

PEMBENTUKAN STRUKTUR MIKRO PADUAN TITANIUM Ti6Al6Mo AS CAST SEBAGAI BAHAN DASAR IMPLAN.

Cahaya Sutowo^{1*}, Fendy Rokhmanto², Galih Senopati³, Kholqillah Ardian Ilman⁴

^{*123}. Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI

⁴ Departemen Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada
E-mail : csutowo@yahoo.com

ABSTRAK

Paduan Ti6Al6Mo as-cast hasil proses remelting menggunakan vacuum arc furnace telah diobservasi dalam penelitian ini. Beberapa pengujian dilakukan untuk mengetahui pembentukan struktur mikro dan efeknya terhadap sifat mekanis paduan titanium Ti6Al6Mo as-cast dan melalui perlakuan panas homogenisasi untuk aplikasi sebagai material implan. Struktur mikro yang terbentuk dikarakterisasi dengan menggunakan mikroskop optik dan scanning electron machine (SEM) sedangkan komposisi paduan dievaluasi menggunakan energy-dispersive X-ray Spectrometry (EDX). Hasil pengamatan menunjukkan struktur β (bcc) dan α (hcp) yang memberikan peningkatan nilai kekerasan berkisar dari 54,3 sampai 61,6 HRc. Struktur mikro berupa acicular yang terbentuk pada suhu kamar menunjukkan pola Widmanstätten yang ditandai dengan munculnya struktur α yang berbentuk menyerupai garis dan bergerak dari batas butir. Fase β yang muncul memberikan peluang pada paduan ini untuk diberikan perlakuan panas lanjutan untuk mengatur kekerasannya.

Kata kunci: Ti6Al6Mo, as-cast, titanium alloy, material implan

ABSTRACT

Ti6Al6Mo alloy as-cast remelting process results using vacuum arc furnace has been observed in this study. Some testing was conducted to determine the formation of microstructure and its effect on the mechanical properties of titanium alloys Ti6Al6Mo as-cast and heat treatment homogenization through to the application as implant material. Microstructure formed characterized using optical microscopy and scanning electron machine (SEM), while the alloy composition was evaluated using energy-dispersive X-ray spectrometry (EDX). The results showed the structure of β (bcc) and α (hcp) that provide increased hardness value ranged from 54.3 to 61.6 HRc. In the form of acicular microstructure formed at room temperature patterns show Widmanstätten marked by the emergence of α structure shaped like a line and move from the grain boundary. β phase which appeared provide opportunities for these alloys to be given further heat treatment to adjust the hardness.

Keywords: Ti6Al6Mo, as-cast, titanium alloy, the implant material

PENDAHULUAN

Titanium bersifat *allotropy*, yaitu memiliki dua struktur kristal yang berbeda pada temperatur yang berbeda. Pada temperatur ruang, titanium murni memiliki struktur kristal *hexagonal closed packed (HCP)*. Struktur ini disebut fasa alpha, dan stabil sampai temperatur 1620 °F (882 °C) sebelum struktur kristalnya berubah. Pada temperatur yang lebih tinggi, struktur kristal berubah menjadi *body centered cubic (BCC)*. Struktur ini disebut fasa beta. Temperatur transisi dari alpha menjadi beta disebut beta transus. Fasa alpha beta dari 1620 °F sampai titik leleh (3130 °F).

Kandungan 6% Al (aluminium) dimanfaatkan sebagai unsur penguat karena membentuk presipitasi fasa intermetalik TiAl₃[1]. Unsur Aluminium juga berfungsi sebagai penstabil fasa α (alpha) yaitu unsur yang dapat menaikkan temperatur beta transus dengan menstabilkan fasa alpha .

Sedangkan unsur Mo (molibdenum) sebagai penstabil fasa β (betha), yaitu unsur yang dapat menurunkan temperatur beta transus dengan menstabilkan betha. Paduan Ti6Al6Mo merupakan paduan Ti $\alpha\beta$ yang memiliki kekuatan dan ketahanan korosi lebih tinggi dibandingkan paduan Ti α . Adanya fasa betha

dengan struktur kristal kubik memudahkan dalam pembentukan melalui pengerjaan panas.

