

PERILAKU AGING PADUAN IMPLAN Co-Cr-Mo DENGAN PENAMBAHAN NITROGEN DAN PENGARUHNYA TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK

Noviardi¹, Alfirano², Cahya Sutowo³

1. Mahasiswa Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

2. Dosen Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

3. Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI

E-mail: noviardi1992@gmail.com, csutowo@yahoo.com, alfirano@ft-untirta.ac.id

Abstrak

Logam paduan Co-Cr-Mo (ASTM F75) merupakan logam implan dari hasil casting yang perlu dilakukan proses perlakuan panas lanjutan untuk mendapatkan sifat fisik dan mekanik yang diinginkan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perilaku aging terhadap struktur mikro dan kekerasan yang terbentuk pada paduan Co-Cr-Mo. Komposisi paduan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: Co-28Cr-6Mo-0,25C-0N dan Co-28Cr-6Mo-0,25C-0,2N. Spesimen yang berbentuk ingot dipotong dengan dimensi 10 mm x 10 mm x 5 mm serta dimasukan kedalam silica ampoule, kemudian dilakukan solution treatment pada temperatur 1250 °C selama 12 jam dan didinginkan dengan media air es. Selanjutnya dilakukan proses aging treatment pada temperatur 800 °C, 900 °C, 1000 °C dan 1100 °C dengan waktu tahan masing-masing sampel 12 jam, 18 jam dan 24 jam serta didinginkan dengan media air es. Karakterisasi yang digunakan meliputi pengamatan morfologi struktur mikro dengan menggunakan OM dan SEM-EDS, pengujian kekerasan serta pengujian XRD untuk setiap perlakuan pada as-cast, solution treatment, dan aging treatment. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa kekerasan paduan Co-Cr-Mo meningkat seiring dengan semakin lama waktu tahan pada proses aging, sedangkan semakin tinggi temperatur aging menyebabkan kekerasan paduan akan semakin menurun. Hasil pengujian XRD menunjukkan terdapat dua macam fasa yang terbentuk pada paduan, yaitu fasa presipitat karbida tipe $M_{23}X_6$ dan fasa η ($M_{12}X$). Dengan penambahan unsur nitrogen akan memperluas wilayah pembentukan fasa η , mempercepat dan menstabilkan pembentukan fasa η pada paduan Co-Cr-Mo. Peningkatan kekerasan seiring dengan distribusi presipitat yang semakin merata mengindikasikan terjadinya mekanisme precipitation hardening.

Kata Kunci: Co-Cr-Mo (ASTM F75), as-cast, solution treatment, aging treatment, precipitation hardening.

PENDAHULUAN

Setiap tahun jutaan orang di dunia menderita berbagai penyakit tulang yang diakibatkan oleh trauma, tumor, osteoporosis atau patah tulang. Salah satu usaha untuk tetap memiliki harapan hidup pada kasus-kasus ini yaitu dengan teknik implantasi untuk menggantikan jaringan tulang yang hilang atau rusak. Banyaknya kerusakan tulang yang substansial pada berbagai kasus tersebut semakin meningkatkan kebutuhan akan bahan implan atau biomaterial yang mampu menggantikan fungsi dari jaringan tulang yang rusak. Dengan meningkatnya jumlah permintaan biomaterial, pengembangan bahan biomaterial logam untuk aplikasi biomedis ini merupakan suatu kebutuhan yang sangat penting^[1]. Badan kesehatan dunia (WHO) mencatat tahun 2005 terdapat lebih dari 7 juta orang meninggal dikarenakan insiden kecelakaan dan sekitar 2 juta orang mengalami kecacatan fisik. Data dari *International*

Osteoporosis Foundation (IOF) menyebutkan bahwa di seluruh dunia, satu dari tiga wanita dan satu dari delapan pria yang berusia di atas 50 tahun memiliki risiko mengalami patah tulang akibat osteoporosis dalam hidup.

