

# PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR Cr DAN Cu TERHADAP KEKUATAN TARIK BESI COR KELABU FC20<sup>1</sup>

Agus Suprihanto<sup>1</sup>), Djoeli Satrijo<sup>1</sup>), Rochim Suratman<sup>2</sup>)

## Abstract

*The mechanical properties of grey cast iron are influenced by cooling rate, thickness of casting, heat treatment, liquid treatment and alloying. Some applications of its materials need high strength grey cast iron. To improve its tensile strength usually its added with unures which known as carbide promoteur ie. Cr and Cu.*

*In these research the effect of Cr and Cu on the mechanicals properties of grey cast irons has been evaluated. Base material FC 20 which alloyed with Cr 0,23 %, 0, 32% and 0,47% and Cu between 0,6% to 0,7% have been tested. The tensile test and metallographyc examinations have been conducted to known of its efects.*

*From tensile test there is an improvement of tensile strength about 20% from 191MPa to 232MPa. However the microstructure of specimens are same which are pearlitic grey cast irons, with graphite type VII (flake), A distributions and size of graphite are 3-5.*

*Keyword : tensile strength, pearlitic grey ccast irons, carbide promoteur, Cr and 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.

Sifat mekanik besi cor sangat dipengaruhi oleh struktur mikronya yaitu fasa matrik dan grafitnya. Struktur mikro tersebut ditentukan oleh laju pendinginan, perlakuan saat cair, perlakuan panas dan unsur paduan. Besi cor dapat didefinisikan sebagai paduan besi-karbon dengan kandungan karbon 2% atau lebih yang sewaktu pembekuan mengalami reaksi eutektik. Kenyataannya besi cor merupakan paduan multi komponen. Unsur-unsur yang lazim terdapat pada besi cor antara lain silikon, fosfor, sulfur dan mangan. Terkadang untuk maksud-maksud tertentu unsur-unsur paduan lainnya lazim ditambahkan.

Tergantung dari komposisi kimia, laju pendinginan dan perlakuan pada saat cair, besi cor dapat membeku secara termodinamika sistem metastabil Fe-Fe<sub>3</sub>C atau sistem stabil Fe-G. Unsur-unsur yang bersifat menaikkan potensial grafitisasi akan menghasilkan grafit sebagai fasa kaya karbon, sedang unsur-unsur sebaliknya menghasilkan karbida yaitu sementit.

Klasifikasi besi cor dapat didasarkan pada warna patahannya, struktur mikronya, penandaan secara komersial dan kekuatan tariknya. Berdasarkan warna patahannya, besi cor dapat digolongkan menjadi besi cor putih dan besi cor kelabu. Berdasarkan struktur mikronya, besi cor dapat digolongkan menjadi besi cor pearlitik, martensitik, ferritik, austenitik, besi cor bergrafit bulat, besi cor bergrafit serpih dll. Berdasarkan penandaan secara komersial besi cor dapat digolongkan menjadi besi cor biasa dan besi cor khusus. Berdasarkan kekuatan tariknya besi cor digolongkan menjadi beberapa kelas dimana setiap kelas menunjukkan kekuatan tarik minimumnya.

## TINJAUAN PUSTAKA

Dipandang dari komposisi kimia besi cor, selain Fe sebagai unsur utama, beberapa unsur terdapat pula dalam besi cor. Unsur-unsur tersebut dapat dikelompokkan ke dalam komponen utama, komponen minor dan komponen paduan.

Karbon, silikon dan mangan termasuk komponen utama karena unsur ini dapat dikatakan selalu ada dalam besi cor dalam jumlah yang cukup besar. Pengaruh karbon dan silikon dikenal dengan ekuivalen karbon (CE) yang menyatakan letak komposisi kimia besi cor tersebut dalam diagram fasa Fe-C. Formulasi perhitungan CE adalah  $\%CE = \%C + 0,3 (\%Si) + 0,3 (\%P)$  dan dalam literatur lain  $\%CE = \%C + 0,3 (\%Si) + 0,3 (\%P) - 0,027 (\%Mn) + 0,4 (\%S)$ . Gambar 9 berikut menunjukkan hubungan CE dengan kekuatan tarik besi cor. Kadar Mn sampai 1,2% dipakai untuk mendapatkan matrik pearlit, tetapi bila diinginkan matriknya ferrit kadar Mn yang dipakai kurang dari 1%. Besi cor kelabu pearlitik mempunyai kekuatan tarik yang lebih tinggi dari pada besi cor ferritik.

