

## PENGARUH VARIASI TEMPERATUR SOLUTION TREATMENT TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKUATAN PADUAN Ti-6Al-6Nb UNTUK APLIKASI BIOMEDIS

Cahaya Sutowo<sup>1</sup>, Fendy Rokmanto<sup>1</sup>, Merliana K Waluyo<sup>2</sup>, Alfirano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI, Kawasan Puspiptek Serpong Gd.470  
Setu Tangerang Selatan

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon Banten  
E-mail : csutowo@yahoo.com

### ABSTRAK

Titanium merupakan salah satu material untuk aplikasi biomedis karena memiliki kekuatan dan kekerasan yang baik dengan masa jenis yang lebih rendah dibandingkan kobalt dan stainless steel. Namun demikian sifat mekanik titanium murni dianggap tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan biomaterial menggantikan jaringan keras tubuh. Sehingga perlu dikembangkan paduan titanium dengan fasa  $\alpha$  dan  $\beta$  yaitu paduan Ti6Al6Nb. Supaya diperoleh sifat mekanis yang diharapkan maka setelah proses homogenisasi dan hot rolling kemudian dilakukan solution treatment pada 850 °C, 950 °C dan 1050 °C selama 1 jam dengan pendinginan udara. Secara keseluruhan struktur mikro yang terbentuk adalah  $\alpha$  primer equiaxial didalam matrik  $\beta$ . Semakin tinggi temperatur solution treatment semakin besar butiran yang terbentuk sedangkan intensitas fasa  $\alpha$  sebaliknya semakin sedikit dibandingkan fasa  $\beta$ . Kekerasan tertinggi pada temperatur solution treatment 850 °C yaitu 44,03 HRC, sedangkan pada 950 °C kekerasan 43,4 HRC dan pada 1050 °C kekerasannya 36,3 HRC.

**Kata kunci:** Ti6Al6Nb, homogenisasi, hot rolling, solution treatment

### ABSTRACT

*Titanium is one of the materials for biomedical applications because it has good strength and hardness with a lower specific gravity than cobalt and stainless steel. Nevertheless the mechanical properties of pure titanium are considered insufficient to meet the needs of biomaterials replacing the hard tissues of the body. So it is necessary to develop titanium alloy with  $\alpha$  and  $\beta$  phase that is Ti6Al6Nb alloy. In order to obtain the expected mechanical properties then after the process of homogenization and hot rolling and then done solution treatment at 850 oC, 950 oC and 1050 oC for 1 hour with air cooling. Overall the microstructure formed is the equiaxial prime  $\alpha$  in the  $\beta$  matrix. The higher the solution treatment temperature the greater the granules are formed whereas the intensity of the  $\alpha$  phase is fewer than the  $\beta$  phase. The highest hardness at the solution solution temperature of 850 oC is 44.03 HRC, whereas at 950 oC hardness 43.4 HRC and at 1050 oC hardness is 36.3 HRC.*

**Keywords :** Ti6Al6Nb, homogenizing, hot rolling, solution treatment

### PENDAHULUAN

Material biomedis logam memiliki sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan keramik ataupun polimer, seperti kekuatan, keuletan, *fracture toughness*, kekerasan, sifat mampu bentuk, ketahanan korosi, dan biokompatibilitas<sup>[2]</sup>. Material logam standar yang umum digunakan untuk aplikasi *orthopedic* adalah *stainless steel*, paduan Co-Cr-Ni, Ti murni (CP Ti), paduan Ti-6Al-4V dan Paduan Ti lainnya.

CP Ti (*Comercial Pure Titanium*) dan paduan Ti adalah material logam yang saat ini

paling menarik digunakan dalam aplikasi biomedis dibanding material lainnya. Selain karena sifat mekaniknya yang lebih unggul, alasan lainnya karena *stainless steel* dan paduan Co-Cr mengandung unsur yang berbahaya seperti Ni, Cr, Co. Namun demikian, sifat mekanik CP Ti dianggap tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan biomaterial yang membutuhkan kekuatan tinggi, contohnya untuk menggantikan jaringan keras (Y. Li dkk, 2014).

