

PERLAKUAN TERMOMEKANIKAL INGOT PADUAN Co-26Cr-6Mo-0,18N

Fendy Rokhmanto^{1*}, Galih Senopati, Cahya Sutowo², I Nyoman Gede Putrayasa A⁴,
Nono Darsono, Ika Kartika⁵

^{*1234}Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI

*E-mail : fendy.rokhmanto@gmail.com

ABSTRAK

Paduan Co-Cr-Mo banyak digunakan sebagai material implan tulang dan gigi, dimana komposisi paduan mengacu kepada standar material implan ASTM F75. Paduan Co-Cr-Mo memiliki sifat mekanis yang baik, bersifat biokompatibilitas dan memiliki ketahanan korosi yang tinggi. Akan tetapi ingot paduan ini masih memiliki sifat mekanik yang masih di bawah kekuatan yang dibutuhkan untuk digunakan sebagai material implan tulang seperti *hip joint* dan *knee joint*. Oleh karenanya sifat mekanik perlu ditingkatkan, salah satunya dengan proses *thermomechanical treatment*. Penelitian ini menggunakan material implant Co-26Cr-6Mo-0,18N untuk dilihat pengaruh proses *thermomechanical treatment* terhadap pembentukan struktur mikro dan kekerasannya. Paduan hasil coran (*as cast*) dihomogenisasi pada temperatur 1200°C selama 12 jam, kemudian dilakukan proses *hot roll* dengan pemanasan awal 1200 °C selama 90 menit, reduksi 50% kemudian didinginkan dengan air es, air dan di udara. Paduan *as cast* maupun hasil hot roll kemudian diamati secara mikroskopis menggunakan mikroskop optik dan SEM serta dilakukan uji keras dengan metode Rockwell. Pengamatan metalografi menunjukkan adanya perubahan struktur presipitat dari bentuk *blocky dense* menjadi *starlike dense*. Nilai kekerasan paduan meningkat dari 39,7 HRc pada kondisi *as cast* menjadi 61,1 HRc pada pendinginan air es, 59,7 HRc pada pendinginan air dan 57,8 HRc pada pendinginan udara.

Kata kunci: Co-Cr-Mo, Material implant, Termomekanikal proses

ABSTRACT

Co-Cr-Mo alloys widely used as bone and teeth implant materials, where the composition of the alloy refers to the standard ASTM F75. Alloy Co-Cr-Mo has good mechanical properties, biocompatibility and high corrosion resistance. However the ingot of alloys has a low mechanical properties that needed as a bone implants such as knee and hip joint. Therefore mechanical properties can be improved by thermo mechanical treatment process. This paper used Co-26Cr-6Mo-0,18N as implant material to investigate the influent of thermomechanical treatment against microstructure and hardness. As cast alloys homogenized at 1200 °C for 12 hour, then hot roll with preheating 1200 ° C for 90 minutes, 50% reduction and then cooled with ice water quench, water quench, and atmospheric cooling. The alloys (as cast and after hot rolling) characterized with optical microscope and SEM to investigate the microstructure and Rockwell test to investigate the hardness. Metallographic shows the transformation of precipitate from blocky dense to starlike dense. The hardness enhanced from 39.7 HRc at as cast to 61.1 HRc at ice water quenched, 59.7 HRc at water quenched and 57.8 HRc at atmospheric cooling

Keywords: Co-Cr-Mo, Implant material, Thermomechanical treatment

PENDAHULUAN

Paduan Co-Cr-Mo (CCM) banyak digunakan sebagai material implan tulang dan gigi, dimana komposisi paduan mengacu kepada standar material implan ASTM F75. Paduan Co-Cr-Mo memiliki sifat mekanis

yang baik, bersifat biokompatibilitas dan memiliki ketahanan korosi yang tinggi (Black, J and Hastings, G. 1998, Davis, J.R. 2003, Korosu S, et.al. 2006, Niinomi M, et.al. 2012). Aplikasi penggunaan paduan CCM sebagai material implan tulang seperti *hip joint* dan

knee joint perlu disesuaikan dengan kegunaannya. Salah satu yang perlu diperhatikan adalah kekuatan material. Sifat mekanis material paduan CCM masih perlu ditingkatkan ketika digunakan sebagai material implant, salah satu caranya adalah dengan melakukan *thermomechanical treatment* (Muterlle P.V et.al. 2010, Minieta S, et.al. 2012).

