

## STUDI KOROSI DAN SIFAT MEKANIS SAMBUNGAN LAS BUSUR RENDAM UNTUK KONSTRUKSI BAJA DENGAN PERLAKUAN PANAS

Jarot Wijayanto<sup>1</sup>, Darmansyah<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banjarmasin

Masuk: 27 Nopember 2013, revisi masuk: 12 Januari 2014, diterima: 4 Februari 2014

### ABSTRACT

*The research in corrosion rate and mechanical properties for submerged arc welding of Steel construction through heat treatment, was done to study the effectiveness of the use of Post-Weld Heat Treatment (PWHT) using flame oxy aceteline. Its used for reducing the residual stress which may cause reduction in corrosion of resistance. Based on the study, it can be concluded that the release of residual stresses in submerged arc welding by PWHT can reduce current densities up to 43.88  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  at the specimen T300, and also reduce the rate of corrosion that sea water by concentration of 3.3% NaCl. The slowest of corrosion rate occurs in spesimen T300, i.e. 0.311 mm/year compared to the TT specimen that has corrosion rate of 0.377 mm/year. In general, the microstructure of a welding is ferrite of grain boundaries that form structure of the pillar (columnar) with acicular ferrite be inside the columnar grains. The specimens T300 reached optimum hardness value 222.240 VHN but get the lowest value of tensile strength i.e only 54.5 kg/mm<sup>2</sup>.*

*Key word : residual stres, (Post-Weld Heat Treatment) PWHT, corrosion rate.*

### INTI SARI

Penelitian korosi dan sifat mekanis sambungan las busur rendam untuk konstruksi baja melalui perlakuan panas dilakukan untuk mempelajari efektifitas penggunaan *post-weld heat treatment* (PWHT) dengan nyala api oksidasi asetelin dalam pengelasan las busur rendam. Hal ini untuk mengurangi terjadinya tegangan sisa yang menyebabkan ketahanan korosi menurun. Dari penelitian dapat disimpulkan bahwa pembebasan tegangan sisa pada hasil las busur rendam melalui PWHT menggunakan nyala oksidasi asetelin dapat menurunkan rapat arus sampai dengan 43,88  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  pada spesimen T300 sehingga mempengaruhi laju korosi yang terjadi pada air laut konsentrasi 3,3 % NaCl. Laju korosi paling lambat terjadi pada spesimen T300 yaitu sebesar yaitu sebesar 0.311 mm/year dibandingkan dengan spesimen TT yang memiliki nilai laju korosi 0,377 mm/year. Secara umum struktur mikro las berupa ferit batas butir yang membentuk struktur pilar (*columnar*) dengan ferit asikular berada didalam butir *columnar*. Pada hasil pengujian mekanis untuk spesimen T300 memiliki nilai kekerasan paling optimum yaitu mencapai 222,240 VHN tetapi nilai kekuatan tariknya terendah yaitu sebesar 54,5kg/mm<sup>2</sup>.

Kata kunci : tegangan sisa, PWHT, laju korosi, kekuatan tarik

### PENDAHULUAN

Las busur rendam atau *submerged arc welding* (SAW) adalah proses pengelasan dimana logam cair ditutup dengan fluks yang diatur melalui

suatu penampang fluks dan logam pengisi yang berupa kawat pejal diumpankan secara terus menerus (Wiryosumarto dan Okumura, 1991). Pengelasan dilakukan secara otomatis

