

Upaya Peningkatan Kekerasan *Grinding Ball* Besi Tuang Putih Astm A532 Dengan Proses Temper

Mustakim¹⁾, Joko Pitoyo¹⁾ dan Ratna Kartikasari

¹⁾Jurusan Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta

email: mrakim.61@gmail.com

Abstrak

Hingga saat ini kebutuhan besi tuang putih ASTM A 532 untuk *grinding ball* pada industri semen masih dipenuhi dengan impor. Percobaan pembuatan paduan ini sudah dilakukan pada skala IKM. Akan tetapi satu kekurangan paduan yang dihasilkan bersifat getas sehingga nilai ketangguhan relatif rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari upaya peningkatan kekerasan dan ketangguhan besi tuang putih ASTM A 532 produk IKM untuk aplikasi *grinding ball* pada industri semen dengan proses temper. Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa *besi tuang putih ASTM A532* mengandung 4,57% C, 18,26% Cr dan 0,20 % Mo sehingga termasuk dalam ASTM A532 *class II type D martensitic white cast iron*. Hasil uji struktur mikro menggunakan mikroskop optik dan SEM menunjukkan bahwa *besi tuang putih ASTM A532* mempunyai struktur martensit, perlit dan sementit, tetapi memiliki pola, jumlah dan sebaran yang berbeda. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa *besi tuang putih ASTM A532* mempunyai nilai kekerasan tertinggi yaitu pada *besi tuang putih ASTM A532* spesimen setelah *hardening* 900°C yaitu sebesar 878,59 kg/mm² dan terendah 744,80 kg/mm² pada spesimen temper 450 °C. Hasil pengujian XRD menunjukkan persentase (%) terbesar struktur mikro adalah sementit, selanjutnya adalah martensite dan perlit. Semakin tinggi temperatur *temper* nilai kekerasan *besi tuang putih ASTM A532* menurun tapi keuletannya akan naik, hal ini disebabkan terjadinya perubahan strukturmikro dari *martensit* menjadi *martensit temper*.

Kata kunci: Besi tuang putih ASTM A 532, martensitik, kekerasan, impak, temper

1. PENDAHULUAN

Grinding ball adalah salah satu jenis perangkat (komponen) yang terdapat pada mesin *cement mill* dimana proses penggilingan material bahan dasar untuk pembuatan semen dilakukan. Material *grinding ball* harus memiliki kekerasan, ketangguhan dan ketahanan abrasi yang tinggi.

Besi tuang putih ASTM A532 adalah jenis besi tuang putih paduan tinggi yang berstruktur martensit untuk aplikasi ketahanan abrasi yang memiliki sifat-sifat yang menguntungkan, diantaranya kekerasan tinggi, tahan korosi, kekuatan tinggi dan tahan terhadap perubahan suhu. Besi tuang putih ASTM A 532 mengandung unsur C (karbon) sebesar 2,2% dan unsur paduan Cr yang berfungsi untuk mencegah pembentukan grafit dan untuk menjamin stabilitas karbida dalam strukturmikronya. Untuk tujuan khusus, ke dalam besi tuang putih ASTM A 532 juga ditambahkan unsur Ni, Mo dan Cu atau kombinasi dari ketiganya untuk mencegah atau meminimalis pembentukan perlit. Besi tuang

putih martensitik mempunyai kekerasan berkisar 500–700 BHN. Karbida-karbida utama dalam struktur mikro besi tuang putih memberikan kekerasan yang sangat tinggi yang diperlukan untuk memecahkan dan menghancurkan material lain tanpa terjadinya degradasi. Beberapa aplikasi ketahanan abrasi lebih mahal tetapi paduan besi tuang putih martensitik secara ekonomis paling memuaskan.

