



SINTESIS PADUAN TITANIUM BERBASIS Ti-Mo-Nb UNTUK APLIKASI BIOMATERIAL

Cahaya Sutowo^{1,2}, Fendy Rokhmanto^{1,2}, Abdullah Aminudin¹, Galih Senopati²

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia

²Pusat Riset Metalurgi, Badan Riset & Inovasi Nasional, Kawasan Puspiptek Serpong Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail : dosen01593@unpam.ac.id & dosen02043@unpam.ac.id

Masuk : 27 Februari 2023

Direvisi : 15 Maret 2023

Disetujui : 24 Maret 2023

Abstrak: Meningkatnya usia harapan hidup penduduk akan berdampak pada peningkatan jumlah penduduk usia lanjut dan dengan meningkatnya penduduk usia lanjut maka potensi terjadinya penyakit tulang degeneratif yang dideritapun semakin meningkat. Namun tingginya kebutuhan material sebagai implan pengganti tulang masih diimpor sehingga diperlukan penguasaan teknologi untuk mengurangi ketergantungan terhadap material implan impor tersebut. Tujuan penelitian ini adalah penguasaan teknologi pembuatan ingot paduan titanium (Ti-5%Mo-9%Nb) melalui proses peleburan (remelting dan alloying) dan untuk mengetahui dan menganalisa pengaruh penambahan unsur Mo dan Nb terhadap struktur mikro dan sifat mekanis paduan titanium yang dihasilkan. Paduan titanium dengan penambahan unsur molybdenum dan niobium disintesis melalui proses peleburan dengan beberapa kali proses menggunakan tungku vakum busur listrik. Material paduan atau ingot yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi untuk memastikan bahwa hasil sintesis melalui proses peleburan sesuai dengan karakteristik paduan titanium berbasis Ti-Mo-Nb dengan melakukan uji Spektroskopi Emisi Optik, pengamatan struktur mikro, uji keras mikro Vickers dan uji sound elastisitas. Paduan Ti-5Mo-9Nb yang dihasilkan memiliki nilai kekerasan dan modulus elastisitas sebesar 335 HV dan 99 GPa, nilai ini lebih rendah dibandingkan dengan nilai kekerasan dan modulus elastisitas dari Ti6Al4V, hal ini menunjukkan bahwa sintesis paduan berbasis Ti-Mo-Nb melalui proses peleburan berulang untuk mendapatkan sistem paduan Ti-5Mo-9Nb ini berpotensi untuk diaplikasikan sebagai biomaterial atau material implant yang lebih baik.

Kata kunci: Paduan titanium, molibdenum, niobium, Ti-Mo-Nb, biomaterial

Abstract: Increasing the life expectancy of the population will have an impact on increasing the number of elderly people and with an increasing elderly population, the potential for degenerative bone disease will also increase. However, the high demand for bone replacement implant materials is still imported, so it is necessary to master technology to reduce dependence on imported implant materials. The purpose of this study was to master the technology of making titanium alloy ingots (Ti-5%Mo-9%Nb) through remelting and alloying processes and to determine and analyze the effect of the addition of Mo and Nb elements on the microstructure and mechanical properties of the resulting titanium alloy. Titanium alloy with the addition of molybdenum and niobium elements was synthesized through a smelting process with several processes using an electric arc vacuum furnace. The resulting alloy or ingot material is then characterized to ensure that the results of the synthesis through the smelting process match the characteristics of Ti-Mo-Nb based titanium alloys by carrying out Optical Emission Spectroscopy tests, microstructure observations, micro hardness and sound elasticity tests. The resulting Ti-5Mo-9Nb alloy has a hardness value and elastic modulus of 335 HV and 102,5 GPa, this value is lower than the hardness and elastic modulus value of Ti-6Al-4V. This indicates that the synthesis of Ti-Mo-Nb based alloys through

repeated melting processes to obtain Ti-5Mo-9Nb alloy systems has the potential to be applied as a better biomaterial or implant material.

Keywords: *Titanium alloy, molybdenum, niobium, Ti-Mo-Nb, biomaterial.*

PENDAHULUAN

Kebutuhan biomaterial di Indonesia sangat besar jika dilihat dari populasi penduduk Indonesia saat ini yang mencapai 250 juta penduduk. Berdasarkan data proyeksi penduduk, pada tahun 2020 terdapat 27,08 juta jiwa penduduk lanjut usia di Indonesia atau sekitar 8,49 % dan diprediksi jumlah penduduk lanjut usia pada tahun 2025 sekitar 33,69 juta [1]. Dengan semakin meningkatnya angka harapan hidup telah menambah jumlah penduduk lanjut usia dan akan meningkatkan jumlah penduduk beresiko terserang osteoporosis. Penyakit tulang dan kecelakan merupakan penyebab utama tingginya angka patah tulang di Indonesia. Penggantian tulang umumnya menggunakan biomaterial yaitu material sintetik yang digunakan untuk menggantikan atau memperbaiki fungsi jaringan tubuh [2].

