

# PENGARUH PROSES AGING PADA PADUAN Co-Cr-Mo TERHADAP KEKERASAN DAN KETAHANAN KOROSI UNTUK APLIKASI BIOMEDIS

Vicky Dewayanto<sup>1</sup>, Bambang Sriyono<sup>2</sup>, Alfirano<sup>3</sup>

[1,3] Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

[2] Pusat Penelitian Metalurgi Dan Material – LIPI

Email: [vickydewayanto@gmail.com](mailto:vickydewayanto@gmail.com)

## Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang aging pada paduan berbasis kobalt. Penelitian ini menggunakan paduan Co-Cr-Mo (ASTM F75) hasil investment casting dengan memvariasikan penambahan karbon 0,15 dan 0,25%*C* serta penambahan nitrogen 0,2%*N*. Paduan Co-Cr-Mo kemudian dilakukan solution treatment pada temperatur 1250 °C selama 6 jam. Kemudian material dilakukan proses aging dengan temperatur 600°C dengan waktu tahan aging 0, 2, 6, 12, dan 24 jam secara berturut turut dan kemudian di quench dengan media air. Setelah proses aging, material dilakukan pemeriksaan metalografi untuk mengetahui evolusi mikrostruktur hasil aging. Selajutnya material dilakukan uji kekerasan dengan metode Rockwell C. Untuk analisa fasa yang terbentuk dilakukan proses XRD dengan metode electrolytic extracted dengan menggunakan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10% , hasil ekstrak kemudian di saring dengan menggunakan membran saring dalam keadaan vakum untuk mendapatkan presipitatnya. Material selanjutnya dilakukan pengujian korosi dengan menggunakan alat CMS (Corrosion Measurement System) dengan metode Tafel untuk mengetahui laju korosi tiap material. Presipitat yang terbentuk selama proses aging yakni fasa karbida (Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>). Paduan Co-Cr-Mo dengan kandungan karbon yang tinggi menyebabkan tingkat kelarutan presipitat yang semakin rendah, hal tersebut dikarenakan fasa karbida Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> terbentuk karena adanya karbon dalam paduan yang menyebabkan presipitat yang terbentuk lebih sulit terlarut. Kadar karbon juga mempengaruhi kekerasan, nilai kekerasan tertinggi pada paduan Co-Cr-Mo dengan kadar karbon 0,25 %*C* waktu tahan aging 6 jam sebesar 38,9 HRC. Kadar karbon juga mempengaruhi nilai ketahanan korosi, laju korosi yang paling rendah juga terjadi pada paduan Co-Cr-Mo dengan kadar karbon 0,25 %*C* waktu tahan aging 12 jam sebesar 0,005649 mpy.

Kata kunci: aging, Co-Cr-Mo, presipitat, karbon

## PENDAHULUAN

Untuk mengantisipasi berbagai penyakit tulang dan meningkatkan kualitas hidup penduduk, kemajuan bidang rekayasa telah berhasil mengembangkan suatu material substitusi/implan yang bertujuan untuk mengganti jaringan yang rusak, material ini disebut biomaterial. Biomaterial adalah semua material sintetik maupun alami yang digunakan dalam praktek klinik yang bertujuan sebagai pengganti, penstabil, ataupun penguat jaringan tubuh yang rusak dan dapat diterima dengan baik oleh tubuh.

Paduan Co-Cr-Mo terdaftar pada ASTM F75 dan ASTM F799 sebagai material implan yang diproduksi melalui proses cor dan tempa. Paduan Co-Cr-Mo digunakan sebagai implan karena memiliki ketahanan korosi dan ketahanan aus yang tinggi yang diakibatkan pengerasan presipitat dengan pembentukan karbida pada matrik.[1]

Logam paduan Co-Cr-Mo ASTM F75 merupakan paduan dari hasil coran yang perlu dilakukan proses perlakuan panas untuk mendapatkan struktur mikro yang seragam. Paduan Co-Cr-Mo yang memiliki keunggulan ketahanan korosi yang baik cocok digunakan pada bagian persendian yang bergerak (*sliding part*) contohnya sendi peluru pada panggul yang akan sering mengalami gesekan yang dapat menyebabkan korosi. Dengan berbagai variasi

temperatur dan waktu tahan aging dan menggunakan media pendingin diharapkan dapat dicapai jumlah presipitat yang sesuai untuk mencapai ketahanan korosi yang diinginkan [1]. Ketahanan korosi yang rendah dapat mengakibatkan kegagalan implan klinis, osteolisis, dan reaksi alergi kulit apabila logam tersebut larut dalam cairan tubuh.