<sup>1</sup>) Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

<sup>2</sup>) Guru Besar Teknik Mesin ITB

Fosfor dan sulfur tergolong dalam komponen minor. Fosfor dalam besi cor terutama berbentuk *steadit*. Apabila ditujukan untuk mendapatkan ketahanan aus, kadar fosfor dapat digunakan dalam jumlah yang tinggi. Kandungan fosfor yang tinggi ini mengurangi terbentuknya karbon bebas dan menggalakkan pembentukan karbida. Hal tersebut menyebabkan kekerasan besi cor meningkat, tetapi keuletannya menurun.

Sulfur dapat menurunkan kelarutan karbon dalam besi cair dalam hal ini bertindak sebagai penggalak penggrafitan. Tetapi menambah sulfur cenderung membentuk FeS di batas butir yang menyebabkan struktur menjadi lemah. Oleh karena itu keberadaan S harus diseimbangkan dengan Mn. Unsur Mn akan mengikat S dengan membentuk MnS yang terdistribusi didalam butir atau akan terbuang sebagai terak.

Secara umum unsur P dan S ini menurunkan sifat mekanis besi cor. Oleh karena itu kadarnya harus dibatasi. Kualitas besi cor juga ditunjukkan oleh kadar kedua unsur ini. Kadar P dan S dapat mencapai 0,15% untuk besi cor kualitas rendah dan semakin kecil kadarnya kualitas besi cor semakin tinggi.

Kelompok unsur terakhir yaitu unsur paduan digolongkan menurut pengaruhnya terhadap transformasi fasa. Penggolongan unsur paduan tersebut adalah :

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

Krom, Molybdenum dan Vanadium adalah penstabil karbida. Elemen-elemen ini meningkatkan kecenderungan dari coran untuk *chill*, dan membentuk karbida bebas. Unsur-unsur ini meningkatkan kekuatan coran kelabu 3 sampai 4 persen tiap penambahan 0.1 persen. Tabel 1 menunjukkan efek paduan terhadap peningkatan kekuatan tarik. Unsur-unsur ini juga meningkatkan kekerasan a) dengan mengurangi kecenderungan pembentukan ferrit bebas, b) dengan memperhalus perlit dan c) dengan pembentukan karbida bebas.

Tabel 1. Efek penambahan alloy terhadap kekuatan tarik

	Mo	Cr	V	Ni	Cu	Mn
Up to approximately this % of:	1.0	0.5-1.0	0.35	3.0	1.5	0.5-1.0
Approximate % increase in tensile strength for each 1% alloy	40-45	30-20	30-80	5-10	8-10	0-10

Elemen-elemen ini harus digunakan bersama dengan jumlah fosfor dasar kurang dari 0.1-0.15 persen jika hanya dibutuhkan kenaikan kekuatan tarik, karena elemen ini cenderung untuk membentuk karbida fosfid kompleks yang menurunkan *machinability*, dan dengan menurunkan konsentrasi alloy efektif pada matriks, mengurangi efek penguatan tambahan. Pada saat yang sama, rendahnya titik leleh fosfida kompleks meningkatkan resiko segregasi pada bagian yang berat atau kompleks.

Besi yang mengandung krom atau molybdenum diatas sekitar 0.3 persen tidak segera menjadi ferritik ketika dianil. Sferodisasi perlit akan terjadi dan kekuatan tarik dapat turun sekitar 10 persen sementara tegangan putus transversal dan defleksi dapat naik. Penambahan molybdenum atau krom sampai sekitar 0.5 persen akan sangat meningkatkan kekuatan tarik. Namun demikian, pada bagian paling tebal, penambahan krom atau molybdenum dapat menjadikannya sebagai pusat segregasi karbida dengan fosfor diatas 0.15 persen. Hal ini dapat menjadi tidak berarti dimana hanya dibutuhkan pemesinan permukaan, tetapi dapat menciptakan kesulitan jika penggergajian atau *miling* dalam dibutuhkan. Penambahan krom dan molybdenum kadang dilakukan, tetapi elemen ini sangat berpotensi untuk membentuk karbida, dan kehadiran karbida bebas pada struktur awal sangat meningkatkan resiko retak pada bagian sulit selam *quencing*.

