Karakterisasi *Ball Mill* Import pada Industri Semen di Indonesia

Ratna Kartikasari[1)], R. Soekrisno[2)], M. Noer Ilman[2)]
Suharno[1)], Hendri Hestiawan[1)]
[1)] Jurusan Teknik Mesin STTNAS, Yogyakarta
[2)] Program Studi Teknik Mesin UGM, Yogyakarta
Email: ratna_kartika_sari@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik *Ball Mill* import yang digunakan oleh pabrik semen di Indonesia. Bahan yang digunakan adalah *ball mill* import di PT. Semen Gresik, Tbk dari 2 merk berbeda, yaitu merk A (ϕ 30 mm) dan merk B (ϕ 40 mm). Karakterisasi *Ball Mill* import dilakukan dengan pengamatan visual, uji komposisi kimia, uji distribusi kekerasan dan foto struktur mikro. Secara visual terlihat bahwa *Ball Mill* import memiliki permukaan kasar, hasil potongan berwarna keputihan dan terdapat retakan-retakan kecil pada semua specimen. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan bahwa *Ball Mill* import ϕ 30 mm mengandung 2,934% C, 11,231% Cr, dan 0,117% Mo sedangkan ϕ 40 mm mengandung 2,693% C, 12,313% Cr dan 1,103 Mo, termasuk dalam kelompok *Martensitic white cast iron* ASTM A532 *Class* II *Type* A. Hasil uji distribusi kekerasan menunjukkan bagian permukaan lebih keras dibandingkan bagian pusat dengan nilai kekerasan tertinggi 720,82 kg/mm^2 (ϕ 30 mm) dan 746,5 kg/mm^2 (ϕ 40 mm) sedangkan nilai kekerasan terendah 631,1 kg/mm^2 (ϕ 30 mm) dan 544,0 kg/mm^2 (ϕ 40 mm). Hasil pengamatan foto struktur mikro menunjukkan bahwa struktur terdiri dari Perlit, Cementit dan Martensit.

Kata kunci: ASTM A532, bola penggiling, besi tuang putih martensitik.

ABSTRACT

The purpose of this research is to investigate the characteristics of import Ball Mill which is used at cement mills in Indonesia. There were two kind of import Ball Mill from PT. Semen Gresik, Tbk that used in this research which are A type (Ø 30 mm) and B type (Ø 40 mm). Visual investigation, chemistry composition, distribution of hardness, and microstructure photograph was conducted characterize these ball mill. Visually, the import Ball Mill has rough surface, white coloring when cut off, and small cracks at all specimens. Type A ball mill contains of 2,934% C, 11,231% Cr, and 0,177% Mo, where type B Ball Mill contains of 2,693% C, 12,31% Cr, and 1,103% Mo. Both are martensitic white cast iron ASTM A532 Class II type A. The surface are harder then the its core. The highest hardness on the surface are 720,82 kg/mm2 (type A) and 746,5 kg/mm2 (type B), where as lowest hardness on the core are 631,1 kg/mm2 (type A) and 544,0 kg/mm2 (type B). Microstructure investigation shows Perlit, Cementit, and Martensit.