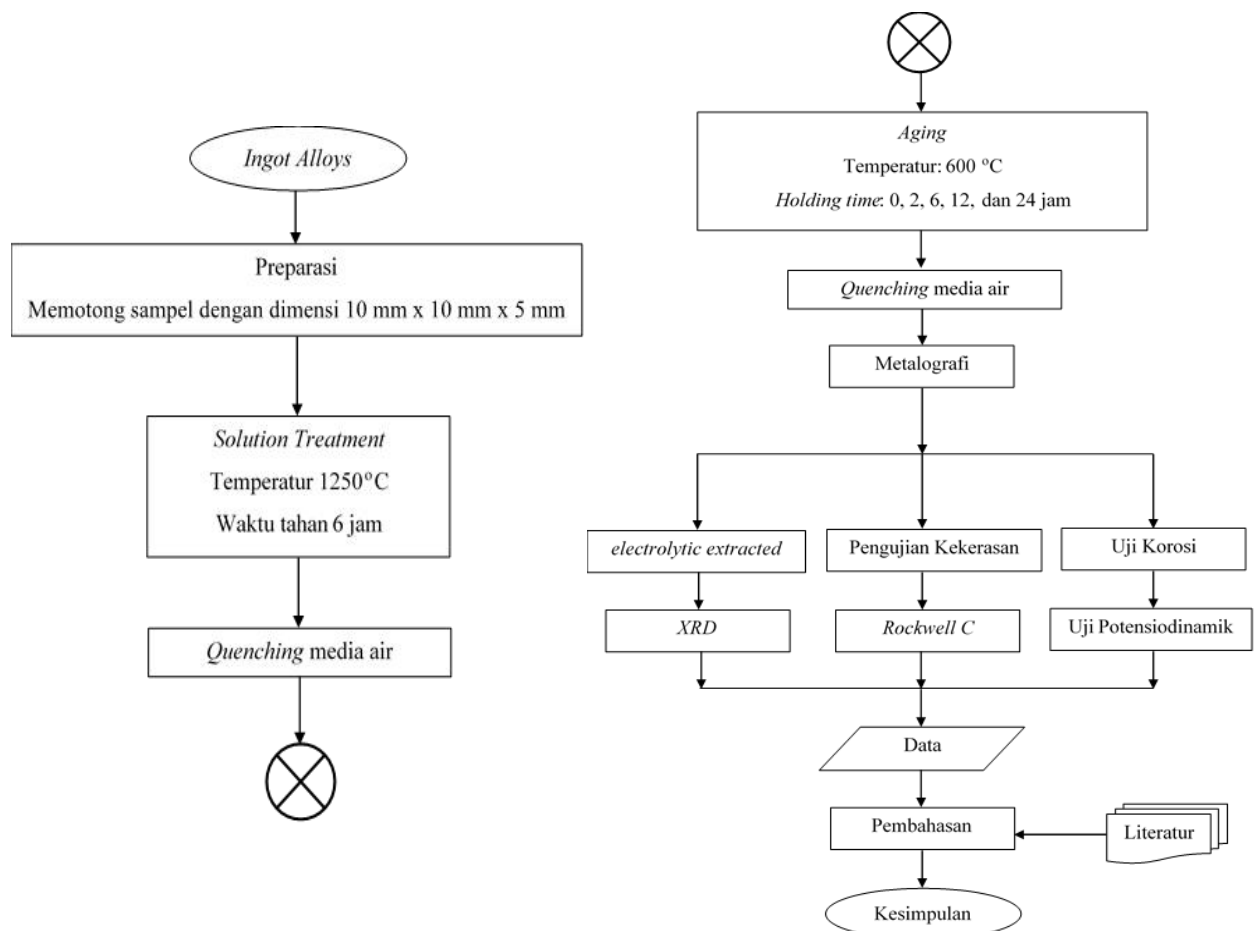
Berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh *aging* terhadap kekerasan dan ketahanan korosi dengan memvariasikan waktu tahan *aging* pada temperatur tertentu terhadap paduan tersebut.

## METODE PERCOBAAN

Spesimen 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. Berikut ini merupakan komposisi dari sampel yang digunakan pada penelitian ini yang dibedakan berdasarkan kadar karbon dan nitrogen.

