

PENGARUH KECEPATAN PELASAN DAN GEOMETRI ELEKTRODE TERHADAP HASIL LAS PADA PELASAN TIG BATANG EBN

Saeful Hidayat

Pusat Teknologi Nuklir Bahan Dan Radiometri -BATAN, Jl. Tamansari No. 71, Bandung 40132
Email : hidayatsaeful@plasa.com

ABSTRAK

PENGARUH KECEPATAN PELASAN DAN GEOMETRI ELEKTRODE TERHADAP HASIL LAS PADA PELASAN TIG BATANG EBN. Telah dilakukan penelitian pengaruh kecepatan pelasan dan bentuk geometri ujung elektrode berbentuk runcing dan pipih terhadap hasil pelasan TIG (Tungsten Inert Gas) tutup kelongsong Batang Elemen Bakar Nuklir (EBN) dari bahan Zirkaloy-4. Hasil pelasan pada kondisi pelasan dengan pola arus yang sama dan kecepatan waktu pelasan (RPM) yang berbeda untuk masing-masing bentuk elektrode yang digunakan, secara keseluruhan menghasilkan lebar las lebar dan HAZ (heat affected zone) yang relatif sama, tetapi menghasilkan kedalaman sambungan las yang berbeda. Kecepatan pelasan yang digunakan menentukan posisi tingkat dan besar arus pelasan serta kedalaman hasil pelasan pada satu putaran kelongsong. Kecepatan pelasan pada RPM 7,5; 8,5; dan 9,5 untuk elektrode runcing dan pipih, menghasilkan kedalaman las lebih dari ketebalan kelongsong. Sedangkan kecepatan pelasan pada RPM 6,5; 5,5 dan 4,5 untuk elektrode runcing dan pipih, menghasilkan kedalaman las kurang dari tebal kelongsong. Struktur mikro yang terbentuk secara keseluruhan menunjukkan hasil yang sama untuk masing-masing kondisi pelasan yang digunakan yaitu widmanstatten fase α berbentuk parallel plate dan basketweave.

Kata kunci : kecepatan pelasan, RPM, geometri ujung elektrode, kondisi pelasan, TIG, EBN, struktur mikro

ABSTRACT

THE EFFECT OF WELDING SPEED AND ELECTRODE TIPS GEOMETRY OF THE TIG WELDING ON THE FUEL PIN WELDING RESULT. Experiment on the effect of welding speed and geometry of electrodes tips, plate and pointed on the welding results of the zircalloy-4 fuel pin end cap in TIG welding has been done. Welding result from the same welding program for every welding speed and electrode shape, produced the same width of weld and HAZ, but with different weld depth. The welding speed influence the welding ampere stage position, the welding ampere and the weld depth on the one rotation welding tube. The welding speed on RPM 7,5; 8,5; and 9,5 for both plate and pointed electrode produced weld depth larger tube thick. The welding speed of RPM 6,5; 5,5; and 4,5 for both plate and pointed electrode produced weld depth less than tube thick. The microstructure of the weld were relatively the same for every welding condition i.e. widmanstatten α phase forming paralel plate and basketweave.

Key words : welding speed, electrode tips geometry, welding condition, TIG, fuel pin, microstructure

1. PENDAHULUAN

Salah satu langkah dalam proses perakitan

Batang Elemen Bakar Nuklir (EBN) adalah proses pelasan antara kelongsong dan tutup kelongsong. Kualitas hasil pelasan EBN harus

memenuhi kriteria yang disyaratkan, diantaranya kedalaman las lebih besar dari tebal nominal kelongsong, lebar las yang minimal dan seragam di sekeliling tutup kelongsong [1]. Berbagai teknik pelasan dapat dilakukan untuk pelasan batang EBN, salah satu teknik pelasan yang digunakan adalah pelasan Tungsten Inert Gas (TIG).

Kualitas hasil pelasan sangat dipengaruhi oleh kondisi pelasan yang digunakan dan untuk mendapatkan kualitas lasan yang memenuhi persyaratan, perlu ditentukan kondisi pelasan yang sesuai. Pada proses pelasan TIG, bentuk geometri ujung elektrode, arus las, tegangan busur, jenis gas pelindung dan polaritas arus pelasan berpengaruh terhadap penetrasi pelasan [2,3]. Parameter las yang mempengaruhi daya penetrasi las juga akan berpengaruh pada besarnya masukan panas. Besarnya masukan panas akan berpengaruh pada perubahan lebar las dan lebar HAZ.

Berbagai usaha untuk mendapatkan hasil las yang memenuhi syarat telah dilakukan pada penelitian terdahulu [4,5]. Pada penelitian terdahulu, penggunaan pola arus bertingkat dapat menghasilkan lebar las yang seragam di sekeliling kelongsong, sedangkan untuk menghilangkan terjadinya cacat las berbentuk kawah (*crater*) dan *blow hole*, digunakan arus *down slope* pada akhir pelasan dan dibentuk sambungan las beralur setengah V. Namun usaha untuk mengoptimalkan hasil las dengan meminimalkan lebar las dan HAZ masih perlu dilakukan pada penelitian selanjutnya

Geometri ujung elektrode yang umum dan biasa digunakan pada pelasan TIG adalah berbentuk runcing, dengan sudut keruncingan yang bervariasi sesuai kebutuhan. Sudut keruncingan ujung elektrode berpengaruh pada bentuk busur las. Penelitian pendahuluan mengenai pengaruh penggunaan bentuk ujung elektrode runcing dan pipih telah dilakukan pada penelitian terdahulu [...], sedangkan pada penelitian ini, penelitian pelasan dilakukan dengan memvariasikan kecepatan pelasan dan bentuk geometri elektrode runcing dan pipih. Dari penelitian ini diharapkan akan didapat data hasil las sebagai acuan untuk dapat meningkatkan kualitas las yang lebih optimum sesuai persyaratan.