Untuk mengatasi masalah ini, CP Ti disubstitusi dengan paduan titanium  $\alpha+\beta$ .

Paduan  $\alpha+\beta$  yang umum digunakan adalah Ti-6Al-4V ELI (*Extra Low Interstitial*). Namun, belakangan diketahui bahwa Ti-6Al-4V mengandung unsur yang bersifat *toxic* seperti V yang dapat menimbulkan berbagai masalah ketika dipasang pada jaringan tubuh. Unsur V sebagai penstabil  $\beta$  kemudian disubstitusi oleh Nb dan Fe sehingga muncul dua jenis paduan  $\alpha+\beta$  baru yaitu, Ti-6Al-7Nb dan Ti-5Al-2,5Fe (N. Mitsuo, 1998)

Kekuatan pada paduan Ti untuk aplikasi biomedis dipengaruhi oleh jenis paduan dan struktur mikro yang dimilikinya (Y. Li dkk, 2016). Struktur mikro paduan Ti dapat divariasikan dan dikontrol atau dimanipulasi melalui proses mekanik diikuti dengan perlakuan panas atau lebih dikenal dengan proses termomekanikal seperti pengerolan, penempaan, ekstrusi, dan lain lain.

Berbagai macam tingkat kekuatan dapat diperoleh pada paduan  $\alpha+\beta$  melalui *solution treatment*. Dimana, untuk mendapatkan kekuatan yang tinggi dengan keuletan yang baik, perlu dilakukan *solution treatment* pada temperatur didaerah  $\alpha+\beta$ , normalnya 28-83°C dibawah temperatur beta transus ( $T_\beta$ ) (ASM Handbook, 1990).

Pada ASM Handbook vol. 2 dikatakan bahwa untuk paduan  $\alpha+\beta$  yang memiliki struktur *equiaxed* memiliki kekuatan yang lebih baik dibandingkan struktur *acicular*.

Ti-6Al-6Nb adalah jenis paduan titanium baru yang memiliki fasa  $\alpha+\beta$ , seperti paduan Ti-6Al-4V. Memiliki 6% berat aluminium, yang akan bertindak sebagai penstabil  $\alpha$ , dan memberikan efek *reinforcement* karena presipitasi fasa intermetalik  $Ti_3Al$ . Kandungan 6% niobium pada paduan ini memiliki fungsi untuk meningkatkan kekuatan dengan mempertahankan nilai modulus elastisitas tetap rendah.

Pada paduan Ti-6Al-6Nb belum diketahui nilai kekuatan yang dimilikinya, paduan ini akan memiliki bentuk butir dan jenis fasa yang berbeda tergantung dari proses termomekanikal yang dilakukan, nantinya hal ini akan berpengaruh terhadap kekuatan Ti-6Al-6Nb. Hal inilah yang mendasari perlunya dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh temperatur *solution treatment* terhadap struktur mikro dan kekuatan pada Ti-6Al-6Nb hasil pengerolan panas serta korelasi

antara struktur mikro hasil *solution treatment* dengan kekuatan pada paduan Ti-6Al-6Nb sehingga dapat diketahui temperatur *solution treatment* optimum untuk mendapatkan kekuatan yang paling baik pada Ti-6Al-6Nb.

## METODE

Paduan Ti-6Al-6Nb hasil proses *remelting* menggunakan tungku busur listrik vakum (*arc vacuum furnace*) pada kondisi inert menggunakan gas argon. Paduan titanium yang dihasilkan dilakukan uji komposisi kimia menggunakan mesin uji *Broker Q4 Mobile* standar IK-03/LU-DTTM.

Paduan hasil peleburan berupa button ingot dibentuk menjadi spesimen dengan ukuran 5x5x10 mm dan dilakukan proses perlakuan panas homogenisasi dalam keadaan *inert* menggunakan *vacuum tube furnace* pada temperatur 1050°C selama 15 jam pendinginan lambat di dalam tungku bertujuan untuk menyeragamkan mikro struktur dan meningkatkan *hot workability* paduan sebelum dilakukan *hot working*. Selanjutnya, dilakukan *hot rolling* dengan *pre-heat* 1000°C dan *holding* selama 30 menit dengan reduksi sampai 50%. Setelah itu dilakukan *solution treatment* dengan variasi temperatur dibawah  $T_\beta$  (850°C), mendekati  $T_\beta$  (950°C), dan diatas  $T_\beta$  (1050°C) dengan waktu tahan 1 jam pendinginan udara.

