

## PENGARUH PENAMBAHAN KARBON DAN NITROGEN TERHADAP MIKROSTRUKTUR, KEKUATAN TARIK DAN MAMPU BENTUK PADUAN Co-28Cr-6Mo-0,8Si-0,8Mn-0,4Fe-0,2Ni

Fendy Rokhmanto<sup>a,b,\*</sup>, Bambang Soegijono<sup>b</sup>, Ika Kartika<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI

Gedung 470, Kawasan Puspiptek Serpong Tangerang Selatan, 15314, Indonesia

<sup>b</sup>Program Studi Magister Ilmu Material, Departemen Fisika, Fakultas MIPA, UI

e-mail: \*fendy.rokhmanto@lipi.go.id

Masuk Tanggal : 28-09-2016, revisi tanggal : 19-12-2016, diterima untuk diterbitkan tanggal 09-01-2017

### Intisari

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. Tujuan penelitian ini adalah melihat pengaruh penambahan karbon dan nitrogen terhadap kekuatan tarik dan mampu bentuk paduan Co-28Cr-6Mo-0,8Si-0,8Mn-0,4Fe-0,2Ni untuk memenuhi aplikasi di atas. Karbon ditambahkan ke dalam paduan sebesar 0,08; 0,15 dan 0,25 %berat, sedangkan nitrogen sebesar 0,2 %berat. Paduan hasil coran (*as cast*) kemudian dihomogenisasi pada temperatur 1200 °C selama 6 jam, lalu dilakukan proses *hot roll* dengan pemanasan awal 1200 °C selama 1 jam dilanjutkan dengan *quenching* dalam media air. Paduan *as cast* maupun *hasil hot roll* kemudian diamati strukturnya dengan menggunakan mikroskop optik dan SEM serta dilakukan uji tarik untuk mengetahui sifat mekanik dan fraktografi patahan. Kekuatan tarik paduan Co-28Cr-6Mo-0,8Si-0,8Mn-0,4Fe-0,2Ni meningkat seiring dengan meningkatnya penambahan karbon dalam paduan, sedangkan penambahan nitrogen meningkatkan mampu bentuk paduan Co-28Cr-6Mo-0,8Si-0,8Mn-0,4Fe-0,2Ni.

**Kata Kunci:** Paduan Co-28Cr-6Mo-0,8Si-0,8Mn-0,4Fe-0,2Ni, karbon, nitrogen, mikrostruktur, kekuatan tarik, mampu bentuk

### Abstract

*Co-Cr-Mo alloys are widely used as bone and dental implant materials, where the composition of the alloy refers to the standard ASTM F75. Co-Cr-Mo alloys has good mechanical properties, biocompatibility and high corrosion resistance. Objective of this paper is to investigate the influence of Carbon and Nitrogen on tensile strength and workability of Co-28Cr-6Mo-0,8Si-0,8Mn-0,4Fe-0,2Ni when used to that applications. Carbon is added into the alloys of 0.08; 0.15 and 0.25 (% weight), whereas nitrogen at 0.2 (% weight). As cast ingot homogenized at 1200 °C for 6 h, and then hot rolled with preheating 1200 °C for 1 h and then water quenched. The alloys (as cast and after hot rolling) were characterized with optical microscope and SEM to investigate the microstructure and the tensile test to investigate the mechanical properties and fraktografi. The tensile strength of the alloy Co-28Cr-6mo-0,8Si-0,8Mn-0,4Fe-0,2Ni increased with the addition of carbon in the alloy, while the addition of nitrogen increases work ability of Co-28Cr-6Mo-0,8Si-0,8Mn-0,4Fe-0,2Ni alloy.*

**Keywords:** Co-28Cr-6Mo-0,8Si-0,8Mn-0,4Fe-0,2Ni, carbon, nitrogen, microstructure, tensile strength, workability

## 1. PENDAHULUAN

Paduan Co-Cr-Mo F75 merupakan salah satu material implan khususnya *hip* dan *knee joint* yang digunakan dalam kedokteran orthopaedi karena memiliki sifat mekanis yang baik, biokompatibilitas dan memiliki ketahanan korosi yang tinggi<sup>[1-6]</sup>. Paduan Co-Cr-Mo hasil cor terkadang masih memiliki cacat-cacat cor

seperti mikroporositas dan masih memiliki struktur dengan matriks dendritik. Kondisi ini membutuhkan peningkatan keuletan dan kekuatan dari paduan Co-Cr-Mo.

Penambahan unsur C dan N dapat digunakan untuk memodifikasi sifat mekanis dengan membentuk presipitat pada skala mikro dalam paduan Co-Cr-Mo. Karbon dalam

paduan Co -Cr-Mo merupakan unsur pembentuk presipitat, semakin tinggi kandungan karbon maka presipitat yang terbentuk semakin banyak<sup>[7-8]</sup>. Karbon pada paduan Co-Cr-Mo dapat meningkatkan kekuatan tarik<sup>[9]</sup>. Menurut M. Herrera dan timnya penambahan karbon hingga 0,30% dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik hingga lebih dari 700 MPa pada paduan Co-Cr-Mo hasil coran. Sedangkan P.V Muterlle dan timnya menyebutkan bahwa penambahan 0,23% karbon mampu meningkatkan kekuatan tarik paduan menjadi 789 MPa pada hasil sinter paduan Co-Cr-Mo. Kekuatan tarik juga akan meningkat ketika dilakukan proses *heat treatment*<sup>[10]</sup>. Peningkatan kandungan karbon juga meningkatkan nilai kekerasan paduan Co-Cr-Mo sehingga material menjadi getas. Nikel merupakan salah satu unsur yang dapat meningkatkan mampu bentuk, elongasi dan keuletan (*ductility*)<sup>[11-12]</sup> atau menurunkan kegetasan. Menurut L.Z. Zhuang dan E.W Langer penambahan nikel hingga 9% dapat meningkatkan elongasi sebesar 20%. Pada penelitian yang dilakukan oleh Ika kartika dan kawan-kawan<sup>[11]</sup>, ditambahkan unsur mangan dalam paduan Co-Cr-Mo. Penambahan unsur mangan adalah untuk tetap mempertahankan sifat mampu bentuk dalam paduan, menggantikan nikel karena bersifat alergi dalam tubuh manusia. Nitrogen merupakan salah satu unsur yang digunakan untuk meningkatkan mampu bentuk dan sifat mekanis dalam paduan Co-Cr-Mo<sup>[13]</sup>. Peningkatan mampu bentuk paduan karena penambahan nitrogen diakibatkan karena pembentukan athermal  $\epsilon$  (HCP) martensite terhambat sehingga paduan tetap dalam fasa  $\gamma$  (FCC)<sup>[14]</sup>. Nitrogen juga mengakibatkan pembentukan presipitat dalam skala nano pada matriks  $\gamma$  sehingga kekuatan paduan meningkat<sup>[14]</sup>. Oleh karena itu karbon dan nitrogen perlu

ditambahkan dalam paduan untuk memperbaiki keuletan dan mampu bentuk paduan.

Pada penelitian ini karbon dan nitrogen ditambahkan dalam paduan Co-Cr-Mo F75 untuk memperbaiki sifat mekanis dan mampu bentuk paduan.

## 2. PROSEDUR PERCOBAAN

Material awal (*raw material*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah merujuk pada standar ASTM F75 yaitu berupa ingot paduan Co-28Cr-6Mo-0,8Si-0,8Mn-0,4Fe-0,2Ni (paduan CCM) dengan penambahan 0,08 – 0,25 %berat C dan 0,2 %berat N yang diperoleh dari Yoneda Advance Casting Co. Ltd Takaoka, Jepang (Tabel 1).