Besi tuang putih ASTM A 532 digunakan di industri semen sebagai *grinding ball* yang digunakan untuk menggiling bahan baku semen. Berbagai modifikasi standar dilakukan selama proses fabrikasi maupun *heat treatment* untuk memperoleh sifat yang sesuai dengan kebutuhan dalam aplikasi. Unsur paduan yang diberikan dan proses *heat treatment* yang dilakukan bertujuan untuk mengontrol struktur matriks yang akan menjaga keseimbangan antara ketahanannya terhadap keausan abrasi dan ketangguhan yang diperlukan untuk menanggung beban impak.

Telah dilakukan penelitian oleh Yufri Rusdian (2002), terhadap tiga *ball mill import* dari *Mitsubishi* dengan kode TY (Toyo), *United Kingdom* dengan kode LW (Long Ware) dan *Belgium* dengan kode AV (Magoto) untuk mengetahui komposisi kimia, distribusi kekerasan dan struktur mikro. Hasil penelitian ini adalah *ball mill* dengan kode LW dan TY menunjukkan bahwa termasuk baja paduan jenis baja kromium tahan panas. Hasil analisis distribusi kekerasan *ball mill* dengan kode AV dan TY menunjukkan bahwa kekerasan tertinggi di permukaan dan semakin ke dalam kekerasan semakin menurun, sedangkan kode LW kekerasan terendah ada di permukaan dan semakin ke dalam kekerasan semakin tinggi. Struktur mikro yang terlihat pada *ball mill* dengan kode AV adalah *martensit*, *perlit* dan karbida Cr, sedangkan pada *ball mill import* dengan kode TY dan LW karbida Fe dan karbida Cr dengan distribusi struktur mikro sesuai dengan distribusi kekerasannya.

Martin Wijaya dkk (2001), melakukan percobaan pembuatan *grinding ball* dengan metoda anil dan *quenching* dalam berbagai media. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses *quenching* untuk *grinding ball* ex-lokal mempunyai kelemahan yaitu terjadinya *shrinkage*, pori dan retak. Sedangkan dengan proses anil produk *grinding ball* yang dihasilkan bebas cacat (*shrinkage*, pori dan retak), akan tetapi nilai kekerasan dan dampak rendah. Proses anil diperlukan untuk memudahkan pengerjaan akhir karena anil menurunkan nilai kekerasan. *Grinding ball* diameter 30 mm mempunyai kekerasan 607 HB dan Impak 7,1 J/cm². *Grinding ball* diameter 60 mm dan 90 mm mempunyai kekerasan 575 HB dan Impak 6,7 J/cm².

Ratna Kartikasari (2007) telah melakukan percobaan pembuatan *ball mill*, hasilnya menunjukkan bahwa *ball mill* hasil percobaan mempunyai nilai kekerasan tertinggi sebesar 764,2 VHN dan terendah sebesar 551,8 VHN serta nilai dampak sebesar 0,17 J/cm². Nilai ini masih sangat rendah jika dibandingkan dengan nilai dampak *grinding ball import* yaitu sebesar 3,9 J/cm².

Menurut Walton (1981), material untuk *grinding ball* pada pabrik semen adalah besi tuang putih martensitik dimana karbida-karbida utama dalam struktur mikro besi tuang putih memberikan kekerasan yang sangat tinggi yang diperlukan untuk memecahkan

(*crushing*) dan menghancurkan (*grinding*) material lain tanpa terjadinya degradasi. Dukungan struktur matriks yang diatur oleh unsur paduan atau *heat treatment* menjaga keseimbangan antara ketahanannya terhadap keausan abrasi dan ketangguhan yang diperlukan untuk menanggung beban dampak. Besi tuang putih paduan tinggi siap di cetak dalam berbagai bentuk yang diperlukan untuk *crushing* dan *grinding* atau menangani material abrasif.

Besi tuang putih untuk aplikasi ketahanan abrasi biasanya termasuk kategori besi paduan tinggi. Semua besi paduan mengandung kromium (Cr) untuk mencegah pembentukan grafit dan untuk menjamin stabilitas karbida dalam strukturmikronya. Beberapa besi tuang putih juga mengandung Ni, Mo dan Cu atau kombinasi dari ketiganya untuk mencegah atau meminimalis pembentukan perlit dalam struktur mikronya. Besi tuang putih untuk aplikasi ketahanan abrasi menurut standard ASTM termasuk dalam ASTM A532. Berbagai modifikasi standar dilakukan selama foundri maupun *heat treatment* untuk memperoleh sifat yang sesuai dengan kebutuhan dalam aplikasi.

