

PERILAKU KOROSI TITANIUM TIPE β JENIS BARU, Ti-12Cr DALAM LINGKUNGAN 3% NaCl

Nurbaiti, Gunawarman, Jon Affi

Jurusan Teknik Mesin Univ. Andalas

Kampus Unand Limau Manis Padang– 25163

Email: nurbaiti_3184@yahoo.com, gunawarman@ft.unand.ac.id

Abstract: Corrosion Behaviour of a New Titanium Type β (Ti-12Cr) in 3% NaCl Environment.

The research and development of titanium alloy especially titanium type β for biomedical application has pay attentions many researchers recently. This type of titanium has excellent biocompatibility and controllable mechanical properties. However, in general, as for β type titanium contains many alloying elements, leads to a high price. Therefore, β type with only one cheap alloying element such as Ti-12Cr is interesting to be developed for low cost implant material. Initially, Ti-12Cr is developed in particular for spinal fixation. Up to now, the research of Ti-12Cr emphasizes only on the mechanical properties. The corrosion behavior of this alloy has not been well understood yet. Therefore, corrosion characteristic of this alloy in any circumstances is necessary to be investigated. This paper reports the corrosion behaviour of Ti-12Cr in a salted environment using weight loss method. Ti-12Cr samples in the form of coin-like has been immersed in 3% NaCl solution for 2, 4, and 6 weeks. The weight of the samples before and after immersing process was then measured by a using digital balance. The change of microstructure and composition of the sample surfaces was examined by using SEM and EDX, respectively. The corrosion rate of the samples Ti-12Cr for 2, 4, and 6 weeks are 0,0267; 0,0283 and 0,03803 mmpy, respectively. The microstructure of the immersed samples shows black spots in the surfaces indicating that corrosion occurs on the sample. The corrosion on Ti-12Cr is suggested mainly due to destruction of chrom-oxide layer in some weak point as a result of chemical reaction between the metal (Cr) with Cl^- ions. Some oxides is then formed in the point of the surface to form titanium oxide, as indicates by the results of EDX where the oxygen content of the sample surface increases significantly.

Keywords: biomedical, titanium, Ti-12Cr, corrosion behavior, NaCl

Abstrak: Perilaku Korosi Titanium Tipe β Jenis Baru (Ti-12Cr) dalam Lingkungan 3% NaCl.

Penelitian terhadap material dari paduan Titanium yang dikembangkan untuk aplikasi biomedis sangat diminati, khususnya paduan Titanium tipe β , karena paduan ini mempunyai sifat biokompatibel dan sifat mekanik yang bisa dikontrol. Namun demikian harga Titanium tipe β masih dijual dengan harga yang relatif mahal, karena mengandung banyak unsur paduan. Oleh karena itu paduan Titanium tipe β yang mempunyai hanya 1 paduan seperti Ti-12Cr mulai dikembangkan untuk bahan implan. Paduan ini sebenarnya khusus dikembangkan untuk penyangga tulang punggung. Saat ini penelitian paduan Ti-12Cr baru sampai pada tahap pengujian sifat mekanik. Berapa lama paduan Ti-12Cr dapat bertahan dalam tubuh manusia hingga terkorosi belum diketahui secara pasti, sehingga kajian perilaku korosi dari paduan ini perlu diklarifikasi. Sebelum pengujian korosi, karakterisasi paduan Ti-12Cr telah dilakukan menggunakan SEM, EDX dan uji keras. Hasil ini kemudian dibandingkan dengan Ti-12Cr setelah direndam dalam larutan NaCl 3%. Variasi perendaman dilakukan adalah 2, 4 dan 6 minggu. Pengurangan berat selama perendaman dihitung dengan timbangan digital OHAUS Pioneer™ dengan membandingkan massa sebelum dan sesudah perendaman. Setelah perendaman struktur mikro Ti-12Cr menunjukkan adanya bintik-bintik hitam yang menunjukkan adanya korosi serta harga kekerasan mengalami peningkatan. Laju korosi dari Ti-12Cr hasil perendaman 2, 4 dan 6 minggu berturut-turut adalah 0,0267; 0,0283 dan 0,0380 mmpy. Korosi yang terjadi pada paduan Ti-12Cr disebabkan oleh adanya reaksi kimia antara paduan tersebut dengan larutan NaCl 3% (mengandung H_2O dan NaCl) berupa Oksida yang terbentuk dipermukaan paduan Ti-12Cr yaitu TiO_2 dan Cr_2O_3 , hal ini juga diperkuat dengan hasil EDX yang menunjukkan adanya kandungan Oksigen dipermukaan paduan Ti-12Cr yang terkorosi.

