

## KOMPILASI DATA HASIL PERCOBAAN PENGECORAN SKRAP PADUAN AlMg2

HADIJAYA

### ABSTRAK

**KOMPILASI DATA HASIL PERCOBAAN PENGECORAN SKRAP PADUAN AlMg2.** Telah dilakukan kompilasi hasil pengecoran AlMg2 beserta hasil rancangan sarana dukung dari sejumlah dokumen yang berhubungan dengan percobaan pengecoran. Pengecoran (*casting*) merupakan salah satu metoda pembentukan logam dengan cara memanaskan logam sampai titik leburnya terlampaui dan dilanjutkan penuangan logam cair sampai terjadi pembekuan. Dalam proses pengecoran terdapat berbagai fenomena yang berhubungan dengan masalah karakteristik logam yang diinginkan, terutama yang berkaitan dengan peningkatan kekuatan logam produk cor. Serangkaian percobaan *casting* AlMg2 dalam upaya memperhalus ukuran butir dilakukan sejak tahun 1988 termasuk rancang bangun sarana dukung *casting* yang hasilnya dimuat dalam sejumlah laporan teknis. Hasil-hasil percobaan tersebut telah dikompilasi dalam bentuk sebuah dokumen pengecoran AlMg2.

**KATA KUNCI :** *Casting, Pengecoran logam, AlMg2 scrap, Solidifikasi, Vibrasi.*

### PENDAHULUAN

#### 1. Latar belakang

Awal dari penelitian dan kegiatan pengecoran skrap logam paduan AlMg2 adalah merujuk Renstra bidang teknologi daur bahan bakar dan Memo TOR nomor : II.2.d. Sehubungan dengan program tersebut maka dilaksanakan berbagai kegiatan persiapan untuk menuju terwujudnya pelaksanaan penelitian olah ulang gagal/ skrap logam paduan aluminium (diantaranya adalah AlMg1, AlMg2 dan AlMgSi1) yang berasal dari fabrikasi elemen bakar reaktor riset. Untuk mencapai sasaran ini telah dicoba metoda olah ulang melalui proses pengecoran (*casting*).

Permasalahan yang dihadapi dalam pengecoran paduan aluminium adalah terbentuknya butir-butir kasar pada produk tuang. Pembentukan butir kasar terjadi pada saat cairan logam aluminium kontak dengan dinding cetakan lalu inti butir (*nuclei*) tumbuh menjadi kristal awal (*dendrit*). Pertumbuhan kristal awal berhenti setelah logam cair membeku<sup>[5]</sup>. Pembentukan butiran yang kasar pada paduan

aluminium menunjukkan bahwa sifat mekanis logam tersebut buruk. Apabila menghendaki sifat mekanisnya yang lebih baik maka perlu perlakuan lanjut. Pengecoran (*casting*) merupakan salah satu metoda pembentukan logam dengan cara memanaskan logam sampai titik leburnya dan dilanjutkan dengan penuangan logam cair kedalam suatu cetakan sampai terjadi pembekuan. Dalam proses pengecoran terdapat berbagai fenomena yang berhubungan dengan masalah karakteristik logam yang diinginkan, terutama yang berkaitan dengan peningkatan kekuatan logam produk cor. Sebagaimana diketahui bahwa kekuatan logam dipengaruhi oleh keadaan ukuran butir, makin halus ukuran butir maka kekerasan semakin meningkat. Upaya memperhalus ukuran butir dilakukan dengan cara memberikan getaran (*vibrasi*) pada cetakan logam pada saat dilakukan penuangan logam cair<sup>[7]</sup>. Landasan teori yang berkenaan dengan masalah tersebut menyatakan bahwa getaran mengakibatkan terjadinya fragmentasi atau penghancuran kristal awal (*dendrit*) sehingga

terjadi peningkatan jumlah nukleasi pada logam cair.

Percobaan peleburan dengan metode percepatan laju solidifikasi (pembekuan) juga pernah dilaksanakan. Proses pembekuan terjadi beberapa saat setelah logam cair dituang ke dalam cetakan. Terbentuk kristal awal *equiaxed* yang berlanjut menjadi kolumnar sehingga logam tuang yang dihasilkan akan memiliki ukuran butir yang besar. Model pertumbuhan tersebut sangat tergantung pada kondisi *thermal* dalam daerah pembekuan, agar dihasilkan produk yang memiliki kekuatan mekanik tinggi, maka diperlukan upaya penghalusan ukuran butir, antara lain dengan mempercepat laju solidifikasi (pembekuan) yaitu dengan cara menempatkan cetakan logam di dalam air (media) pendingin<sup>[4]</sup>. Dalam rangka memenuhi keperluan penelitian *solidifikasi* logam tuang telah dirancang suatu unit *solidifikasi* logam tuang dengan menggunakan air sebagai pendingin.