Titanium atau titanium murni dan paduannya telah menjadi biomaterial yang menarik karena mempunyai ketahanan korosi, biokompatibilitas, kekuatan spesifik, dan modulus young yang lebih rendah dibandingkan dengan logam biomaterial lain seperti baja tahan karat dan Co-Cr paduan [2].

Alur proses pembuatan suatu paduan akan menentukan struktur mikro dan tekstur kristalogafi tertentu, termasuk paduan titanium. Titanium memiliki struktur atom *hexagonal closed packed* (hcp) pada suhu ruang, sehingga cenderung untuk membentuk tekstur kristalogafi yang kuat. Struktur ini akan berpengaruh pada sifat mekanis produk yang dihasilkan[3]. Sehingga merupakan hal yang penting untuk mengetahui struktur mikro dan efek yang muncul dari alur proses pembuatan suatu material paduan, dalam hal ini proses *remelting*. Tidak seluruh paduan titanium mampu untuk mengalami proses perlakuan panas, hanya yang memiliki fase $\alpha+\beta$ dan β [4]. Kandungan unsur lain yang berfungsi sebagai α -*stabilizer* dan β -*stabilizer* sangat berperan pada sifat mekanis yang dihasilkan.

Tujuan dan sasaran dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pembentukan struktur mikro dan pengaruhnya terhadap sifat mekanis paduan titanium Ti6Al6Mo *as-cast*.

METODE

Langkah pertama dari penelitian ini adalah pengaturan komposisi paduan (*material balance*) dari bahan penyusun yang terdiri dari tiga *raw material*, yaitu : titanium murni, alumunium murni, dan molibdenum murni. Komposisi berat paduan sebagaimana pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi paduan titanium.

| Unsur | Massa (%) | Massa (gr) |
|------------|-----------|------------|
| Titanium | 88 | 17,6 |
| Alumunium | 6 | 1,2 |
| Molibdenum | 6 | 1,2 |
| Total | 100 | 20 |

Setelah ditimbang sesuai dengan komposisinya, maka langkah selanjutnya adalah pembuatan *ingot* paduan Ti6Al6Mo dengan

menggunakan tungku busur listrik vakum (*vacuum arc furnace*) yang terdapat di laboratorium Pusat Penelitian Metalurgi dan Material - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Tangerang Selatan.

Target massa *ingot* yang dihasilkan sesuai dengan material balance tabel 1 yaitu 20 gram. Spesimen *ingot* yang dibuat dengan komposisi 6% berat Al dan 6% berat Mo dan sisanya 88% titanium sebanyak 3 buah spesimen *ingot* paduan.



Gambar. 1. Raw Material ingot paduan titanium Ti, Al dan Mo

Spesimen *ingot* paduan hasil remelting menggunakan *arc vacuum furnace* sebagaimana pada Gambar 2. Dibawah ini



Gambar. 2. Spesimen ingot hasil remelting

Pemotongan spesimen *ingot* untuk membuat spesimen dilakukan menggunakan *cutting machine*. Sampel dibagi untuk pengamatan metalografi dan pengujian kekerasan serta untuk perlakuan panas selanjutnya. Setelah dilakukan pemotongan, kemudian dilakukan preparasi untuk metalografi yaitu melalui pengampelasan dan pemolesan sampai dihasilkan permukaan yang sangat halus.

Setelah dicapai permukaan yang mengkilap tanpa *scratch*, maka proses selanjutnya adalah pengetsaan (*etching*) dengan menggunakan larutan $\text{HF} : \text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O} = 10 : 5 : 85$. Proses *etching* dilakukan sekitar 2-4 detik kemudian dicuci dengan menggunakan air yang mengalir. Setelah selesai proses *etching* dan sampel dikeringkan langkah selanjutnya adalah pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik.