Preparasi sampel selanjutnya setelah dilakukan proses perlakuan panas mekanik adalah pemotongan kemudian sampel *dimounting* untuk mempermudah pemegangan saat proses *grind*, *polish* dan *etching*. Proses *polish* menggunakan *macropolish* alumina ukuran 5 $\mu$ , 1 $\mu$ , dan 0,3 $\mu$ , kemudian dilakukan *etching* menggunakan larutan *kroll's reagent* (12 mL  $HNO_3$ , 6 mL HF and 82 mL  $H_2O$ ).

Pengamatan mikro struktur dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik merk Meiji techno Japan dan SEM/EDS untuk mengetahui bentuk butiran dan fasa yang terbentuk selama proses dilakukan, serta pengaruhnya terhadap kekuatan paduan Ti-6Al-6Nb *as-cast*, hasil homogenisasi, *hot rolling*, dan *solution treatment*.

Dilanjutkan dengan pengujian kekerasan menggunakan alat uji rockwell, dengan indenter yang digunakan adalah *diamond* 120°, beban 150 kgf.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah *as-cast* paduan Ti-6Al-6Nb, dengan komposisi kimia *as-cast* seperti yang ditunjukkan Tabel 1.

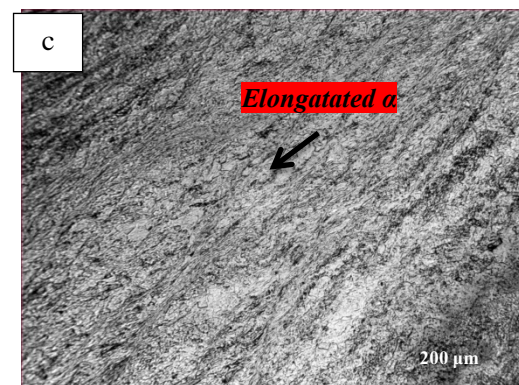
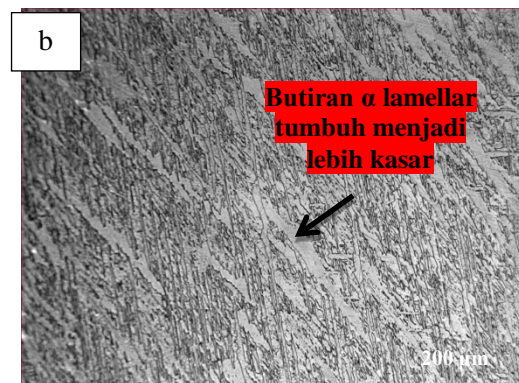
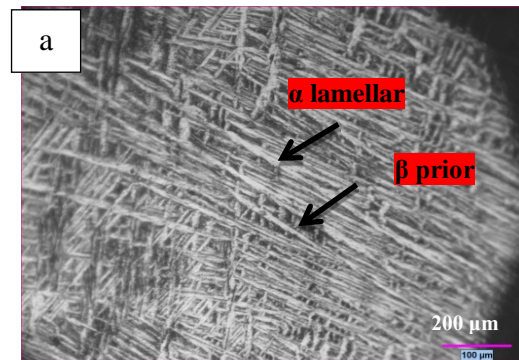
Tabel 1. Komposisi Kimia Paduan Ti-6Al-6Nb

Unsur	% (berat)
Al	6,16
Nb	6,18
Si	0,015
Mn	<0,01
Cr	0,024
Mo	0,049
Cu	<0,01
Fe	0,061
V	0,344
Zr	0,04
Sn	<0,05
Ti	87,1