Pemilihan material logam atau paduannya sebagai biomaterial untuk aplikasi material implan di dalam tubuh manusia karena sifat mekanik yang dimiliki, antara lain kekerasan, ketangguhan dan kekuatan yang tinggi. Logam yang digunakan sebagai implan tidak semuanya dapat dimanfaatkan secara permanen, hal ini disebabkan karena lingkungan plasma darah merupakan lingkungan korosif terhadap logam karena di dalam plasma darah mengandung ion klorida. Pada logam baja seperti halnya stainless steel 316L, walaupun logam ini dikenal ketahanannya terhadap korosi akan tetapi tidak menjamin bahwa logam ini mempunyai ketahanan terhadap korosi di lingkungan plasma darah. Oleh karena itu jenis logam stainless steel tidak memungkinkan untuk digunakan sebagai implan permanen.

Ada dua jenis logam paduan yang dapat diimplankan secara permanen ke dalam tubuh, yaitu titanium dan kobalt. Kedua logam tersebut juga mempunyai sifat biokompatibel, yaitu material logam yang dapat diterima oleh tubuh, bahkan jaringan keras (tulang) atau jaringan lunak (otot) bisa tumbuh pada permukaan logam tersebut [3]. Pemilihan paduan titanium dengan penambahan unsur molybdenum dan niobium untuk aplikasi biomaterial karena mempunyai densitas rendah sehingga memiliki "strength specific" yang tinggi, ketahanan korosinya baik, non magnetis dan mempunyai sifat mekanis yang baik. Didalam aplikasinya, pemilihan logam implan ini tergantung pada jenis komponen sesuai dengan fungsinya dimana umumnya berfungsi sebagai penyangga pengganti tulang sehingga sangat cocok digunakan logam berbasis titanium [4].

Penggunaan paduan titanium Ti-6Al-4V yang merupakan paduan titanium tipe α - β yang sudah beredar di pasaran. Akan tetapi, keberadaan aluminium di sisi lain dapat meningkatkan potensi perkembangan penyakit alzheimer terutama selama implantasi jangka panjang serta kandungan senyawa sitotoksik pada unsur vanadium menyebabkan masalah kesehatan yang serius jika masuk ke dalam tubuh manusia. Vanadium sebelumnya dimanfaatkan sebagai pembentuk fasa β , akan tetapi kurang bagus bila digunakan sebagai paduan material implan, karena kandungan unsur bermasalah terhadap alergi [3].

Pengembangan paduan titanium baru dilakukan antara lain untuk menghilangkan unsur toksik tersebut dan untuk memperbaiki sifat mekanisnya. Sebagai pengembangan untuk mempernaharui dan memperbaiki kelemahan yang dimiliki material implan berbasis titanium yang ada saat ini maka pada penelitian yang diajukan pada pengembangan paduan titanium melalui modifikasi penambahan unsur molibdenum dan niobium sebagai penstabil fasa beta (β -phase) [5].

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas maka penelitian ini dilakukan bertujuan untuk membuat ingot paduan titanium dengan penambahan unsur molybdenum 5% dan niobium 9%. Sintesis dilakukan melalui proses peleburan menggunakan tungku busur listrik vakum dengan menggunakan elektroda tidak terumpan tungsten dalam kondisi inert. Dengan dikuasainya teknologi pembuatan material untuk komponen implan secara mandiri melalui penelitian ini diharapkan bisa direncanakan dilakukannya pembuatan komponen implan ke arah produksi dengan nilai keekonomian yang lebih baik.

METODE

Tahapan awal penelitian meliputi pengumpulan data awal berupa ketersediaan bahan baku penelitian dengan spesifikasi teknis yang diperlukan. Keberadaan peralatan proses penelitian dan peralatan pengujian yang akan digunakan serta bahan atau peralatan pendukung lainnya sudah harus diketahui sebelum melaksanakan penelitian sehingga akan memudahkan dalam pelaksanaan penelitian. Desain komposisi dan variabel proses meliputi penentuan desain paduan Ti-5Mo-9Nb.

Selanjutnya dilakukan pemotongan dan penimbangan bahan baku sesuai kapasitas dan material balance. Proses sintesis melalui peleburan menggunakan tungku busur listrik vakum dengan lingkungan inert gas argon dengan kapasitas ingot 20-30 gram. Remelting dilakukan sebanyak 5 kali peleburan pada setiap sampelnya untuk menghasilkan paduan yang homogen. Ingot paduan yang dihasilkan di preparasi sesuai dengan pengujian yang akan dilakukan.