2. BAHAN, ALAT DAN TATA KERJA

Kriteria hasil pelasan tutup dan kelongsong batang EBN yang harus dipenuhi sesuai persyaratan adalah, kedalaman las harus

mencapai lebih dari ukuran nominal tebal kelongsong, ukuran lebar las yang minimal dan seragam disekeliling kelongsong, ukuran lebar HAZ yang minimal dan cacat las berupa retak, rongga dan inklusi yang tidak boleh ada. Untuk mendapatkan kriteria tersebut, penelitian pelasan dilakukan dengan metode sesuai tata kerja yang diperlihatkan pada diagram alir penelitian pada Gambar 1.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah zirkaloy-4 berbentuk batang dan kelongsong. Batang zirkaloy-4 dibentuk menjadi tutup kelongsong melalui proses pembubutan. Panjang batang EBN untuk penelitian ini dibuat dalam ukuran simulasi, karena penelitian ini hanya diarahkan pada proses pelasan tutup kelongsongnya saja.

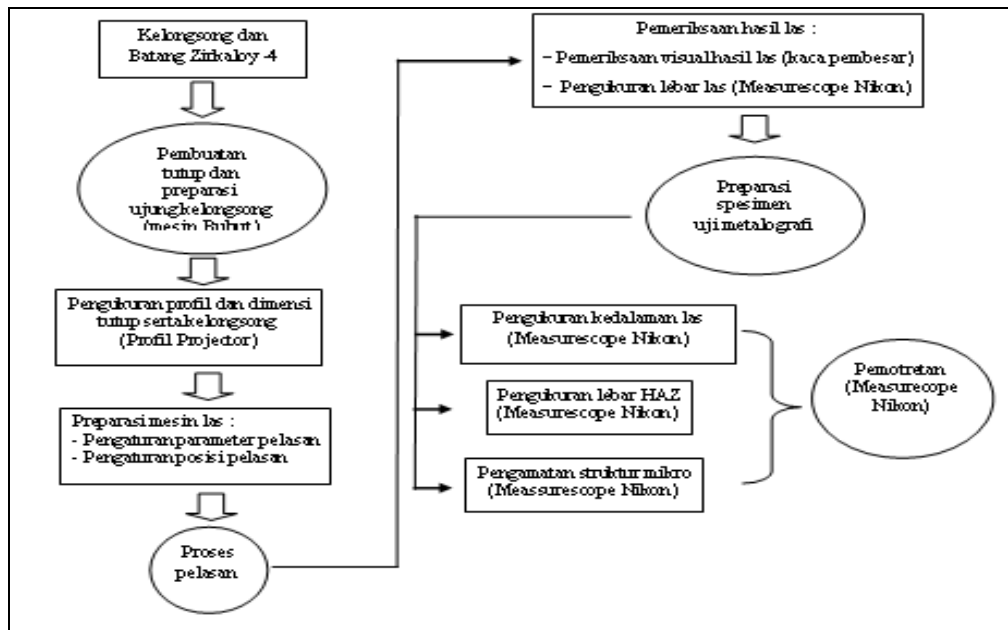
Kontrol dimensi dan geometri konstruksi kelongsong dan tutup kelongsong hasil proses pembubutan dilakukan menggunakan alat ukur *Profile Projector* merek Nikon. Konstruksi dan dimensi tutup kelongsong serta kelongsong yang akan dilas dapat dilihat pada Gambar 2.

Proses pelasan antara kelongsong dan tutup kelongsong dilakukan menggunakan mesin las TIG otomatis merk Isa Teknik Model 80-3, DC Polaritas Lurus. Proses pelasan dilakukan secara otomatis di dalam tabung kedap udara yang diisi gas pelindung argon atau helium kemurnian tinggi. Proses pelasan dilakukan tanpa logam pengisi, posisi elektrode tungsten tetap dan benda kerja berputar secara otomatis pada kecepatan yang bervariasi. Aliran gas digunakan sebanyak 10 liter per menit. Pola arus las dan waktu pelasan diatur bertingkat dan berjalan secara otomatis. Bentuk pola arus dan waktu pelasan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

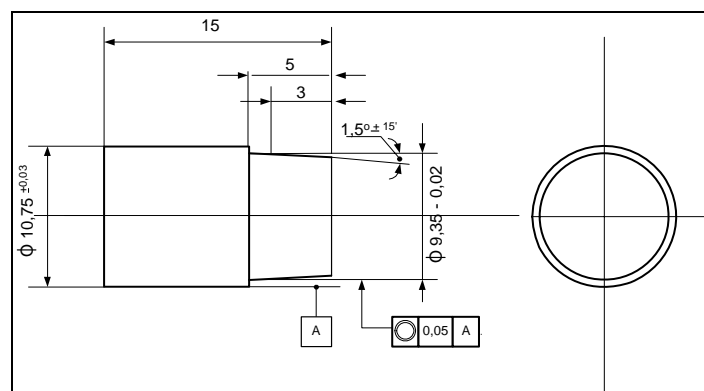
Elektrode las yang digunakan terbuat dari paduan *Wolfram Thorium 2%* berdiameter 1,6 mm dan ujung elektrode berbentuk runcing dan pipih dengan sudut kemiringan 18 derajat. Bentuk dan geometri masing-masing ujung elektrode diperlihatkan pada Gambar 4a dan 4b. Sedangkan geometri sambungan las dan posisi ujung elektrode, serta jarak elektrode terhadap benda kerja pada saat pelasan dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.