2. METODE PENELITIAN

Peleburan menggunakan dapur induksi frekwensi rendah milik POLMAN Ceper Klaten. Bahan baku peleburan terdiri dari *mild steel scrap*, Fe-Mn Fe-Cr, Fe-C dan Fe-Si. Perhitungan komposisi dilakukan secara manual dengan *material balance*. Proses *hardening* dilakukan pada temperatur 900°C selama 1 jam di dalam *muffle furnace* dilanjutkan dengan *quenching* dalam media oli SAE 20. Proses temper dilakukan pada variasi temperatur 250, 350, dan 450. Pengujian yang dilakukan meliputi uji komposisi, uji struktur mikro dan uji kekerasan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Hasil Uji Komposisi Kimia

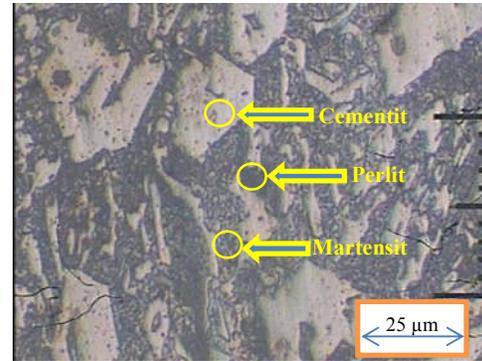
Hasil pengujian komposisi kimia di PT. Itokoh Ceperindo menunjukkan bahwa unsur-unsur yang terkandung pada *besi tuang putih ASTM A532* adalah unsur 18,26% Cr, 4,57% C, 1,82% Mn, 2,04% Si, 0,20% Mo dan 0,12% Ni. Unsur Cr yang terkandung didalam *besi tuang putih ASTM A532* berguna untuk meningkatkan kekuatan, kekerasan dan ketahanan aus. *Chromium* merupakan

pembentuk karbida yang sangat kuat dan dapat juga digunakan sebagai elemen peneras dan sering digunakan bersamaan dengan elemen ketangguhan seperti nikel(Ni) untuk menghasilkan sifat mampu keras yang sangat baik, kekuatan impak tinggi, ketahanan fatik yang lebih baik dan ketahanan terhadap temperatur rendah. Dari hasil uji komposisi diatas dilihat maka besi tuang ini termasuk jenis *ASTM A532 class II type D*.

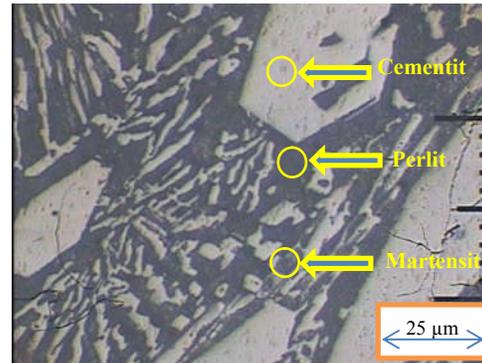
Kandungan unsur *carbon (C)* pada *besi tuang putih ASTM A532* berfungsi sebagai pembentuk struktur sementit, Fe_3C , perlit, *spheroidite*, bainit dan juga membentuk struktur martensit sehingga dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan. Kehadiran unsur mangan(Mn) dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan terhadap panas. Besi tuang dengan kandungan Mn lebih dari 0,78 % tidak dapat membeku dengan cepat. Mn sangat menguntungkan untuk memperbaiki kualitas permukaan. Sedangkan unsur silikon(Si) pada besi tuang putih ASTM A532 berfungsi untuk meningkatkan penggrafitan sehingga meningkatkan kekuatan tarik dan dapat meningkatkan ketajaman. Pencampuran unsur silikondalam jumlah yang besar, dapat mengurangi sifat kemagnetan. Unsur molybdenum (Mo) dalam besi tuang putih ASTM A532 dapat meningkatkan kemampuan tarik pada temperatur tinggi dan ketahanan mulur dari besi tuang. Molybdenum dapat memperlambat transformasi dari austenit menjadi bainit. Sedangkan untuk unsur-unsur yang lain karena jumlahnya sangat kecil dianggap tidak mempengaruhi sifat paduan *besi tuang putih ASTM A532* secara signifikan.

