



Perubahan Struktur Mikro Dan Kekerasan Paduan Co-Cr-Mo-C-N Pada Perlakuan Aging

Kisnandar^{a,1}, Alfirano^{b,2}, Muhammad Fitrullah^{c,3}

^aJurusan Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jendral Sudirman Km 3, Kotabumi Kec. Purwakarta, Kota Cilegon, Banten, 42435, Indonesia

¹E-mail:

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada Agustus
Direvisi pada September
Disetujui pada Oktober
Tersedia daring pada November

Kata kunci:

Presipitat, aging, struktur mikro,
kekerasan, Co-Cr-Mo.

Keywords:

*Precipitate, aging, microstructure,
hardness, Co-Cr-Mo.*

ABSTRAK

Logam paduan Co-Cr-Mo ASTM F75 merupakan paduan dari hasil coran yang mempunyai sifat biocompatible. Paduan ini yang perlu dilakukan proses perlakuan panas untuk mendapatkan struktur mikro yang seragam. Berbagai variasi temperatur dan waktu tahan aging dan menggunakan media pendingin diharapkan dapat dicapai jumlah presipitat yang sesuai untuk mencapai ketahanan aus, ketahanan korosi dan sifat mekanik yang diinginkan. Pada penelitian ini akan dilakukan penelitian terhadap variasi temperatur serta waktu tahan aging untuk melihat sejauh mana pengaruhnya terhadap struktur mikro dan kekerasan pada logam paduan Co-Cr-Mo ASTM F75. Spesimen berbentuk ingot dipotong dengan dimensi 10mmx10mmx5mm, kemudian dilakukan perlakuan panas dengan temperatur pemanasan 1250o C dan waktu tahan 6 jam kemudian di aging pada temperatur 500o C, 600o C, 700o C dengan variasi waktu aging 0 ks, 7,2 ks, 21,6 ks, 43,2 ks, 84,4 ks. Selanjutnya dilakukan pemeriksaan metalografi, pengujian XRD serta dilakukan pengujian kekerasan. Temperatur dan waktu tahan aging mempengaruhi jumlah presipitat dan struktur mikro dan kekerasan masing masing sampel. Pada sampel 0.15C0N mempunyai paling sedikit presipitat dan memiliki kekerasan paling rendah dari sampel 0.25C0N dan 0.25C0.2N. Pada sampel 0.25C0.2N mempunyai distribusi presipitat yang paling merata dan mempunyai kekerasan paling tinggi.

ABSTRACT

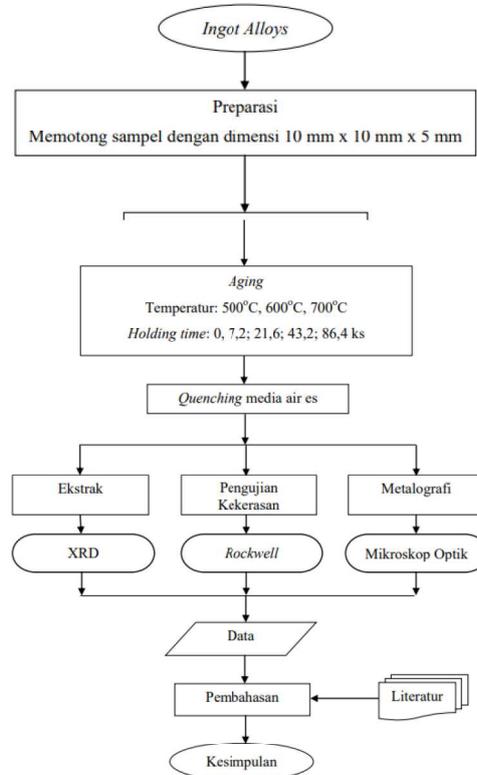
ASTM F75 Co-Cr-Mo alloy is an alloy from castings which has biocompatible properties. This alloy requires a heat treatment process to obtain a uniform microstructure. Various variations of temperature and time of aging resistance and the use of cooling media are expected to achieve the appropriate amount of precipitate for the desired wear resistance, corrosion resistance and mechanical properties. In this research, a research will be conducted on variations in temperature and aging resistance to see the extent of its influence on the microstructure and hardness of the Co-Cr-Mo ASTM F75 alloy. Ingot-shaped specimens were cut with dimensions of 10mmx10mmx5mm, then heat treatment was carried out with a heating temperature of 1250oC and a holding time of 6 hours then aging at temperatures of 500oC, 600oC, 700oC with variations in aging time 0 ks, 7.2 ks, 21.6 ks, 43.2 ks, 84.4 ks. Furthermore, metallographic examination, XRD testing and hardness testing were carried out. Temperature and aging resistance affect the amount of precipitate and the microstructure and hardness of each sample. The 0.15C0N sample has the least amount of precipitation and has the lowest hardness of the 0.25C0N and 0.25C0.2N samples. The 0.25C0.2N sample has the most even distribution of precipitates and has the highest hardness..