Kondisi pelasan pada saat percobaan, dilakukan dengan memvariasikan pola arus dan waktu pelasan, serta variasi kecepatan pelasan dan geometri ujung elektrode.

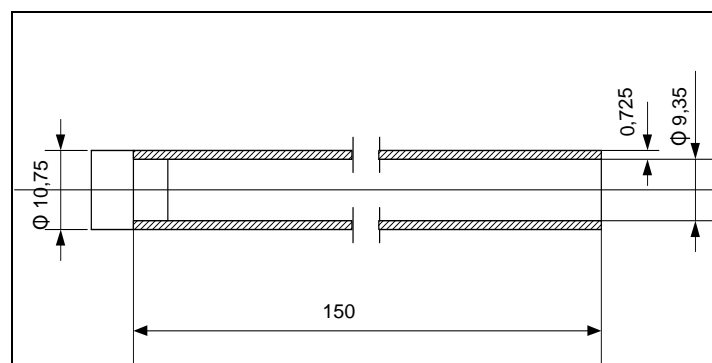
Untuk mendapatkan data hasil las, proses pelasan dilakukan tiga kali untuk setiap kondisi pelasan. Kondisi pola pelasan yang digunakan pada pelasan ini, dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

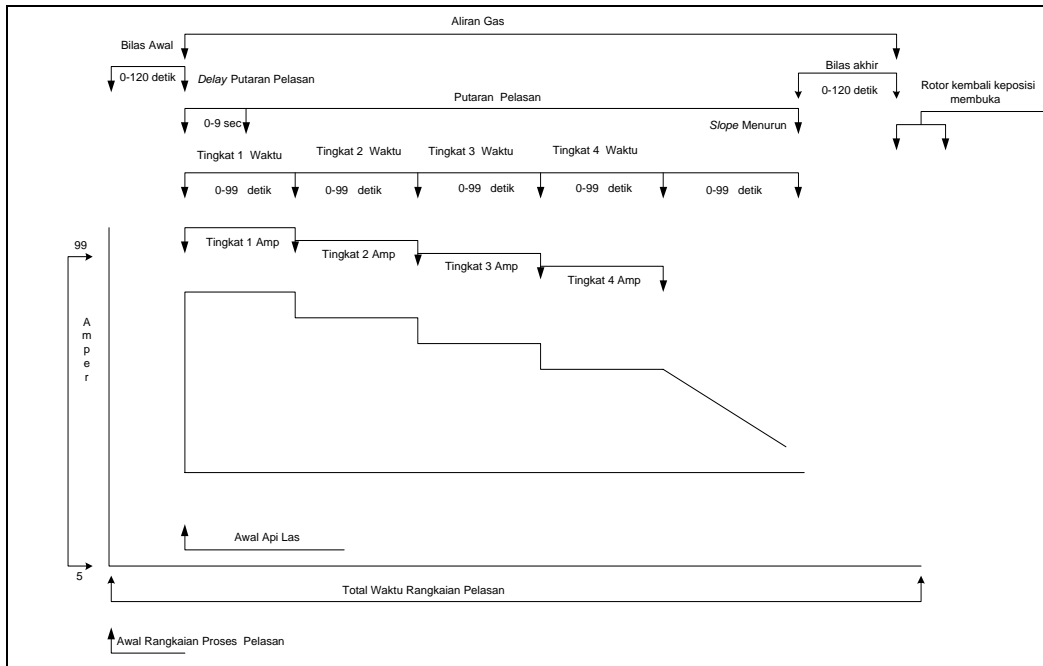


a). Tutup kelongsong

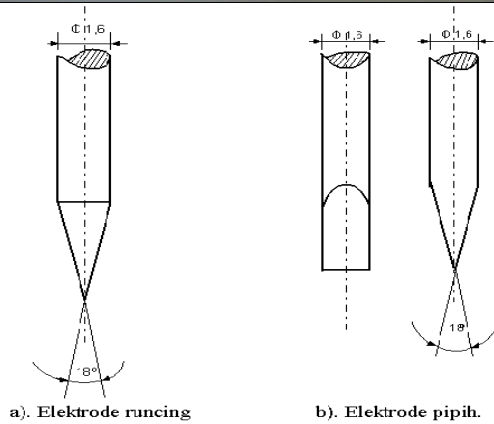
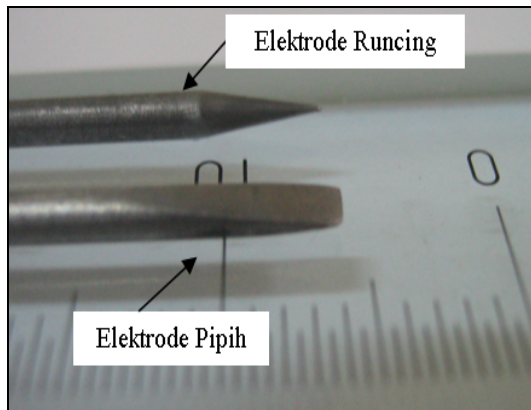


b). Kelongsong

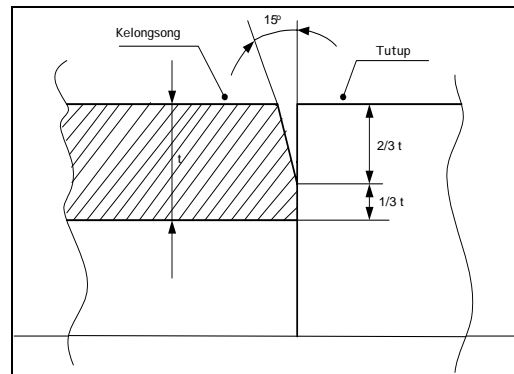
Gambar 2. Konstruksi dan dimensi tutup kelongsong serta kelongsong



