

APLIKASI MATERIAL *HIGH ALLOY CAST STEEL* PADA KOMPONEN PENGGERUS (*HAMMER*) DALAM MESIN *HAMMER MILL*

APPLICATION OF HIGH ALLOY CAST STEEL MATERIAL ON THE GRINDING COMPONENT (*HAMMER*) IN *HAMMER MILL* MACHINE

Fajar Nurjaman, Slamet Sumardi, dan Anton Sapto Handoko

UPT Balai Pengolahan Mineral Lampung, LIPI

Jln. Ir. Sutami Km. 15 Tanjung Bintang, Lampung Selatan, 35364

e-mail: nurjaman_80@yahoo.com

ABSTRACT

Hammer mill is one kind of machine that needs high durability, especially for grinding components such as hammers, which has a function to crush stone (mineral) in to finely shaped (mesh 80). So these components should be made from materials which have some properties, such as high strength, toughness, and wear resistance. In his experiment, the hammers was made from high alloy cast steel, by using mangan, chrom, and copper as alloying materials. The chemical composition of these hammers are: (1) 3~5% Mn – 3~5% Cr – 3~5% Cu; (2) 4~6% Mn – 3~5% Cr – 7~9% Cu; (3) 3~5% Mn – 4~6% Cr – 7~9% Cu; (4) 3~5% Mn – 3~5% Cr – 10~12% Cu; (5) 5~7% Mn – 4~6% Cr – 14~16% Cu. Some of mechanical testing was given to these hammers, such as hardness testing, microstructure analysis testing, and also durability evaluation by using hammer mill machine with capacity 300 kg iron ore/hour. From durability evaluation, those hammers which are made from high alloy cast steel, with mangan, chrom, and copper as alloying material, showed a good result in wear rates by less than 0.4 mm²/kg iron ore. The lowest wear rates of this hammers is 0.14 mm²/kg iron ore, showed by hammers which had a composition 1.6%C – 3.2%Mn – 4.5% Cr – 3.2%Cu with 360 HBN in hardness value.

Keywords: *Hammers, Hammer mill, Wear rates, Hardness, High alloy cast steel.*

ABSTRAK

Hammer mill merupakan salah satu alat yang memerlukan tingkat keandalan yang sangat tinggi, terutama pada komponen penggerus/hammers yang berfungsi untuk menggerus batuan (mineral) hingga menjadi butiran halus (mesh 80). Oleh karena itu, komponen tersebut haruslah terbuat dari material yang memiliki sifat kekuatan, ketangguhan, serta ketahanan gesek yang tinggi. Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan komponen hammers dari material high alloy cast steel dengan menggunakan unsur paduan mangan, chrom, dan tembaga, dengan komposisi sebagai berikut: (1) 3~5% Mn – 3~5% Cr – 3~5% Cu; (2) 4~6% Mn – 3~5% Cr – 7~9% Cu; (3) 3~5% Mn – 4~6% Cr – 7~9% Cu; (4) 3~5% Mn – 3~5% Cr – 10~12% Cu; (5) 5~7% Mn – 4~6% Cr – 14~16% Cu. Beberapa pengujian dilakukan terhadap komponen hammers ini, diantaranya; uji kekerasan, analisa struktur mikro dan uji kehandalan dalam mesin hammer mill dengan kapasitas 300 kg bijih besi/jam. Dari hasil uji kehandalan diperoleh bahwa hammers yang terbuat dari material high alloy cast steel dengan unsur paduan mangan, chrom, dan tembaga, memiliki derajat keausan/wear rates yang relatif cukup rendah, yaitu kurang dari 0.4 mm²/kg bijih besi. Derajat keausan terendah dimiliki oleh baja paduan mangan, chrom, dan tembaga dengan komposisi: 1.6%C–3.2%Mn–4.5% Cr–3.2%Cu yaitu sebesar 0.14 mm²/kg bijih besi, dengan nilai kekerasan sebesar 306 HBN.

