



## PENGARUH KROM TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA BESI COR NODULAR 400

### *EFFECT OF CROM ON MECHANICAL PROPERTIES AND METALOGRAPHY OF FCD 400*

Martin Doloksaribu dan Eva Afrilinda

Balai Besar Logam dan Mesin, Kementerian Perindustrian  
Jalan Sangkuriang 12 Bandung, Jawa Barat 40135

Email: [martin-d@kemeperin.go.id](mailto:martin-d@kemeperin.go.id), [eva.afrilinda@gmail.com](mailto:eva.afrilinda@gmail.com)

#### Abstrak

Besi Tuang Nodular 400 (FCD 400) dengan standar komposisi 3,5~3,9%C, 2,5~2,9%Si, 0,3~0,5%Mn, maks 0,03%P, maks 0,02%S dan min 0,03%Mg. Besi Cor Nodular memiliki perpaduan sifat kekuatan dan keuletan. Pada aplikasi *slider* tebal diperlukan kepastian sifat ketahanan aus. Ketahanan aus ditingkatkan dengan meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik. Krom (Cr) merupakan unsur yang dapat meningkatkan kekerasan karena dapat berperan sebagai promotor perlit dan karbida. Pada pembuatan Besi Cor Nodular 400 ditambahkan Cr pada kisaran 0,03~0,1%. Uji tarik dan uji keras pada 0,033%Cr sebesar 431,68 N/mm<sup>2</sup> dan 157 HB. Pada 0,074%Cr sebesar 599,28 N/mm<sup>2</sup> dan 187 HB. Struktur mikro menunjukkan peningkatan kandungan perlit yang signifikan.

**Kata Kunci :** besi cor nodular 400, krom, kekuatan tarik, kekerasan, kekerasan, perlit

#### Abstract

*Nodular Cast Iron 400 (FCD 400) has a standard composition C 3.5~3.9%, Si 2.5~2.9%, Mn 0.3~0.5%, P max of 0.03%, S max of 0.02% and 0.03%, Mg min. Nodular Cast Iron has good combination of strength and ductility. Heavy section casting of slider application requires good wear resistance which influenced by tensile strength and hardness. Wear resistance can be developed by increasing tensile strength and hardness. Chromium can improve strength and hardness as pearlite and carbides promote. Chrome was added on FCD 400 by 0.03~0.1%. Tensile strength and hardness test at 0.033%Cr were 431.68 N/mm<sup>2</sup> and 157 HB; at 0.074% Cr were 599.28 N/mm<sup>2</sup> and 187 HB. The microstructure shows that hard pearlite structure was not significantly increased.*

**Keywords :** ductile cast iron 400, chrom, tensile strength, hardness, pearlite

#### PENDAHULUAN

Besi Tuang Nodular (BTN) merupakan material yang serba guna (Melnikov and Filipenka 2011). Grafit sferoidal pada BTN menghasilkan kisaran perpaduan sifat mekanik yang luas. Perpaduan sifat yang dimiliki seperti keuletan dan ketangguhan, ketahanan korosi dan ketahanan panas.

Produk yang terbuat dari Besi Tuang Kelabu (BTK) atau *steel* pada aplikasi tertentu dapat digantikan oleh BTN. BTK memiliki kekuatan tarik maksimal berkisar 280~343 MPa (Pluphrach 2010) sedangkan BTN memiliki kisaran UTS 350~800 namun memiliki elongasi 2~22%. Dengan menggunakan BTN,

produk/komponen memiliki perpaduan *tensile strength* dengan *ductility*. Perpaduan sifat tersebut memberikan ketahanan pakai yang lebih baik dibandingkan BTK.