Key words: biomedis, Ti-12Cr, perilaku korosi, SEM, NaCl 3%.

PENDAHULUAN

Biomaterial yang banyak digunakan untuk aplikasi implan pada saat ini adalah paduan Titanium. Paduan Titanium merupakan material yang aman untuk tubuh, karena mempunyai biokompatibilitas yang paling baik diantara logam-logam Niinomi (2008). Jenis Titanium yang sering digunakan untuk implan adalah Titanium paduan dari tipe β , mulai dari 1 unsur pepadu sampai 2 atau lebih unsur pepadu Niinomi (2008).

Titanium tipe β mempunyai ketahanan korosi paling baik dan mempunyai modulus elastisitas yang lebih rendah bila dibandingkan dengan Titanium paduan tipe α ataupun ($\alpha+\beta$) Niinomi (2008) dan Mohammed (2014). Berbagai jenis Titanium tipe β sudah banyak dikembangkan untuk aplikasi biomedis ($\alpha+\beta$) Niinomi (2008), Mohammed, dkk (2014) dan Niinomi, dkk (2002). Paduan Titanium tipe β yang dikembangkan untuk biomedis adalah Ti-13Nb-13Zr dengan modulus elastisitas antara 44–88 GPa Niinomi (2008) dan Mohammed (2014). Saat ini telah tersedia pula Ti-12Mo-6Zr-2Fe, Ti-15Mo, Ti-16Nb-10Hf, Ti-15Mo-5Zr-3Al, Ti-15Mo-2,8Nb-0,2Si dan lain-lain Niinomi (2008) dan Moahammed dkk (2014). Ti-13Nb-13Zr, Ti-12Mo-6Zr-2Fe dan Ti-15Mo terdaftar di standar ASTM (American Society Testing and Materials) sedangkan Ti-15Mo-5Zr-3Al pada JIS (Japanese Industries Standard) T 7401-6 Niinomi (2008). Selanjutnya dikembangkan juga Ti-35Nb-7Zr-5Ta (TNZT) dan Ti-29Nb-13Ta-4,6Zr (TNTZ) Niinomi (2008) dan Moahammed dkk (2014). Paduan TNTZ ini mempunyai kekuatan tarik dan ketahanan leleh yang lebih baik bila dibandingkan dengan Ti-6Al-4V ELI yang sudah lebih dahulu digunakan untuk aplikasi biomedis Niinomi dkk (2002). Paduan TNTZ juga mempunyai kemampuan yang lebih baik untuk ditanamkan dalam tubuh manusia tanpa menimbulkan reaksi negatif bila dibandingkan Ti-6Al-4V ELI Niinomi dkk (2002). Paduan TNTZ mempunyai modulus

elastisitas di bawah 60 GPa Niinomi (2008) dan Niinomi dkk (2002). Pada saat ini paduan TNTZ dikembangkan untuk implan pada tulang kering Niinomi (2008).

Namun demikian, jenis Titanium tipe β yang telah dikembangkan seperti yang telah disebutkan di atas mempunyai harga yang relatif mahal disebabkan jumlah dan mahalanya elemen pepadu yang digunakan. Selain itu Titanium dengan banyak komposisi susah didaur ulang dan butuh waktu yang lama untuk menjadikannya unsur yang homogen. Oleh sebab itu dikembangkan paduan Titanium dengan elemen paduan yang sedikit dan berharga murah, seperti Fe dan Cr Gepreel, dkk (2013). Salah satu paduannya yaitu Ti-12Cr. Paduan tersebut khusus dikembangkan untuk penyangga tulang punggung yang memerlukan sifat kuat dan punya pemegasan yang tinggi Zhao, dkk (2012). Penelitian tentang paduan Ti-12Cr baru dilakukan pada tahap pengujian sifat mekanik yaitu uji bending untuk menentukan modulus elastisitas (Young's modulus) paduannya Zhao, dkk (2012). Nilai modulus elastisitas dan kekuatan paduan Ti-12Cr sesuai untuk aplikasi pada penyangga tulang punggung Zhao, dkk (2012). Kemudian penelitian lanjutan dari paduan Ti-12Cr adalah membandingkan sifat pemegasan dan kekuatan paduan tersebut dengan paduan TNTZ untuk aplikasi pada tulang punggung dari paduan TNTZ Liu, dkk (2014). Telah disimpulkan bahwa Ti-12Cr lebih direkomendasikan untuk aplikasi pada tulang punggung, Liu, dkk (2014). Walaupun sifat mekanik paduan Ti-12Cr sesuai untuk aplikasi pada tulang punggung, namun data tentang umur pakai paduan tersebut belum diketahui secara detail untuk dipasang dalam tubuh manusia. Umur pakai yang dimaksud adalah berapa lama paduan Ti-12Cr dapat bertahan dalam tubuh manusia sampai mengalami korosi. Seperti diketahui dalam tubuh manusia terdapat berbagai cairan yang dapat mempengaruhi paduan Ti-12Cr mengalami korosi seperti garam, darah dan

