

# PERBAIKAN SIFAT MEKANIS BESI COR KELABU DENGAN PENAMBAHAN UNSUR CROM DAN TEMBAGA

Agus Suprihanto, Yusuf Umardani, Dwi Basuki Wibowo

Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang

Kampus Undip Tembalang

## ABSTRAKSI

*Sifat mekanis besi cor kelabu dipengaruhi oleh laju pendinginan, tebal coran, perlakuan panas, perlakuan saat cairan dan penambahan unsur paduan. Beberapa penggunaan material ini membutuhkan kekuatan yang tinggi. Untuk memperbaiki kekuatannya dapat dilakukan dengan penambahan unsur paduan yang bersifat penggalak karbida seperti Cr dan Cu.*

*Dalam penelitian ini pengaruh penambahan Cr dan Cu pada sifat mekanis besi cor kelabu telah diteliti. Material dasar FC20 yang ditambah dengan Cr 0,23 %, 0,32% dan 0,47% serta Cu antara 0,6% to 0,7% telah diuji. Pengujian metalografi dan tarik telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan Cr dan Cu terhadap sifat mekanis besi cor kelabu.*

*Hasil pengujian tarik terlihat terdapat peningkatan kekuatan tarik sebesar 20% yaitu dari 191MPa menjadi 232MPa. Meskipun demikian hasil metalografi menunjukkan bahwa kesemua spesimen uji memiliki struktur mikro matrik perlit dengan grafit serpih tipe VII, distribusi A dan berukuran 3-5.*

**Kata-kata kunci:** kekuatan tarik, besi cor kelabu perlitik, penggalak karbida, Cr dan Cu

## PENDAHULUAN

Besi cor kelabu merupakan paduan Fe-C seperti halnya baja. Material ini merupakan salah satu material teknik yang banyak digunakan. Hal ini disebabkan oleh kemudahan proses pembuatan, mampu dibuat secara masal dan biaya proses yang kompetitif dll. Meskipun banyak menawarkan keuntungan, tetapi terdapat beberapa kekurangan yaitu sifat mekaniknya tidak setinggi baja (Surdia Tata, 1999)

Guna memperbaiki sifat mekanisnya, besi cor lazim dipadu dengan unsur paduan. Krom, molybdenum dan vanadium merupakan unsur paduan yang mampu bertindak sebagai penggalak karbida (*carbide promoter*). Tembaga dan nikel adalah pembentuk grafit dan cenderung untuk menjaga coran kelabu dan bebas dari

*chill* sehingga efeknya terhadap ketahanan aus tidak berbeda jauh dari efeknya dalam menekan pembentukan ferrit bebas, resiko untuk pembentukan besi berkarbida yang *machinability*-nya rendah sangat dikurangi.

## TINJAUAN PUSTAKA

Penggunaan besi cor sebagai material tromol rem tidak lepas dari sifat-sifat yang dimilikinya sesuai untuk tromol rem. Sifat-sifat tersebut yaitu memiliki konduktifitas panas yang baik, kekuatan dan keuletan yang mencukupi, sifat gesekan yang baik, modulus elastisitas yang rendah untuk mengakomodasi tegangan akibat termal, bebas dari fasa-fasa yang tidak stabil terhadap temperatur dan kemampuan menyerap getaran. Oleh karena itu besi cor yang digunakan adalah tertentu yaitu besi

cor dengan matrik pearlit dan bergrafit serpih tipe A. Pemilihan matrik tersebut didasari karena pearlit mampu memberikan kombinasi kekuatan dan keuletan yang mencukupi dibandingkan dengan matrik lainnya yaitu ferrit dan sementit. Matrik ferrit meskipun mampu memberikan keuletan yang tinggi tetapi kekuatannya rendah, sedangkan sementit meskipun memberikan kekuatan tarik tertinggi tetapi keuletannya sangat rendah dan getas. Keberadaan grafit pada struktur mikro besi cor sebenarnya menurunkan sifat mekanis besi cor, tetapi dalam pemakaian sebagai elemen yang bergesekan, keberadaan grafit malah menguntungkan. Grafit tersebut berfungsi sebagai lapisan *anti-welding*, jaring-jaring untuk media perpindahan panas, menyerap getaran dan meningkatkan ketahanan kejutan termal (G.Cueva, 2003)

