

## PENGARUH GEOMETRI UJUNG ELEKTRODE TERHADAP HASIL PELASAN TIG TUTUP KELONGSONG BATANG ELEMEN BAKAR NUKLIR BAHAN ZIRKALOY-4.

Saeful Hidayat\*, Efrizon Umar\*, Tony Kuswoyo\*\*

\*Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknik Nuklir-BATAN

\*\*Fakultas Teknik, Jurusan Metalurgi, UNJANI

### ABSTRAK

**PENGARUH GEOMETRI UJUNG ELEKTRODE TERHADAP HASIL PELASAN TIG TUTUP KELONGSONG BATANG ELEMEN BAKAR NUKLIR BAHAN ZIRKALOY-4.** Telah dilakukan percobaan pengaruh penggunaan geometri ujung elektrode berbentuk runcing, lancip dan pipih terhadap hasil pelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*) tutup kelongsong Batang Elemen Bakar Nuklir (EBN) dari bahan Zirkaloy-4. Kondisi pelasan dengan pola arus dan waktu pelasan yang sama untuk masing-masing bentuk elektrode yang digunakan, menghasilkan lebar las dan lebar HAZ (*heat affected zone*) yang relatif sama, tetapi menghasilkan kedalaman las yang berbeda. Elektrode berujung pipih menghasilkan kedalaman las sekitar 40 % lebih dalam dibandingkan dengan elektrode berujung runcing dan lancip. Untuk kondisi pelasan mencapai kedalaman las lebih dari 100% tebal kelongsong, penggunaan elektrode berujung pipih menghasilkan lebar las sekitar 32% lebih sempit dibandingkan dengan lebar las yang dihasilkan elektrode berujung runcing dan sekitar 38% lebih sempit dibandingkan dengan lebar las yang dihasilkan elektrode berujung lancip, sementara menghasilkan lebar HAZ lebih sempit sekitar 18% dibandingkan dengan elektrode berujung runcing dan 23% lebih sempit dibandingkan dengan lebar HAZ yang dihasilkan elektrode berujung lancip. Struktur mikro yang terbentuk pada daerah logam las untuk ketiga bentuk elektrode yang digunakan mempunyai struktur yang sama, yaitu struktur *widmanstatten* dan *parallel pacage*. Penggunaan elektrode berujung pipih pada pelasan yang mencapai kedalaman lebih dari 100% tebal kelongsong, menghasilkan ukuran butir 20% lebih kecil bila dibandingkan dengan penggunaan elektrode berujung runcing dan lancip.

**Kata kunci :** geometri ujung elektrode, pelasan TIG, elemen bakar nuklir, kondisi pelasan, kedalaman las, struktur mikro.

### ABSTRACT

**EFFECT OF ELECTRODE TIPS GEOMETRY ON THE WELDING RESULTS OF THE ZIRCALLOY-4 FUEL PIN END CAP IN TIG WELDING.** The experiment of the effect of pointed, sharp and flat electrode tips on the welding results of the zircalloy-4 fuel pin end cap in TIG welding, has been done. Welding

condition with the same welding program for every electrode shape, produced the same weld and HAZ width, but the weld depth was different. The flat electrode produced weld depth more deeper about 40% than those produced pointed and sharp electrode tips. In the case when the weld condition reached more than 100% tube thick, the flat electrode produced weld width about 32 % smaller than that produced by using pointed electrode tip and about 38% smaller than that produced by using sharp electrode tip, but the HAZ width 18% smaller than that produced by using pointed electrode tip and 23% smaller than that produced sharp electrode tip. The type of microstructure on the weld are widmanstatten and parallel pacage. These types were the same for every electrodes geometry used. The use of the flat elektrode where the weld condition reached more than 100% tube thick, produce grain size which 20% smaller than the use of pointed and sharp electrodes.

**Key words** : electrode tips geometry, TIG welding, fuel pin, welding condition, weld deep, microstructur.

## **PENDAHULUAN**

Salah satu langkah dalam proses perakitan Batang Elemen Bakar Nuklir (EBN) adalah proses pelasan antara kelongsong dan tutup kelongsong. Kualitas hasil pelasan tersebut harus memenuhi kriteria yang telah disyaratkan. Persyaratan tersebut diantaranya adalah kedalaman las harus lebih besar dari tebal nominal kelongsong, dengan lebar las yang minimal dan seragam di sekeliling tutup kelongsong [1]. Kualitas hasil proses pelasan ini sangat dipengaruhi oleh kondisi pelasan yang digunakan. Untuk mencapai kualitas lasan yang memenuhi persyaratan tersebut perlu ditentukan kondisi pelasan yang sesuai, salah satu diantaranya adalah geometri ujung elektrode. Geometri ujung elektrode ini akan mengatur distribusi energi dari busur api listrik [2]. Geometri ujung elektrode yang umum dan biasa digunakan pada pelasan TIG (Tungsten Inert Gas) adalah berbentuk runcing, dengan sudut keruncingan yang bervariasi sesuai kebutuhan. Sudut keruncingan ujung elektrode akan berpengaruh pada bentuk busur api listrik pelasan, dan bentuk busur api listrik tersebut akan berpengaruh pada bentuk penetrasi lasan [3]. Selain geometri ujung elektrode, jenis gas

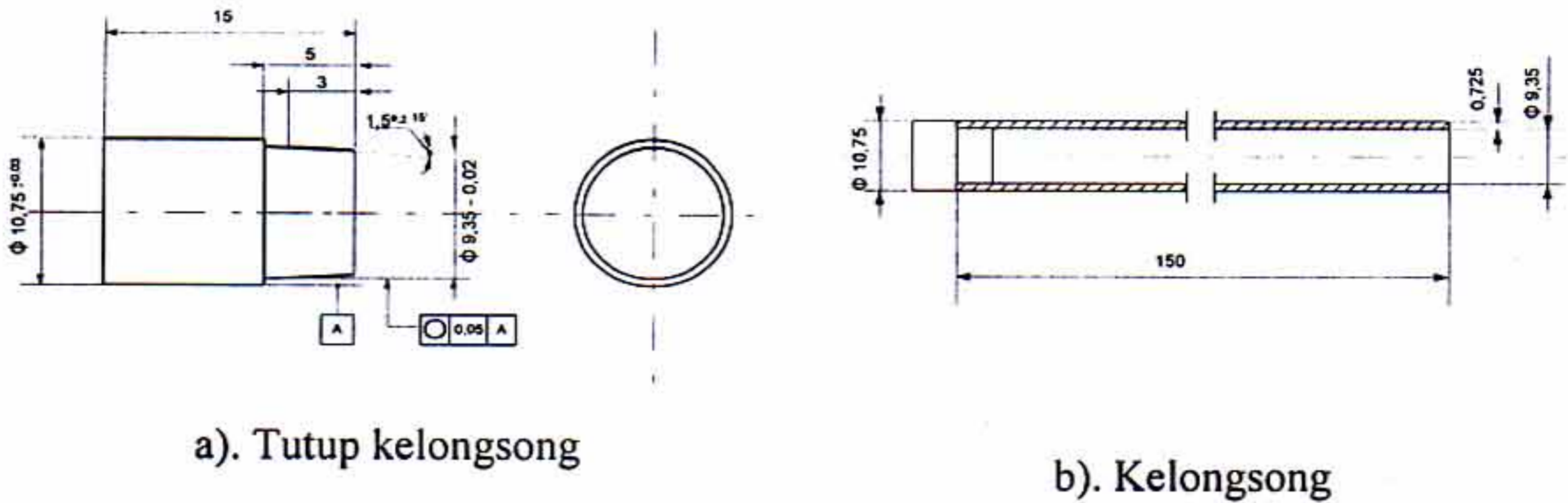
pelindung dan polaritas arus pelasan juga akan berpengaruh terhadap penetrasi pelasan [3].

Konstruksi las pada sambungan tutup kelongsong (EBN), mempunyai dimensi yang relatif halus, yaitu di bawah satu milimeter. Selama ini, untuk mencapai persyaratan las, pelasan dilakukan dengan mengatur besar arus las yang bertingkat, dengan bentuk elektrode berujung runcing [4]. Penggunaan bentuk ujung elektrode lain selain bentuk runcing, masih jarang dipublikasikan. Berdasarkan analisis dari bentuk api listrik yang ditimbulkan dan dikaitkan dengan konstruksi dan dimensi benda kerja yang dilas, perlu dicoba perubahan parameter bentuk ujung elektrode dengan bentuk yang lain. Diharapkan dengan mengubah bentuk elektrode ini dapat dicapai kedalaman las yang optimum, dengan masukkan panas yang minimum (arus las rendah). Berdasarkan pemikiran tersebut, dilakukan percobaan pelasan dengan menggunakan tiga variasi bentuk ujung elektrode, yaitu bentuk runcing, pipih dan lancip.