dan busur terendam dalam fluks sehingga memberi kenyamanan dalam pengoperasiannya. Sambungan las banyak dipakai pada konstruksi bangunan baja dan konstruksi mesin seperti perkapalan, bejana tekan, jembatan, perpipaan, kendaraan dan lain-lain. Banyak manfaat yang dapat diperoleh dari sambungan dengan menggunakan bantuan las, tetapi disisi lain juga tidak sedikit masalah-masalah yang timbul dan diatasi berkaitan dengan sifat fisik, mekanik dan kimia dari material yang dilas. Salah satu contoh dari masalah tersebut adalah terjadinya perbedaan struktur mikro yang cukup menonjol antara daerah terpengaruh panas (*Heat Affected Zone* atau HAZ) dengan logam induknya akibat dari pengaruh panas yang ditimbulkan pada waktu melakukan pengelasan cair. Struktur dengan sambungan las seperti bejana tekan, pipa dan bangunan lepas pantai (*off-shore*) sering beroperasi di lingkungan korosi dan mengalami beban dinamik. Kombinasi antara tegangan sisa pada las, beban dinamik dan media korosi dapat menyebabkan terjadinya patah leleh (*fatigue failure*).

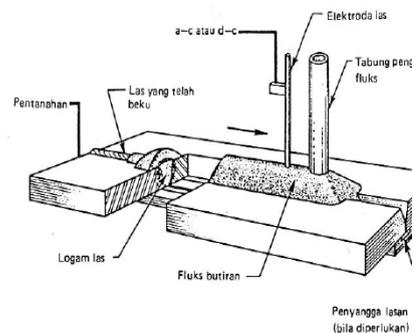
Dalam proses pengelasan, bagian yang dilas menerima panas setempat yang mengakibatkan terjadinya pengembangan termal sedangkan bagian yang dingin tidak berubah sehingga dapat mengakibatkan terjadinya ketidakseragaman regangan. Hal ini dapat mengakibatkan perubahan bentuk dan menimbulkan tegangan sisa (Wiryosumarto dan Okumura, 1991). Tegangan sisa pada logam las dapat menyebabkan terjadinya *stress corrosion cracking* (SCC) dan *hydrogen induced cracking* (HIC) (Jones, 1992).

Dari uraian diatas untuk mempertahankan integritas struktur yang dibangun dengan cara pengelasan, pengurangan tegangan sisa perlu dilakukan cara yang efektif sehingga dapat meningkatkan sifat fatik dan ketahanan korosinya. Telah banyak usaha yang dilakukan untuk mengurangi pengaruh tegangan sisa yang timbul karena siklus termal proses pengelasan baik dengan cara *pre-heating*, pengontrolan siklus termal dan penggetaran saat pengelasan maupun

*post-weld heat treatment* dan *peening* (Mochizuki M.,2006). Dalam penelitian ini akan diteliti penggunaan *post-weld heat treatment* (PWHT) dalam pengelasan las busur terendam untuk mengurangi terjadinya tegangan sisa yang menyebabkan *stress corrosion cracking* (SCC) dan *hydrogen induced cracking* (HIC).

## METODE

Las busur terendam merupakan salah satu proses pengelasan busur di mana logam-logam disatukan dengan cara pemanasan dengan sumber panas dari busur antara logam elektroda dengan logam dasar, dengan busur diselimuti oleh butiran yang dinamakan fluks di atas daerah pengelasan (Kou, 1987). Butiran penyelimut merupakan material yang dapat ikut bergabung dengan logam las. Secara umum, proses las busur terendam seperti pada Gambar 1.



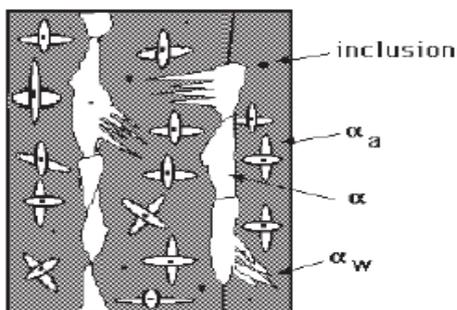
Gambar1. Skema yang menggambarkan struktur mikro untuk logam las (Horrison dan Farrar, 1989)

Struktur mikro logam las baja C-Mn merupakan fungsi dari komposisi logam las; jenis, jumlah dan distribusi inklusi; dan laju pendinginan logam las. Untuk mendapatkan struktur mikro yang baik pada pengelasan las busur terendam diperlukan laju pendinginan logam las di bawah  $A_c3$  untuk mendapatkan jangkauan temperatur transformasi ferit asikular, unsur paduan (Ti, Mo dan B di dalam kawat las dan C, Mn, Nb dan V di dalam logam induk) untuk meyakinkan sifat mampu keras