Penambahan krom dan molybdenum meningkatkan stabilitas perlit 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 molybdenum dan krom sepertinya akan sangat bernilai dalam meningkatkan kekuatan mekanik pada besi karbon tinggi (3.4 persen karbon total atau lebih).

Penambahan krom sampai 1 persen, atau molybdenum sampai 0.5 persen kadang-kadang dilakukan dengan konjugsinya bersama penambahan alloy rendah dari tembaga atau nikel, dan dalam hal ini memungkinkan penyimpanan lapisan pelindung dari produk korosi pada permukaan logam. Krom menaikkan kandungan karbon dari besi-karbon eutetik sekitar 0.06 persen tiap 1 persen tambahan krom, sampai 9 persen krom, dan meningkatkan titik leleh sekitar 1-1.5<sup>0</sup>C untuk tiap tambahan 1 persen krom. Krom memiliki kecenderungan yang besar untuk membentuk karbida bebas, khususnya jika berkonjungsi dengan fosfida eutetik. Krom menaikkan temperatur transformasi  $\alpha$  ke  $\gamma$  dan menaikkan *hardenability* dengan menurunkan laju pendinginan kritis. Tanpa kehadiran *mottle*, krom menaikkan kekuatan tarik sekitar 3-4 persen, dan kekerasan sekitar 5-7 titik Brinell untuk tambahan tiap 0.1 persen krom.

Krom sendiri sangat berharga dalam jumlah sampai 0.5 persen dalam mencegah pembentukan ferrit bebas pada bagian kritis dimana, terdapat pada kondisi keausan *sliding* yang sedikit terlubrikasi, ketidakhadiran ferrit bebas adalah penting. Krom kadang-kadang digunakan dalam silinder blok mobil berfosfor rendah dimana struktur perlitik penuh diinginkan dan besi harus dapat dimesin. Unsur ini juga sangat meningkatkan kestabilan perlit terhadap panas, dan dalam jumlah sampai 1 persen, tergantung pada bagian, dapat menghasilkan besi yang kuat dan padat dengan ketahanan untuk tumbuh oleh perusakan perlit pada temperatur dari 450 sampai 650°C. *Machinability* dari besi akan turun jika krom meningkat atau kandungan karbida meningkat, baik sebagai hasil ketebalan bagian ataupun kehadiran fosfor.

Kehadiran krom dalam jumlah yang kecil saja (0.2 sampai 0.3 persen) akan sangat meningkatkan kestabilan perlit, dan akibatnya waktu *annealing* yang dibutuhkan lebih lama. Krom meningkatkan temperatur kritis sekitar 40°C untuk tiap penambahan 1 persen. Tambahan krom dari 0.2 sampai 0.7 persen, dalam hubungannya dengan peningkatan jumlah silikon, diperlukan untuk menjaga coran kelabu, juga telah digunakan, salah satunya adalah camshaft, dan hidung kekerasan melebihi 600 DPN yang telah didapatkan pada 0.8 mm dari permukaan, turun menjadi 465 pada jarak 5.6 mm dari hidung. Krom menaikkan temperatur transformasi  $\alpha$  ke  $\gamma$  dan menaikkan *hardenability* dengan menurunkan laju pendinginan kritis dan mengerakkan hidung ke kanan.

Pertumbuhan karena pemecahan karbida atau perlit dibawah perubahan  $\alpha$  ke  $\gamma$  dapat dikontrol dengan meningkatkan stabilitas karbon kombinasi yaitu dengan menambahkan penstabil karbida, dalam hal ini krom (0.5-2.0 persen). Pertumbuhan oleh *deep oxidation* hanya dapat dikontrol dengan penambahan elemen alloy seperti silikon dan krom yang menghambat oksidasi dari matriks.

