

# PEMERIKSAAN MIKROSTRUKTUR, KOMPOSISI KIMIA DAN KEKERASAN HASIL PENGE LASAN PADUAN AI-6061

Masrukan<sup>(1)</sup>, Fatchatul B<sup>(2)</sup> dan Chaerul<sup>(2)</sup>

1. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang

2. Pusat Teknologi Bahan Nuklir dan Radiometri -BATAN

Jl. Taman Sari, Bandung

## ABSTRAK

**PEMERIKSAAN MIKROSTRUKTUR, KOMPOSISI KIMIA DAN KEKERASAN HASIL PENGE LASAN PADUAN AI-6061.** Telah dilakukan percobaan untuk mengamati pengaruh pengelasan terhadap kekerasan dan mikrostruktur paduan Al6061. Mula-mula dua potongan pelat paduan Al6061 dilas dengan menggunakan lasan GTAW dan filler dari paduan Al-4043. Pengujian logam hasil pengelasan yang terdiri atas kekerasan, mikrostruktur dan komposisi kimia dipilih pada daerah logam induk, daerah terpengaruh panas (HAZ) dan daerah logam lasan. Dari pengujian kekerasan Rockwell F terlihat bahwa kekerasan tertinggi dicapai pada daerah logam induk yakni sebesar 66,4 RF, kemudian di daerah HAZ (56,8 RF) dan logam lasan (54,5 RF). Pada pengamatan mikrostruktur, terlihat bahwa bentuk butir logam induk, HAZ dan logam lasan masing-masing berbentuk cill, columnar dan equiaxial. Dari pengukuran ukuran butir dapat diketahui bahwa ukuran butir pada logam induk, HAZ dan logam lasan masing-masing sebesar 13,5µm, 15,9 µm dan 19,4 µm. Sementara itu, dari analisis komposisi kimia dengan menggunakan SEM-EDS terlihat bahwa kandungan unsur Si dan O tertinggi pada logam lasan, yakni masing-masing sebesar 10,14% dan 6,68 % berat.

**Kata kunci :** Pengelasan, paduan Al-6061, mikrostruktur, komposisi kimia dan kekerasan.

## ABSTRACT

**MICROSTRUCTURE OBSERVATION, CHEMICAL COMPOSITION AND HARDNESS OF AI-6061 ALLOY WELDING RESULT.** The microstructure observation, chemical composition and hardness of Al-6061 alloy welding result has been done. Two Al6061 alloy plates were welded by using GTAW and the Al-4043 alloy as a filler. The metal examinations after welding that consist of hardness, microstructure, and chemical composition were selected at the logam induk, the heat affected zone (HAZ), and the logam lasan areas. The highest hardness examination by Rockwell F was reached at logam induk (66.4 RF), followed by the HAZ (56.8 RF), and the logam lasan (54.5 RF). The microstructure observations found that the grain shape of logam induk, HAZ, and logam lasan areas are cill, columnar, and equiaxial, respectively. The grain size examinations of base

metal, HAZ, and weld metal areas are 13.5  $\mu\text{m}$ , 15.9  $\mu\text{m}$  and 19.4  $\mu\text{m}$ , respectively. While, the highest Si and O content during chemical composition analysis by using of SEM-EDS is found to be 10.14% and 6.68 % weight respectively for logam lasan area.

**Key word:** Welding, Al-6061 alloy, microstructure, chemical composition and hardness.

## PENDAHULUAN

Paduan aluminium magnesium silicon (AlMgSi) termasuk paduan aluminium yang dapat dikeraskan dengan perlakuan panas (*heat treatable*) dan termasuk dalam seri 6061. Paduan Al 6061 banyak digunakan dalam industri seperti industri mobil, konstruksi rumah, jembatan dan bahkan dapat digunakan untuk industri nuklir. Dalam industri nuklir paduan Al6061 misalnya untuk bahan struktur elemen bakar reaktor riset dan komponen tangki reaktor.

Pemilihan bahan tangki dari Al-6061 disebabkan paduan tersebut mempunyai kekerasan yang cukup tinggi sehingga mampu menahan beban selama digunakan di reaktor. Oleh karena sifat kekerasan Al-6061 tersebut maka paduan Al-6061 cocok untuk dikembangkan sebagai kelongsong bahan bakar baru seperti  $\text{U}_3\text{Si}_2$ -Al, UMo dan U-Zr. Penggunaan paduan Al-6061 yang lain adalah untuk tangki reaktor seperti Reaktor TRIGA di Bandung. Dalam fabrikasinya menjadi pelat elemen bakar maupun untuk komponen tangki reaktor TRIGA, kedua penggunaan memerlukan proses penyambungan yaitu pengelasan. Pengelasan pada proses fabrikasi elemen bakar dilakukan pada ujung-ujung komposit sebelum dilakukan pengerolan, sedangkan fabrikasi untuk komponen tangki reaktor dilakukan pada tangki dinding reaktor.