Ingot paduan kemudian dipotong dan dibuat sampel dengan ukuran 30 x 20 x 10 mm. Sampel paduan kemudian dilakukan proses homogenisasi dalam kondisi *inert* selama 6 jam pada temperatur 1200 °C. Proses selanjutnya adalah *hot rolling* dengan reduksi 80% dengan pemanasan awal 1200 °C selama 1 jam, yang diikuti dengan proses *quenching* dengan media pendingin air.

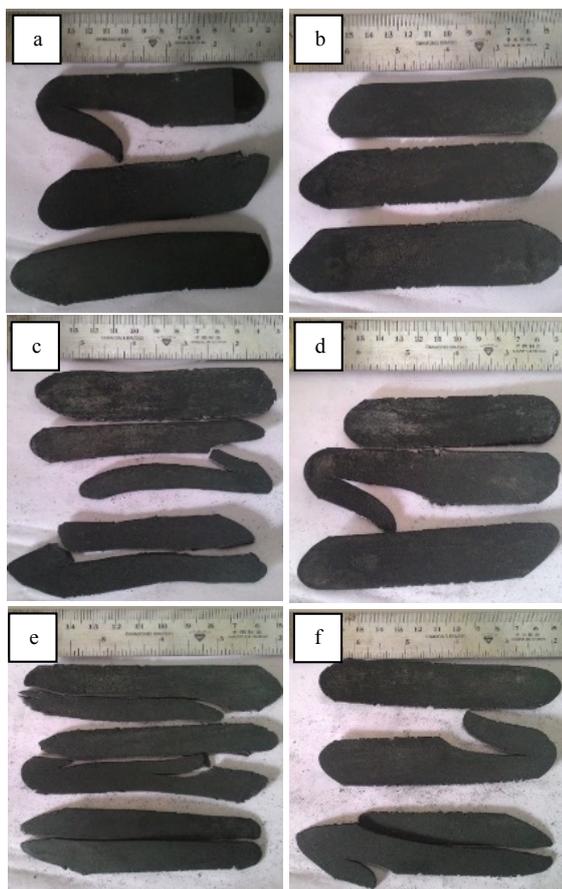
Pengamatan metalografi dilakukan dengan mikroskop optik (*optical microscopy-OM*) dan SEM (*scanning electron microscopy*) pada sampel paduan setelah homogenisasi, dan setelah proses *hot rolling*. Sampel paduan diamplas menggunakan kertas amplas hingga grid 1200, dilanjutkan *polishing* dengan larutan poles alumina hingga grid 0,01 $\mu$ m. Sampel hasil *polishing* kemudian dietsa dengan metode *electrolytic etching* dengan tegangan 6 volt, menggunakan metanol 10% dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Uji tarik dilakukan dengan menggunakan standar JIS Z 2201: 1998. Fraktografi patahan pada sampel paduan akan diamati sehingga diketahui dengan penambahan karbon dan atau nitrogen akan diketahui jenis patahan yang terjadi dalam paduan.

**Tabel 1.** Komposisi kimia paduan dalam penelitian ini dan kodefikasi sampel

Co	Cr	Mo	UNSUR (% berat)						Kode Sampel
			Si	Mn	Fe	Ni	C	N	
Bal	28	6	0,8	0,8	0,4	0,2	0,08	-	<b>0.08C</b>
Bal	28	6	0,8	0,8	0,4	0,2	0,08	0,2	<b>0.08CN</b>
Bal	28	6	0,8	0,8	0,4	0,2	0,15	-	<b>0.15C</b>
Bal	28	6	0,8	0,8	0,4	0,2	0,15	0,2	<b>0.15CN</b>
Bal	28	6	0,8	0,8	0,4	0,2	0,25	-	<b>0.25C</b>
Bal	28	6	0,8	0,8	0,4	0,2	0,25	0,2	<b>0.25CN</b>

### 3. HASIL DAN DISKUSI

Gambar 1 menunjukkan foto paduan CCM pada kondisi setelah proses *hot roll* dengan reduksi 80%. Gambar 1(a), 1(c), 1(e) merupakan foto paduan CCM dengan penambahan karbon. Dari gambar tersebut terlihat bahwa dengan semakin meningkatnya penambahan karbon dalam paduan CCM semakin banyak paduan yang mengalami pecah. Pada Gambar 1 (b) dimana kandungan karbon yang ditambahkan hanya 0,08% berat beserta 0,2 % berat nitrogen, hampir seluruh paduan CCM tidak mengalami retak setelah dilakukan proses *hot roll*. Akan tetapi pada penambahan karbon di atas 0,08% dan 0,2 % berat nitrogen ditambahkan dalam paduan CCM hasil *hot roll* (Gambar 1 (d) dan 1(f)), retakan diperoleh akan tetapi tidak sebanyak dalam paduan CCM yang hanya ditambahkan karbon saja (Gambar 1(a), 1(c), 1(e)).



Gambar 1. Foto visual paduan CCM setelah *hot roll* dengan kode sampel; (a) 0.08C; (b) 0.08CN; (c) 0.15C; (d) 0.15CN; (e) 0.25C; (f) 0.25CN

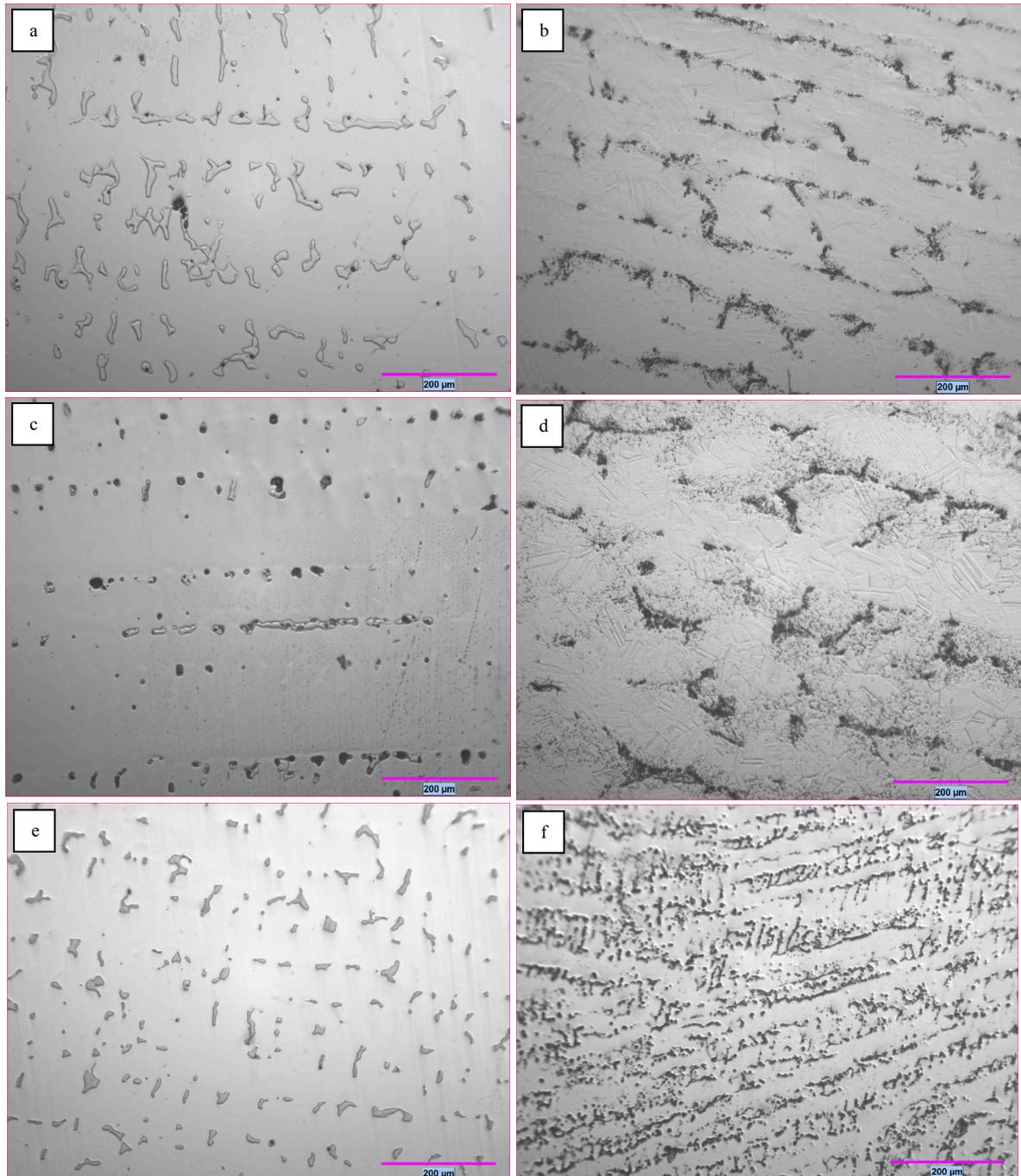
Gambar 2(a)-2(f) menunjukkan mikrostruktur paduan CCM dengan penambahan karbon yang diamati menggunakan OM. Gambar 2(a), 2(c) dan 2(e) adalah paduan CCM hasil cor (*as cast*). Pada