Kata Kunci: *penggerus, hammer mill, derajat keausan, kekerasan, baja cor paduan tinggi*

PENDAHULUAN

Hammers merupakan sebuah komponen utama dalam mesin *hammer mill*, di mana mesin itu berfungsi untuk menggerus material, yang umumnya berukuran Ø 20–30 mm menjadi *fine material* (berukuran *mesh* 40–100). Dalam proses penggerusan, komponen itu menderita beban dampak dan gesek yang sangat tinggi sehingga umur pakai dari komponen sangat ditentukan oleh kedua sifat mekanik tersebut.

Umur pakai yang singkat pada *hammer mill's hammers* menjadi kendala pada sebuah *grinding process*, di mana hal itu dapat mengganggu produktivitas dari proses tersebut. Hal itu dikarenakan komponen material menderita beban dampak serta gesekan yang cukup tinggi, terlebih apabila material bahan baku yang akan dihancurkan memiliki nilai kekerasan yang tinggi, seperti batu bara, bijih besi, batu silika, dan batuan mineral lainnya. Selain umur pakai yang pendek, permasalahan yang sering dijumpai adalah pecah/rusaknya komponen *hammers* pada kondisi/titik kritis di daerah sekitar lubang pada rotor poros/*shaft*. Hal itu dikarenakan daerah tersebut menderita tegangan (tarik) yang cukup besar yang diakibatkan oleh adanya gaya sentrifugal yang cukup tinggi¹ dan hal ini mengakibatkan pecahan tersebut terlempar dan dapat merusak komponen dari *hammer mill* lainnya (dinding, *screen*, dan rotor).

Umumnya komponen terbuat dari material baja. Hal itu dikarenakan material tersebut memiliki kekuatan, ketangguhan, dan keuletan (*ductility*) yang tinggi. Selain itu, sifat-sifat mekanik tersebut masih dapat ditingkatkan dengan berbagai macam cara, di antaranya adalah dengan memberikan penambahan unsur paduan (*solid solution strengthening*) dan perlakuan panas (*heat treatment*).² Berdasarkan komposisi unsur paduannya, baja dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu *Low Alloy Steel* (baja paduan rendah) dan *High Alloy Steel* (baja paduan tinggi), di mana baja paduan rendah adalah baja dengan unsur paduan kurang dari 4% berat.³ Beberapa unsur paduan yang digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik berupa kekuatan, ketangguhan, dan kekerasan, antara lain:

- **Chrom (Cr)** - “*The Hardener*”, umumnya penambahan unsur *chrom* pada baja sebesar

0,3–4% berat, memberikan peningkatan terhadap beberapa sifat mekanik baja, di antaranya ketahanan terhadap gesekan (*wear resistance*), kekerasan, dan kekuatan. Penambahan unsur *chrom* sebesar 9–12% dapat memberikan peningkatan terhadap ketahanan korosi dan *micro crack*. Selain memberikan peningkatan nilai kekerasan ternyata unsur *chrom* juga dapat memberikan ketahanan terhadap kekuatan lelah (*fatigue*).⁴

- **Mangan (Mn)** - “*The Toughener*”, umumnya penambahan dilakukan sebanyak 0,3–2% berat, meningkatkan ketangguhan serta kekuatan pada material baja.
- **Tembaga (Cu)** - “*The Rust Retarder*”, umumnya penambahan dilakukan sebanyak 0,2–0,5% berat, meningkatkan ketahanan terhadap karat serta meningkatkan tegangan luluh (*yield strength*) pada material baja.

Umumnya material *hammer mill's hammers* memiliki sifat mekanik/karakteristik berupa kekerasan 180–220 BHN dengan tegangan lelah 50.000 psi. Penambahan unsur paduan pada baja seperti *mangan* (Mn), *chrom* (Cr), dan tembaga (Cu) diharapkan akan memberikan efek yang signifikan pada umur pakai *hammer mill's hammers*. Karakteristik, terutama sifat ketahanan gesek dan struktur mikro terhadap baja paduan tersebut akan dipelajari dalam penelitian ini.

