



Optimasi Jumlah Bola Baja Terhadap Proses Penghancuran Material Dalam Silinder Berputar¹

Optimization of The Number of Steel Balls Against The Material Crushing Process in A Rotating cylinder

Nur Faizin²

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

ABSTRAK

Bola baja yang menumbuk material dimanfaatkan untuk proses penghancuran material. Material yang dihancurkan merupakan material yang terbuat dari bahan setengah jadi semen yang dibentuk menjadi butiran. Material yang berbentuk butiran tersebut dihancurkan di dalam silinder yang berputar. Ukuran silinder yang digunakan dalam penelitian ini yaitu berdiameter dalam 400 mm dan diameter luar 440 mm serta memiliki ketebalan 3 cm yang terbuat dari akrilik. Dinding dalam silinder dibentuk bergerigi, gerigi tersebut memiliki ketinggian 4,2 mm. Material yang dimasukkan ke dalam silinder dicampur dengan bola baja berdiameter 6,35 mm. Mode gerak *cataracting* dan *cascading* merupakan mode gerak yang khusus diamati dalam penelitian ini. Proses penghancuran dan penghalusan material sangat didukung oleh kedua mode gerak tersebut. Data yang diambil yaitu massa material yang lolos dari ayakan 24 mesh atau 0,75 mm. Perlakuan yang diberikan pada penelitian ini adalah variasi jumlah bola baja yang dimasukkan ke dalam silinder dengan massa material yang tetap, variasi kecepatan putaran silinder, dan lama putaran silinder. Hasil yang diperoleh yaitu massa material maksimum yang lolos dari ayakan 24 mesh diperoleh pada massa bola baja 500 gram dan kecepatan putar 56,52 rad/detik.

Kata Kunci: Bola Baja, Cataracting, Cascading

ABSTRACT

Steel balls that pound material are used for the process of material destruction. The crushed material was a material made of semi-finished cement which was formed into granules. The granular material was crushed inside the rotating cylinder. The size of the cylinders in this study was inside diameter 400 mm and outer diameter 440 mm and had a thickness 3 cm made from acrylic. The inner wall of the cylinder is shaped jagged; the gear has a height of 4.2 mm. The material inserted into the cylinder is mixed with a steel ball with a diameter of 6.35 mm. Cataracting and cascading motion modes are the modes of motion specifically observed in this study. The process of destruction and smoothing of material is strongly supported by both modes of motion. The data taken is the mass of material that passes from a 23.4 mesh sieve or 0.75 mm. The treatment given in this study is the variation in the number of steel balls that are inserted into the cylinder with a fixed material mass, variations in cylinder rotation speed, and length of cylinder rotation. The results obtained were the maximum material mass that escaped from the 23.4 mesh sieve obtained at the mass of the steel ball 500 grams and the rotational speed of 56.52 rad/sec.

Keywords: Steel Balls, Cataracting, Cascading

PENDAHULUAN

Material butiran yang bergerak di dalam tabung silinder merupakan fenomena yang menarik untuk dipelajari. Industri semen merupakan salah satu industri yang menggunakan prinsip

¹ Info Artikel: Received: 27 Maret 2021, Accepted: 22 Mei 2021

² E-mail: nurfaizin.teknik@unej.ac.id

kerja dari silinder berputar. Dalam industri tersebut, material yang diumpan ke dalam silinder disebut sebagai *raw material*. Material ini terdiri dari bahan baku pembuatan semen. Bahan baku semen tersebut berukuran kecil dengan orde sentimeter. Material yang berukuran kecil tersebut dihancurkan di dalam sebuah silinder yang diputar yang selanjutnya silinder yang berputar itu disebut sebagai *raw mill*.

Proses penghancuran *raw material* dibantu oleh bola baja. Penghancuran material terjadi karena adanya pergerakan bola baja di dalam silinder. Bola baja yang bergerak di dalam silinder tersebut mengalami beberapa mode gerak diantaranya *slipping*, *cascading*, *cataracting*, dan *centrifuging*. Faktor yang mempengaruhi mode gerak bola baja diantaranya: kecepatan sudut dan massa bola baja.

Mode gerak *cataracting* dan *cascading* merupakan mode gerak yang diharapkan dalam penelitian ini. Kedua mode gerak tersebut sangat mendukung dalam proses penghancuran dan penghalusan material. Mode gerak *cataracting* mendukung adanya proses penumbukan material. Sedangkan mode gerak *cascading* mendukung proses penggerusan. Material dapat hancur apabila terjadi tumbukan antara bola baja dengan material. Setelah material tersebut hancur menjadi ukuran yang lebih kecil proses penggerusanlah yang lebih efektif menghaluskan material. Hasil akhir dari proses penghancuran material diidentifikasi dari banyaknya material yang lolos ayakan 24 mesh. Persentase material yang lolos dari ayakan tersebut dijadikan sebagai ukuran optimal dan kurang optimalnya proses penghancuran material.