**Tabel 1** Komposisi Sampel Paduan Co-Cr-Mo-C-N (%)

Sampel	Co	Cr	Mo	Si	Mn	Fe	Ni	N	C
0,15C0N	63,65	28	6	0,8	0,8	0,4	0,2	0	0,15
0,25C0N	63,55	28	6	0,8	0,8	0,4	0,2	0	0,25
0,25C0,2N	63,35	28	6	0,8	0,8	0,4	0,2	0,2	0,25



**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian

### Perlakuan Panas

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 kedalam 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 1250 °C (ST) dengan waktu tahan 6 jam.

Pada saat proses *heat treatment*, prosedur yang pertama dilakukan adalah mengatur *furnace* pada temperatur 1250 °C ketika mencapai temperatur 1250 °C masukkan 15 sampel yang berada pada *silica ampule* selama 6 jam kemudian keluarkan lalu pecahkan *silica ampule* dan lakukan pendinginan menggunakan metode *quench* dengan media air es.

Kemudian melakukan perlakuan panas metode *aging* dengan temperatur 600 °C dan variasi waktu tahan *aging* 0 jam, 2 jam, 6 jam, 12 jam, dan 24 jam yang kemudian melakukan proses pendinginan dengan metode *quenching* dengan media air. Setelah proses *aging* selanjutnya dilakukan pengamatan hasil yakni dengan pemeriksaan metalografi, XRD, pengujian kekerasan dan pengujian ketahanan korosi.

### Pengujian Kekerasan

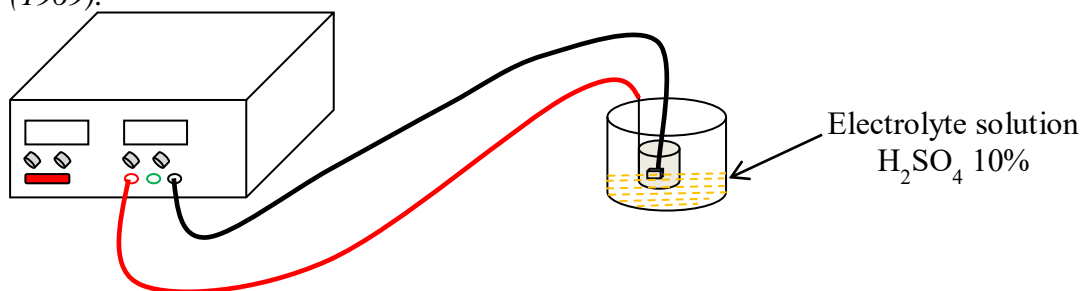
Untuk mengetahui sifat mekanik dari sampel hasil penelitian, maka dilakukan suatu pengujian merusak, yakni pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell C* pembebanan 1471N. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap sampelnya. Pengujian kekerasan dilakukan di P2MM LIPI, Serpong-Banten.

### Pemeriksaan Metalografi

Tahapan-tahapan yang dilakukan adalah *cutting*, *mounting*, *grinding* dengan amplas grid 80 sampai dengan 1200, kemudian *polishing* dengan menggunakan mikropolis alumina, setelah itu dilakukan *electrolytic etching* dengan campuran 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dalam larutan metanol pada 6V selama 90 detik, kemudian tahapan terakhir yakni *microscop observation* dengan menggunakan mikroskop optik.

### X-Ray Diffraction

Pengamatan fasa pada presipitat dalam sample setelah pemanasan dilakukan *electrolytic extracted* pada temperatur ruang dalam 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dalam larutan aquades pada 4V, presipitat yang terekstrak disaring dengan membran filter yang berukuran 0,2 mikron dalam keadaan vakum, presipitat yang tersaring dilakukan analisa fasa menggunakan difraksi sinar X. Standar analisa berdasarkan JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standard*) (1969).



Gambar 2. Skema *electrolytic extraction*

## Uji Ketahanan Korosi

Untuk mengetahui laju korosi dari tiap sampel setelah perlakuan panas yakni pengujian potensiodinamik dengan menggunakan alat CMS (*Corrosion Measurement System*) dengan menggunakan metode Tafel yang dilakukan di Laboratorium Korosi LIPI Metalurgi, Serpong-Banten. Larutan yang digunakan adalah larutan Hanks (*Simulted Body Fluid*) yang sejenis larutan biologis tubuh dengan pH  $\pm 7,4$  dalam temperatur  $\pm 37^\circ\text{C}$ .

