

PENGARUH NITROGEN TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN IMPLAN Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni YANG MENGANDUNG KARBON HASIL PROSES *HOT ROLLING*

Kafi Kalam¹, Ika Kartika², Alfirano³

^[1,3] Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

^[2] Pusat Penelitian Metalurgi dan Material

E-mail: kafi.kalam@gmail.com

Abstrak

Paduan Co-Cr-Mo adalah logam paduan yang diaplikasikan sebagai logam implan sesuai dengan standar ASTM F75 yang memiliki sifat biokompatibilitas yang baik. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari kandungan karbon dan nitrogen dalam paduan Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro yang terbentuk. Ingot paduan Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni dipotong ukuran 30 x 20 x 10 mm dengan variasi komposisi kimia: Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni-0,08C; Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni-0,08C-0,2N; Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni-0,15C; Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni-0,15C-0,2N; Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni-0,25C; Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni-0,25C-0,2N. Paduan Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni dihomogenisasi pada $T=1200^{\circ}\text{C}$ selama 6 jam, kemudian dipanaskan pada $T=1200^{\circ}\text{C}$ selama 90 menit dan di-hot-rolling dengan persen reduksi sebesar 90%, lalu didinginkan dengan media air. Hasil pengujian kekerasan material hot rolling menunjukkan bahwa paduan dengan kandungan C terkecil yaitu Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni -0,08C (tanpa adanya N) memiliki nilai kekerasan rata-rata terendah sebesar 42,36 HRC, sedangkan nilai kekerasan tertinggi adalah dalam paduan Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni-0,25C-0,2N dengan rata-rata nilai kekerasan 50,8 HRC. Pengujian XRD dilakukan pada material powder yang dibuat melalui proses ekstrak secara elektrolisis. Fasa yang dominan pada paduan Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni-0,08C adalah fasa σ , sedangkan pada paduan Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni-0,25C-0,2N didominasi oleh presipitat $M_{23}X_6$. Meningkatnya kadar karbon menyebabkan jumlah presipitat $M_{23}X_6$ bertambah, sedangkan penambahan unsur C-N menekan terbentuknya fasa σ .

Kata Kunci : Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni, hot rolling, presipitat.

PENDAHULUAN

Pada dasarnya tulang adalah komponen tubuh yang penting yang memiliki bermacam kegunaan seperti menopang tubuh, tempat melekatnya jaringan otot dan lain-lain. Tahun 2000, jumlah usia lanjut di Indonesia mencapai 7,18% atau 16 juta jiwa. Tahun 2007 jumlah usia lanjut meningkat menjadi 8,4% atau 18,96 juta jiwa, kemudian meningkat lagi di tahun 2009 menjadi 20,5 juta jiwa atau setara dengan 9,08%, dan pada tahun 2010 tercatat sebanyak 22 juta jiwa atau setara dengan 9,77%. Sementara perkiraan usia lanjut pada tahun 2020 mencapai 11,34% atau setara dengan 28,8 juta jiwa [1]. Dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk usia lanjut di Indonesia, maka semakin besar pula peluang peningkatan penyakit seperti osteoporosis bahkan patah tulang.

Biomaterial adalah suatu komponen yang dirancang untuk dapat menggantikan peran bagian tubuh seperti tulang, dan memiliki biokompatibilitas sehingga dapat diterima oleh tubuh [2]. Paduan Co-Cr-Mo ASTM F75 adalah logam paduan Co yang diaplikasikan sebagai logam implan yang memiliki biokompatibilitas yang baik, sehingga dapat digunakan di bidang ortopedi. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan karbon dan nitrogen terhadap struktur mikro yang terbentuk serta sifat mekanis yang dihasilkan pada material dengan perlakuan *hot working* untuk diaplikasikan sebagai logam implan.