***Keywords**: ASTM A532, ball mill, martensitic white cast iron.*

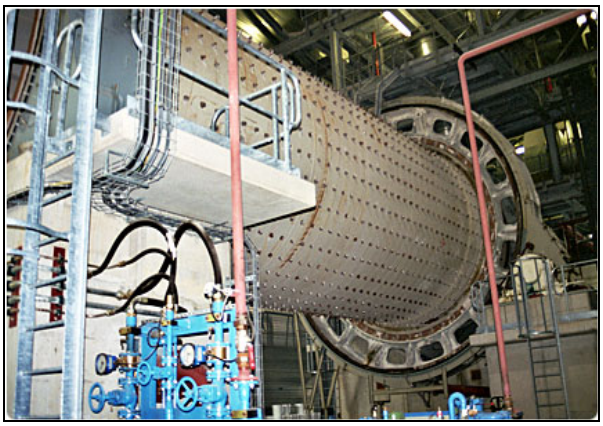
PENDAHULUAN

Semen merupakan salah satu bahan utama konstruksi sipil. Produksi semen Indonesia disamping untuk memenuhi kebutuhan semen dalam negri, juga untuk memenuhi permintaan dari luar negri. Permintaan semen yang terus meningkat harus dapat diantisipasi oleh kalangan industri semen seiring dengan terus meningkatnya biaya produksi akibat kenaikan tarif dasar listrik dan harga bahan bakar minyak di dalam negeri yang tidak sebanding dengan kenaikan harga jual semen di pasaran. Kenaikan biaya produksi yang cukup tinggi secara langsung berimbas pada kenaikan harga semen di pasaran sehingga perlu dilakukan peningkatan efisiensi di semua lini, khususnya dalam proses produksi agar harga jual semen dapat tetap terjangkau oleh konsumen di dalam negeri dan dapat bersaing dengan produk semen dari luar negeri. Efisiensi yang dapat dilakukan antara lain dengan meningkatkan komponen lokal dalam proses pembuatan semen, antara lain penggunaan *Ball Mill* (bola penggiling) pada berbagai peralatan di pabrik semen, seperti *Crusher* dan *Cement Mill.*

Salah satu komponen penting pada *Crusher* adalah *Ball Mill* yang terdiri dari berbagai ukuran tergantung pada tahapan mana *Ball Mill* tersebut digunakan pada proses pembuatan semen. *Ball mill* tersebut terbuat dari logam yang disyaratkan mempunyai karakteristik keras (tahan aus) sekaligus tangguh (tidak mudah pecah) dan tahan korosi untuk menanggung beban dan lingkungan selama proses penggilingan batuan. Kebutuhan industri semen akan *Ball Mill* cukup besar, sehingga biaya produksi terpengaruh oleh pengadaan *Ball Mill* secara cukup signifikan. Sampai saat ini semua pabrik semen di Indonesia masih menggunakan *Ball Mill* import sebagai penggiling bahan baku pada proses pembuatan semen.

Penelitian ini merupakan penelitian pendahuluan yaitu penelitian tahap pertama tahun pertama dari dua tahun penelitian yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik B*all Mill* import. Pada penelitian tahap selanjutnya diharapkan dapat dirumuskan proses pembuatannya dan dilakukan percobaan pembuatan *Ball Mill* skala laboratorium. Bagi industri pengecoran logam di Indonesia diharapkan mendapatkan informasi tentang cara pembuatan B*all Mill* dengan kualitas yang sama dengan *ball mill* import sehingga dapat memenuhi kebutuhan *Ball Mill* untuk industri semen di dalam negeri. Apabila *ball mill* tersebut dapat dibuat di Indonesia diharapkan harganya dapat lebih murah sehingga biaya produksi semen dapat diturunkan dan terjangkau oleh seluruh lapisan masyarakat. Di samping itu, jika industri pengecoran logam di Indonesia dapat memproduksi *Ball Mill* untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri maupun eksport, maka hal ini akan memberikan nilai tambah bagi industri tersebut serta mengurangi ketergantungan industri dalam negeri terhadap pihak asing.

Ball mill merupakan bola penggiling yang digunakan dalam proses pembuatan semen yang disyaratkan mempunyai karakteristik keras (tahan aus) sekaligus tangguh (tidak mudah pecah) dan tahan korosi. Penggunaan *ball mill* pada pabrik semen terdapat pada beberapa peralatan, seperti *Crusher* dan *Cement Mill* (Gambar 1). *Crusher* digunakan untuk menghancurkan dan menggiling bahan baku semen, seperti kapur, silikat, alumina, dan besi oksida yang masih berbentuk bongkahan batu berukuran besar sedangkan *Cement Mill* digunakan pada proses *finishing* pembuatan semen. Dalam *crusher* dan *Cement Mill*, *Ball Mill* berfungsi sebagai bahan pengisi yang berfungsi untuk menghancurkan bahan baku semen. Pada *Cement Mill* dilakukan penambahan *additive,* seperti *gypsum* atau *trash* sebagai *retarder agent* yang berfungsi untuk memperlambat waktu pengikatan dan pengerasan semen [1] dan dimaksudkan untuk mendapatkan semen dengan kehalusan yang telah dipersyaratkan dalam Standard Nasional Indonesia [2].