Pengamatan struktur mikro paduan Ti-6Al-6Nb pada Gambar 1(a) menunjukkan struktur mikro *as-cast* paduan Ti-6Al-6Nb, terlihat memiliki dua fasa yang terdiri dari  $\alpha$  dan  $\beta$ . Fasa  $\alpha$  yang memiliki warna terang berbentuk *lamellar*, dan diantara struktur *lamellar* ini terdapat area tipis berwarna gelap yang merupakan fasa  $\beta$ . Dalam butir  $\beta$  prior terbentuk koloni  $\alpha$  dan  $\beta$ , mengandung  $\alpha$  *lamellar* dengan orientasi kristalografi yang sama. Secara keseluruhan bentuk struktur *as-cast* adalah *fully lamellar* yang terdiri dari batas butir  $\beta$  prior dan  $\alpha$  *lamellar*.

Setelah proses homogenisasi pada temperatur 1050°C selama 12 jam dengan pendinginan lambat dalam furnace yang bertujuan untuk menghilangkan segregasi, menyeragamkan mikro struktur dan meningkatkan hot workability paduan sebelum dilakukan hot working. Menurut Dr. Sami Abualnoun dkk. laju pendinginan setelah proses homogenisasi mempengaruhi lebar butir  $\alpha$  *lamellar* (S. A. Ajeel dkk, 2007).

Gambar 2(b) menunjukkan butir  $\alpha$  *lamellar* yang sebelumnya berukuran halus, setelah melalui proses homogenisasi tumbuh menjadi butir  $\alpha$  dengan ukuran yang lebih kasar.

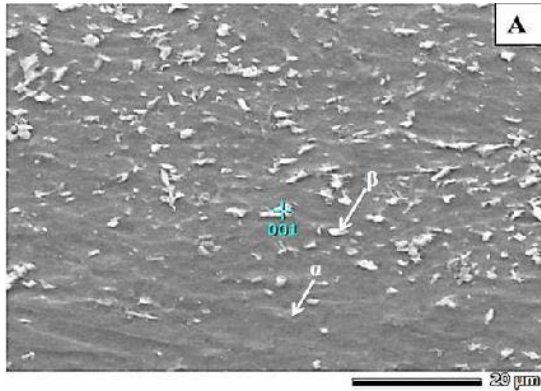


Gambar 1. Struktur Mikro Paduan Ti-6Al-6Nb, (a) *as-cast*, (b) Hasil Homogenisasi 1050°C, (c) Hasil *Hot Rolling* 1000°C.

Struktur mikro pada Gambar 1(c) dengan butir yang terbentuk menjadi lebih kecil, hal ini terjadi karena proses *hot rolling* dilakukan diatas temperatur rekristalisasi sehingga memungkinkan paduan mengalami nukleasi. Pada hasil hot rolling terlihat butir  $\alpha$  telah mengalami elongasi (berwarna terang) berada di dalam matriks  $\beta$ -transformed (bewarna gelap).

Pada hasil SEM-EDS Gambar 2 menunjukkan warna yang berbanding terbalik dengan hasil gambar mikroskop optik. Pada hasil SEM terlihat  $\beta$ -transformed berbentuk

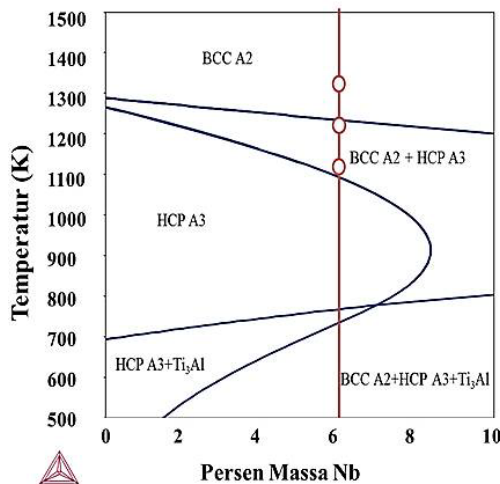
butiran equaxial berwarna putih, sedangkan butir  $\alpha$  yang terelongasi berwarna hitam. Hasil EDS terlihat komposisi kimia spot pada butiran berwarna terang, komposisi Nb lebih tinggi dibanding Al. Seperti yang diketahui bahwa Nb merupakan penstabil fasa  $\beta$  pada temperatur ruang.