4.2. Analisis Hasil Pengujian Struktur Mikro

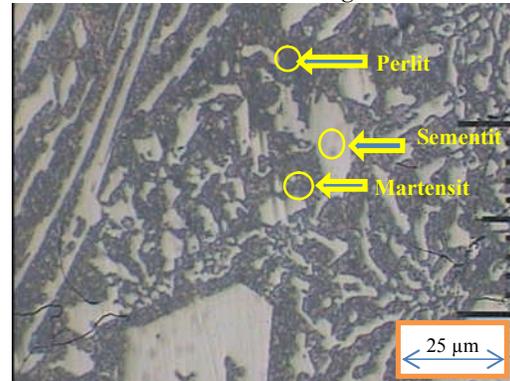
Pengujian struktur mikro dilakukan dengan pengamatan pada benda uji menggunakan mikroskop optik. Benda uji tersebut terdiri dari spesimen *raw material*, *quenching* pada temperatur 900°C, dan spesimen setelah perlakuan temper dengan variasi temperatur 250°C, 350°C, dan 450°C. Pengujian struktur mikro menggunakan pembesaran 200x. Hasil pengujian struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 1 sampai Gambar 5.



Gambar 1. Struktur mikro *besi tuang putih ASTM A532 raw material*

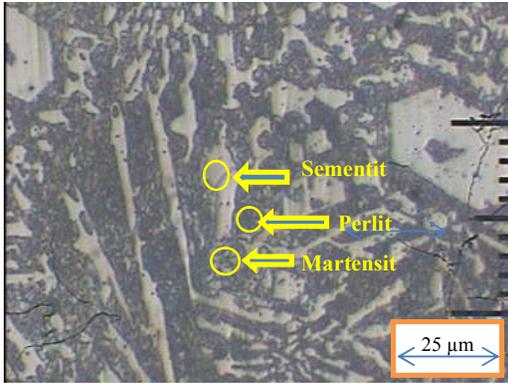


Gambar 2. Struktur mikro *besi tuang putih ASTM A532 setelah hardening 900°C*

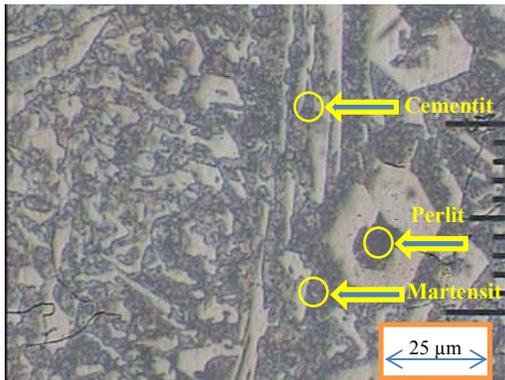


Gambar 3. Struktur mikro *besi tuang putih ASTM A532 setelah temper 250°C*

Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa terjadi penyusunan struktur sementit pada permukaan *raw material* sedangkan struktur yang mendominasi adalah struktur martensit. Setelah proses *hardening* pada temperature 900°C struktur martensit mulai berkurang, sedangkan struktur sementit semakin terlihat membesar.