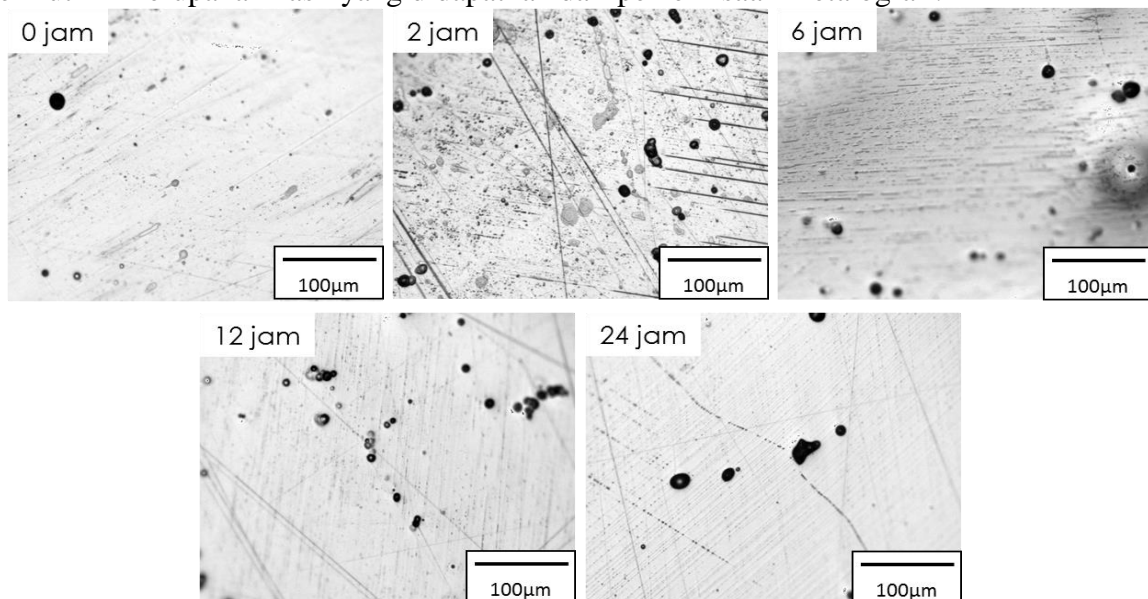
**Tabel 2** Komposisi Larutan Hank

Bahan Kimia	Konsentrasi (gr/L)
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,149
KCl	0,4
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,06
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	1,0
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	1,0
NaCl	8,0
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,048
NaHCO <sub>3</sub>	0,35
Glukosa	1,0