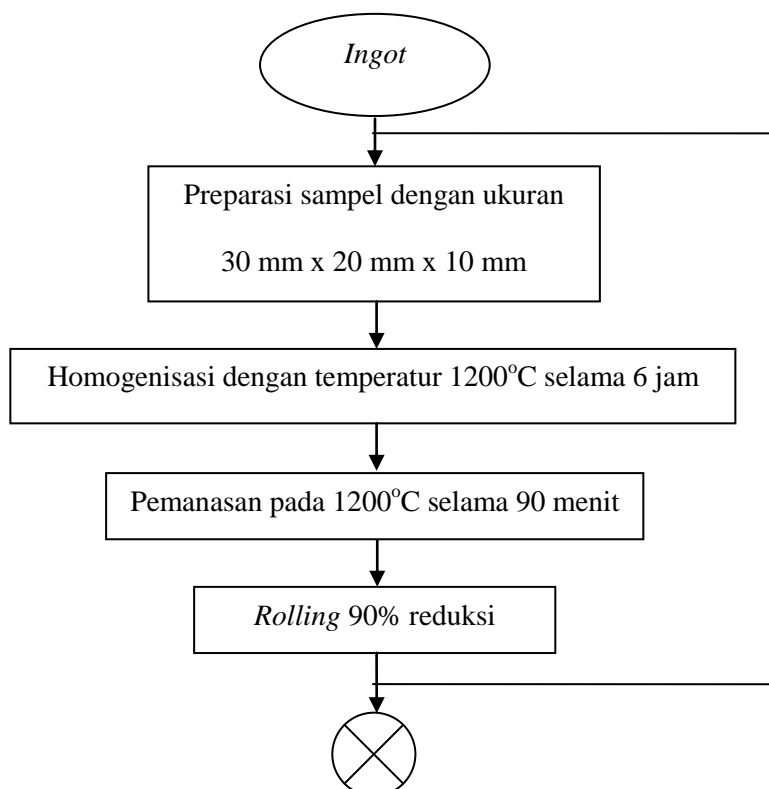
METODE PERCOBAAN

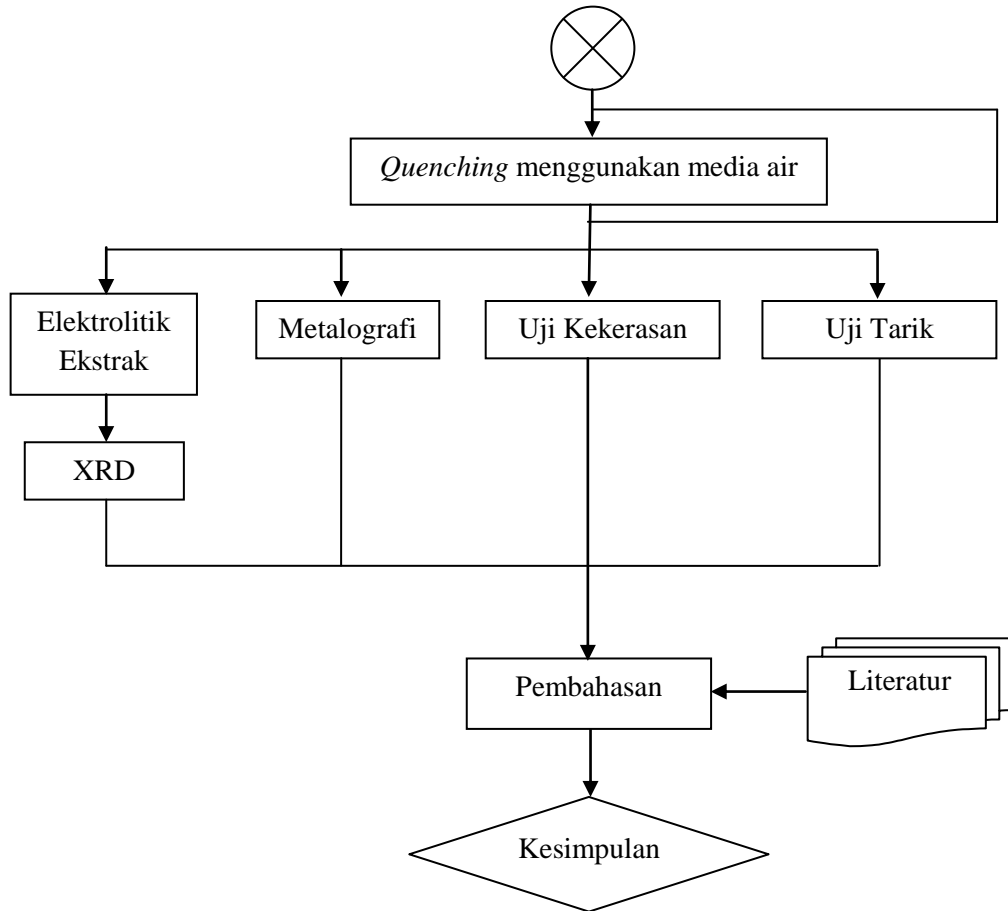
Material *As Cast* dengan komposisi kimia (persen berat):