Pada daerah antara 500-700°C, persen yang kecil untuk krom, dari 0.5-2.0 persen dapat mengurangi pertumbuhan sampai bentuk yang sangat kecil, dan menyediakan metode ekonomi dalam memperbaiki penampilan komponen. Penambahan krom yang benar dalam jumlah tersebut agak sedikit tapi merupakan peningkatan yang berarti dalam ketahanan oksidasi.

Tembaga dan nikel adalah pembentuk grafit dan cenderung untuk menjaga coran kelabu dan bebas dari *chill*. Biasanya 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 (Tabel 1), tetapi penambahan ini membolehkan 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. Nikel dan

tembaga menaikkan kekerasan dasar sekitar 10-20 titik Brinell untuk tambahan tiap 1 persen, dengan pembentukan larutan padat yang lebih keras daripada besi tanpa alloy, dengan menjaga besi perlitik dan juga memperhalus perlit itu sendiri. Tembaga dan nikel tidak membentuk karbida bebas, sehingga sementara 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.

Tembaga dan nikel secara khusus bernilai dalam mengurangi sensitivitas bagian, seperti dalam menghasilkan besi kuat dan padat pada pusat bagian tebal tanpa meningkatkan kemungkinan *chill* pada bagian tipis. Tembaga dan nikel juga meningkatkan *hardenability* dengan meningkatkan kedalaman pengerasan untuk suatu kecepatan *quench* sebagai hasil dari efeknya terhadap laju transformasi pada titik perubahan  $\gamma$  dan  $\alpha$ . Hal ini digunakan untuk pengerasan bulk, tetapi untuk pengerasan permukaan efeknya mungkin lebih sedikit, karena kedalaman dan waktu penetrasi panas adalah kepentingan yang khusus.

Tembaga dan nikel tidak meningkatkan kestabilan perlit pada temperatur diatas 450 C. Jika kekuatan sekitar 247-263 N/mm<sup>2</sup> dibutuhkan tanpa inokulasi, 0.5 persen nikel atau tembaga akan membolehkan pengurangan pada silikon sekitar 0.2 persen atau pada karbon sekitar 0.1 persen adri level yang diberikan tanpa peningkatan resiko *chill* pada bagian tipis. Dengan 0.5-1.0 persen nikel atau tembaga, 1.8-2.2 persen silikon, 3.0-3.2 persen karbon total, kekuatan tarik 263-293 N/mm<sup>2</sup> seharusnya diperoleh pada tebal 13 mm.

Kekuatan tarik diatas 340 N/mm<sup>2</sup> dapat dicapai pada coran dengan tebal 102 mm dengan nikel atau tembaga (lebih dari 1.5 persen) dan molybdenum (lebih dari 0.4 persen). Penambahan 1 persen sampai 2 persen nikel atau tembaga khususnya berguna dalam meningkatkan kedalaman kekerasan untuk bagian dan kecepatan *quenching* yang diberikan, dan untuk alasan ini penambahan nikel atau tembaga khususnya cocok untuk bagian cor yang lebih tebal.

Penambahan nikel atau tembaga tidak meningkatkan kedalaman kekerasan, karena pada penambahan kecepatan atau *quench*, faktor utama yang mempengaruhi kedalaman kekerasan adalah kedalaman kulit logam distas temperatur kritis dan waktu dimana lapisan ini tetap pada temperatur sebelum *quenching*. Tembaga memiliki batas kelarutan pada besi cor yaitu 3.0 sampai 3.5 persen dan persentase ini dapat dideteksi secara mikroskopik sebagai unsur terpisah yang mengandung 96 persen tembaga dan 4 persen besi. Setiap penambahan 1 persen nikel meningkatkan kelarutan tembaga sekitar 0.4 persen. Tembaga menurunkan kandungan karbon dari besi-karbon eutektik sekitar 0.075 persen tiap 1 persen tembaga. Tembaga menurunkan temperatur pembekuan dari besi

cor sekitar 2 C untuk tiap 1 persen tambahan. Nilai pengrafitan tembaga sekitar 0.2 sampai 0.35 dari silikon.

## 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.

Dimensi *test bar* yang akan digunakan adalah berdiameter 30mm dengan panjang 600mm. Dari dimensi *test bar* yang telah ditetapkan tersebut, kemudian dibuat pola cetakan yang 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. Peletakan cetakan ini direncanakan dengan kemiringan 30° dari vertikal.