Dalam hal peningkatan homogenitas logam paduan Al perlu dilakukan pengadukan pada saat proses peleburan. Tungku Peleburan K2/H *Nabertherm* tidak dilengkapi dengan alat aduk logam cor sehingga dimodifikasi dengan cara menambahkan Unit Pengaduk rekayasa sendiri. Unit pengaduk tersebut terdiri dari sebuah motor dan sudu-sudu bertangkai dari bahan SS dan dirancang untuk kecepatan pengadukan 50 - 100 RPM. Pembuatan dan uji fungsi unit pengaduk logam cor serta rancang-bangun cetakan getas cor logam sudah dilakukan guna menunjang percobaan solidifikasi logam cor AlMg2.

Beberapa percobaan pernah dilakukan melalui proses pencairan ulang atau *Remelting*, antara lain logam paduan AlMg2 dicairkan melalui pemanasan menggunakan *Melting Furnace* hingga mencapai suhu 750 °C lalu dilakukan penuangan ke dalam alat cetak. Uji komposisi logam hasil tuang memperlihatkan terjadi penurunan komposisi unsur Mg sebesar 24%. Kehilangan unsur Mg tersebut disebabkan karena Mg (Magnesium) mudah mengalami oksidasi pada suhu tinggi (>450 °C), sehingga berakibat logam tuang AlMg2

yang dihasilkan memiliki kualitas lebih jelek karena sifat mekanisnya menurun<sup>[3]</sup>. Masalah tersebut telah diatasi dengan cara menambahkan unsur Mg dalam jumlah tertentu pada saat proses pencairan ulang.

## 2. Tujuan

Percobaan litbangyasa olah ulang skrap AlMg2 yang merupakan kegiatan berkelanjutan pada tahun lalu dimana telah didapatkan data/informasi mengenai sifat-sifat dan perubahan komposisi logam tuang AlMg2 hasilnya telah dikompilasi dalam bentuk sebuah dokumen pengecoran sehingga kegiatan yang akan dilakukan pada tahap berikutnya lebih terfokus dan diharapkan dapat lebih melingkupi data/ informasi yang ada saat ini.

## TATA KERJA

Bahan :

1. *File* dokumen makalah percobaan peleburan skrap AlMg2
2. *File* dokumen makalah rancangan sarana dukung pengecoran

Bahan-bahan kertas kerja dalam bentuk dokumen tersebut sudah dilengkapi pula dengan data percobaan, gambar/ desain perancangan alat maupun foto-foto hasil kegiatan percobaan.

Alat :

1. PC komputer
2. *Printer*
3. *Scanner*

Dalam penyusunan semua dokumen tersebut, digunakan kompu-ter untuk pengetikan ulang makalah berikut printer dan *scanner* untuk mencetak dokumen kompilasi.

Cara kerja :

Data-data hasil percobaan pengecoran AlMg2 dan data-data hasil perekayasa dikumpulkan dari disket-disket, arsip makalah (*paper*) dan foto-foto kegiatan. Melakukan *scanner* dan dan perbaikan *file* (pada makalah yang tidak ditemukan dalam disket) lalu mengelompokkan semua abstrak, mengelompokkan daftar pustaka kemudian menyusun urutan halaman makalah hasil penelitian/

kegiatan perekayasaan mulai awal sampai akhir kegiatan yang dirinci dalam daftar isi.