Proses pengelasan adalah proses penyambungan logam dengan menggunakan pemanasan temperature tinggi secara serentak, sehingga terjadi perubahan sifat metalurgiknya seperti sifat mekanik, mikrostruktur maupun komposisi unsur

penyusunnya<sup>[1]</sup>. Perubahan mikrostruktur dapat mengakibatkan perubahan sifat yang merugikan misalnya ketangguhan di daerah lasan (HAZ) menurun sehingga mudah retak<sup>[1]</sup>.

Dalam penelitian ini dilakukan pengelasan bahan Al 6061, selanjutnya dilakukan pemeriksaan mikrostruktur, kekerasan dan komposisi unsur akibat proses pengelasan. Penelitian ini dilakukan untuk mengamati perubahan yang terjadi pada bahan Al-6061 hasil pengelasan terhadap mikrostruktur dan sifat mekaniknya (kekerasan).

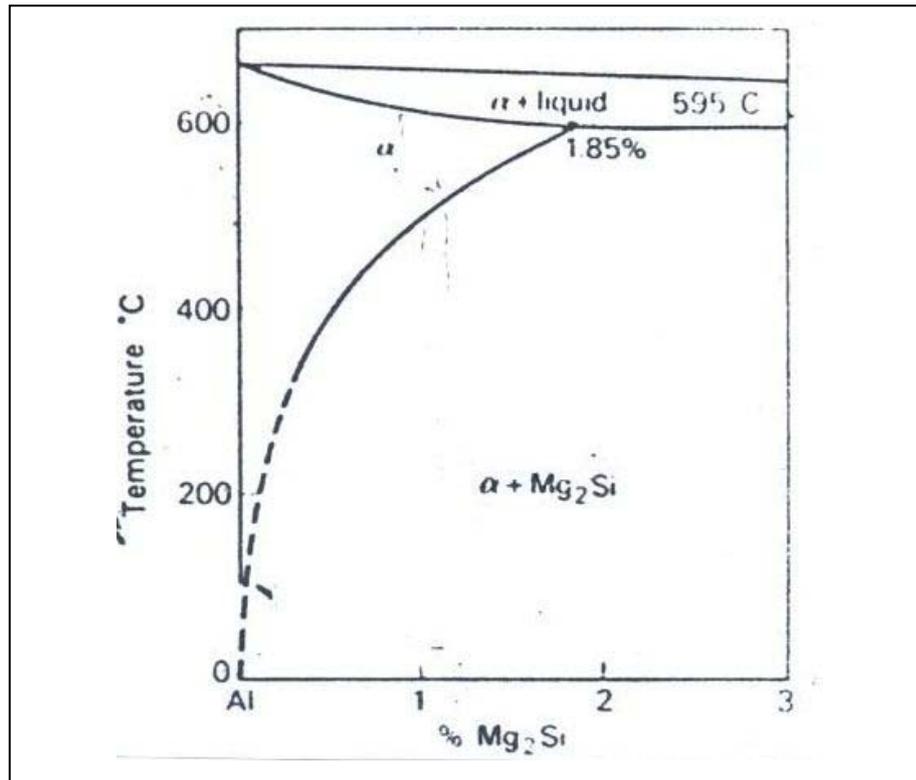
## TEORI

### • Paduan AlMgSi (Al-6061)

Paduan Al-6061 termasuk dalam kelompok paduan aluminium magnesium silicon (AlMgSi) yang memiliki kekuatan dan mampu lasan baik serta ketahanan korosi cukup baik. Paduan AlMgSi dapat digolongkan menjadi tiga kelompok. Kelompok pertama, yaitu meliputi paduan logam dengan jumlah yang seimbang antara unsur Si dengan Mg antara 0,8 % dan 1,2 % berat. Kelompok ini dapat diekstrusi. Kelompok kedua, mengandung Mg dan Si lebih dari 1,4 %. Paduan ini dapat didinginkan cepat (*quenching*) untuk meningkatkan kekuatan setelah proses ekstrusi. Kelompok ketiga merupakan kelompok yang populer di Amerika Utara dan mempunyai komposisi Si lebih banyak dengan tujuan untuk meningkatkan kekerasan.