1. Pendahuluan

Penduduk Indonesia diperkirakan akan tumbuh 20% selama empat dekade berikutnya, dari 251 juta di 2015 menjadi 300 juta pada 2050. Dengan meningkatnya jumlah lansia, tentu ini membawa dampak tersendiri. Salah satunya adalah kebutuhan akan biomaterial dalam bidang medis untuk berbagai keperluan yang akan terus meningkat. Logam paduan Co-Cr-Mo adalah salah satu paduan yang mempunyai sifat *biocompatible*, yang artinya bila logam paduan ini sengaja ditanamkan ke dalam tubuh manusia (implan), keberadaannya tidak ditolak di dalam tubuh atau tidak mengakibatkan alergi bagi tubuh itu sendiri dan bahkan jaringan tulang bisa tumbuh di permukaan logam paduan tersebut. As-cast Co-Cr-Mo banyak mengandung presipitat dan

mempunyai ukuran butir yang besar. Hal ini mempengaruhi sifat mekanik, ketahanan korosi serta ketahanan aus. Ketahanan korosi sangat dipengaruhi oleh keberadaan presipitat yang berbeda fasa, jumlah, ukuran dan distribusinya di dalam paduan yang terbentuk karena adanya unsur karbon dan nitrogen. Logam paduan Co-Cr-Mo ASTM F75 merupakan paduan dari hasil coran yang perlu dilakukan proses perlakuan panas untuk mendapatkan struktur mikro yang seragam. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi temperatur serta waktu tahan *aging* terhadap struktur mikro dan kekerasan paduan Co-Cr-Mo-C-N dan mengetahui pengaruh karbon dan nitrogen pada pembentukan presipitat.

2. Metode Penelitian

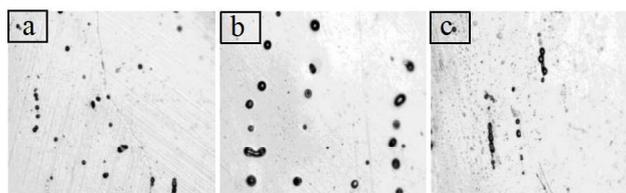


Gambar 1. Diagram alir penelitian

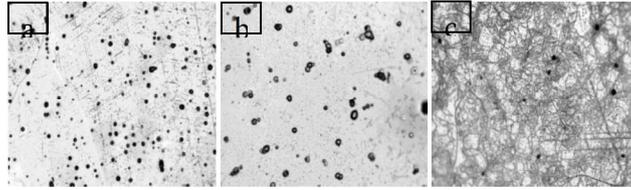
Sampel yang berupa ingot yang didapat dari Yoneda Advance Casting co. Ltd Takaoka, Jepang yang merupakan hasil investment casting kemudian dipotong dengan dimensi 10 mm x 10 mm x 5 mm menggunakan mesin potong. Setelah dipotong, sampel kemudian dimasukkan ke dalam tabung silika dan dibuat dalam kondisi vakum yang bertujuan untuk mengurangi dekarburisasi pada saat dilakukan pemanasan. Sampel yang telah dipreparasi kemudian dilakukan perlakuan panas dengan tujuan melarutkan presipitat karbon dan nitrogen yang terkandung dalam paduan. Perlakuan panas dilakukan dengan proses solution treatment pada temperatur 1250oC (ST) dengan waktu tahan 21,6 ks. Pada saat proses solution treatment, prosedur yang pertama dilakukan adalah mengatur furnace pada temperatur 1250oC, ketika mencapai temperatur 1250oC masukkan 48 sampel yang berada pada silica ampule selama 21,6 ks kemudian keluarkan lalu pecahkan silica ampule dan lakukan pendinginan menggunakan metode quench dengan media air es. Kemudian dilakukan perlakuan panas metode aging dengan 3 variasi temperatur, yaitu 500oC, 600oC, 700oC dan variasi waktu tahan 0, 7,2; 21,6; 43,2; 86,4 ks yang kemudian melakukan proses pendinginan dengan metode quenching dengan media air es. Kemudian spesimen dilakukan analisa struktur mikro dengan pengujian metalografi untuk mengamati struktur mikro yang terbentuk pada spesimen tersebut, maka dilakukan pengujian metalografi dengan menggunakan mikroskop optik. Setelah dilakukan pemeriksaan metalografi, seluruh spesimen kemudian dilakukan pengujian kekerasan menggunakan alat Rockwell Hardness Test pada sampel tersebut dan mencatat nilainya dengan dilakukan pengujian kekerasan pada tiga titik dan dihitung rata-ratanya. Kemudian dilakukan analisa fasa menggunakan XRD dengan cara masing-masing sampel diekstrak dengan metode electrolytic extracted dan kemudian di saring menggunakan membran filter kemudian dilakukan XRD