## **BAHAN DAN TATA KERJA**

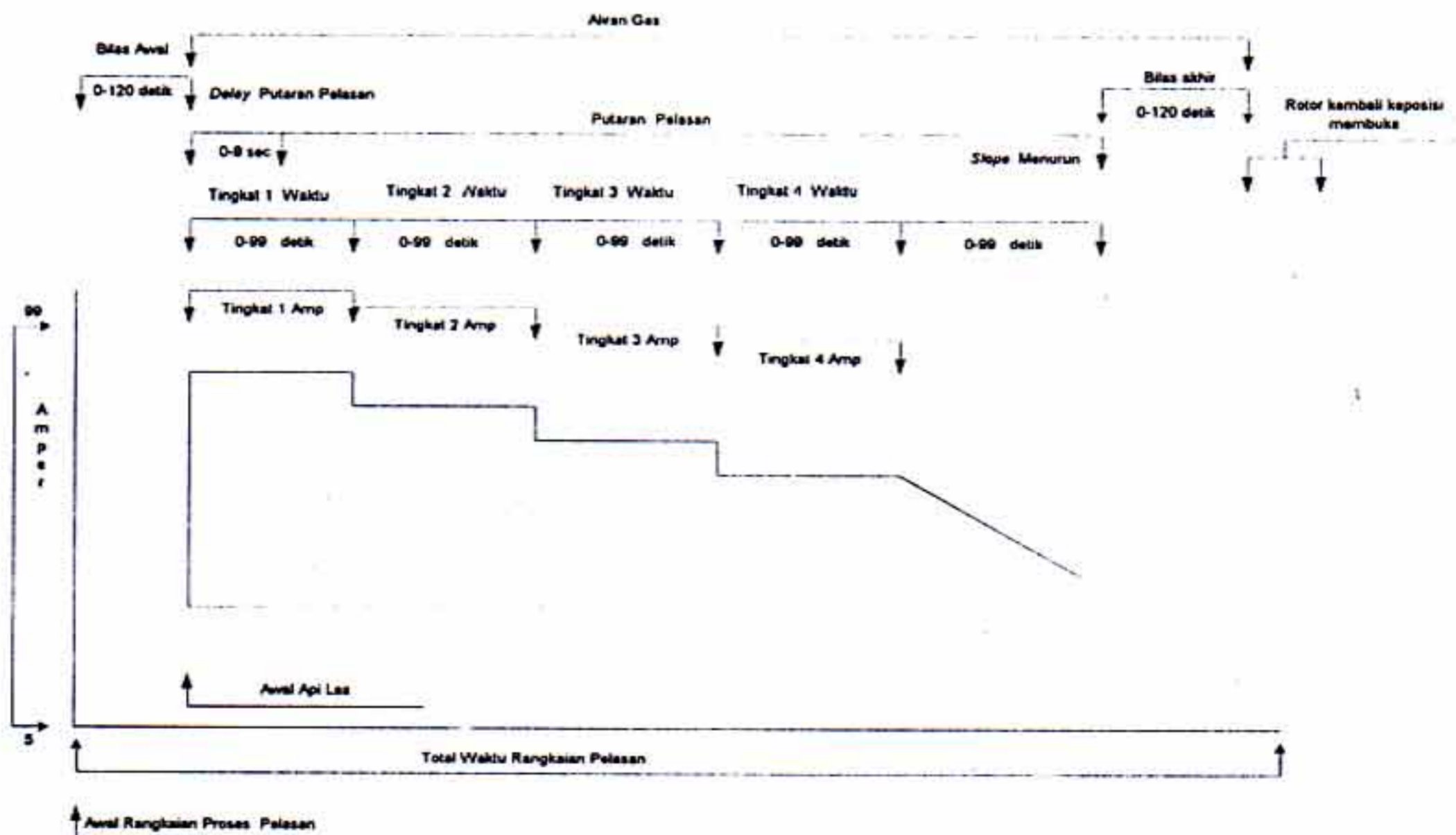
Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Zirkaloy-4 berbentuk batang dan kelongsong. Batang Zirkaloy-4 dibentuk menjadi tutup kelongsong melalui proses pembubutan. Panjang batang EBN untuk penelitian ini dibuat dalam ukuran simulasi, karena penelitian ini hanya diarahkan pada proses pelasan tutup kelongsongnya saja. Konstruksi dan dimensi tutup kelongsong serta kelongsong yang akan dilas dapat dilihat pada Gambar 1.

Proses pelasan antara kelongsong dan tutup kelongsong menggunakan mesin las TIG otomatis merk Isa Teknik Model 80-3. Proses pelasan dilakukan tanpa logam pengisi dan sebagai pelindung digunakan gas Argon kemurnian tinggi yang dimasukkan ke dalam kamar las. Posisi elektrode tetap dan benda kerja berputar. Aliran gas digunakan sebanyak 10 liter permenit.



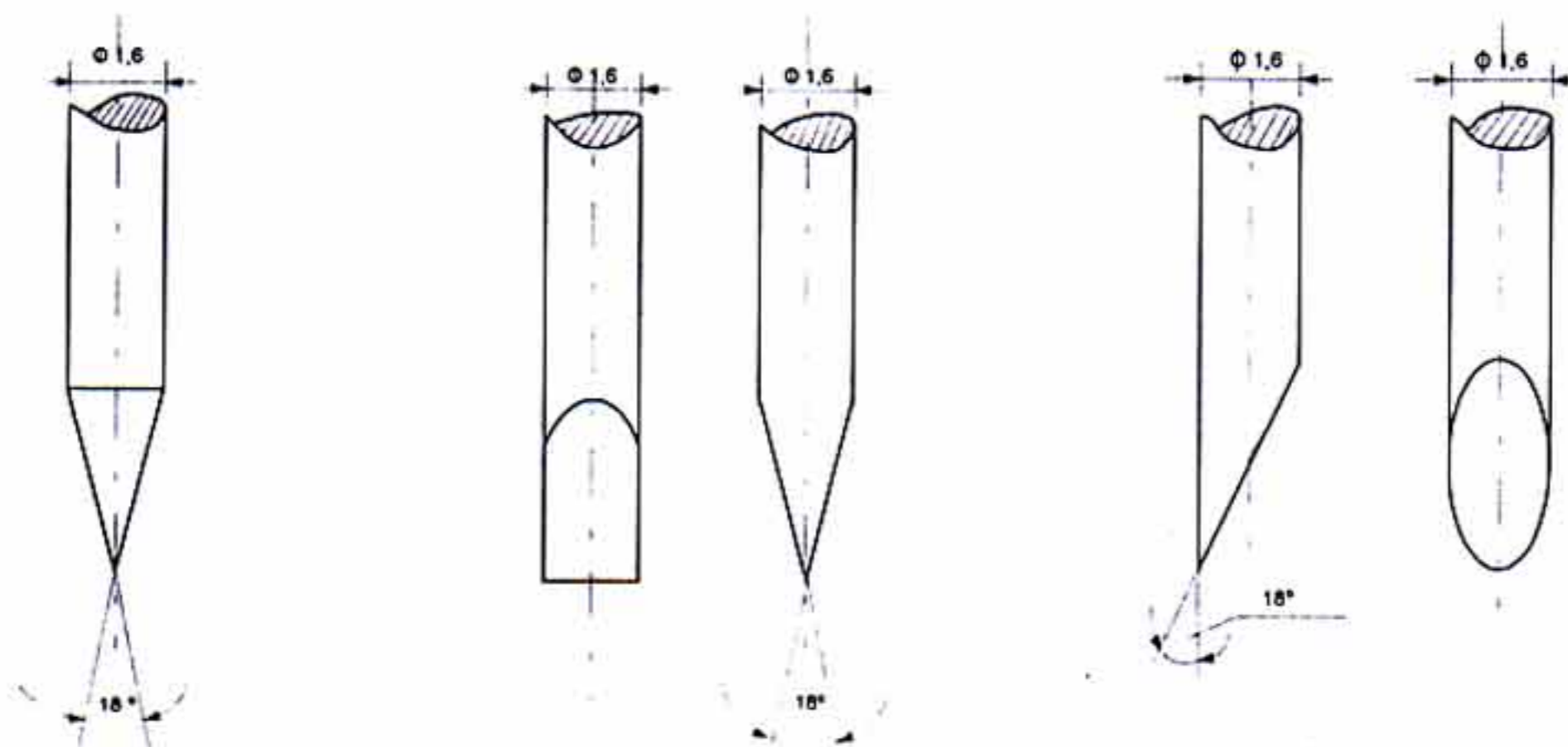
Gambar 1. Konstruksi dan dimensi tutup kelongsong serta kelongsong.

Kondisi pelasan dilakukan dengan menggunakan pola pelasan yang mengatur arus las dan waktu pelasan secara bertingkat. Bentuk pola arus dan waktu pelasan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar. 2 Pola arus las dan waktu pelasan.

Bahan elektrode ias digunakan paduan *Wolfram Thorium 2%* dengan diameter 1,6 mm. Bentuk ujung elektrode, digunakan tiga bentuk, yaitu bentuk runcing, pipih dan lancip, dengan sudut kemiringan 18 derajat. Bentuk dan geometri masing-masing ujung elektrode diperlihatkan pada Gambar 3. Sedangkan geometri sambungan las dan posisi ujung elektrode, serta jarak elektrode terhadap benda kerja pada saat pelasan dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.