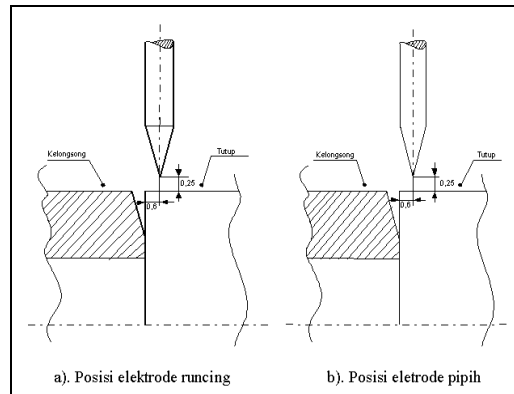
Gambar 3. Pola arus las dan waktu pelasan



Gambar 4. Geometri ujung elektrode



Gambar 5. Geometri sambungan las

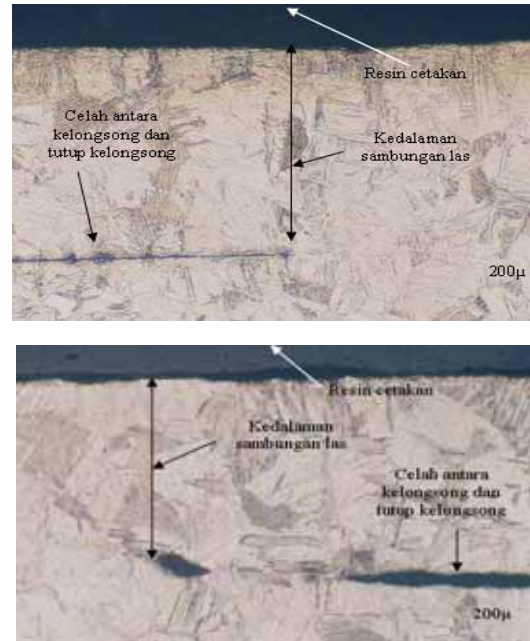


Gambar 6. Posisi ujung elektrode dan jarak elektrode terhadap benda kerja

Pemeriksaan visual permukaan hasil las yang meliputi cacat permukaan las, kontur lasan, lapisan oksida dan lebar las, dilakukan menggunakan kaca pembesar dan mikroskop berskala (*Measurescope* merek Nikon) dengan ketelitian ukuran dalam mikron, sedangkan untuk pemeriksaan kedalaman las, lebar HAZ dan struktur mikro, dilakukan proses metalografi.

Proses metalografi dilakukan dengan memotong spesimen las sepanjang 3 cm dari arah ujung tutup kelongsong. Potongan spesimen las tersebut dibelah dua sejajar sumbu kelongsong. Belahan spesimen untuk proses metalografi diberi bingkai dengan cara dicetak menggunakan resin. Bagian permukaan belahan spesimen las yang telah dibingkai dengan resin cetak diratakan dan dihaluskan menggunakan ampelas metalografi secara bertingkat (*grade* 120 – 2000), dilanjutkan dengan proses pemolesan menggunakan serbuk alumina ($0,5 \mu - 0,05 \mu$). Permukaan spesimen metalografi yang telah dipoles diamati menggunakan *Measurescope*, untuk mengukur kedalaman sambungan las dan melihat cacat las bagian dalam. Sedangkan untuk pengamatan lebar HAZ dan struktur mikro logam las, dilakukan pengetsaan permukaan spesimen metalografi menggunakan larutan etsa *Kroll*. Proses pemotretan data hasil las dilakukan menggunakan *Measurescope*.

kondisi pola pelasan yang digunakan, berupa ukuran kedalaman las, lebar las, lebar HAZ dan struktur mikro yang terbentuk, dapat dilihat pada Tabel 2 s.d Tabel 4 serta Gambar 14 s.d Gambar 18.



Gambar 7. Foto makro kedalam las mencapai 100 % tebal kelongsong dan kedalaman las kurang dari tebal kelongsong

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pelasan pada masing-masing

Tabel 1. Kondisi pola arus las dan waktu pelasan

Kondisi Pola Pelasan	Arus dan Waktu Pelasan						RPM
	Delay (detik)	Tingkat I (Amp/detik)	Tingkat II (Amp/detik)	Tingkat III (Amp/detik)	Tingkat IV (Amp/detik)	Down Slope (detik)	
P1	1	50/2	49/3	48/3	47/3	5	7,5
P2	1	50/2	49/3	48/3	47/3	5	8,5
P3	1	50/2	49/3	48/3	47/3	5	9,5
P4	1	50/2	49/3	48/3	47/3	5	6,5
P5	1	50/2	49/3	48/3	47/3	5	5,5
P6	1	50/2	49/3	48/3	47/3	5	4,5
P7	1	48/2	47/3	46/3	45/3	5	7,5
P8	1	48/2	47/3	46/3	45/3	5	8,5
P9	1	48/2	47/3	46/3	45/3	5	9,5
P10	1	48/2	47/3	46/3	45/3	5	6,5
P11	1	48/2	47/3	46/3	45/3	5	5,5
P12	1	48/2	47/3	46/3	45/3	5	4,5

