

PENGARUH ARUS LAS TERHADAP LEBAR DAERAH PENGARUH PANAS PADA PENGELASAN TUTUP KELONGSONG DENGAN KELONGSONG BATANG ELEMEN BAKAR NUKLIR

Efrizon Umar, Saeful Hidayat, Gandana
Pusat Penelitian Teknik Nuklir - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

PENGARUH ARUS LAS TERHADAP LEBAR DAERAH PENGARUH PANAS PADA PENGELASAN TUTUP KELONGSONG DENGAN KELONGSONG BATANG ELEMEN BAKAR NUKLIR. Pada daerah pengaruh panas di dalam proses pengelasan terjadi penurunan kekuatan mekanis karena terjadi perbesaran butir. Pada pengelasan tutup kelongsong dengan kelongsong batang elemen bakar nuklir, lebar daerah pengaruh panas yang besar tidak diinginkan. Untuk itu telah dilakukan penelitian pengaruh besar arus las terhadap lebar daerah pengaruh panas pada pengelasan tutup kelongsong dengan kelongsong batang elemen bakar nuklir. Hasilnya menunjukkan bahwa pada pengelasan dengan kecepatan konstan, makin kecil arus las makin kecil pula lebar daerah pengaruh panasnya. Pada arus las yang optimum, lebar daerah pengaruh panas tidak dapat diperkecil dengan menurunkan arus las karena akan menyebabkan lebar daerah las lebih kecil dari spesifikasi yang disyaratkan. Untuk maksud tersebut disarankan sedikit memodifikasi konstruksi alat lasnya.

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF WELDING CURRENT TO THE WIDTH OF THE HEAT AFFECTED ZONE IN FUEL PIN TUBE-END CAP WELDING. The mechanical strength of the material in "the heat affected zone" decreases due to grain size magnification. Therefore, in the fuel pin tube-end cap welding, widely heat affected zone was not permitted. In this work, the influence of welding current to the affected zone has been studied. The result of welding showed that for the constant velocity of the heat source, the smaller welding current will cause the smaller of the heat affected zone width. At the optimum welding current, the width of the heat affected zone couldnot be reduced by decreasing welding current because it would be reduced the width of the welding zone lower than the specification condition. For this purpose it was recommended to make a little modification in the welding equipment construction.

PENDAHULUAN

Siklus termal pada proses pengelasan dapat menimbulkan berbagai akibat pada logam yang dilas, seperti terjadinya tegangan termal, perubahan metalurgi serta reaksi kimia [1,2,3]. Tegangan termal yang terjadi dapat menimbulkan distorsi, meninggalkan tegangan sisa dan mungkin menimbulkan retak pada sambungan las. Perubahan metalurgi memungkinkan terjadinya perubahan fase maupun perbesaran butir, sehingga memberikan pengaruh yang dominan terhadap kekuatan mekanis logam yang dilas. Reaksi kimia yang terjadi antara logam yang dilas dengan atmosfer maupun dengan logam pengisi akan berpengaruh terhadap ketahanan korosi sambungan las tersebut [5, 6].

Pada pengelasan tutup kelongsong dengan kelongsong batang elemen bakar nuklir yang terbuat dari zirkaloy, proses-proses yang dikemukakan di atas perlu mendapat perhatian, terutama yang erat kaitannya dengan kekuat-

an mekanis dan ketahanan korosi sambungan las. Pengaruh parameter arus las terhadap kualitas hasil las merupakan masalah yang paling dominan karena arus las akan mempengaruhi siklus termal serta perubahan metalurgi pada daerah las maupun pada logam induk yang dipengaruhi panas pengelasan (daerah pengaruh panas). Untuk itu dalam pengelasan tutup kelongsong dengan kelongsong diusahakan agar logam induk yang dipengaruhi siklus termal sekecil mungkin, tanpa mengurangi kualitas hasil las yang disyaratkan.

Dalam penelitian ini akan dianalisis pengaruh arus las terhadap lebar daerah pengaruh panas untuk kecepatan pengelasan konstan, dan usaha-usaha yang dapat dilakukan untuk memperkecil lebar daerah pengaruh panas tersebut. Kemudian ditampilkan pula berbagai hasil kuantitatif dan kualitatif untuk kondisi

pengelasan yang optimum dengan menggunakan peralatan yang sudah dimodifikasi.