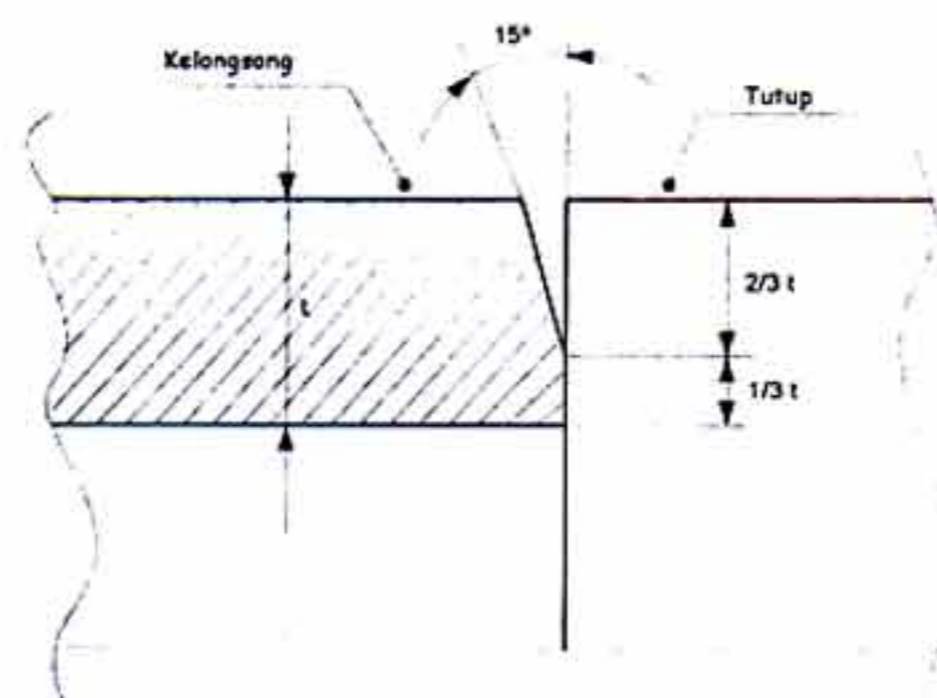


a). Elektrode runcing

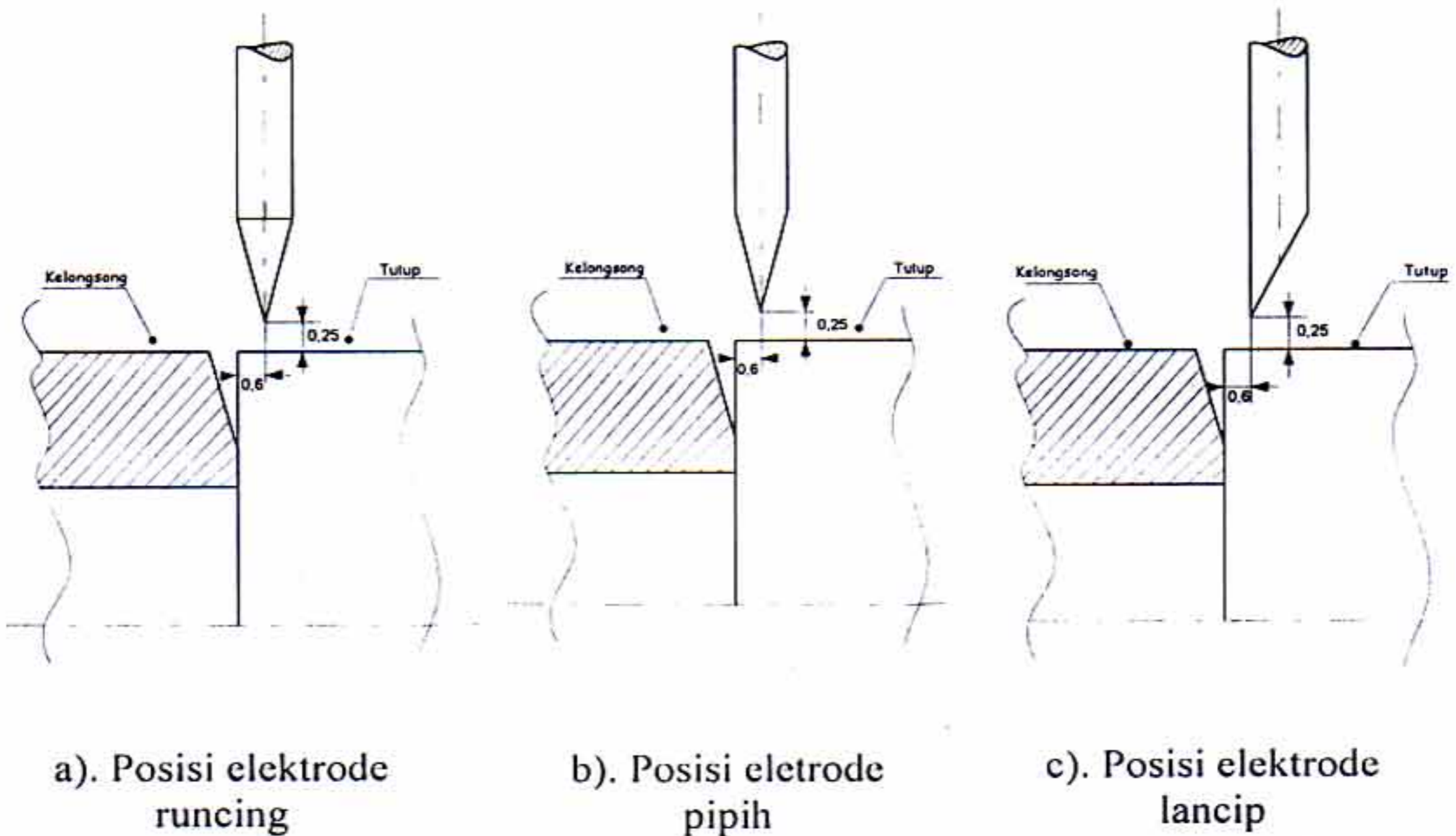
b). Elektrode pipih.

c). Elektrode lancip

Gambar 3. Geometri ujung elektrode



Gambar 4. Geometri sambungan las



Gambar 5. Posisi ujung elektrode dan jarak elektrode terhadap benda kerja.

Kondisi pelasan pada saat percobaan, dilakukan dengan memvariasikan pola arus dan waktu pelasan, serta variasi geometri ujung elektrode, sampai mendapatkan kedalaman las mencapai lebih dari 100% tebal kelongsong dan lebar las yang seragam di sekeliling batang. Kondisi pola pelasan yang digunakan pada pelasan ini, dapat dilihat pada Tabel 1.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pelasan pada masing-masing kondisi pola pelasan yang digunakan, berupa ukuran kedalaman las, lebar las, lebar perubahan struktur mikro bahan pada kedua belah sisi logam las (HAZ) dan struktur mikro yang terbentuk dapat dilihat pada Tabel 2 s/d Tabel 4 serta Gambar 6 s/d Gambar 10.

Tabel 1. Kondisi pola arus las dan waktu pelasan.

Kode Kondisi Pola Pelasan	Pola Tingkat Arus Las dan Waktu Pelasan						
	Delay (detik)	Tingkat I (Amp/detik)	Tingkat II (Amp/detik)	Tingkat III (Amp/detik)	Tingkat IV (Amp/detik)	Down Slope (detik)	RPM
P1	1	35/2	34/3	33/3	32/3	5	7,5
P2	1	37/2	37/3	36/3	35/3	5	7,5
P3	1	39/2	38/3	37/3	36/3	5	7,5
P4	1	45/2	44/3	43/3	42/3	5	7,5
P5	1	47/2	46/3	45/3	44/3	5	7,5
P6	1	50/2	49/3	48/3	47/3	5	7,5
P7	1	52/2	51/3	50/3	49/3	5	7,5

Tabel 2. Ukuran kedalaman las

Geometri Ujung Elektrode Kondisi Pola Pelasan	Kedalaman Las ( % tebal kelongsong )		
	Runcing	Pipih	Lancip
P1	Tidak tersambung	± 40%	Tidak tersambung
P2	± 50%	± 87%	± 45%
P3	± 70%	100 %	± 65%
P4	± 90%	> 100%	± 83%
P5	100%		± 90%
P6	> 100%		100%
P7			> 100%

Berdasarkan data pada Tabel 1 dapat dilihat, bahwa untuk kondisi pola pelasan yang sama, yaitu P1, pelasan yang menggunakan elektrode berujung pipih, menghasilkan kedalaman las 40% lebih dalam, jika dibandingkan dengan kondisi pelasan menggunakan elektrode berujung runcing dan lancip. Hal ini menunjukkan, bahwa daya penetrasi pelasan menggunakan elektrode berujung pipih lebih baik bila dibandingkan dengan elektrode berujung runcing dan lancip. Hal ini diduga, karena bentuk busur api listrik dari elektrode berujung pipih mempunyai bentuk yang tajam dan memanjang seperti ujung pisau. Pada saat pelasan posisi busur ini diarahkan sejajar dengan alur las, sehingga sangat efektif untuk pelasan batang EBN yang mempunyai bentuk geometri sambungan las yang sempit dan memanjang mengelilingi lingkaran kelongsong. Sedangkan bentuk busur api listrik pada elektrode yang lain tidak mempunyai bentuk busur yang memanjang, sehingga daya penetrasinya tidak sebaik bila menggunakan elektrode berujung pipih. Dari ketiga bentuk elektrode yang digunakan, elektrode berujung lancip mempunyai daya penetrasi las yang paling rendah jika dibandingkan pada dua bentuk ujung elektrode yang lainnya.

Tabel 2. Ukuran lebar las pada kedalaman las mencapai lebih dari 100% tebal kelongsong.

Geometri Ujung Elektrode	Lebar Las (mm)	Kondisi Pola Pelasan
Runcing	3,2	P6
Pipih	2,2	P4
Lancip	3,5	P7

Pengaruh kondisi pola pelasan yang sama terhadap ukuran lebar las dan lebar HAZ untuk masing-masing bentuk elektrode yang digunakan, menunjukkan ukuran yang relatif sama. Analisis hasil pelasan terhadap lebar las dan lebar HAZ (*heat affective*



zone) yang memenuhi kriteria penerimaan pelasan EBN, adalah hasil pelasan mencapai kedalaman las lebih dari 100% tebal kelongsong.

Tabel 3. Ukuran lebar HAZ pada kedalaman las mencapai lebih dari 100% tebal kelongsong.

Geometri Ujung Elektrode	Lebar HAZ (mm)	Kondisi Pola Pelasan
Runcing	7,7	P6
Pipih	6,5	P4
Lancip	8,4	P7

Tabel 2 dan Tabel 3 memperlihatkan perbandingan ukuran lebar las dan lebar HAZ untuk kedalaman las mencapai lebih dari 100% tebal kelongsong. Pada kedua tabel dapat dilihat bahwa pelasan menggunakan elektrode berujung pipih mempunyai lebar las dan lebar HAZ yang lebih sempit bila dibandingkan dengan pelasan menggunakan elektrode berujung runcing dan lancip. Keadaan ini disebabkan besarnya arus las yang digunakan pada elektrode berujung pipih, lebih rendah bila dibandingkan dengan kondisi pola pelasan menggunakan elektrode bentuk lainnya. Alasan tersebut dapat dijelaskan bahwa telah diketahui, selama proses pelasan terjadi proses pemanasan logam. Proses pemanasan tersebut diperlukan untuk mencairkan logam, agar terjadi proses penyambungan sesuai yang diinginkan. Berdasarkan rumus masukan panas untuk pengelasan, yaitu  $J = 60 EI/v$  [5], dimana  $J$  adalah besarnya masukan panas (joule),  $I$  arus las (amper),  $E$  tegangan busur api las (voltase) dan  $v$  kecepatan pelasan (cm/menit). Dari rumus tersebut terlihat bahwa penggunaan arus las yang tinggi akan menyebabkan masukan panas yang besar. Masukan panas yang besar akan lebih banyak melelehkan logam las dan memperbesar daerah pengaruh panas. Makin banyak logam yang melelehkan, makin lebar logam las yang terjadi dan makin besar daerah yang terkena pengaruh panas. Hal ini juga menunjukkan, bahwa