Setelah pola selesai dikerjakan, langkah selanjutnya adalah membuat cetakan. Cetakan yang digunakan adalah cetakan pasir. Cetakan ini diletakkan pada permukaan tanah. 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.

Setelah pembuatan cetakan selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan peleburan bahan baku. Material dasar yang digunakan adalah pig iron, skrap baja, besi hancuran, foundry return, FeSi75, FeMn. Pig iron yang digunakan adalah pig iron dengan komposisi 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 inoculan 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 tembaga yang terdapat dalam kabel listrik, dengan menggunakan anggapan Cu-90%.

Dengan bahan baku yang telah diketahui tersebut, langkah berikutnya adalah menyusun rencana pengaturan komposisi kimia. Sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, penambahan kromium dilakukan antara 0,3 s/d 0,5% dan tembaga sebesar 0,6 s/d 0,7%. Pengaturan dilakukan dengan menambahkan *ferrochrome low carbon* dan tembaga dengan berat tertentu kedalam 50kg material dasar. Material dasar yang digunakan ini adalah besi cor kelabu yang tanpa dipadu dengan kromium dan tembaga. Untuk mengetahui pengaruh unsur paduan, maka dibuat 4 modifikasi komposisi paduannya. Komposisi kimia *base material* dan rencana pengaturan komposisinya disajikan pada Tabel 2.

Penambahan unsur paduan dilakukan pada saat dalam *ladle*. Untuk keperluan ini maka *ferrochrome LC* dan kawat tembaga dihaluskan terlebih dahulu. Penghalusan untuk *ferrochrome LC* ini dilakukan dengan menumbuk bongkahan-bongkahan *ferrochrome LC* menjadi butiran-butiran halus berdiameter kurang dari 1mm. Sedangkan untuk kawat tembaga dipotong-potong dengan ukuran dibawah 0,5cm. Langkah ini perlu dilakukan karena temperatur lebur paduan yang akan ditambahkan sangat tinggi. Pengalaman dari penelitian sebelumnya menunjukkan apabila masih terdapat butiran yang berukuran besar, tidak akan larut dalam logam cair. Untuk mengetahui apakah komposisi kimia yang telah direncanakan telah terpenuhi maka akan dilakukan pengujian komposisi kimia. Guna keperluan ini, maka perlu disiapkan suatu cetakan *chill* yaitu terbuat dari baja berbentuk segiempat dengan dimensi 2x2 cm.

Setelah semua alat dan bahan untuk pengecoran *test bar* dipersiapkan, langkah selanjutnya adalah pengecoran. Langkah ini diawali dengan meleburkan bahan baku yang digunakan untuk material dasar dengan tanur kupola asam. Logam yang telah cair dan keluar dari penampungannya pada kupola kemudian ditampung dalam sebuah *ladle* berkapasitas 60kg. Temperatur logam cair pada saat tersebut diharapkan diatas 1200°C. Penambahan unsur paduan dilakukan pada saat *ladle* terisi sepertiganya. Tujuan dari upaya ini adalah agar diperoleh efek pengadukan akibat adanya aliran logam cair dalam *ladle*.

Logam cair dalam *ladle* kapasitas 60kg kemudian dipindahkan ke dalam *ladle* berkapasitas 20kg. Maksud dari upaya ini adalah mempermudah didalam langkah penuangan dalam cetakan dan memperoleh efek pengadukan lebih lanjut. Selanjutnya logam cair yang telah berada dalam *ladle* berukuran 20kg dituang dalam cetakan sampai penuh.

Setelah semua cetakan telah diisi seluruhnya dan telah dingin, kemudian dibongkar dan ditandai. Penandaan ini menggunakan penomoran yaitu nomor 1 untuk *base material*, nomor 2 untuk campuran I dst. *Test bar* dipisahkan dengan logam yang berada pada saluran masuk. Pasir dibersihkan dari permukaan dengan cara digosok dengan kawat baja. Apabila masih terdapat pasir pada permukaan, maka akan digunakan gerinda. Hal ini dimaksudkan untuk memudahkan pada saat proses pemesinan.

### 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. 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 6,25 mm.