Gambar 4. Struktur mikro besi tuang putih ASTM A532 setelah temper 350 C

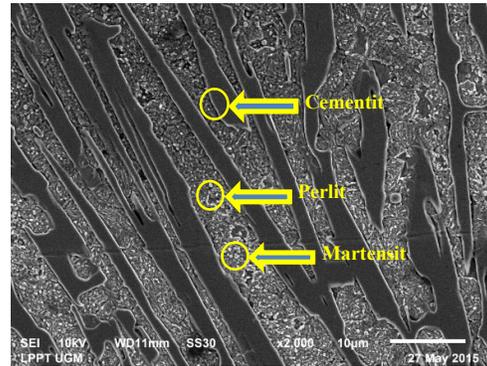


Gambar 5. Struktur mikro besi tuang putih ASTM A532 setelah temper 450 C

Besi tuang putih yang mengalami pemanasan pada temperatur 250°C, 350°C dan 450°C terlihat struktur martensit muncul lebih banyak dan terdistribusi merata dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan. Untuk besi tuang putih ASTM A532 pada temperatur 250°C struktur sementitnya mulai pecah, dan terlihat bahwa struktur martensit lebih mendominasi sehingga struktur perlit terlihat lebih sedikit. Pada temperatur 350°C terjadi perubahan bentuk dan terlihat bahwa struktur perlit dan martensit lebih merata dibanding pada temperatur 250°C. Sedangkan pada temperatur 450°C struktur martensit lebih mendominasi dan telah menyebar secara merata diantara struktur perlit dan diluar struktur sementit.

Dengan terbentuknya struktur ini, maka besi tuang putih ASTM A532 diduga mempunyai harga kekerasan yang tinggi dan mempunyai sifat mampu dikeraskan yang baik. Pengujian struktur mikro SEM (*Scanning Electron Mikroskopy*) dilakukan menggunakan mikroskop SEM merk JSM 6510 LA milik LPPT UGM. Tujuan pengujian SEM adalah

untuk melihat struktur yang terbentuk pada besi tuang putih ASTM A532. Uji SEM diwakili oleh spesimen setelah perlakuan temper dengan variasi temperatur 350°C. Data karakteristik permukaan besi tuang putih ASTM A532 yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian SEM (*Scanning Electron Mikroskopy*) pada pembesaran 2000x dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Struktur mikro SEM besi tuang putih ASTM A532 setelah temper 350 C

Data yang ditunjukkan oleh Gambar 6 menggambarkan struktur pada besi tuang putih ASTM A532 setelah temper dengan variasi temperatur 350°C. Dari hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat bahwa seperti halnya yang terlihat pada hasil foto struktur mikro dengan mikroskop optik besi tuang putih ASTM A532 mempunyai struktur yang terdiri dari martensit, perlit dan sementit. Dapat dilihat bahwa struktur perlit dan martensit lebih merata, sedangkan struktur sementit yang berbentuk panjang terlihat lebih mendominasi diantara struktur perlit dan martensit.

4.3. Analisis Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metoda uji kekerasan *Vickers*. Nilai kekerasan *Vickers*, dihitung menggunakan Persamaan 2.2:

$$VHN = 1,8544 \frac{F}{d^2}$$

Dimana:

- VHN : angka kekerasan *Vickers*
- F : beban (kg)
- d : diagonal (mm)
- $d = \frac{(d_1 + d_2)}{2}$

Berikut adalah contoh perhitungan hasil uji kekerasan *Vickers* (VHN) spesimen besi

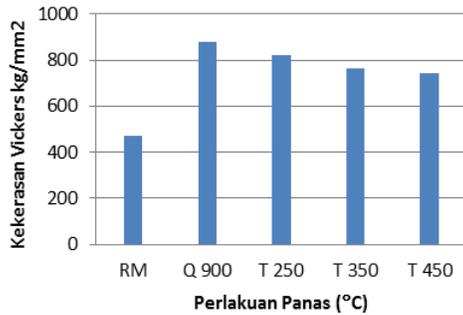
tuang putih martensitic ASTM A532 spesimen *raw material*.