METODE PENELITIAN

Raw mill adalah suatu alat yang berbentuk silinder yang diputar pada sumbu aksialnya. Prinsip kerja dari *raw mill* yaitu *raw material* yang diumpan ke dalam silinder bergerak bersama dengan bola baja. Dengan adanya pergerakan bola baja di dalam silinder maka hal itu sangat memungkinkan terjadinya tumbukan dan gerusan dari bola baja tersebut.



Gambar 1 Tampak luar raw mill (Sumber: dokumen Pribadi)

Dinding bagian dalam (*shell*) *raw mill* didesain bergerigi agar proses penghancuran dan penghalusan material lebih efektif dan efisien. *Shell* dibentuk dari susunan sirip (*lifter*).

Bentuk gerigi dalam *raw mill* mempengaruhi efektivitas gerak bola baja. Dinding dalam silinder didesain bergerigi, hal ini bertujuan untuk mempermudah terjadinya mode gerak *cataracting*. Dengan adanya gerigi ini, kecepatan sudut yang dibutuhkan untuk menghasilkan mode *cataracting* relatif kecil. Beberapa desain telah dikembangkan untuk memperoleh optimasi energi yang paling efisien. Energi ini merupakan energi minimum yang digunakan untuk menghasilkan mode gerak *cataracting*.



Gambar 2. Bentuk shell di dalam silinder (Sumber: Dokumen pribadi)

Jika ditinjau dari fenomena fisika, proses penghancuran dan penghalusan material melibatkan dua gaya yaitu gaya tekan dan gaya geser. Tekanan total (P) yang diterima oleh material yang ditumbuk adalah:

$$P = \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{r_{k,i}^2}, \quad (1)$$

dimana F_i adalah gaya penumbukan bola baja ke- i dan $r_{k,i}$ adalah radius kontak material ke- i [2]. Jika bola baja yang digunakan memiliki ukuran yang sama, maka persamaan 1 dapat dituliskan,

$$P = \frac{nF}{\pi r^2}, \quad (2)$$

Sedangkan energi spesifik penumbukan dari bola dapat dituliskan sebagai berikut,

$$K_s = \frac{m}{2} \sum_i^n v_i^2, \quad (3)$$

dimana m adalah massa bola baja dan v_i adalah kecepatan bola baja ke- i , dan n adalah banyaknya bola baja [2]. Jika ada n bola baja dengan massa dan kecepatan bola baja yang sama maka persamaan 3 dapat dituliskan,

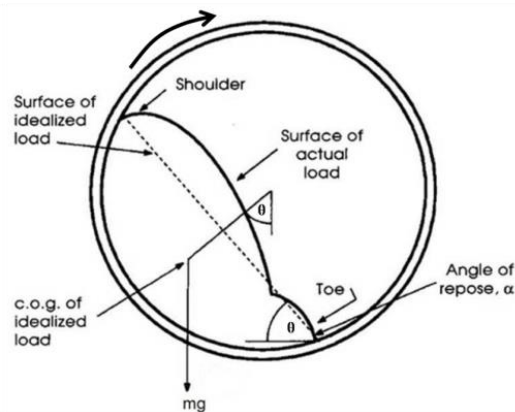
$$K_s = \frac{nm_b v^2}{2}, \quad (4)$$

Dalam proses penghancuran material, mode gerak yang sangat berguna adalah *cataracting*. Mode ini sangat diharapkan karena memberikan *impact* yang maksimal dibanding mode gerak yang lain.

Dalam kasus material bergerak di dalam silinder yang berputar pada sumbu aksial dikenal suatu bilangan yaitu bilangan Froude. Bilangan Froude dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya sentrifugal dengan gaya berat material. Sehingga dapat dituliskan sebagai berikut,

$$F_r = \frac{\omega^2 r}{g}, \quad (5)$$

dimana F_r adalah bilangan Froude, ω adalah kecepatan sudut silinder, r adalah jari-jari silinder, dan g adalah percepatan gravitasi [3].



Gambar 3 Mode gerak material dalam silinder [5].