(www.nationalball.com)

Gambar 1. *Cement Mill* pada Pabrik Semen

Untuk mendapatkan bahan dengan persyaratan kekuatan yang harus dipenuhi oleh *Ball Mill*, maka bahan baku yang sesuai adalah logam yang mengandung Fe, yaitu besi dan baja. Besi dan baja memiliki sifat yang bervariasi, mulai.dari sifat yang paling lunak hingga paling keras serta memiliki sifat mampu bentuk yang baik dalam proses pengecoran sehingga berbagai macam bentuk coran dapat dibuat dengan pengecoran [3].

Besi cor adalah logam paduan antara Fe-C yang mengandung 2% C atau lebih [4]. Jumlah karbon yang tinggi membuat besi cor sangat rapuh. Dalam struktur mikro Besi Cor, karbon akan berubah menjadi Grafit dalam keadaan bebas dan Cementit dalam bentuk campuran. Cementit memiliki sifat sangat keras, rapuh dan mempunyai kekuatan tarik yang rendah [5]. Pembentukan Grafit sangat bergantung pada laju pendinginan coran dan komposisi kimia. Pada laju pendinginan yang cepat maka pembentukan Grafit akan terhambat sehingga struktur yang terbentuk adalah Cementit. Beberapa unsur yang dapat menghambat terbentuknya Grafit antara lain Cr, S, Mo, P, Mn dan Mg [6].

Meskipun Besi Cor memiliki sifat yang rapuh dan keuletan yang rendah karena pengaruh sementit tetapi sifat–sifat Besi Cor dapat ditingkatkan dengan pengendalian pengecoran dan proses *heat treament,* sehingga dapat digunakan pada peralatan mesin dan industri. Kekuatan tarik besi cor antara 15-70 kg/mm^2 [7]. Keunggulan Besi Cor terhadap baja terdapat pada kemampuan mesin yang baik, mudah dituang, kapasitas peredaman yang baik dan ketahanan aus yang tinggi [8].

Pengelompokan Besi Cor berdasarkan kandungan Carbonnya terdiri dari Besi Cor *Hypoeutektik* (2%-4,3% C), Besi Cor *Eutektik* (4,3% C) dan Besi Cor *Hypereutektik* (4,3%-6,67% C) [9]. Besi Cor menurut Van Flak [10], dapat dibedakan menjadi 4 jenis, yaitu Besi Cor Kelabu *(Gray Cast Iron)*, Besi

Cor Putih *(White Cast Iron)*, Besi Cor Nodular *(Nodular Cast Iron)* dan Besi Tuang mampu tempa *(Malleable Cat Iron).*

Besi Cor putih merupakan paduan *Hypoeutektik* dimana setelah penuangan dan membeku, Carbon akan bercampur dengan Besi membentuk Cementit [11]. Besi Cor Putih mengandung sejumlah besar Cementit sebagai jaringan kerja dalam Dendrit yang berkesinambungan menyebabkan Besi Cor Putih menjadi keras, tahan panas dan aus tetapi sangat rapuh dan sukar dikerjakan dengan mesin [12 dan 13]. Besi Cor Putih banyak digunakan pada pembuatan material yang tahan gesekan karena jumlah Karbida yang besar. Untuk mengurangi sifat rapuh, besi cor putih dapat di-*anil* sehingga Cementit akan terurai menjadi Besi dan Grafit [14].

Menurut Walton [15], 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 impak. Besi tuang putih paduan tinggi siap di cetak dalam berbagai bentuk yang diperlukan untuk memecahkan dan menghancurkan atau menangani material abrasive.