Logam yang memiliki sifat biokompatibilitas adalah logam implan dalam tubuh yang tidak ditolak tubuh, tidak menimbulkan alergi, dan dapat menyatu dengan jaringan, seperti jaringan tulang^[2]. Salah satu logam yang sering digunakan untuk mengganti implan jaringan tubuh yang rusak adalah logam berbasis kobalt (Co). Kobalt merupakan material implan logam yang banyak digunakan untuk mengganti jaringan tubuh yang mengalami gesekan seperti pada sambungan tulang pinggul dan lutut. Material dengan paduan Co-Cr-Mo ini memiliki biokompatibilitas yang baik, ketahanan terhadap korosi, ketahanan aus yang tinggi dan sifat mekanik yang baik sehingga dapat digunakan sebagai material implan^[3-5]. Oleh

karena itu dibutuhkan perbaikan karakteristik pada paduan ini terutama pada ketahanan aus dan ketahanan sifat mekanik guna memperluas kemajuan aplikasi biomedis dari paduan ini ^[6].

Paduan Co-Cr-Mo (ASTM F75) hasil *investment casting* memiliki sejumlah presipitat yang tersebar di dalam matrik. Sifat mekanik Co-Cr-Mo sangat dipengaruhi oleh jumlah dan distribusi presipitat yang tersebar didalam matriks. Oleh karena itu, karbida yang terbentuk selama proses *treatment* pada paduan Co-Cr-Mo perlu diketahui. Senyawa karbida yang mengendap dan terlarut perlu diketahui untuk efektivitas dalam proses manufaktur paduan Co-Cr-Mo yang secara sistematis menerangkan pembentukan karbida selama perlakuan dalam pengerjaan ^[7].

Adapun tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh perlakuan *aging* pada paduan Co-Cr-Mo (ASTM F75) dengan variasi nitrogen terhadap struktur mikro, fasa presipitat dan sifat mekanik yang terbentuk.

PROSEDUR PENELITIAN

A. Preparasi Spesimen

Dalam penelitian ini menggunakan spesimen standard ASTM F75 yang didapat dari *Yoneda Advance Casting co Ltd Takaoka*, Jepang dengan komposisi paduan seperti pada Tabel 1. Mula-mula spesimen dipotong dengan dimensi 10 mm x 10 mm x 5 mm menggunakan mesin potong yang dilakukan di Laboratorium Teknik Metalurgi - Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Untuk mengurangi dekarburisasi spesimen pada saat *heat treatment*, maka spesimen dimasukkan kedalam tabung *silica ampoule* dalam keadaan vakum. Pemasangan tabung *silica ampoule* dilakukan di bengkel gelas Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung.

B. Heat Treatment

Proses *heat treatment* dilakukan di Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Serpong dan Laboratorium Teknik Metalurgi - Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Prosedur yang pertama dilakukan adalah proses *solution treatment* dengan memasukkan sampel ke dalam *furnace* dan mengatur pada temperatur 1250 °C. Ketika mencapai temperatur 1250 °C *furnace* ditahan selama 12 jam. Setelah ditahan selama 12 jam, kemudian sampel dikeluarkan, pecahkan *silica ampoule* dan lakukan pendinginan menggunakan metode *quenching* dengan media

air es. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas maka dilakukan proses *aging*. Pada saat proses *aging*, prosedur pertama yang dilakukan adalah memasukkan sampel ke dalam *furnace*, dan mengatur *furnace* pada masing-masing temperatur 800 °C, 900 °C, 1000 °C dan 1100 °C serta waktu tahan 12 jam, 18 jam, 24 jam. Setelah selesai, sampel dikeluarkan dan memecahkan *silica ampoule* serta melakukan pendinginan menggunakan metode *quenching* dengan media air es.