Peningkatan sifat mekanis paduan CCM juga dapat ditingkatkan dengan penambahan unsur pepadu antara lain adalah penambahan Karbon dan Nitrogen (Escobedo J, et.al. 1996, Herrera, M, et.al. 2005, Muterlle P.V et.al. 2010, Minieta S, et.al. 2012, Minieta S, et.al. 2013, Yamanaka K, et.al. 2014). Penambahan karbon dan nitrogen dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan paduan CCM, melalui mekanisme pengutan presipitat (Kalam K, dkk. 2015, Rokhmanto F, dkk 2016).

Pada penelitian kali ini dilakukan penambahan 0,18 Nitrogen (% berat) dan proses *thermomechanical treatment* untuk mengetahui fenomena penguatan material CCM. Fenomena penguatan material dianalisis secara mikroskopis dengan mengamati struktur mikronya dan dianalisis nilai kekerasan material pada setiap tahap proses *thermomechanical treatment*.

METODE

Pada penelitian ini menggunakan paduan CCM dengan komposisi paduan Co-26Cr-6Mo-0,18N (% berat). Pepaduan material menggunakan proses *investment casting* yang sudah dilakukan sebelumnya. Hasil coran dibentuk menjadi ingot paduan CCM dengan diameter 25 mm dan tebal 5mm.

Ingot hasil coran (*as cast*) dihomogenisasi pada temperatur 1200°C selama 12 jam, kemudian dilakukan proses *hot roll* dengan pemanasan awal 1200 °C selama 90 menit, reduksi 50% kemudian didinginkan dengan air es, air dan di udara. Paduan *as cast* maupun hasil hot roll kemudian

diamati secara mikroskopis serta dilakukan uji keras dengan metode Rockwell.

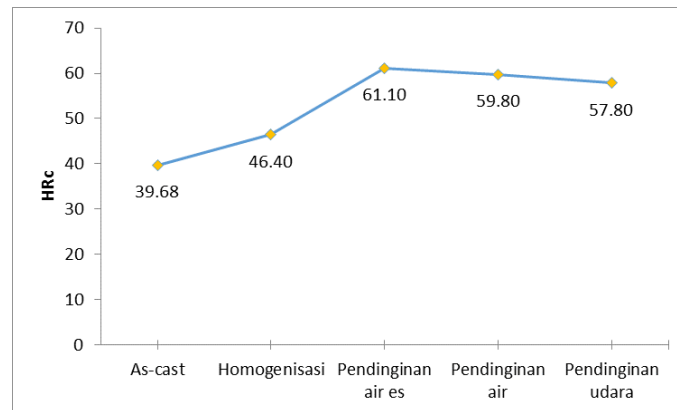
Pengamatan metalografi dilakukan dengan mikroskop optik dan SEM (scanning electron microscopy). Sampel paduan diampelas menggunakan kertas ampelas hingga grid 1200, dilanjutkan polishing dengan larutan poles alumina hingga grid 0,01µm. Sampel hasil polishing kemudian dietsa dengan metode *electrolytic etching* dengan tegangan 6 volt, menggunakan metanol 10% H₂SO₄.