Tabel 1. Komposisi kimia paduan Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni

| Material | Co | Cr | Mo | C | Mn | Fe | Ni | Si | N |
|----------|------|----|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | Bal. | 28 | 6 | 0.08 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.8 | 0 |
| 2 | Bal. | 28 | 6 | 0.08 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.8 | 0.2 |
| 3 | Bal. | 28 | 6 | 0.15 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.8 | 0 |
| 4 | Bal. | 28 | 6 | 0.15 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.8 | 0.2 |
| 5 | Bal. | 28 | 6 | 0.25 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.8 | 0 |
| 6 | Bal. | 28 | 6 | 0.25 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.8 | 0.2 |

Mula-mula material dipotong ukuran 30 mm x 20 mm x 10 mm dan dihomogenisasi pada temperatur 1200°C selama 6 jam dengan pendinginan di dalam tungku. Material kemudian diberi perlakuan *hot rolling* dengan temperatur 1200°C dan persen reduksi 90% dengan pendinginan menggunakan media air. Pengamatan metalografi dilakukan dengan cara memotong material secara melintang, lalu dipreparasi dahulu dengan cara *grinding* dan *polishing*. Setelah proses tersebut, sampel dietsa dengan metode *electrolytic etch* menggunakan larutan metanol (10% H₂SO₄) dan tegangan 6 volt. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan *indentor Rockwell C* sebanyak 3 titik yaitu pada pinggir dan tengah material. Material tersebut kemudian diuji XRD dengan cara diekstrak terlebih dahulu. Proses ekstrak dilakukan secara elektrolisis menggunakan tegangan 3 volt. Rangkaian yang dibentuk yaitu material Co-Cr-Mo sebagai katoda, logam platina sebagai anoda serta larutan elektrolisis berupa 90% aquades dan 10 % H₂SO₄. Hasil ekstrak tersebut disaring dengan membran filter berukuran 0,2µm, lalu diuji XRD. Karakterisasi selanjutnya yaitu pengamatan SEM-EDX. Sebelum diamati, material ditempel dengan *carbon tape* dan kemudian diletakkan di dalam *holder* pada alat SEM-EDX, lalu diamati. Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur pada material.





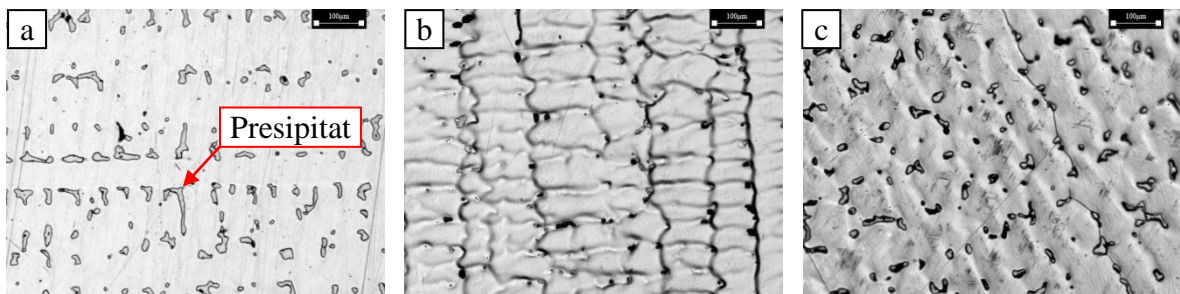
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

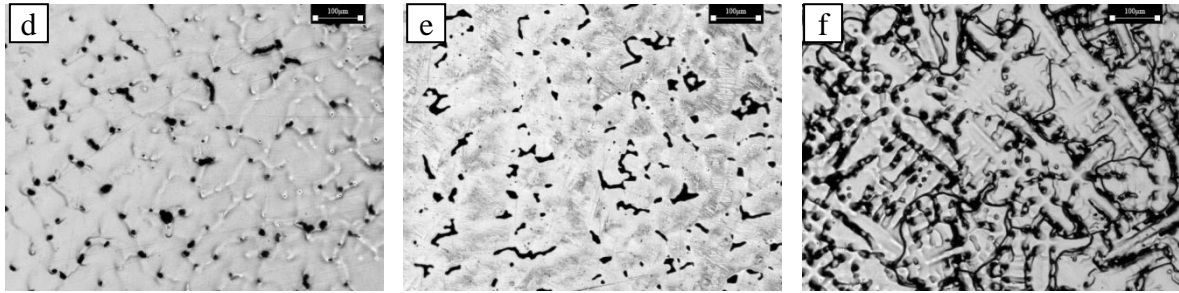
HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Penambahan Karbon