Tembakan Titik	Unsur	%Massa	%Atom
1	Ti	84,64	86,80
	Al	3,93	7,16
	Nb	11,42	6,04

Gambar 2. Struktur Mikro Paduan Ti-6Al-6Nb Proses *Hot Rolling* 1000°C dan komposisi pada spot 001 menggunakan SEM-EDS Perbesaran 1000X

Temperatur *solution treatment* ditentukan berdasarkan Diagram Fasa Paduan Ti-6Al-XNb, pada komposisi Ti-6Al-6Nb diketahui temperatur  $\beta$  transus ( $T_\beta$ ) untuk paduan Ti-6Al-6Nb adalah 950°C (1231 K), sehingga pemanasan pada 850°C (1123 K) dan 950°C (1223 K) berada dibawah  $T_\beta$  yang artinya berada pada daerah  $\alpha+\beta$ , dan 1050°C (1323 K) berada pada daerah  $\beta$  (Lihat Gambar 3).



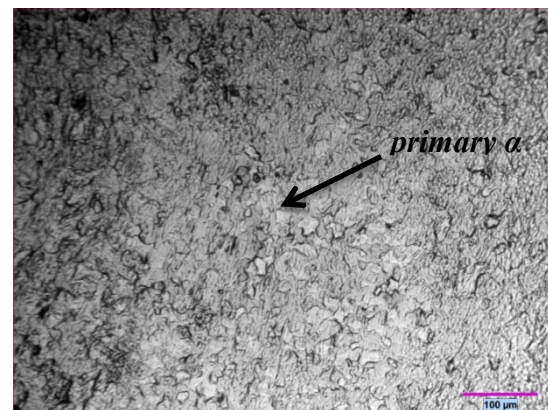
Gambar 3 Diagram Fasa

Paduan Ti-6Al-6Nb

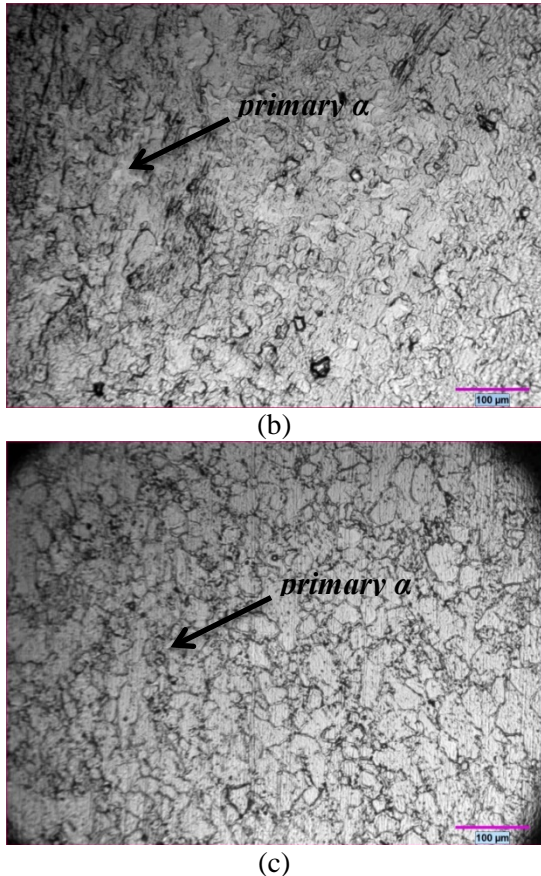
Gambar 4(a) menunjukkan struktur mikro hasil *solution treatment* pada temperatur 850°C, butiran  $\alpha$  primer ( $\phi$ ) yang sebelumnya mengalami elongasi tumbuh menjadi butir  $\alpha$  dalam bentuk lebih globular berukuran  $\pm 10,02\mu\text{m}$ , fasa  $\alpha$  yang terbentuk terdistribusi di dalam fasa  $\beta$  *retained*. Pada struktur mikro tidak ada indikasi terbentuknya martensit  $\alpha'$  atau  $\alpha''$ , hal ini dikarenakan pendinginan yang digunakan adalah pendinginan udara yang memiliki laju pendinginan mendekati *equilibrium cooling*, sehingga transformasi menjadi fasa martensit tidak terjadi pada pendinginan udara, selain itu, Pendinginan udara dapat menyebabkan presipitasi fasa  $\alpha$  dalam matriks  $\beta$  (J. N. *et al.*, 2016)