TEORI

Untuk memperkirakan dan mengevaluasi perubahan metalurgi dan proses perpindahan panas pada suatu tempat dalam logam padat dekat daerah las (daerah pengaruh panas) dibutuhkan data mengenai temperatur maksimum yang dapat dicapai pada tempat tersebut [1,2,3]. Besarnya temperatur maksimum pada daerah pengaruh panas sangat tergantung pada panas yang diberikan dan sifat-sifat fisika logam yang dilas. Dalam pengelasan tutup kelongsong dengan kelongsong batang elemen bakar nuklir yang dapat digolongkan dalam pengelasan pelat tipis [7,8], distribusi temperatur maksimum pada daerah pengaruh panas dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 1 [7].

$$\frac{1}{T_p - T_o} = 4,13 \frac{\rho \cdot C \cdot t \cdot Y}{H_{net}} + \frac{1}{T_m - T_o} \quad (1)$$

T_p = temperatur maksimum ($^{\circ}\text{C}$) pada jarak Y dari batas daerah las; T_o = temperatur ruangan ($^{\circ}\text{C}$); T_m = titik lebur logam ($^{\circ}\text{C}$); ρ = rapat massa logam (g/mm^3); C = panas jenis logam padat ($\text{J}/\text{g}\cdot^{\circ}\text{C}$); t = tebal logam yang dilas (mm); H_{net} = energi panas masuk pada saat pengelasan (J/mm).

Sedangkan energi panas masuk selama proses pengelasan (H_{net}) diperoleh dari persamaan 2 [1].

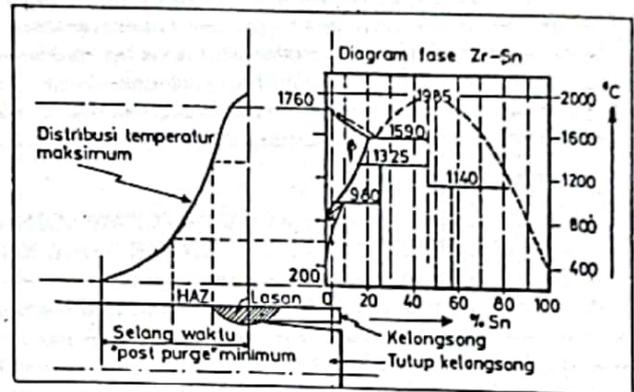
$$H_{net} = f \cdot E \cdot I/V \quad (2)$$

E = tegangan antara elektrode dan benda kerja (Volt); I = arus las (Ampere); f = efisiensi perpindahan panas; V = kecepatan berpindahnya sumber panas (mm/s).

Persamaan distribusi temperatur maksimum tersebut digunakan untuk menentukan temperatur maksimum logam yang dilas pada tempat tertentu dan memperkirakan lebar daerah pengaruh panas. Untuk menentukan lebar daerah pengaruh panas pada pengelasan tutup kelongsong dengan kelongsong batang elemen bakar nuklir yang terbuat dari paduan zirkonium-timah putih, perlu diketahui temperatur minimum yang dapat mengubah struktur paduan pada komposisi tertentu, sesuai dengan jenis paduan zirkonium yang digunakan. Bila lebar daerah pengaruh panas yang terbentuk makin besar, berarti logam induk yang mengalami perubahan struktur metalurgi juga makin besar. Biasanya kekuatan mekanis logam pada daerah

pengaruh panas ini berkurang jika dibandingkan dengan logam induk karena terjadi perbesaran butir. Dalam pengelasan tutup kelongsong dengan kelongsong batang elemen bakar nuklir, masalah ini perlu mendapat perhatian agar panjang kelongsong yang berubah kekuatan mekanisnya setelah proses pengelasan relatif kecil.

Dengan menggunakan diagram fase paduan zirkonium-timah putih, temperatur minimum yang dapat menyebabkan terjadinya perubahan struktur paduan ini untuk berbagai komposisi dapat ditentukan. Diagram fase paduan zirkonium-timah putih dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram fase paduan zirkonium-timah putih.

BAHAN DAN PERALATAN

Bahan

Bahan yang digunakan adalah : kelongsong zircaloy-4, batang zircaloy-4, gas helium kemurnian tinggi (99,996 %)

Peralatan

Peralatan yang dipakai : mesin las TIG otomatis type M80-3, alat cuci ultrasonik, oksisorb, kontrol kualitas, alat ukur kekerasan mikro.