gambar tersebut teramati presipitat  $M_{23}C_6$  dalam matriks dendritik cobalt dan teramati sejumlah besar interdendritik presipitat. Gambar 2(b), 2(d), 2(f) merupakan mikrostruktur paduan CCM setelah proses *hot roll*, dimana dengan meningkatnya kadar karbon, teramati presipitat makin meningkat di dalam butir dan pada batas butir. Pada Gambar 2(d) dan 2(f) teramati butir *equiaxed* dengan matriks  $\gamma$ , beberapa *annealing twinning* dan striasi dari  $\epsilon$  martensit di dalam butir. Gambar 3(a)-3(f) menunjukkan kondisi seperti dalam Gambar 2 yang diamati menggunakan SEM. Tampak bahwa morfologi presipitat karbida  $M_{23}C_6$  berbentuk *blocky dense* dan *globular* dalam matriks dendritik (Gambar 3(a), 3(c) dan 3(e)). Pada Gambar 3(b), 3(d) dan 3(f) teramati presipitat karbida  $M_{23}C_6$  dengan bentuk *blocky dense* dan *globular* yang berada pada batas butir dan di dalam butir, serta striasi dari  $\epsilon$  martensit dalam butir matriks  $\gamma$ .

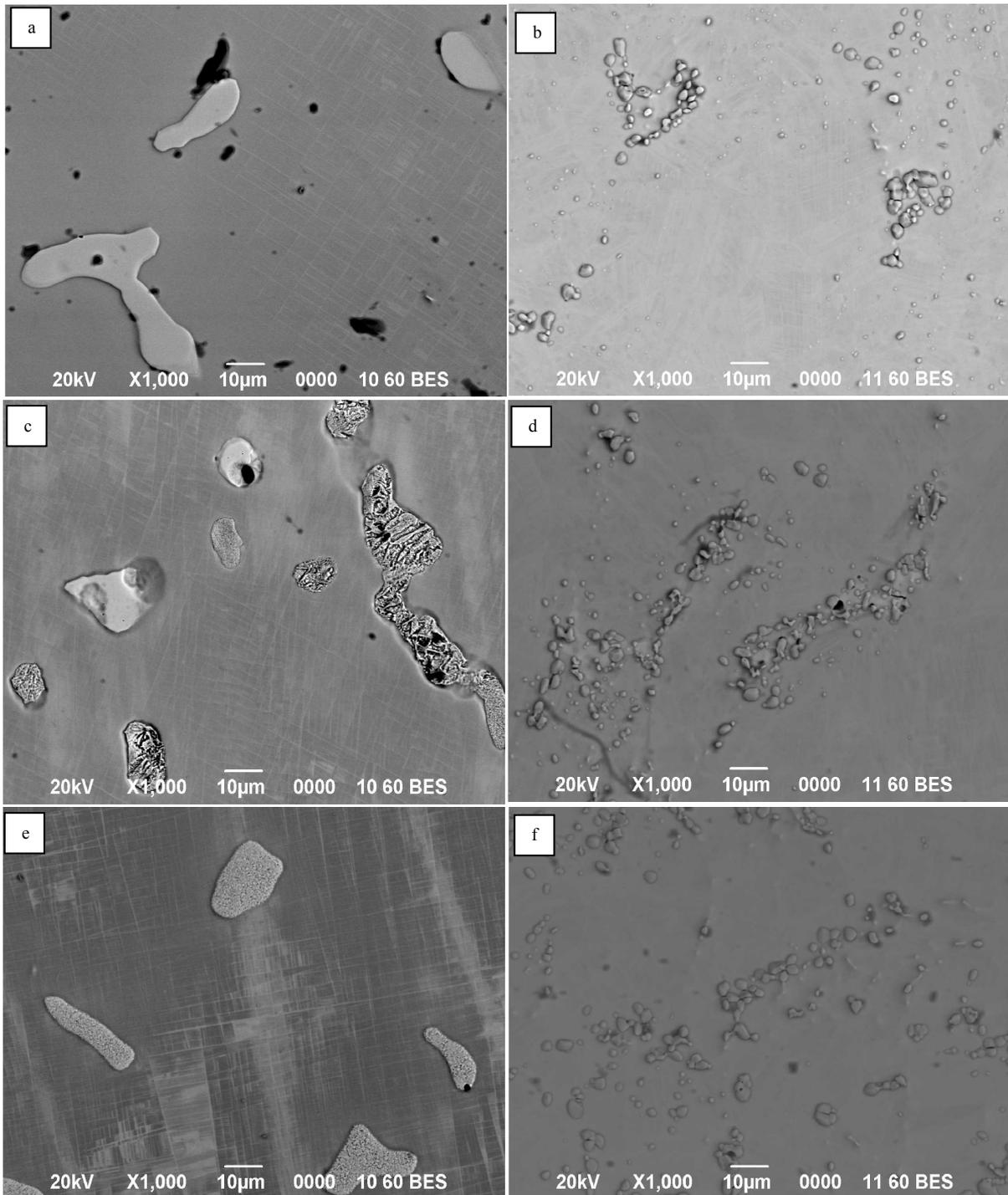
Gambar 4(a)-4(f) menunjukkan mikrostruktur dengan OM dari paduan CCM dengan penambahan karbon dan nitrogen. Pada Gambar 4(a), 4(c) dan 4(e) kondisi *as cast* tampak bahwa interdendritik karbida  $M_{23}C_6$  berbentuk *blocky dense* dalam matriks dendritik cobalt. Gambar 4(b), 4(d), 4(f) merupakan mikrostruktur paduan CCM setelah proses *hot roll* dimana presipitat  $M_{23}C_6$  terbentuk pada batas butir dan di dalam butir *equiaxed*. Gambar 5(a)-5(f) adalah kondisi paduan CCM seperti pada Gambar 4 yang diamati menggunakan SEM. Gambar 5(a), 5(c), 5(e) merupakan mikrostruktur paduan pada kondisi *as cast*, tampak bahwa morfologi presipitat  $M_{23}C_6$  berbentuk *blocky dense* dalam matriks dendritik cobalt. Pada Gambar 5(b) teramati dengan penambahan 0,08 % berat karbon dan 0,2 % berat nitrogen, presipitat  $M_{23}C_6$  dengan ukuran yang sangat halus lebih banyak terbentuk dibandingkan penambahan karbon yang lebih tinggi (Gambar 5(d), 5(f)). *Annealing twin*, striasi dari fasa  $\epsilon$  martensit juga teramati dalam gambar tersebut. Menurut Shingo Kurosu dan tim<sup>[15]</sup> pada paduan Co-29Cr-6Mo kondisi *as cast*, fasa yang terbentuk adalah  $\gamma$  (FCC) dan  $\epsilon$  (HCP) akibat transformasi martensit menjadi  $\gamma$  dan  $\epsilon$  selama pendinginan. Gambar 5(b), 5(d), 5(f) merupakan mikrostruktur paduan CCM setelah mengalami proses *hot roll*, teramati striasi dari  $\epsilon$  martensit di dalam butir *equiaxed* dan beberapa *annealing twin*. Yamanaka dan tim menjelaskan bahwa pada paduan Co-29Cr-6Mo yang ditambahkan N, *annealing twin* akan terbentuk akibat adanya penyimpangan pada