## PEMBAHASAN

Dokumen hasil percobaan pengecoran AlMg2 dan hasil perekayasaan berhasil dihimpun dari beberapa disket lama, namun diantara disket – disket tersebut ada yang sudah rusak secara fisik (tak dapat diaktifkan) karena usang atau disket mengandung virus sehingga data terutama gambar hilang sama sekali (sedikitnya 5 virus dengan berbagai nama teridentifikasi oleh *software* anti virus “McAfee”). Untuk mengatasi kendala tersebut maka digunakan arsip makalah (*paper*) dan foto-foto kegiatan yang kemudian di-*scanner* lalu dilakukan penataan ulang huruf-huruf sehingga dapat disesuaikan dengan baik kemudian di-*file*-kan pada sebuah CD-RW. Urut-urutan kompilasi makalah hasil penelitian/ kegiatan perekayasaan dimulai dari kata pengantar yang sedikit menguraikan awal penelitian pengecoran AlMg2/ kegiatan perekayasaan sejak tahun 1988, sedangkan disain cover seperti pada gambar-1 dan daftar isi disusun dengan format seperti pada lampiran.

Abstrak beberapa hasil penelitian/ kegiatan perekayasaan dikelompokkan dalam urutan ke-3 dan kelompok terakhir (ke-15) merupakan kumpulan pustaka. Sehubungan dengan percobaan pengecoran AlMg2, telah dikompilasi 11 (sebelas) makalah yang tersusun dalam daftar isi sebanyak 80 (delapan puluh) halaman.

Urutan ke-4 dari daftar isi adalah mengenai penyediaan sarana dan peralatan pengecoran logam AlMg2, pada bagian tersebut diuraikan mengenai keberadaan tungku peleburan konvensional yang dimiliki saat itu (1988) serta sejumlah alat dukung dan bahan yang dibutuhkan untuk kegiatan litbang olah ulang skrap AlMg2.

Penggunaan *Flux* pada Pengecoran AlMg2 disusun pada urutan ke-5. Dalam percobaan pengecoran, dijumpai porositas yang cukup tinggi pada logam hasil tuang. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya kontaminasi dari beberapa bahan seperti olie, minyak

gemuk, debu atau pasir maupun kandungan air yang terdapat pada skrap serta peralatan pengecoran yang digunakan. Porositas atau pori-pori atau kropos pada logam hasil tuang berdampak buruk terhadap kekuatan logam hasil tuang<sup>[9]</sup>. Beberapa jenis *flux* tertentu dapat digunakan dalam proses pengecoran logam AlMg2 untuk mengatasi porositas dan berguna dalam memperbaiki mutu logam hasil tuang. Dalam percobaan tersebut digunakan *flux* jenis *Degasser* (DE-700) sebanyak 145 gr, dan *Cover flux* (COV-12) sebanyak 100 gr. Pemberian *flux* dilakukan saat skrap AlMg2 mencair. Selanjutnya akan terbentuk terak mengambang dipermukaan cairan logam. Terak dibuang lalu logam cair dituang kedalam cetakan. Setelah cairan logam membeku, coran AlMg2 dikeluarkan dari cetakan.

Tinjauan Teknis Kinerja Tungku BEMPAT pada Peleburan Paduan Aluminium disusun pada urutan ke-6. Tungku Bempat adalah salah satu sarana yang mengawali litbang pengecoran logam paduan aluminium pada Bidang Bahan Struktur dan Pendukung PEBN. Tungku dengan bahan bakar batu bara tersebut mampu melebur 5-10 Kg skrap AlMg2 pada suhu sampai 1400 °C dalam waktu sekitar 3 jam. Aplikasinya dalam kegiatan litbang masih bisa diandalkan karena cukup efektif dan ringan dari segi perawatannya. Dengan memberikan sedikit penyempurnaan pada desain ruang pembakaran serta pemberian kotak udara, diharapkan kinerja tungku akan lebih baik terutama dalam kemampuannya untuk mencapai suhu tinggi (2000 °C) <sup>[8]</sup>. Ditinjau dari segi teknis, tungku Bempat yang konstruksinya telah disempurnakan memungkinkan untuk dipakai pada peleburan beberapa jenis bahan struktur yang memiliki titik lebur diatas logam paduan aluminium.