Perpaduan kekuatan tarik dan kekerasan BTN disebabkan oleh grafit berbentuk nodular dan struktur mikro yang terbentuk. Sifat BTN dalam skala tertentu dapat dicapai dengan mengontrol struktur mikro yang terbentuk (Omran, Abdel-Jaber, and Ali 2014). Struktur matriks dalam struktur mikro pada BTN dapat berbentuk ferritik, perlitik, ferritik-perlitik, martensitik, austenitik atau bainitik. Struktur matriks BTN

pada kondisi *as-cast* adalah ferritik, perlitik atau ferritik-perlitik.

Pengaturan struktur mikro dapat dilakukan dengan memberikan perlakuan panas pada produk atau dengan menggunakan unsur paduan tertentu (Madtha and Babu 2013). Pengaturan struktur mikro pada *as-cast* dengan perlakuan panas memerlukan tambahan waktu dan biaya pengerjaan. Rekayasa struktur mikro dengan penggunaan unsur paduan tertentu tidak memerlukan tambahan waktu pengerjaan sehingga biaya yang dibutuhkan relatif lebih murah. Oleh karena itu metode pengaturan struktur mikro dengan penggunaan unsur paduan lebih praktis dan murah.

Pada beberapa aplikasi tertentu produk diinginkan memiliki sifat lebih baik daripada standar sifat material. Salah satunya seperti pada komponen *slider*. Komponen tersebut dibuat dari BTN 400 dengan peningkatan pada beberapa sifat mekanik supaya memenuhi kebutuhan. Sifat yang diinginkan adalah perpaduan antara kekuatan dan ketahanan aus. Ketahanan aus didapat dari perpaduan keuletan dan kekerasaan.

BTN 400 merupakan standar besi cor Jepang dengan komposisi karbon 3,5~3,9; silikon 2,5~2,9; mangan 0,3~0,5; fosfor maksimal 0,05; sulfur maksimal 0,02 dan magnesium minimal 0,03%. Kekuatan tarik (*tensile strength*) sebesar 400 N/mm<sup>2</sup>, elongasi 15~18% dan kekerasaan (*hardness*) 130~180 HB.

Penambahan unsur krom (Cr) pada BTN memberikan pengaruh yang berbeda-beda pada spesifikasi BTN yang berbeda. Pada *heavy section ductile cast iron*, penambahan Cr sebesar 0,26 dan 0,49% akan meningkatkan kekuatan (*strength*) dan kekerasaan secara signifikan (Cho et al. 2007). Kekuatan tarik meningkat dari sekitar 440 ke 590 MPa dan kekerasaan meningkat dari 170 ke 220 HB. Namun penambahan unsur Cr menurunkan elongasi dari 13 ke 7%. Struktur mikro menunjukkan struktur *bull's eye* di dalam matriks perlit.

Hasil penelitian lain menunjukkan pengaruh Cr sampai dengan 1,00% dan Cu sampai dengan 1,50% pada BTN dengan kandungan karbida pada struktur mikro (Gumienny 2010). Peningkatan kandungan Cr dari 0,25 ke 0,50% mengurangi area ferit namun meningkatkan area karbida sehingga dapat meningkatkan kekerasaan dari 303 menjadi 360 HB. Penambahan Cr 1,00% memberikan peningkatan kekerasaan.

Pengaruh penambahan unsur paduan dipengaruhi oleh metode peleburan BTN (Válek, Šimon, and Střílková 2012). Metode peleburan BTN terdiri atas beberapa tahap antara lain tahap inokulasi dan spheroidisasi. Proses spheroidisasi yang intens dan lambat akan menyebabkan penurunan kandungan karbon (C) dan kandungan residu magnesium (Mg) (Bockus and Dobrovolskis 2005). Kandungan Mg perlu dijaga karena Mg berfungsi sebagai pembentuk grafit nodular.

Pada umumnya matriks yang terbentuk pada BTN 400 adalah ferrit. Si berfungsi sebagai promotor ferrit dan Mn berfungsi sebagai unsur yang meningkatkan kekuatan dan kekerasaan matriks ferit sekaligus sebagai penstabil perlit yang di dalam besi cor nodular 400 (Gonzaga et al. 2009).