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode *Rockwell Hardness*. *Indentor* yang digunakan berupa *diamond* 120° dengan beban sebesar 150 kgf. Diambil 3 titik secara acak untuk masing-masing spesimen.

Pengamatan SEM (*scanning electron microscope*) dilakukan untuk mengamati struktur mikro dengan perbesaran yang lebih tinggi. Pengambilan gambar difokuskan pada daerah sekitar batas butir. Selain dilakukan pengujian untuk mengetahui komposisi secara semi kualitatif menggunakan EDX (*energy-dispersive X-ray Spectrometry*). Pengamatan persebaran unsur pada sampel paduan dilakukan di beberapa titik / area.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur mikro yang terbentuk berbentuk adalah *plate-like acicular*. Paduan titanium ini tergolong paduan dengan fase $\alpha+\beta$ karena menggunakan paduan unsur Aluminium (Al) yang merupakan α -stabilizer dan Molybdenum (Mo) yang merupakan β -stabilizer. *Alpha-phase* (α) berwarna lebih terang sedangkan *beta-phase* (β) berwarna lebih gelap. Bagian berwarna putih yang berbentuk seperti “jarum” merupakan fase *alpha* yang terbentuk dari fase *beta* yang berubah menjadi *alpha*. Struktur ini juga memiliki kemiripan dengan struktur mikro Ti-6Al-4V yang didinginkan di udara pada Gambar 3.

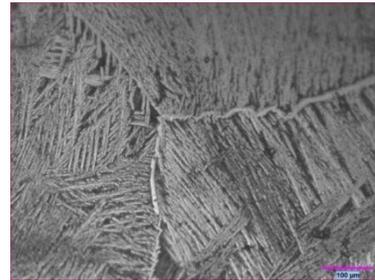


Gambar 3. Struktur mikro dengan phase Acicular $\alpha+\beta$, prior *beta* grain boundaries. Etchant: 10 HF, 5 HNO₃, 85 H₂O. 250X [5].

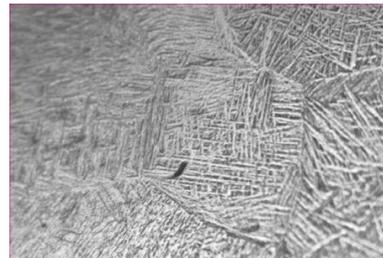
Hasil pengamatan struktur mikro pada 3 spesimen Ti-6Al-6Mo dapat dilihat pada Gambar 4. dengan perbesaran 200X menunjukkan struktur mikro *plate-like acicular*

α . Fase α terbentuk dari fase β yang merubah fase menjadi α ketika paduan melewati garis transformasi akan tetapi masih terdapat fase β yang bertahan. Nampak struktur mikro mikro tersebut terdapat tekstur yang lebih menggumpal (*blocky*) [3].

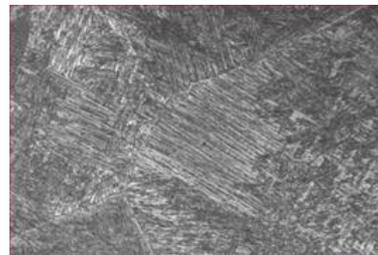
Bagian yang berwarna lebih terang merupakan fase α dan yang lebih gelap merupakan fase β . Tampak pula bahwa pola butir yang terbentuk relatif tegak lurus dan bergerak menjauh dari batas butir. Karena hal ini terjadi hampir disepanjang batas butir maka gerak pembekuan fase α di suatu titik bertemu dengan fase α di titik yang berlainan, pola ini disebut dengan *Widmanstätten* [5].