Dalam diagram fasa biner seperti terlihat pada Gambar 1, kelarutan maksimum  $Mg_2Si$  berada pada komposisi 1,85 % berat, dan setelah melampaui batas kelarutan akan membentuk fasa beta ( $Mg_2Si$ ). Apabila di dalam paduan AlMgSi tidak terdapat unsur Mn atau Cr tetapi terdapat unsur Fe maka akan terbentuk fasa-fasa  $Fe_3SiAl_{12}$ ,  $Fe_2Si_2Al_9$ ,

atau campuran magnesium, silikon dan besi [2,3]. Unsur Mn dan Cr menstabilkan fasa  $(Fe, Mn, Cr)_3SiAl_{12}$  apabila ditambahkan ke dalam paduan tersebut seperti Al 6063. Paduan AlMgSi seri 6061 biasanya mempunyai kelebihan  $Mg_2Si$  pada temperatur kelarutannya dan bila didinginkan lambat membentuk struktur *Widmanstatten*.



Gambar 1. Diagram fasa *pseudobinary* Al- $Mg_2Si$ <sup>[4]</sup>

#### • Pengelasan logam

Pengelasan logam adalah proses penyambungan logam antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas [1]. Karena proses pengelasan, maka logam di sekitar lasan mengalami siklus termal cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan – perubahan metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan–tegangan termal. Hal ini sangat erat hubungannya dengan ketangguhan, cacat lasan, retak dan lain sebagainya yang pada umumnya mempunyai pengaruh yang fatal terhadap keamanan dan konstruksi

lasan. [1] Dilihat dari daerah pengelasannya, proses pengelasan dapat dibedakan menjadi :

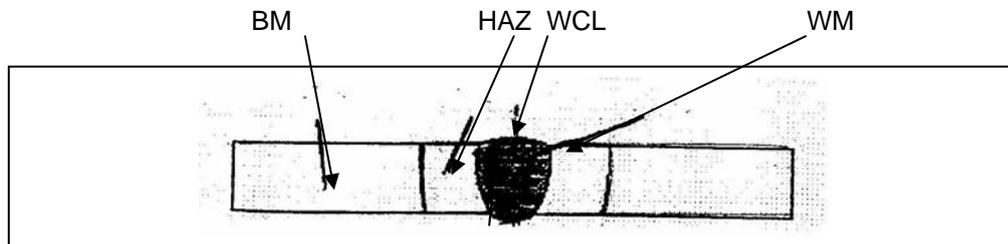
- Daerah logam induk (BM = *base metals*), adalah daerah yang mana logam asal sebelum dilakukan pengelasan,
- Daerah terpengaruh panas (HAZ = *Heat Affected Zone*), adalah daerah lasan yang tidak mencair tetapi sudah mengalami pengaruh perubahan mikrostruktur akibat pemanasan dan pendinginan selama

proses pengelasan. HAZ dan batas cair padat merupakan dua daerah yang sangat kritis, karena di tempat ini sering terjadi retak dan beberapa jenis cacat lainnya. Temperatur tertinggi daerah HAZ dipengaruhi oleh masukan panas yang bergantung pada arus listrik, kecepatan pengelasan, ketebalan palisan kerja, pemanasan awal, dan polaritas listrik. Laju pendinginan daerah HAZ tergantung pada temperatur tertinggi daerah HAZ, media pendingin, ketebalan benda kerja, dan pemanasan awal. Laju pendinginan ini juga akan menentukan jenis fasa yang akan terbentuk pada temperatur kamar setelah pendinginan daerah lasan.

- Daerah batas lebur (*fusion line*) adalah daerah yang mana terjadi batas antara padat dan cair. Daerah

batas lebur dan HAZ adalah daerah paling berbahaya karena pada daerah tersebut sering terjadi retak dan beberapa cacat lasan lainnya.

- Daerah logam lasan (WM= *Logam lasans*), umumnya memiliki sifat yang lebih baik daripada logam induk, karena logam lasan merupakan campuran unsur yang berasal dari logam pengisi dan logam induk. Logam pengisi biasanya memiliki unsur padamu yang menghasilkan sifat yang lebih baik daripada logam induk.
- Daerah garis pusat lasan (WCL= *weld centre line*), adalah daerah logam lasan yang membeku paling akhir dan memiliki kandungan unsur paduan yang paling tinggi. Pada Gambar 2 ditampilkan pembagian daerah-daerah hasil pengelasan logam.