Analisa Mikrostruktur Coran AlMg2 menggunakan OPTICAL MICROSCOPY disusun pada urutan ke-7. Berdasarkan pengalaman teknis metalografi maka untuk mendapatkan tampilan permukaan logam yang kontras khususnya batas antar butir, faktor yang menentukan pada prinsipnya adalah

keterampilan teknisi dalam hal preparasi sampel mulai dari Pencuplikan sampai Pemolesan. Selanjutnya, pada saat pengetsaan, faktor yang menentukan keberhasilan adalah pengetahuan dalam memilih formula etsa berikut metodenya yang tepat. Faktor lain yang juga cukup penting adalah kemampuan dalam mengaplikasikan mikroskop terutama teknik pengaturan cahaya serta fokus gambar batas antar butir logam. Tahapan pekerjaan yang dilakukan untuk menganalisa mikrostruktur coran AlMg2 meliputi *Sampling-cutting-sectioning* (pencuplikan), *coarse grinding* (pengasahan kasar), *mounting* (penanaman), *fine grinding* (pengasahan halus), *rough polishing* (pemolesan kasar), pemolesan akhir, selanjutnya coran AlMg2 dietsa (*etching*) dengan *reagen* yang terdiri dari campuran beberapa bahan kimia antara lain: 10 mL HCl + 30 mL HNO<sub>3</sub> + 5 gr FeCl<sub>3</sub> + 20 ml H<sub>2</sub>O<sup>[10]</sup>.

Pengaruh beberapa Perlakuan terhadap Hasil Coran pada Proses Olah Ulang Gagal Logam Paduan AlMg2 dengan Metode *CASTING* disusun pada urutan ke-8. Dalam percobaan dengan metoda "*casting*" tersebut diterapkan beberapa perlakuan yang berbeda terhadap hasil coran. Jenis coran pertama tidak dikenakan perlakuan lebih lanjut (CTP), coran yang lain kemudian dicanai (dirol) panas (CCP), coran terakhir setelah dicanai panas lalu dianil (CCA)<sup>[11]</sup>. Berbagai jenis coran tersebut diperiksa tentang kuat tarik, kekerasan, besar butir dan struktur mikronya. Hasil pengujian coran diatas dibandingkan dengan material AlMg2 asli (MA). Hasil percobaan menunjukkan bahwa kuat tarik dan kekerasan coran yang di-canai panas (CCP) masing-masing sebesar 28,30 kg/mm<sup>2</sup> dan 43,80 kg/mm<sup>2</sup> yang ternyata lebih besar dari material aslinya, sedangkan coran yang dicanai panas lalu dianil (CCA) mempunyai ukuran butir (diameter) yang mendekati material asli yaitu 5,97 mm. Hasil metalografi menunjukkan bahwa setelah coran dikenai proses anil, maka sudah terlihat butiran-butiran kecil yang mirip pada material aslinya.

Studi pustaka mengenai Kelarutan Padat Unsur-Unsur Paduan dan Pengotor terhadap Unjuk Kerja Material AlMg2 disusun pada urutan ke-9. Kekuatan material AlMg2 ditentukan oleh adanya sejumlah unsur paduan dan pengotor<sup>[9]</sup>. Unsur paduan adalah bahan-bahan logam yang sengaja ditambahkan pada Aluminium murni untuk mendapatkan karakteristik tertentu, sedangkan unsur pengotor adalah bahan-bahan yang ikut terpadu di dalamnya yang dapat juga memberikan karakteristik paduan logam tertentu. Beberapa unsur paduan pada logam Aluminium antara lain Magnesium (Mg); Boron (B); Bismuth (Bi); Beryllium (Be); Calsium (Ca); Tembaga (Cu); Timbal (Pb); Nikel (Ni); Vanadium (V); Seng (Zn). Sedangkan unsur-unsur pengotor terdiri atas Chromium (Cr); Mangan (Mn); Besi (Fe); Titanium (Ti); Silikon (Si) dan lain lain. Setiap unsur paduan tersebut masing-masing memberikan pengaruh terhadap logam dasar (Aluminium), sehingga diperoleh logam paduan yang memiliki karakteristik tertentu. Studi pustaka ini dilakukan untuk mengetahui serta mempelajari spesifikasi komposisi logam paduan AlMg2 sebagai langkah awal percobaan mengolah ulang skrap dari limbah produksi elemen bakar nuklir dengan metode *casting*.