keringat. Penelitian untuk mengetahui sifat ketahanan korosi dari paduan ini dalam cairan yang terdapat dalam tubuh perlu dilakukan.

Berhubung belum diketahuinya secara detail ketahanan korosi paduan Ti-12Cr, maka diperlukan uji ketahanan korosi dari paduan ini dalam salah satu elemen cairan yang ada dalam tubuh manusia yang paling korosif yaitu larutan garam (NaCl). Konsentrasi larutan NaCl dalam tubuh adalah sebesar 0,9%, sedangkan pada penelitian ini digunakan larutan NaCl 3%. Larutan NaCl 3% yang digunakan pada penelitian ini digunakan untuk mengkondisikan pengaruh kadar garam tubuh dan zat-zat lainnya (seperti darah dan keringat) yang bisa menyebabkan terkorosinya paduan Ti-12Cr. Dengan kata lain, larutan NaCl 3% dapat merepresentasikan cairan yang ada dalam tubuh manusia. Disamping itu juga penggunaan larutan ini supaya proses korosi menjadi lebih cepat, dimana peningkatan konsentrasi persentase NaCl dalam suatu larutan akan meningkatkan laju korosi W Dimas, dkk (2015), Malau, dkk (2011) dan Hui-Xia (2012). Dengan mengetahui ketahanan korosi paduan Ti-12Cr, maka dapat diprediksi potensi paduan ini untuk aplikasi biomedis.

METODE PENELITIAN

Bahan penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah material paduan Titanium tipe β Ti-12Cr dalam bentuk pelat.

Pemeriksaan Struktur Mikro dan Uji Keras Sebelum Perendaman Pada spesimen uji:

Spesimen uji untuk pemeriksaan Struktur Mikro dibuat dengan dimensi 13 x 12 mm, kemudian dibingkai dengan resin untuk selanjutnya digerindakan di amplas menggunakan amplas #80-#2000. Setelah itu spesimen uji dipoles

menggunakan alumina, kemudian dietsa untuk mengkorosikan batas butir sehingga didapatkan struktur mikro Ti 12-Cr. Spesimen uji dilihat struktur mikronya menggunakan Mikroskop Optik dan Scanning Microscope Electron (SEM).

Pengukuran Kekerasan Ti-12Cr mengacu pada ASTM 384; *Standard Test Methods for Knoop and Vickers Hardness Materials* ASTM 384. Skema hasil indentornya dapat di lihat pada Gambar 1. Jenis indenter yang digunakan dalam pengujian ini berbentuk piramid segi empat dengan sudut 136° dan nilai pembebanan sebesar 9,8 N serta lama waktu indentansi 15 detik.

Perlakuan spesimen uji dalam lingkungan garam (NaCl 3%):

Spesimen uji diukur menggunakan jangka sorong, dimana hasilnya seperti terlihat pada Tabel 1, kemudian ditimbang berat awalnya. Setelah direndam dalam larutan NaCl 3% selama 2, 4 dan 6 minggu sampel ditimbang kembali untuk menentukan berat akhir. Laju korosi yang terjadi dihitung menggunakan persamaan 1 Munasir (2009):

$$CR = \frac{(W \times K)}{(D \times A \times T)} \dots \dots \dots (1)$$

dimana,
CR= laju korosi (mmpy atau milli-meter per year)

W = massa yang hilang (gram)

K = faktor konstanta laju korosi

$$= 8,76 \times 10^4$$

D = densitas spesimen (g/cm³)

A = luas permukaan spesimen uji (cm²)

T = lama waktu perendaman (jam)

Kemudian dilakukan pengamatan struktur mikro menggunakan Mikroskop Optik dan SEM+EDX serta uji keras pada sampel setelah perendaman.