Bentuk bed dalam silinder berputar diketahui dua titik yaitu titik *toe* dan *shoulder*. Titik *toe* adalah titik saat bed menyentuh dinding setelah jatuh dari titik tertinggi. Sedangkan titik *shoulder* adalah titik tertinggi bed di dalam silinder saat mulai terlepas dari dinding. Titik *toe* dan *shoulder* dipandang dari garis vertikal (0°) [4].

Titik *toe* dan *shoulder* timbul akibat pergerakan material. Momen gaya yang dihasilkan oleh bed akibat perpindahan bed dapat dituliskan sebagai berikut,

$$\tau = mg r_m \sin \theta, \quad (6)$$

dimana r_m adalah jarak pusat massa bed terhadap titik pusat silinder, m adalah massa bed, θ adalah sudut elevasi dari pusat massa, dan g adalah percepatan gravitasi.

Posisi titik *shoulder* dipengaruhi oleh kecepatan sudut dari silinder. Jika kecepatan silinder semakin besar maka posisi titik *shoulder* semakin tinggi. Tetapi jika kecepatan sudut dinaikkan terus menerus maka akan terbentuk kecepatan kritis. Kecepatan kritis ini sangat dihindari saat melakukan proses penghancuran material. Kecepatan kritis merupakan kecepatan dimana material bed dan bola baja menempel pada dinding silinder atau dapat dikatakan bahwa tidak terjadi proses penghancuran material. Secara umum kecepatan kritis dari silinder dapat dituliskan sebagai berikut [1],

$$\omega_c = \frac{42,3}{\sqrt{D-d}}, \quad (7)$$

dimana D adalah diameter silinder dan d adalah diameter bola baja. Angka 42,3 merupakan konstanta perbandingan. Secara umum proses penghancuran material di dalam silinder menggunakan kecepatan 65-82% dari kecepatan kritis, kadangkala ada juga yang menggunakan kecepatan 90% dari kecepatan kritis [6].

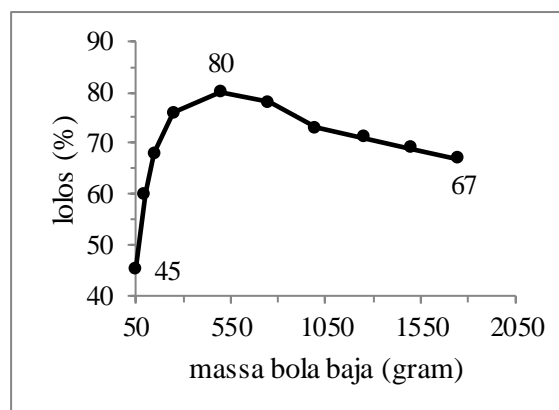
Eksperimen dilakukan dengan skala laboratorium. Diameter bola baja yang digunakan adalah 6,35 mm. Sedangkan diameter silinder dalam eksperimen adalah 40 cm. Dalam penelitian ini material yang digunakan sebagai sampel adalah bahan baku semen. Sampel tersebut berbentuk butiran dengan ukuran tidak kurang dari 0,75 mm. Sebelum dihancurkan, sampel dikeringkan terlebih dahulu. Pengeringan butiran dimaksudkan agar tidak ada material halus yang menempel pada bola baja dan dinding silinder. Butiran yang telah dihancurkan selanjutnya diayak menggunakan ayakan ukuran 24 mesh.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil eksperimen diperoleh dengan memvariasikan massa bola baja, kecepatan sudut, dan waktu. Dalam percobaan ini massa material yang dimasukkan ke dalam silinder dibuat konstan yaitu 100 gram. Setelah dilakukan variasi massa bola baja, diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan jumlah material yang lolos ayakan. Dari data tersebut diketahui bahwa nilai maksimum tingkat kelolosan diperoleh saat massa bola baja 500 gram. Nilai maksimum kelolosan material adalah 80%. Nilai ini menunjukkan bahwa proses penumbukan bola baja terhadap material sangat besar dibandingkan dengan massa bola baja lainnya. Hal itu ditunjukkan saat massa bola baja ditambah terus diperoleh hasil yang menurun. Hingga saat massa bola baja 1750 gram, material yang lolos menjadi 67%. Hal ini menunjukkan adanya anomali pada proses penghancuran material.