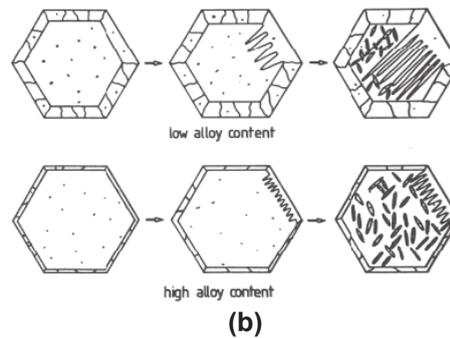
dan transformasi pendinginan kontinu, penggunaan fluks basa untuk menyediakan kandungan oksigen di kolam las, dan deoksidan tertentu (Al dan Si) di logam induk untuk bereaksi dengan oksigen yang tersedia dan membentuk inklusi (Thewlis, 1985).

Struktur mikro yang mungkin terjadi di logam las adalah ferit batas butir ( $\alpha$ ) yang terbentuk pertama kali pada transformasi  $\gamma$  menjadi  $\alpha$  sepanjang batas butir austenit dari suhu  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  hingga  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ferit widmanstatten ( $\alpha_w$ ) yang tumbuh pada suhu  $750\text{ }^{\circ}\text{C}$  hingga  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$  pada arah ke dalam butir di sepanjang batas butir austenit, ferit asikular ( $\alpha_a$ ) yang biasanya terbentuk pada suhu  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$  di dalam butir dengan orientasi acak, bainit yang merupakan ferit berbentuk pelat dengan  $\text{Fe}_3\text{C}$  di antara pelat-pelat tersebut dan martensit yang terbentuk jika terjadi proses pendinginan sangat cepat dan terdapat kandungan C yang cukup. Pembentukan struktur digambarkan secara skema pada Gambar 2.

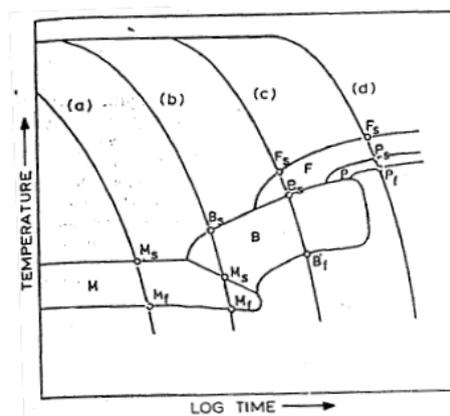
Pembentukan struktur mikro selama proses pendinginan logam las dapat diperkirakan menggunakan diagram *Continuous Cooling Transformation (CCT)* yang secara skema digambarkan pada Gambar 3.



Gambar 2. (a) Skema struktur ferit di dalam logam las (Bhadeshia, 2004)

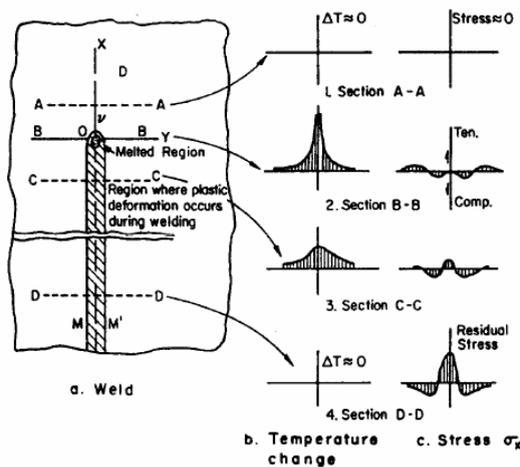


Gambar 2. (b) Skema proses pembentukan struktur mikro logam las (Bhadeshia, 2004)



Gambar 3. Diagram CCT (Harrison dan Farrar, 1989)

Selama proses pengelasan, pada bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat dan selama proses berjalan temperturnya berubah terus sehingga distribusinya 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 penggetasan, berkurangnya ketahanan leleh, menurunnya ketangguhan las dan ketahanan korosi.