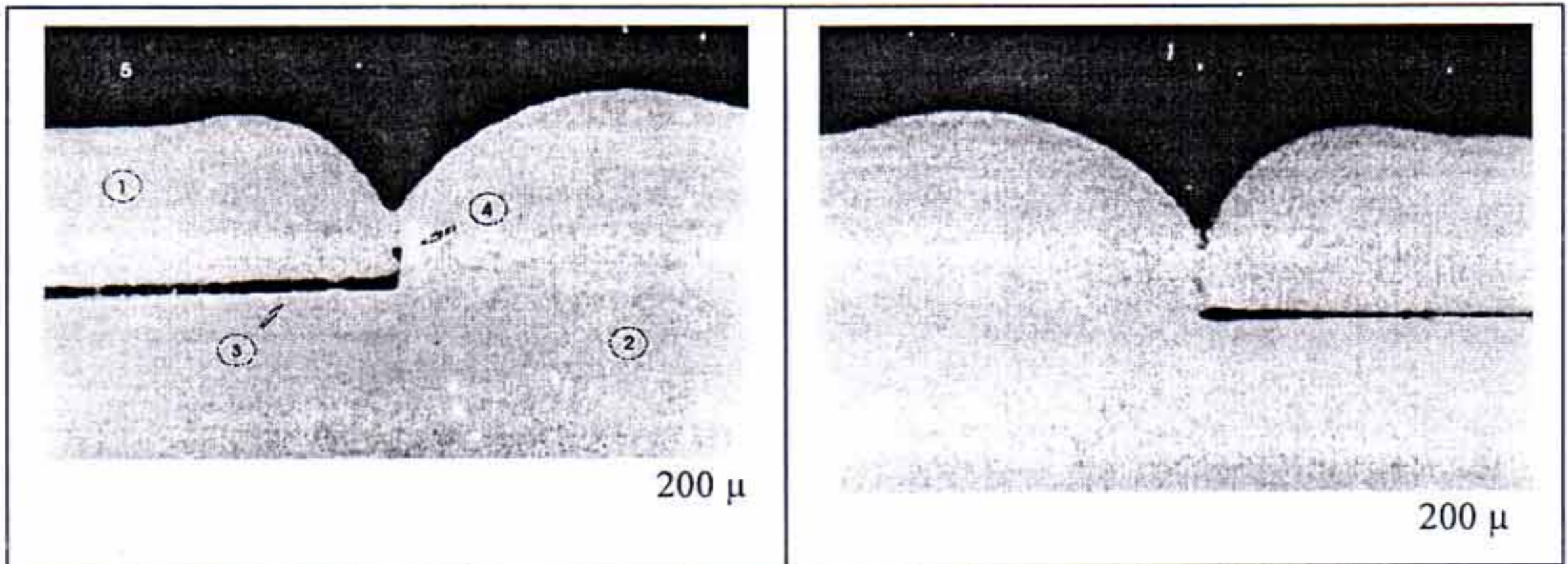
penggunaan arus las yang lebih besar pada pelasan menggunakan elektrode berujung runcing dan lancip untuk mendapatkan kedalaman las mencapai lebih dari 100% tebal kelongsong, menjadikan lebar logam las dan HAZ yang lebih lebar, bila dibandingkan dengan pelasan menggunakan elektrode berujung pipih.

Selain proses pencairan logam, masukan panas juga akan mengubah struktur mikro bahan. Perubahan struktur mikro dapat berpengaruh pada sifat fisis maupun mekanis bahan. Makin besar masukan panas, makin luas perubahan struktur mikro yang terjadi. Perubahan struktur mikro yang terlalu luas tidak diinginkan pada proses pelasan EBN. Hal ini perlu untuk mempersempit luas daerah yang kemungkinan mengalami perubahan sifat bahan yang tidak diinginkan, akibat perubahan struktur mikro tersebut.

Hasil proses metalografi yang memperlihatkan perbandingan kedalaman las, besarnya daerah perubahan struktur mikro bahan, serta tipe struktur mikro yang terjadi dari masing-masing bentuk elektrode yang dipergunakan, dapat dilihat pada Gambar 6 sampai dengan Gambar 10.

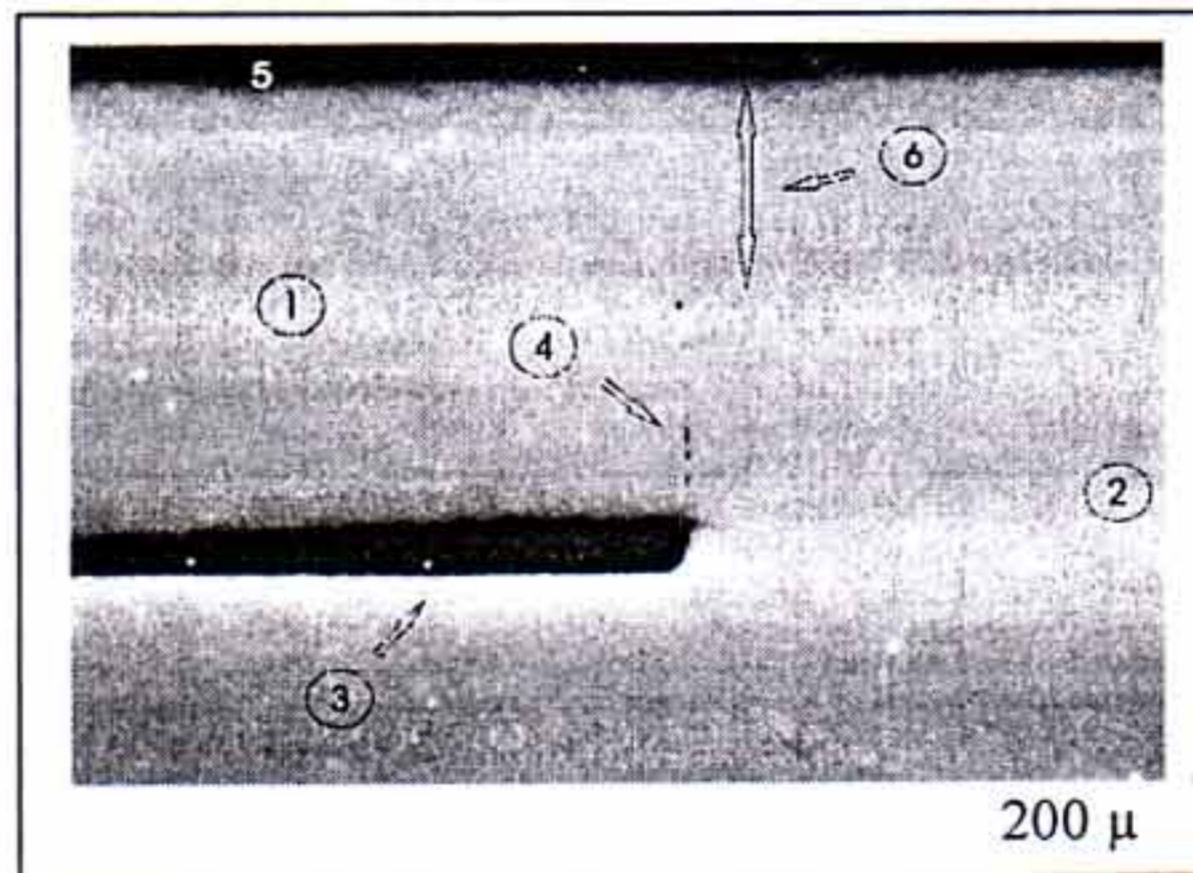
Pada Gambar 6 dapat dilihat fotomikro perbandingan bentuk sambungan hasil pelasan pada kondisi pola pelasan P1. Pada gambar tersebut terlihat kondisi sambungan antara tutup dan kelongsong untuk masing-masing bentuk elektrode yang digunakan.

Gambar 7 memperlihatkan fotomikro perbandingan kedalaman las pada kondisi pola pelasan P3. Pada Gambar 7 terlihat bahwa pelasan menggunakan elektrode berujung pipih menghasilkan kedalaman las 100% tebal kelongsong, sedangkan pada pelasan menggunakan elektrode berujung runcing dan lancip kedalaman las baru mencapai sekitar 70% dan 65 % tebal kelongsong.