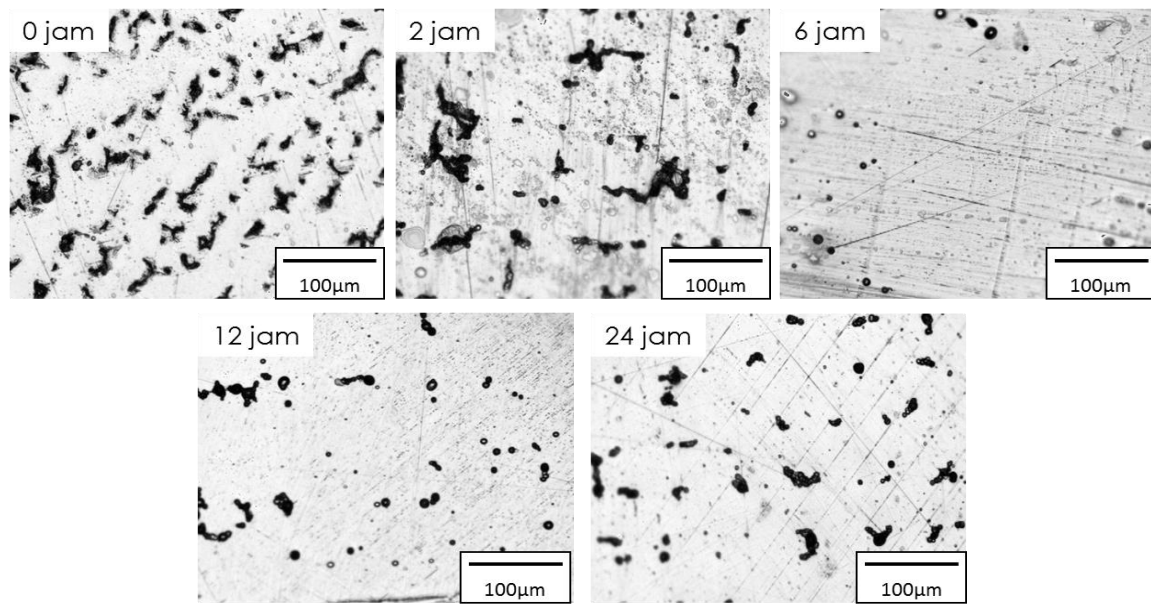
## HASIL PENELITIAN

### Data Hasil Pemeriksaan Metalografi

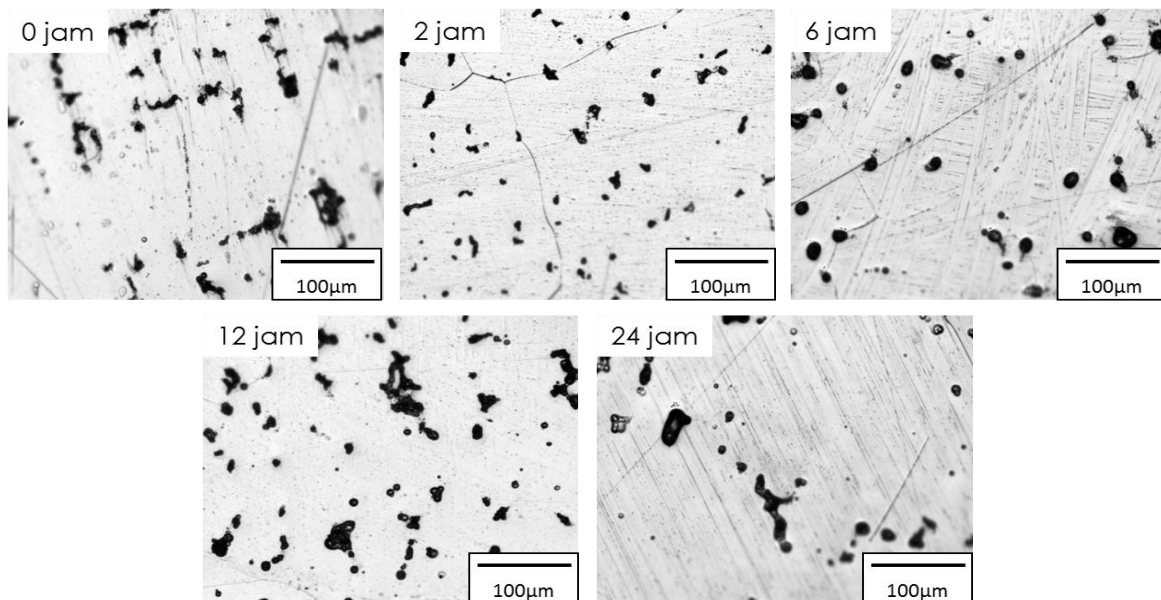
Pemeriksaan metalografi dilakukan pada sampel hasil *aging* untuk mengetahui struktur mikro dari sampel paduan berbasis kobalt dengan variasi karbon dan nitrogen yang berbeda. Berikut ini merupakan hasil yang didapatkan dari pemeriksaan metalografi.