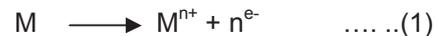
Gambar 4. Perubahan Temperatur dan Tegangan Sisa pada Saat Pengelasan (Kou 1987).

Korosi pada Pengelasan. Korosi adalah perubahan struktur logam yang menimbulkan kerapuhan dan yang disebabkan karena reaksi sebagai akibat dari adanya sel konsentrasi dari ion logam atau adanya proses galvanik. Dua jenis korosi yang berbahaya dalam konstruksi baja adalah korosi antar butir atau intergranular yaitu korosi yang terjadi bila daerah batas butir terserang akibat adanya endapan didalamnya. Batas butir ini lebih disukai untuk proses pengendapan (*precipitation*) dan pemisahan (*segregation*) yang teramati pada banyak paduan. Ketidakmurnian suatu bahan yang reaktif bisa terjadi pemisahan atau memisahkan elemen seperti kromium yang terdepleksi pada batas butir. Hasilnya batas-batas butir atau daerah yang berdekatan sering tidak tahan korosi dan korosi pada batas butir mungkin cukup untuk melepaskan butir-butir ke permukaan. Sebagai contoh adalah akumulasi dari paduan yang tidak terdistribusi dengan merata akibat pengaruh panas dari lasan.

Korosi yang berbahaya kedua adalah korosi tegangan yang merupakan peretakan intergranular sebagai akibat gabungan tegangan tarik statik dan lingkungan khusus yang korosif sehingga dapat

menimbulkan retak. Korosi ini akan semakin meningkat jika berada pada kondisi lingkungan yang kadar klorida cukup tinggi seperti air laut yang temperaturnya cukup tinggi. Komposisi kimia dari sambungan las pada umumnya tidak merata karena itu daya tahannya terhadap korosi juga tidak sama, hal ini perlu mendapat perhatian dalam perencanaan.

Mekanisme Korosi menurut Fontana (1978), reaksi-reaksi elektrokimia dapat digunakan untuk menerangkan mekanisme terjadinya korosi. Aspek elektrokimia yang terjadi selama berlangsungnya proses korosi terbagi atas 2 : a). Reaksi anoda (reaksi oksidasi) adalah reaksi yang menghasilkan electron. Selain itu reaksi anoda juga menyebabkan terjadinya oksidasi sekaligus penyebab terjadinya korosi. Reaksi anoda pada proses korosi merupakan reaksi oksidasi logam menjadi ion logam. Reaksinya adalah :



b). Reaksi katoda (reaksi reduksi), adalah reaksi yang mengkonsumsi elektron. Reaksi katoda menyebabkan reaksi reduksi dan pada umumnya tidak mengalami korosi. Reaksinya adalah :



Pada Laju Korosi, Untuk mengetahui nilai kuantitatif dari logam yang mengalami korosi dapat dihitung dengan laju korosi, yang dapat dinyatakan dengan prosentase berat yang hilang, milligram per sentimeter kuadrat per hari. Sedangkan laju korosi dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

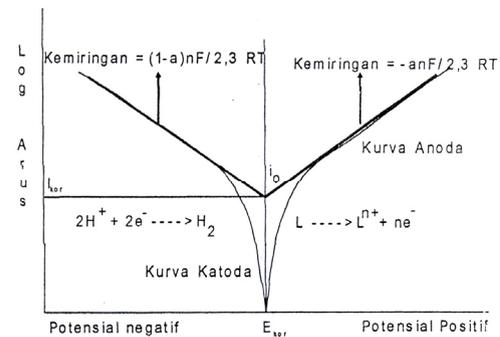
$$R = 0,129 \frac{m I_{kor}}{n \rho} \dots \dots (3)$$

- R = laju korosi (mils per year = mpy)
- $I_{kor}$  = rapat arus korosi ( $\mu A/cm^2$ )
- $\rho$  = berat jenis sampel ( $g/m^3$ )
- m = masa atom
- n = valensi atom.

