

HIBAH BERSAING



LAPORAN PENELITIAN

**PENGEMBANGAN BESI COR KELABU BERSTRUKTUR BAINIT
SEBAGAI MATERIAL TROMOL REM BUS/TRUK**

Peneliti :

AGUS SUPRIHANTO, ST, MT

Ir. SULISTYO, MT

YUSUF UMARDANI, ST, MT

Dibiayai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional, sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Pekerjaan Penelitian Nomor : 031/SPPP/PP/DP3M/IV/2005

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
NOVEMBER 2005

UPT-PUSTAK-UNDIP

No. Daft: 648/KI/FT/C.

LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN
LAPORAN HASIL PENELITIAN TAHUN I HIBAH BERSAING

A. Judul Penelitian :
Pengembangan Besi Cor Kelabu Berstruktur Bainit Sebagai Material Tromol Rem Bus/Truk

B. Ketua Peneliti :
 a. Nama Lengkap dan Gelar : Agus Suprihanto, ST, MT
 b. Jenis Kelamin : Laki-laki
 c. Pangkat./Golongan/NIP : Penata Muda Tk. I/IIIB/132162550
 d. Bidang Keahlian : Engineering Materials and Failure Analysis
 e. Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Mesin
 f. Perguruan Tinggi : Universitas Diponegoro

C. Tim Peneliti :

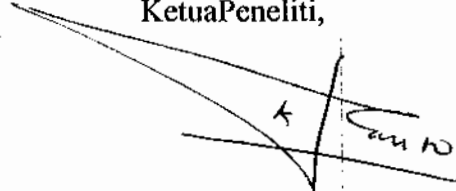
Nama	Bidang Keahlian	Fakultas/Jurusan	Perguruan Tinggi
1. Ir. Sulistyono, MT	Engineering Material	Teknik/Teknik Mesin	UNDIP
2. Yusuf Umardani, ST, MT	Metal Casting	Teknik/Teknik Mesin	UNDIP

D. Pendanaan dan jangka waktu penelitian :

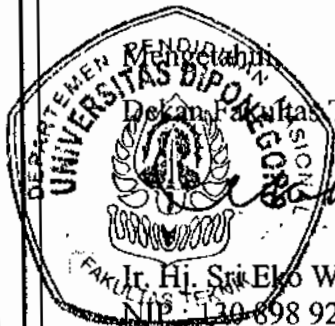
Jangka waktu penelitian yang diusulkan : 2 tahun
 Biaya total yang diusulkan : Rp. 69,960,000,-
 Biaya yang disetujui tahun I : Rp. 34,000,000,-

Semarang, 22 November 2005

Ketua Peneliti,



Agus Suprihanto, ST, MT
NIP : 132 162 550



Dekan Fakultas Teknik UNDIP

Ir. Hj. Sri Eko Wahyuni, MS
NIP : 130 898 929

Menyetujui,



Ketua Lembaga Penelitian UNDIP

Prof. Dr. Ir. Hen Rijanto, SpBd
NIP : 30 525 454

RINGKASAN

Bus/truk merupakan salah satu moda transportasi penumpang dan barang yang bersifat massal. Oleh karena itu keselamatan dan kenyamanan kendaraan ini sangatlah penting. Salah satu komponen yang mendukung keselamatan tersebut adalah tromol rem. Komponen ini sebagian besar masih impor atau lisensi. Hal ini disebabkan industri nasional terutama IKM belum mampu menghasilkan tromol rem yang berkualitas sebaik tromol rem impor/lisensi. Salah satu penyebabnya adalah hambatan teknologi material. Penelitian ini berupaya mengatasi hambatan tersebut yaitu dengan mengkaji suatu spesifikasi besi cor kelabu yang memiliki struktur bainit sebagai material tromol rem.

Penelitian tahun I telah berhasil mengetahui pengaruh parameter temperatur pencelupan T_Q dan lamanya pencelupan t_Q terhadap perubahan struktur mikro dan sifat mekanis besi cor kelabu pada proses *austempering*. Empat jenis besi cor kelabu yaitu FC20 dan 3 modifikasi komposisi kimia FC20 dengan ditambah Cr dan Cu dengan prosentase tertentu telah dilakukan proses *austempering*. Parameter proses *austempering* yang ditetapkan adalah $T_Q = 350^\circ\text{C}$, 400°C , 450°C dan 500°C serta $t_Q = 1,5\text{jam}$, 2jam dan $2,5\text{jam}$.

Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan dengan dilakukannya proses *austempering* tersebut telah terjadi perubahan fasa dari austenit menjadi bainit (ausferit) dan perlit halus serta sedikit austenit yang tersisa (*retained austenite*). Peningkatan kekerasan tertinggi diperoleh pada $t_Q = 2\text{jam}$ dan peningkatan kekerasan yang diperoleh mencapai 170%. Dengan dilakukannya penambahan unsur paduan dan diterapkannya proses *austempering*, kekerasan FC20 meningkat menjadi 220%.

SUMMARY

Bus/truck is one of mass transportation for passengers and goods. The safety of operations of these vehicles is very important. One of the components that support safety of these vehicle operations is the brake drum. Much of this component is imported or under license. These are because the quality of brake drum that is produced by small-scale local industry has not yet reached the imported ones. One of the biggest obstacles is materials design. The goal of this research is to study applications of bainitic (ausferrite) structure of grey cast iron produced by austempering process for brake drum material.

The parameters of the austempering process are quenching temperature (T_Q) and holding time (t_Q). In the first year of research, the effect of T_Q and t_Q on the microstructure and mechanical properties of grey cast iron have been evaluated. The grey cast iron that is used are non-alloyed FC20 and 3 variations of chemical composition of FC20 that are alloyed with Cr and Cu. Quenching temperature and holding time that are used in these processes are $T_Q = 350^\circ\text{C}$, 400°C , 450°C , 500°C and $t_Q = 1,5\text{hour}$, 2hour , $2,5\text{hour}$.

The results of microstructure tests indicate that the austenite phase transformed into bainite (ausferrite), fine pearlite, and retained austenite. The highest increase in hardness of materials is 170% that is received in $t_Q = 2\text{hour}$. The increase in hardness of FC20, which is alloyed with Cr and Cu and the treatment process can be 220%.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas terselesaikannya kegiatan tahun I penelitian Hibah Bersaing yang berjudul “Pengembangan Besi Cor Kelabu Berstruktur Bainit Sebagai Material Tromol Rem Bus/Truk”. Kegiatan ini merupakan rangkaian penelitian yang telah dimulai sejak tahun 2000 lalu. Tujuan utama rangkaian penelitian tentang tromol rem ini adalah akan dapat dihasilkan tromol rem bus/truk yang berkualitas dan memiliki daya saing yang tinggi serta mampu dibuat oleh IKM nasional.

Hasil penelitian hibah bersaing tahun I ini memberikan harapan terwujudnya tujuan tersebut. Hal ini terlihat dari upaya-upaya peningkatan material yang dilakukan telah memberikan hasil yang memuaskan. Meskipun demikian, terdapat beberapa hal yang masih memerlukan penelitian lebih mendalam.

Peneliti menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna, banyak kekurangan dimana-mana. Oleh karena itu, kami berbesar hati menerima segala kritik dan saran, demi tercapainya kebaikan. Semoga hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan bermanfaat bagi negara dan bangsa.

Semarang, 22 November 2005
a.n Tim Peneliti

Agus Suprihanto
NIP : 132 162 550

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN DAN SUMMARY	iii
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR/ILUSTRASI	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
I. PENDAHULUAN	1
II. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN TAHUN KE 1	4
III. TINJAUAN PUSTAKA	5
IV. METODE PENELITIAN	17
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	46
VII. RENCANA/PENELITIAN TAHAP SELANJUTNYA.....	48
A. Tujuan Khusus	48
B. Metode	48
C. Jadwal Kerja	49
DAFTAR PUSTAKA	50