HASIL DAN PEMBAHASAN

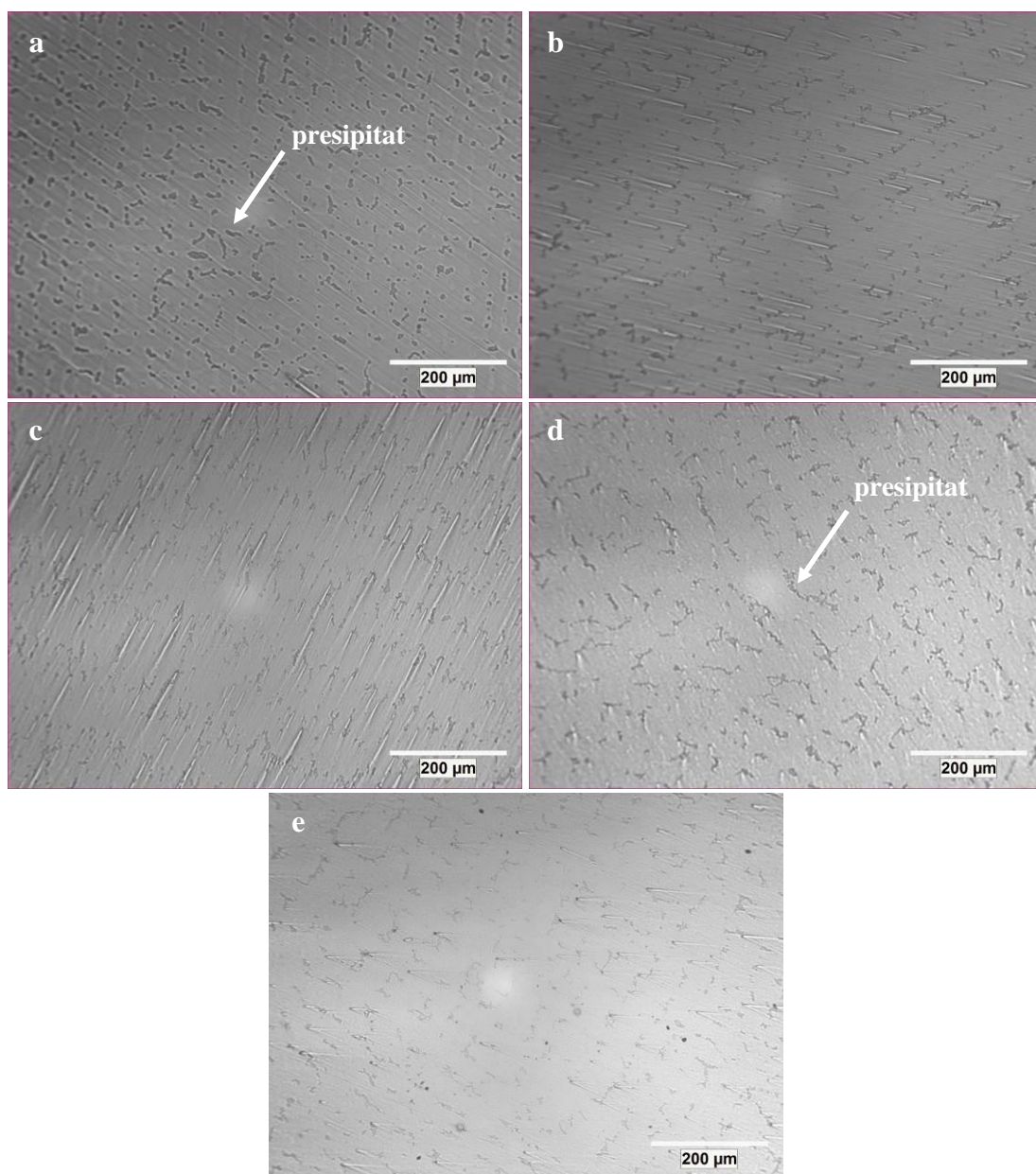
Hasil uji keras paduan CCM dapat dilihat pada Gambar 1. Tampak bahwa nilai kekerasan paduan CCM pada setiap tahap proses *heat treatment* mengalami peningkatan. Pada kondisi *as cast* nilai kekerasan paduan CCM adalah 39,7 HRc, kemudian meningkat menjadi 46,4 HRc pada kondisi setelah homogenisasi. Pada kondisi setelah proses hot roll kenaikan nilai kekerasan cukup signifikan, namun dengan adanya variasi media pendingin juga turut memengaruhi nilai kekerasan paduan CCM. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh ketika paduan CCM didinginkan pada media air es yaitu 61,1 HRc, kemudian berturut-turut 59,8 HRc pada pendinginan air dan 57,8 HRc pada pendinginan udara.

Gambar 2. menunjukkan struktur mikro paduan CCM pada setiap tahap proses *heat treatment*. Gambar 2a pada kondisi *as cast*, Gambar 2b pada kondisi setelah homogenisasi dan berturut-turut pada kondisi setelah proses *hot roll* dengan pendinginan air es Gambar 2c, pendinginan air Gambar 2d dan pendinginan udara Gambar 2e. Pada Gambar 2. tampak bahwa terbentuk presipitat pada paduan CCM (berbentuk seperti pulau-pulau).