TATA KERJA

Pengelasan dilakukan dengan memvariasikan arus las, sedangkan parameter yang lain dibuat konstan [9]. Tekanan ruang las lebih besar daripada tekanan udara luar untuk menjamin udara luar tidak masuk ke dalam ruang las. Parameter pengelasan yang dibuat tetap dapat dilihat pada Tabel 1.

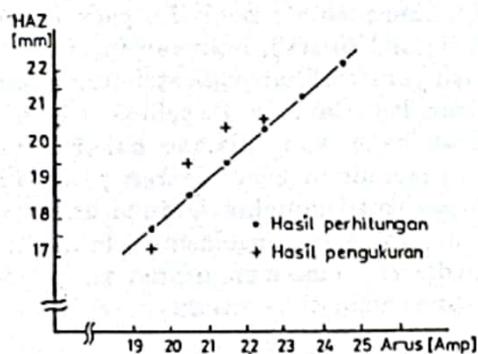
Tabel 1. Parameter pengelasan yang dibuat tetap

Diameter elektrode	:	1,6 mm
Bahan elektrode	:	W-Th 2 %
Sudut elektrode	:	25°
Kecepatan putar	:	7,5 rpm
Tekanan ruang las	:	1040 mbar
Laju alir gas helium	:	10 liter/menit
Waktu tunda	:	0,1 detik
Bilas awal	:	10 detik
Bilas akhir	:	10 detik

Lebar daerah pengaruh panas untuk setiap arus las diukur dengan menggunakan alat uji kekerasan dan alat uji struktur mikro. Di samping itu, lebar daerah pengaruh panas ini juga dihitung secara teoritis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lebar daerah pengaruh panas yang terjadi dapat ditentukan dengan mengukur panjang kelongsong yang berubah kekerasannya atau dengan menghitung secara teoritis. Lebar daerah pengaruh panas yang diperoleh dari hasil analisis kekerasan mikro dan hasil perhitungan teoritis dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh arus las terhadap lebar daerah pengaruh panas (HAZ)

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa lebar daerah pengaruh panas hasil pengukuran dan hasil perhitungan menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu dengan makin besarnya arus las, maka makin lebar daerah pengaruh panas yang terjadi. Hal ini disebabkan karena dengan makin besarnya arus las berarti energi panas yang masuk (H) juga makin besar sehingga bagian logam yang terpengaruh panas

pengelasan tersebut juga makin lebar. Dengan makin lebarnya daerah pengaruh panas untuk arus yang makin besar berarti bagian logam yang berkurang kekuatannya mekanisnya juga makin besar sehingga dalam pengelasan kelongsong dengan tutup kelongsong elemen bakar nuklir harus dipilih arus sekecil mungkin. Tetapi penurunan arus las juga dibatasi oleh spesifikasi hasil las yang disyaratkan, yaitu lebar daerah las sekitar 400-500% tebal kelongsong dan kedalaman daerah las sekitar 125% tebal kelongsong [4]. Persyaratan ini menyebabkan penurunan arus las terbatas, sehingga usaha memperkecil lebar daerah pengaruh panas harus dilakukan dengan metode lain. Dalam makalah ini diusulkan untuk memperbaiki mekanisme perpindahan panas di sekitar daerah las yaitu dengan menyempurnakan proses perpindahan panas konduksi pada kelongsong, sehingga panas pengelasan yang berada pada kelongsong dapat berpindah lebih cepat. Panas yang dapat berpindah dengan cepat dapat mengurangi kesempatan untuk mempengaruhi struktur kelongsong itu sendiri.

Proses perpindahan panas pada daerah las disempurnakan dengan memperbaiki konstruksi peralatan pengelasan seperti :

1. Membuat bidang pemindah panas yang lebih besar, sehingga laju perpindahan panas secara konduksi maupun konveksi dapat lebih cepat. Untuk mesin las TIG tipe M80-3 yang digunakan dalam pengelasan tutup kelongsong dengan kelongsong, usaha ini dapat dilakukan dengan membuat pemegang kelongsong (chuck) lebih panjang, sehingga panas dari daerah las dapat berpindah dengan kecepatan yang relatif lebih besar. Keadaan ini dapat digambarkan dengan menggunakan persamaan perpindahan panas konduksi Fourier.