Tabel 1. Dimensi spesimen uji yang akan direndam dalam larutan NaCl 3%.

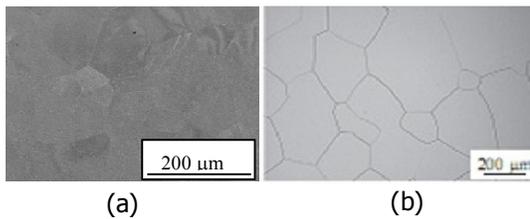
Rencana Waktu Perendaman	Dimensi (mm)			Luas permukaan (mm ²)
	Panjang	Lebar	Tinggi	
2 minggu	15,74	11,32	1,40	4,32
4 minggu	15,70	10,82	1,30	4,09
6 minggu	15,62	10,68	1,36	4,05

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Ti-12Cr Sebelum Perendaman

Hasil pemeriksaan struktur mikro paduan Ti-12Cr sebelum perendaman terlihat mirip dengan hasil struktur mikro paduan Ti-12Cr hasil penelitian terdahulu Liu, dkk (2014), seperti terlihat pada Gambar 2.



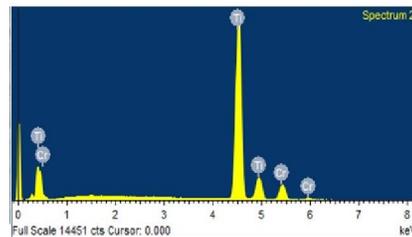
Gambar 2. (a). Hasil SEM paduan Ti-12Cr sebelum diteliti laju korosinya. (b). Hasil Mikroskop Optik paduan Ti-12Cr penelitian terdahulu Liu, dkk (2014).

Hasil pemeriksaan menggunakan EDX terlihat komposisi kimia dan spektrum struktur mikro dari paduan Ti-12Cr sebelum perendaman dalam larutan NaCl 3% seperti terlihat pada Gambar 3. Persentase komposisi kimia hasil pemeriksaan EDX tersebut dapat dilihat pada Tabel 2. Dari Tabel 2 dapat dilihat persentase berat massa dari Ti dan Cr berturut-turut sebesar 87,97 dan 12,03. Hal ini menunjukkan

material uji yang digunakan pada penelitian ini adalah benar Ti-12Cr. Karena dari hasil pemeriksaan komposisi kimianya menunjukkan adanya unsur Ti dan Cr yang memiliki persentase berat massa mendekati nilai Ti-12Cr.

Tabel 2. Komposisi kimia Ti-12Cr hasil pemeriksaan menggunakan SEM-EDX.

Elemen	Berat Massa (%)
Ti	87,97
Cr	12,03
Total	100,00



Gambar 3. Spektrum Komposisi kimia Ti-12Cr hasil pemeriksaan SEM-EDX.

Perilaku Korosi

A. Pengurangan massa

Hasil pengurangan massa selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3. Dari Tabel tersebut ditunjukkan bahwa pengurangan massa dari Ti-12Cr memiliki kecenderungan untuk meningkat dengan bertambahnya waktu perendaman yaitu pada sampel yang direndam selama 2 minggu sebesar 2 mg, untuk sampel yang direndam selama 4 minggu yaitu 4 mg dan untuk sampel yang direndam selama 6 minggu yaitu 8 mg. Hal ini menunjukkan proses pengkorosian sudah terjadi pada paduan Ti-12Cr dalam kurun waktu perendaman selama 2, 4 dan 6 minggu dalam larutan garam berkonsentrasi tinggi (NaCl 3%), walaupun pengurangan massanya kecil.

Tabel 3. Besarnya massa spesimen sebelum dan setelah perendaman serta pengurangannya setelah perendaman dalam larutan NaCl 3%.