(a)



(b)

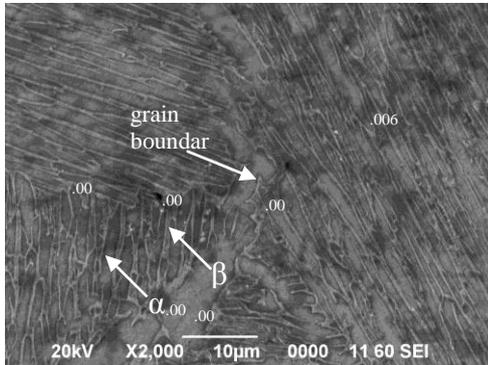


(c)

Gambar 4. Struktur mikro Ti-6Al-6Mo *as-cast*, perbesaran 200 X.

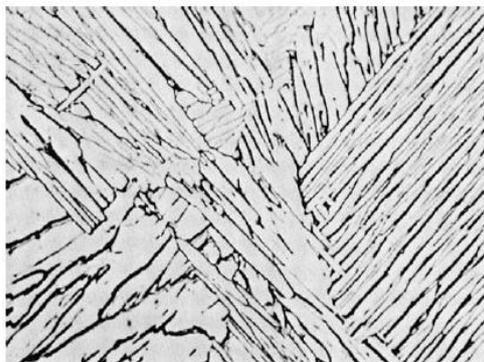
Gambar 5 merupakan hasil pencitraan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan perbesaran 2000 kali,

pengamatan difokuskan pada daerah batas butir karena memberikan gambaran umum tentang kondisi struktur mikro paduan. Tampak jelas bahwa struktur mikro Ti6Al6Mo berbentuk *plate-like acicular* dan memiliki orientasi yang berbeda - beda. Perbedaan orientasi ditandai dengan adanya batas butir.



Gambar 5. Hasil pengamatan menggunakan SEM.

Sebagai perbandingan ditunjukkan pada Gambar 6 yang menunjukkan struktur mikro paduan titanium Ti-6Al-4V dengan fasa α - β yang mengalami pendinginan secara lambat dari suhu di atas β -*transus*. Jika dilihat tampak sama dengan struktur mikro Ti-6Al-6Mo yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 6. struktur mikro paduan titanium Ti-6Al-4V [5].

Hasil pengujian komposisi *ingot* Ti-6Al-6Mo *as-cast* menggunakan SEM/EDX secara semikualitatif sebagaimana pada pada Tabel 2. Pengujian dilakukan pada 6 titik/spot atau lokasi yang dievaluasi. Hasil menunjukkan setiap titik pengamatan kandungan titanium sebagai unsur utama memiliki jumlah yang

paling besar. Jumlah titanium yang besar ini berpengaruh pada nilai kekerasan. Unsur aluminium sebagai unsur penstabil fasa α (α stabilizer) berkisar antara 3,31 – 4,65%.

Komposisi unsur molibdenum yang merupakan penstabil fasa betha (β stabilizer) berkisar 1,28 – 6,63%. Spot dengan kandungan molibdenum terendah berada pada titik 001 dan tertinggi pada titik 002 yang merupakan fase beta titanium. Tidak meratanya persebaran paduan dikarenakan perbedaan titik lebur yang menyebabkan terjadinya fenomena segregasi [6].

Tabel 2. Komposisi *ingot* Ti-6Al-6Mo *as-cast* hasil *remelting*

| Titik | Unsur | Massa (%) |
|-------|-------|-----------|
| 001 | Al | 3,99 |
| | Ti | 90,45 |
| | Mo | 1,28 |
| 002 | Al | 4,30 |
| | Ti | 89,07 |
| | Mo | 6,63 |
| 003 | Al | 3,95 |
| | Ti | 80,85 |
| | Mo | 6,35 |
| 004 | Al | 3,31 |
| | Ti | 87,62 |
| | Mo | 3,41 |
| 005 | Al | 4,65 |
| | Ti | 91,51 |
| | Mo | 3,84 |
| 006 | Al | 4,20 |
| | Ti | 84,32 |
| | Mo | 4,28 |