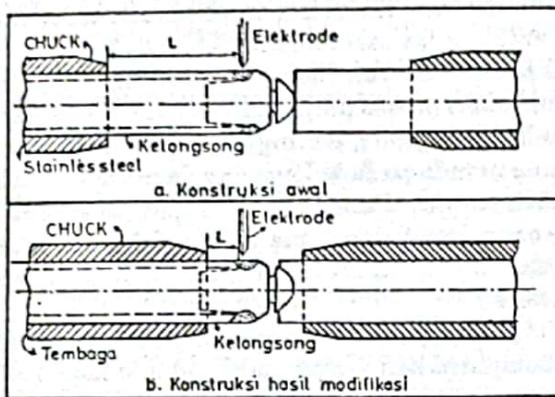
$$Q_k = k.A/L (\Delta T) \quad (3)$$

dimana: Q_k = laju perpindahan panas konduksi; k = konduktivitas panas material; A = penampang pemindah panas; L = panjang pemindah panas; T = perbedaan temperatur.

Dengan membuat panjang pemegang kelongsong (chuck) lebih besar berarti memperbesar penampang yang dapat memindahkan panas dari daerah las dan memperkecil panjang kelongsong yang berfungsi sebagai pemindah panas (L). Hal ini akan menyebabkan panas yang dapat dikeluarkan dari dae-

rah las makin besar sehingga temperatur maksimum pada setiap titik dekat daerah las akan lebih kecil. Temperatur maksimum yang lebih kecil akan menyebabkan lebar daerah pengaruh panas akan makin kecil pula, sehingga untuk arus pengelasan yang tertentu besarnya, lebar daerah pengaruh panasnya dapat diperkecil.

2. Mengganti material pemegang kelongsong (chuck) dengan logam yang mempunyai harga konduktivitas panas yang lebih besar seperti tembaga, sehingga panas hasil proses pengelasan dapat berpindah dengan cepat pada saat pendinginan.

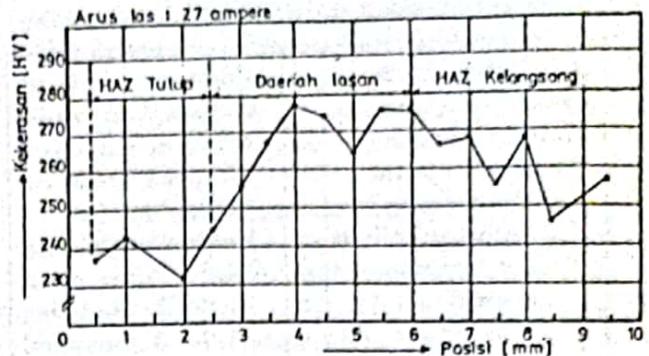


Gambar 3. Konstruksi peralatan pengelasan.

Struktur mikro hasil pengelasan kelongsong dengan tutup kelongsong dengan konstruksi alat yang sudah dimodifikasi dapat dilihat pada Gambar 4, sedangkan distribusi kekerasan pada sambungan las dan daerah pengaruh panas dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Struktur mikro sambungan las.



Gambar 5. Distribusi kekerasan pada sambungan las.

Besar butir pada struktur daerah pengaruh panas jauh lebih besar dari logam induknya sehingga menyebabkan tegangan luruhnya menjadi lebih rendah [10].

$$\sigma_y = \sigma_i + kD^{0,5}$$

σ_y = tegangan luluh; σ_i = tegangan friksi yang menunjukkan ketahanan kisi kristal terhadap pergerakan dislokasi; k = parameter yang harganya tergantung material dan D = besar butir. Pada kurva distribusi kekerasan sambungan las terlihat pula bahwa kekerasan pada daerah pengaruh panas lebih rendah daripada logam induk (sekitar 280 HV). Keadaan ini mendukung hasil yang terlihat pada struktur mikro sambungan las (Gambar 4), sehingga dalam pengelasan kelongsong elemen bakar perlu dilakukan pemilihan lebar daerah pengaruh panas yang sekecil mungkin. Untuk itu dilakukan pemilihan arus pengelasan seminimum mungkin dengan tidak mengurangi persyaratan lain yang sudah disyaratkan.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk kecepatan pengelasan yang konstan (Tabel 1) dan dengan konstruksi alat yang sama (Gambar 3), dapat dilihat bahwa makin besar arus las yang dipilih makin lebar daerah pengaruh panas yang terjadi, sehingga logam induk yang berubah kekuatan mekanisnya juga makin besar (Gambar 2).
2. Untuk kecepatan pengelasan yang konstan dan pada kondisi arus las yang sudah optimum, usaha memperkecil lebar daerah pe-