**Gambar 3** Struktur mikro hasil *aging* (200x perbesaran) paduan Co-Cr-Mo 0,15C0N.



**Gambar 4** Struktur mikro hasil *aging* (200x perbesaran) paduan Co-Cr-Mo 0,25C0N.

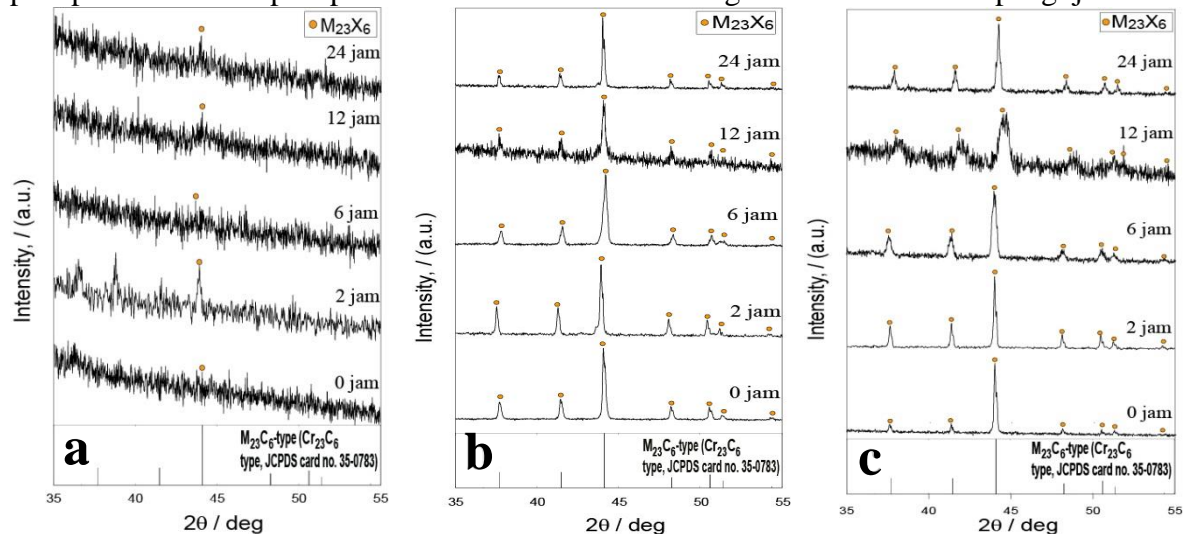


**Gambar 5** Struktur mikro hasil *aging* (200x perbesaran) paduan Co-Cr-Mo 0,25C0,2N.

Berdasarkan gambar 3, 4, dan 5 dapat dilihat terbentuknya presipitat yang terjadi selama proses *aging* dari tiap paduan. Pada gambar 3 memiliki presipitat yang lebih sedikit dan halus dengan komposisi 0,15C dibandingkan dengan gambar 4 dengan komposisi 0,25C. Sedangkan pada gambar 5 dengan komposisi 0,25C dan 0,2N memiliki presipitat yang lebih banyak dibandingkan dengan yang lainnya. Hal tersebut diakibatkan karena karbon merupakan elemen penting dalam pembentukan presipitat dan fasa kedua pada paduan logam berbasis kobalt. Sampel dengan kandungan karbon yang tinggi tingkat kelarutan presipitat semakin rendah, hal tersebut dikarenakan karbon pembentuk karbida berupa fasa tipe  $M_{23}C_6$  yang kuat [2]. Sedangkan pengaruh nitrogen dalam paduan Co-Cr-Mo menstabilkan fasa (fcc) Co fasa logam (fasa  $\gamma$ ) meningkatkan pengerjaan panas dan sifat mekanik dari paduan serta meningkatkan aktifitas karbon [3].

### Data Hasil XRD

Sampel paduan Co-Cr-Mo-C-N dilakukan pengujian XRD yang bertujuan untuk mengetahui fasa presipitat yang terdapat pada sampel hasil *aging*. Hasil difraksi sinar X dari fasa penyusun presipitat dari sampel memperlihatkan pola difraksi komponen penyusun presipitat dari sampel paduan. Berikut ini adalah gambar data hasil pengujian XRD.



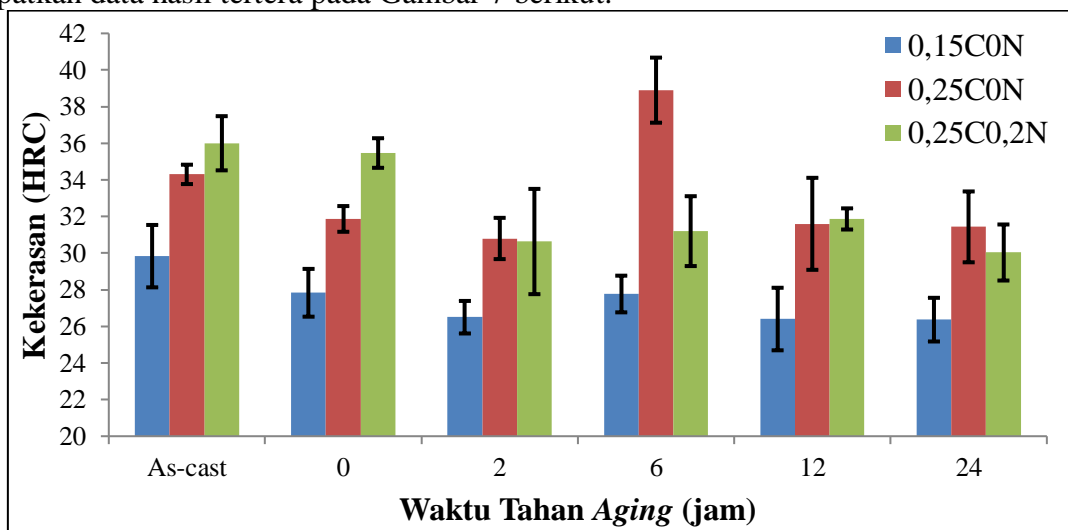
**Gambar 6** Hasil XRD sampel (a) 0,15C0N, (b) 0,25C0N, (c) 0,25C0,2N