Tabel 2. Ukuran kedalaman las berdasarkan persen tebal kelongsong

Kondisi Pelasan/RPM	Persen Kedalaman Las (Elektrode Runcing)	Kondisi Pelasan/RPM	Persen Kedalaman Las (Elektrode Pipih)
P1/7,5	> 100	P7/7,5	> 100
P2/8,5	> 100	P8/8,5	> 100
P3/9,5	> 100	P9/9,5	> 100
P4/6,5	< 100	P10/6,5	< 100
P5/5,5	< 100	P11/5,5	< 100
P6/4,5	< 100	P12/4,5	< 100

Tabel 3. Arus pelasan terkecil dan masukan panas pelasan yang terjadi pada satu putaran kelongsong

Kondisi Pelasan /RPM	Waktu Tempuh Satu Putaran Kelongsong	Arus Pelasan (Elektrode Runcing)	Masukan Panas (Joule)	Kondisi Pelasan /RPM	Arus Pelasan (Elektrode Pipih)	Masukan Panas (Joule)
P1/7,5	8 detik	48 Amp.	1872	P7/7,5	46 Amp	1794
P2/8,5	7,1 detik	48 Amp	1873	P8/8,5	46 Amp	1795
P3/9,5	6,3 detik	48 Amp.	1871	P9/9,5	46 Amp	1793
P4/6,5	9,25 detik	47 Amp	1831	P10/6,5	45 Amp	1753
P5/5,5	10,9 detik	47 Amp.	1835	P11/5,5	45 Amp	1757
P6/4,5	13 detik	47 Amp	1833	P12/4,5	45 Amp	1755

Tabel 2 memperlihatkan data kedalaman las yang dapat dicapai pada setiap kondisi pola pelasan yang digunakan untuk elektroda runcing maupun pipih. Pada tabel tersebut terlihat bahwa, kondisi pelasan yang menggunakan RPM 7,5; 8,5 dan 9,5; menghasilkan kedalaman las lebih dari tebal kelongsong, sedangkan pada RPM 6,5; 5,5 dan 4,5, kedalaman las tidak mencapai tebal kelongsong.

Besarnya tingkat arus pelasan dan masukan panas yang terjadi pada satu putaran kelongsong, akan mempengaruhi kedalaman sambungan las, dengan demikian untuk menganalisis data pada Tabel 2, perlu diketahui posisi tingkat arus terkecil yang terjadi pada satu putaran pelasan sesuai dengan pola kondisi pelasan yang digunakan pada Tabel 1 yang mempengaruhi hasil sambungan las. Hal tersebut dapat diketahui dengan menghitung jumlah waktu satu putaran kelongsong berdasarkan kecepatan putar serta waktu pada tiap tingkat arus yang digunakan sesuai dengan Tabel 1, sedangkan untuk perhitungan besarnya masukan panas yang terjadi, dapat dihitung berdasarkan persamaan (1). [3,6] berikut :

$$J = \frac{60EI}{V} \quad (1)$$

dengan :

J : besarnya masukan panas (joule)

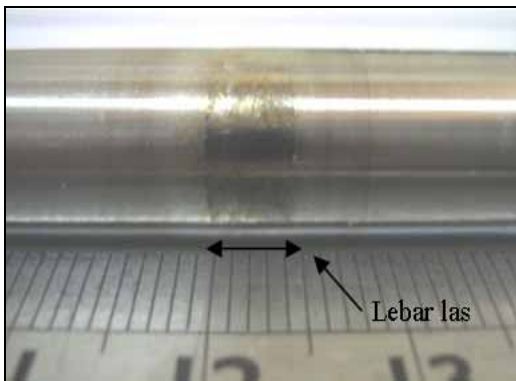
I : arus las (Amper)
E : tegangan busur api las (volt)
V : kecepatan pelasan (cm/menit)

Dari hasil perhitungan tersebut, besar arus terkecil yang terjadi pada satu putaran pelasan kelongsong dan besarnya masukan panas yang terjadi pada posisi tersebut yang mempengaruhi kedalaman hasil las sesuai data pada Tabel 2. diperlihatkan pada Tabel 3. Pada Tabel 3 terlihat bahwa pada kondisi pelasan P1/7,5; P2/8,5 dan P3/9,5 yang menggunakan elektrode runcing, besar arus las terendah yang menghasilkan kedalaman las lebih dari tebal kelongsong adalah 48 Amp. dengan masukan panas sebesar 1872, 1873 dan 1871 Joule, sedangkan pada kondisi pelasan P7/7,5; P8/8,5 dan P9/9,5 yang menggunakan elektrode pipih, besar arus las terendah yang menghasilkan kedalaman las lebih dari tebal kelongsong adalah 46 Amp dengan masukan panas sebesar 1794, 1795 dan 1793 Joule. Arus las dan masukan panas pada kondisi pelasan menggunakan elektrode pipih lebih rendah jika dibandingkan dengan pelasan yang menggunakan elektrode runcing. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian terdahulu bahwa penggunaan elektrode pipih menghasilkan kedalaman las yang lebih dalam dibandingkan dengan elektrode runcing.