Pada Gambar 4(b) menunjukkan struktur mikro hasil pemanasan pada temperatur 950°C, memiliki komposisi yang sama dengan gambar a, hanya saja ukuran butir  $\alpha$  yang dihasilkan sedikit lebih besar,  $\pm 10,37\mu\text{m}$ .

Gambar 4(c) adalah struktur mikro yang dihasilkan saat dilakukan pemanasan pada 1050°C, memiliki bentuk butir  $\alpha$  yang equiaxial, ukurannya paling besar dibandingkan butir  $\alpha$  kedua proses sebelumnya, ukurannya  $\pm 12,01\mu\text{m}$ .



(a)

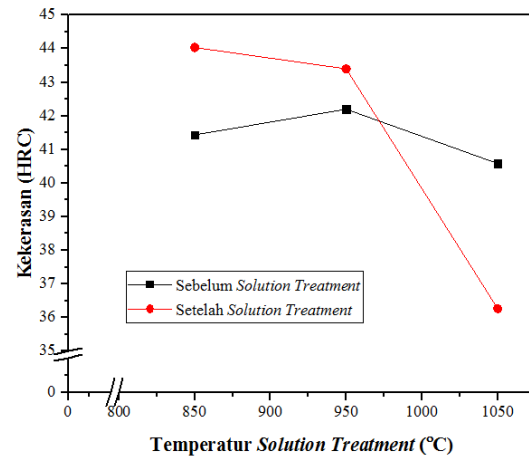


Gambar 4. Hasil Proses *Solution Treatment* paduan Ti-6Al-6Nb pada temperatur (a) 850°C (b) 950°C (c) 1050°C

Secara keseluruhan struktur mikro hasil proses *solution treatment* membuat butiran  $\alpha$  primer lebih globular dan lebih besar dibandingkan hasil *hot rolling*. Jika diamati lebih seksama, semakin tinggi temperatur *solution treatment* yang digunakan maka butiran  $\alpha$  primer yang terbentuk akan semakin besar, selain butir  $\alpha$  primer yang terbentuk, butir lainnya adalah  $\beta$ -transformed ( $\alpha'$ ). Menurut Abbasi, S, M, dan Momeni, A. Struktur mikro dan sifat mekanik paduan titanium tergantung dari proses *hot work* atau temperatur *heat treatment* yang dilakukan pada paduan tersebut (Y. Li. C dkk, 2014).

Nilai kekerasan rata – rata sebelum dilakukan *solution treatment* 41,40 HRC. Setelah *solution treatment* temperatur 850°C kekerasannya meningkat menjadi 44,03 HRC dan tertinggi dibandingkan temperatur 950°C dan 1050°C. Nilai kekerasan ini berkorelasi dengan ukuran butir yang dimiliki, sampel pada temperatur 850°C ini memiliki ukuran butir yang paling halus. Menurut Abbasi karena kekuatan fasa  $\alpha$  lebih tinggi

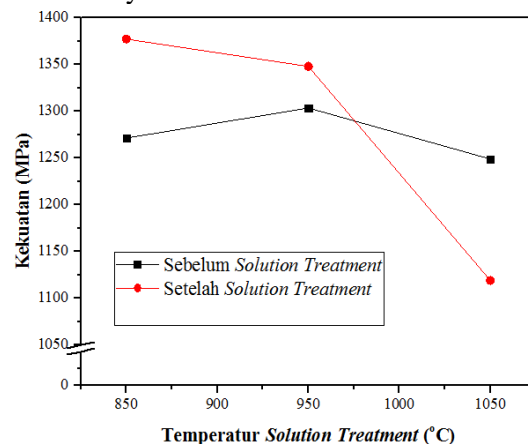
dibandingkan fasa  $\beta$  (Y. Li. C dkk, 2014), sehingga kekerasan paduan menjadi lebih tinggi saat dipanaskan pada 850°C.