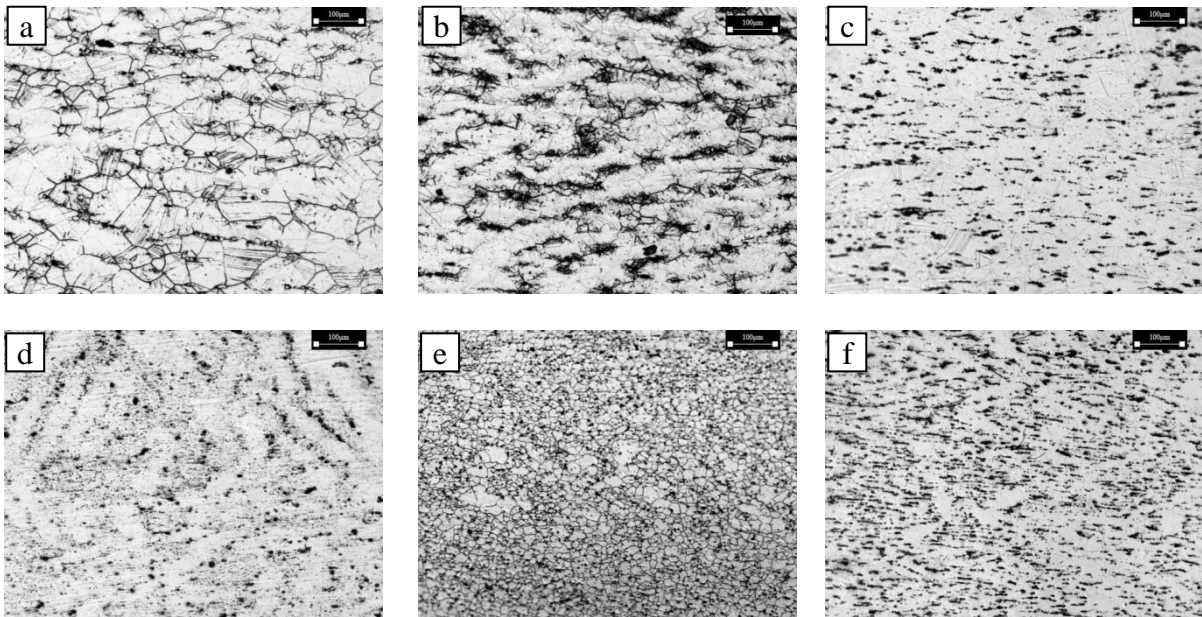
Pengamatan metalografi dilakukan pada material dengan potongan melintang. Seiring dengan penambahan karbon dan nitrogen, presipitat pun semakin bertambah. Diketahui bahwa presipitat pada paduan Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni berpengaruh terhadap sifat mekaniknya [3]. Terdapat dua macam presipitat pada paduan Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni, yaitu fasa intermetalik dan karbonitrida. Maka dari itu unsur karbon dan nitrogen berpengaruh terhadap pembentukan fasa dan presipitat.

Berdasarkan **Gambar 1 & 2**, semakin meningkat kandungan karbon maka presipitatnya semakin bertambah, dan dapat dilihat presipitat yang terbentuk semakin halus. Presipitat yang terbentuk menyumbat batas butir, sehingga menekan laju pertumbuhan batas butir dan mengakibatkan ukuran butir menjadi halus [4].

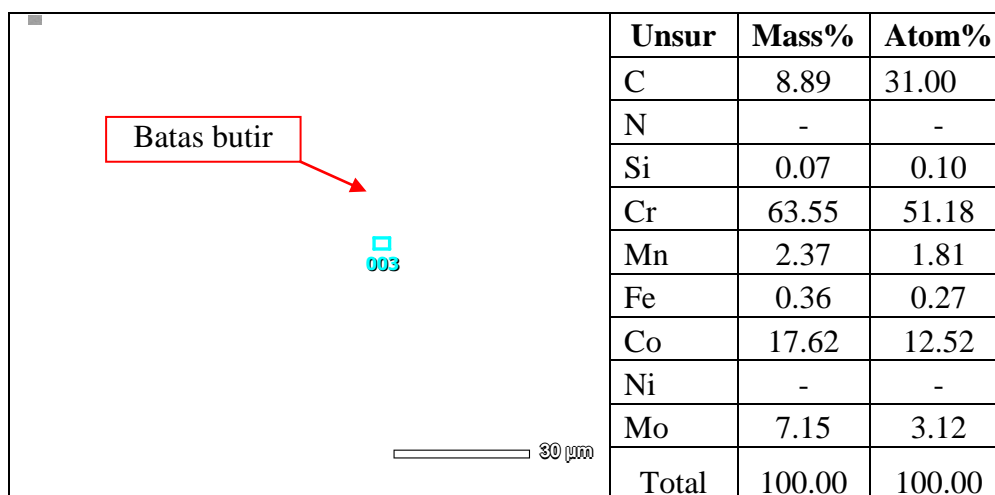




Gambar 1. Struktur mikro *as-cast* a) 0,08C, b) 0,08C;0,2N, c) 0,15C, d) 0,15C;0,2N, e) 0,25C, f) 0,25C;0,2N