Kemudian dilakukan karakterisasi dengan melakukan uji Spektroskopi Emisi Optik, atau analisis OES untuk mengetahui komposisi paduan dan dilakukan pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik untuk menunjukkan pemetaan struktur yang dihasilkan. Sifat mekanik antara lain kekerasannya diuji dengan uji keras mikro Vickers dan uji sound elastisitas untuk mengetahui modulus elastisitasnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses peleburan material dilakukan setelah material titanium, molibdenum dan niobium dilakukan proses penimbangan terlebih dahulu sesuai perhitungan material balance. Sintesis dilakukan melalui proses peleburan menggunakan mesin *Electric Vacuum Arc Furnace* merk *Elatec Technology Corporation*. Desain material paduan berbasis Ti-Mo-Nb ini yaitu 88% titanium, 5% molibdenum dan 9% niobium dengan target material balance seberat 20gram sehingga berat titanium = 17,2 gram (86%), molibdenum = 1,0 gram (5%) dan niobium 1,8gram (9%). Pada Gambar 1. menunjukkan material sebelum dilakukan peleburan, saat sintesis melalui proses peleburan.



Gambar 1. Material dasar sebelum proses (a) dan saat proses peleburan

Ingot paduan Ti-5Mo-9Nb berbentuk seperti kubah berwarna perak dengan diameter kurang lebih sebesar 2 cm sebagaimana pada gambar 2. adalah ingot paduan yang dihasilkan melalui proses peleburan dengan 5 kali remelting.



Gambar 2. Sampel hasil proses peleburan dan skala ukuran ingot paduan

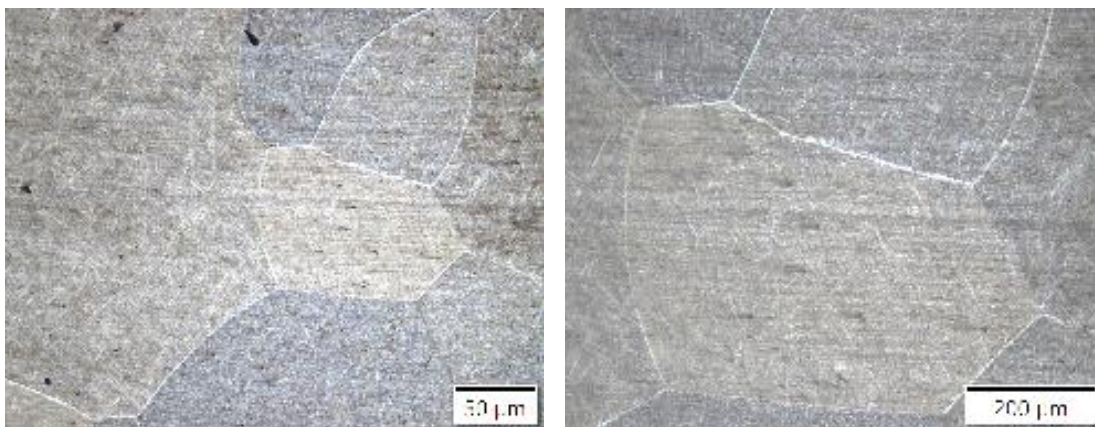
Ingot hasil peleburan yang siap untuk dikarakterisasi dengan *Spark OES* dengan hasil uji komposisi kimia sebagaimana Tabel 1. Hasil pengujian komposisi kimia paduan dengan kandungan Mo 4,469 % dan Nb 9,008 %.

Tabel 1. Komposisi kimia ingot paduan hasil pengecoran.

Sample	Ti (%)	Mo (%)	Nb (%)
Ti-5Mo-9Nb	Bal.	4,469	9,008

Proses pengamplasan dilakukan dari grit #80 - #2000 dengan mesin grinding amplas. Dilanjutkan proses pemolesan dengan kain poles dan alumina berukuran partikel 0,3 mikron menggunakan mesin poles dan kain bludru sampai dihasilkan permukaan sampel yang mengkilap. Kemudian dilakukan tahap etsa, untuk melihat batas butir dan mikrostruktur dengan lebih jelas. Etsa yang digunakan adalah etsa Kroll's dengan 5% HF, 10% HNO₃ ditambahkan pada aquades [6]. Proses etsa dilakukan kurang lebih selama 1 menit pada temperatur ruang, sampel yang sudah teretsa kemudian diamati struktur mikronya.

Struktur mikro pada Gambar 3. menunjukkan kombinasi fasa alfa dan fasa beta, dimana fasa alfa menunjukkan area dengan warna yang lebih gelap dibandingkan dengan fasa beta [7]. Pertumbuhan fasa beta terjadi disekitar batas butir yang terjadi pada saat proses pendinginan setelah melewati temperatur beta transus. Butiran membentuk struktur equiaxed yang relative seragam dengan ukuran butir sekitar 200-400 μm .