Pada kondisi pelasan dengan kecepatan las dibawah 7,5 RPM, yaitu 6,5 sampai dengan 4,5

RPM untuk elektrode runcing dan pipih, mengasikkan kedalam las kurang dari tebal kelongsong. Hal ini disebabkan rendahnya arus pelasan yang terjadi pada satu putaran kelongsong, sehingga menghasilkan masukan panas yang rendah pula. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kecepatan putar kelongsong menentukan arus pelasan terendah dan besar masukan panas yang terjadi pada satu putaran pelasan kelongsong yang mempengaruhi kedalaman hasil pelasan.

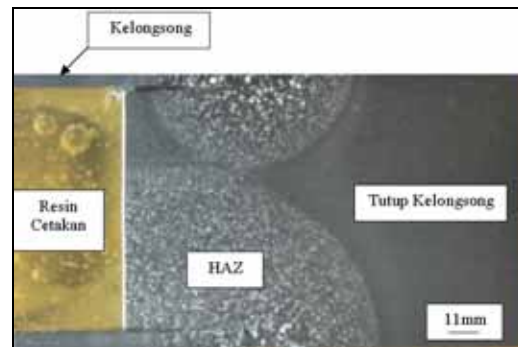
Pengaruh kecepatan pelasan terhadap lebar las yang terjadi berdasarkan kondisi pelasan yang digunakan, tidak memperlihatkan perbedaan ukuran yang signifikan untuk masing-masing bentuk elektrode yang digunakan. Hal tersebut memperlihatkan bahwa pada pelasan kelongsong tutup kelongsong ini, masukan panas yang terjadi berdasarkan perbedaan kecepatan pelasan yang digunakan tidak banyak mempengaruhi pencairan logam las. Data dan foto visual mengenai ukuran lebar las berdasarkan kecepatan las yang digunakan, diperlihatkan pada Tabel 4 dan Gambar 8.



Gambar 8. Foto makro yang memperlihatkan lebar las pada permukaan sambungan hasil pelasan antara kelongsong dan tutup kelongsong

Tabel 4. Ukuran lebar las sesuai dengan kondisi pelasan/RPM

Kondisi Pelasan/ RPM	Lebar Las mm (Elektrode Runcing)	Kondisi Pelasan /RPM	Lebar Las mm (Elektrode Pipih)
P1/7,5	3,42	P7/7,5	2,82
P2/8,5	3,43	P8/8,5	2,84
P3/9,5	3,42	P9/9,5	2,82
P4/6,5	3,15	P10/6,5	2,62
P5/5,5	3,21	P11/5,5	2,64
P6/4,5	3,18	P12/4,5	2,63



Gambar 9. Foto makro hasil metalografi yang memperlihatkan bentuk pola HAZ pada daerah sambungan las antara kelongsong dan tutup kelongsong

Berdasarkan hasil pemeriksaan metalografi pada Gambar 9, terdapat dua ukuran lebar HAZ yang berbeda pada satu putaran pelasan. Perbedaan ini disebabkan oleh adanya besar arus yang berbeda yang terjadi pada satu putaran kelongsong sesuai dengan posisi tingkat arus pelasan yang digunakan. Pengukuran lebar HAZ dilakukan pada ukuran lebar HAZ terbesar. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kondisi pelasan yang digunakan terhadap lebar HAZ yang terjadi, sesuai dengan tujuan penelitian untuk mendapatkan kondisi pelasan yang ideal yang menghasilkan ukuran lebar HAZ yang minimum dan kedalam las yang memenuhi syarat. Data pengaruh kecepatan pelasan terhadap ukuran lebar HAZ yang terjadi berdasarkan kondisi pelasan yang digunakan, diperlihatkan pada Tabel 5.

Pada Tabel 5 terlihat, bahwa ukuran lebar HAZ terbesar untuk setiap kondisi pelasan yang digunakan, menghasilkan perbedaan ukuran yang tidak terlalu jauh, yaitu dibawah satu mm. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan pelasan yang digunakan pada kondisi pelasan ini tidak banyak berpengaruh terhadap lebar HAZ terbesar yang terjadi.

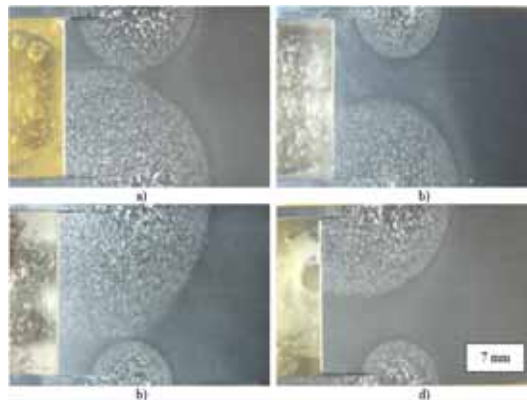
Pada Gambar 10, terlihat adanya perbedaan ukuran lebar HAZ terkecil pada kondisi pelasan yang berbeda. Hal ini sesuai dengan data pada Tabel 2. bahwa kondisi pelasan dengan kecepatan las yang berbeda menghasilkan perbedaan posisi tingkat arus terkecil yang terjadi pada satu putaran pelasan kelongsong yang juga menghasilkan masukan panas yang berbeda yang mengakibatkan perbedaan lebar HAZ. Berdasarkan keadaan tersebut dapat disimpulkan, bahwa kecepatan pelasan pada proses pelasan ini menentukan posisi tingkat arus terkecil yang terjadi pada satu

putaran pelasan, yang mempengaruhi ukuran lebar HAZ dan kedalaman hasil las.