area pertemuan tiga butir ( $\Sigma 3$ ) yang mempunyai keterkaitan dengan kisi kristal. Kondisi ini bisa dihasilkan dalam paduan CCM yang

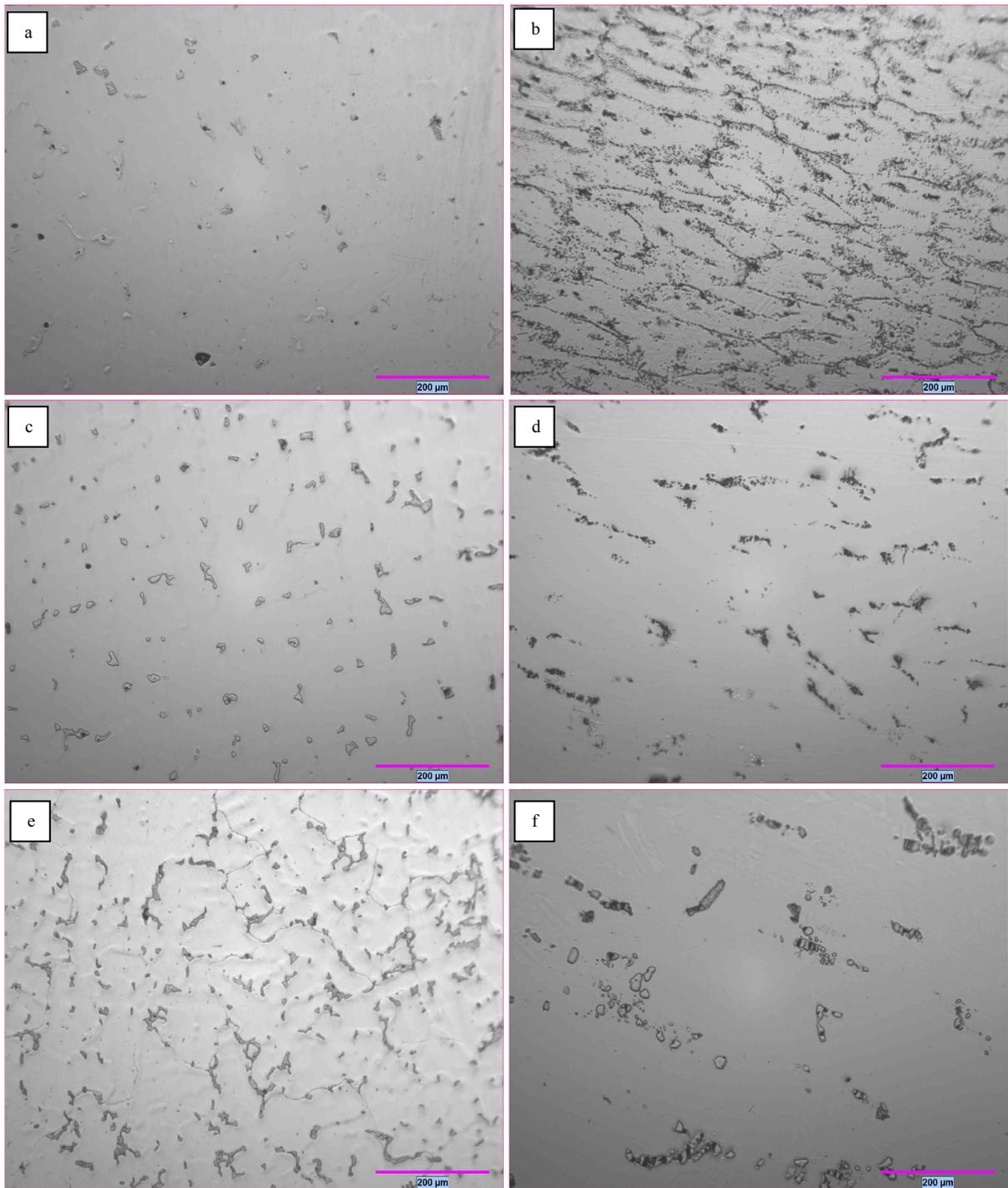
mengalami proses pengerjaan panas (*hot deformation*)<sup>[16]</sup>.



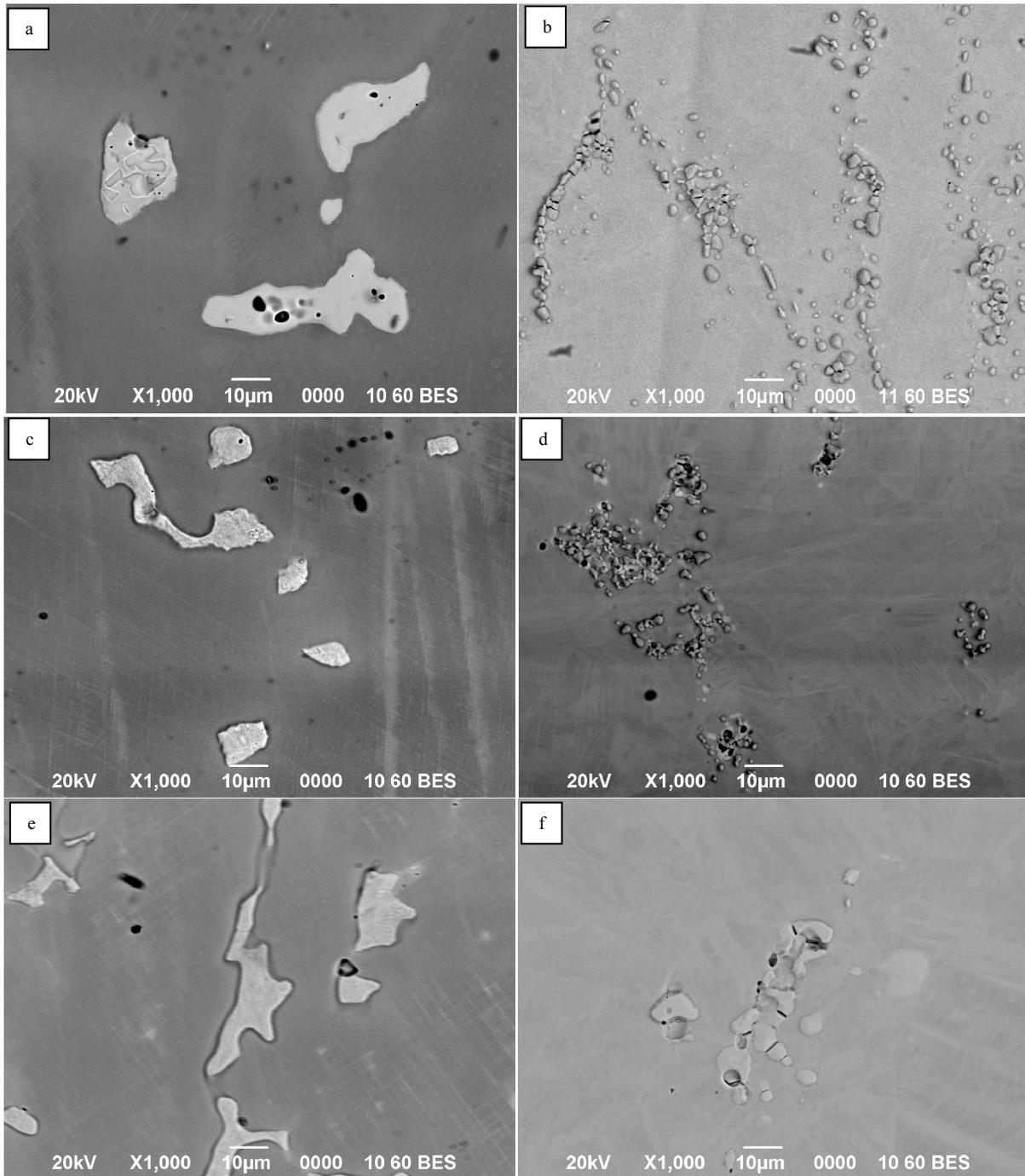
Gambar 2. Struktur mikro paduan CCM dengan mikroskop optik pada penambahan karbon dengan kode sampel: (a,b) 0.08C; (c,d) 0.15C; (e-f) 0.25C. Paduan hasil *as cast* (kiri) dan paduan hasil *hot roll* dengan reduksi 80% (kanan). Elektro etsa metanol 10%  $H_2SO_4$