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Ukuran grafit	10
Tabel 2. Klasifikasi besi cor berdasarkan desain komersil, struktur mikro, dan patahan	17
Tabel 3. Rencana pengaturan komposisi kimia	21
Tabel 4. Hasil pengujian komposisi kimia	28
Tabel 5. Hasil pengujian kekerasan <i>base material</i>	35
Tabel 6. Hasil pengujian kekerasan paduan I	35
Tabel 7. Hasil pengujian kekerasan paduan II	36
Tabel 8. Hasil pengujian kekerasan paduan III	36
Tabel 9. Hasil uji tarik pada temperatur kamar	43
Tabel 10. Hasil uji tarik pada temperatur 200°C	44
Tabel 11. Hasil uji tarik pada temperatur 300°C	44
Tabel 12. Pengaruh temperatur terhadap kekuatan tarik	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram fasa Fe-C	8
Gambar 2. Klasifikasi besi cor	9
Gambar 3. Tipe grafit besi cor	10
Gambar 4. distribusi grafit serpih	10
Gambar 5. Pengaruh bentuk grafit terhadap uji tarik	11
Gambar 6. Pengaruh panjang grafit terhadap kekuatan tarik	11
Gambar 7. Pengaruh ketebalan coran terhadap kekuatan tarik dan kekerasan besi cor	12
Gambar 8. Pengaruh inokulasi terhadap kekuatan tarik besi cor	13
Gambar 9. Pengaruh nilai karbon ekivalen (CE) terhadap kekuatan tarik	14
Gambar 10. Struktur bainit pada besi cor nodular	15
Gambar 11. Skematik tungku <i>salt bath</i>	18
Gambar 12. Peralatan yang digunakan untuk proses <i>austempering</i>	19
Gambar 13. Dimensi <i>test bar</i>	20
Gambar 14. Proses penuangan logam cair dari ladle ke cetakan	22
Gambar 15. <i>Test bar</i> yang telah dihasilkan	22
Gambar 16. Diagram TTT (<i>Time-Temperature Transformation</i>) besi cor	23
Gambar 17. Spesimen uji coba proses <i>austempering</i>	24
Gambar 18. Tungku untuk proses austenisasi	24
Gambar 19. Pengaturan temperatur <i>salt bath</i> dilakukan dari panel	25
Gambar 20. Bentuk dan distribusi grafit sebelum proses <i>austempering</i> (100X, <i>as-polish</i>)	29
Gambar 21. Fasa pada struktur mikro sebelum proses <i>austempering</i> (etsa nital 5%, 100X)	30
Gambar 22. Bentuk dan distribusi grafit spesimen yang dilakukan <i>austempering</i> pada 500°C dan 2jam.	31
Gambar 23. Fasa spesimen <i>base material</i> yang dilakukan <i>austempering</i> pada 350°C	32
Gambar 24. Fasa spesimen paduan II yang dilakukan <i>austempering</i> pada 400°C	33
Gambar 25. Fasa spesimen paduan III yang dilakukan <i>austempering</i> pada 400°C	34
Gambar 26. Grafik hubungan T & t quenching untuk <i>base material</i>	37
Gambar 27. Grafik hubungan T & t quenching untuk paduan I	37
Gambar 28. Grafik hubungan T & t quenching untuk paduan II	38
Gambar 29. Grafik hubungan T & t quenching untuk paduan III	38

Gambar 30. Grafik pengaruh T_Q terhadap kekerasan untuk <i>holding time</i> 1,5jam	39
Gambar 31. Grafik pengaruh T_Q terhadap kekerasan untuk <i>holding time</i> 2jam	40
Gambar 32. Grafik pengaruh T_Q terhadap kekerasan untuk <i>holding time</i> 2,5jam	40
Gambar 33. Grafik pengaruh komposisi kimia terhadap kekerasan untuk $T_Q=350^{\circ}\text{C}$	41
Gambar 34. Grafik pengaruh komposisi kimia terhadap kekerasan untuk $T_Q=400^{\circ}\text{C}$	41
Gambar 35. Grafik pengaruh komposisi kimia terhadap kekerasan untuk $T_Q=450^{\circ}\text{C}$	42
Gambar 36. Grafik pengaruh komposisi kimia terhadap kekerasan untuk $T_Q=500^{\circ}\text{C}$	42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Curriculum Vitae Tim Peneliti	51
Lampiran 2. Foto Alat-Alat Penelitian	57

I. PENDAHULUAN

Pada saat awal terjadinya krisis ekonomi, nilai tukar rupiah melemah terhadap mata uang asing terutama dollar Amerika. Krisis tersebut selain memukul perekonomian juga melumpuhkan industri nasional. Meskipun demikian, Industri Kecil Menengah (UKM) mampu bertahan dalam terpaan krisis tersebut, diantaranya adalah UKM pengecoran logam. Salah satu kunci keberhasilan tersebut adalah kreatifitas dan usaha keras UKM dalam memanfaatkan peluang-peluang yang ada.

Salah satu permasalahan yang timbul saat awal krisis adalah melambungnya komponen kendaraan. Hal ini disebabkan oleh komponen-komponen tersebut sebagian besar masih harus diimpor. Mahalnya harga komponen kendaraan tersebut telah menyebabkan pengusaha angkutan umum tidak mampu melakukan perawatan armadanya sebagaimana mestinya. Kenyataan ini tentunya sangat memperhatikan, karena disadari kondisi kendaraan yang buruk berpotensi besar terhadap terjadinya kecelakaan. Menyadari hal tersebut, Pemerintah pernah memberikan subsidi harga komponen kendaraan import. Hal ini tentunya merupakan solusi jangka pendek saja.