Jenis karbida yang paling banyak terdapat semua paduan kobalt adalah  $M_{23}C_6$ . Setelah larutan padat ini jenuh, karbida  $M_{23}C_6$  larut dalam *solid solution* yang kemudian berubah menjadi  $M_6C$  sesuai dengan persamaan  $M_{23}C_6 + M \rightarrow M_6C + \gamma$

Karbida sekunder  $M_6C$  dapat juga terbentuk sebagai hasil dari reaksi antara MC dan *solid solution*.  $MC + \gamma \rightarrow M_6C$ . Selama *aging* paduan, karbida  $M_6C$  dapat berubah ke  $M_{23}C_6$  yang merupakan karbida sekunder berbentuk dispersi halus dan dapat mempengaruhi sifat mekanik paduan kobalt [4]. Dapat dilihat pada gambar 6 menunjukkan bahwa selama proses *aging* setiap sampel paduan jenis presipitatnya adalah  $M_{23}X_6$  hal ini disebabkan adanya pengaruh unsur karbon yang tinggi sehingga terjadi pematangan karbida selama proses *aging* [2].

### Data Hasil Pengujian Kekerasan

Berdasarkan pengujian kekerasan dengan menggunakan metode Rockwell C, maka didapatkan data hasil tertera pada Gambar 7 berikut.

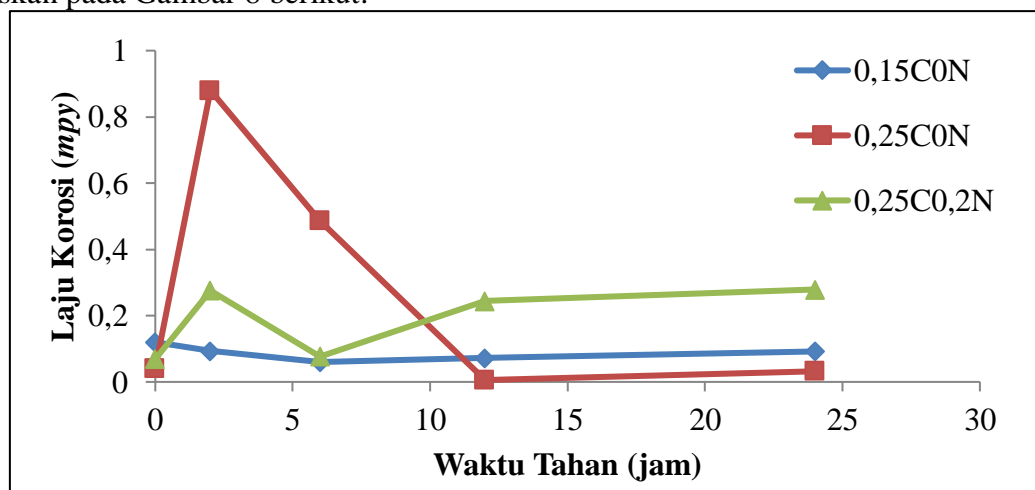


**Gambar 7** Grafik pengaruh waktu tahan *aging* terhadap nilai kekerasan

Pada gambar 7 dapat dilihat terjadinya penurunan dan kenaikan nilai kekerasan. Namun dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan nilai kekerasan seiring dengan kenaikan waktu tahan mulai dari 0 jam sampai 24 jam. Pada sampel dengan kandungan karbon 0,25C0N didapat kekerasan tertinggi hal ini terjadi karena kandungan karbon tinggi dan juga dapat dilihat pada bentuk struktur mikro pada gambar 4 waktu tahan 6 jam yang menggambarkan bentuk dan persebaran presipitat yang berdispersi halus dan merata. Mekanisme pengerasan pada saat *aging* yang terjadi pada sampel diakibatkan oleh pengerasan presipitat, karena pada kondisi  $\gamma'$  pada paduan Co-Cr-Mo pengerasan yang terjadi diakibatkan oleh presipiat. Semakin tinggi temperatur dan waktu tahan maka presipitat akan semakin larut sempurna, sehingga pengerasan terjadi akibat terbentuknya martensit pada  $\gamma$  karena pada  $\gamma$  paduan Co-Cr-Mo pengerasan terjadi akibat *solid-solution strengthened* [5]. Waktu tahan yang semakin lama akan menyebabkan presipitat akan larut sempurna [3]. Kelarutan presipitat ini akan mempengaruhi sifat mekanik logam, hal ini yang menyebabkan terjadinya penurunan nilai kekerasan setiap sampel seiring dengan semakin lama waktu tahan *aging*.