Sebagian dari *test bar* diambil untuk dijadikan spesimen metalografi. Ukuran spesimen uji metalografi adalah berdiameter 14mm dengan tebal 5mm. Selanjutnya spesimen ini di *mounting* dengan resin. Hal ini dimaksudkan 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 ANALISA

Tabel 3 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 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. Dengan demikian hasil perhitungan yang dilakukan pada rencana pengecoran menghasilkan estimasi yang mendekati dengan hasil pengujian.

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. Dengan demikian hasil perhitungan yang dilakukan pada 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.

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah keberadaan unsur P yang dari Tabel 10 hanya sekitar 0,087%, ternyata hasil pengujian menunjukkan persentase yang cukup besar yaitu berkisar antara 0,135% sampai dengan 0,232%. Tetapi apabila diperhatikan lebih lanjut, tingginya unsur P tersebut disebabkan oleh tingginya unsur P yang terdapat pada *base material*. Meskipun demikian hal ini masih menunjukkan bahwa perhitungan rencana pengaturan komposisi kimia yang telah dilakukan telah menghasilkan estimasi yang mendekati.

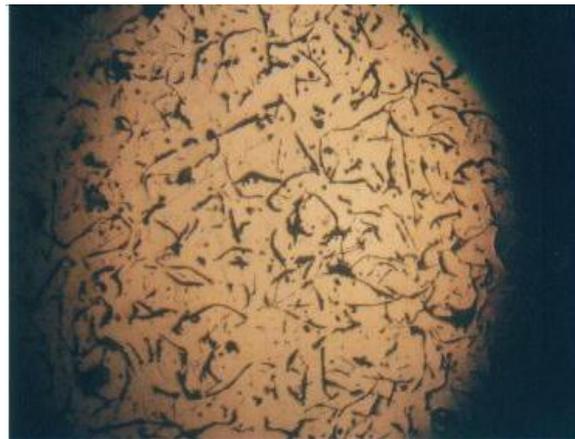
Seperti yang telah dibahas diatas, kandungan P kurang dari 0,2% tidak banyak memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik. Tetapi apabila kandungannya

menjadi 1% pengaruhnya terhadap kekuatan tarik sangat nyata, yaitu mampu menaikkan kekuatan tarik antara 15 MPa sampai dengan 31 MPa. Dengan demikian unsur P yang tinggi ini tidak berpengaruh secara nyata terhadap kekuatan tarik besi cor.

Dari komposisi kimia diatas dapat dihitung angka ekivalen karbon untuk masing-masing campuran berturut-turut adalah 4,28%, 4,42%, 4,49%, 4,60% dan 4,69%. Dengan mengacu kepada Gambar 9 dan 15, kekuatan tariknya berkisar antara 150 MPa sampai 200 Mpa. Perkiraan struktur mikro yang dihasilkan menurut Gambar 17 adalah memiliki matrik pearlit.

Estimasi peningkatan kekuatan tarik yang dapat diperoleh dengan penambahan unsur kromium menurut Tabel 3 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.

Bentuk, distribusi dan ukuran grafit diperoleh dari pengamatan spesimen metalografi setelah dipoles. Hasil pemotretan penampakan yang terlihat disajikan pada gambar 1 sampai 4. Terlihat bahwa bentuk grafitnya adalah serpih (tipe VII) dengan distribusi A dan ukuran grafitnya adalah 3 – 5.



Gambar 3. Grafit campuran IV



Gambar 4. Grafit campuran V.



Gambar 1. Grafit *base material*

Fasa matrik yang terdapat pada spesimen adalah pearlit. Selain perlit terdapat pula ferrit bebas dalam jumlah yang rendah yaitu kurang dari 5%. Gambar 5 sampai 8 berikut menunjukkan struktur mikronya.



Gambar 2. Grafit campuran II



Gambar 5. Matrik *base material*



Gambar 6. Matrik campuran II



Gambar 7. Matrik campuran IV



Gambar 8. Matrik campuran V

Struktur mikro tersebut diatas menunjukkan bahwa metode pencampuran unsur kromium dan tembaga yang telah dilakukan memuaskan. Hal ini ditunjukkan dengan tidak ditemukannya kromium bebas yang dimungkinkan terjadi akibat terlalu besarnya ukuran butirannya. Pada penelitian sebelumnya, ditemukan adanya kromium bebas pada struktur mikro.