a). Menggunakan elektrode runcing

b). Menggunakan elektrode lancip

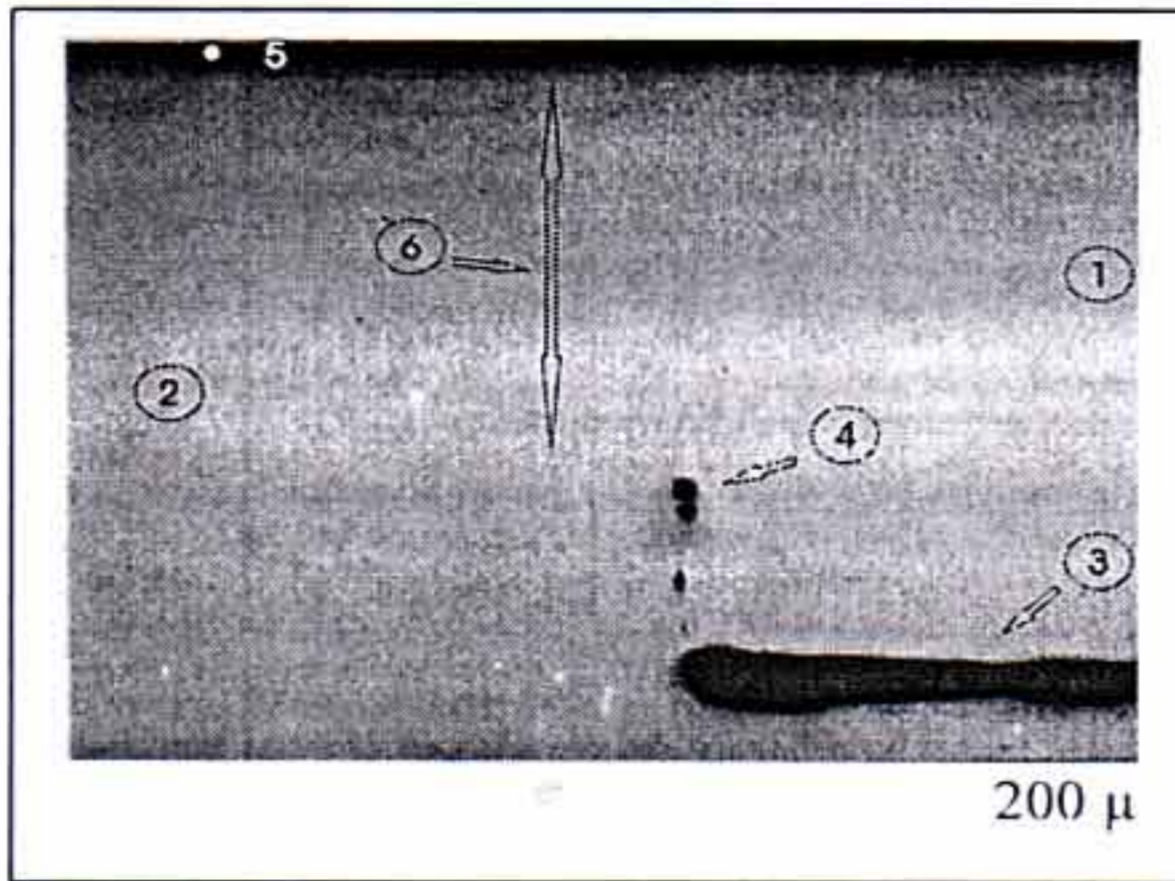


c). Menggunakan elektrode pipih

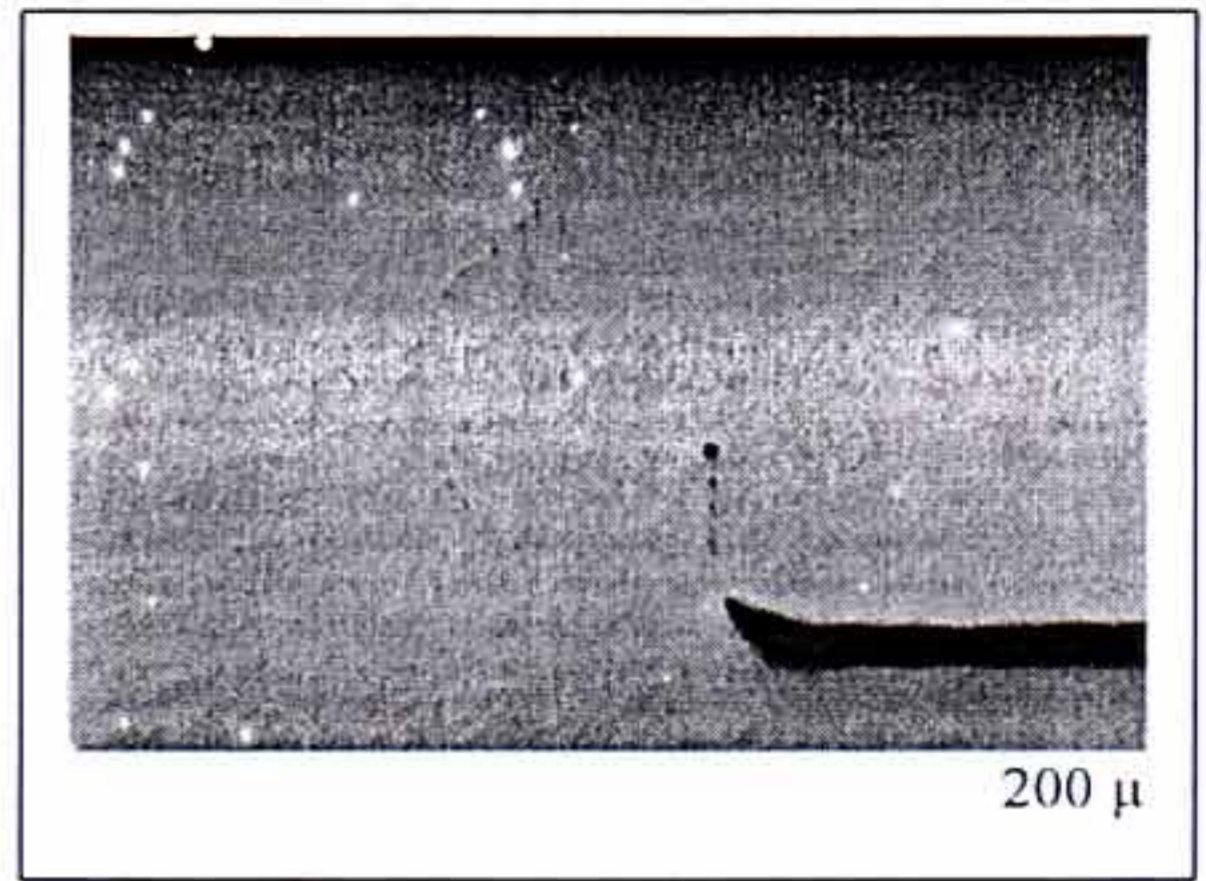
Gambar 6. Fotomikro perbandingan kondisi sambungan las hasil pelasan menggunakan kondisi pola pelasan P1, untuk masing-masing bentuk ujung elektrode yang digunakan.

Keterangan gambar :

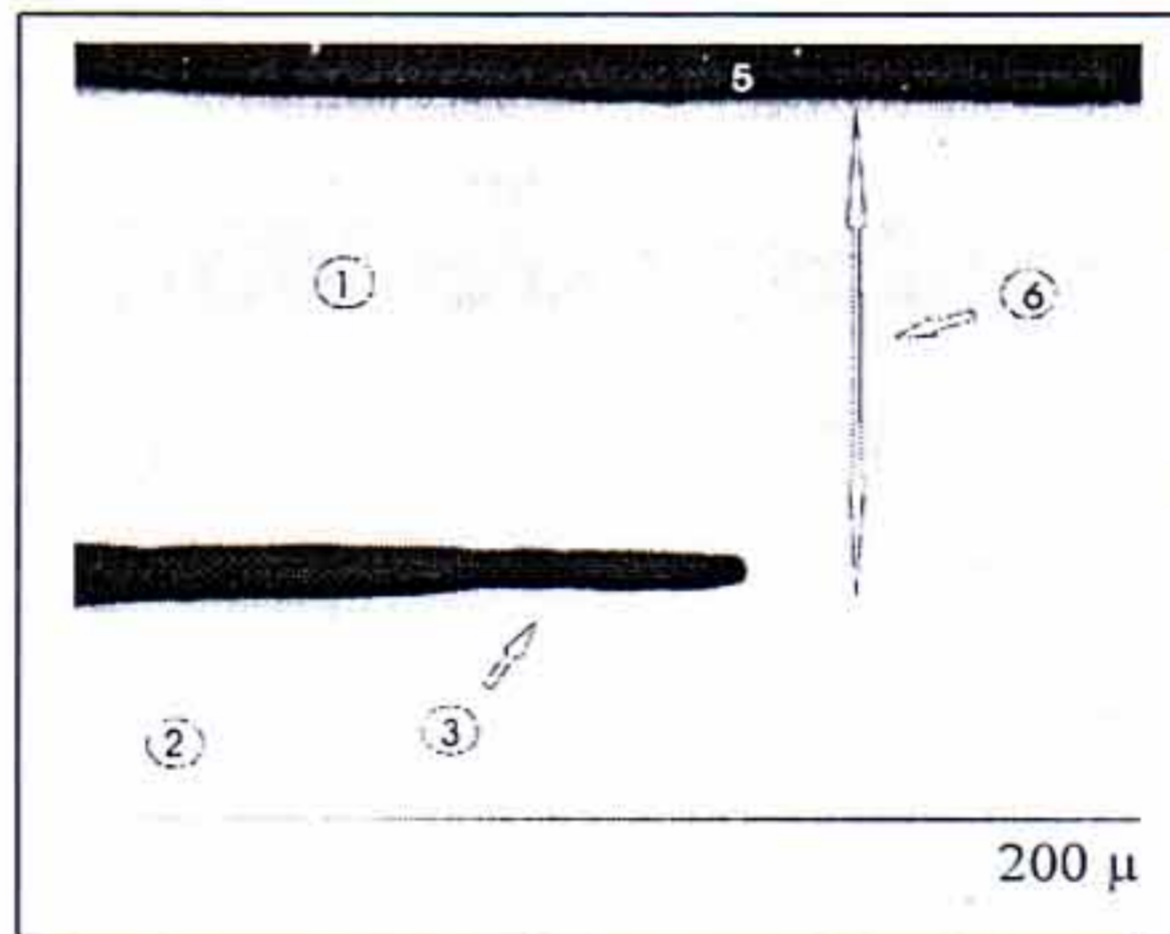
(1) Kelongsong, (2) Tutup kelongsong, (3) Celah antara ujung tutup kelongsong dengan kelongsong, (4) Celah antara kepala tutup kelongsong dengan kelongsong yang tidak tersambung pada saat pelasan, (5) Bingkai cetakan spesimen, (6) Daerah lebur sambungan las.



a). Menggunakan elektrode runcing



a). Menggunakan elektrode lancip



a). Menggunakan elektrode pipih

Keterangan gambar :

(1) Kelongsong, (2) Tutup kelongsong, (3) Celah antara ujung tutup kelongsong dengan kelongsong, (4) Celah antara kepala tutup kelongsong dengan kelongsong yang tidak tersambung pada proses pelasan, (5) Bingkai cetakan spesimen, (6) Daerah lebur sambungan las.

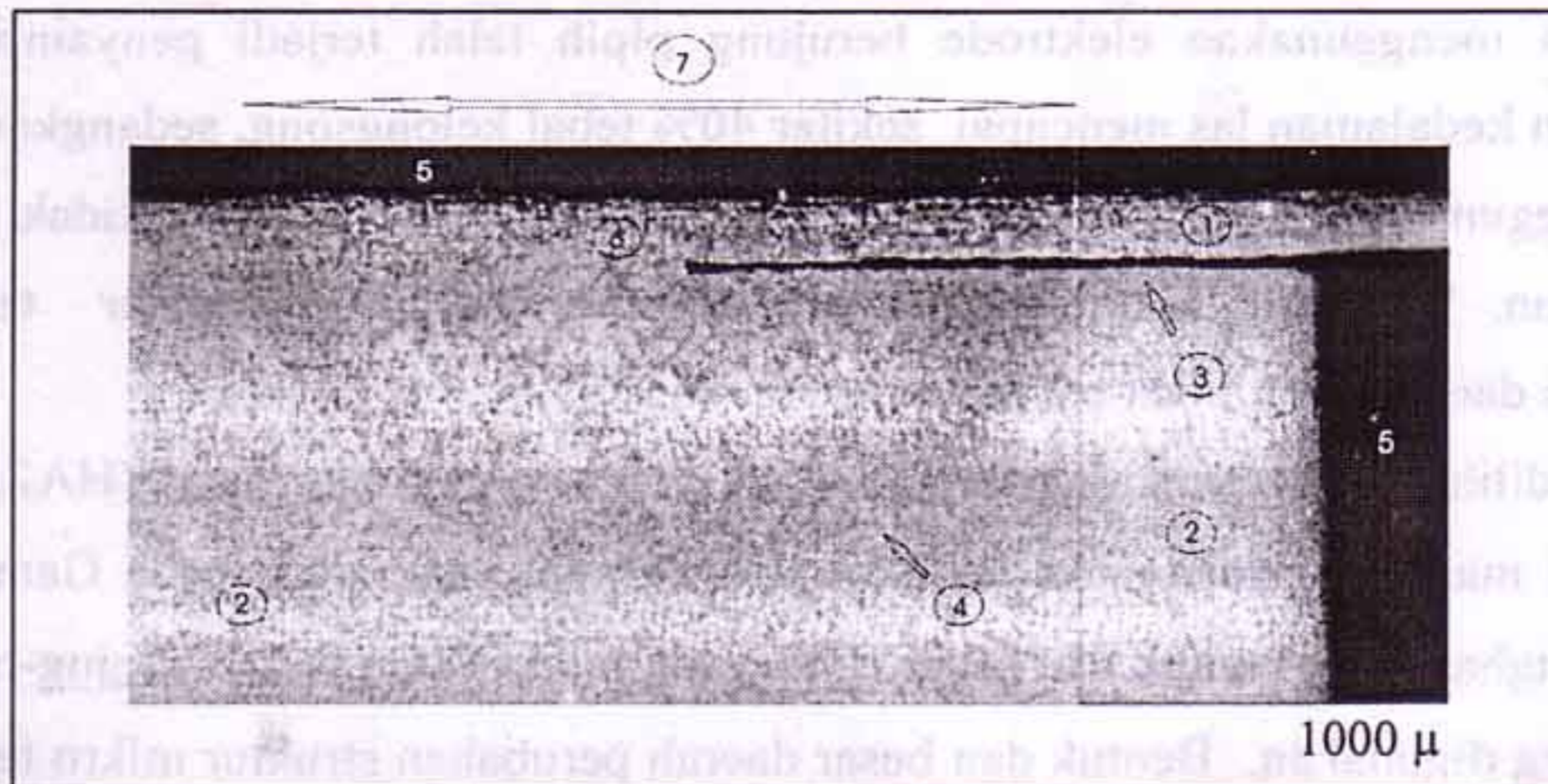
Gambar 7. Fotomikro perbandingan kedalaman las pada kondisi pola pelasan P3. untuk masing-masing bentuk ujung elektrode yang digunakan