Menurut Granata [16], baja adalah logam paduan antara unsur Besi (Fe) dengan Karbon (C) dengan kadar karbon mencapai 2%. Disamping kedua unsur dalam baja terdapat pula unsur-unsur dalam jumlah kecil, seperti Mangan (Mn), Silicon (Si), Fosfor (P), Belerang (S). Dapat juga dipadu dengan unsur-unsur paduan seperti Chromium (Cr), Nikel (Ni), Wolfram (W), Molibden (Mo) dan sebagainya, dan dapat divariasi menurut kebutuhan. Baja dapat dibentuk melalui pengecoran, pencanaian atau penempaan.

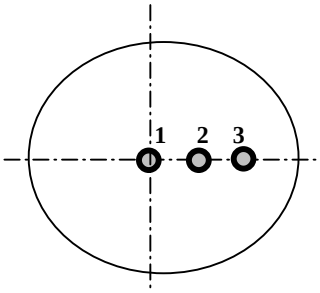
Dalam industri dikenal berbagai macam jenis baja. Jenis-jenis baja dapat dibedakan berdasarkan komposisi kimianya, proses pembuatan, penggunaannya atau berdasarkan salah satu sifat yang paling menonjol. Berdasarkan komposisi baja dapat dibagi, Baja Karbon dan Baja Paduan. Jenis baja paduan dibedakan menurut unsur paduannya. Baja mempunyai kekuatan tarik yang tinggi, antara 40–200 kg/mm^2 [17]. Disamping itu Baja juga mempunyai sifat keras dan ulet. Dengan kombinasi sifat tersebut baja mempunyai kekuatan yang cukup tinggi. Sifat-sifat baja dapat diatur dengan cara pengaturan komposisi kimianya, terutama kadar Karbonnya [18]. Semakin tinggi kadar Karbon dalam Baja, semakin tinggi kekuatannya serta kekerasannya, sementara keuletannya berkurang. Disamping itu sifat-sifat baja dapat diatur melalui proses perlakuan panas *(heat treatment).*

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan adalah *Ball Mill* import merk A berdiameter 30 mm dan merk B berdiameter 40 mm yang digunakan di PT. Semen Gresik Tbk (Gambar 2). Jawa Timur masing-masing terdiri dari 5 spesimen. *Ball mill* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan produk yang berasal dari produsen yang berbeda dan belum digunakan dalam proses produksi pembuatan semen. Persiapan spesimen meliputi proses pemotongan menggunakan mesin *Metal Cad*, *mounting,* pengampelasan dan *polishing*. Karakterisasi *Ball Mill* import dilakukan dengan pengamatan permukaan dan hasil potongan secara visual, uji komposisi kimia menggunakan *Spectrometer* di PT. Itokoh Ceperindo, Klaten, distribusi kekerasan menggunakan metoda Vickers di Laboratorium *Mechanic of Material* Teknik Mesin D3 UGM dan foto struktur mikro menggunakan *Olympus Metallurgical Microscope* di Laboratorium *Mechanic of Material* Teknik Mesin D3 UGM. Posisi pengujian kekerasan dan struktur mikro pada permukaan potongan melintang *Ball Mill* terlihat pada Gambar 3.

a) b)

Gambar 2. *Ball Mill* a) ϕ 30 mm b) ϕ 40 mm



Gambar 3. Titik Posisi Pengujian Kekerasan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Visual *Ball Mill* Import

Hasil pengamatan visual terhadap permukaan specimen (Gambar 2) terlihat bahwa *Ball Mill* memiliki permukaan kasar dan terdapat bekas cetakan dengan ukuran yang cukup bervariasi (ϕ2 mm), seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Ukuran Diameter B*allMill*

Spesimen	ϕ 30 mm (mm)	ϕ 40 mm (mm)
1	30,1	40,2
2	30,2	40,2
3	30,0	40,1
4	29,8	39,8
5	29,9	39,9
Rata-rata	**30,0**	**40,04**