Melambungnya harga komponen kendaraan impor, meskipun disatu sisi menyulitkan banyak pihak, disisi lain hal ini dipandang sebagai peluang usaha yang bagus. Peluang usaha ini dimanfaatkan oleh beberapa UKM pengecoran logam di Ceper Klaten Jawa Tengah dengan memproduksi dan memasarkan komponen kendaraan. Salah satu komponen kendaraan yang telah berhasil diproduksi dan dipasarkan pada saat itu adalah tromol rem bus/truk.

Komponen ini dibuat dengan proses pengecoran yang dilanjutkan dengan proses pemesinan. Sumber daya manusia yang berpengalaman dan fasilitas produksi yang telah dimiliki UKM memungkinkan komponen tersebut dibuat sendiri. Peralatan utama yang digunakan diantaranya adalah kupola untuk meleburkan besi cor, peralatan pengolah pasir, peralatan pembuat cetakan dan mesin bubut dan bor. Bahan baku utama untuk pembuatan tromol rem adalah *pig iron*, kokas, *scrap* baja dan besi cor bekas (*foundry return*).

Produk yang dihasilkan oleh UKM ini dipasarkan dengan harga yang lebih murah yaitu antara 1/3 sampai 1/2 harga produk impor. Harga yang murah tersebut diantaranya disebabkan karena UKM tersebut menggunakan sebagian besar bahan bakunya dari dalam negeri, biaya transportasi lebih rendah karena dekat dengan konsumen dan biaya tenaga kerja yang rendah. Meskipun demikian diakui kualitas produk UKM tersebut tidak sebagus produk impor. Hal ini ditandai dengan umur pakai produk hanya 6 bulan, sedang produk impor sampai 2 tahun.^{ref. 1}

Peluang pasar yang ada untuk tromol rem bus/truk ini sebenarnya terbuka luas. Hal ini dapat dilihat dari data BPS tahun 1998 yang menyebutkan jumlah kendaraan bus/truk di Indonesia mencapai 2,2 juta dan tiap tahunnya jumlahnya meningkat rata-rata 5,6%. Apabila dihitung secara kasar dengan asumsi jumlah tromol rem untuk tiap bus/truk adalah 4 buah, maka dibutuhkan 8,8 juta buah tromol rem. Apabila rata-rata umur tromol rem impor adalah 2 tahun maka setiap tahunnya dibutuhkan 4,4 juta buah. Peluang yang masih luas tersebut tentunya sangat menjanjikan. Nilai ekonomis perdagangan komponen ini dapat dihitung sebagai berikut. Apabila diasumsikan harga tromol rem bus/truk rata-rata Rp. 1 juta, maka tiap tahunnya omzet dari perdagangan komponen ini mencapai Rp. 4,4 trilyun. Apabila UKM yang ada mampu merebut 10% saja dari pasar yang ada, maka akan diperoleh omzet Rp. 440 milyar pertahun.

Seiring dengan membaiknya perekonomian nasional, nilai tukar rupiah terhadap mata uang asing menguat kembali. Penguatan ini menyebabkan tromol rem impor harganya menjadi turun. Hal ini mengakibatkan produk UKM perlahan-lahan mulai ditinggalkan oleh konsumennya. Penyebab utama produk UKM kalah bersaing dengan impor adalah kualitasnya yang rendah yang ditunjukkan dengan umur pakai yang rendah dan harga produk impor yang menjadi lebih murah akibat penguatan nilai tukar rupiah.

Peningkatan kualitas tromol rem produk UKM ini telah secara intensif diteliti sejak tahun 2001. Penelitian awal yang dilakukan sebatas perbandingan karakterisasi material tromol rem impor dengan produk lokal. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan struktur mikro diantara kedua produk tersebut. Struktur mikro produk impor adalah pearlit dan bergrafit serpih distribusi A. Sedangkan produk lokal matriknya adalah ferrit, pearlit dan sementit dan memiliki grafit serpih distribusi A, B dan D. Penelitian selanjutnya dititik beratkan pada identifikasi penyebab keretakan tromol rem produk UKM. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa sumber penyebab mudah retaknya tromol rem produk lokal adalah struktur mikro yang tidak bagus. Struktur mikro tersebut mengakibatkan sifat mekanisnya lebih rendah dari material produk impor. Hal ini terlihat dari kekuatan tarik material lokal hanya 190MPa sedangkan produk impor 300MPa.^{ref. 2.}

