonesian.alibaba.com/product-gs/welding-electrode-manufacturer-aws-e7015-1746289155.html> ,
(Diakses tanggal 19 Desember 2015)
- , Spesifikasi elektroda E7016 : <http://indonesian.alibaba.com/product-gs/famous-welding-electrode-brands-aws-e7016-welding-electrode-electrode-efor-welding-60283960288.html>.
(Diakses tanggal 19 Desember 2015)
- , Spesifikasi elektroda E7018 <http://indonesian.alibaba.com/product-gs/mild-steel-welding-electrode-aws-e7018-603185600.html>.
(Diakses tanggal 19 Desember 2015)
- , Paduan komposisi baja AISI 4337 baja : <http://indonesian.alibaba.com/product-gs/aisi-4337-sae-4337-g43370-alloy-steel-1488876204.html>
(Diakses tanggal 13 November 2015)
- Amstead B.H, Ostwald F.Phillip. Begeman Myron L. dan Djaprie Sriati.
(1997). Teknologi Mekanik. Jakarta: penerbit Erlangga
- Beumer B.J.M..(1994), Ilmu bahan logam, jakarta : Penerbit Bhratara.
- Dionisius Y. Baja paduan alloy steel. : <http://teknikmesin-manufaktur.blogspot.co.uk/2015/02/baja-paduan-alloy-steel.html>
(Diakses tanggal 13 November 2015)
- Fakultas Teknik. Universitas Pasundan.(2012). Modul Uji Tarik. Bandung.
- Fakultas Teknik Universitas Trunojoyo. (2013). Modul Uji Kekerasan
- Harsono Wiryosumarto Prof. Dr.Ir., dan Okumura Toshie Prof. Dr.(2000).
Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : penerbit Pradnya Paramita.
- Hendro.s..(2010). Metallurgi/ilmu logam. (online). Tersedia: <https://teknikmesinindustri.wordpress.com/metallurgiilmu-logam/>.
(Diakses tanggal 16 Oktober 2015)