Kekuatan tarik besi cor kelabu dipengaruhi oleh matrik dan grafitnya. Jenis matrik besi cor kelabu berturut-turut dari yang menghasilkan kekuatan tarik rendah sampai tinggi adalah ferrit, pearlit dan sementit. Besi cor yang memiliki matrik sementit –umumnya tidak bergrafit– meskipun menghasilkan kekuatan tarik yang tinggi tetapi getas sehingga tidak direkomendasikan. Matrik yang umumnya digunakan untuk tromol rem adalah pearlit. Matrik ini selain mampu menghasilkan kekuatan yang cukup tinggi, memiliki keuletan yang cukup dan mudah diperoleh secara *as-cast* (Chijiwa, 1979)

Besi cor dengan matrik yang sama, bentuk grafit bulat menghasilkan kekuatan tarik yang tertinggi dibanding dengan bentuk lainnya. Grafit bulat hanya dapat diperoleh dengan pengaturan komposisi kimia yang tepat dan proses pengecoran yang terkontrol. Karena sulitnya memperoleh grafit bulat, bentuk lainnya yang dikehendaki adalah serpih tipe A. Grafit tipe ini dapat diperoleh secara *as-*

*cast* karena pengontrolannya mudah dilakukan dan kekuatan tarik yang diperoleh masih cukup tinggi.

Perbaikan sifat mekanis besi cor untuk tromol rem dapat dilakukan dengan memperbaiki grafit dan matriknya. Dalam penggunaan sebagai tromol rem, bentuk grafit yang diinginkan adalah serpih tipe A. Hal ini disebabkan bentuk grafit tersebut mampu memberikan jalan tercepat bagi perpindahan panas dibandingkan dengan bentuk lainnya. Keunggulan ini tampak dari strukturnya yang saling terkoneksi satu dengan lainnya. Bentuk grafit ini juga mampu menyerap getaran dan ketahanan terhadap kejutan termalnya lebih baik. Dengan demikian usaha untuk meningkatkan sifat mekanis besi cor untuk tromol rem ini ditujukan untuk memperbaiki matriknya.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk memperbaiki matrik besi cor kelabu adalah dengan penambahan unsur paduan. Menurut pengaruhnya terhadap transformasi fasa, unsur paduan dalam besi cor dapat digolongkan menjadi 3 kelompok yaitu (Angus, 1976):

1. Unsur paduan yang ditujukan untuk meningkatkan potensial grafitisasi pada tahap transformasi ektetik dan etektoid yaitu unsur Al dan Si
2. Unsur paduan yang ditujukan untuk meningkatkan potensial grafitisasi pada tahap transformasi ektetik tetapi menurunkannya pada tahap transformasi etektoid yaitu unsur Ni, Cu dan Sn
3. Unsur paduan yang ditujukan untuk menurunkan potensial grafitisasi pada kedua tahap reaksi ektetik dan etektoid yaitu unsur Cr, W dan V.

Dengan demikian maka upaya untuk meningkatkan sifat mekanisnya dilakukan dengan menambahkan unsur-unsur paduan yang berfungsi sebagai *carbide promoteur* yaitu yang tergolong pada kelompok 2 dan 3 misalnya kromium dan tembaga.

Unsur paduan tersebut diharapkan dapat larut dalam matrik pearlit sehingga mampu meningkatkan kekerasannya yang selanjutnya menaikkan kekuatannya. Lazimnya semakin besar penambahan unsur paduan semakin mampu meningkatkan kekuatan tariknya. Meskipun demikian peningkatan sifat mekanis lebih lanjut dengan cara tersebut sangat sulit dilakukan lagi. Hal ini disebabkan oleh kelarutan unsur paduan dalam matrik memiliki batas tertentu. Penambahan unsur paduan yang melebihi batas kelarutan, menyebabkan unsur tersebut akan terdapat dalam keadaan bebas dan akan menurunkan sifat mekanis material.