3. Hasil dan Pembahasan

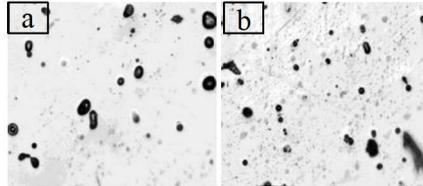
3.1 Data Hasil Pengamatan Struktur Mikro



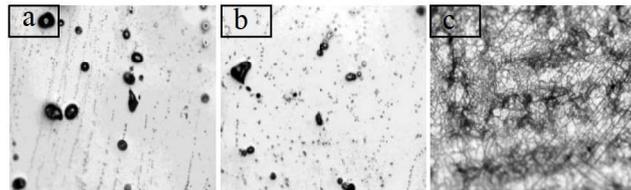
Gambar 2. Struktur Mikro Sampel Paduan 0.15C0N Dengan Perlakuan *Aging* Pada (a) 500°C ; (b) 600° ; (c) 700°C Selama 0 Ks (Perbesaran 200 X)



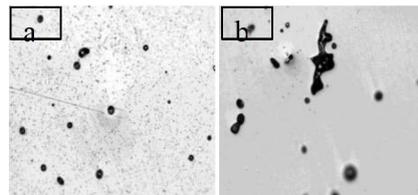
Gambar 3. Struktur Mikro Sampel Paduan 0.15C0N Dengan Perlakuan Aging (a) 500oc ; (b) 600oc ; (c) 700oc Selama 7,2 Ks (Perbesaran 200 X)



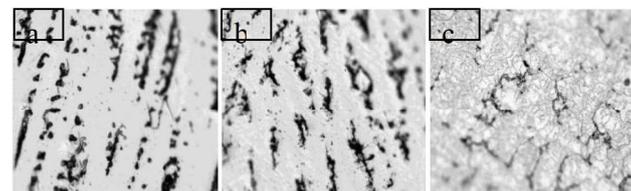
Gambar 4. Struktur Mikro Sampel Paduan 0.15C0N Dengan Perlakuan Aging (a) 500oc ; (b) 600oc Selama 21,6 Ks (Perbesaran 200 X)



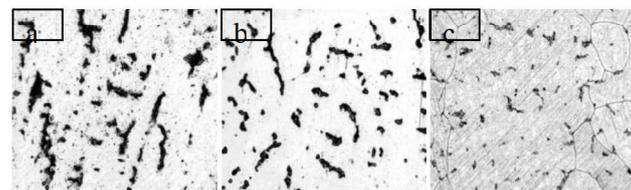
Gambar 5. Struktur Mikro Sampel Paduan 0.15C0N Dengan Perlakuan Aging (a) 500oc ; (b) 600oc ; (c) 700oc Selama 43,2 Ks (Perbesaran 200 X)



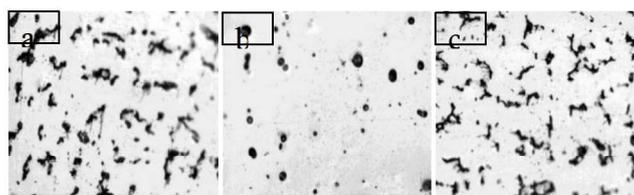
Gambar 6. Struktur Mikro Sampel Paduan 0.15C0N Dengan Perlakuan Aging (a) 500°C ; (b) 600°C Selama 84,6 Ks (Perbesaran 200 X)



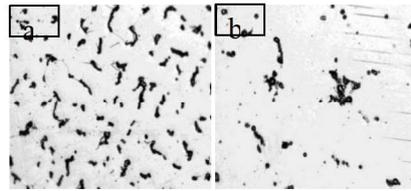
Gambar 7. Struktur Mikro Sampel Paduan 0.25C0N Dengan Perlakuan Aging (a) 500°C ; (b) 600°C ; (c) 700°C Selama 0 Ks (Perbesaran 200 X)



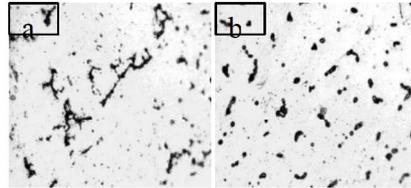
Gambar 8. Struktur Mikro Sampel Paduan 0.25C0N Dengan Perlakuan Aging (a) 500°C ; (b) 600°C ; (c) 700°C Selama 7,2 Ks (Perbesaran 200 X)