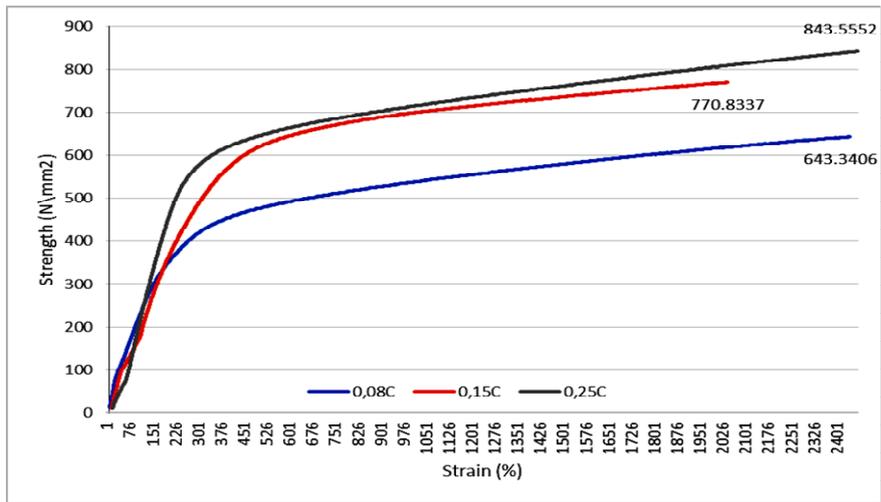
Gambar 3. Foto mikrostruktur dengan SEM dari paduan CCM dengan penambahan karbon pada sampel kode: (a,b) 0.08C; (c,d) 0.15C; (e,f) 0.25C. Paduan kondisi *as cast* (kiri), dan paduan hasil *hot roll* dengan reduksi 80% (kanan). Elektro etsa metanol 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



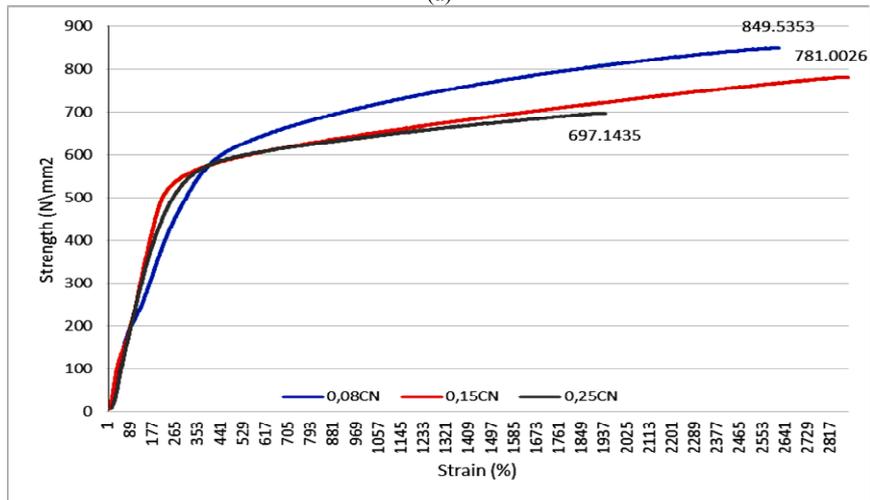
Gambar 4. Mikrostruktur paduan CCM menggunakan mikroskop optik dengan penambahan karbon dan nitrogen pada kode sampel: (a,b) 0.08CN ; (c,d) 0.15CN; (e,f) 0.25CN. Paduan kondisi *as cast* (kiri) dan paduan hasil *hot roll* dengan reduksi 80% (kanan). Elektro etsa metanol 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



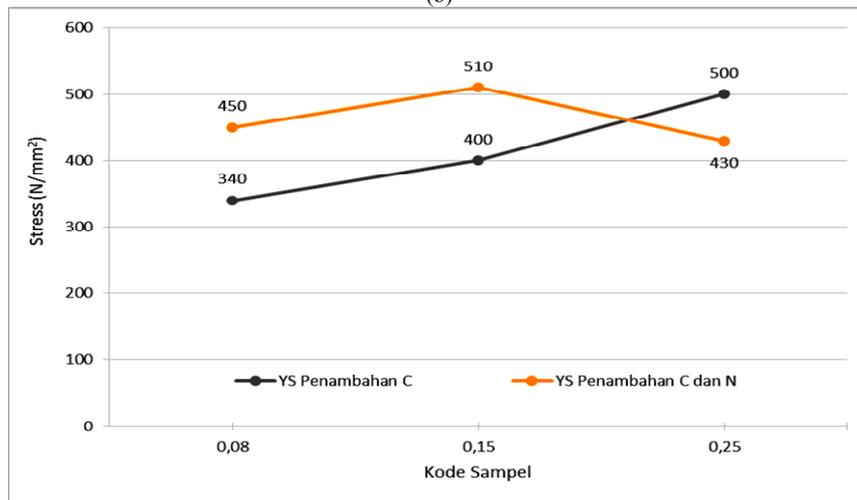
Gambar 5. Mikrostruktur paduan CCM menggunakan SEM dengan penambahan karbon dan nitrogen pada kode sampel: (a,b) 0.08CN ; (c,d) 0.15CN; (e,f) 0.25CN. Paduan kondisi *as cast* (kiri) dan paduan hasil *hot roll* dengan reduksi 80% (kanan). Elektro etsa metanol 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



(a)