Pada beberapa kasus diperlukan material yang memiliki sifat yang lebih baik dibandingkan sifat standar dengan tetap memperhitungkan biaya produksi. Sifat BTN dapat ditingkatkan dengan penambahan unsur paduan. Pengaruh Cr terhadap sifat BTN dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain jumlah penambahan Cr serta parameter peleburan. Parameter peleburan mempengaruhi kandungan unsur sehingga mempengaruhi efek dari penggunaan Cr. Temperatur tinggi dan waktu tahan yang lama di tungku akan menurunkan kandungan unsur C namun meningkatkan Si. Spheroidisasi yang intens dan lambat mempengaruhi komposisi cairan dan kandungan residu Mg dalam besi nodular. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan unsur paduan Cr dalam jumlah relatif sedikit terhadap kekuatan tarik dan kekerasaan BTN 400.

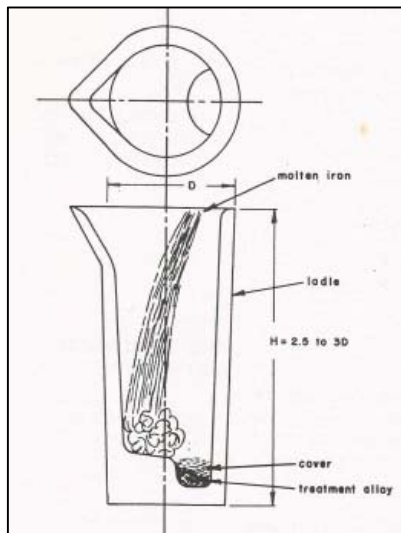
## METODE

Peleburan BTN menggunakan tungku induksi frekuensi rendah Inductoterm. Proses peleburan diawali dengan penyiapan material umpan (*charging material*). Material umpan yang digunakan adalah *steel scarp* (0,02%C). Paduan yang digunakan adalah *carburizer* (75%C), *cover agent*, FeSiMg, FeSi, inokulan dan Cr. *Charging material* dimasukkan ke dalam tungku. Pemaduan dilakukan pada temperatur  $\pm 1500^{\circ}\text{C}$ . Komposisi kimia diperiksa untuk menyesuaikan kandungan C, Si dan Mn sesuai standar BTN 400 dan kandungan Cr sesuai target. Pengecekan komposisi kimia dilakukan pada *chill test* dengan spektrometer ARUN MetalScan PoySpek series.

Pengecoran dilakukan dua kali dengan target kandungan Cr pada dua kisaran yaitu  $Cr < 0,05\%$  dan  $0,05 < Cr < 0,1\%$ .

Setelah komposisi kimia cairan logam tercapai maka dilakukan *tapping*. Cairan logam dituang ke *pouring ladle*. Bahan inokulasi diberikan pada saat *tapping*.

Spheroidisasi dilakukan di *pouring ladle*. *Spheroidizer* FeSiMg diletakkan di dasar ladle sehingga spheroidisasi terjadi sesaat setelah cairan logam menyentuh dasar ladle. Ilustrasi penempatan *spheroidizer* dapat dilihat pada Gambar 1. *Cover agent* diletakkan di atas *spheroidizer* agar *spheroidizer* tidak langsung habis terlarut ke cairan logam.



Gambar 1. Ilustrasi penempatan paduan spheroidizer (sumber: American Foundrymen's Society, Inc. 1986)

Cairan logam pada *pouring ladle* dituang ke cetakan blok Y. Cetakan dibuat dari pasir dengan resin alpha. Pada saat penuangan cairan ke cetakan, bahan inokulasi ditabur ke aliran cairan logam.