METODE PENELITIAN

Proses pembuatan *hammer mill's hammers* dari baja cor paduan diawali dengan pembuatan pola/*pattern hammer mill's hammers* yang terbuat dari kayu keras. Pola/*pattern* itu kemudian dicetak ke dalam pasir cetak (*sand mold*) menggunakan pasir silika dengan perekat (*binder*) berupa *bentonite*, di mana komposisi *binder* adalah 5–10% dari total campuran *binder* dan pasir cetak. Sementara itu, untuk *core mold* (cetakan inti) digunakan *resin coated sand*. Proses berikutnya adalah proses pengecoran logam (baja cor paduan) dengan menggunakan tungku induksi (*induction furnace*), di mana bahan baku berupa *scrap* baja dimasukkan ke dalam tungku tersebut hingga mencair, kemudian ke dalamnya ditambahkan unsur paduan *mangan* (*ferro mangan*), *chrom* (*ferro chrom*) dan tembaga dengan komposisi sebagai

berikut: (1) 3~5% Mn – 3~5% Cr – 3~5% Cu; (2) 4~6% Mn – 3~5% Cr – 7~9% Cu; (3) 3~5% Mn – 4~6% Cr – 7~9% Cu; (4) 3~5% Mn – 3~5% Cr – 10~12% Cu; (5) 5~7% Mn – 4~6% Cr – 14~16% Cu. Selanjutnya ketika temperatur *hot metal* di dalam tungku induksi telah mencapai 1.600°C, *hot metal* tersebut siap dituang ke dalam cetakan (*sand mold*) *hammer mill's hammers*. Kemudian dilakukan uji kekerasan dan analisis struktur mikro terhadap *hammer mill's hammers* yang terbuat dari baja cor paduan tersebut. Selain itu, juga dilakukan uji keandalan dengan memasang *hammer mill's hammers* tersebut ke dalam *hammer mill unit* untuk menggerus bijih besi berukuran Ø 20–30 mm hingga menjadi berukuran *mesh* 80–100. Untuk uji keandalan tersebut digunakan sebuah *hammer mill unit* milik UPT Balai Pengolahan Mineral Lampung LIPI dengan dimensi drum Ø 400 x 500 mm. Alat itu memiliki kapasitas 300 kg/jam (bijih besi) dengan jumlah *hammers* sebanyak 40 buah yang berputar dengan kecepatan 750 Rpm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan uji karakterisasi dan keandalan terhadap *hammer mill's hammers* menggunakan material baja paduan mangan, chrom dan tembaga, dengan komposisi sebagai berikut:

Baja Paduan I: 1,6% C–3,2% Mn–4,5% Cr– ,2% Cu

Baja Paduan II: 1,7% C–5,7% Mn–4% Cr–8,5% Cu

Baja Paduan III: 1,6% C–4,9% Mn–5,6% Cr–7,5%Cu

Baja Paduan IV: 1,4% C–4,5% Mn–3,4% Cr–11% Cu

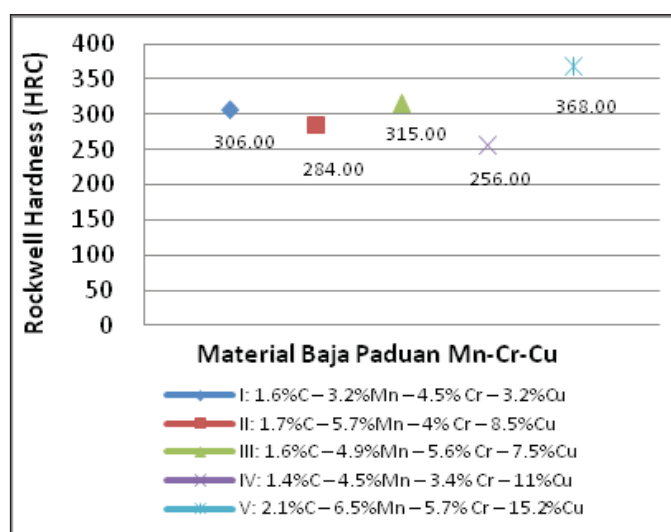
Baja Paduan V: 2,1% C–6,5% Mn–5,7% Cr–15,2% C