Diketahui:

$$F = 30 \text{ kg}$$

$$d = \frac{(d_1 + d_2)}{2}$$

$$d = \frac{(0,34 + 0,35)}{2} = 0,345 \text{ mm}$$



Gambar 7. Hasil uji kekerasan *besi tuang putih ASTM A532*

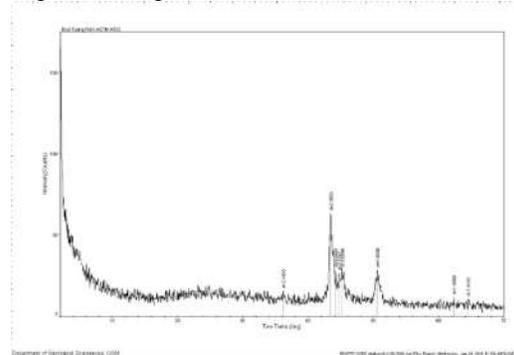
Maka, $VHN = 1,854 \times \frac{30}{0,345^2}$
 $= 1,854 \times 252,04$
 $= 467,40 \text{ kg/mm}^2$

Hasil uji kekerasan untuk semua specimen terlihat pada Gambar 7. Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa besi tuang putih martensitic ASTM A532 mempunyai nilai kekerasan sebesar 472,01 kg/mm². Setelah proses pemanasan pada temperatur 900°C yang dilanjutkan dengan *quenching* kekerasan berubah menjadi 878,59 kg/mm² terjadi kenaikan nilai kekerasan sebesar 4,62%. Diamati dari foto struktur mikro kenaikan ini disebabkan proses *quenching* pada temperatur 900°C menyebabkan struktur *martensit* bertambah banyak dan ukuran butirnya berubah semakin besar dan tajam sehingga nilai kekerasan meningkat.

Besi tuang putih martensitic ASTM A532 setelah proses temper pada temperatur temper 250°C, 350°C dan 450°C mengalami penurunan nilai kekerasan. Semakin tinggi temperatur temper, nilai kekerasan besi tuang putih ASTM A532 menurun dan diiringi dengan peningkatan keuletan. Hal ini disebabkan proses temper mengubah struktur *martensit* menjadi *martensit temper*. Bentuk butiran *martensit* yang semula tajam menjadi tumpul, hal inilah yang menyebabkan terjadinya penurunan nilai kekerasan.

4.4. Analisis Uji XRD

Pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan menggunakan alat uji XRD merk Rigaku seri Multiflek 2kW milik laboratorium Teknik Geologi UGM. Data analisis XRD ini dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil pengujian XRD *besi tuang putih ASTM A532* setelah temper 350°C

Pengujian XRD mengasilkan beberapa fasa-fasa yang ada dalam *besi tuang putih ASTM A532*. Puncak (*peak*) tertinggi menunjukkan fasa terbanyak dalam paduan *besi tuang putih ASTM A532* yaitu fasa sementit, selanjutnya fasa yang lebih sedikit yaitu fasa *martensit*, dan fasa yang paling sedikit diantara fasa-fasa yang lain adalah fasa *martensit*.

5. Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil penelitian terhadap *besi tuang putih ASTM A532*, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa *besi tuang putih ASTM A532* mengandung 24,57 % C, 18,26 % Cr, 1,82% Mn, 2,04% Si, 0,20 % Mo dan 0,12 % Ni. Sehingga termasuk dalam ASTM A532 class II type D *martensitic white cast iron*.
2. Hasil uji struktur mikro menggunakan mikroskop optik dan SEM *besi tuang putih ASTM* Hasil foto struktur mikroskop optik dan mikroskop SEM *besi tuang putih ASTM A532* terdiri dari struktur *martensit*, perlit dan sementit, tetapi memiliki pola, jumlah dan sebaran yang berbeda.
3. Hasil pengujian kekerasan *besi tuang putih ASTM A532* mempunyai nilai kekerasan tertinggi yaitu pada *besi tuang putih ASTM A532* pada proses *quenching* 900°C yaitu sebesar 878,59 kg/mm², sedangkan *besi tuang putih ASTM A532* yang mempunyai nilai kekerasan terendah yaitu pada *besi*

tuang putih ASTM A532 pada proses tempering 450°C yaitu sebesar 744,80 kg/mm². Semakin tinggi temperatur temper nilai besi tuang putih ASTM A532 menurun tapi keuletannya akan naik. Hal ini disebabkan terjadinya perubahan dari martensit menjadi martensit temper.