ngaruh panas hanya dapat dilakukan dengan memperbesar laju perpindahan panas yang keluar dari daerah las-las, yaitu dengan memperbaiki konstruksi komponen-komponen pemindah panas disekitar daerah las.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada teknisi Lab. Fabrikasi Metalurgi Nuklir PPTN - BATAN yang telah banyak memberi bantuan sehingga terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Weismann, C., Welding Handbook, American Welding Society, Miami, Florida (1976).
2. Kearns, W. H., Welding Handbook, American Welding Society, Miami, Florida (1978).
3. Giacchino, et. al, Welding Technology, American Technical Society, Chicago (1975).
4. Romeiser, H. J., TIG Welding Process, Komunikasi di PPTN (1987).
5. Fizzoti, C., Principles of Nuclear Fuel Production, Fuel Cycle Department, ENEA, Rome (1984).
6. Anonymous, Guidebook on Quality Control of Water Reactor Fuel, IAEA, Vienna (1983).
7. Adams, C. M., Cooling rates and peak temperatures in fussion welding, Welding Journal 37 (1958).
8. Efrizon, U., Gandana, Penentuan waktu *post purge* optimum pada pengelasan kelongsong-tutup kelongsong elemen bakar nuklir, Seminar PPNY-BATAN, Yogyakarta (1989).
9. Anonymous, Operation Manual TIG Welding Type M80-3 (1985).

DISKUSI

Anthonius S. :

1. Apakah dilakukan pengukuran besar butir sebelum dan setelah dilas ?
2. Kekuatan daerah las (HAZ) cukup memadai untuk dipakai.

Saeful Hidayat:

1. Dilakukan pengukuran besar butir dengan standar ASTM, dengan ukuran ASTM no. 6 untuk bahan sebelum dipakai dan ukuran ASTM no. 5 untuk bahan setelah dilas.
2. Berdasarkan hasil uji pecah (burst test) kekuatan hasil las dapat diterima.

Engkir S. :

1. Saran, Gambar 1 jika bukan hasil pengukuran dalam penelitian ini sebaiknya dituliskan sumbernya.
2. Tolong diterangkan mekanisme fisis terjadinya kekerasan dikaitkan dengan perubahan ukuran butir.

Saeful Hidayat:

1. Gambar 1 berdasarkan referensi 1, akan kami tulis referensi pada gambar.
2. Mekanismenya berhubungan dengan terhambatnya pergerakan dislokasi, apabila butir kecil berarti batas butir makin banyak dan batas butir ini menghambat pergerakan dislokasi berarti logam makin kuat dan sebaliknya apabila butir besar.

Suwardi:

1. Kesimpulan yang menyebutkan bahwa makin besar arus makin besar daerah terpengaruh panas. Hal tersebut sesuai dengan teori perpindahan panas yang dipakai. Hasil perhitungan telah dicocokkan dengan pengamatan dengan metode lain. Ada komentar lain terhadap data ini?
2. Tolong dijelaskan, dari hasil percobaan yang mana kesimpulan yang menyatakan pada arus las yang optimum maka..... Di mana data ada arus optimum ?

Saeful Hidayat:

1. Dari hasil perhitungan temperatur maksimum yang menyebabkan berubahnya daerah HAZ menunjukkan kecenderungan yang sama dengan hasil pengukuran mikroskop berskala.
2. Data arus optimum ada pada Gambar 5 yaitu sebesar 27 A.

Djoko Wasisto:

1. Tolong dijelaskan tentang perubahan struktur logam pada saat pengelasan ?
2. Temperatur berapa bisa terjadi perubahan struktur logam tersebut ?

Saeful Hidayat:

1. Karena adanya masukan energi panas pada saat pengelasan dan terjadi siklus termal pengelasan yaitu pemanasan dan pendinginan pada logam, sehingga struktur berubah.
2. Pada temperatur 1325 °C.