1. Uji kekerasan dan struktur mikro

Tingkat keausan, atau yang dalam istilah tekniknya dikenal dengan ketahanan terhadap gesekan (*wear resistance*), umumnya dapat diinterpretasikan oleh nilai kekerasan (*hardness*) suatu material. Material dengan nilai kekerasan yang tinggi umumnya memiliki sifat ketahanan gesek yang tinggi pula. Selain itu, struktur mikro dari suatu material juga turut menentukan sifat-sifat mekanik (*mechanical properties*) dari material tersebut, berupa kekerasan dan kekuatan (*strength*).

Nilai kekerasan tertinggi dari material baja paduan, seperti yang tampak pada Gambar 1, dimiliki oleh material Baja Paduan V (2,1% C–6,5% Mn–5,7% Cr–15,2% Cu), yaitu sebesar 368 HBN. Baja Paduan V, merupakan baja paduan dengan komposisi unsur *mangan*, *chrom*, dan tembaga tertinggi.

Penambahan unsur *chrom* secara signifikan dapat meningkatkan nilai kekerasan material. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 1, yaitu

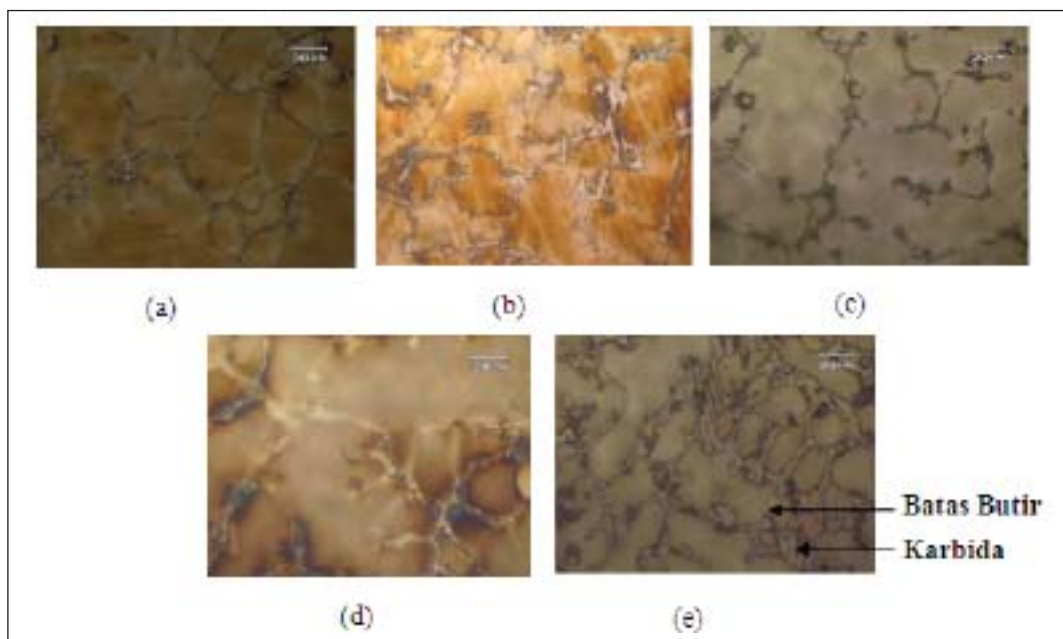


Gambar 1. Pengaruh penambahan unsur paduan terhadap kekerasan material baja

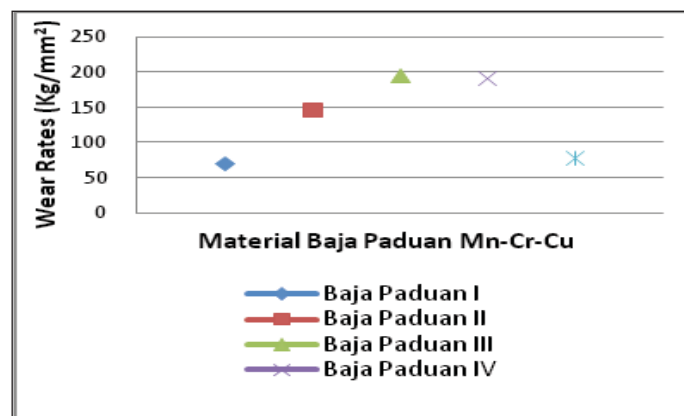
pada baja paduan IV, II, dan III, di mana penambahan unsur *chrom* sebanyak 3,436%, 3,956%, 5,604% secara berturut-turut menghasilkan nilai kekerasan sebesar 256 HBN, 284 HBN, dan 306 HBN. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa keberadaan unsur *chrom* dalam material baja dapat meningkatkan nilai kekerasan. Hal itu diperoleh dengan cara pembentukan karbida *chrom* pada daerah batas butir (*grain boundary*) (Gambar 2) dalam struktur mikro pada material tersebut. Karbida merupakan struktur dengan karakteristik nilai kekerasan yang sangat tinggi, bahkan nilai kekerasan struktur karbida (*chrom*),

yaitu 70–77 HRC (865–1058 HBN) melebihi nilai kekerasan dari struktur *martensite* dalam material baja, yaitu 60–66 HRC (647–770 HBN). Namun, sama seperti struktur *martensite*, selain dapat meningkatkan nilai kekerasan pada material baja, struktur karbida juga akan memberikan efek getas pada material tersebut. Oleh karena itu, maksud penambahan unsur mangan dan tembaga dalam material baja paduan ini di antaranya adalah untuk meningkatkan sifat ketangguhan material.