Baik tidaknya suatu bahan terhadap serangan korosi (berlaku untuk korosi merata) dapat digolongkan dalam 3 kelas : 1). Kurang dari 5 mpy (mils per year, 1 mils = 0,001 inch) ; logam yang masuk dalam kelompok ini memiliki daya tahan yang tinggi terhadap korosi, misalnya baling-baling, poros pada pompa dan pegas. 2). 5 – 50 mpy ; logam dari kelompok ini dianggap memadai bila bagian-bagian peralatan dibuat dari logam ini diperbolehkan mennggung laju korosi yang tinggi. Bagian-bagian tersebut misalnya pipa dan tangki. 3). Lebih dari 50 mpy ; logam-logam dalam kelompok ini sebaiknya tidak digunakan karena tidak tahan korosi.

Penggambaran Kurva E/log I, faktor penting untuk mendukung laju korosi adalah untuk mengetahui besarnya arus korosi yang didapat dari pengujian korosi dengan potensiostat/ Galvanostat PGS-201T. Grafik E/log I merupakan metode yang digunakan untuk menentukan harga  $i_{kor}$  (rapat arus korosi), sebagai landasan dalam menentukan laju korosi. E menunjukkan besarnya potensial yang diberikan pada sistem selama pengujian korosi berlangsung. Sedangkan I menunjukkan harga arus tercatat selama pengujian korosi berlangsung. Untuk lebih mudahnya dapat dilihat pada Gambar 5.  $i_{kor}$  (rapat arus korosi) merupakan antilog dari log arus yang didapatkan selama pengujian korosi dengan alat uji potensiostat/ Galvanostat PGS-201T. Pengujian korosi dimulai dengan reaksi reduksi yang ditunjukkan oleh grafik sebelah kiri dengan gradien (kemiringan) yang negatif. Potensial biasanya dimulai dengan harga -2500 mV sampai 2500 mV. Penambahan potensial akan diikuti oleh bertambahnya nilai arus yang terbentuk atau semakin banyaknya elektron yang mengalir dari anoda menuju katoda. Reaksi reduksi akan berakhir pada saat harga arus mencapai nol. Pada saat arus mencapai harga nol inilah potensial korosi ( $E_{kor}$ ) terbentuk. Sesaat setelah reaksi reduksi berakhir, akan diikuti oleh reaksi oksidasi. Reaksi oksidasi ditandai semakin tingginya potensial dan arus, serta gradien grafik sebelah kanan

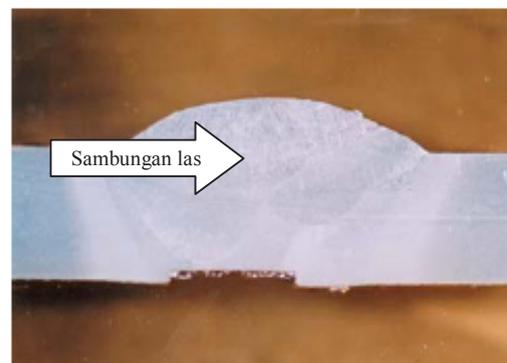
yang positif. Pada saat reaksi oksidasi, yang terjadi adalah pelepasan elektron dari anoda menuju katoda.