C. Karakterisasi

Spesimen yang sudah dilakukan proses *heat treatment* kemudian dilakukan preparasi untuk karakterisasi selanjutnya. Untuk pengamatan struktur mikro, pada sampel dilakukan *grinding* dan *polishing*, kemudian di etsa dengan metode *electro- etching* menggunakan 10% H₂SO₄ dan 90% metanol serta dialirkan listrik 6 V pada suatu rangkaian alat *rectifier*. Setelah itu dilakukan pengamatan menggunakan *optical microscope* untuk melihat struktur mikro dan presipitat yang terbentuk. Selain itu pula dilakukan pengujian *Scanning Electron Microscope (Energy Dispersive Spectroscopy)* dengan menggunakan alat HITACHI SU3500 untuk mengetahui morfologi presipitat dan kandungan unsur pada paduan Co-Cr-Mo. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan pada setiap perlakuan *as-cast*, *solution treatment* dan *aging*. Pengujian kekerasan ini menggunakan *Rockwell hardness test* indentor *Rockwell C* dan pembebanan 1471 N sebanyak 3 titik di setiap spesimen uji.

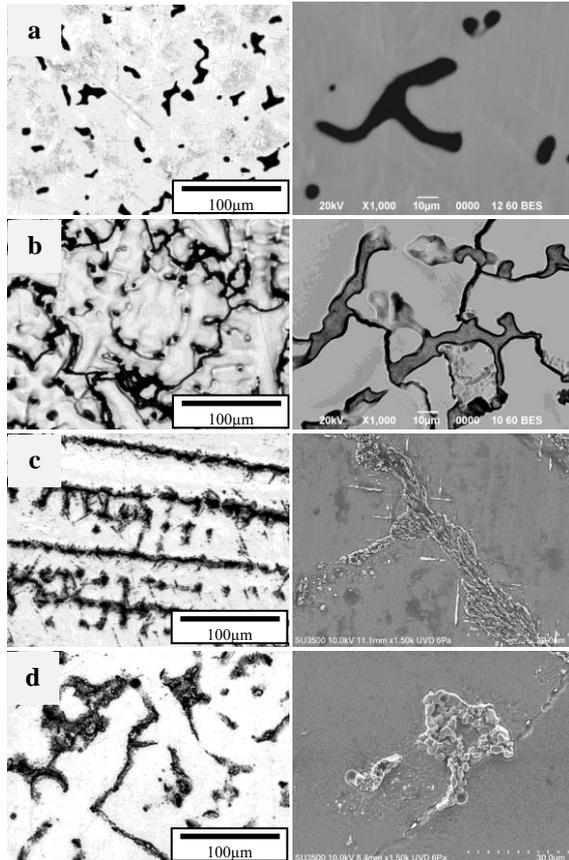
Selain itu dilakukan proses ekstrak sampel untuk dilakukan analisa XRD. Ekstrak dilakukan dengan metode *electrolitically extracted* dalam larutan 10% H₂SO₄ dan 90% aquades serta dialiri listrik sebesar 4 volt yang diatur menggunakan alat *rectifier* selama kurang lebih satu jam. Dari hasil proses ekstrak diperoleh larutan yang sudah tercampur dengan ion-ion yang terkandung pada sampel yang kemudian larutan tersebut disaring dengan menggunakan *membrane filter* ukuran 0,2 mikron dalam keadaan vakum. Ion-ion yang telah tersaring kemudian dilakukan analisa menggunakan pengujian XRD. Penentuan fasa dan presipitat yang terbentuk pada paduan Co-Cr-Mo dilakukan analisa menggunakan JCPDS (*Joint Committee Powder Diffraction Society*) *card*. JCPDS merupakan pedoman dalam penentuan pola difraksi hasil XRD. Adapun JCPDS *card* yang digunakan adalah JCPDS *card* no. 35-0783 dan JCPDS *card* no. 80-0338.