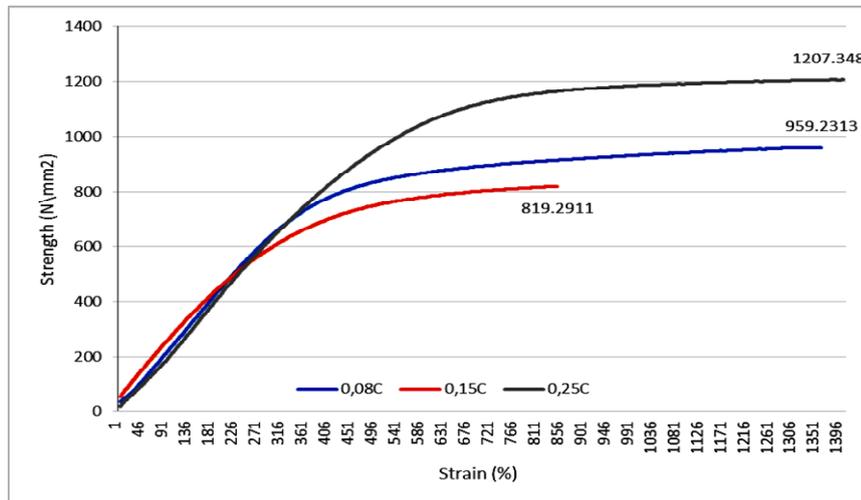


(b)

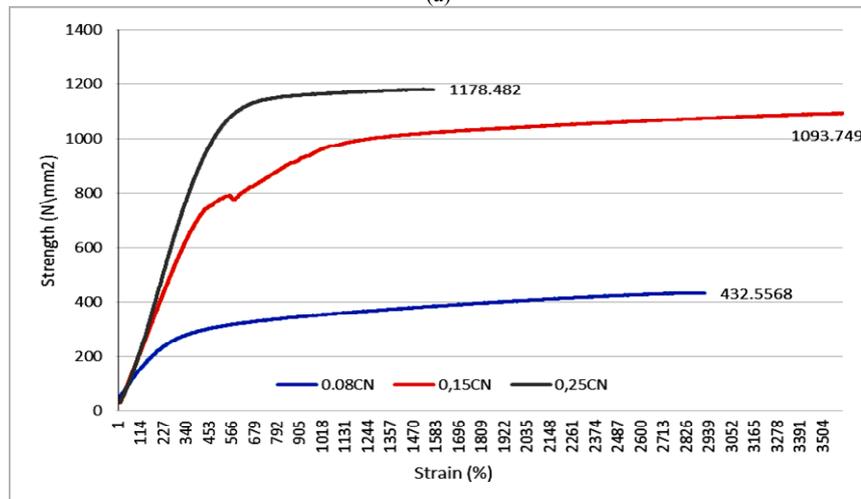


(c)

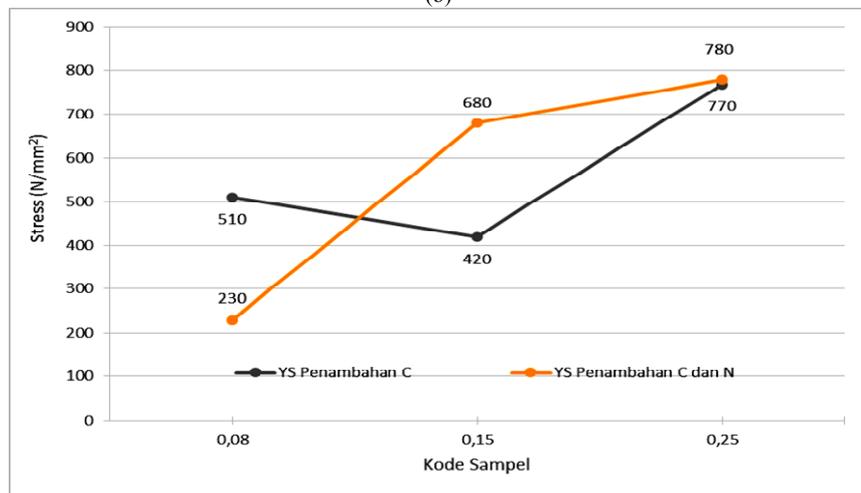
Gambar 6. Grafik tegangan vs regangan dari paduan CCM kondisi *as cast* untuk paduan dengan: (a) penambahan karbon; (b) penambahan karbon dan nitrogen; (c) *yield stress* (N/mm<sup>2</sup>) pada kondisi (a) dan (b)



(a)



(b)



(c)

Gambar 7. Grafik tegangan vs regangan dari paduan CCM hasil *hot roll* untuk paduan dengan: (a) penambahan karbon; (b) penambahan karbon dan nitrogen; (c) *yield stress* (N/mm<sup>2</sup>) pada kondisi (a) dan (b)

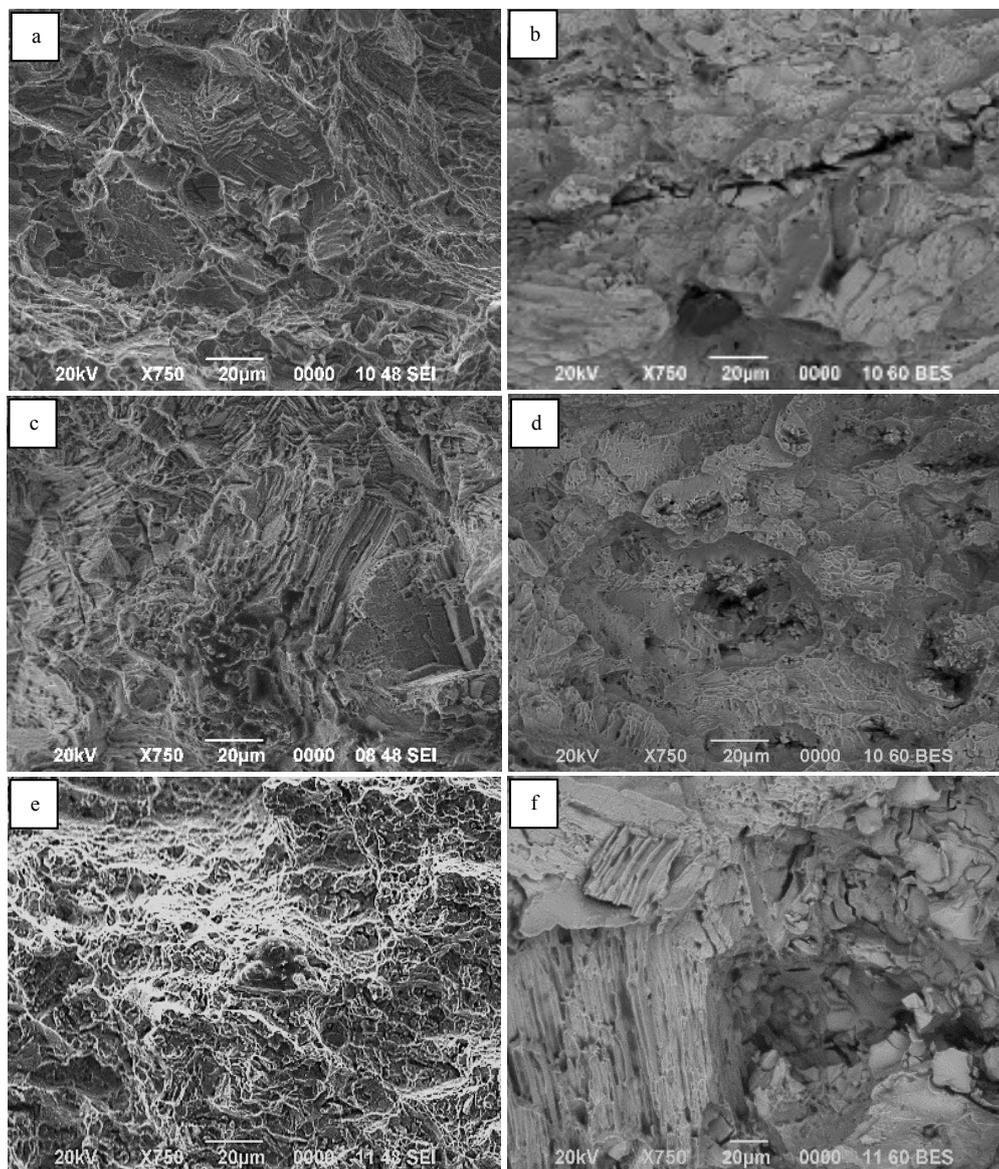
Gambar 6(a) – 6(c) menunjukkan grafik hasil uji tarik *as cast* paduan CCM yang mendapat penambahan karbon, penambahan karbon dan nitrogen serta nilai kekuatan luluhnya (YS-*yield strength*). Dari grafik pada gambar tersebut terlihat bahwa kekuatan tarik maksimum dan kekuatan luluh meningkat