Gambar 2. Struktur mikro hasil *hot rolling* a) 0,08C, b) 0,08C;0,2N, c) 0,15C, d) 0,15C;0,2N, e) 0,25C, f) 0,25C;0,2N



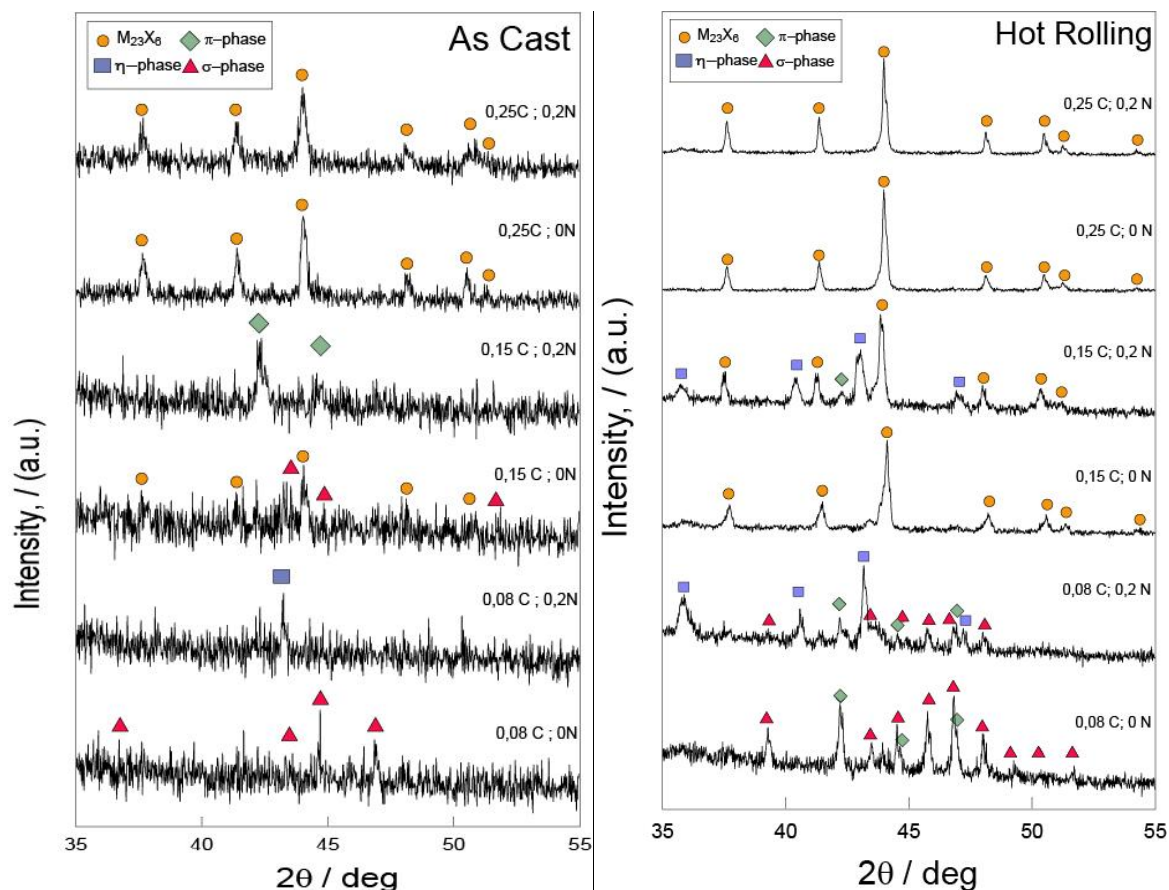
Gambar 3. Presipitat karbida yang terbentuk di batas butir pada *as cast* Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni-0,25C;0,2N

Dalam paduan kobalt karbon dapat menstabilkan presipitat $M_{23}X_6$. Penambahan kandungan karbon dapat mengurangi jumlah fasa σ dan berperan dalam pembentukan $M_{23}X_6$. Pembentukan $M_{23}X_6$ terjadi pada batas butir dengan matriks berupa fasa γ . Fasa σ yang merupakan fasa intermetalik akan bersenyawa dengan karbon sehingga membentuk presipitat $M_{23}X_6$. Perubahan fasa σ menjadi $M_{23}X_6$ terjadi pada saat proses pembekuan setelah *hot rolling* $\sigma + C \rightarrow M_{23}X_6$.