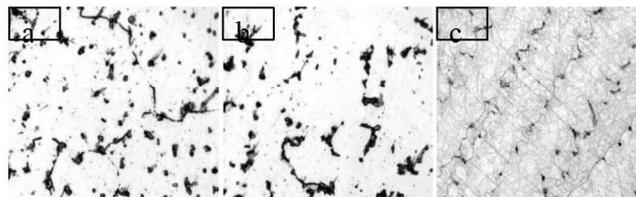
Gambar 9. Struktur Mikro Sampel Paduan 0.25C0N Dengan Perlakuan Aging (a) 500°C ; (b) 600°C ; (c) 700°C Selama 21,6 Ks (Perbesaran 200 X)



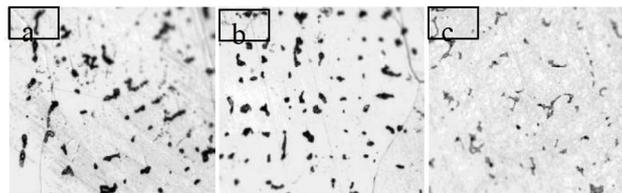
Gambar 10. Struktur Mikro Sampel Paduan 0.25C0N Dengan Perlakuan Aging (a) 500oc ; (b) 600oc Selama 43,2 Ks (Perbesaran 200 X)



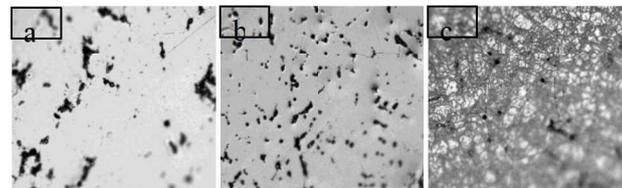
Gambar 11. Struktur Mikro Sampel Paduan 0.25C0N Dengan Perlakuan Aging A) 500oc ; B) 600oc Selama 84,6 Ks (Perbesaran 200 X)



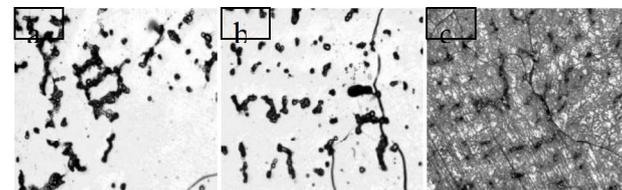
Gambar 12. Struktur Mikro Sampel Paduan 0.25C0.2N Dengan Perlakuan Aging A) 500oc ; B) 600oc ; C) 700oc Selama 0 Ks (Perbesaran 200 X)



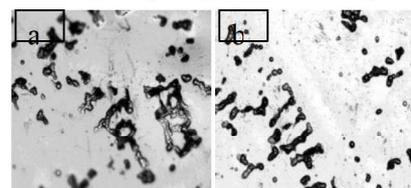
Gambar 13. Struktur Mikro Sampel Paduan 0.25C0.2N Dengan Perlakuan Aging (a) 500oc ; (b) 600oc ; (c) 700oc Selama 7,2 Ks (Perbesaran 200 X)



Gambar 14. Struktur Mikro Sampel Paduan 0.25C0.2N Dengan Perlakuan Aging (a) 500oc ; (b) 600oc ; (c) 700oc Selama 21,6 Ks (Perbesaran 200 X)



Gambar 15. Struktur Mikro Sampel Paduan 0.25C0.2N Dengan Perlakuan Aging (a) 500oc ; (b) 600oc ; (c) 700oc Selama 43,2 Ks (Perbesaran 200 X)

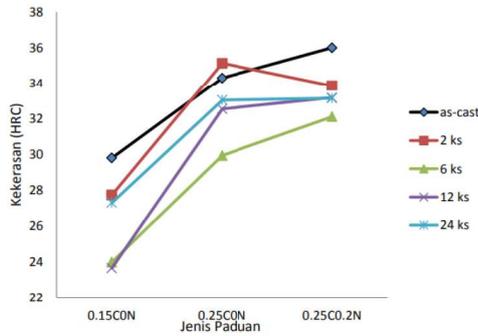


Gambar 16. Struktur Mikro Sampel Paduan 0.25C0.2N Dengan Perlakuan Aging (a) 500oc ; (b) 600oc Selama 84,6 Ks (Perbesaran 200 X)