Pemotongan spesimen dilakukan dengan membelah spesimen menjadi dua bagian yang sama besar. Dari hasil potongan spesimen terlihat permukaan halus dan berwarna keputihan dengan retakan halus dan kecil yang kemungkinan disebabkan oleh proses pembuatan *Ball Mill* yang melewati proses *heat treatment*, seperti terlihat pada Gambar 4.

a) ϕ 30 mm

(b) ϕ 40 mm

Gambar 4. Foto Makro Potongan B*all Mill*

Uji Komposisi Kimia

Hasil uji komposisi kimia terlihat bahwa *Ball Mill* import mengandung Karbon dan Kromium yang cukup tinggi, seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji komposisi kimia

No	Unsur Kimia	ϕ 30 mm (%) wt	ϕ 40 mm (%) wt
1	C	1,236	1,236
2	Cr	11,231	12,313
3	Cu	0,150	0,369
4	Fe	83,87	82,95
5	Mn	1,127	0,788
6	Mo	0,117	1,103
7	Nb	0,03	0,03
8	Ni	0,313	0,170
9	P	0,028	0,042
10	S	0,036	0,036
11	Si	0,625	0,797
12	Ti	0,010	0,02
13	V	0,040	0,04
14	W	0,060	0,06
15	Al	0,000	0,039

Jumlah kandungan Cr yang tinggi mengakibatkan *Ball mill* memiliki sifat mampu keras, ulet, tahan aus, tahan korosi dan tahan terhadap temperatur tinggi sehingga memiliki ketangguhan yang baik dan dapat mencegah pengaruh campuran bahan baku semen yang bersifat korosif. Apabila kandungan unsur utama (C dan Cr) dibandingkan dengan literatur maka *Ball Mill* import termasuk dalam kelompok *Martensitic White Cast Iron* [19] *class II type A* dengan kandungan (2,4-2,8) %C dan (11-14) %Cr. Bahan ini dapat di-*heat treatment* untuk meningkatkan nilai kekerasan dan menghaluskan struktur butiran.

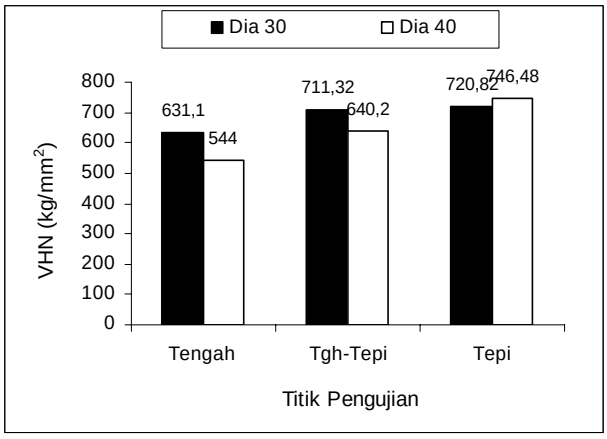
Uji Kekerasan

Uji kekerasan menggunakan metoda Vickers dengan penetrator piramida intan. Beban penekanan 40 kgf dengan waktu pembebanan 10 detik dan dilakukan pada 3 (tiga) titik setiap spesimen (Gambar 3). Hasil uji kekerasan ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Kekerasan

Ball mill (mm)	Spesimen	Titik Pengujian		
		Tengah	Tengah-Tepi	Tepi
ϕ 30	1	641.7	702.3	724.4
	2	605.5	641.7	724.4
	3	771.9	946.1	771.9
	4	475.4	605.5	681.1
	5	661.0	661.0	702.3
	Rata-rata	**631.1**	**711.32**	**720.82**
ϕ 40	1	623.2	852.4	913.2
	2	541.8	588.6	588.6
	3	463.6	605.5	1097.3
	4	430.7	452.2	452.2
	5	661.0	702.3	681.1
	Rata-rata	**544.0**	**640.2**	**746.48**

Dari Tabel 3 dapat disusun histogram hubungan antara titik pengujian dengan nilai kekerasan sehingga dapat diketahui distribusi kekerasan pada *Ball Mill*, seperti ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Histogram Hasil Uji Kekerasan