seiring dengan peningkatan penambahan karbon. Pada penambahan karbon 0,08 %berat kekuatan tarik berkisar 643 N/mm<sup>2</sup> dengan YS 340 N/mm<sup>2</sup>, sedangkan pada penambahan karbon 0,15 %berat kekuatan tarik berkisar 770 N/mm<sup>2</sup> dengan YS 400 N/mm<sup>2</sup>, dan pada penambahan 0,25 %berat karbon kekuatan tarik

meningkat menjadi  $843 \text{ N/mm}^2$  dengan YS  $500 \text{ N/mm}^2$ . Akan tetapi, pada penambahan karbon dan nitrogen (Gambar 6(b)), kekuatan tarik dan YS adalah berbanding terbalik dengan kondisi pada Gambar 6(a), dimana dengan peningkatan unsur karbon yang ditambahkan dan 0,2% berat nitrogen, kekuatan tarik dan YS semakin berkurang. Kekuatan tarik maksimum paduan pada kondisi di atas adalah sebesar  $849 \text{ N/mm}^2$  dengan YS  $450 \text{ N/mm}^2$ ;  $781 \text{ N/mm}^2$  dengan YS  $510 \text{ N/mm}^2$ ; dan  $697 \text{ N/mm}^2$  dengan YS  $430 \text{ N/mm}^2$  berturut-turut pada penambahan 0,08; 0,15 dan 0,25 %berat karbon dan 0,2 %berat nitrogen.

Gambar 7(a)-7(c) menunjukkan grafik hasil uji tarik dari paduan CCM hasil *hot roll* yang ditambahkan karbon, ditambahkan karbon dan nitrogen serta kekuatan luluhnya (YS). Dari grafik pada gambar tersebut tidak terlihat tren

bahwa kekuatan tarik maksimum dan kekuatan luluh meningkat seiring dengan peningkatan %berat karbon. Pada penambahan karbon 0,08 %berat, kekuatan tarik berkisar  $959 \text{ N/mm}^2$  dengan YS  $510 \text{ N/mm}^2$ , sedangkan pada penambahan karbon 0,15 %berat kekuatan tarik hanya berkisar  $819 \text{ N/mm}^2$  dengan YS sebesar  $420 \text{ N/mm}^2$ , dan pada 0,25 %berat karbon, kekuatan tarik meningkat menjadi  $1207 \text{ N/mm}^2$  dengan YS sebesar  $770 \text{ N/mm}^2$ . Akan tetapi kekuatan mekanik meningkat seiring dengan peningkatan kadar karbon dan 0,2 %berat nitrogen (Gambar 7(b) dan 7(c)). Kekuatan tarik berkisar  $432 \text{ N/mm}^2$  dengan YS  $230 \text{ N/mm}^2$ ;  $1093 \text{ N/mm}^2$  dengan YS  $680 \text{ N/mm}^2$ , dan  $1178 \text{ N/mm}^2$  dengan YS  $780 \text{ N/mm}^2$  berturut-turut pada penambahan 0,08; 0,15 dan 0,25 %berat karbon dan 0,2 %berat nitrogen.



Gambar 8. Fraktografi hasil SEM paduan CCM hasil *hot roll* dengan kodefikasi sampel; (a) 0.08C; (b) 0.08CN; (c) 0.15C; (d) 0.15CN; (e) 0.25C; (f) 0.25CN

Gambar 8 menunjukkan foto fraktografi hasil uji tarik dengan SEM dari paduan CCM hasil *hot roll*. Gambar 8(a), 8(c) dan 8(e) adalah paduan CCM hasil *hot roll* yang hanya ditambahkan karbon, dimana patah getas teramati pada permukaan patahan dengan presipitat  $M_{23}C_6$  di batas dan di dalam butir *equiaxed*. Gambar 8(b), 8(d) dan 8(f) adalah paduan CCM hasil *hot roll* yang ditambahkan karbon dan nitrogen. Patah getas dengan beberapa area yang menunjukkan patahan ulet terlihat pada gambar tersebut.

Peningkatan kekuatan tarik dan kekuatan luluh pada paduan CCM yang ditambahkan karbon terjadi karena pembentukan presipitat karbida  $M_{23}C_6$  seperti yang tampak pada Gambar 2 dan Gambar 3. Kekuatan tarik paduan CCM hasil roll dengan penambahan karbon sebesar 0,25% berat meningkat menjadi 1207 N/mm<sup>2</sup> dengan YS 770 N/mm<sup>2</sup> dibanding dengan paduan CCM yang ditambahkan karbon sebesar 0,08 dan 0,15 (Gambar 7(a)-7(b)). Permukaan patahan hasil uji tarik dari paduan CCM hasil roll yang hanya ditambahkan karbon 0,08 dan 0,15 %berat menunjukkan patah getas, teramati permukaan *chrystallographic faceted* dengan striasi  $\epsilon$  martensit dan *annealing twin*, serta presipitasi karbida  $M_{23}C_6$  pada batas butir (Gambar 8 (a) dan 8(c)). Tetapi dengan meningkatnya penambahan karbon menjadi 0,25 %berat, tampak presipitat  $M_{23}C_6$  semakin banyak berada di dalam dan di batas butir, dan permukaan patahan menunjukkan patah getas (Gambar 8 (c)). Sang Hak Lee dan tim<sup>[17]</sup> membuktikan dalam paduan Co29Cr6Mo yang ditambahkan 0,18 %berat karbon, presipitat karbida  $M_{23}C_6$  tumbuh di batas butir dan di dalam butir. Kehadiran karbida di batas butir adalah meningkatkan sifat mekanik, sedangkan karbida di dalam butir memberikan pengaruh kekuatan yang homogen dalam material paduan. Dengan peningkatan kadar karbon sampai dengan 0,18 %berat dalam paduan Co29Cr6Mo, maka dapat meningkatkan fraksi volume dari fasa  $\gamma$ , sehingga menekan pembentukan fasa  $\epsilon$ . Hal ini akan meningkatkan ketahanan paduan saat di tempa, karena kestabilan fasa  $\gamma$ <sup>[17]</sup>.

Nitrogen dalam sistem paduan Co-Cr-Mo adalah unsur representatif sebagai penstabil  $\gamma$ , memiliki kesamaan dengan Ni dan C<sup>[16]</sup>. Li dan Tim<sup>[18]</sup> menemukan adanya *short range order* antara atom Cr dan atom N terbentuk dalam paduan Co-29Mo-6Cr yang ditambahkan N, dimana penambahan N ini akan berpengaruh terhadap transformasi kinetik dari *athermal*

*martensite* dan menstabilkan fasa  $\gamma$ . Dengan stabilnya fasa  $\gamma$  maka keuletan dari paduan akan tercapai. Kondisi ini dibuktikan secara visual pada paduan CCM hasil roll yang tidak mengalami retak setelah ditambahkan N dibanding paduan yang hanya diberikan karbon saja (Gambar 1). Kekuatan tarik dalam paduan CCM yang ditambahkan karbon 0,25 %berat dan 0,2 %berat N adalah 1178 N/mm<sup>2</sup>, nilai ini lebih rendah dibanding kekuatan tarik paduan yang hanya diberikan karbon saja (C= 0,25 %berat) yaitu 1207 N/mm<sup>2</sup>. Hasil fraktografi pada paduan CCM dengan penambahan karbon dan nitrogen menunjukkan patah getas (Gambar 8(b)), tetapi pada beberapa area menunjukkan ciri-ciri patah ulet (Gambar 8(d) dan 8(f)). Pada permukaan patahan dari paduan CCM hasil roll yang ditambahkan C dan N ini teramati presipitat karbida  $M_{23}C_6$  berbentuk globular pada butir dan batas butir serta terlihat beberapa pola patahan dari *annealing twin*.