Gambar 2. Daerah hasil pengelasan <sup>[1]</sup>

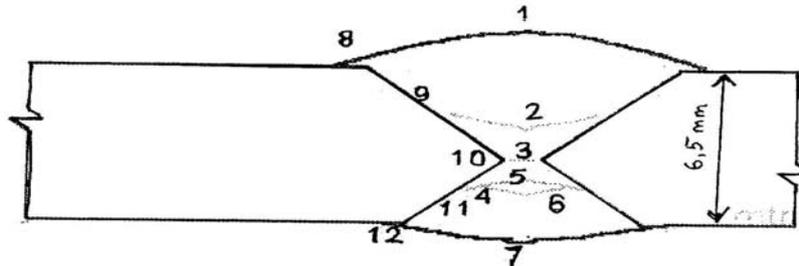
## TATA KERJA

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah potongan pelat Al -6061 yang telah dilas dengan menggunakan logam pengisi (*filler*) Al-4043 dengan komposisi seperti tertera pada Tabel 1 dalam Lampiran. Pemilihan bahan untuk pengisi diusahakan agar memiliki komposisi yang mendekati logam induknya selain dari sifat-sifat mekanik dan ketahanan korosinya. Teknik pengelasan yang digunakan yaitu *GTAW* (*Gas Tungsten Arc Welding*) yaitu pengelasan dengan pencairan (*fusion welding*). Pengambilan sampel uji dilakukan pada daerah logam

lasan, *Heat Affected Zone* (HAZ) dan logam induk. Pengelasan dilakukan dalam dua tahap yaitu pada bagian dalam tabung dan bagian luar. Untuk dapat dilakukan pengujian mikrostruktur, kekerasan maupun komposisi unsur dengan menggunakan SEM-EDS, merk Philips, sampel dipotong kecil kemudian dibingkai untuk memudahkan pemegangan pada saat penghalusan. Penghalusan sampel dilakukan dengan menggunakan mesin gerinda dan dilanjutkan dengan menggunakan mesin polis. Setelah sampel halus, dietsa dengan menggunakan campuran 15,5 mL HNO<sub>3</sub> , 1,5 mL HF dan 3g

CrO<sub>3</sub>, selanjutnya diuji mikrostruktur yang terjadi dengan menggunakan mikroskop optik, kekerasan dengan menggunakan teknik uji kekerasan Rockwell, dan analisis

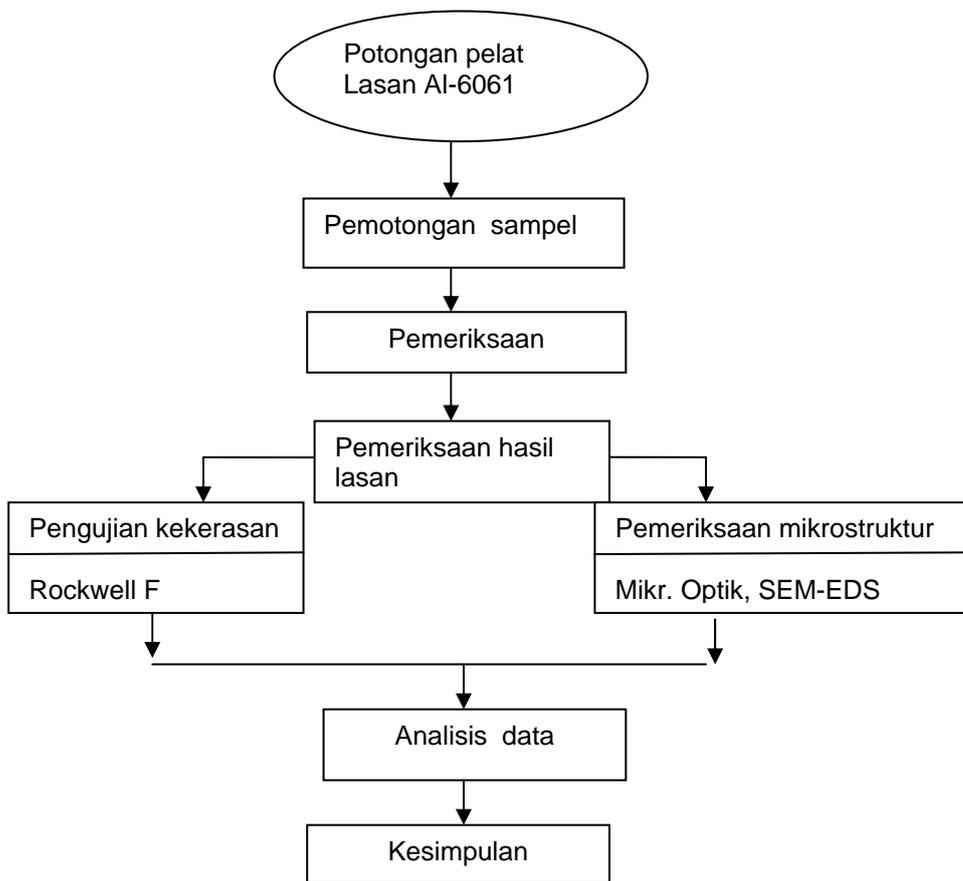
komposisi unsur dengan menggunakan SEM-EDS. Pada Gambar 3 ditampilkan daerah yang diuji, sedangkan pada Gambar 4 ditampilkan skema diagram alir penelitian.