### Data Hasil Pengujian Korosi

Pengujian korosi pada sampel dilakukan dengan pengujian potensiodinamik menggunakan alat CMS (*Corrosion Measurement System*) dengan menggunakan metode Tafel. Larutan yang digunakan dalam pengujianin ada *Hank's Solution* yakni larutan yang menyerupai cairan tubuh dan dalam pada temperatur  $\pm 37^{\circ}\text{C}$ . Data hasil pengujian korosi dijelaskan pada Gambar 8 berikut.



**Gambar 8** Grafik pengaruh waktu tahan *aging* terhadap laju korosi

Pada gambar 8 dapat dilihat terjadi fenomena penurunan laju korosi tiap sampel. Pada sampel 0,15C0N dan 0,25C0N terjadi penurunan laju korosi setiap kenaikan waktu tahan. Hal ini diakibatkan presipitat akan semakin larut seiring dengan lamanya waktu tahan *aging* sehingga sampel sulit untuk terkorosi. Laju korosi yang paling rendah pada sampel 0,15C0N adalah 0,05998 mpy pada waktu tahan 6 jam. Unsur karbon dalam paduan akan membentuk presipitat  $\text{M}_{23}\text{X}_6$  dengan struktur kristal FCC yang memiliki ketahanan korosi yang tinggi [6]. Pada sampel yang mengandung nitrogen 0,25C0,2N terjadi kenaikan pada setiap waktu tahannya. Selama proses *aging* unsur nitrogen merupakan unsur yang dapat meningkatkan presipitat, salah satu presipitat yang terbentuk adalah CrN atau nitrida krom. Akibat dari pembentukan nitrida tersebut yang terjadi selama proses *aging*, kandungan krom bebas yang terdapat pada matriks paduan untuk pembentukan lapisan permukaan protektif (*protective surface film*) menjadi berkurang [7].

## KESIMPULAN

Penelitian tentang pengaruh proses aging terhadap kekerasan dan ketahanan korosi telah dilakukan dan dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin lama waktu tahan *aging* akan menyebabkan distribusi dan bentuk presipitat akan semakin halus. Kelarutan presipitat akan meningkat seiring peningkatan waktu tahan pada proses *aging*.
2. Penambahan unsur karbon dan nitrogen mempengaruhi peningkatan presipitat selama proses *aging*. Semakin tinggi kadar karbon maka pembentukan presipitat akan semakin meningkat, dan penambahan nitrogen akan mempengaruhi aktifitas karbon yang dapat menurunkan kelarutan presipitat. Presipitat pada setiap sampel paduan adalah  $M_{23}X_6$ .
3. Nilai kekerasan dari setiap sampel selama waktu tahan *aging* mengalami penurunan. Nilai kekerasan tertinggi terjadi pada sampel 0,25C0N dengan waktu tahan 6 jam yakni sebesar 38,9 HRC.
4. Nilai ketahanan korosi pada sampel 0,15C0N dan 0,25C0N mengalami kenaikan pada setiap waktu tahan *aging*, namun pada sampel 0,25C0,2N terjadi penurunan nilai ketahanan korosi. Nilai ketahanan korosi tertinggi terjadi pada sampel 0,25C0N waktu tahan 12 jam dengan nilai laju korosi terendah sebesar 0,005649 *mpy*.

## REFERENSI

- [1] Priyotomo Gadang. 2005. Pengembangan Material Kobalt Sebagai Material Pengganti Fungsi Tulang Pada Tubuh Manusia. Seminar Material Metalurgi. Serpong
- [2] Alfirano et al. 2011. *Precipitates in As-Cast and Heat-Treated ASTM F75 Co-Cr-Mo-C Alloys Containing Si or Mn*. The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International
- [3] Alfirano et al. 2012. *Precipitates in Biomedical Co-Cr-Mo-C-N-Si-Mn Alloys*. The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International
- [4] Podrez-Radziszewska et.al. 2010. *Characteristic of intermetallic phases in cast dental CoCrMo alloy*. Wroclaw University of Technology. Polandia
- [5] *ASM Specialty Handbook. Heat-Resistant Materials*
- [6] Montero C et al. 2001. *Effect of Fcc-Hcp Phase Transformation Produced by Isothermal Aging on the Corrosion Resistance of a Co-27Cr-5Mo-0.05C Alloy*. Meksiko
- [7] Sudjatmoko et al. 2012. Pengaruh Nitridasi Ion Suhu Rendah Pada Ketahanan Aus dan Korosi Biomaterial Stainless Steel Austenitik 316. J. Iptek Nuklir Ganendra Vol 15 no. 2 ISSN 1410-6957