Tabel 1. Komposisi paduan Co-Cr-Mo ASTM F75 (% mass)

Paduan	Co	C	Cr	Mo	Si	Mn	Fe	Ni	N
0,25C - 0N	63,55	0,25	28	6	0,8	0,8	0,4	0,2	0
0,25C - 0,2N	63,55	0,25	28	6	0,8	0,8	0,4	0,2	0,2

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan Struktur Mikro



Gambar 1. Struktur mikro menggunakan *optical microscope* dan SEM-EDS untuk sampel *as-cast* (a) 0,25C-0N, (b) 0,25C-0,2N; sampel setelah *solution treatment* (c) 0,25C-0N, (d) 0,25C-0,2N

Tabel 2. Persen atom dan persen massa hasil SEM-EDS presipitat *as-cast* paduan (a) 0,25C - 0N, (b) 0,25C-0,2N

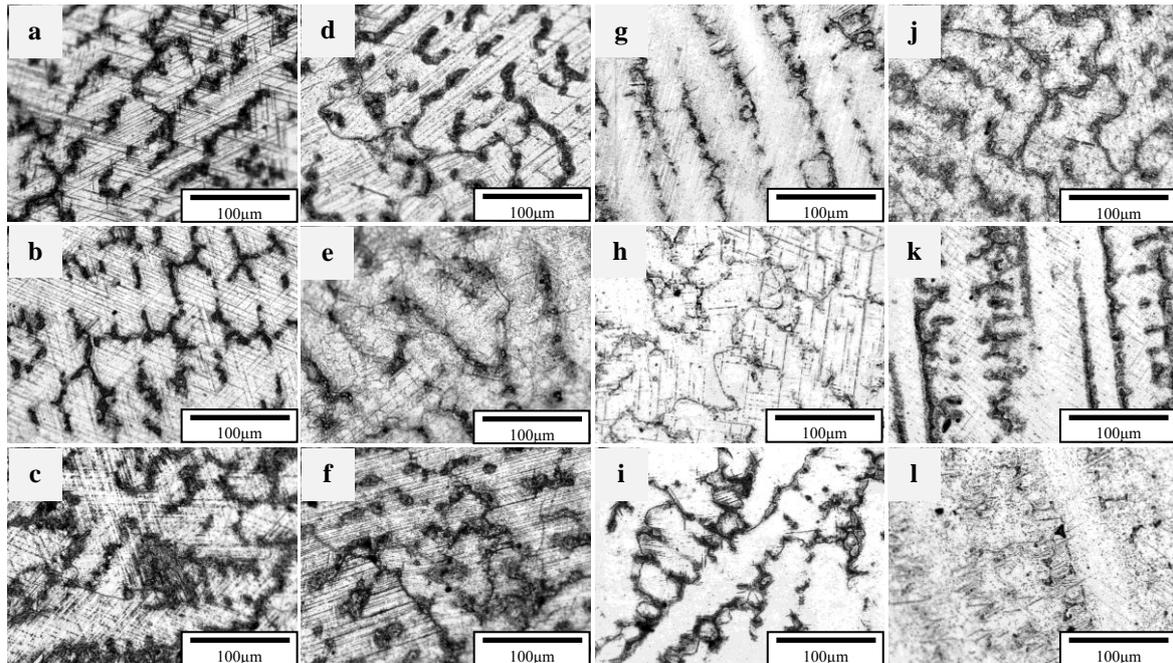
Unsur	(a)		(b)	
	% atom	% massa	% atom	% massa
C	49,86	17,87	45,28	15,39
N	-	-	1,83	0,72
Si	0,08	0,07	0,25	0,20
Cr	37,37	57,97	20,72	30,49
Mn	1,00	1,63	1,47	2,29
Fe	0,30	0,50	0,67	1,05
Co	9,61	16,89	29,59	49,33
Ni	0,03	0,05	-	-
Mo	1,75	5,02	0,20	0,54

Dari hasil pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik dan SEM-EDS dapat dilihat bahwa terdapat presipitat disetiap matriks paduan Co-Cr-Mo. Presipitat yang terbentuk memiliki morfologi berbentuk *blocky* dan juga *lamellar*. Salah satu elemen penting dalam pembentukan presipitat dalam paduan Co-Cr-Mo adalah karbon dan nitrogen, dimana karbon berfungsi sebagai penyetabil fasa γ (fcc) dan pembentuk fasa kedua presipitat [8]. Gambar 1c dan 1d merupakan struktur mikro paduan setelah dilakukan proses *solution treatment* terhadap kedua paduan 0,25C-0N dan 0,25C-0,2N. Terlihat pada gambar, ketika dilakukan proses *solution treatment* maka morfologi presipitat yang terbentuk berupa butiran-butiran hitam yang kemudian berkumpul dan membentuk sebuah koloni. Presipitat yang muncul pada paduan hasil *solution treatment* merupakan presipitat yang tidak sempat larut atau hanya larut sebagian pada saat proses *solution treatment* berlangsung.