Pada pelasan menggunakan elektrode berujung pipih telah terjadi penyambungan logam dengan kedalaman las mencapai sekitar 40% tebal kelongsong, sedangkan pada pelasan menggunakan elektrode berujung runcing dan lancip, samasekali tidak terjadi penyambungan. Titik-titik hitam memanjang arah vertikal pada gambar tersebut menunjukkan daerah yang tidak tersambung.

Bila dilihat dari bentuk dan besar daerah perubahan struktur mikro (HAZ) yang terjadi akibat masukan panas pada kondisi pola pelasan yang sama pada Gambar 7, yaitu P3, menghasilkan bentuk dan besar HAZ yang relatif sama untuk masing-masing elektrode yang digunakan. Bentuk dan besar daerah perubahan struktur mikro tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.

Perbandingan bentuk dan besar HAZ yang terjadi pada kondisi pelasan mencapai kedalaman las lebih dari 100% tebal kelongsong dapat dilihat pada Gambar 9. Pada Gambar 9, terlihat bahwa untuk mencapai kedalaman las lebih dari 100% tebal kelongsong, luas HAZ yang terjadi pada bahan berbeda untuk masing-masing spesimen. Luas HAZ pada kondisi pelasan menggunakan elektrode berujung pipih, lebih sempit bila dibandingkan dengan luas HAZ pada pelasan menggunakan elektrode berujung runcing maupun lancip.

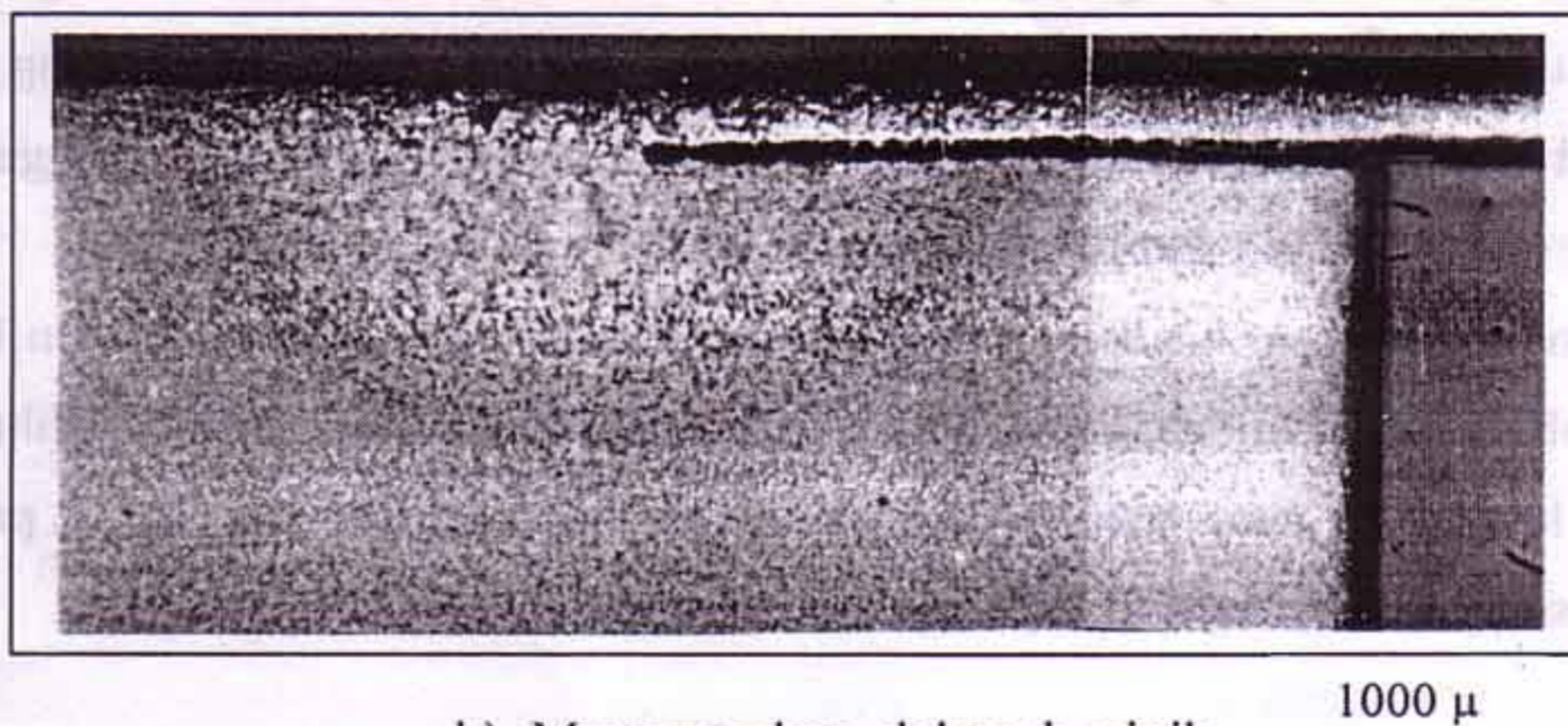
Permukaan logam hasil las yang memperlihatkan lebar daerah las dan bentuk struktur pembekuan logam las, dapat dilihat pada Gambar 9. Pada gambar terlihat arah pembekuan logam las yang memanjang mengarah sesuai arah laju putaran pelasan. Arah dan besarnya struktur yang terjadi pada tiap spesimen relatif sama.



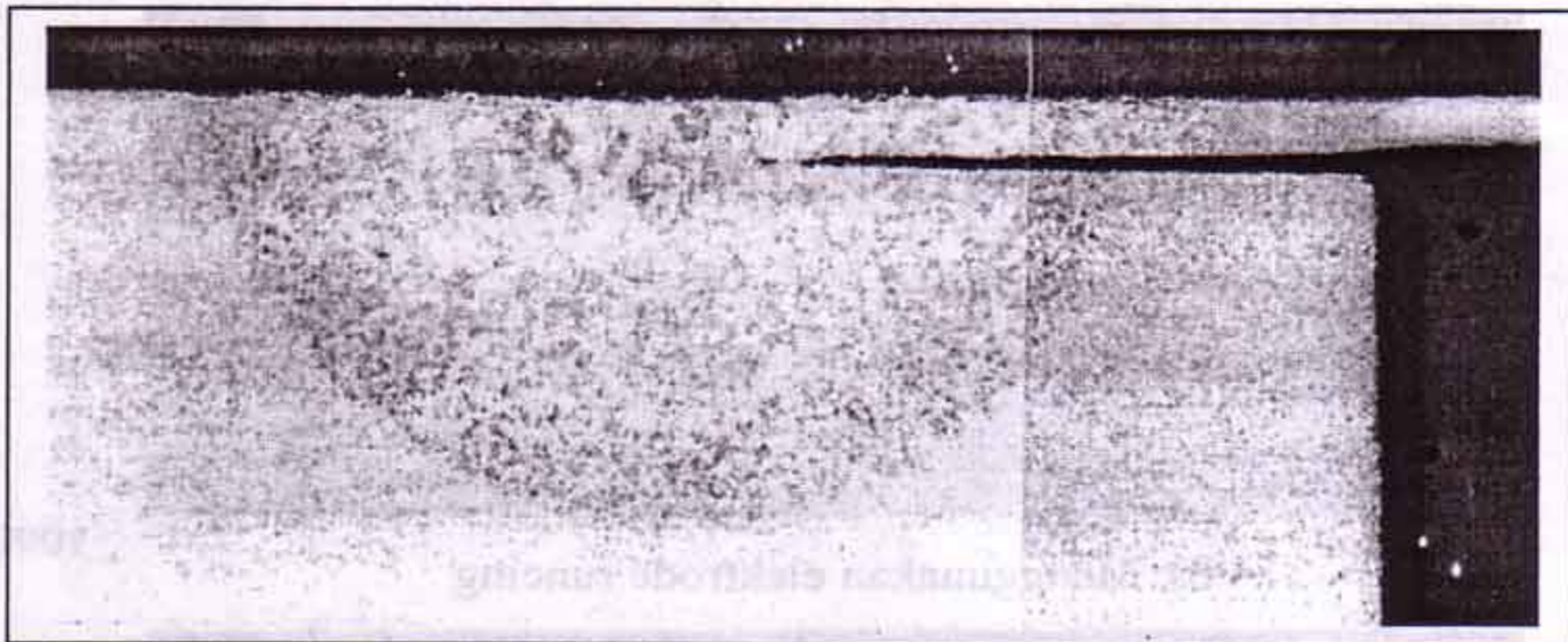
a). Menggunakan elektrode runcing

Keterangan gambar :

(1) Kelongsong, (2) Tutup kelongsong, (3) Celah antara ujung tutup kelongsong dengan kelongsong, (4) Daerah perubahan struktur mikro bahan, (5) Bingkai cetakan spesimen, (6) Daerah lebur sambungan las, (7) Lebar daerah perubahan struktur mikro bahan.