Penambahan krom mampu meningkatkan stabilitas pearlit dan akan meningkatkan kekuatan matriks. Namun demikian, penggunaannya tidak selamanya menguntungkan dan pada besi karbon yang lebih rendah (di bawah 3.3 persen) dapat meningkatkan kemungkinan yang besar untuk terjadinya keretakan karena kejutan termal dan menurunkan konduktivitas termal. Penambahan krom akan sangat bernilai dalam meningkatkan kekuatan mekanik pada besi karbon tinggi (3.4 persen karbon total atau lebih). Penambahan krom sampai 1 persen kadang-kadang dilakukan dengan konjungsinya bersama penambahan tembaga atau nikel dalam jumlah yang rendah. Hal ini memungkinkan penyimpanan lapisan pelindung dari produk korosi pada permukaan logam (ASM, 1990).

Tembaga diketahui berfungsi pembentuk grafit dan cenderung untuk menjaga coran kelabu dan bebas dari *chill*. Biasanya unsur ini digunakan dalam jumlah berkisar dari 0.3 sampai 1.5 persen. Efek tembaga terhadap kekuatan pada bagian normal adalah meningkatkan kekuatan tarik 8-10 persen tiap tambahan 1 persen, tetapi penambahan ini

mbolehkan penggunaan total karbon yang lebih rendah dan silikon yang lebih rendah daripada yang biasanya dipakai, tanpa mengakibatkan *chill* atau coran keras, dan untuk alasan ini kekuatan tarik yang lebih tinggi dapat diperoleh. Tembaga secara khusus berpengaruh dalam mengurangi sensitivitas bagian, seperti dalam menghasilkan besi kuat dan padat pada pusat bagian tebal tanpa meningkatkan kemungkinan *chill* pada bagian tipis.

Dari penjelasan diatas dapatlah diambil sebuah hipotesa bahwa peningkatan kekuatan besi cor kelabu dapat dilakukan dengan cara menambahkan unsur paduan. Unsur paduan yang digunakan adalah yang termasuk unsur yang berfungsi sebagai *carbide promoter*. Pemilihan unsur paduan yang akan digunakan selain diharapkan mampu meningkatkan kekuatan tarik, juga mampu meningkatkan pula ketahanan aus dan korosi

## **METODE PENELITIAN**

### **Prosedur Pengujian**

Untuk mengetahui pengaruh unsur Cr dan Cu terhadap kekuatan besi cor kelabu FC20, maka pada komposisi material dasar ditambah Cr dan Cu sampai persentase tertentu. Penambahan Cr direncanakan mulai dari 0,1% sampai 0,5% dan penambahan Cu direncanakan sebesar 0,6% sampai 0,7% saja. Tahap-tahap penelitian dimulai dari pembuatan batang uji (*test bar*), penyiapan spesimen uji dan pengujian tarik dan metalografi

### **Pembuatan Test Bar**

Kegiatan ini meliputi penentuan dimensi *test bar*, disain pola & cetakan, pengaturan komposisi kimia, peleburan, penuangan dan pembongkaran cetakan. Pada kegiatan ini dibuat pula spesimen *chill* yang akan digunakan untuk pengujian komposisi kimia besi cor yang dihasilkan. Pola dibuat dari kayu, cetakan yang

digunakan adalah cetakan pasir dan proses peleburan dilakukan dengan menggunakan tanur kupola asam. ( Puja, 2002)