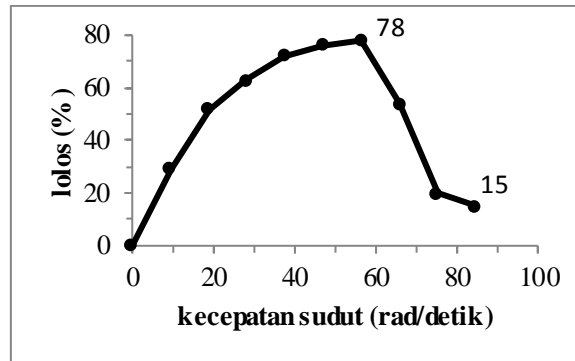
Ada beberapa faktor yang memungkinkan timbulnya anomali diantaranya mode gerak yang dihasilkan dan munculnya hambatan dari bola baja itu sendiri. Semakin besar massa bola baja yang diumpun ke dalam silinder, mode gerak yang timbul sebagian besar adalah *cascading*. Pada mode gerak ini proses penumbukan bola baja terhadap material kecil. Sehingga material yang lolos ayakan sedikit. Hambatan yang dimaksud disini yaitu saat bola baja menumbuk material terhalangi oleh bola baja yang lain atau bola baja melakukan tumbukan terhadap bola baja yang lain. Sehingga tumbukan bola baja dengan material menjadi kecil. Karena tumbukan terhadap material kecil maka material yang hancur juga semakin sedikit.



Gambar 4 Variasi massa bola baja vs material yang lolos 24 mesh

Sehingga pada variasi massa bola baja dapat disimpulkan bahwa nilai maksimum diperoleh pada variasi bola baja 500 gram. Hal ini dikarenakan jumlah tumbukan antara bola baja dengan material sangat besar saat massa bola baja 500 gram.

Percobaan selanjutnya adalah variasi kecepatan sudut dari silinder. Dalam percobaan ini massa bola baja dibuat konstan yaitu 500 gram dan massa material dibuat konstan yaitu 100 gram. Massa bola baja dibuat konstan 500 gram karena pada perlakuan pertama diperoleh bahwa pada massa bola baja tersebut nilai kelolosan material maksimum. Plot antara persentase material yang lolos ayakan 24 mesh terhadap kecepatan sudut dari silinder ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Variasi kecepatan sudut vs material yang lolos 24 mesh

Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai kelolosan maksimum diperoleh saat kecepatan silinder 9 rad/detik. Nilai maksimum yang diperoleh adalah 78%. Saat kecepatan silinder diperbesar hingga 84,78 rad/detik tingkat kelolosan material turun menjadi 15%. Penurunan nilai ini dikarenakan semakin besar kecepatan silinder maka semakin mendekati kecepatan kritis. Saat bola baja mendekati kecepatan kritis maka semakin banyak bola baja dan material yang menempel pada dinding sehingga tidak menimbulkan tumbukan.

Saat silinder diputar dengan kecepatan 94,2 rad/detik, baik material maupun bola baja menempel pada dinding silinder. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan kritis dari silinder adalah 94,2 rad/detik. Kecepatan kritis silinder mengakibatkan tidak adanya tumbukan antara bola baja dengan material. Sehingga mengakibatkan tidak ada material yang lolos dari ayakan 24 mesh.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat diketahui beberapa faktor yang berpengaruh terhadap proses penghancuran material antara lain massa bola baja yang diumpan ke dalam silinder dan kecepatan silinder. Nilai maksimum kelolosan material dari ayakan 24 mesh diperoleh untuk massa bola baja 500 gram. Sedangkan pada variasi kecepatan silinder, nilai maksimum kelolosan material diperoleh pada kecepatan 56,52 rad/detik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Saya ucapkan terimakasih kepada LP2M Universitas Jember yang telah memberikan dana DIPA PNBPN tahun 2018 melalui program hibah penelitian yaitu Penelitian Dosen Pemula.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wills, B. A., & Napier-Munn, T. (2015). *Wills' mineral processing technology: an introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery*. Butterworth-Heinemann.
- [2] Sheng-Yong, L., Qiong-Jing, M., Zheng, P., Xiao-Dong, L., & Jian-Hua, Y. (2012). Simulation of ball motion and energy transfer in a planetary ball mill. *Chinese Physics B*, 21(7), 078201.

- [3] Santomaso, A. C., Ding, Y. L., Lickiss, J. R., & York, D. W. (2003). Investigation of the granular behaviour in a rotating drum operated over a wide range of rotational speed. *Chemical Engineering Research and Design*, 81(8), 936-945.
- [4] Lameck, N. N. S. (2006). *Effects of grinding media shapes on ball mill performance* (Doctoral dissertation).
- [5] Moys, M. H. (1993). A model of mill power as affected by mill speed, load volume, and liner design. *JOURNAL-SOUTH AFRICAN INSTITUTE OF MINING AND METALLURGY*, 93, 135-135.
- [6] King, R. P. (2012). *Modeling and simulation of mineral processing systems*. Elsevier.