Gambar 3. Struktur Mikro ingot paduan Ti-5Mo-9Nb

Hasil uji kekerasan pada paduan ini yaitu sebesar 334,9 HV, nilai kekerasan ini merupakan nilai kekerasan rata-rata setelah dilakukan 9 kali pengujian. Kekerasan mikro paduan sampel paduan titanium yang dihasilkan ini sangat dipengaruhi oleh fasa yang terdapat pada material tersebut. Fasa beta yang merupakan fasa dengan kristal BCC memiliki bidang slip sistem berjumlah 12, sedangkan fasa alfa yang merupakan kristal HCP memiliki 3 sistem slip [8].

Sistem slip adalah tempat untuk terjadinya terdeformasi, oleh karena itu semakin banyak slip pada sistem semakin mudah terdeformasi sehingga dapat disimpulkan semakin sedikit bidang slip maka material tersebut akan memiliki kekerasannya lebih tinggi dibandingkan dengan material yang memiliki system slip lebih banyak. Urutan kekerasan mikro dari yang terkeras ke yang lebih lunak adalah fasa omega, fasa alfa primer, alfa sekunder dan fasa beta. Jika dituliskan dengan lambang maka sebagai berikut: $\omega > \alpha' > \alpha'' > \beta$. Semakin banyak fasa alfa yang terdapat pada mikrostruktur, maka kekerasannya semakin meningkat [9].

Keberadaan fasa alfa sebagai presipitat akan mempengaruhi nilai modulus elastisitas karena berperan sebagai penguat pada material, sehingga semakin banyak presipitat alfa maka nilai dari modulus elastisitas akan semakin besar. Hasil pengujian sound elastic menunjukkan modulus elastisitas paduan Ti-5Mo-9Nb ini sebesar 102,52 GPa. Nilai tersebut lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai modulus elastisitas dari Ti-6Al-4V yang memiliki nilai 115-120GPa [5].

KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Penambahan unsur molibdenum dan niobium merupakan penstabil fasa beta sehingga akan meningkatkan kandungan fasa beta yang terbentuk dan berdampak pada sifat mekanis.
- Struktur mikro dari Ti-5Mo-9Nb menunjukkan adanya kombinasi fasa alfa dan fasa beta dengan dominan fasa beta. Struktur mikro yang dihasilkan menunjukkan struktur *equiaxed* yang relatif seragam dengan ukuran butir 200-400 μm
- Nilai kekerasan dan modulus elastisitas dari paduan Ti-5Mo-9Nb yang dihasilkan memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 334,9 HV dan modulus elastisitas 102,52 GPa. Nilai ini lebih rendah dibandingkan dengan kekerasan dan modulus elastisitas dari Ti6Al4V hal ini dikarenakan pengaruh jumlah fasa beta yang terbentuk.
- Sintesis paduan berbasis Ti-Mo-Nb melalui proses peleburan berulang untuk mendapatkan sistem paduan Ti-5Mo-9Nb ini berpotensi untuk aplikasi biomaterial atau material implan yang lebih baik dibandingkan paduan Ti-6Al-4V.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPS. (2015). Statistik Penduduk Lanjut Usia 2015
- [2] Mohamed Abdel-Hady Gepreela and Mitsuo Niinomi. (2013). Biocompatibility of Ti-alloys for long-term implantation, *Journal of The Mechanical Behavior of Biomedical Material*, vol.20 pp.407-415.
- [3] Li, Yuhua; Yang, Chao; Zhao, Haidong; Qu, Shengguan; Li, Xiaoqiang; & Li, Yuanyuan. (2014). New developments of Ti-based alloys for biomedical applications. *Materials*, 7(3), 1709-1800.
- [4] R. M. Deshmukh and S. S. Kulkarni. (2015). A Review on Biomaterials in Orthopedic Bone Plate Application, *International Journal of Current Engineering and Technology*, Vol.5, No.4, pp.2587-2591.
- [5] P.F. Santosa, M. Niinomi, K. Cho, M. Nakai, H. Liu, N. Ohtsu, M. Hirano, M. Ikeda, and T. Narushima, *Acta Biomaterialia* **26**, 366 (2015).
- [6] C.Sutowo, G.Senopati, S.Supriadi, A.W.Pramono, B.Suharno. (2019). The Influence of Sn addition on the microstructure and mechanical properties of the new β -type Ti-Mo-Nb based alloys for implant material, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* **541**.
- [7] Matthew J. Donachie. (2000). *Titanium: A Technical Guide*, 2nd Edition, ASM International
- [8] Y. Li, C. Yang, H. Zhao, S. Qu, X. Li, and Y. Li, *Materials* **7(3)**, 1709 (2014).
- [9] I. Polmear, D. StJohn, J. F. Nie, M. Qian, *Titanium alloys*, in *Light Alloys*, 5th Edition (Elsevier, NJ, 2017), pp. 369-460.