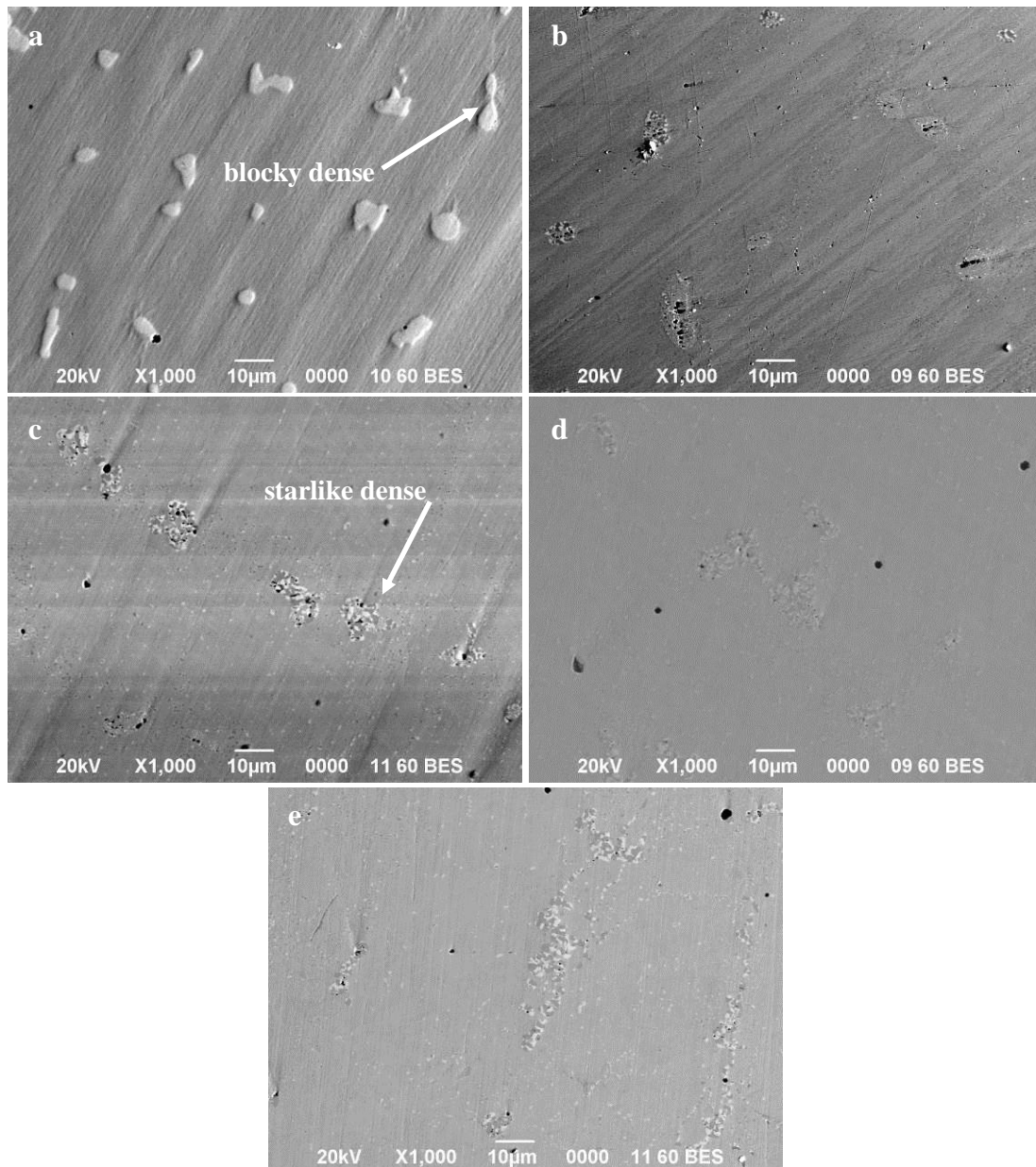
Gambar 3. menunjukkan foto SEM paduan CCM pada setiap tahap proses *heat treatment*. Gambar 3a pada kondisi *as cast*, Gambar 3b pada kondisi setelah homogenisasi dan berturut-turut pada kondisi setelah proses *hot roll* dengan pendinginan air es Gambar 3c, pendinginan air Gambar 3d dan pendinginan udara Gambar 3e.