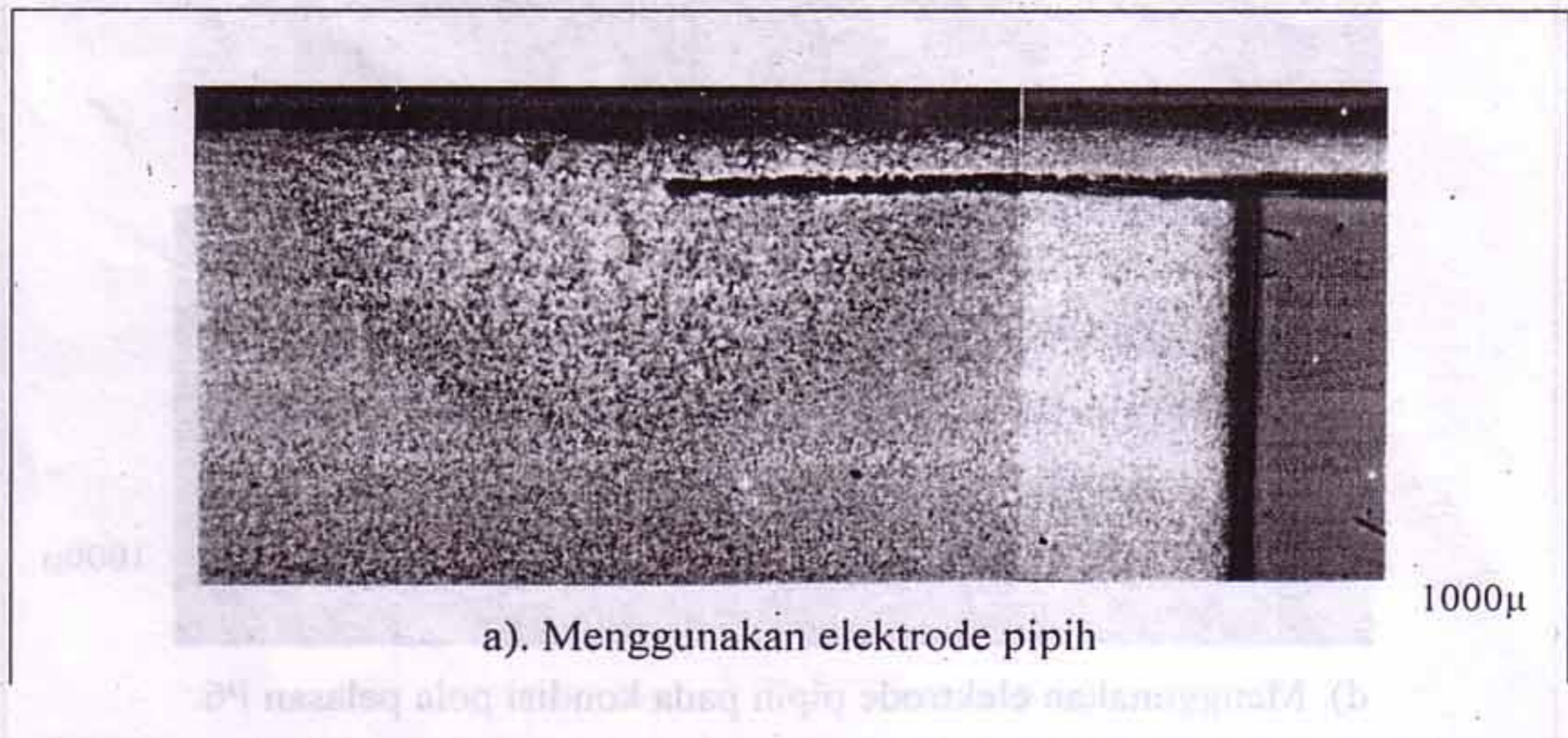
b). Menggunakan elektrode pipih



c). Menggunakan elektrode lancip

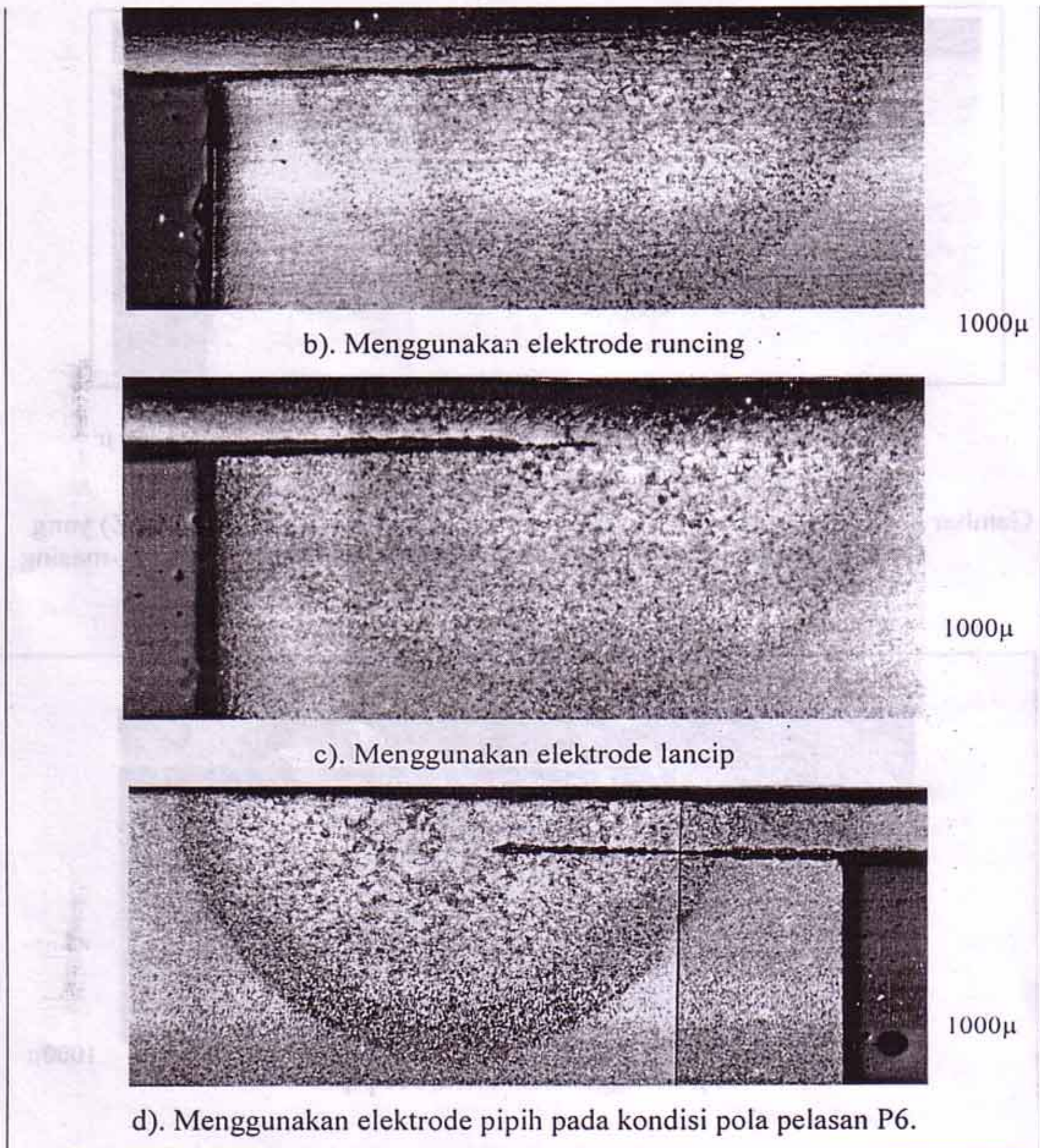
1000 μ

Gambar 8. Perbandingan bentuk dan besar perubahan strukturmikro (HAZ) yang terjadi pada bahan pada kondisi pola pelasan P3 untuk masing-masing bentuk elektrode yang digunakan.



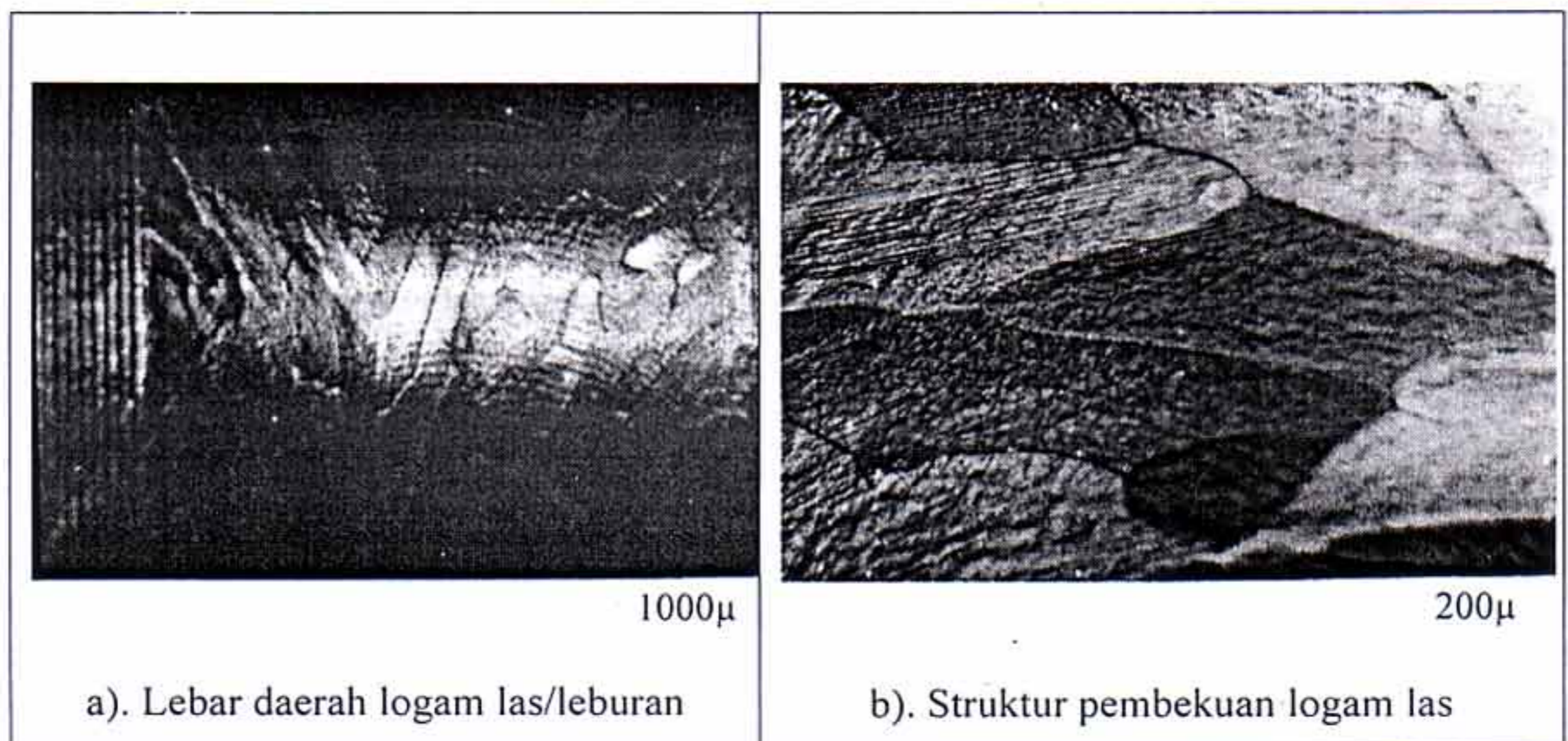
a). Menggunakan elektrode pipih

1000 μ



Gambar 8. Perbandingan bentuk dan besar daerah perubahan struktur mikro pada pelasan mencapai kedalaman las lebih dari 100% tebal kelongsong.