Tabel 5. Ukuran lebar HAZ terbesar sesuai kondisi pelasan/RPM

Kondisi Pelasan /RPM	Lebar HAZ mm (Elektrode Runcing)	Kondisi Pelasan/ RPM	Lebar HAZ mm (Elektrode Pipih)
P1/7,5	9,68	P7/7,5	7,45
P2/8,5	9,71	P8/8,5	7,49
P3/9,5	9,63	P9/9,5	7,41
P4/6,5	9,43	P10/6,5	7,28
P5/5,5	9,61	P11/5,5	7,33
P6/4,5	9,52	P12/4,5	7,31

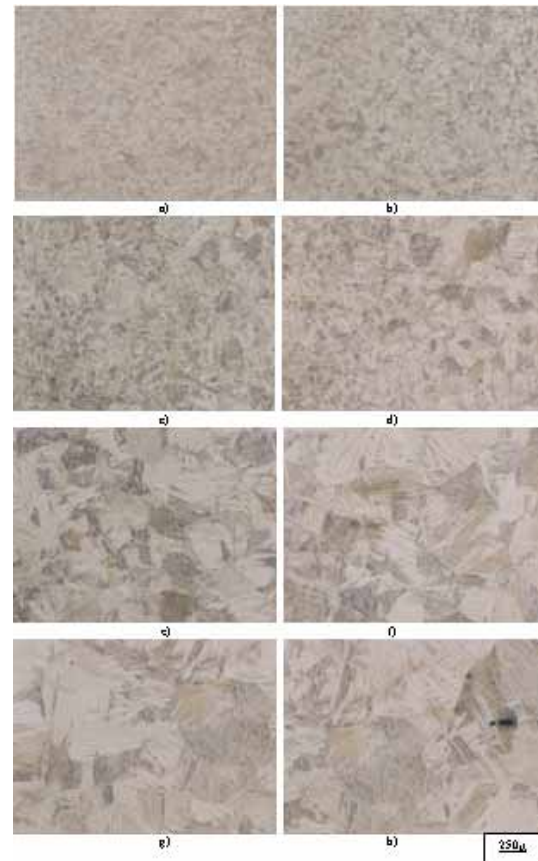
Perbedaan lebar HAZ yang ada antara hasil pelasan menggunakan elektrode runcing dan elektrode pipih dikarenakan perbedaan penggunaan tingkat arus pelasan yang digunakan. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian terdahulu, bahwa kedalam las dapat dicapai pada arus yang lebih rendah bila menggunakan elektrode berujung pipih bila dibandingkan dengan menggunakan elektrode berujung runcing.



Gambar 10. Foto makro yang memperlihatkan perbedaan lebar HAZ sesuai kondisi pelasan yang digunakan. a) dan b). Kondisi pelasan P1/7,5 dan P7/7,5 yang menghasilkan kedalam las lebih dari tebal kelongsong. c) dan d). Kondisi pelasan P4/6,5 dan P10/6,5 yang menghasilkan kedalam las kurang dari tebal kelongsong

Perubahan struktur mikro yang terjadi pada logam hasil las berdasarkan kondisi pelasan yang digunakan, secara umum menunjukkan bentuk struktur yang sama, yaitu struktur *widmanstatten fase α* tipe *parallel plate* dan *basketweave*. Struktur *widmanstatten fase α*

berbentuk *plate* yang lebar mengarah ke tipe *basketweave* dan tipe *parallel plate*. Pola perubahan besar butir dan struktur mikro yang terjadi dari logam induk ke logam las diperlihatkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Foto struktur mikro yang memperlihatkan pola perubahan struktur mikro dari logam induk ke logam las pada pelasan kelongsong tutup kelongsong. a). Struktur fase Alpha pada logam induk, b). Perubahan fase alpha ke struktur basket wave pada batas daerah logam induk dan HAZ. c). Struktur basket wave pada HAZ. d). Perubahan struktur basket wave ke *parallel plate* pada HAZ. e) dan f). Perubahan besar butir struktur *parallel plate* pada HAZ. g) dan h) Struktur *parallel plate* dan *widmanstatten* pada logam las

Proses pendinginan pada saat pembekuan logam cair ke logam las sangat mempengaruhi struktur mikro yang terbentuk. Pada saat pendinginan, proses transformasi dari fase beta ke fase alpa, bila berjalan normal akan terbentuk struktur mikro fase alpa berbentuk *equiaxial*, sedangkan struktur dengan perubahan laju pendinginan antara 2 sampai dengan 10 ⁰C/detik membentuk struktur *parallel plate* dan *basketweave*. Struktur *basketweave* terbentuk

pada saat perubahan laju pendinginan antara 600 ke 10 °C/detik. [9]. Dengan demikian dapat diduga, bahwa pada saat pembekuan logam cair pelasan, telah terjadi perubahan laju pendinginan yang tidak tetap.