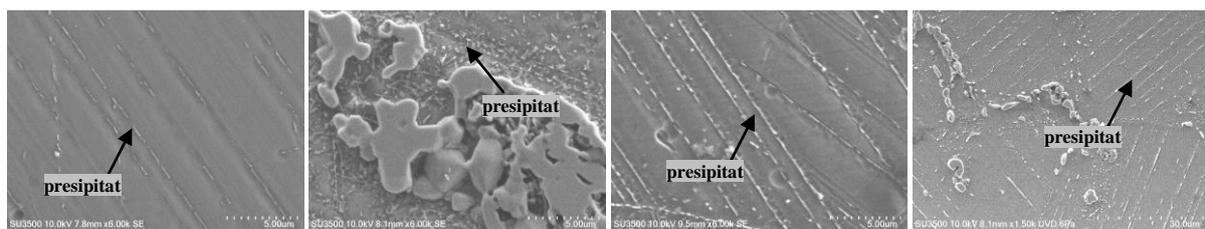
Pada Gambar 2 dan Gambar 3, setelah diberikan perlakuan *aging* pada paduan, maka mulai muncul kembali presipitat yang dimulai pada temperatur pemanasan 800 °C hingga temperatur 1100 °C dengan waktu tahan masing-masing 12 jam, 18 jam dan 24 jam. Temperatur dan waktu tahan proses *aging* yang berbeda dapat memberikan morfologi presipitat yang berbeda pula. Presipitat yang terbentuk berupa karbida, dimana karbon pembentuk karbida berupa fasa tipe $M_{23}X_6$ yang kuat [7], dengan penambahan kadar nitrogen pada paduan maka presipitat yang terbentuk akan semakin banyak. Perlakuan *aging* pada paduan Co-Cr-Mo dilakukan untuk memunculkan kembali inti-inti presipitat pada matriks yang telah larut pada saat proses *solution treatment*, yang kemudian presipitat akan menyatu dan membentuk lamel-lamel seperti garis panjang yang teratur. Terlihat pada sampel setelah diberikan perlakuan *aging*, maka presipitat yang terbentuk lebih banyak dan berbentuk *lamellar*, ada pula presipitat yang berbentuk garis-garis yang tidak putus, garis tersebut menurut penelitian Sh. Zangeneh et al dinamakan *continuous precipitation carbides*, sedangkan garis yang putus-putus dinamakan

dengan *discontinuous precipitation carbides* [13] (pada Gambar 3). Semakin tinggi temperatur dan waktu tahan proses *aging* maka inti-inti presipitat tersebut akan terus muncul dan tersebar pada seluruh bagian matriks paduan Co-Cr-Mo. Dapat dikatakan bahwa presipitat yang muncul akibat proses *aging* akan semakin meningkat dan halus seiring dengan meningkatnya temperatur dan waktu tahan pada saat proses *aging* berlangsung. Selain itu, dengan penambahan unsur nitrogen

pada paduan Co-Cr-Mo, maka akan meningkatkan aktivitas karbon pada temperatur tinggi [9]. Sehingga dengan adanya penambahan unsur nitrogen pada paduan, maka pembentukan fasa presipitat sebagai fasa kedua akan semakin meningkat. Penambahan nitrogen pada paduan juga berperan sebagai unsur penstabil presipitat M_2X dan fasa η . Selain itu juga nitrogen dapat menstabilkan fasa γ dengan cara menekan laju perubahan dari fasa γ ke fasa ϵ [10].