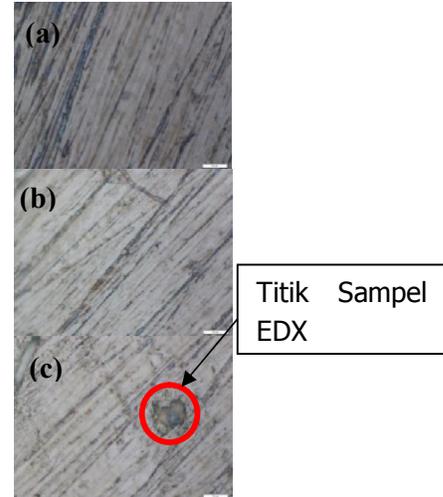
Waktu Perendaman (minggu)	Massa sebelum perendaman (gram)	Massa setelah perendaman (gram)	Pengurangan massa (gram)
2	0,921	0,919	0,002
4	1,534	1,53	0,004
6	1,492	1,484	0,008

B. Laju Korosi

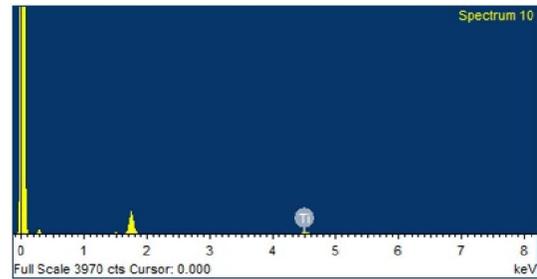
Berdasarkan dari Tabel 4 ditunjukkan bahwa laju korosi dari Ti-12Cr memiliki kecenderungan untuk meningkat dengan bertambahnya waktu perendaman yaitu pada sampel yang direndam selama 2 minggu sebesar 0,0267 mmpy, untuk sampel yang direndam selama 4 minggu yaitu 0,0283 mmpy dan untuk sampel yang direndam selama 6 minggu yaitu 0,0380 mmpy. Laju korosi yang terjadi ini sangat kecil, sehingga pada waktu dilakukan pengamatan dengan menggunakan Mikroskop Optik tidak menunjukkan adanya proses pengkorosian yang signifikan di permukaan sampel paduan Ti-12Cr seperti terlihat pada Gambar 4. Hasil dari pemeriksaan struktur mikro ini hanya menunjukkan goresan-goresan sisa pengamplasan, kecuali pada Gambar 8(c) yang merupakan struktur mikro permukaan sampel Ti-12Cr hasil perendaman selama 6 minggu dalam larutan NaCl 3% menunjukkan adanya gejala korosi seragam, sehingga dilakukan pemeriksaan komposisi kimia sampel tersebut. Hasil pemeriksaan komposisi kimia menggunakan EDX tersebut dapat dilihat pada Gambar 5 dan Tabel 5.

Tabel 4. Nilai kekerasan spesimen Ti-12Cr antara sebelum (0 minggu) dan setelah perendaman dalam larutan NaCl 3% pada waktu perendaman 2, 4 dan 6 minggu.

0 minggu	2 minggu	4 minggu	6 minggu
286 HVN	340 HVN	370 HVN	366 HVN



Gambar 4. Hasil pemeriksaan Struktur mikro Ti-12Cr dengan Mikroskop Optik (100X perbesaran) pada perendaman (a) 2 minggu, (b) 4 minggu dan (c) 6 minggu dalam larutan NaCl 3%.



Gambar 5. Hasil pemeriksaan spektrum komposisi kimia Ti-12Cr setelah perendaman dalam larutan NaCl 3% menggunakan EDX.

Tabel 5. Hasil pemeriksaan komposisi kimia Ti-12Cr setelah perendaman menggunakan EDX.

Elemen	Berat Massa (%)
Ti	70,18
O	19,32
P	7,75
Cr	1,87
Cu	0,88
Total	100,00

Dari Gambar 5 dan Tabel 5 yang merupakan hasil pemeriksaan EDX terhadap paduan Ti-12Cr yang direndam selama 6 minggu terlihat bahwa berat massa Ti berkurang menjadi 70,18%. Unsur Cr juga berkurang dari 12% menjadi 1,87%, hal ini berarti korosi yang terjadi menyebabkan terkikisnya lapisan pasif Ti-

12Cr. Unsur P dan Cu merupakan elemen pengotor dalam paduan Ti-12Cr.

Pengukuran Kekerasan

Nilai kekerasan sampel Ti-12Cr sebelum perendaman untuk waktu perendaman 2, 4 dan 6 minggu berturut-turut adalah 324, 276 dan 258 HVN. Setelah perendaman selama 2, 4 dan 6 minggu nilai kekerasan sampel berturut-turut menjadi 340, 370 dan 366 HVN. Terlihat bahwa semakin meningkat waktu perendaman, maka semakin tinggi peningkatan (selisih) harga kekerasan permukaan yakni 16, 94 dan 108 VHN. Peningkatan nilai kekerasan disebabkan oleh adanya peningkatan lapisan oksida yang terbentuk di permukaan Titanium paduan tersebut setelah direndam dalam larutan NaCl 3%, seperti TiO₂ dan Cr₂O₃. Lapisan oksida ini mempunyai kekerasan yang tinggi.