Rancang Bangun Alat Aduk Logam Cor disusun pada urutan ke-10. Pada pengecoran logam paduan Aluminium, penambahan unsur-unsur pemadu seperti Mn (Mangan), Mg (Magnesium) maupun unsur-unsur pengotor seperti Fe (Besi), Cu (Tembaga) dan lainnya, dilakukan setelah skrap logam AlMg2 dilebur menggunakan *melting furnace*. Pada saat skrap logam mencair, diperlukan proses pengadukan guna meningkatkan homogenitas unsur-unsur paduan pada logam produk cor. Dalam rangka memenuhi kebutuhan tersebut, telah dibuat 1 (satu) unit alat aduk logam cor yang dapat berputar dengan kapasitas antara 50 – 150 Rpm. Unit alat aduk terdiri dari sebuah dinamo 40 Watt yang bagian ujung porosnya terdapat pemegang tangkai aduk dengan konstruksi vertikal krusibel. Dudukan alat aduk sekaligus berfungsi sebagai tutup krusibel sehingga

proses pengadukan logam cair dapat dilakukan lebih aman. Uji fungsi pengadukan logam cair dari skrap AlMg2 dengan penambahan unsur Mg serbuk menunjukkan bahwa unit alat aduk logam cor yang dioperasikan selama 2 menit dapat menghasilkan tingkat homogenitas sebesar 71%. Tingkat homogenitas masih dapat dinaikkan dengan memperpanjang waktu aduk.

Karakterisasi Logam Paduan Tuang AlMg2 dengan Metode VIBRASI menggunakan sebuah Vibrator hasil rekayasa disusun pada urutan ke-11. Vibrator tersebut diperlukan untuk meneliti pengaruh getaran (vibrasi) pada saat penuangan terhadap kekuatan mekanis dan mikrostruktur tuang. Perlakuan getar selama proses pembekuan (karakterisasi) dengan metode tersebut memberikan efek fragmentasi (peng-hancuran) kristal awal sehingga terjadi peningkatan jumlah nukleasi<sup>[5]</sup>. Meningkatnya jumlah nukleasi pada logam memberikan efek terhadap penghalusan ukuran butir sehingga meningkatkan kekuatan mekanis. Hasil analisis dan pengujian terhadap logam paduan tuang AlMg2 dengan perlakuan vibrasi menunjukkan kekerasan tertinggi sebesar 45,3 HVN untuk waktu getar 10 menit dengan frekuensi getar 10,4 mm/det. Kekerasan terendah 42,6 HVN untuk waktu getar 2 menit dengan frekuensi getar 4,2 mm/det, sedangkan pada logam paduan tuang AlMg2 tanpa perlakuan getar menunjukkan kekerasan yang lebih rendah yaitu 37,8 HVN. Hasil analisis yang digambarkan pada grafik ukuran butir versus kekerasan berdasarkan fungsi waktu getar dan frekuensi getar memberikan pengertian bahwa makin lama waktu getar dan makin tinggi frekuensi/ kekuatan getar maka kekerasan logam tuang meningkat. Sebaliknya makin singkat waktu getar dan makin rendah frekuensi/ kekuatan getar akan menghasilkan kekerasan logam tuang AlMg2 yang rendah pula. Percobaan karakterisasi logam paduan tuang AlMg2 dengan metode vibrasi membuktikan bahwa getaran (vibrasi) berpengaruh terhadap penghancuran kristal awal sehingga mampu menghambat laju pertumbuhan butir.

Pra Rancangan Unit Solidifikasi Logam Tuang Aluminium disusun pada urutan ke-12. Unit solidifikasi logam tuang dirancang untuk memenuhi kebutuhan sarana litbang bahan struktur elemen bakar nuklir khususnya yang berkaitan dengan penelitian olah ulang skrap logam paduan AlMg2 atau AlMgSi melalui metode *casting*. Solidifikasi berpengaruh pada struktur hasil tuangan dan ikut menentukan sifat-sifat logam hasil tuang. Beberapa fenomena yang dapat dikaji dalam peristiwa solidifikasi logam tuang antara lain pembentukan kristal, pembekuan paduan, perpindahan panas konduksi, porositas hasil tuang, dan lain-lain. Solidifikasi logam tuang dilakukan dengan menggunakan air sebagai media pendingin. Proses pendinginan dilakukan secara dinamis, dalam hal ini air dialirkan sirkulasi dengan debit konstan dari bak penampung ke kolom pendingin logam tuang. Untuk memperoleh debit aliran fluida konstan tersebut dilakukan pendekatan melalui persamaan *Bernoulli*<sup>[3]</sup>. Variabel penelitian meliputi suhu media pendingin sebelum dan sesudah penuangan, suhu tuang pada setiap kali pencairan logam serta waktu/ lamanya terjadi pembekuan. Variabel lain yang mengarah pada hasil penelitian adalah ukuran butir dan kekuatan tarik logam tuang.