Dengan tidak adanya unsur paduan yang berada dalam keadaan bebas ini maka dapat disimpulkan bahwa unsur kromium dan tembaga larut padat dalam matrik. Meskipun fasa matrik sama, tetapi kandungan unsur kromium tiap campuran berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa pearlit untuk tiap-tiap campuran memiliki kekerasan yang berbeda. Hal ini disebabkan jumlah atom-atom kromium dan tembaga yang larut padat dalam matrik pearlit akan menambah kekuatan material besi cor kelabu. Mekanisme penguatan bahan seperti ini dikenal dengan mekanisme *solid solutions strengthening*.

Hasil pengujian tarik yang dilakukan menunjukkan hasil kekuatan tarik seperti disajikan pada tabel 4. Dari tabel tersebut terlihat terdapat peningkatan kekuatan tarik antara *base material* dengan yang telah dipadu dengan unsur kromium dan tembaga. Hasil ini sesuai dengan terdapatnya peningkatan kekerasan antara *base material* dengan yang telah dipadu dengan kromium dan tembaga.

Seperti diharapkan semula bahwa dengan ditambahkan unsur paduan kromium antara 0,3% sampai 0,5% akan mampu meningkatkan kekuatan tarik besi cor kelabu. Apabila estimasi kekuatan tarik 200 MPa, maka dengan penambahan unsur kromium tersebut mampu meningkatkan kekuatan tarik sebesar 30% sehingga menjadi 200 MPa sampai 260 MPa.

Tabel 1 disebutkan peningkatan kekuatan tarik akibat penambahan unsur kromium sebesar 0,3 % sampai 0,5% adalah 30%. 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.

Tabel 4. 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 DAN SARAN

Dari hasil yang diperoleh dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa penambahan unsur kromium antara 0,2 % sampai 0,5% memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik besi cor kelabu yang sama. Dengan mengingat bahwa harga unsur *ferrochrome low carbon* yang mahal dan temperatur lelehnya yang tinggi, maka peneliti memberikan saran bahwa penggunaan *ferrochrome low carbon* sebisa mungkin tidak lebih dari 0,5%.

## DAFTAR PUSTAKA

1. ASTM E8 – 83, Standard Methods of Tension Testing of Metallic Materials
2. Chijiwa K, Hayashi, M, 1979, Mechanical Properties of Grey Cast Iron at Temperature ini the Region of Room Temperature to Liquidus, Journal of Faculty Engineering
3. Hjlem, HE, 1994, Yield Surface for Grey Cast Iron Under Biaxial Stress, Transaction of the ASME
4. Puja, IW, Suprihanto, A, dkk, 2001, Laporan Akhir Tahun I Penelitian : Pengembangan Disain, Material dan Proses Produksi Tromol Rem Bus/Truk Produk Lokal untuk Meningkatkan Kualitas dan Daya Saing, Program Riset Unggulan Kemitraan, ITB
5. Puja, IW, Suprihanto, A, dkk, 2002, Laporan Akhir Tahun II Penelitian : Pengembangan Disain, Material dan Proses Produksi Tromol Rem Bus/Truk Produk Lokal untuk Meningkatkan Kualitas dan Daya Saing, Program Riset Unggulan Kemitraan, ITB
6. Puja, IW, Suratman, R, Aufa, U, Suprihanto, A, 2002, Failure Investigations and Material Improvement for Drums Brakes Produced By Traditional Foundry Industries, Fith International Conference On Fracture & Strength of Solid, Sendai, Japan
7. Puja, IW, Suratman, R, Suprihanto, A, 2002, Identifikasi Kegagalan Drum Rem Produk UKM, Jurnal Teknik Mesin
8. Suprihanto, A, 2001, Identifikasi Penyebab Retak Tromol Rem Bus/Truk Produk PT SSM, Thesis Magister Teknik Mesin, ITB.

Tabel 2. 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	Ferrosil	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
Komposisi kimia		%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
		%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 3. Hasil pengujian komposisi kimia

% Unsur	Base Material	Campuran I	Campuran II	Campuran III	Campuran 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