Pola cetakan yang digunakan terbuat dari kayu yang direncanakan terdapat 2 *test bar* untuk tiap cetakan. Pola ini berupa silinder dengan diameter bagian bawah 31mm dan bagian atas 33mm serta panjang 600mm. Pola yang direncanakan mempunyai *kup* dan *drag* dengan bidang pisah tepat setengah diameternya. Setelah pola selesai dikerjakan, langkah selanjutnya adalah membuat cetakan pasir. Pasir yang digunakan adalah pasir kwarsa ukuran 60 dan dengan ditambah *bentonit* 1-2%, air 5% dan *seacoal/grafit*. Pembuatan cetakan ini dikerjakan 3 hari sebelum proses pengecoran dilakukan. ( Puja, 2002)

Bahan coran yang digunakan adalah pig iron, skrap baja, besi hancuran, foundry return, FeSi75, FeMn. Komposisi pig iron adalah Mn-0.17, Si-1.74, S-0.0057, P-0.042. Skrap baja yang digunakan memiliki komposisi C-0.7, Si-0.2, Mn-0.4, P-0.03, S-0.03. Besi hancuran adalah material bekas yang sebagian besar berasal dari mesin-mesin tekstil. Foundry return adalah material yang berasal dari sisa-sisa proses pengecoran yang sebagian besar adalah FC15 - FC20 (besi cor dengan kekuatan 15-20 kg/mm<sup>2</sup>). FeSi75 memiliki komposisi Si-79.76, C-0.077, S-0.0029, Al-1.12. FeMn yang digunakan memiliki komposisi C-6.70, Si-0.71, Mn-75.50, P-0.30, S-0.20. Untuk memperbaiki distribusi grafit digunakan inokulan yang ditambahkan ke logam cair pada saat logam cair berada di ladle. Sedangkan untuk meningkatkan kekuatan dilakukan penambahan krom (Cr) dan tembaga (Cu). Krom yang ditambahkan adalah *ferrochrome low carbon* dengan komposisi Si-0.77, C-0.1, S-0.008, P-0.04, Cr-69.22. Sedangkan tembaga yang ditambahkan

adalah kawat tembaga yang memiliki persentase Cu sebesar 90%. ( Puja, 2002)

Penambahan unsur paduan dilakukan dengan menambahkan *ferrochrome low carbon* dan tembaga dengan berat tertentu kedalam 50 kg material dasar yaitu besi cor kelabu yang tanpa dipadu. Rencana pengaturan komposisi kimia besi cor disajikan pada Tabel 1. Penambahan unsur paduan dilakukan pada saat dalam *ladle*.

### Penyiapan Spesimen Uji

Untuk kepentingan pengujian diperlukan penyiapan spesimen uji. Adapun spesimen uji yang disiapkan adalah spesimen uji komposisi kimia, spesimen uji tarik dan spesimen uji metalografi. Spesimen uji komposisi kimia dibuat dari sisa logam cair yang digunakan untuk penuangan di cetakan dituang dalam cetakan baja berbentuk segiempat dengan ukuran 2cm x 2cm. Dengan dicetak pada cetakan baja ini maka akan terbentuk coran *chill*.

Untuk keperluan pengujian tarik, dimensi spesimen uji mengacu pada standar ASTM E8. (ASM, 1990) Dimensi spesimen uji yang dipilih adalah spesimen uji tarik dengan diameter nominal 6,25mm. Untuk pembuatan spesimen uji tarik digunakan mesin bubut manual dan mesin bubut CNC. Mesin bubut manual digunakan untuk mengurangi diameter *test bar* dari 30mm menjadi 14mm. Mesin bubut CNC digunakan untuk membuat dimensi akhir dari spesimen uji tarik sesuai standar ASTM E8 dengan diameter nominal 6,25mm.