Pengujian mekanik dilakukan pada sampel. Uji tarik dilakukan sesuai standar JIS Z2201/1999. Pengujian dilakukan dengan alat uji tarik *Universal Testing Machine* Hung Ta dan diuji sesuai SNI. Uji keras dilakukan dari potongan sampel uji tarik. Uji keras menggunakan mesin AFRI Hardness Tester Serial No.4680 ROCKWELL B (HRB) indentor bola baja dengan beban 980 N dan penahanan beban selama 2 detik. Hasil uji keras didapat dalam satuan HRB kemudian dikonversi ke HB.

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan Mikroskop Nikkon Metaphot. Preparasi sampel menggunakan etsa nital ( $FeCl_3$ ) 5%. Pengamatan dilakukan pada perbesaran 50x, 100x, 200x dan 400x.

Kegiatan penelitian dilakukan di Balai Besar Logam dan Mesin Kementerian Perindustrian pada tahun 2015.

## HASIL & PEMBAHASAN

Hasil pengujian komposisi kimia dari dua kali pengecoran yang dilakukan ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil komposisi kimia cor kesatu

Unsur	Standar BTN 400	Hasil Cor
C	3.5~3.9	3.580
Si	2.5~2.9	2.600
Mn	0.3~0.5	0.654
Cr	<0.050	0.033
P	<0.05	0.016
S	<0.02	0.032
Mg	>0.03	0.061

Tabel 2. Hasil komposisi kimia cor kedua

Unsur	Standar BTN 400	Hasil Cor
C	3.5~3.9	3.380
Si	2.5~2.9	2.800
Mn	0.3~0.5	0.544
Cr	0.050~0.1	0.074
P	<0.05	0.033
S	<0.02	0.022
Mg	>0.03	0.080

Pada pengecoran pertama kandungan Cr sebesar 0,033% dan pada pengecoran kedua sebesar 0,074%.

Hasil uji tarik dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji tarik

No	Parameter Uji	Cor I	Cor II	Standar BTN 400
1	Kekuatan tarik (N/mm <sup>2</sup> )	431.68	599.28	≥400
2	Elongasi (%)	16.04	13.13	15~18

Kekuatan tarik meningkat dari cor pertama terhadap cor kedua (0,033% ke 0,074%Cr) sebesar 167,60 N/mm<sup>2</sup> (38,83%). Pada kisaran tersebut matriks yang terbentuk ferritik/perlitik (Tabel 4). Pada cor kedua, kelebihan unsur S dan Mn dapat dikurangi. Kandungan sisa unsur Mg pada cor kedua lebih besar daripada cor pertama. Peningkatan kandungan unsur Cr bermanfaat terhadap kekuatan tarik (Soitiski and Derda 2008). Soitiski dan Derda meneliti pada kisaran 0,02~0,12%Cr. Namun peningkatan unsur Cr berdampak buruk terhadap nilai elongasi.

Tabel 4. Sifat mekanik FCD 400 pada *as-cast* dan *annealed ferritic, ferritic/pearlitic, as-cast pearlitic* dan *normalized pearlitic*

		As-cast and annealed ferritic	Ferritic/pearlitic	As-cast pearlitic	Normalised pearlitic
Tensile strength	N/mm <sup>2</sup>	370-500	500-600	650-750	750-1000
0.1 proof strength	N/mm <sup>2</sup>	221-323	323-346	360-410	410-550
Elongation	%	25-12	7-3	5-1	7-2
Modulus of elasticity	GN/m <sup>2</sup>	168-170	169-174	175-177	172-173
Hamdness No.	HB	116-170	172-247	239-255	255-300
Hamdness No. (Konversi)	HRB/HRC	67.50-86.50 HRB	87 HRB-25 HRC	24-26 HRC	26-32 HRC
Unnothched fatigue limit	N/mm <sup>2</sup>	186-224	224-248	360-300	300-330
Notched fatigue limit	N/mm <sup>2</sup>	117-134	134-149	156-180	180-200

Nilai elongasi mengalami penurunan dari cor pertama ke cor kedua sebesar 2,91%elongasi. Elongasi cor kedua di bawah batas minimum standar.