Gambar 2. Struktur mikro menggunakan *optical microscope* hasil perlakuan *aging* pada temperatur 800 °C untuk sampel 0,25C-0N (a) 12 jam, (b) 18 jam, (c) 24 jam; sampel 0,25C-0,2N (d) 12 jam, (e) 18 jam, (f) 24 jam serta pada temperatur 1100 °C untuk sampel 0,25C-0N (g) 12 jam, (h) 18 jam, (i) 24 jam; sampel 0,25C-0,2N (j) 12 jam, (k) 18 jam, (l) 24 jam



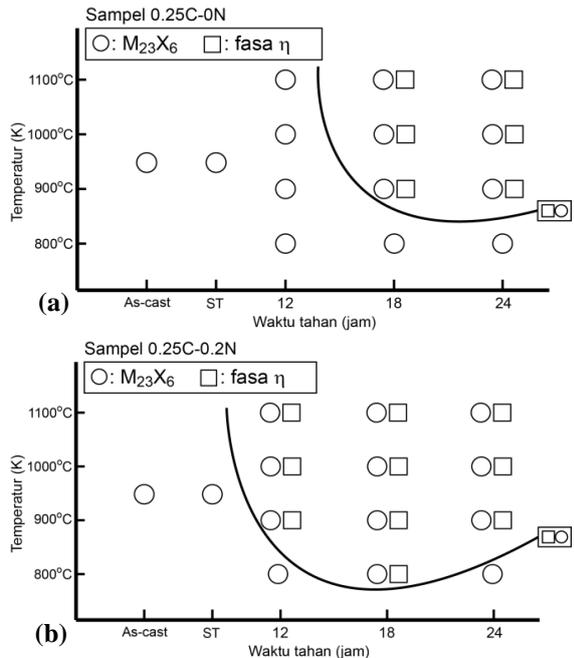
Gambar 3. Morfologi presipitat menggunakan SEM-EDS hasil perlakuan *aging*

Pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan terhadap masing-masing sampel *as-cast*, *solution treatment* dan setelah diberikan perlakuan *aging* pada temperatur dan waktu yang telah ditentukan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tipe fasa dan tipe presipitat yang terbentuk pada paduan Co-Cr-Mo dengan atau tanpa adanya penambahan kandungan nitrogen. Dari hasil

pengujian XRD ini terdeteksi fasa karbida $M_{23}X_6$ pada sampel *as-cast* dan *solution treatment*. Hal tersebut dikarenakan unsur karbon pada paduan bertindak sebagai penstabil presipitat tipe $M_{23}X_6$ ($Cr_{23}C_6$). Karbon merupakan elemen penting dalam pembentukan presipitat, karbon cenderung membentuk presipitat dengan fasa $M_{23}X_6$ [11]. Pada sampel *as-cast* dan *solution treatment* dengan kandungan karbon 0,25% fasa σ tidak muncul, ini dikarenakan fasa σ hanya terbentuk

pada paduan Co-Cr-Mo dengan kandungan karbon rendah yaitu 0,001% dan 0,12%^[9]. Fasa σ akan bereaksi dengan karbon yang terlarut kemudian membentuk presipitat dengan fasa $M_{23}X_6$ dan fasa η selama proses pembekuan ($\sigma + C \rightarrow M_{23}X_6 + \text{fasa } \eta$). Pada paduan dengan penambahan unsur nitrogen akan menurunkan waktu yang dibutuhkan presipitat untuk larut sempurna pada temperatur 1473-1523 K^[15].

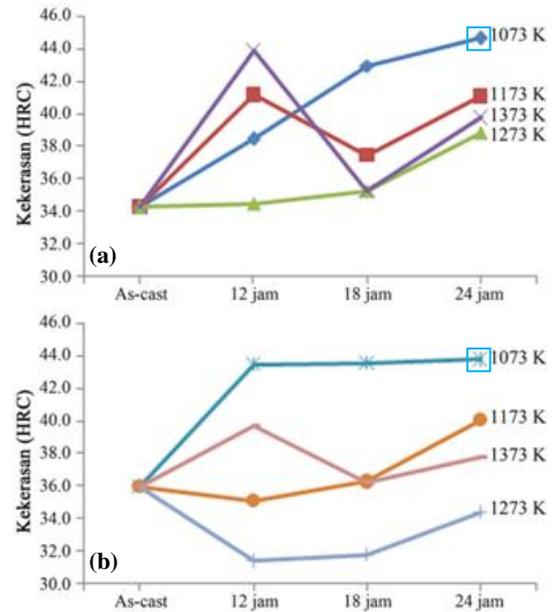


Gambar 4. Kurva pembentukan fasa presipitat pada paduan (a) 0,25C-0N, (b) 0,25C-0,2N