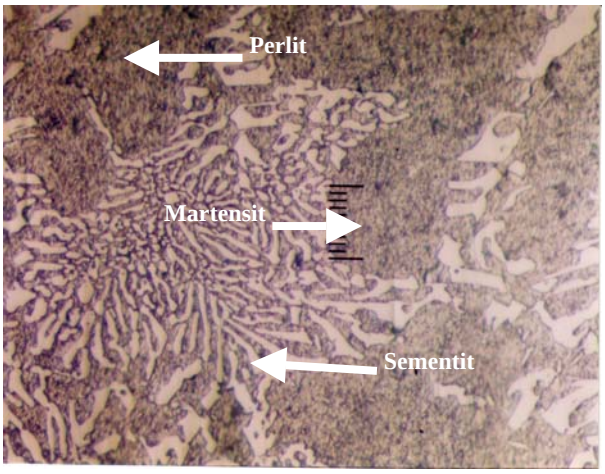
Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa hampir semua specimen mempunyai nilai kekerasan yang mempunyai kecenderungan bagian tepi lebih tinggi nilai kekerasannya dibandingkan bagian dalam. Hal ini menunjukkan dugaan sementara adanya proses *heat treatment* yang mungkin dilakukan terhadap *Ball Mill* import setelah *casting*.

Perkecualian terjadi pada specimen 3 diameter 30 dan specimen 5 diameter 40 dimana nilai kekerasan bagian tengah-tepi lebih besar dibandingkan dengan nilai kekerasan bagian tepi. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pengamatan secara visual menunjukkan adanya retakan -retakan halus pada semua specimen dimana pada specimen tersebut bekas injakan uji kekerasan ada di bagian retakan tersebut sehingga menyebabkan data kekerasan menyimpang dari kecenderungan secara umum.

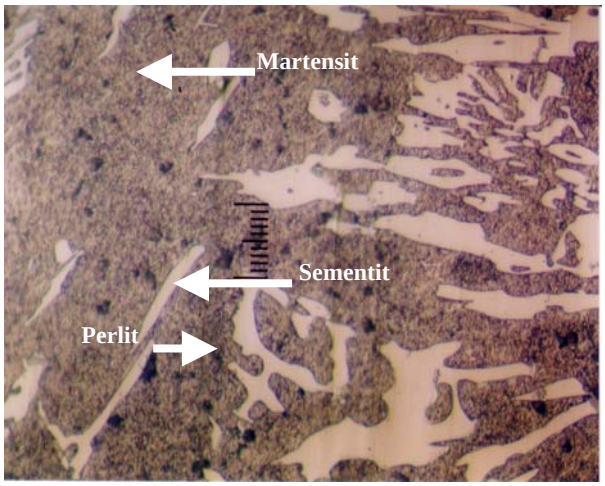
Foto Struktur Mikro

Foto struktur mikro dilakukan dengan perbesaran mikroskop 500x dietsa dalam larutan HNO_3 + etanol, seperti ditampilkan pada Gambar 6 dan 7.

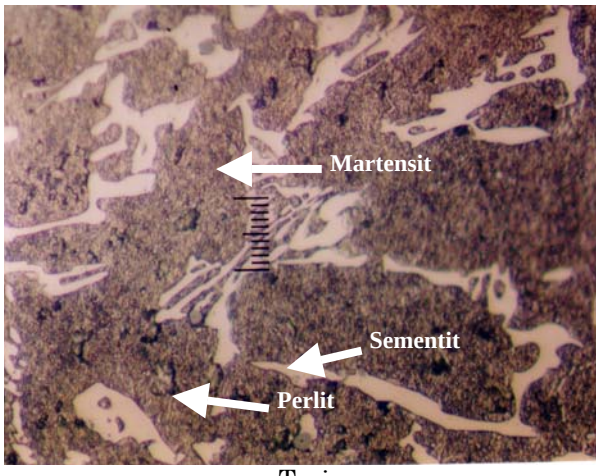
Struktur mikro *Ball Mill* terdiri dari Perlit, Cementit dan Martensit dengan distribusi sebaran yang tidak merata. Bagian tepi memiliki jumlah Martensit yang lebih banyak dibandingkan dengan bagian lainnya. Sedangkan bagian tengah memiliki jumlah Cementit yang lebih banyak dibandingkan dengan bagian lainnya. Apabila dibandingkan dengan hasil uji kekerasan maka bagian tepi dengan jumlah Martensit yang lebih banyak akan memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan bagian lainnya.