Pengujian kekerasan dilakukan sebanyak masing – masing 3 jejak untuk setiap spesimen. Hasil pengujian sebagaimana pada Tabel 3. Hasil pengujian menunjukkan nilai kekerasan spesimen A yang paling tinggi sedangkan B yang terendah. Jika dilihat per spesimen maka nilai HRC setiap titik tidak jauh berbeda, namun jika dibandingkan antara spesimen A, B, dan C maka terlihat adanya perbedaan kekerasan yang cukup jauh. Hal ini mengindikasikan bahwa *homogenitas* paduan setiap *ingot* tidaklah sama antara satu dengan lainnya. Nilai kekerasan yang tinggi juga kemungkinan disebabkan oleh terbentuknya presipitat [7], akan tetapi tidak setinggi nilai kekerasan dalam penelitian sebelumnya dimana nilai kekerasan yang tinggi ini disebabkan karena pembentukan fasa intermetalik $TiAl_3$ yang keras dan getas di dalam matrik \square logam Ti [8].

Tabel 3. Nilai kekerasan paduan Ti6Al6Mo

| Spesimen | No. | Nilai kekerasan Rockwell |
|-----------|-----|--------------------------|
| A | 1. | 61,6 |
| | 2. | 61,6 |
| | 3. | 60,5 |
| B | 4. | 54,3 |
| | 5. | 56,5 |
| | 6. | 54,8 |
| C | 7. | 56,3 |
| | 8. | 57,9 |
| | 9. | 57,9 |
| Rata-rata | | 57,93 |

SIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pengujian dan pembahasan menunjukkan bahwa paduan Ti-6Al-6Mo *as-cast* memiliki struktur mikro *acicular* dengan formasi kristal membentuk *Winsmandtatten*. Keberadaan unsur alumunium dan molybdenum memberikan perpaduan fasa pada struktur mikro paduan titanium yaitu fasa $Ti\alpha\beta$ (*alpha + beta*). Pembentukan fasa terlihat dari struktur mikro, unsur alumunium (*alpha-stabilizer*) berada pada bagian dengan warna yang lebih terang sedangkan molybdenum (*beta-stabilizer*) berada pada bagian dengan warna yang lebih gelap. Hasil kekerasan Rockwell memberikan nilai antara 54,8 – 61,6 sehingga Ti-6Al-Mo *as-cast* ini perlu diberikan perlakuan panas lanjutan untuk menghomogenkan struktur mikro dan nilai kekerasannya.

Daftar Pustaka

- Hasimoto, Keizo, et.al, (1994) “ Alloy Design of gamma Titanium Alumunide Intermetallic Compounds”, Nippon Steel Technical Report no.62.
- Mitsuno Nomini, “Resent Metallic Material for Biomedic Application”, Metallurgical and Material Transaction A. Vol. 33A, March 2002
- Obasi, G.C. et al., 2012. The influence of rolling temperature on texture evolution and variant selection during $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$ phase transformation in Ti-6Al-4V. *Acta Materialia*, 60(17), pp.6013–6024.
- Semiatin SL, Seetharman V, Weiss I. In: Weiss I, Srinivasan R, Bania P, Eylon D, Semiatin SL, editors. *Advanced in science*

and technology of titanium alloys. Warrandable (PA): TMS; 1997. p. 3-73.

- Donachie, M.J., 2000. *Titanium, A Technical Guide* 2nd ed., America: ASM International.
- Callister, W.D. & Wiley, J., *Materials Science*.
- Yuswono Marsumi, Andika Widya Pramono, “*Influence of Niobium or Molybdenum in Titanium Alloy for Permanent Implant Application*”, *Advanced Materials Research* Vol. 900 (2014) pp 53-63, Trans Tech Publications, Switzerland, 2014
- Cahya Sutowo, Galih Senopati, Edy PU, I Nyoman GPA, “*Struktur Mikro dan Sifat Mekanik As-Cast Ti-6Al-xMo, Prosiding Seminar Material Metalurgi 2016*.”