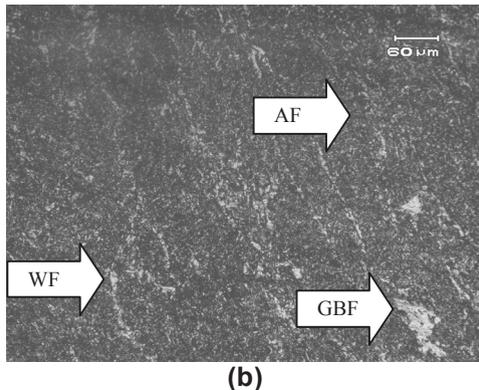
Gambar 5. Kurva E/log I

## PEMBAHASAN

Pengamatan struktur mikro pada specimen difokuskan pada daerah sambungan las yang meliputi daerah las, HAZ kasar, HAZ halus dan logam induk. Gambar 6 adalah struktur makro sambungan las beserta struktur mikro logam las pada kondisi : (a) tanpa perlakuan, sedangkan pada gambar (b), (perlakuan *flame stress relieving* pada temperatur las 300°C. Secara umum struktur mikro las berupa ferit batas butir yang membentuk struktur pilar (*columnar*) dengan ferit asikular berada didalam butir *columnar*. Pemanasan *stress relief* yang dilakukan pada penelitian ini masih dibawah temperatur kritis *eutectoid* (*austenisasi*) sehingga tidak mengalami perubahan struktur mikro las akan tetapi adanya pemanasan menunjukkan pengasaran struktur mikro.



Gambar 6.(a) struktur makro



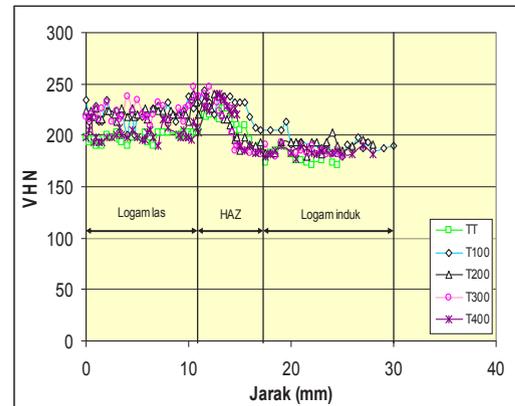
Gambar 6. (b) struktur mikro logam T300

Saat terjadi pendinginan setelah proses pengelasan *grain boundary ferrite* (GBF), yang terlihat berbentuk *columnar* dan berwarna terang terbentuk pada batas butir austenit. Pada temperatur yang lebih rendah *side plate ferrite / Widmanstatten ferrite* (WF) tumbuh ke dalam butir. Selanjutnya *cicular ferrite* (AF) tumbuh pada bagian tengah butir (*intergranular*) dan berwarna agak gelap.

Pengujian kekerasan dilakukan pada daerah las, HAZ kasar ataupun halus dan logam induk. Nilai kekerasan pada HAZ kasar lebih tinggi dibandingkan dengan HAZ halus, logam las maupun logam induk. Struktur bainit sebagai penyebab tingginya nilai kekerasan pada daerah ini. Sedang pada daerah logam induk yang strukturnya terdiri atas ferit dan perlit memiliki nilai kekerasan yang paling rendah.

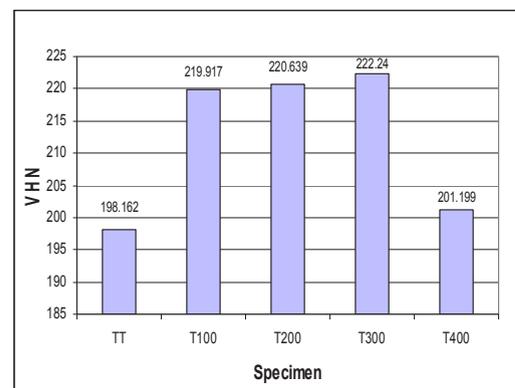
Data distribusi kekerasan mikro pada Gambar 7. menunjukkan kecenderungan yang seragam pada tiap specimen terjadi peningkatan nilai kekerasan dari logam las ke daerah HAZ kasar, setelah itu mengalami penurunan menuju daerah HAZ halus sampai logam induk. Hal ini konsisten dengan struktur mikro yang terbentuk bahwa HAZ kasar memiliki struktur bainit. Disamping itu nilai kekerasan tidak menunjukkan kecenderungan garis linier pada suatu daerah yang sama. Hal ini disebabkan oleh struktur mikro yang diidentifikasi tidak selalu sama meskipun berada pada satu daerah. Pada daerah logam las misalnya, yang memiliki

tingkat data yang cukup acak, struktur mikro yang terkena identifikasi bisa berupa *acicular ferrite*, *Widmanstatten ferrite* atau *grain boundary ferrite*.