4. Hasil pengujian XRD menunjukkan persentase (%) terbesar struktur mikro adalah sementite, selanjutnya adalah martensit dan perlit.

Daftar Pustaka

- Alexander, W. O., G.J. Davies, S. Heslop, K.A. Reynild, V.N. Whittaker, 1991, **Dasar Metalurgi Untuk Rekayasawan**, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Amstead, B. H, Ostwald Philip F, Begeman Myron L, 1993, **Teknologi Mekanik**, Terj. Sriati Djaprie, jilid 1, edisi ke 7, Erlangga, Jakarta.
- ASM Handbook, 1996, **Fractografi and Metallografi**, Vol. 9, Metals Park, Ohio.
- ASM Handbook, 1996, **Iron and Steel**, Vol. 1, Metals Park, Ohio.
- Avner, B.H., 1987, **Introduction to Physical Metallurgy**, 3rd ed., McGraw-Hill Int., London
- Budinski, Kenneth G., 1989, **Engineering Materials Properties and Selection**, 3rd ed., Prentice Hall, Inc., New Jersey.
- Callister, Jr. W.D., 1997, **Materials Science and Engineering an Introduction**, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Davis, J.R., 1996, **Surface Engineering of Carbon and Alloy Steels**, dalam Surface Engineering, Metals Handbook, vol.6, American Society for Metals, Metals Park, Ohio.
- Dieter, George E., 1986, **Mechanical Metallurgy**, 3rd edition, McGraw-Hill, New York.
- Granata, R.D. dan Moore, P.G., 1986, **Surface Modification**, dalam Metals Handbook, 9thed., vol.6, American Society for Metals, Metals Park, Ohio.
- Higgins, R. A., 1993, **Engineering Metallurgy, Part I: Applied Physical Metallurgy**, Arnold, London.
- Jastrzebski, Z. D., 1997, **The Nature and Properties of Engineering Materials**, John Wiley and Sons Inc, New York.
- 2002, Laporan Tahunan PT. Semen Gresik
- 2004, Laporan Tahunan PT. Semen Cibinong.
- Martin Wijaya, dkk, 2001, Pengembangan Produk Besi Cor dan Baja Paduan untuk IKM Pengecoran Logam, Prosiding Seminar Strategi Daya Saing IKM Pengecoran Logam, Solo
- Murdock, L.J., 1999, **Bahan dan Praktek Beton**, edisi keempat, Erlangga, Jakarta.
- Shackelford, J.F., 1992, **Introduction to Material Science for Engineers**, 3th ed., McMillan Publishing Company, New York
- Smallman, R. E., 1985, **Metalurgi Fisik Modern**, Terj. Sriati Djaprie, edisi ke 4, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Smith, William F., 1990, **Principles of Materials Science and Engineering**, McGraw-Hill Publishing Company, New York.
- Smith, William F., 1993, **Structure and Properties of Engineering Alloys**, 2nd ed., McGraw-Hill, Inc., New York.
- Spotts, M. F., 1978, **Design of Machine Elements**, 5 th, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Tata Surdia, Shinroku Saito, 1991, **Pengetahuan Bahan Tehnik**, Cetakan Ketiga, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Vlack, V., 1981, **Ilmu dan Tehnologi Bahan**, ter. Sriati Djaprie, Cetakan Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Walton, F. C., 1981, **Iron Casting Handbook**, 3rd ed., Iron Casting Society, Inc., British
- Yufri Rusdian , 2002, **"Karkteristik Bola Baja (Ball Mill Import) Pabrik Semen Di Indonesia"**, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional, Yogyakarta.