Unsur Mg sebagai *spheroidizer* menyebabkan pembulatan inti. Kandungan Mg yang dimasukkan ke dalam cairan logam tidak seluruhnya bereaksi dalam pembentukan inti nodul. Peningkatan residu Mg meningkatkan kandungan perlit (Bockus and Zaldarys 2011). Perlit memiliki sifat lebih keras dibandingkan ferrit.

Kekurangan unsur C, kelebihan unsur P-S dan peningkatan unsur Cr dapat menjadi faktor penghambat peningkatan efek pembulatan. Unsur P menyebabkan terbentuk fasa yang *brittle*. Unsur S reaktif terhadap Mg.

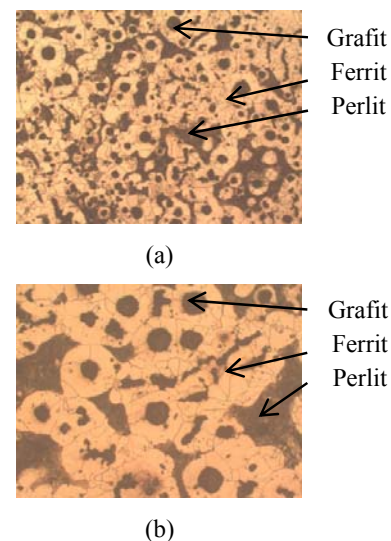
Hasil uji keras sebagai berikut (Tabel 5):

Tabel 5. Hasil uji keras

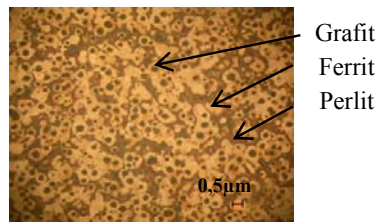
Parameter Uji	Cor I	Cor II	Standar BTN 400
Kekerasan (HB)	157.00	187.00	130-210

Penambahan kandungan unsur Cr dapat meningkatkan kekerasan (Jiang et al. 2016). Unsur Cr berfungsi sebagai promotor perlit dan karbida yang bersifat keras. Kekerasan meningkat sebesar 30 HB (19%). Kekerasan pada rentang 157~187 HB berada pada matriks *as-cast ferritic* dan *ferritic/pearlitic*.

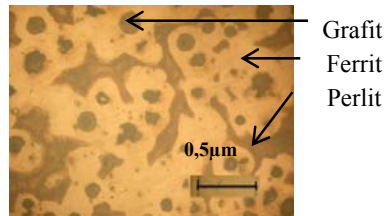
Foto struktur mikro menunjukkan bentuk grafit yang terbentuk, matriks yang terbentuk dan persebaran grafit nodul. Ferrit merupakan area berwarna coklat sebagai matriks. Grafit merupakan nodul berwarna hitam. Perlit adalah area berwarna hitam namun tidka berbentuk nodul. Foto struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 2. Foto struktur mikro hasil pengecoran pertama, etsa nital 5%: (a) perbesaran 50X. (b) perbesaran 400X



(a)



(b)

Gambar 3. Foto struktur mikro pengecoran kedua; dengan nital 5%: (a) perbesaran 50X. (b) perbesaran 400X

Pengamatan struktur mikro menunjukkan terbentuknya matriks feritik dengan kisaran luas area perlit 10~20%. Pada cor pertama, luas area perlit sekitar 16% dan pada cor kedua sekitar 14%. Luas area perlit tidak meningkat secara signifikan dengan sedikit penambahan Cr.

*Nodularity* (tingkat kebulatan dan penyebaran grafit nodul) sedikit berbeda antara komposisi cor pertama dan kedua. Pada 0,033%Cr-0,061%Mg (Gambar 5) menunjukkan 80% *nodularity*. Pada 0,074%-0,08%Mg (Gambar 6) menunjukkan 90% *nodularity*. Luas area grafit nodul relatif sama. Peningkatan unsur Cr dalam jumlah sedikit tidak menghambat fungsi Mg sebagai penyeragam distribusi nodul.

### KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan sedikit unsur Cr dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik namun menurunkan elongasi.
2. Penambahan sedikit unsur Cr dapat meningkatkan nilai kekerasan.
3. Kandungan P, S dan residu Mg mempengaruhi efek dari penambahan unsur Cr.
4. Peningkatan sedikit unsur Cr tidak memberikan efek yang signifikan dalam meningkatkan jumlah perlit dan *nodularity*.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Balai Besar Logam dan Mesin Kementerian Perindustrian yang telah mendanai dan mendukung pelaksanaan penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Bockus, S, and A Dobrovolskis. 2005. "Effect of Melting Techniques on Ductile Iron Castings Properties." *Metallurgija* 45: 13–16.
- Bockus, S, and G Zaldarys. 2011. "Evaluation of Producing Technique Factors Affecting the Matrix Microstructure of As-Cast Ductile Iron Castings." *Metallurgija* 50 (1). Kaunas, Lithuania: Hrvatsko Metalurško Društvo/Croatian Metallurgical Society: 9–12. [http://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id\\_clanak\\_jezik=91387](http://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=91387).
- Cho, G S, K H Choe, K W Lee, and A Ikenaga. 2007. "Effects of Alloying Elements on the Microstructures and Mechanical Properties of Heavy Section Ductile Cast Iron." *J. Mater. Sci. Technol* 23 (1): 97–101.
- Gonzaga, R a, P Martínez Landa, a Perez, and P Villanueva. 2009. "Mechanical Properties Dependency of the Pearlite Content of Ductile Irons." *Manufacturing Engineering* 33 (2): 150–58.
- Gumienny, G. 2010. "Chromium and Copper Influence on the Nodular Cast Iron with Carbides Microstructure." *Archives of Foundry Engineering* 10 (4): 47–54.
- Jiang, Ke, Ying-dong Qu, Jun-hua You, Rong-de Li, Qing-chun Xiang, and Yu-xiong Zhou. 2016. "Influence of Cr Element on Impact Fracture Process of Ductile Ni-Resistant Alloyed Iron at Low Temperature." *China Foundry Research & Development* 13 (1): 42–46. doi:10.1007/s41230-016-5082-2.
- Madtha, Lisa Shifani, and Narendra Babu. 2013. "Experimental Behavioural Study Of Ductile Cast Iron Microstructure And Its Mechanical Properties." *International Journal of Engineering Research* 3 (3): 1470–75. [www.ijera.com](http://www.ijera.com).
- Melnikov, A P, and Y V Filipenka. 2011. "A Study the Relationship between Composition, Structure and Properties of Ductile Iron in Continuous Casting." *Lit'ė I Metallurgija* 3 (62): 11–16.

- Omran, A.M, G.T Abdel-Jaber, and M.M Ali. 2014. "Effect of Cu and Mn on the Mechanical Properties and Microstructure of Ductile Cast Iron." *Journal of Engineering Research and Applications* 4 (6): 90–96.
- Pluphrach, Ganwarich. 2010. "Study of the Effect of Solidification on Graphite Flakes Microstructure and Mechanical Properties of an ASTM A-48 Gray Cast Iron Using Steel Molds." *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 32 (6): 613–18.
- Soitiski, M.S, and A Derda. 2008. "The Influence of Selected Elements on Mechanical Properties of Ferritic Ductile Iron." *Archives of Foundry Engineering* 8 (1): 303–8.
- Válek, T., P. Šimon, and L. Střílková. 2012. "The Comparison of Selected Methods of Cast Iron Spheroidization in Industrial Conditions." *Archives of Foundry Engineering* 12 (2): 89–92. doi:10.2478/v10266-012-0043-8.