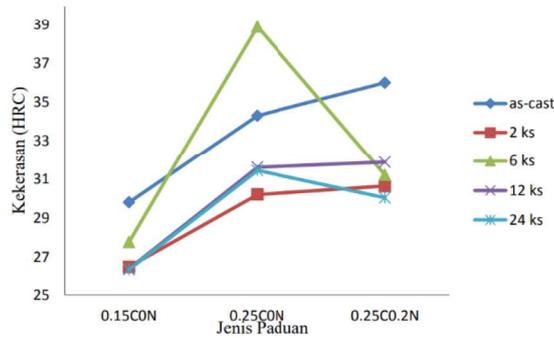
Gambar 4.1 sampai dengan gambar 4.15 merupakan hasil pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik dengan 100 kali pembesaran. dari hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat bahwa terdapat fasa presipitat dalam matriks paduan Co-Cr-Mo-C-N. Persentase unsur

karbon dan nitrogen yang berbeda dan juga perbedaan temperatur serta waktu tahan aging dapat memberikan stuktur mikro yang berbeda pula pada paduan tersebut. Dapat dilihat pada gambar 4.1 sampai 4.15 terjadi perubahan struktur mikro yang cukup signifikan. Pada paduan 0.15C0N (gambar 4.1 sampai 4.5) terbentuk presipitat yang relatif sedikit, pada paduan 0.25C0N (gambar 4.6 sampai 4.10) terlihat jumlah presipitat yang lebih banyak dari paduan 0.15C0N. ini disebabkan karena perbedaan persentase kandungan karbon dari sampel 0.25C0N lebih banyak dari sampel 0.15C0N. Hal tersebut dikarenakan sifat karbon yang dapat membentuk karbida dalam paduan berbasis kobalt yang berupa presipitat. [22]. Pada paduan 0.25C0.2N (gambar 4.11 sampai 4.15) juga terlihat mempunyai presipitat yang cukup banyak. Jumlah presipitat di sampel 0.25C0.2N terlihat sedikit lebih banyak daripada sampel 0.25C0N serta presipitat di sampel 0.25C0.2N lebih terdistribusi secara merata. Hal tersebut dikarenakan sifat karbon a b 44 dan nitrogen yang dapat membentuk karbida dalam paduan berbasis kobalt yang berupa presipitat. [A.M. Beltran. 1987].

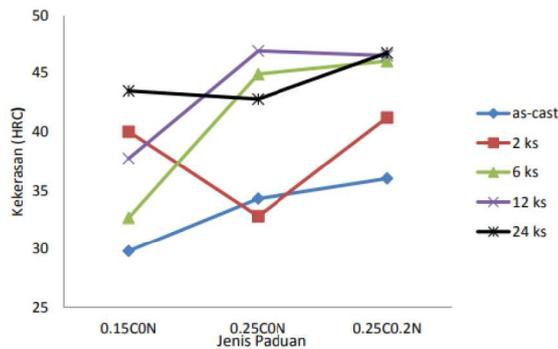
3.2 Data Hasil Pengujian Kekerasan



Gambar 16. Grafik Hubungan Antara Jenis Paduan Dan Nilai Kekerasan Kondisi T=500°C

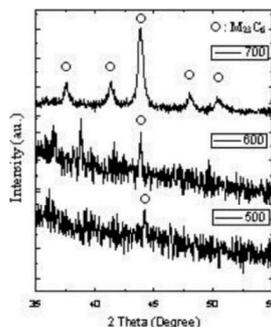


Gambar 17. Grafik Hubungan Antara Jenis Paduan Dan Nilai Kekerasan Kondisi T=600°C

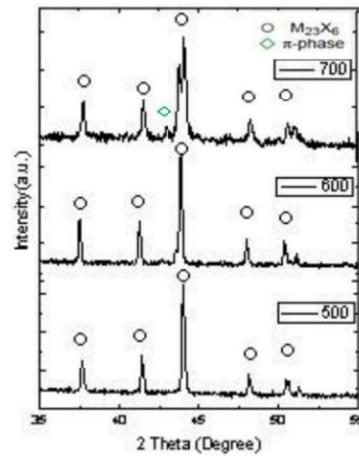


Gambar 18. Grafik Hubungan Antara Jenis Paduan Dan Nilai Kekerasan Kondisi T=700°C

