



Analysis of Particle Size Distribution in Media Mill 3 and 4 at PT .Geoservices

Analisis Distribusi Ukuran Partikel pada Media Mill 3 dan 4 di PT. Geoservices

Fajar Anggara ^{a,1*}, Agris Setiawan ^{a,2}

^aProgram Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, Jl. Babarsari Jl. Tambak Bayan No.2, Janti, Caturtunggal, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281, Indonesia

¹116220004@upnyk.student.ac.id*; ²Agrisetiawan@upnyk.ac.id

*corresponding author

ARTICLE INFO

Article history

Received : October 21, 2025

Revised : November 5, 2025

Accepted : January 20, 2026

Published : February 5, 2026

Kata Kunci: Distribusi ukuran partikel; grinding; rod mill; P80; pengolahan mineral

Keywords : Particle size distribution; grinding; rod mill; P80; mineral processing

ABSTRAK/ABSTRACT

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi ukuran partikel dari proses penggilingan pada Media Mill 3 dan Mill 4 di PT Geoservices. Proses penggilingan dilakukan menggunakan metode Grinding Establishment dan Grinding to Target untuk menentukan waktu optimum yang diperlukan guna mencapai ukuran partikel 75 mikron dengan 80% lolos ayakan (P80). Pengujian dilakukan menggunakan sampel spend ore yang digiling dengan rod mill yang memiliki variasi panjang, diameter, dan berat batang penggiling. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Mill 3 memerlukan waktu 10 menit 32 detik untuk mencapai ukuran target, sedangkan Mill 4 hanya memerlukan 9 menit 31 detik. Perbedaan waktu ini terutama dipengaruhi oleh kecepatan putaran dan kondisi fisik masing-masing mill. Selain itu, analisis distribusi ukuran partikel menunjukkan bahwa Mill 4 menghasilkan distribusi ukuran partikel yang lebih seragam dibandingkan Mill 3. Temuan ini dapat menjadi acuan untuk mengoptimalkan parameter grinding guna meningkatkan efisiensi pengolahan mineral di PT Geoservices.

This study aims to analyze the particle size distribution produced by the grinding process in Media Mill 3 and Mill 4 at PT Geoservices. The grinding process was conducted using the Grinding Establishment and Grinding to Target methods to determine the optimum time required to achieve a particle size of 75 microns with 80% passing (P80). Experiments were carried out using spend ore samples processed with rod mills of varying rod lengths, diameters, and weights. The results showed that Mill 3 required 10 minutes and 32 seconds to reach the target size, while Mill 4 only required 9 minutes and 31 seconds. This difference was mainly influenced by the rotational speed and the physical conditions of each mill. Additionally, particle size distribution analysis indicated that Mill 4 produced a more uniform particle size distribution compared to Mill 3. These findings provide useful insights for optimizing grinding parameters to improve efficiency in mineral processing operations at PT Geoservices

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan cadangan mineral yang melimpah, salah satunya bijih mangan yang memiliki potensi besar namun belum dimanfaatkan secara optimal [1]. Mangan merupakan logam penting setelah besi, aluminium, dan tembaga [2]. Sebaran cadangan bijih mangan terdapat di berbagai daerah, dengan konsentrasi terbesar di Nusa Tenggara Timur [3]. Pada tahun 2020, produksi mangan nasional tercatat Industri pertambangan dan mineral memegang peranan penting dalam penyediaan



bahan baku strategis untuk berbagai sektor industri. Salah satu tahapan krusial dalam pengolahan mineral adalah proses grinding atau penggilingan, yang bertujuan untuk memperkecil ukuran partikel bijih sehingga mineral berharga dapat dipisahkan secara lebih efektif pada tahap selanjutnya, seperti flotasi atau pelindian. Efisiensi proses grinding sangat bergantung pada distribusi ukuran partikel yang dihasilkan, karena ukuran partikel yang terlalu besar atau terlalu halus dapat memengaruhi kinerja pemisahan mineral dan konsumsi energi.

Proses comminution, khususnya grinding, diketahui mengonsumsi energi yang sangat besar, yakni mencapai 50–70% dari total energi pengolahan mineral [7]. Oleh karena itu, optimasi pada tahap ini memiliki dampak signifikan terhadap efisiensi energi dan biaya operasional. Selain itu, distribusi ukuran partikel hasil grinding berpengaruh langsung terhadap kinerja proses lanjutan, seperti flotasi dan pelindian, di mana ukuran partikel yang terlalu halus dapat menyebabkan masalah slime coating dan peningkatan konsumsi reagen [9]. Variasi kondisi operasi, desain mill, dan karakteristik media penggiling dapat menyebabkan perbedaan signifikan pada hasil distribusi ukuran partikel, meskipun menggunakan jenis bijih yang sama [8]. Dengan demikian, evaluasi performa media mill berdasarkan distribusi ukuran partikel yang dihasilkan menjadi penting, baik untuk kepentingan laboratorium maupun aplikasi industri, sehingga dapat diperoleh parameter operasi yang paling optimal.

Grinding merupakan proses pengurangan ukuran partikel menjadi lebih kecil dengan menggunakan energi mekanis. Tujuannya adalah untuk meningkatkan luas permukaan partikel sehingga proses pemisahan mineral berharga atau reaksi kimia dapat berjalan lebih efisien, hanya sebagian kecil energi dalam proses grinding yang benar-benar digunakan untuk memecahkan partikel, sedangkan sebagian besar energi hilang dalam bentuk panas dan suara. Oleh karena itu, pemilihan peralatan dan kondisi operasi yang tepat sangat penting untuk mencapai efisiensi energi yang optimal (Park, H. 2012). Proses grinding dapat dilakukan secara kering maupun basah. Grinding basah biasanya lebih disukai karena mengurangi debu, menurunkan suhu operasi, dan menghasilkan penanganan material yang lebih baik, terutama pada tahap klasifikasi partikel (Wen & Chung, 2012).