Gambar 1. Grafik uji keras paduan CCM



Gambar 2. Mikrostruktur paduan CCM, as cast (a), Homogenisasi (b), *Hot roll* pendinginan air es (c), *Hot roll* pendinginan air (d), *Hot roll* pendinginan udara (e), perbesaran 100x, Elektroetsa metanol 10% H₂SO₄



Gambar 3. SEM paduan CCM, as cast (a), Homogenisasi (b), Hot roll pendinginan air es (c), Hot roll pendinginan air (d), Hot roll pendinginan udara (e), perbesaran 1000x, elektroetsa metanol 10% H₂SO₄

Gambar 3. menunjukkan bahwa terbentuk presipitat pada paduan CCM, dengan perubahan morfologi setelah mengalami proses *heat treatment*. Pada kondisi *as cast* presipitat terbentuk dalam morfologi *blocky dense*, sedangkan pada kondisi setelah proses *heat treatment* presipitat terbentuk dalam morfologi *starlike dense* (Narushima T, et.al.2013).

Kekuatan mekanis paduan CCM, baik itu kekatan tarik maupun kekerasan dapat ditingkatkan melalui proses *heat treatment* (Kalam K, dkk. 2015, Rokhmanto F, dkk

2016). Pada penelitian ini nilai kekerasan material *as cast* meningkat setelah dilakukan proses homogenisasi. Peningkatan kekerasan ini diakibatkan karena pembentukan presipitat. Pada Gambar 2b tampak bahwa presipitat yang terbentuk lebih kecil ketika dibandingkan dengan presipitat yang terbentuk pada Gambar 2a. Selain ukuran presipitat yang terbentuk, morfologi presipitat juga berpengaruh dalam peningkatan nilai kekerasan. Gambar 3a terbentuk morfologi *blocky dense*, sedangkan pada Gambar 3b. terbentuk morfologi *starlike dense*.

Peningkatan kekerasan setelah proses *hot roll* cukup signifikan. Peningkatan ini diakibatkan karena proses *thermomechanical treatment* yang mengakibatkan perubahan bentuk butir seperti terlihat pada Gambar 2. Pada Gambar 2c, Gambar 2d dan Gambar 2e tampak bahwa terbentuk butiran yang lebih pipih ketika dibandingkan dengan Gambar 2a. Perubahan bentuk butir ini terjadi karena adanya deformasi plastis dan pergerakan dislokasi akibat proses pengerolan, sehingga kekerasan paduan CCM meningkat. Perubahan morfologi presipitat dari *blocky dense* menjadi *starlike dense* juga mengakibatkan peningkatan nilai kekerasan paduan CCM.

Paduan Cobalt memiliki fasa dan presipitat antara lain, σ phase, γ phase, η phase, π phase, χ phase, M_7X_3 , $M_{23}X_6$ dan $M_6X-M_{12}X$ (Narushima T, et.al.2013). Demikian juga dalam penelitian ini beberapa presipitat juga terbentuk pada paduan CCM. Pada Gambar 3a terbentuk presipitat $M_{23}C_6$ dengan morfologi *blocky dense* dan pada Gambar 3b, Gambar 3c, Gambar 3d dan Gambar 3e terbentuk presipitat M_7X_3 dengan morfologi *starlike dense*. Presipitat $M_{23}C_6$ terbentuk akibat pendinginan lambat, mekanisme yang terjadi adalah perubahan π phase menjadi $M_{23}X_6 + \gamma$ phase (Narushima T, et.al.2013). Presipitat M_7X_3 terbentuk melalui mekanisme yang mirip dengan presipitat $M_{23}C_6$, namun karena proses pendinginan yang lebih cepat maka terbentuk presipitat lain yaitu M_7X_3 (Narushima T, et.al.2013). Menurut Takayuki Naushima X dalam prsipitat ini bisa saja merupakan unsur Karbon (C) ataupun Nitrogen (N). Untuk memasatkan unsur apa yang membentuk presipitat tersebut perlu dilakukan analisis lebih lanjut dengan pengujian TEM.

Merujuk pada mekanisme pembentukan presipitat tersebut dapat dimengerti bahwa kondisi *as cast* memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah karena paduan memiliki fasa γ (FCC) dan presipitat karbida $M_{23}C_6$. Paduan CCM setelah proses homogenisasi mempunyai kekerasan yang lebih tinggi karena memiliki fasa γ dan terbentuk dua presipitat karbida yaitu $M_{23}C_6$ dan M_7X_3 . Kondisi setelah *hot roll* mengalami peningkatan kekerasan yang signifikan karena perubahan bentuk butir dan morfologi *starlike dense* yang memiliki fasa γ dan presipitat karbida $M_{23}C_6$ dan M_7X_3 . Penurunan nilai kekerasan pada media

pendingin yang berbeda disebabkan karena pembentukan ukuran prseipitat yang terbentuk, semakin tinggi laju pendinginan maka semakin kecil presipitat yang terbentuk seperti yang terlihat pada Gambar 3c, Gambar 3d, dan Gambar 3e.