Kandungan karbon yang bertambah mengakibatkan nilai kekerasannya meningkat, hal tersebut dikarenakan presipitat yang terbentuk berada di batas butir yang menghalangi terjadinya dislokasi. Berdasarkan **Gambar 6** dapat diamati bahwa kekerasan meningkat seiring dengan penambahan karbon. Presipitat yang terbentuk tumbuh di batas butir sehingga menghalangi jalur dislokasi. Presipitat $M_{23}X_6$ memiliki *stiffness* yang lebih tinggi ketimbang matriks γ sehingga sifat mekaniknya meningkat [5].

Pengaruh Penambahan Nitrogen

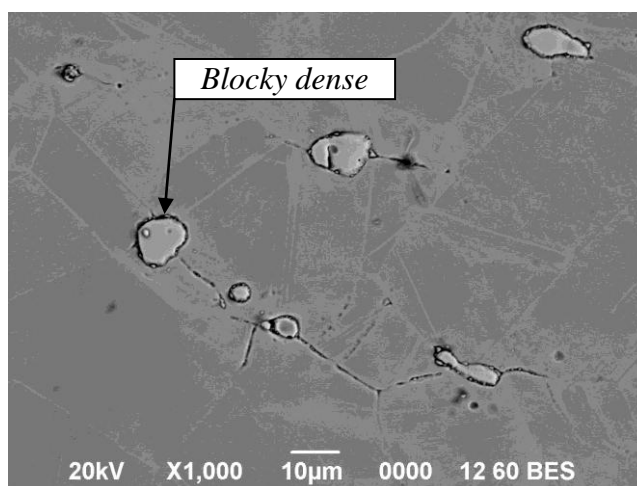
Nitrogen diketahui sebagai unsur penstabil fasa γ dari paduan Co-Cr-Mo dengan menekan laju pembentukan fasa ε dari fasa γ , sehingga meningkatkan sifat mekanik serta mampu bentuk [6]. Berdasarkan hasil XRD pada *hot rolling* material 1 dan 2, penambahan nitrogen dapat menghambat pembentukan fasa intermetalik σ . Bahkan pada penelitian yang telah dilakukan oleh Narushima [6] membuktikan bahwa pembentukan fasa σ dapat dihambat dengan cara penambahan unsur nitrogen tanpa adanya penambahan unsur karbon sekalipun.



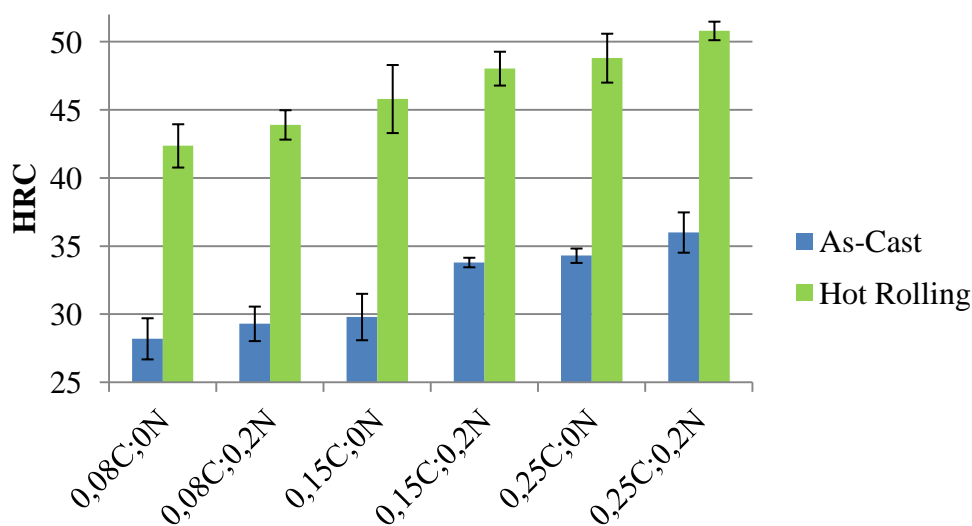
Gambar 4. Hasil pengujian XRD pada material yang telah diekstrak secara elektrolisa.