KESIMPULAN

1. Laju korosi bervariasi tergantung waktu perendaman Ti-12Cr, dimana laju korosi tertinggi adalah 0,038 mmpy untuk sampel yang direndam selama 6 minggu yaitu, dan terendah 0,027 mmpy untuk perendaman selama 2 minggu.
2. Nilai kekerasan permukaan Ti-12Cr meningkat seiring peningkatan waktu perendaman, dari 16 HVN pada perendaman 2 minggu menjadi 94 VHN dan 108 HVN setelah direndam selama 4 dan 6 minggu. Peningkatan nilai kekerasan terendah terjadi karena bertambahnya lapisan oksida yang terbentuk di permukaan Ti-12Cr. Dimana Lapisan oksida ini mempunyai nilai kekerasan yang tinggi.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih banyak kepada Universitas Andalas atas pembiayaan sebagian dari penelitian melalui Hibah Klaster Penelitian GB Universitas Andalas dengan no kontrak 102/UN.16/HKRGB/LPPM/2016.

DAFTAR RUJUKAN

- Gepreel, dkk (2013). Gepreel, M. Abdel-Hady, dan Mitsuo Niinomi. "Biocompatibility of Ti-Alloys for Long-term Implantation." *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 2013: 1-9.
- Hui-Xia, dkk (2012) Hui-xia, GUO, MA Ying, WANG Jing-song, WANG Yu-shun, DONG Hai-rong, dan HAO Yuan. "Corrosion Behavior of Micro-arc Oxidation Coating on AZ91D Magnesium Alloy in NaCl Solution with Different Concentrations". *Journal Transactions of Nonferrous Metals Society of China* 22, 2012: 1786-1793.
- Liu, dkk (2014). Liu, Huihong, Mitsuo Niinomi, Masaaki Nakai, Junko Hieda, and Ken Cho. "Bending Springback Behavior Related to Deformation-induced Phase Transformations in Ti – 12Cr and Ti – 29Nb – 13Ta – 4,6Zr Alloys for Spinal Fixation Applications". *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 34, 2014: 66 –74.
- Malau, dkk (2011). Malau, Viktor dan Nelson Seleman Luppia. "Pengaruh Variasi Waktu dan Konsentrasi Larutan NaCl Terhadap Kekerasan dan Laju Korosi dari Lapisan Nikel Elektroplating pada Permukaan Baja Karbon Sedang". *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang*, 2011: D.147-D.152.
- Munasir (2009). Munasir. "Laju Korosi Baja SC 42 dalam Medium Air Laut dengan Metode Immers Total". *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta*, (16 Mei 2009): F281-F289.

- Mohammed, Mohsin Talib, Zahid A. Khan, dan Arshad N. Siddiquee." Beta Titanium Alloys: The Lowest Elastic Modulus for Biomedical Applications: A Review". World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Chemical, Nuclear, Metallurgical and Materials Engineering 8, No. 8 (2014).
- Niinomi (2008). Niinomi, M. "Biologically and Mechanically Biocompatible Titanium Alloys". Material Transactions 49, no. 10 (2008): 2170-2178.
- Niinomi dkk (2002). Niinomi, Mitsuo, Tomokazu Hattori, Keizo Morikawa, Toshihiro Kasuga, Akihiro Suzuki, Hisao Fukui, dan Sigeo Niwa. "Development of Low Rigidity β -type Titanium Alloy for Biomedical Applications". Material Transactions 43, no. 12 (2002): 2970-2977.
- W. Dimas, dkk (2015). W., Dimas, D.S., Purnami, dan Femiana Gapsari M.F. "Pengaruh Jumlah Goresan pada Coating Baja API 5L terhadap Laju Korosi dengan Variasi Waktu Perendaman". Jurnal Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, 2013. www.mesin.ub.ac.id/jurnal (diakses 1 September 2015).
- Zhao, dkk (2012). Zhao, X., M. Niinomi, M. Nakai, J. Hieda, T. Ishimoto, T. Nakano. "Optimization of Cr Content of Metastable β -type Ti-Cr Alloys with Changeable Young's Modulus for Spinal Fixation Applications". Acta Biomaterialia 8, no. 6 (2012): 2392-2400.