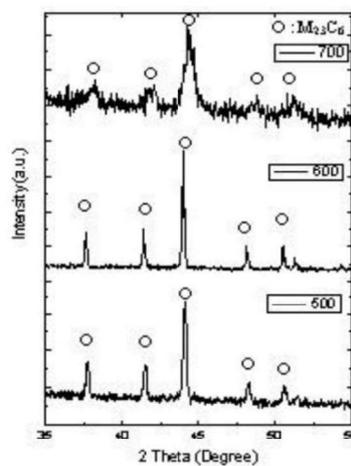
3.3 Data Hasil Analisa XRF



Gambar 19. Hasil XRD Fasa Presipitat Pada Sample 0.15C0N



Gambar 20. Hasil XRD Fasa Presipitat Pada Sample 0.25C0N



Gambar 21. Hasil XRD Fasa Presipitat Pada Sample 0.25C0.2N

3.4 Pengaruh Aging Terhadap Struktur Mikro Paduan Co-Cr-Mo-C-N

Pada Gambar 1 sampai 15 menunjukkan morfologi paduan Co-Cr-MoC-N, dimana dapat terlihat semakin banyak penambahan kadar karbon maka jumlah presipitat juga menjadi semakin banyak, hal ini disebabkan karena karbon merupakan elemen penting dalam pembentukan presipitat dan fasa kedua pada paduan logam berbasis kobalt. Dari gambar 4.11 sampai 4.15 dapat dilihat bahwa di dalam semua sampel paduan terdapat presipitat, namun di dalam paduan yang mengandung nitrogen, presipitat yang ada memiliki morfologi yang lebih halus dan terdistribusi secara merata dibandingkan dengan paduan yang tidak ada kandungan nitrogen. Hal ini disebabkan karena unsur nitrogen memiliki kemampuan melarutkan unsur-unsur paduan lain yang ada ke dalam matriks. Dapat dilihat pada paduan 0.15C0N (gambar 4.1 sampai 4.5) presipitat yang dihasilkan berbeda beda sesuai dengan waktu tahannya. Presipitat yang terbentuk dari paduan 0.15C0N setelah diberi perlakuan aging dengan temperatur 500, 600, 700oC selama 7,2 ks adalah $M_{23}C_6$. Terlihat pada gambar 4.1 sampel paduan kobalt memiliki presipitat paling sedikit pada waktu tahan aging 500oC diikuti dengan waktu tahan 600 oC dan presipitat paling banyak ditemukan pada waktu tahan 700C. Hal ini juga terjadi pada waktu tahan aging yang lain yaitu 7,2 ks, 21,6 ks 43,6 ks dan 86,4 ks pada paduan sampel 0.15C0N, 0.25C0N, 0.25C0.2N, dan juga semakin lama waktu tahan aging, maka semakin banyak presipitat yang dihasilkan.

Pada paduan 0.25C0N (gambar 4.6 sampai 4.10) presipitat yang dihasilkan berbeda beda sesuai dengan waktu tahannya. Presipitat yang terbentuk dari paduan 0.25C0N setelah diberi perlakuan aging dengan temperatur 500, 600oC adalah $M_{23}C_6$, namun pada temperatur 700oC presipitat yang didapat adalah $M_{23}C_6$ dan juga fasa η . Dapat dilihat pada gambar 4.6 pada temperatur tahan aging sebesar 500oC dihasilkan presipitat yang lebih sedikit dari sampel yang diberi perlakuan aging pada temperatur 600 oC, dan sampel yang diberi perlakuan aging dengan temperatur 700 oC memiliki distribusi presipitat yang lebih banyak. Hal ini terlihat pada semua sampel paduan 0.25C0N. Hal ini disebabkan karena distribusi fasa presipitat akan semakin meningkat seiring meningkatnya kadar karbon dalam paduan Co-Cr-Mo [23], dan juga terlihat pada paduan 0.25C0N semakin tinggi temperatur maka semakin banyak presipitat yang dihasilkan. Pada paduan 0.25C0.2N presipitat yang dihasilkan juga berbeda sesuai dengan waktu tahannya. Presipitat yang terbentuk dari paduan 0.25C0N setelah diberi perlakuan aging dengan temperatur 500, 600, 700oC selama 7,2 ks adalah $M_{23}C_6$. Dapat dilihat pada Gambar 4.11 sampai 4.15 sampel 0.25C0.2N menghasilkan presipitat terlihat lebih halus dan terdistribusi lebih merata daripada sampel sampel yang lain yang tidak memiliki kandungan nitrogen, Hal ini disebabkan karena unsur nitrogen memiliki kemampuan melarutkan unsur-unsur paduan lain yang ada ke dalam matriks.