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 juga memiliki keuletan yang cukup dan mudah diperoleh.^{ref. 3.}

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. Meskipun grafit menurunkan kekuatan tarik, tetapi pada pemakaian sebagai komponen yang bergesekan malah menguntungkan. Hal ini disebabkan grafit berfungsi sebagai lapisan *anti-welding* pada permukaan kontak, jaring-jaring media perpindahan panas, penyerap getaran dan meningkatkan ketahanan terhadap kejutan termal. Bentuk grafit yang sesuai untuk keperluan ini adalah bentuk serpih. Alasannya adalah bentuk serpih dalam besi cor lebih berdekatan satu sama lainnya sehingga memberikan jalan tercepat untuk disipasi panas dari permukaan gesek ke lingkungan. Kenyataan ini sangat penting karena rem tromol memiliki konstruksi permukaan gesek yang terlindung.^{ref. 4.}

Melihat kenyataan tersebut, maka upaya perbaikan sifat mekanis besi cor tromol rem bus/truk difokuskan pada perbaikan matriknya dengan menambahkan unsur paduan dan/atau perlakuan panas. Upaya perbaikan sifat mekanis dengan menambahkan unsur paduan –yaitu Cr dan Cu– telah dilakukan.^{ref. 5.} Hasilnya menunjukkan adanya peningkatan kekuatan tarik sebesar 20%. 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. Oleh karena itu perlu dikembangkan suatu metoda lainnya yang mampu memperbaiki sifat-sifat material besi cor yang akan digunakan untuk tromol rem.

Dari uraian diatas maka perlu dilakukan upaya untuk memperbaiki kualitas material tromol rem produk lokal dengan metode yang lain yaitu perlakuan panas *austempering*. Proses ini dapat memodifikasi matrik besi cor menjadi bainit (*ausferit*). Hasil studi literatur menunjukkan terdapat 2 tipe struktur bainit yaitu *lower bainit* dan *upper bainit*. Struktur *lower bainit* memiliki kekerasan 400HB lebih dan lazimnya digunakan untuk memperoleh ketahanan yang tinggi

terhadap tegangan kontak seperti pada roda gigi. *Upper bainit* memiliki kekerasan antara 260-350HB, memberikan kombinasi kekuatan dan keuletan yang tinggi, memiliki kekuatan lelah dan ketahanan lelah yang tinggi. Dari kedua ciri khas struktur bainit tersebut, maka dapat diketahui bahwa struktur yang memberikan peluang terbaik untuk digunakan sebagai material tromol rem adalah struktur *upper bainit*. Apabila struktur *upper bainit* dikombinasikan dengan bentuk grafit serpih maka sangat dimungkinkan diperoleh material yang menjanjikan peningkatan kualitas tromol rem.^{ref. 6.}

II. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN TAHUN KE 1

Tujuan penelitian tahun pertama ini adalah mempelajari sifat-sifat mekanis besi cor kelabu berstruktur bainit dan memperoleh parameter-parameter proses perlakuan panasnya (*austempering*). Parameter proses *austempering* yang diteliti adalah pengaruh besarnya temperatur *quenching* (T) dan lamanya waktu pencelupan dalam *salt bath* (t) terhadap perubahan sifat mekanis yang terjadi. Dengan diketahuinya parameter proses tersebut, diharapkan akan dapat diketahui korelasi antara parameter T & t terhadap perubahan fasa pada struktur mikro. Fasa yang diharapkan diperoleh lewat proses ini adalah bainit atau untuk besi cor disebut juga dengan *ausferrite*. Perubahan fasa pada strukturmikro tersebut pada akhirnya akan mempengaruhi sifat-sifat mekanis besi cor kelabu.

Hasil-hasil penelitian tahun I ini selanjutnya dimanfaatkan untuk mendapatkan parameter proses austemper yang optimum. Dengan diketahuinya parameter proses optimum tersebut akan dapat dihasilkan fasa matrik bainit (*ausferit*) yang akan memberikan sifat mekanis yang terbaik. Data ini selanjutnya akan digunakan pada penelitian tahun II untuk mengevaluasi sifat-sifat lain – koefisien gesek, konduktifitas termal, pemuaian, dll, – yang dibutuhkan untuk tromol rem bus/truk. Diharapkan pada akhir penelitian tahun II dapat diperoleh suatu prosedur pembuatan tromol rem bus/truk yang memiliki performan yang tinggi.