Gambar 5. Grafik Hubungan Temperatur *Solution Treatment* terhadap Kekerasan

Kekerasan dan kekuatan berbanding lurus (R. K. Gupta dkk, 2016) artinya semakin tinggi kekerasan maka kekuatan paduan tersebut juga akan semakin tinggi, hal ini dibuktikan oleh kurva pada Gambar 5 memiliki trend yang sama seperti Gambar 6.

Nilai kekuatan pada grafik Gambar.6 merupakan hasil interpolasi dari nilai kekerasannya. Nilai kekerasan dan kekuatan paduan Ti-6Al-6Nb sebelum di *solution treatment* tidaklah seragam, hal ini diduga karena % reduksi *hot rolling* yang juga tidak seragam pada semua titik menyebabkan nilai kekuatannya berbeda-beda.



Gambar 6. Grafik Hubungan Temperatur *Solution Treatment* terhadap Kekuatan

## SIMPULAN

Hasil analisis pada material paduan titanium Ti6Al6Nb melalui perlakuan *solution*

1. Secara keseluruhan, struktur mikro hasil *solution treatment* adalah  $\alpha$  primer equiaxial didalam matriks  $\beta$ , yang membedakan adalah ukuran butir  $\alpha$  yang terbentuk. Semakin tinggi temperatur *solution treatment* maka semakin besar butiran yang terbentuk.
2. Pada temperatur *solution treatment* 850°C butir  $\alpha$  berukuran sebesar  $\pm 10,02 \mu\text{m}$ . Untuk temperatur *solution treatment* 950°C butir  $\alpha$  berukuran lebih besar, yaitu,  $\pm 10,37 \mu\text{m}$ . Ukuran butir terbesar dimiliki oleh sampel yang mengalami *solution treatment* pada temperatur 1050°C, yaitu sebesar  $\pm 2,01 \mu\text{m}$ .
3. Semakin tinggi temperatur *solution treatment* yang digunakan, kekuatan paduan Ti-6Al-6Nb mengalami penurunan, hal ini dikarenakan butiran  $\alpha$  yang dihasilkan semakin besar, dan intensitas fasa  $\alpha$  semakin sedikit. Selain itu, kekuatan yang tinggi pada pendinginan udara dihasilkan bukan karena terbentuknya martensit, namun karena fasa  $\beta$  memiliki cukup waktu untuk berubah menjadi fasa  $\alpha$ .

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada P2MM-LIPI atas pendanaan yang telah diberikan, serta untuk semua team yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

*treatment* dengan variasi temperatur yang berbeda dapat disimpulkan :

#### DAFTAR PUSTAKA

- Li, Yuhua et al, 2014 “New Developments of Ti-Based Alloys for Biomedical Applications,” pp. 1709–1800.
- N. Mitsuo, 1998 “Mechanical properties of biomedical titanium alloys,” vol. 243, pp. 231–236.
- Li, Yuhua et al, 2016 “Effect Of Solution Treatment On Microstructures And Properties Of Ti-2Al- 9,2Mo-2Fe Alloy,” pp. 475–477, 2016.
- A. International, “ASM Handbook Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials.”, 1990
- S. A. Ajeel, et al, 2007 “Influence of Heat Treatment Conditions on Microstructure of Ti- 6Al-7Nb Alloy As Used Surgical Implant Materials,” vol. 25, no. 3.
- J. Nieh, et al, 2016 “Effect Of Cooling Rate During Solution Heat Treatment On The Microstructure And Mechanical Properties Of SP-700 Titanium Alloys,” vol. 24, no. 2, pp. 99–106.
- Gupta, R. K et al 2016 “Study on Variants of Solution Treatment and Aging Cycle of Titanium Alloy Ti6Al4V,” *J.Mater.Eng. Perform.*