3.5 Pengaruh Aging Terhadap Kekerasan Paduan Co-Cr-Mo-C-N

Pada gambar 4.1 sampai 4.15 dapat dilihat bahwa kadar karbon dan nitrogen mempengaruhi banyaknya presipitat yang terbentuk. Pada grafik hasil pengujian kekerasan. (gambar 4.19 sampai 4.21) dapat dilihat, pada sampel 0.15C0N, 0.25C0N, dan 0.25C0.2N terjadi peningkatan nilai kekerasan seiring dengan peningkatan kadar karbon dalam paduan Co-Cr-Mo-C-N. Hal ini terjadi karena pada paduan Co-Cr-Mo-C-N terjadi proses penguatan yang diakibatkan oleh terbentuknya presipitat (precipitation hardening) [1]. Terlihat juga pada gambar 4.21 didapat kekerasan yang paling tinggi adalah paduan yang memiliki kadar nitrogen yang paling banyak antara paduan yang lain, ini disebabkan karena penambahan nitrogen dapat menambahkan sedikit nilai kekerasan [21]. Selanjutnya dapat dilihat pada perlakuan aging dengan temperatur 500oC didapatkan kekerasan paling kecil. Lalu pada temperatur 600oC didapatkan kekerasan yang lebih besar dari sampel dengan perlakuan aging dengan temperatur 500oC, dan kekerasan terbesar didapatkan pada perlakuan aging dengan temperatur 700oC. Ini disebabkan semakin tinggi temperatur perlakuan aging akan membentuk semakin banyak karbida yang akan menyebabkan bertambahnya nilai kekerasan dari logam paduan Co-Cr-Mo-C-N. Pengaruh lamanya waktu aging juga berpengaruh pada nilai kekerasan paduan Co-Cr-Mo-C-N secara bervariasi, tetapi relatif menjadi bertambah tinggi nilai kekerasannya sesuai dengan bertambahnya waktu perlakuan aging dan akan menurun dengan bertambahnya waktu tahan aging.

3.6 Pengaruh Karbon dan Nitrogen pada Pembentukan Fasa Presipitat

Pada gambar 4.16 terdapat peak dimana setelah dilakukan analisa XRD untuk Co-Cr-Mo hanya terdapat sedikit fasa M23X6, Peak tertinggi didapat pada perlakuan aging dengan temperatur tahan 700oC, kemudian diikuti dengan temperatur 600oC dan peak terendah didapatkan pada perlakuan aging dengan temperatur tahan 500oC. Pada gambar 4.17 seluruh sampel yang diberi perlakuan aging dengan temperatur 500, 600 dan 700oC memiliki peak maka menunjukkan adanya presipitat yang tidak larut sempurna. Hal ini disebabkan pada sampel tersebut memiliki kandungan 0.25 karbon. Pada gambar 4.18 seluruh seluruh sampel yang diberi perlakuan aging dengan temperatur 500, 600 dan 700oC memiliki peak maka menunjukkan adanya presipitat yang tidak larut sempurna. Hal ini disebabkan pada sampel tersebut memiliki kandungan 0.25 karbon dan 0.2 nitrogen. Presipitat yang terdapat pada sampel ini sama dengan sampel lainnya yaitu M23X6. Pada sampel yang memiliki komposisi 0.15C0N dengan sampel yang memiliki komposisi 0.25C0N terdapat perbedaan pada jumlah presipitat yang terdapat pada permukaan sampel. Semakin banyak presipitat pada material Co-CrMo maka menunjukkan bahwa pada sampel tersebut memiliki kandungan karbon yang lebih banyak. Pada sampel yang memiliki komposisi 0.25C0N dengan sampel yang memiliki komposisi kimia 0.25C0.2N memiliki perbedaan yang signifikan pada distribusi presipitat. Pada sampel memiliki distribusi presipitat yang lebih baik dibandingkan dengan sampel lainnya karena adanya penambahan komposisi 53 nitrogen sebanyak 0.2% Hal ini disebabkan karena unsur nitrogen memiliki kemampuan melarutkan unsur-unsur paduan lain yang ada ke dalam matriks. Pada masing-masing sampel hasil dari XRD terdapat perbedaan tingginya peak disetiap sampel dan laku panas. Perbedaan tingginya peak itu diakibatkan pada saat mengekstraksi sampel dengan metode electrolytic extracted dan kemudian disaring menggunakan membran filter, ada perbedaan banyaknya presipitat yang tersaring pada membran filter sehingga mengakibatkan perbedaan tinggi peak tersebut.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