Gambar 3. Penampang melintang daerah yang sambungan yang diuji

Keterangan :

- 1, 2, 3, 9, 8 = lasan bagian luar tabung
- 5, 4, 6, 11, 12, 7, 6 = lasan pada bagian dalam tabung



Gambar 4. Diagram alir penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil pengujian kekerasan ditampilkan pada Tabel 1 dan mikrostruktur pada Gambar

5 sampai dengan 7.. Dari Tabel 1 yang menampilkan data kekerasan Rockwell dapat

dilihat bahwa pada daerah lasan (*logam lasan*) mempunyai nilai kekerasan terendah yakni 54,5 Rockwell F, sedangkan nilai kekerasan tertinggi dicapai pada logam induknya yakni sebesar 66,8 Rockwell F. Perbedaan nilai kekerasan ini disebabkan oleh pengaruh panas (masukan panas) yang digunakan, yang mana pada daerah lasan menerima panas yang paling tinggi dibandingkan pada daerah HAZ maupun logam induknya. Selain disebabkan oleh faktor pemanasan, rendahnya nilai kekera-

san pada daerah lasan juga disebabkan kondisi pada saat pengelasan. Pada saat temperatur pengelasan tinggi, terjadi pencairan logam lasan dan logam hidrogen yang berasal dari sekeliling mudah larut ke dalam logam cair. Apabila kemudian logam cair membeku, gas hidrogen yang terlarut akan terjebak/terperangkap dalam bekuan logam sehingga menyebabkan timbulnya pori-pori. Semakin banyak pori-pori yang terbentuk pada logam lasan akan semakin rendah kekerasannya.

Tabel 1. Hasil uji kekerasan

Daerah lasan	Nilai kekerasan rata-rata (Rockwell F)
Logam induk	66,4
Daerah pengaruh panas (HAZ)	56,8
Logam lasan ( <i>logam lasan</i> )	54,5

Proses pengelasan menimbulkan pemanasan pada logam induk maupun logam pengisi, dan sumber panas akan bergerak sehingga timbul pencairan dan pembekuan secara terus menerus. Rangkaian proses ini akan menimbulkan pengintian dan pertumbuhan butir yang berakibat terbentuknya bermacam-macam bentuk maupun ukuran butir. Bentuk, ukuran butir, pori-pori dan inklusi merupakan bagian dari mikrostruktur. Apabila diamati mikrostruktur yang terjadi, dari logam induk ke tengah daerah lasan terlihat masing-masing mempunyai bentuk butir *cill*, *columnar* dan *equiaxial* seperti pada Gambar 5, 6 dan 7. Bentuk butir *cill* berbutir halus, terbentuk karena pendinginan relative cepat sehingga laju pengintianpun cepat dan pertumbuhan butir lambat. Bentuk butir seperti ini terlihat pada daerah batas batas antara logam induk dengan logam lasan (*logam lasan*) seperti

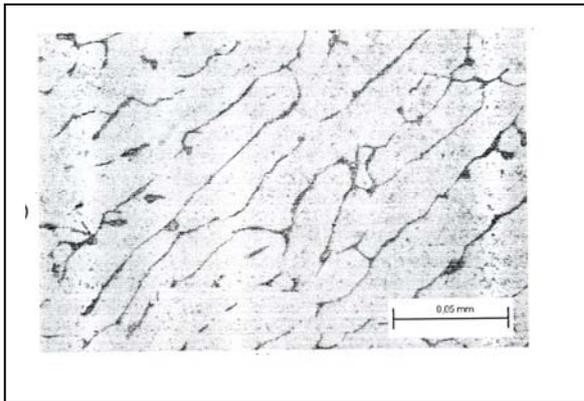
Gambar 5. Pada bentuk *columnar/* memanjang, berhubungan dengan terjadinya perpindahan panas. Pertumbuhan butir terpengaruh oleh arah perpindahan panas dari daerah tengah ke arah logam induk seperti ditampilkan pada Gambar 4. Untuk bentuk butir *equiaxial* berbutir kasar, terjadi di bagian tengah yang menerima panas yang paling banyak karena proses pengelasannya berlapis-lapis dan dilakukan pemanasan berulang-ulang. Akibat menerima panas paling banyak maka pendinginan menjadi lambat dan laju pengintian butir menjadi lambat pula dibandingkan pertumbuhan butir, sehingga butir yang terbentuk menjadi kasar seperti ditampilkan pada Gambar 5.