Tengah

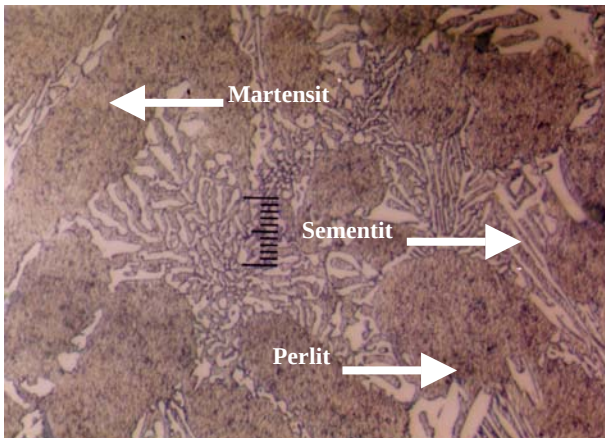


Tengah-Tepi

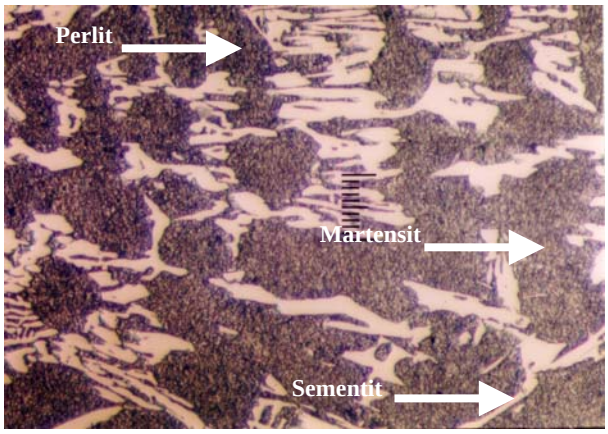


Tepi

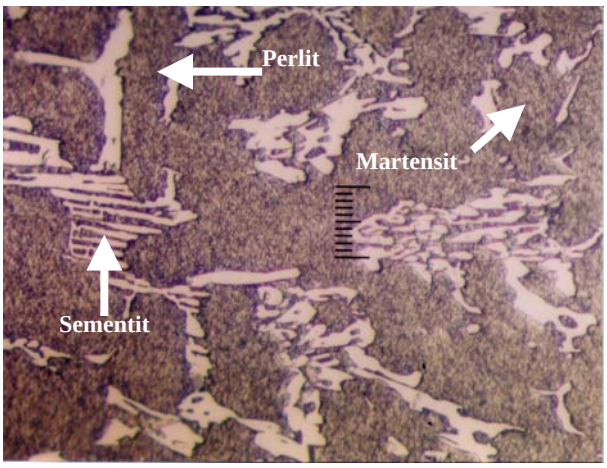
Gambar 6. Foto Struktur Mikro B*all Mill* ϕ 30 mm



Tengah



Tengah-Tepi



Tepi

Gambar 7. Foto Struktur Mikro B*all Mill* ϕ 40 mm

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap *Ball Mill* import dapat ditarik beberapa kesimpulan, sebagai berikut:

1. Hasil pengamatan secara visual terhadap permukaan spesimen terlihat bahwa *Ball Mill* import memiliki permukaan yang agak kasar dan terdapat bekas cetakan cor, sedangkan permukaan hasil potongan bewarna keputihan dan mengkilap dengan retakan halus yang kemungkinan disebabkan oleh proses pembuatan *Ball Mill* yang telah melewati proses *heat treatment*.
2. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan bahwa *Ball Mill* import ϕ 30 mm memiliki kandungan 2,934% C dan 11,231% Cr sedangkan ϕ 40 mm memiliki kandungan 2,693% C dan 12,313% Cr. Apabila komposisi kimia dibandingkan dengan literatur maka *Ball Mill* import masuk dalam kelompok *Martensitic White Cast Iron* ASTM A532 *Class* II *Type* A.
3. Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa distribusi kekerasan *Ball Mill* import pada bagian tepi lebih keras dibandingkan bagian tengah, yaitu 720,82 kg/mm^2 (ϕ 30 mm) dan 746,5 kg/mm^2 (ϕ 40 mm) sedangkan nilai kekerasan terendah terdapat di bagian tengah, yaitu 631,1 kg/mm^2 (ϕ 30 mm) dan 544,0 kg/mm^2 (ϕ 40 mm). Perkecualian terjadi pada *Ball Mill* 3 (ϕ 30 mm) dan *Ball Mill* 5 (ϕ 40 mm) dimana bekas injakan uji kekerasan tepat pada retakan yang terdapat pada semua *Ball Mill*.
4. Hasil pengamatan foto struktur mikro menunjukkan bahwa struktur *Ball Mill* import terdiri dari Martensit, Perlit dan Ferit.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Direktur PT. SEMEN GRESIK Jawa Timur yang telah memberikan lokasi dan bahan untuk penelitian, dan juga kepada Ir. Ari Wardana yang telah memberikan masukan untuk keberhasilan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

1. Murdock, L.J., *Bahan dan Praktek Beton*, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta, 1999.
2. SNI, *Standar Produksi Semen Nasional*, Standar Nasional Indonesia, Jakarta, 1987.
3. Tata Surdia & Saito, S., *Pengetahuan Bahan Teknik*, Cetakan Kelima, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 2000.
4. Amstead, B.H., *Teknologi Mekanik*, Jilid Kesatu, Edisi Ketujuh, Erlangga, Jakarta, 1985.
5. Shackelford, J.F., *Introduction to Material Science for Engineers*, 3th ed., McMillan Publishing Company, New York, 1992.
6. Smith, W. F., *Structure and Properties of Engineering Alloys*, 2nd ed., McGraw-Hill, Inc., New York, 1993.
7. Smith, W. F., *Principles of Materials Science and Engineering*, McGraw-Hill Publishing Company, New York, 1990.

8. Smallman, R. E., Metalurgi Fisik Modern, Terj. Sriati Djaprie, Edisi Keempat, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1985.

9. Lakhtin, Y, *Enginering Physical Metalurgy*, MR. Publisher, Moscow, 1987.

10. Van-Vlack, L.H., Ilmu dan Teknologi Bahan, Edisi Kelima, Erlangga, Jakarta, 1983.

11. Avner, B.H., *Introduction to Physical Metallurgy*, 3rd ed., McGraw- Hill Int., London, 1987.

12. Budinski, K. G., *Engineering Materials Properties and Selection*, 3rd ed., Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1989.

13. Callister, Jr. W. D., *Materials Science and Engineering an Introduction*, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997.

14. Davis, J.R., *Surface Engineering of Carbon and Alloy Steels*, *dalam* Metals Handbook, 9th ed., vol.6, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1996.

15. Walton, F. C., 1981, *Iron Casting Handbook*, 2nd edition, Iron Casting Society, Inc., Florida.

16. Granata, R.D. dan Moore, P.G., *Surface Modification*, *dalam* Metals Handbook, 9th ed., vol.6, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1986.

17. Polukhin, A. T., Grinberg, B., Kantenik, S., Zhadan, V. and Vasilxev, D., *Metal Process Engineering*, Peace Publisers, Moscow, 1977.

18. Dieter, G. E., *Mechanical Metallurgy*, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, 1986.

19. ASTM C 150-74, *Significance of Test and Properties of Concrete and Concrete- making Materials*, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa., 1978.