Pengaruh Solidifikasi terhadap Sifat Fisik dan Mikrostruktur Logam Cor AlMg2 disusun pada urutan ke-13. Telah dilakukan beberapa pengujian produk *remelting* (coran hasil pencairan ulang) logam cor AlMg2. Pengujian material meliputi uji kekuatan tarik, kekerasan, komposisi dan pengamatan mikrostruktur. Penelitian karakteristik fisik dan mekanik dilakukan untuk mengetahui perubahan-perubahan yang terjadi pada material akibat proses pencairan ulang pada suhu 800 °C dalam kondisi solidifikasi normal, lambat dan cepat. Hasil percobaan dan analisa produk *remelting* pada kondisi solidifikasi normal menunjukkan karakteristik fisik dan mekanik yang optimal dan hampir menyamai karakteristik material tanpa perlakuan.

Pemulihan Komposisi Unsur Magnesium Paduan AlMg<sub>2</sub> dengan Proses Peleburan disusun pada urutan ke-14. Peleburan skrap AlMg<sub>2</sub> dilakukan pada suhu 750 °C, 800 °C dan 850 °C dengan menambahkan master alloy-AlMg ke dalam cairan AlMg<sub>2</sub>. Spesimen AlMg<sub>2</sub> hasil peleburan dianalisis komposisi dan sifat mekanik serta diamati mikrostrukturnya. Hasil analisis komposisi terhadap sekrap AlMg<sub>2</sub> dengan tambahan master alloy memperlihatkan terjadi peningkatan Mg sekitar 0,3 % berat, sedangkan tanpa master alloy menunjukkan penurunan unsur Mg berkisar antara 0,14 % sampai 0,20 % berat. Hasil uji sifat mekanik menunjukkan penurunan kekerasan dengan pengurangan kadar unsur Mg. Hasil pengamatan metalografik optikal memperlihatkan bahwa topografi mikrostruktur paduan AlMg<sub>2</sub> cenderung mengalami perubahan seiring dengan peningkatan suhu peleburan. Paduan AlMg dengan kandungan Mg sekitar 2 % diperoleh dengan penambahan master alloy berkadar Mg 3,6 % berat.

#### KESIMPULAN

Hasil percobaan pengecoran AlMg<sub>2</sub> beserta hasil perkayasaan sarana dukung telah dihimpun dari sejumlah dokumen lama. Dalam percobaan pengecoran, kekuatan logam hasil cor dipengaruhi oleh keadaan ukuran butir, makin halus ukuran butir, kekerasannya semakin meningkat. Percobaan *casting* AlMg<sub>2</sub> dalam upaya memperhalus ukuran butir yang dilakukan sejak tahun 1988 meliputi upaya penghalusan ukuran butir dengan metode Vibrasi dan dengan metode percepatan laju solidifikasi. Dokumen hasil-hasil percobaan peleburan AlMg<sub>2</sub> dan pereka-

yasaan sarana dukung *casting* telah dikompilasi dalam bentuk sebuah dokumen pengecoran AlMg<sub>2</sub> dan di-*file*-kan pada sebuah CD-RW.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. BROOKS, CHARLIE R, "Heat Treatment, Structure and Properties of Nonferrous Alloys", American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1982.
2. HARJONO DJOJODIHARJO, "Mekanika Fluida", Dep. Mesin ITB, Penerbit Erlangga, Jakarta 83. 3
3. BENYAMIN M.Ma, Nuclear materials and Applications, Departement of Nuclear Engineering, IOWA State University, 1983.
4. MONDOLFO, L. F., "Aluminium Alloys Struktur and Properties, Butterworths, London, (1976).
5. DE ROSS, ALAN B., "Aluminium Casting Technology", American-Foundrymen's Society Inc, Des Plaines, Illinois.
6. MARC, MEYER A., and KEUMAR, K., "Mechanical Metallurgy Principles and Application", Prentice-Hall, 1984.
7. CAMPBELL, J, " Effects of Vibration During Solidification", International Metals Review, 1981.
8. SINDON SUSANTO BE, "Peleburan Besi Tuang", Proyek Pusat Pengembangan Industri Pengerjaan Logam , MIDC, Bandung, 1977.
9. KENJI OHJIWA Prof. DR, TATA SURDIA MS.Met.E.Ir, "Teknik Pengecoran Logam", PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1980.
10. PETZOW, G., "Metallographic Etching", Stuttgart, 1977.