3. Temperatur dan waktu tahan aging mempengaruhi jumlah presipitat dan struktur mikro masing masing sampel. Pada sampel 0.15C0N mempunyai paling sedikit presipitat dari sampel 0.25C0N dan 0.25C0.2N. Pada sampel 0.25C0.2N mempunyai distribusi presipitat yang paling merata.
4. Temperatur dan waktu tahan aging mempengaruhi nilai dari kekerasan paduan Co-Cr-Mo-C-N. Kekerasan tertinggi didapat dengan perlakuan aging dengan temperatur 700oC dan yang terendah didapat dengan perlakuan aging dengan temperatur 500oC.
5. Presipitat yang terdeteksi pada semua sampel setelah diberi perlakuan aging dengan temperatur 500oC, 600oC, 700oC dan waktu tahan 7,2 ks adalah fasa M23X6, kecuali pada sampel 0.25C0N pada perlakuan aging dengan temperatur 700oC didapat presipitat M23X6 dan fasa .
6. Komposisi paduan karbon dan nitrogen mempengaruhi struktur mikro dan kekerasan paduan Co-Cr-Mo-C-N.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASM Speciality Handbook. Heat-Resistant Materials
- [2] Standard Specification For Cast Cobalt-28 Chromium- 6 Molybdenum Alloy Castings and Casting Alloy for Surgical Implants : ASTM Designation F75-01. In: Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken: ASTM. 2004, Page 44-47.
- [3] Alfirano et al. 2011. Precipitates in As-Cast and Heat-Treated ASTM F75 CoCr-Mo-C Alloys Containing Si or Mn
- [4] Alfirano et al. 2012. Precipitates in Biomedical Co-Cr-Mo-C-N-Si-Mn Alloys ASM Handbook Vol. 9, 2004. Metallography and Microstructures. ASM International. p. 762-774
- [5] Avner, Sidney H. 1982. Introduction to Physical Metallurgy. Second Edition McGraw-Hill International Book Company. Tokyo
- [6] Bellefontaine, George.2010. The Corrosion Of CoCrMo Alloys for Biomedical Application. University of Birmingham. Inggris
- [7] Kokubo, T., Kushitani, H et al., Solutions able to reproduce in vivo surface structure changes in bioactive glass ceramic A-W, J. Biomed. Mater. Res., 24, 721-734 (1990).
- [8] Lee Sang-Hak et al. 2006. Effect of Carbon Addition on Microstructure and Mechanical Properties of a Wrought Co-Cr-Mo Implant Alloy. The Japan Institute of Metals 57 56
- [9] Mineta Shingo et al. 2012. Phase and Formation/Dissolutios in Biomedical Co-Cr-Mo Alloys with Nitrogen Addition
- [10] Mitsuo, Ninomi. 2002. Recent Metallic Materials for Biomedical Applications. Toyohashi University of Technology. Japan
- [11] Okazaki Yoshimitsu et al. 2004. Comparison of metal release from various metallic biomaterials in vitro. Jepang
- [12] Podrez-Radziszewska et.al. 2010. Characteristic of intermetallic phases in cast dental CoCrMo alloy. Wroclaw University of Technology. Polandia
- [13] Prasetyo Agung. 2010. Pengaruh Variasi Kandungan Silikon Terhadap Korosi Paduan Kobalt (ASTM F 75) Hasil Metalurgi Serbuk dalam Larutan Artificial Blood Plasma dengan Teknik Polarisasi Potensiodinamik dan Teknik Exposure. FT UI. Depok
- [14] Rodriguez, Brendamari. 2004. Biomaterials for Orthopedics. Puerto Rico. University of Puerto Rico, Mayaguez

- [15] Smallman R E dan Bishop R J. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material Edisi 6*. Erlangga. Jakarta
- [16] Sudjatmoko. 2008. *Kajian Pemanfaatan Biomaterial Austenitik 316l Dalam Bidang Orthopedik*. BATAN. Yogyakarta
- [17] Wiranata Hezti. 2012. *Sintesis Paduan CoCrMo dengan Variasi Kandungan Nitrogen*. IPB. Bogor
- [18] R. N. J Taylor dan R. B Waterhouse. 1983. *Study of Ageing Behaviour of a Cobalt Base Implant Alloy*. Chapman and Hall UK 58 56
- [19] L.A. Dobrzański et al. 2012. *Effect of Age Hardening On Corrosion Resistance and Hardness of CoCrMo Alloys Used in Dental Engineering*. International OCSCO World Press
- [20] L. Reinmann et al. 2013. *Influence of The Heat Treatment of Two Base Metal Alloys Use on Dental Prosthesis on Corossion Resistance*. International OCSCO World Press
- [21] Jose Escobendo et al. 1996. *Effect of Nitrogen on the Microstructure and Mechanical Properties of a Co-Cr-Mo Alloy*. Elsevier Science Ltd
- [22] Beltran A.M. 1987. *Cobalt-Base Alloys, in Superalloys II*. New York. p.144
- [23] Yuswono, Ir. M.Eng. 2009. *Peningkatan Sifat Mekanik Kandungan Si Di Dalam Paduan Logam Implan Co-30%Cr-6%Mo Terhadap Pembentukan Fasa Intermetalik Dalam Ukuran Skala Nano*, Pusat Penelitian Metalurgi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.