Fasa intermetalik σ (CoCr) pada material hasil rolling terlihat dominan pada paduan komposisi 0,08C (tanpa nitrogen) dan 0,08C;0,2N. Berdasarkan pengamatan menggunakan SEM fasa tersebut memiliki morfologi berupa *blocky dense*. Nilai kekerasan material dengan

paduan nitrogen (**Gambar 6**) terlihat meningkat, hal tersebut berhubungan dengan presipitat η ($M_{12}X$) yang terbentuk. Fasa η terbentuk pada paduan Co-Cr-Mo dengan penambahan 0,2N. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa presipitat $M_{23}X_6$, fasa η terbentuk karena adanya unsur C dan N. Sementara fasa π yang muncul setelah perlakuan *hot roll* dapat terjadi karena fasa π terbentuk akibat kondisi *hot rolling* dengan temperatur 1200°C yang dilakukan, dimana pada temperatur tersebut terjadi fenomena *partial melting*, khususnya terbentuk pada kandungan karbon 0,08C dan 0,15C. Pembentukan fasa π tergantung pada kondisi pendinginannya. Pendinginan cepat (*quenching*) dibutuhkan untuk mendapatkan fasa tersebut. Sedangkan pada pendinginan lambat fasa π akan berubah menjadi fasa lain yaitu $M_{23}X_6 + \gamma$.



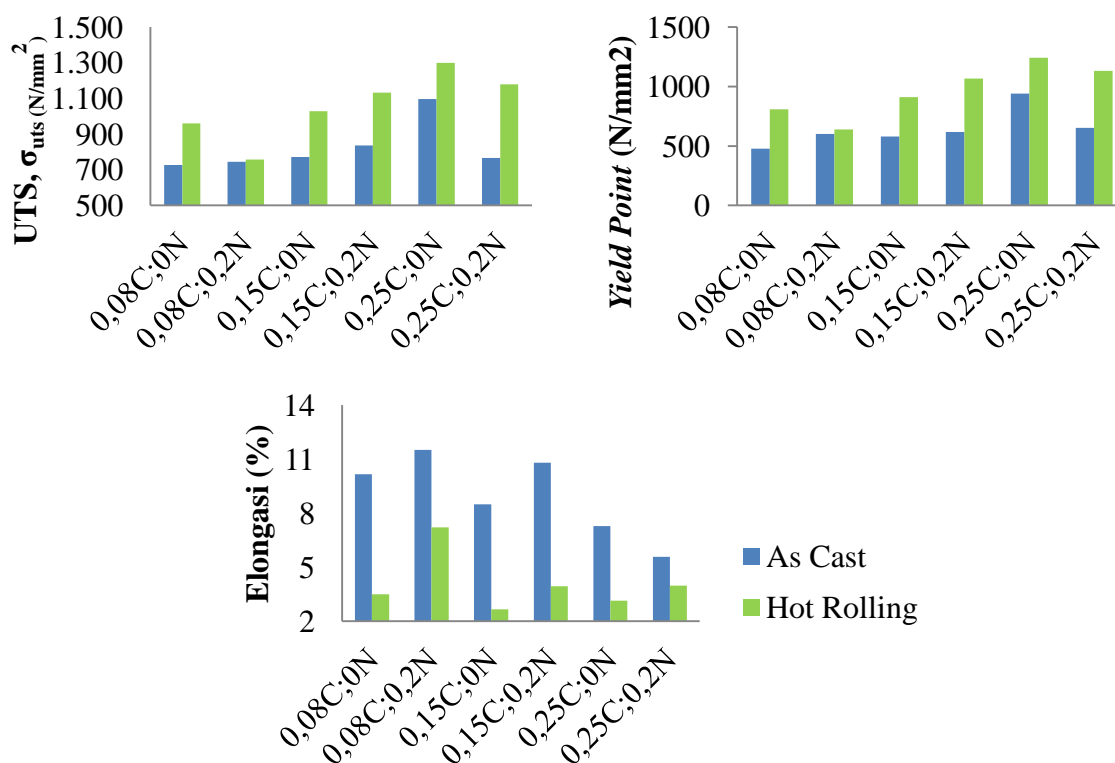
Gambar 5. Morfologi *blocky dense* pada Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni-0,08C



Gambar 6. Rata-rata nilai kekerasan paduan Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni

Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan karbon yang ditambahkan maka nilai kekerasannya semakin meningkat. Penambahan unsur nitrogen dalam paduan Co-Cr-Mo-C juga dapat meningkatkan nilai kekerasannya. Nilai kekerasan tertinggi dan terendah untuk hasil *hot rolling* berturut-turut adalah 0,25C;0,2N dengan nilai kekerasan 50,8 HRC dan 0,08C;0N dengan nilai kekerasan 42,36 HRC. Sedangkan untuk nilai kekerasan tertinggi dan terendah untuk *as cast* berturut-turut adalah 0,25C;0,2N dengan

nilai kekerasan 36 HRC dan 0,08C;0N dengan nilai kekerasan 28,2 HRC. Material hasil *hot rolling* juga menunjukkan adanya kenaikan nilai kekerasan dibandingkan *as cast*. Hal tersebut disebabkan oleh pembentukan presipitat pada hasil XRD *hot rolling*, yang menunjukkan adanya presipitat $M_{23}X_6$, fasa η , fasa σ , serta fasa π .