SIMPULAN DAN SARAN

Telah dilakukan analisis nilai kekerasan dan struktur mikro paduan Co-26Cr-6Mo-0,18N pada kondisi *as cast* hingga setelah proses *thermomechanical traetment*. Berdasarkan analisis dapat disimpulkan bahwa:

1. Proses *heat treatment* dan *thermomechanical traetment* meningkatkan nilai kekerasan
2. Proses *heat treatment* dan *thermomechanical traetment* mengakibatkan perubahan morfologi presipitat dari bentuk *blocky dense* menjadi *starlike dense*
3. Laju pendinginan mempengaruhi nilai kekerasan
4. Morfologi presipitat mempengaruhi nilai kekerasan
5. Nilai kekerasan tertinggi 61,1 HRc pada kondisi setelah proses *hot roll* dengasn pendinginan air es, nilai kekersan terendah 39,7 HRc pada kondisi *as cast*

UCAPAN TERIMAKASIH

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

DAFTAR PUSTAKA

- Black, Jonathan and Hastings, Garth, (1998), "*Handbook of Biomaterial Properties*" Springer Science+Business Media Dordrecht.
- Davis, J.R, (2003) "Handbook of Materials for Medical Devices" ASM International.
- Escobedo, José, et.al J. (1996). "Effect of Nitrogen on the Microstructure and Mechanical Properties of a Co-Cr-Mo Alloy." *Materials & Design* 17 (2): 79–83.

- Fendy Rokhmanto dkk (2016) “Pengaruh Penambahan Karbon dan Nitrogen Terhadap Mikrostruktur, Kekuatan Tarik dan Mampu Bentuk PaduanCo-28Cr-6Mo-0,8Si-0,8Mn-0,4Fe-0,2Ni”, *Majalah Metalurgi* Vol. 31 No. 3, 138-149
- Herrera, M, et.al (2005) “Effect of C Contain on The Mechanical Properties of Solution Treated As-Cast ASTM F-75 Alloys” *Journal of Material Science: Material in Madecine* 16, 607-611
- Kafi Kalam dkk (2015) “Pengaruh Karbon Dan Nitrogen Terhadap Peningkatan Nilai Kekerasan dan Pembentukan Presipitat Pada PaduanCo-Cr -Mo Sebagai Material Biomedis”, *Prosiding 3rd Biomaterial conference*
- Korosu, Shinugo, et.al, (2006) “Effect of Sigma Phase in Co-29Cr-6Mo Alloy on Corrosion Behavior in Saline Solution” *Materials Transactions*, Vol. 47, No. 8 pp. 1961 to 1964, The Japan Institute of Metals.
- Minieta, Shingo, et.al (2012) “Precipitates in Biomedical Co-28Cr-6Mo-(0–0.41)C Alloys Heat-Treated at 1473 K to 1623 K (1200 C to 1350 C)” *Metallurgical And Materials Transactions A Volume 4*
- Minieta, Shingo, et.al (2013) “Phase and Formation/Dissolution of Precipitates in Biomedical Co-Cr-Mo Alloys with Nitrogen Addition” *Metallurgical and Materials Transactions A Volume 44a*
- Muterlle, P.V et.al (2010) “Microstructure and Tensile Properties of Metal Injection Molding Co-29Cr-6Mo-0.23C alloy” *Journal Material Science* 45:1091-1099
- Narushima, T, et.al (2013) “Precipitates in Biomedical Co-Cr Alloys” *JOM* Vol. 65 No.4
- Niinomi, Mitsuo, et.al (2012) “Development of new metallic alloys for biomedical applications” *Acta Biomaterialia* 8 p.3888–3903
- Yamanaka, Kenta et.al. (2014). “Effects of Nitrogen Addition on Microstructure and Mechanical Behavior of Biomedical Co-Cr-Mo Alloys.” *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 29. Elsevier: 417–26