Karbida akan lebih mudah terbentuk pada daerah batas butir. Batas butir merupakan sebuah daerah dengan tingkat *vacancy* (kekosongan



Gambar 2. Struktur mikro dari baja paduan Mn-Cr-Cu, (a) Baja Paduan I, (b) Baja paduan II, (c) Baja Paduan III, (d) Baja Paduan IV, (e) Baja Paduan V



Gambar 3. Uji kehandalan material baja paduan pada *hammer mill's hammers*.

atom) sangat tinggi. Semakin banyak *vacancy* dalam struktur mikro, kekuatan/kekerasan material tersebut akan semakin rendah. Senyawa karbida *chrom* yang terbentuk pada material baja adalah senyawa $(FeCr_x)C_y$, di mana komposisi tersebut sangat dipengaruhi oleh kandungan unsur *chrom* dan karbon dalam material baja tersebut. Pembentukan senyawa ini dipengaruhi oleh komposisi unsur *chrom* dan karbon, seperti tampak pada Tabel 9, yaitu pada baja paduan V dan III, dengan komposisi unsur *chrom* yang sama, yaitu 5,6%. Namun komposisi karbon keduanya berbeda, yaitu 2,186% dan 1,602%, memberikan nilai kekerasan yang berbeda pula, yaitu 368 HBN dan 315 HBN secara berturut-turut.

Secara keseluruhan, material baja paduan *mangan*, *chrom*, dan tembaga dalam penelitian ini memberikan nilai kekerasan yang cukup tinggi, yaitu 250–370 HBN, di mana nilai tersebut jauh melebihi nilai kekerasan dari material baja yang umumnya digunakan sebagai komponen *hammer mill's hammers*, yaitu 180–220 BHN.

2. Uji Keandalan

Uji keandalan terhadap material *hammer mill's hammers* dalam percobaan ini dilakukan dengan memasang *hammer mill's hammers* tersebut pada *hammer mill unit* dengan kapasitas 300 kg/jam untuk menggerus bijih besi sebanyak 500 kg. Berikut ini adalah grafik tingkat keausan terhadap masing-masing material tersebut, yang ditunjukkan dengan berkurangnya luas penampang dari material tersebut setelah dilakukan uji keandalan.