Sebagian dari *test bar* diambil untuk dijadikan spesimen metalografi. Spesimen ini selanjutnya di *mounting* dengan resin untuk memudahkan pada saat proses pengamplasan dan *polishing*. Pengamplasan dilakukan mulai dari kekasaran 400, 600, 800, 1000 dan 1500. Setelah selesai diampelas, spesimen kemudian di *polish*. Spesimen *as-polish*

digunakan untuk mengetahui bentuk, distribusi dan ukuran grafit. Setelah itu spesimen di etsa dengan nital 5%.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2 berikut menunjukkan hasil pengujian komposisi kimia yang dilakukan. Dari data tersebut ternyata komposisi III dan IV hampir sama. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh pada saat pengisian *ladle* untuk komposisi III, logam cair yang diisikan lebih dari 50kg. Hal ini dibuktikan dengan jumlah *test bar* yang dihasilkan sebanyak 20buah. Sementara untuk komposisi lainnya hanya dihasilkan sebanyak 18buah. Dengan demikian untuk komposisi III dan IV dipilih salah satu saja, sehingga jumlah campuran yang diperoleh menjadi sebanyak 4 macam. Apabila dibandingkan dengan rencana pencampuran komposisi kimia yang ditabelkan pada Tabel 1.

Apabila dibandingkan dengan rencana pencampuran komposisi kimia yang ditabelkan pada Tabel 2, terlihat bahwa terdapat kesesuaian antara persentase Cr antara hasil pengecoran dengan rencana pengecoran. Meskipun persentase unsur Cu antara rencana dengan hasil pengujian berbeda, tetapi terlihat bahwa perbedaan tersebut disebabkan karena pada *base*

*material* telah terdapat unsur Cu sebesar 0,116%. Apabila persentase unsur Cu lainnya dikurangi dengan persentase unsur yang telah ada, maka terlihat terdapat kesesuaian dengan rencana pencampuran. Demikian pula untuk perbedaan unsur lainnya yang disebabkan oleh perbedaan persentase unsur tersebut antara rencana dengan hasil uji. Dengan demikian, rencana pengecoran menghasilkan estimasi yang mendekati dengan hasil pengujian.

Beberapa hal yang dapat diambil dari hasil pengujian komposisi kimia tersebut adalah selain Cr dan Cu terdapat pula unsur-unsur yang berfungsi sebagai *carbide promoteur*. Unsur-unsur tersebut adalah Ni, V dan W. Meskipun demikian persentase unsur-unsur tersebut sangat rendah dan tidak mempengaruhi sifat mekanik besi cor. Unsur-unsur ini kemungkinan besar berasal dari skrap baja yang digunakan sebagai bahan baku pengecoran. (Suprihanto, 2001).

Kandungan P kurang dari 0,2% tidak banyak memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik. Tetapi apabila kandungannya menjadi 1% pengaruhnya terhadap kekuatan tarik sangat nyata, yaitu mampu menaikkan kekuatan tarik antara 15 MPa sampai dengan 31MPa.

**Tabel 1.** Rencana pengaturan komposisi kimia

No	Bahan	Base Material		Campuran I		Campuran II		Campuran III		Campuran IV	
		Berat (kg)	% Berat	Berat (kg)	% Berat	Berat (kg)	% Berat	Berat (kg)	% Berat	Berat (kg)	% Berat
1	Base material	50	99,305	50	98,912	50	98,765	50	98,619	50	98,474
2	Inokulan	0,1	0,199	0,1	0,198	0,1	0,198	0,1	0,197	0,1	0,197
3	Ferrochrome	0	0	0,2	0,396	0,275	0,543	0,35	0,690	0,425	0,837
4	Tembaga	0	0	0,25	0,495	0,25	0,494	0,25	0,493	0,25	0,492
	Total	50,35	100	50,55	100	50,625	100	50,7	100	50,775	100
		%Fe	92,721	%Fe	92,472	%Fe	92,380	%Fe	92,287	%Fe	92,195
		%Mn	0,392	%Mn	0,391	%Mn	0,390	%Mn	0,390	%Mn	0,389
		%Si	2,681	%Si	2,674	%Si	2,671	%Si	2,668	%Si	2,665
	Komposisi kimia	%C	3,118	%C	3,106	%C	3,102	%C	3,097	%C	3,093
		%S	0,127	%S	0,127	%S	0,126	%S	0,126	%S	0,126
		%P	0,087	%P	0,087	%P	0,087	%P	0,087	%P	0,087
		%Cr	0	%Cr	0,274	%Cr	0,376	%Cr	0,478	%Cr	0,579
		%Cu	0	%Cu	0,445	%Cu	0,444	%Cu	0,444	%Cu	0,443