Garis melengkung Pada Gambar 4.(a)(b) tersebut merupakan batas mulai terbentuknya fasa lain pada paduan. Pada paduan 0,25C-0N (Gambar 4.a) luas wilayah pembentukan fasa η lebih sempit jika di bandingkan dengan paduan 0,25C-0,2N (Gambar 4.b). Selain itu, pada paduan dengan penambahan unsur nitrogen didalam paduan terlihat lebih cepat membentuk fasa η pada temperatur 800 °C jika dibandingkan dengan sampel tanpa penambahan nitrogen yang mulai terbentuk fasa η pada temperatur 900 °C . Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa, dengan penambahan unsur nitrogen pada paduan Co-Cr-Mo yang dilakukan proses perlakuan *aging*, maka akan memperluas wilayah pembentukan fasa η , mempercepat pembentukan fasa η serta menyetabilkan fasa η pada paduan Co-Cr-Mo.

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini menggunakan alat uji *Rockwell hardness test* dengan indenter *Rockwell C* serta pembebanan 1471 N.



Gambar 5. Grafik nilai rata-rata kekerasan terhadap waktu *aging* paduan (a) 0,25C-0N dan (b) 0,25C-0,2N

Hasil perlakuan *aging* pada Gambar 5 terlihat bahwa nilai kekerasan optimal untuk sampel 0,25C-0N terdapat pada hasil *aging* temperatur 800 °C dengan waktu tahan 24 jam yaitu sebesar 44.7 HRC dan nilai kekerasan optimal untuk sampel 0,25C-0,2 N terdapat pada sampel hasil *aging* pada temperatur 800 °C dengan waktu tahan 24 jam yaitu sebesar 43.8 HRC. Hal ini dapat dikatakan bahwa pada temperatur 800 °C tersebut merupakan temperatur *aging* yang optimal untuk paduan Co-Cr-Mo sehingga memberikan kecepatan pengintian tertinggi. Semakin tinggi temperatur *aging* maka kecepatan pengintian pun akan semakin lama. Mekanisme kekerasan pada paduan Co-Cr-Mo pada saat perlakuan panas terjadi karena pada kondisi γ pada paduan Co-Cr-Mo mengalami pengerasan yang disebabkan oleh presipitat^[12].

Secara umum dari data hasil perlakuan *aging* terhadap nilai kekerasan paduan Co-Cr-Mo dapat dikatakan bahwa, nilai kekerasan paduan akan semakin meningkat seiring dengan waktu tahan yang semakin lama pada saat proses perlakuan *aging*, hal ini dikarenakan semakin lama waktu *aging* maka presipitat yang terbentuk akan semakin halus dan terdistribusi secara merata pada matriks paduan Co-Cr-Mo^[13-14]. Berbeda hal dengan penigkatan temperatur *aging*, semakin tinggi temperatur *aging* yang digunakan, maka nilai kekerasan paduan cenderung mengalami penurunan. Hal ini terjadi dikarenakan pada temperatur yang semakin

tinggi maka energi aktivasi yang dibutuhkan atom untuk berdifusi akan semakin besar dan proses pengintian pun akan semakin lama.