Apabila diamati ukuran butir yang terjadi, dari pengukuran diameter butir yang dilakukan dengan menggunakan mikroskop optic dan dilengkapi dengan *Image Pro &*

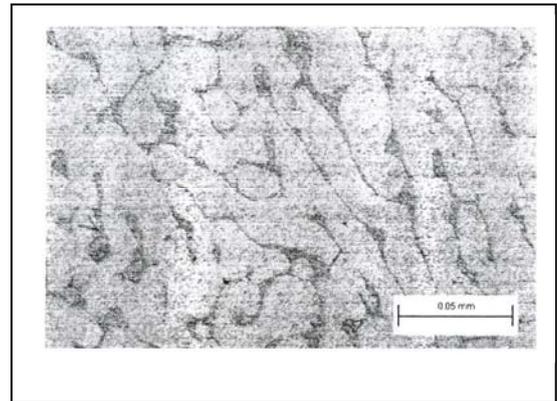
*Omnimet Advantage* maka dihasilkan ukuran butir pada daerah logam induk, HAZ dan logam lasan masing-masing mempunyai ukuran butir sebesar 13,5  $\mu\text{m}$  ; 15,9  $\mu\text{m}$  dan 19,4  $\mu\text{m}$  .

Dari pemeriksaan mikrostruktur dan bila dikaitkan dengan perubahan kekerasannya

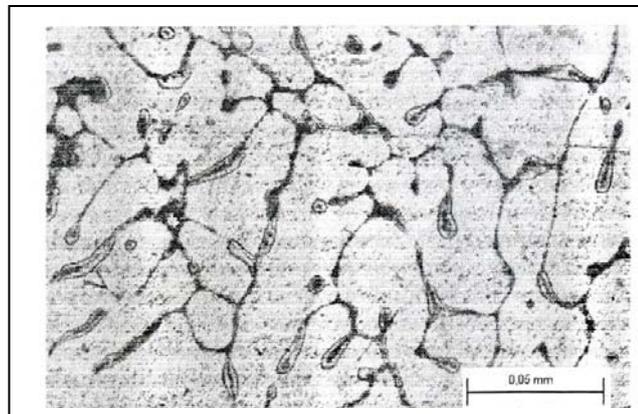
dapat diketahui bahwa pada logam induk , HAZ dan logam lasan masing-masing mempunyai bentuk *butir cill*, *columnar* dan *equiaxial* terlihat mempunyai nilai kekerasan yang semakin rendah yakni masing-masing 66,4 RF; 56,8 RF dan 54,5 RF.



Gambar 5. Mikrostruktur daerah batas antara logam induk dengan daerah lasan



Gambar 6. Mikrostruktur pada daerah HAZ



Gambar 7. Mikrostruktur pada daerah loga lasan

Hal lain yang terjadi pada proses pengelasan adalah teradinya pelelehan sebagian logam induk yang bersinggungan dengan logam lasan sehingga terjadi proses pelarutan. Keadaan ini terlihat pada daerah perbatasan antara logam induk dengan daerah lasan (Gambar 3). Peristiwa pelarutan menyebabkan daerah tersebut mempunyai kompo-sisi yang berbeda antara logam induk dengan logam pengisi. Untuk mengetahui

distribusi unsur yang terjadi akibat peristiwa pelarutan, diamati dengan menggunakan spektrometer EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) seperti ditampilkan pada Tabel 2, Gambar 1, 2 dan 3 pada Lampiran. Dari data tersebut dapat dilihat perbandingan kandungan unsur-unsur paduan antara logam induk dengan HAZ serta logam lasan. Terdapat perbedaan kandungan logam Si antara logam induk, HAZ dan logam lasan,

yang mana kandunga Si yang paling tinggi terdapat pada logam lasan disebabkan terdapat logam pengisi yang terlarut dan mengandung unsur Si sekitar 4,5 % sampai dengan 6% berat. Pada daerah HAZ, kandungan Si lebih besar dari logam induk yang disebabkan terjadinya difusi atom-atom Si dari logam lasan ke daerah HAZ. Selain itu, selama proses pengelasan terjadi proses pelarutan oksigen yang akan membentuk

oksida pada logam lasan, yang mana pada percobaan ini kandungan oksigen terbesar terdapat pada logam lasan. Unsur Mg yang terdapat pada logam pengisi sekitar 0,05 % berat, tetapi pada saat pencairan logam dalam proses pengelasan sebagian besar unsur Mg terbakar baik yang berasal dari logam pengisi maupun logam induk yang ikut mencair. Unsur Mg merupakan unsur yang mudah teroksidasi.