**Tabel 2.** Hasil pengujian komposisi kimia

% Unsur	Base Material	Campur I	Campur II	Campur III	Campur IV
Fe	92,97	92,03	91,06	91,56	90,97
C	3,46	3,53	3,54	3,67	3,67
Si	2,33	2,50	2,70	2,59	2,84
Mn	0,348	0,403	0,422	0,423	0,456
P	0,135	0,163	0,176	0,205	0,232
S	0,181	0,172	0,165	0,174	0,161
Cr	0,061	0,231	0,324	0,317	0,468
Ni	0,048	0,063	0,052	0,050	0,046
Cu	0,116	0,549	0,647	0,646	0,775
V	0,059	0,065	0,069	0,071	0,075
W	0,074	0,078	0,080	0,081	0,062
Al	0,005	0,004	0,005	0,004	0,004

Dengan demikian unsur P yang tinggi ini tidak berpengaruh terhadap kekuatan tarik besi cor. (Angus, 1976). Dari komposisi kimia pada tabel 2 dapat dihitung angka ekivalen karbon untuk masing-masing campuran berturut-turut adalah 4,28%, 4,42%, 4,49%, 4,60% dan 4,69%. Dari harga tersebut dapat diperkirakan kalau kekuatan tariknya berkisar antara 150 MPa sampai 200 Mpa dan struktur mikro yang dihasilkan adalah memiliki matrik pearlit. (Angus, 1976)

Estimasi peningkatan kekuatan tarik yang dapat diperoleh dengan penambahan unsur kromium adalah sekitar 30%. Dengan demikian penambahan unsur tersebut diharapkan mampu meningkatkan kekuatan tarik besi cor menjadi 200 MPa sampai dengan 260 MPa. Sementara unsur Cu sesuai dengan Tabel 1 tersebut tidak terlalu berpengaruh terhadap kekutan tarik besi cor. Cu disini hanya berfungsi menjaga coran bebas dari *chill*. (Angus, 1976)

Bentuk, distribusi dan ukuran grafit diperoleh dari pengamatan spesimen metalografi setelah dipoles. Terlihat bahwa bentuk grafitnya adalah serpih (tipe VII) dengan distribusi A dan ukuran grafitnya adalah 3 – 5. Fasa matrik yang terdapat pada spesimen adalah pearlit. Selain perlit terdapat pula ferrit bebas dalam jumlah

yang rendah yaitu kurang dari 5%. Gambar 1 sampai 4 berikut menunjukkan struktur mikronya, yaitu bentuk, distribusi dan ukuran grafit (gambar sebelah kiri) dan fasa matriknya (gambar sebelah kanan). Masing-masing foto struktur mikro adalah perbesaran 100X.

Struktur mikro pada gambar 1 sampai gambar 4 menunjukkan bahwa metode pencampuran unsur kromium dan tembaga yang telah dilakukan memuaskan. Hal ini ditunjukkan dengan tidak ditemukannya kromium bebas. Dengan demikian unsur kromium dan tembaga larut padat dalam matrik. Meskipun fasa matrik sama, tetapi kandungan unsur kromium tiap campuran berbeda sehingga tiap-tiap campuran memiliki kekerasan yang berbeda. Mekanisme penguatan bahan seperti ini dikenal dengan mekanisme *solid solutions strengthening*. (Surdia Tata, 1999)

Hasil pengujian tarik yang dilakukan menunjukkan hasil kekuatan tarik seperti disajikan pada tabel 3. Dari tabel tersebut terlihat terdapat peningkatan kekuatan tarik antara *base material* dengan yang telah dipadu dengan unsur kromium dan tembaga.