Gambar 7. Distribusi kekerasan mikro Vickers

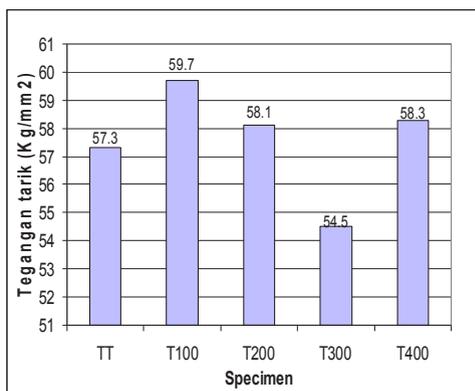
Pada penelitian ini yang menjadi fokus penelitian utama adalah daerah las sehingga pembahasan mengenai pengujian kekerasan juga difokuskan pada daerah las.



Gambar 8. Perbandingan kekerasan pada specimen logam las

Pada las tanpa perlakuan panas (TT), kekerasan rata-rata logam las adalah 198,162 VHN dan jika dibandingkan dengan specimen yang mengalami *flame stress relieving* pada temperatur 100 °C (T100) terjadi peningkatan yang signifikan menjadi 219,917 VHN. Nilai kekerasan masih menunjukkan kenaikan pada specimen T300 yang mencapai 222,240 VHN.

Specimen T400 mengalami penurunan nilai kekerasan hingga 201,199 VHN. Dari hasil nilai kekerasan berbagai specimen pada logam las diatas di mungkinkan pada specimen T300 mengalami tegangan sisa tekan paling besar karena memiliki kekerasan tertinggi. Hasil pengujian tarik sambungan las terlihat pada Gambar 9



Gambar 9. Tegangan tarik maksimum las

Dari gambar 9 terlihat bahwa sambungan las tanpa perlakuan panas mempunyai tegangan tarik maksimum sebesar 57,3 kg/mm<sup>2</sup>. Setelah mendapatkan perlakuan panas dengan *flame* terjadi perubahan tegangan tarik, hal ini kemungkinan disebabkan adanya pendinginan setelah pemanasan sehingga austenit sisa yang biasanya terdapat dalam struktur mikro las berubah menjadi martensit. Untuk *flame stress relieving* pada temperatur 100 °C (T100) memiliki tegangan tarik maksimum tertinggi sebesar 59,7 kg/mm<sup>2</sup>, dan nilai tegangan tarik maksimum menurun dengan peningkatan temperatur *flame* sampai temperatur 300 °C (T300) sebesar 54,5kg/mm<sup>2</sup>. Kemudian terjadi peningkatan nilai tegangan tarik maksimum lagi pada temperatur 400 °C (T400).

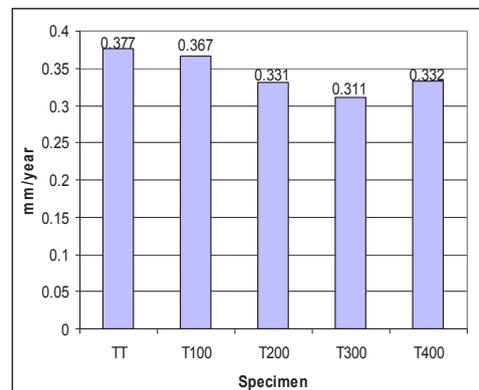
Pengujian Korosi merupakan Faktor penting untuk menghitung laju korosi adalah mengetahui besarnya rapat arus korosi yang didapat dari pengujian korosi dengan alat Potensiostat/Galvanostat PGS-201T. Grafik E/log I merupakan metode yang digunakan untuk menentukan harga  $I_{kor}$

(rapat arus korosi), sebagai landasan dalam menentukan laju korosi. Tabel 1. menunjukkan rapat arus pada logam las saat pengujian korosi.