Tabel 2. Hasil analisis komposisi dengan menggunakan EDS

Elemen	Logam dasar (% berat)	Daerah terpengaruh panas (HAZ) (% berat)	Logam lasan (% berat)
O	4,22	4,06	6,68
Mg	1,22	-	-
Al	94,05	94,36	83,18
Si	0,51	1,57	10,14
Total	100	100	100

## SIMPULAN

Dari proses pengelasan paduan Al-6061 yang dilas dengan teknik GTAW dengan logam pengisi Al-4043 dapat disimpulkan bahwa, kekerasan logam berkurang dari logam lasan (*wel metal*) ke arah HAZ dan logam induk, yakni masing-masing sebesar 66,4 RF; 56,8 RF; dan 56,8 RF. Hasil pemeriksaan mikrostruktur menunjukkan dari logam induk ke tengah/daerah lasan terlihat masing-masing mempunyai bentuk butir *cill*, *columnar* dan *equiaxial*. Sementara itu, dari analisis komposisi unsur

dengan menggunakan EDS terlihat perbedaan kandungan logam Si antara logam induk, HAZ dan logam lasan, yang mana kandungan Si yang paling tinggi terdapat pada logam lasan yakni sebesar 10,14% berat. Untuk unsur Mg, pada daerah lasan dan HAZ tidak terdapat unsur Mg. Dilihat kandungan unsur oksigen yang terbentuk sebagai oksida, maka unsur oksigen terbesar terdapat pada logam lasan yakni sebesar 6,68 % berat.

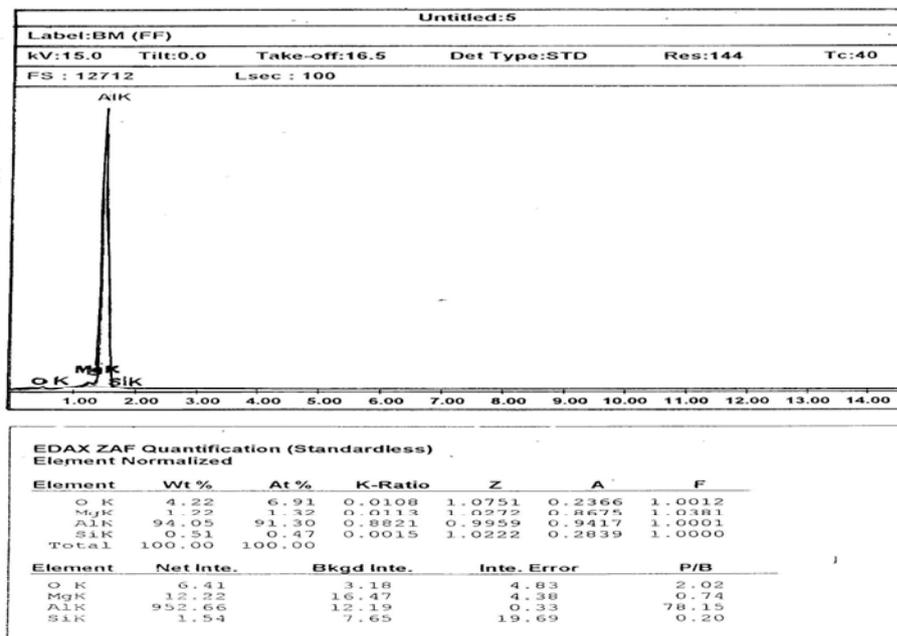
## DAFTAR PUSTAKA

1. HARSONO WIRYOLUKITO, TOSHIE OKUMURA, "Teknologi Pengelasan Logam", Pradnya Paramita, 1991, cetakan kelima.
2. CALLISTER, W.D., "*Material Science and Engineering an Introduction*", Fourth Edition, John Willey and Sons, Canada, 1997.
3. POLMEAR, Light Alloy, : "*Metallurgy of the Light Metals*", 1988.
4. HART J, "Aluminum: *Properties and Physical Metallurgy*," American Society for Metals, Metals Park Ohio, 1983.