Pada Gambar 11. terlihat adanya perubahan struktur mikro dari mulai logam induk ke logam las. Pada Gambar 11 a). memperlihatkan struktur alpha berbentuk butir *equiaxial* pada logam induk. Struktur tersebut berubah menjadi struktur basket wave pada daerah pengaruh panas (HAZ) pada Gambar 11 c). Batas antara logam induk dan HAZ terlihat dari perubahan struktur mikro yang terjadi antara struktur alpha ke struktur *basket wave* yang diperlihatkan pada Gambar 11 b). Selanjutnya pada daerah HAZ, perubahan terjadi pada ukuran besar *plate alpha* menjadi struktur parallel plate dan perubahan besar butir pada struktur parallel plate yang mengandung struktur *widmanstatten plate alpha*, yang diperlihatkan pada Gambar 11 d). e) dan f). Gambar 11 g). dan h). memperlihatkan struktur *parallel plate dan widmanstatten* dengan butir yang lebih besar dari daerah HAZ. Perubahan struktur yang terjadi tersebut disebabkan adanya laju perubahan temperatur yang menurun dari titik pusat panas pada logam las ke logam induk.

Perubahan struktur mikro bahan hasil pelasan idealnya tidak terjadi. Hal ini perlu untuk menghindari efek negatif terhadap sifat bahan. Namun perubahan tersebut tidak dapat dihindari karena siklus termal yang terjadi pada saat proses pelasan berjalan relatif cepat. Untuk itu, luas perubahan struktur mikro bahan yang lebih sempit lebih dipilih pada hasil pelasan. Berdasarkan hasil analisa data penelitian yang telah diuraikan, terlihat bahwa penggunaan kecepatan pelasan/RPM pada proses pelasan yang digunakan tidak berpengaruh terhadap luas perubahan struktur mikro yang terjadi secara keseluruhan untuk masing-masing bentuk ujung elektrode yang digunakan (runcing dan pipih). Kecepatan pelasan/RPM menentukan posisi tingkat arus pada satu putaran kelongsong dan besar tingkat arus pada posisi tertentu, menentukan kedalaman las yang dihasilkan.

4. KESIMPULAN

1. Kecepatan pelasan (RPM) pada masing-masing kondisi pelasan yang digunakan untuk pelasan kelongsong tutup kelongsong batan EBN, menentukan posisi tingkat arus

pelasan yang terjadi pada satu putaran kelongsong. Posisi tingkat arus tersebut menentukan besar arus yang terjadi pada satu putaran kelongsong yang menentukan kedalaman hasil pelasan.

2. Kecepatan pelasan pada RPM 7,5; 8,5; dan 9,5 untuk elektrode runcing dan pipih, menghasilkan kedalaman las ledih dari ketebalan tutup kelongsong sesuai dengan hasil pelasan yang disyaratkan. Sedangkan kecepatan pelasan pada RPM 6,5; 5,5 dan 4,5 untuk elektrode runcing dan pipih, menghasilkan kedalaman las kurang dari tebal kelongsong sehingga tidak memenuhi syarat hasil pelasan.
3. Perbedaan kecepatan pelasan yang digunakan pada masing-masing kondisi pelasan ini, secara keseluruhan tidak berpengaruh banyak pada lebar las dan lebar HAZ maupun struktur mikro yang dihasilkan.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. **ROMEISER, H. J.** TIG Welding Process, Expert KFK, Komunikasi di P3TkN-BATAN Bandung, (1987).
2. **G, HABCHI and S.K.MARYA**, Effect of Electrode Geometry on The Weld Solidification of Two Stainless Steel in GTA Welding. Scripta Metallurgica, 20, (2), (1986), (207).
3. **HOWARD B, CARY**, "Modern Welding Technology", Prentice Hall, Inc., Englewood, New Jersey, 1994, 97.
4. **SAEFUL H., EFRIZON U., TONY K.**, "Pengaruh Geometri Ujung elektrode Terhadap Hasil pelasan TIG Tutup kelongsong batang Elemenn bakar Nuklir Bahan Zirkaloy-4, Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia, Vol. IV, Edisi Khusus, P3TkN-BATAN, 2003.
5. **EFRIZON U; GANDANA; SAEFUL H;** "Teknik Pengelasan Kelongsong Elemen Bakar Nuklir Untuk PRTF-RSG-GAS", Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah, PPNY-BATAN, Yogyakarta 1990.
6. **WIRYOSUMANTO H, TOSHIE OKUMURA**, "Teknologi Pengelasan Logam", 3, PT. Pradnya Paramita, 1985, 69.
7. **C. FIZZOTTI**, Principles of Nulear Fuel Production, Zirconium, ENEA-BATAN, 2, (1984).
8. **VO QUACH, DEREK O. NORTHWOOD**, Influence of the

- Phosphorus Impurity Content on the Microstructure of Zircaloy-4 Air Cooled from the High Temperature Beta Phase Region, *Metallography* 17:191-201 (1984).
9. **G. TERESA ESTELA PEREZ, MARIA EUGENIA SAGGESE**, Welding Structures in Gas Tungsten Arc Welded Zircaloy-4, *Metallography* 15:43-52 (1982).
 10. **OKVIST, K. KALLSTROM**, The Effect of Zirconium Carbide on the $\beta - \alpha$ Transformation Structure in Zircaloy, *J. Nucl. Matter.* 35:316-321 (1970).
 11. **O. WOO, K. TANGRI**, Transformation Characteristic of Rapidly Heated and Quenched Zircaloy-4 Oxygen Alloys, *J. Nucl. Mater.* 72:82-94 (1979).
 12. **GEORGE E. DIETER**, “Metalurgi Mekanik”, 3, Penerbit Erlangga, 1987, 192.