Tabel 1. Rapat arus yang terjadi pada logam las

| Specimen | Rapat Arus ( $\mu A/cm^2$ ) | Laju Korosi (mm/year) |
|----------|-----------------------------|-----------------------|
| TT       | 53,20                       | 0,377                 |
| T100     | 51,67                       | 0,367                 |
| T200     | 46,66                       | 0,331                 |
| T300     | 43,88                       | 0,311                 |
| T400     | 46,82                       | 0,332                 |

Pengujian korosi secara elektrolisis dapat dilihat bahwa specimen TT pada logam las memiliki rapat arus tertinggi sebesar 53,20  $\mu A/cm^2$ . Dan rapat arus terendah terjadi pada logam las specimen T300, ternyata adanya perlakuan pembebasan tegangan sisa melalui *flame heating* dapat menurunkan rapat arus yang terjadi saat pengujian korosi.



Gambar 10. Laju korosi secara elektrolisis

Gambar 10 memperlihatkan laju korosi secara elektrolisis yang terjadi pada logam las untuk berbagai specimen. Specimen T300 memiliki laju korosi terendah yaitu sebesar 0.311 mm/year dibandingkan dengan specimen TT yang memiliki nilai laju korosi 0,377 mm/year. Hal ini kemungkinan tegangan sisa mempengaruhi rapat arus pada saat elektrolisis logam las. Semakin besar

temperature *flame heating* dalam proses *stress relieving* ternyata menurunkan rapat arus, hanya sampai pada temperatur 300<sup>o</sup>C dan mengalami kenaikan lagi untuk temperatur 400<sup>o</sup>C yang memiliki rapat arus 46,82  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ .

#### KESIMPULAN

Pembebasan tegangan sisa pada hasil lasan busur rendam melalui PWHT menggunakan nyala oksi asetelin dapat menurunkan rapat arus sampai dengan 43,88  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  pada spesimen T300 sehingga mempengaruhi laju korosi pada air laut konsentrasi 3,3 % NaCl.

Laju korosi paling lambat terjadi pada spesimen T300 yaitu sebesar 0,311 mm/year dibandingkan dengan spesimen TT yang memiliki nilai laju korosi 0,377 mm/year.

Struktur mikro las berupa ferit batas butir yang membentuk struktur pilar (*columnar*) dengan ferit asikular berada didalam butir *columnar*.

Pengujian mekanis untuk spesimen T300 memiliki nilai kekerasan paling tinggi yaitu 222,240 VHN tetapi nilai kekuatan tariknya terendah yaitu 54,5kg/mm<sup>2</sup>.

#### DAFTAR PUSTAKA

Bhadeshia, H. K. D. H., 2004, "Reability of Welding Microstructure and Property Calculations" *Welding Journal*, 237-243-s.

Harrison, P.L., Farrar, P.L., 1989, "Aplication of Continuous Cooling Transformation Diagrams for Welding of Steel", *International Materials Reviews*. Vol 34, No. 1, 35-51.

Fontana, Mars.G., 1978, *Corrosion Engineering*, McGraw-Hill, Inc.

Jones, D.A. 1992 *Principles and Prevention of Corrothion*. New York : Macmillan Publising Company, 311-315.

Kou, S., (1987), *Welding Metallurgy*, John Willey Sons, Inc., New York.

Mochizuki, M., 2006, "Control of Welding Residual Stress for Ensuring Integrity Against Fatigue and Stess Corrothion Cracking", NED-4568, Nuclear Engineering and Design, Elsevier.

Thwellis, G., 1985, " Factor Affecting Weld Metal Properties in Arc Welding", Swinden Laboratories, British Steel Corporaion.

Wiryosumarto, H., dan Okumura, T, (2000), *Teknologi Pengelasan*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.