Material *hammer mill's hammers* dari baja paduan *mangan*, *chrom*, tembaga dalam percobaan ini memberikan uji keandalan yang cukup baik, di mana kelima sampel dengan komposisi *mangan*, *chrom*, dan tembaga yang berbeda memberikan nilai keausan di bawah 200 mm²/500 Kg bijih besi. Nilai keausan terendah (terbaik) diberikan oleh material baja paduan I dengan komposisi 1,6% C – 3,2% Mn – 4,5% Cr – 3,2% Cu sebesar 69,7 mm²/500 kg bijih besi dengan nilai kekerasan 306 HBN.

Dari uji keandalan, pada Gambar 3 tampak bahwa nilai kekerasan material baja paduan tidak berbanding lurus dengan nilai kekerasan. Secara teoretis, nilai kekerasan berbanding lurus

dengan ketahanan gesek suatu material, namun hal tersebut tidak dapat diterapkan pada material yang mengalami beban impact, di mana pembebanan berulang dapat mengakibatkan hancur/rusakanya karbida seperti yang terjadi pada material *grinding ball* dalam *ball mill* unit.⁵

Baja Paduan I dan V memiliki hasil uji keandalan yang sangat baik, yaitu dengan nilai keausan di bawah 100 mm²/500 kg bijih besi. Bila ditinjau dari penggunaan komposisi material paduan, maka Baja Paduan I memiliki nilai ekonomis yang lebih baik dibandingkan dengan Baja Paduan V.

KESIMPULAN

Komponen *hammer mill's hammers* merupakan komponen yang harus memiliki sifat mekanik (*mechanical properties*) berupa kekerasan, ketangguhan, dan ketahanan gesek yang tinggi. Material baja memiliki sifat ketangguhan yang sangat tinggi, dan dapat digunakan sebagai *hammer mill's hammers*.

Metode penguatan berupa penambahan unsur paduan (*solid solution strengthening*) pada material baja dapat meningkatkan sifat-sifat mekanik/karakteristik dari material tersebut. Unsur *chrom* secara signifikan dapat meningkatkan nilai kekerasan dari material tersebut, sedangkan tembaga dan *mangan* berperan dalam meningkatkan ketangguhan dari material tersebut.

Nilai kekerasan tidak selamanya berbanding lurus dengan ketahanan gesek, terutama pada komponen *hammer mill's hammers*. Komponen *hammer mill's hammers* dari baja cor paduan *mangan*, *chrom*, dan tembaga, dengan komposisi 3–5% Mn; 3–5% Cr; 3–5% Cu memberikan sifat ketahanan gesek yang paling baik, di antara keempat material baja paduan lainnya dengan rasio keausan sebesar 64,55 mm²/500 Kg bijih besi dengan nilai kekerasan 306 HBN/32,6 HRC.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Jr. Fabert. 1973. *Improved Hammer for Hammer Mills*. United States Patent No. 3, 738, 586.
- ²Grigorkin, V. I. et al. 1974. *Increase in the Wear Resistance of Hammer Mill Hammer's*, (translated from *Metallovedenie i Termicheskaya Orabotka Metallov*) No. 4, pp 68–71.

- ³Smith, W. F. and J. Hashemi. 2001. *Foundations of Material Science and Engineering* (4th ed.). McGraw-Hill
- ⁴Suprihanto, A. dkk. 2007. Peningkatan Kekuatan Lelah Besi Cor Kelabu dengan Penambahan Khromium dan Tembaga. *Jurnal Teknik Gelagar* 18(01).
- ⁵Albertin, E. *et al.* 2001. Effect of Carbide Fraction and Matrix Microstructure on The Wear of Cast Iron Balls Tested in a Laboratory Ball Mill. *Wear* 250: 492–501.

PUSTAKA PENDUKUNG

- ⁶Porter, D. A. 1981. *Phase Transformation in Metals and Alloys*. UK: Van Nostrand Reinhold. Co. Ltd.
- ⁷Askeland, R. D. 2006. *The Science and engineering of Materials*. Canada: Thomson Canada Limited.