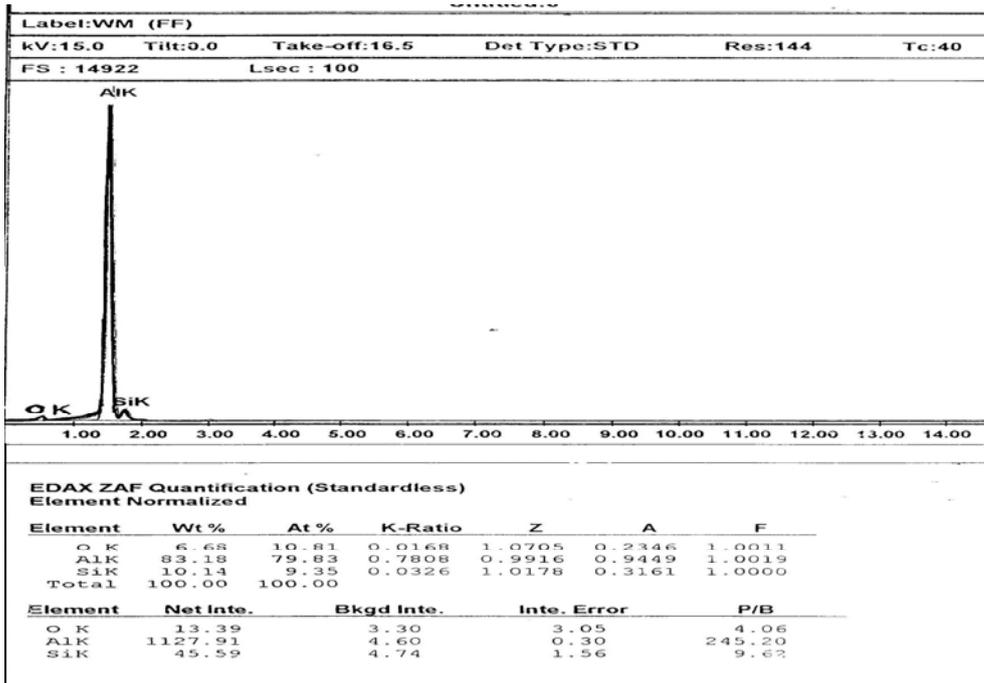
## LAMPIRAN

Tabel 1. 1 Komposisi material logam paduan Al 6061 dan pengisi A- 4043

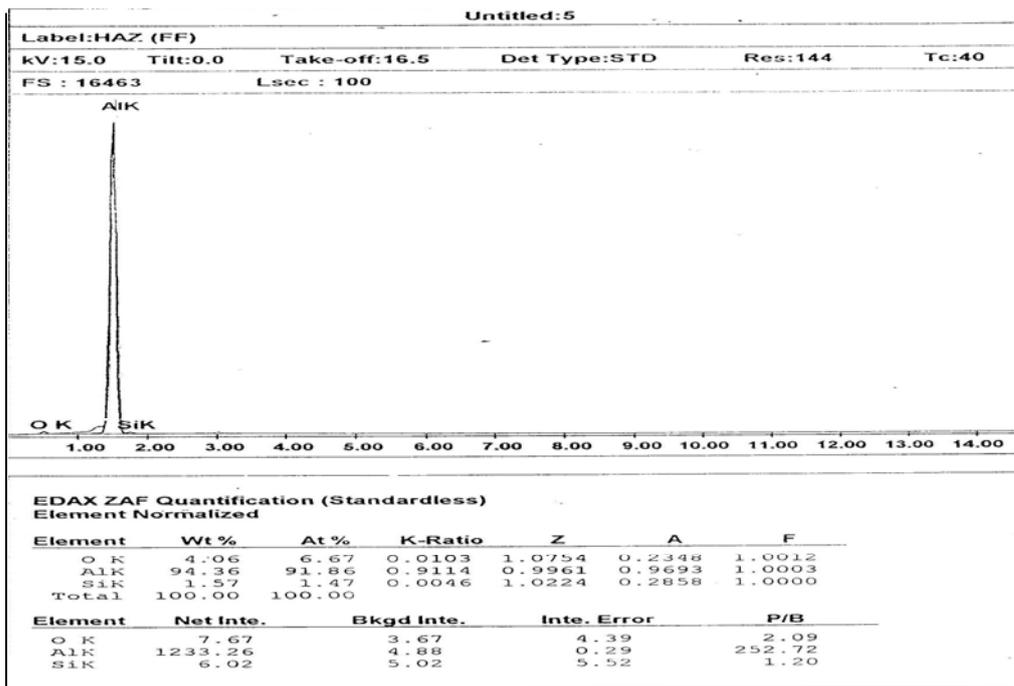
Klasifikasi AWS	4043	6061
Si	4,5 – 6,0	0,4-0,8
Fe	0,8	0,7
Cu	0,3	0,15-0,4
Mn	0,05	0,15
Mg	0,05	0,8-1,2
Cr		0,04-0,05
Zn	0,1	0,25
Ti	0,2	0,25
Unsur lain		
Masing-masing	0,05	0,05
Total	0,15	0,15
Al	Sisa	sisa



Gambar 1. Kurva intensitas sinar terhadap persen berat unsur pada logam induk



Gambar 2. Kurva intensitas sinar terhadap persen berat unsur pada logam lasan



Gambar 3. Kurva intensitas sinar terhadap persen berat unsur pada HAZ