Gambar 7. Hasil pengujian tarik paduan Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni

Gambar 7 menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan karbon maka UTS dan *yield stress* paduan akan semakin meningkat dikarenakan presipitat yang terbentuk. Persen elongasi terkecil yaitu paduan 0,15C;0N. Seharusnya persen elongasi akan menurun seiring dengan bertambahnya karbon. Hal tersebut dapat dikarenakan pada paduan 0,15C;0N memiliki presipitat yang berkoloni, sedangkan pada 0,08C;0N dan 0,25C;0N presipitat yang terbentuk berbentuk bulat. Presipitat berbentuk bulat dapat meningkatkan keuletan sehingga persen elongasi pada paduan kobalt 0,08C;0N, dan 0,25C;0N lebih tinggi daripada paduan kobalt 0,15C;0N.

Sedangkan pada paduan dengan penambahan unsur nitrogen, nilai UTS dan *yield stress* yang didapat cenderung fluktuatif. Pada 0,08C;0,2N dan 0,25C;0,2N persebaran presipitat yang terbentuk kurang merata sehingga nilai kekuatan tariknya menurun. Kenaikan nilai UTS dan *yield stress* pada 0,15C;0,2N terjadi akibat adanya atom interstisi nitrogen sehingga meningkatkan nilai kekerasannya. Nitrogen dapat menyetabilkan fasa γ , sehingga dapat meningkatkan keuletannya. Namun pada paduan 0,25C;0,2N terjadi penurunan persen elongasi dikarenakan terbentuknya *annealing twin*.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil yaitu penambahan unsur karbon pada paduan Co-28Cr-6Mo-0,4Fe-0,2Ni dapat meningkatkan nilai kekerasan serta kekuatan material dikarenakan pembentukan presipitat karbida $M_{23}X_6$. Sedangkan penambahan nitrogen dapat menghambat pembentukan fasa intermetalik σ dan membentuk fasa η ($M_{12}X$). Penambahan unsur karbon dan nitrogen berpengaruh terhadap sifat mekanik material yaitu meningkatkan

kekerasan dengan cara pembentukan presipitat $M_{23}X_6$ dan fasa η ($M_{12}X$). Nilai kekerasan tertinggi dan terendah untuk hasil *hot rolling* berturut-turut adalah 0,25C;0,2N dengan nilai kekerasan 50,8 HRC dan 0,08C;0N dengan nilai kekerasan 42,36 HRC. Kekuatan tarik maksimum (UTS) tertinggi pada *hot rolling* yaitu pada 0,25C;0N sebesar 1298,83 N/mm² dan terendah pada 0,08C;0,2N sebesar 757,681 N/mm². Sedangkan persen elongasi terbesar pada hasil *hot rolling* yaitu 0,08C;0,2N sebesar 7,208% dan terendah yaitu 0,15C;0N sebesar 2,655%.

Daftar Referensi

- [1] Kementerian PP dan PA. 2011. Penduduk Lanjut Usia. Jakarta: Kementerian Pemberdayaan Perempuan dan Perlindungan Anak RI.
- [2] Park Joon & Lakes R.S. 2007. An Introduction to Biomaterials. Third Edition. Springer. New York.
- [3] Narushima, T et al. 2015. Co-Cr Alloys as Effective Metallic Biomaterials. Springer.
- [4] Lee, S et al. 2006. Effect of Carbon Addition on Microstructure and Mechanical Properties of a Wrought Co–Cr–Mo Implant Alloy. Materials Transactions, Vol. 47, No. 2 (2006) pp. 287 to 290.
- [5] Mori, M et al. 2014. Effect of carbon on the microstructure, mechanical properties and metal ion release of Ni-free Co–Cr–Mo alloys containing nitrogen. Elsevier.
- [6] Narushima, T et al. 2013. Precipitates in Biomedical Co-Cr Alloys. JOM, Vol. 65, No. 4, 2013