Semakin tinggi temperatur dan waktu tahan *heat treatment* maka presipitat akan semakin larut sempurna, sehingga pengerasan terjadi akibat terbentuknya martensit pada γ karena pada γ paduan Co-Cr-Mo pengerasan terjadi akibat *solid-solution strengthened*.^[10]

KESIMPULAN

Pengaruh perlakuan *aging* pada paduan Co-Cr-Mo (ASTM F75) dengan variasi nitrogen telah dilakukan pada temperatur 800 °C – 1100 °C dengan waktu tahan 12, 18, 24 jam serta pengaruhnya terhadap struktur mikro, fasa presipitat dan sifat mekanik yang terbentuk. Dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin tinggi temperatur, waktu tahan dan penambahan nitrogen pada paduan Co-Cr-Mo maka distribusi dan bentuk presipitat yang terbentuk akan tersebar merata dan semakin halus.
2. Pada umumnya fasa yang terbentuk setelah dilakukan proses *aging* adalah fasa $M_{23}X_6$ dan fasa η .
3. Penambahan kandungan nitrogen dapat memperluas wilayah pembentukan fasa η , mempercepat pembentukan fasa η serta menstabilkan pembentukan fasa η pada paduan Co-Cr-Mo.
4. Dari hasil pengujian kekerasan diperoleh nilai paduan Co-Cr-Mo akan meningkat seiring dengan semakin lamanya waktu tahan pada proses *aging*, sedangkan semakin tinggi temperatur *aging* menyebabkan kekerasan paduan akan semakin menurun.
5. Nilai kekerasan optimum untuk sampel 0.25C-0N terdapat pada sampel hasil perlakuan *aging* temperatur 800 °C dengan waktu tahan 24 jam yaitu sebesar 44.7 HRC dan nilai kekerasan optimum untuk sampel 0.25C-0.2 N terdapat pada sampel hasil *aging* temperatur 800 °C dengan waktu tahan 24 jam yaitu sebesar 43.8 HRC.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Mitsuo Niinomi, et al. 2005. *Japanese Research and Development on Metallic Biomedical, Dental and Healthcare Materials*, p 21.
- [2] Yuswono. 2005. *Pembuatan Logam Paduan Biocompatibel (Co-30%Cr-5%Mo) Melalui Pengerjaan Tempa*. Seminar Material Metalurgi. LIPI.
- [3] Mitsuo Niinomi. 2002. *Recent metallic materials for biomedical applications*. Metall. Mater. Trans. A 33, 477–486.
- [4] Buford A et al. 2004. *Review of wear mechanisms in hip implants: paper I – general*. Mater. Design 25, 385-393.
- [5] Chiba et al. 2007. *Pin-no-disk wear behavior in a like-on-like configuration in a biological environment of high carbon cast and low carbon forged Co-29Cr-6Mo alloys*. Acta Mater. 55, 1309-1318.
- [6] Mineta Shingo et al., 2010. *Carbide formation and dissolution in biomedical Co-Cr-Mo alloys with different carbon contents during solution treatment*. Metall. Mater. Trans. A 41A, 2129–2138.
- [7] Alfirano et al. 2011. *Precipitates in As-Cast and Heat-Treated ASTM F75 Co-Cr-Mo-C Alloys Containing Si or Mn*.
- [8] Bellefontaine George. 2010. *The corrosion of Co Cr Mo Alloys for Biomedical Application*. University of Birmingham Research Archive.
- [9] Mineta 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)*. The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International.
- [10] Narushima et al. 2015. *Co-Cr Alloys as Effective Metallic Biomaterials*.
- [11] Alfirano et al. 2012. *Precipitates in Biomedical Co-Cr-Mo-C-N-Si-Mn Alloys*. The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International.
- [12] ASM Speciality Handbook. Heat-Resistant Materials.
- [13] Sh. Zangeneh et al. 2010. *Effect of Isothermal Aging on The Microstructural Evolution of Co-Cr-Mo Alloy*. Elsevier.
- [14] H. S. Dobbs, J. L. M. Robertson. 1983. *Heat Treatment of Cast Co-Cr-Mo for Orthopedic Implant Use*. Journal Of Material Science 18 (1983) 391-401.
- [15] Narushima Takayuki et al. 2013. *Precipitates in Biomedical Co-Cr Alloys*. JOM, Vol. 65, No. 4, 2013.