Apabila estimasi kekuatan tarik awal 200 MPa, maka dengan penambahan unsur kromium tersebut mampu meningkatkan kekuatan tarik sebesar 30% sehingga



menjadi 200 MPa sampai 260 MPa. Kenyataannya hasil pengujian tarik menunjukkan peningkatan kekuatan tariknya hanya sebesar 20% saja. Meskipun demikian menurut peneliti

peningkatan kekuatan tarik sebesar 20% tersebut sudah cukup besar dan signifikan



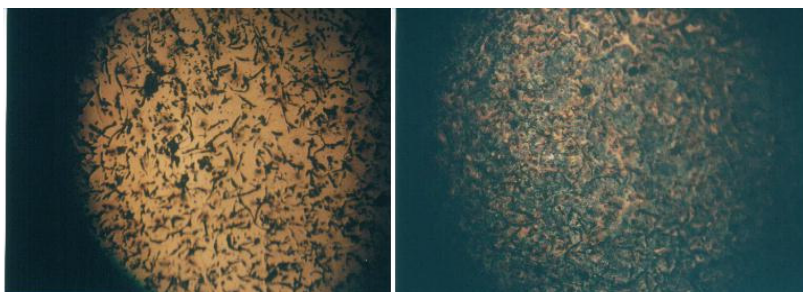
**Gambar 1. Grafit dan fasa *base material***



**Gambar 2. Grafit dan fasa campuran I**



**Gambar 3. Grafit dan fasa campuran IV**



**Gambar 4. Grafit dan fasa campuran V.**

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Tarik

No	Material Uji	Pengujian ke (MPa)			Rata-rata
		1	2	3	
1	<i>Base Material</i>	177	214	184	191
2	Campuran II	222	242	212	226
3	Campuran IV	240	231	214	228
4	Campuran V	235	223	236	231

### KESIMPULAN

Dari hasil yang diperoleh dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa penambahan unsur kromium antara 0,2 % sampai 0,5% mampu meningkatkan kekuatan tarik besi cor kelabu. Meskipun demikian peningkatan yang diperoleh dapat dikatakan sama. Oleh karena itu mengingat harga unsur ferrochrome low carbon yang mahal, maka peneliti memberikan saran

bahwa penggunaan ferrochrome low carbon sebisa mungkin tidak lebih dari 0,5%.

### PERSANTUNAN

Penelitian ini didanai dari Program Penelitian Dosen Muda Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Propinsi Jawa Tengah tahun 2004.

### DAFTAR PUSTAKA

- Surdia Tata; Saito, Shinroku, 1999, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Penerbit Pradya Paramita, Jakarta.
- G Cueva, A Sinatora, WL Guesser, AP Tschiptschin, 2003, *Wear Resistance of Cast Irons Used in Brake Disc Rotors*, *Wear*, pp. 1256-1260
- Chijiwa K, Hayashi M, 1979, *Mechanical Properties of Grey Cast Iron at Temperature in the Region of Room Temperature to Liquidus*, *Journal of Faculty Engineering*
- Angus, HT; 1976, *Cast Iron Physical and Engineering Properties*, Butterworths, English
- ASM, 1990, *Properties and Selection Irons, Steels and High Performance Alloys*, edisi 10, volume 1, ASM Handbook.
- Puja, IW, Suratman, R, Suprihanto, A, 2002, *Identifikasi Kegagalan Drum Rem Produk UKM*, *Jurnal Teknik Mesin*
- Suprihanto, A, 2001, *Identifikasi Penyebab Retak Tromol Rem Bus/Truk Produk PT SSM*, Thesis Magister Teknik Mesin, ITB
- Puja, IW, Suratman, R, Aufa, U, Suprihanto, A, 2002, *Failure Investigations and Material Improvement for Drums Brakes Produced By Traditional Foundry Industries*, Fifth International Conference On Fracture & Strength of Solid, Sendai, Japan
- ASTM E8 – 83, *Standard Methods of Tension Testing of Metallic Materials*