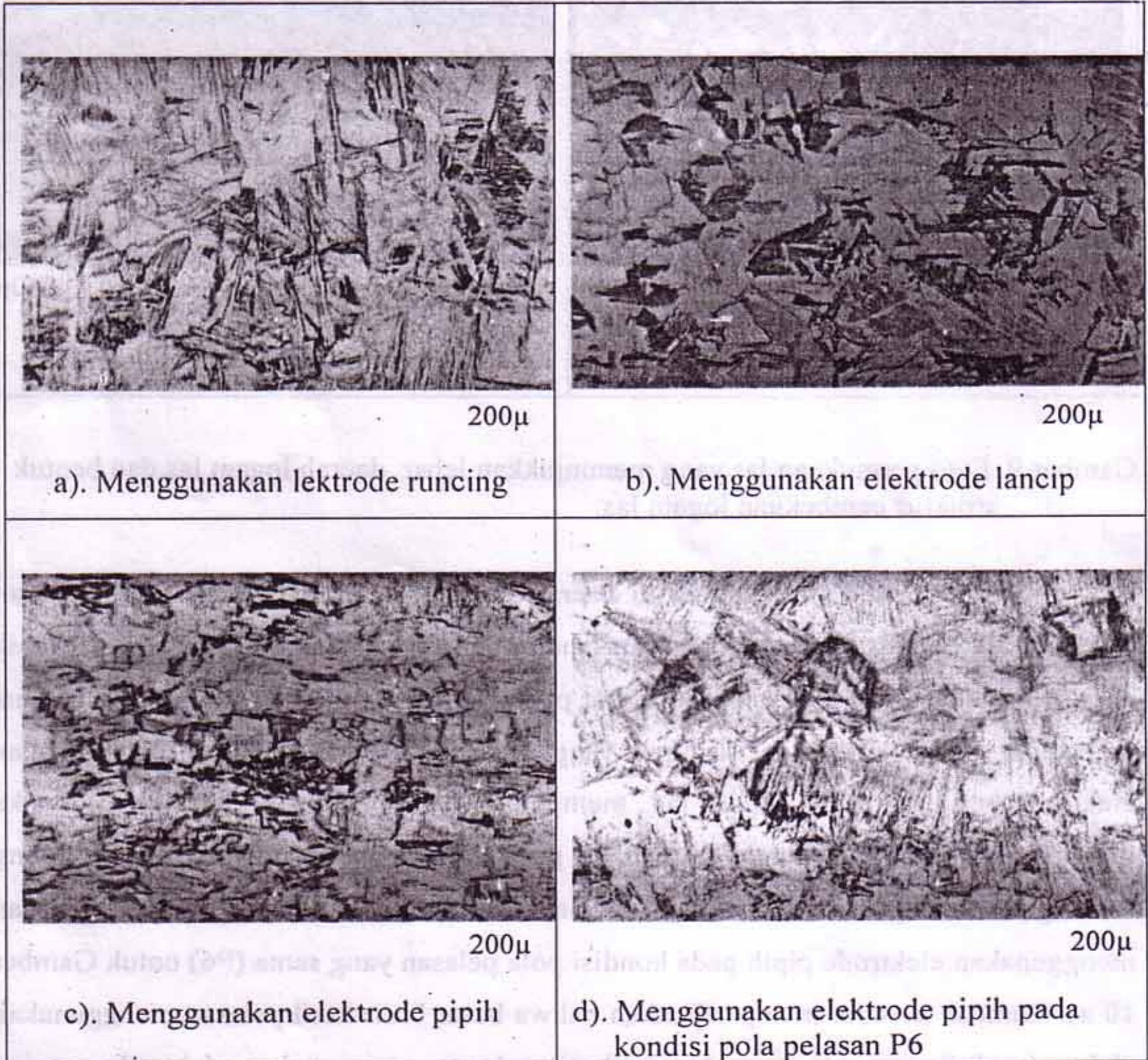




Gambar 9. Foto permukaan las yang menunjukkan lebar daerah logam las dan bentuk struktur pembekuan logam las.

Struktur mikro yang terjadi di daerah logam las, pada pelasan menggunakan elektrode berujung pipih, runcing dan lancip, dengan kedalaman las mencapai lebih dari 100% tebal kelongsong, dapat dilihat pada Gambar 10. Pada Gambar 10, terlihat perbedaan besar butir dan struktur yang terbentuk. Pada pelasan menggunakan elektrode berujung pipih, logam las mempunyai ukuran butir 20 % lebih kecil jika dibandingkan dengan ukuran butir pada pelasan menggunakan elektrode berujung runcing dan lancip. Pada Gambar 10 d). dapat dilihat besar butir logam hasil pelasan menggunakan elektrode pipih pada kondisi pola pelasan yang sama (P6) untuk Gambar 10 a). Gambar tersebut memperlihatkan bahwa besar butir hasil pelasan menggunakan elektrode pipih menjadi sama dengan hasil pelasan menggunakan elektrode runcing pada arus yang lebih tinggi. Arus las yang setinggi itu tidak perlu digunakan pada elektrode pipih, karena kedalaman hasil las sudah tercapai pada arus yang lebih rendah.

Tipe Strukturmikro yang terbentuk pada logam las, hampir sama untuk masing-masing bentuk elektrode yang digunakan, yaitu struktur *parallel pacage* dan *widmanstatten* [6].



Gambar 10. Strukturmikro *parallel pacage* dan *widmanstatten* pada logam las, serta perbandingan ukuran butir pada pelasan mencapai kedalaman las lebih dari 100% tebal kelongsong untuk masing-masing bentuk ujung elektrode yang digunakan.

Struktur *Widmanstaten* sedikit lebih banyak terbentuk pada pelasan menggunakan elektrode berujung runcing, sedangkan pada pelasan menggunakan elektrode berujung pipih dan lancip lebih banyak terbentuk struktur *parallel pacage*. Struktur tersebut terbentuk oleh adanya proses pemanasan dan pendinginan yang relatif cepat pada saat pelasan [6]. Bila dilihat dari sifat kekerasannya, struktur mikro *widmanstaten* dan *parallel pacage* mempunyai kekerasan yang relatif sama dengan logam induknya yang berstruktur alpha, tapi cenderung sensitif terhadap retak [1]. Adanya pengurangan kekuatan bahan yang ditimbulkan oleh proses pengerjaan, biasanya merupakan salah satu kajian dalam menentukan desain konstruksi dan kriteria pengerjaan yang perlu dilakukan. Dengan demikian penentuan ketebalan kelongsong dan kriteria hasil pelasan merupakan salah satu yang diperhitungkan dalam mendesain konstruksi EBN.

Besar butir yang terbentuk pada logam las, akan berpengaruh pada sifat mekanis bahan. Makin kecil butir, makin besar kekuatan luluh bahan. Hal ini berdasarkan persamaan Hall-Petch [7], yang menyatakan hubungan antara tegangan luluh bahan dengan besar butir, yaitu  $\sigma_0 = \sigma_i + k D^{-1/2}$ , dimana  $\sigma_0$  adalah tegangan luluh,  $\sigma_i$  adalah tegangan gesekan kisi kristal terhadap pergerakan dislokasi,  $k$  adalah parameter pengerasan relatif oleh batas butir dan  $D$  adalah diameter butir. Berdasarkan hal tersebut, pengelasan menggunakan elektrode berujung pipih dengan hasil butir yang lebih kecil, relatif akan lebih kuat bila dibandingkan dengan pelasan menggunakan elektrode berujung runcing dan lancip.

Berdasarkan kriteria yang disyaratkan untuk pelasan EBN dan hasil analisa data penelitian yang telah diuraikan, menunjukkan bahwa penggunaan elektrode berujung pipih menghasilkan lasan yang lebih baik, jika dibandingkan dengan penggunaan elektrode berujung runcing dan lancip.

## KESIMPULAN

1. Penggunaan elektrode berujung pipih pada pelasan TIG batang EBN, untuk kondisi pola pelasan yang sama, menghasilkan kedalaman las sekitar 40% lebih dalam bila dibandingkan dengan menggunakan elektrode berujung runcing dan lancip.
2. Pada pelasan mencapai kedalaman lebih dari 100% tebal kelongsong, penggunaan elektrode berujung pipih menghasilkan lebar las dan lebar HAZ yang lebih sempit sekitar 32% dibanding dengan menggunakan elektrode berujung runcing dan sekitar 38% lebih sempit dibandingkan dengan menggunakan elektrode berujung lancip.
3. Strukturmikro yang terbentuk pada logam las hasil pelasan menggunakan masing-masing bentuk elektrode, menghasilkan struktur yang sama, yaitu struktur *widmanstatten* dan *parallel pacage*.
4. Besar butir struktur logam las pada pelasan mencapai kedalaman las lebih dari 100% tebal kelongsong, penggunaan elektrode berujung pipih, menghasilkan besar butir sekitar 20% lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan elektrode berujung runcing dan lancip.

## DAFTAR PUSTAKA

1. ROMEISER, H. J., TIG Welding Process, Komunikasi di P3TKN-BATAN Bandung, 1987.
2. HABCHI G., MARYA S. K., 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, 1979, 97.