#### 4. KESIMPULAN

Dari penelitian terhadap paduan Co-28Cr-6Mo-0,8Si-0,8Mn-0,4Fe-0,2Ni (paduan CCM) dengan variasi penambahan karbon 0,08; 0,15 0,25 %berat dan 0,2 %berat nitrogen, dapat diambil kesimpulan bahwa paduan CCM hasil homogenisasi pada T = 1200 °C selama 6 jam dan dilanjutkan dengan *hot roll* pada reduksi 80% memiliki struktur presipitat karbida  $M_{23}C_6$  pada batas butir dan di dalam butir, striasi dari  $\epsilon$  martensit serta *annealing twin* dalam matriks  $\gamma$  yang *equiaxed*. Penambahan karbon dalam paduan CCM akan meningkatkan pembentukan presipitat karbida  $M_{23}C_6$  dengan bentuk *blocky dense* dan *globular*. Hal ini meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan luluh paduan. Pada penambahan 0,25 %berat karbon dihasilkan kekuatan tarik sebesar 1207 N/mm<sup>2</sup> dengan YS sebesar 770 N/mm<sup>2</sup>. Pada penambahan karbon dan 0,2 %berat nitrogen, pembentukan presipitat karbida  $M_{23}C_6$  juga semakin meningkat dengan adanya peningkatan kadar karbon, serta terbentuknya *annealing twin*. Kekuatan tarik pada 0,25 %berat karbon dihasilkan 1178 N/mm<sup>2</sup> dengan YS sebesar 780 N/mm<sup>2</sup>. Rendahnya kekuatan tarik dibandingkan paduan CCM yang hanya ditambahkan karbon saja disebabkan karena pembentukan *annealing twin*. Hasil *hot roll* dalam paduan CCM menunjukkan bahwa dengan hanya ditambahkan karbon menghasilkan *workability* yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan penambahan karbon dan nitrogen. Permukaan patahan paduan CCM yang ditambahkan karbon

menunjukkan patah getas, sedangkan paduan CCM yang ditambahkan karbon dan nitrogen memiliki beberapa area yang menunjukkan ciri dari patah ulet.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada P2MM-LIPI yang telah mendanai penelitian ini dari kegiatan Kompetensi Inti tahun 2015.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Black, Jonathan and Hastings, Garth, "Handbook of Biomaterial Properties," Springer Science+Business Media Dordrecht, 1998.
- [2] ASM Hand Book, "ASM Specialty Handbook: Nickel, Cobalt, and Their Alloys," ASM International, 2000.
- [3] Davis, J.R, "Handbook of Materials for Medical Devices," ASM International, 2003.
- [4] Korosu. Shinugo, Nomura. Naoyuki, and Chiba. Akihiko, "Effect of Sigma Phase in Co-29Cr-6Mo Alloy on Corrosion Behavior in Saline Solution," *Materials Transactions The Japan Institute of Metals.*, Vol. 47, No. 8 pp. 1961 to 1964, 2006.
- [5] Niinomi. Mitsuo, Nakai. Masaaki, Hieda. Junko, "Development of new metallic alloys for biomedical applications," *Acta Biomaterialia.*, Vol. 8, pp.3888–3903, 2012.
- [6] Hermawan. Hendra, Ramdan. Dadan and Djuansjah. Joy R. P, "Metals for Biomedical Applications" *Biomedical Engineering – From Theory to Applications*, [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com).
- [7] Minieta. Shingo, Alfirano, Namba. Shigenobu Yoneda. Takashi, Ueda. Kyosuke, And Narushima. Takayuki, "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*, Vol. 4A, 2012.
- [8] Minieta, Shingo, Alfirano, Namba. Shigenobu Yoneda. Takashi, Ueda. Kyosuke, And Narushima. Takayuki, "Phase and Formation/Dissolution of Precipitates in Biomedical Co-Cr-Mo Alloys with Nitrogen Addition," *Metallurgical and Materials Transaction.s*, Vol. 44A, 2013.
- [9] Herrera. M, Espinoza. A, Mendez. J, Castro. M, Lopez. J, Rendon. J, "Effect of C Contain on The Mechanical Properties of Solution Treated As-Cast ASTM F-75 Alloys," *Journal of Material Science: Material in Medicine.*, 16, 607-611, 2005.
- [10] Muterlle, P.V, Zendron. M, Perina. M, Bardini. R, Molinari. A, "Microstructure and Tensile Properties of Metal Injection Molding Co-29Cr-6Mo-0.23C alloy," *Journal Material Science.*, vol. 45, pp.1091-1099, 2010.
- [11] Zhuang, L.V and Langer E.W, "Effect of Alloy Addition on The Microstructures and Tensile Properties of Co-Cr-Mo Alloy Used for Surgical Implants" *Journal Material Science.*, vol. 24, pp. 4324-4330, 1989.
- [12] Ika Kartika, "Pengaruh Penambahan Mangan Terhadap Sifat Mampu Tempa Paduan Co-35Cr-5Mo untuk Aplikasi Implan", *Metallurgi.*, vol. 27 No. 2, 2012.
- [13] Narushima, Takayuki, Minieta. Shingo, Kurihara. Yuto, Ueda. Kyosuke, "Precipitates in Biomedical Co-Cr Alloys" *JOM.*, Vol. 65 No.4, 2013.
- [14] Kenta. Yamanaka, Manami. Mori, Chiba. Akihiko, "Effects of Nitrogen Addition on Microstructure and Mechanical Behavior of Biomedical Co–Cr–Mo Alloys," *Journal of The Mechanical Behavior of Biomedical Materials.*, vol. 29 P.417 – 426, 2014.
- [15] Shingo. Kurosu, Nomura. Naoyuki Chiba. Akihiko, "Effect of sigma phase in Co-29Cr-6Mo Alloy on Corrosion behavior in saline solution," *Material Transaction.*, vol. 47, No. 8, pp. 1961-1964, 2006.
- [16] Yamanaka. Kenta, Manami. Mori, Chiba. Akihiko, "Enhanced mechanical Properties of As-Forged Co-Cr-Mo-N Alloys with Ultrafine-Grained Structures," *Metallurgical and Material Transactions A.*, Vol. 43A, pp. 5243-5257, 2012.
- [17] Lee. Sang Hak, Takahashi. Eiji, Nomura. Naoyuki, and Chiba. Akihiko, "Effect of Carbon edition on Microstructure and Mechanical Properties of a wrought Co-Cr-Mo Implant Alloy," *Material Transactions.*, Vol. 47, No. 2, pp. 287-290, 2006.
- [18] Y .P. Li J.S. Yu, Kurosu. S, Koizumi. Y, Matsumoto, H, and Chiba Akihiko, "Role of nitrogen addition in stabilizing the  $\gamma$  phase of Biomedical Co–29Cr–6Mo alloy" *Material Chemistry Physic*, Vol. 133, pp. 29-32, 2012.