Ukuran partikel (*particle size*) merupakan parameter penting dalam pengolahan mineral karena berhubungan langsung dengan luas permukaan dan reaktivitas material. Partikel yang lebih kecil memiliki luas permukaan spesifik yang lebih tinggi sehingga kontak dengan fluida reaktan lebih besar, yang pada akhirnya meningkatkan efisiensi proses seperti flotasi, pelindian, dan gasifikasi [5]. Rod mill adalah salah satu jenis peralatan grinding yang menggunakan batang-batang baja sebagai media penggiling. Rod mill efektif dalam menghasilkan distribusi ukuran partikel yang lebih seragam dengan fraksi halus yang lebih sedikit dibandingkan ball mill. Hal ini disebabkan oleh mekanisme penggerusan yang lebih bertahap, di mana batang-batang baja memberikan gaya gesek dan tekanan yang lebih merata terhadap partikel [1]. Rod mill umumnya digunakan untuk proses grinding tahap awal atau ketika dibutuhkan distribusi ukuran partikel yang sempit, seperti pada *feed* untuk proses gasifikasi atau preparasi sampel metalurgi, jika proses *rodmill* kondisi operasi yang optimal, rod mill mampu mencapai efisiensi tinggi dalam hal distribusi ukuran partikel serta konsumsi energi (Celis, 2021).

PT Geoservices, sebagai salah satu perusahaan penyedia jasa terintegrasi di bidang pertambangan dan energi, memiliki fasilitas laboratorium pengolahan mineral yang dilengkapi dengan berbagai peralatan uji, termasuk media mill untuk proses penggilingan sampel. Dalam proses ini, Media Mill 3 dan 4 digunakan untuk menghasilkan sampel dengan distribusi ukuran partikel yang sesuai dengan spesifikasi analisis. Namun, variasi dalam parameter operasi seperti kecepatan putaran, waktu penggilingan, dan karakteristik bijih dapat memengaruhi hasil distribusi ukuran partikel yang dihasilkan. Oleh karena itu, analisis distribusi ukuran partikel pada Media Mill 3 dan 4 menjadi penting untuk mengetahui sejauh mana proses penggilingan dapat menghasilkan ukuran partikel yang optimal. Informasi ini dapat digunakan sebagai dasar dalam peningkatan efisiensi proses grinding serta sebagai acuan dalam pengendalian mutu sampel di PT Geoservices.

Selain itu, sejumlah penelitian terdahulu juga menegaskan pentingnya analisis distribusi ukuran partikel dalam kaitannya dengan efisiensi proses pengolahan mineral. Wills dan Finch [1] menyatakan bahwa kualitas hasil grinding sangat menentukan keberhasilan tahap pemisahan berikutnya. Lee et al. [6] menambahkan bahwa rod mill memiliki keunggulan dalam menghasilkan distribusi ukuran partikel yang lebih seragam dibandingkan ball mill, sehingga lebih sesuai untuk aplikasi yang membutuhkan kontrol ukuran ketat. Penelitian lain menunjukkan bahwa pemilihan media penggiling dan kecepatan operasi berpengaruh signifikan terhadap konsumsi energi dan keausan liner [10]. Di sisi lain, Morrell [11] mengembangkan model matematis untuk memprediksi konsumsi energi dalam proses comminution, yang memperkuat urgensi optimasi parameter operasi. Penggunaan teknologi pemantauan distribusi partikel secara real-time juga mulai dikembangkan untuk meningkatkan akurasi kontrol proses grinding [12]. Dengan demikian, kajian mengenai perbandingan kinerja mill pada kondisi operasi yang berbeda, seperti yang dilakukan di PT Geoservices, tidak hanya memberikan manfaat praktis bagi industri, tetapi juga memperkaya literatur akademis mengenai optimasi commin

2. Metode Penelitian

Data yang diperoleh pada penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh dari pengujian yang dilakukan selama melaksanakan kerja praktik di PT Geoservices, dengan menggunakan bahan berupa spend ore. Proses pengolahan bijih dimulai dengan pengambilan sampel sebanyak 1 kilogram sebagai bahan uji. Tahap awal dilakukan melalui grinding establishment untuk menentukan parameter dan kondisi penggilingan yang optimal. Setelah itu, bijih digiling hingga mencapai target ukuran partikel yang telah ditetapkan dalam tahap grinding to target. Selanjutnya, dilakukan analisis distribusi ukuran partikel Particle Size Distribution guna memastikan bahwa hasil penggilingan sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Data yang diperoleh kemudian dianalisis lebih lanjut untuk mengevaluasi efisiensi dan kualitas proses penggilingan, sehingga dapat dilakukan penyesuaian jika diperlukan guna meningkatkan kinerja proses secara keseluruhan Adapun data yang diperoleh pada penelitian dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 1. Kondisi Mill 3

Mill Condition	Unit	Rod type 1	Rod type 2	Rod type 3
Rod diameter	cm	2,25	1,30	1,15
Number of rods		10	10	10
Rod length	cm	27,5	27,5	27,3
Weight of rod	G	8385,5	2949,8	2247,3
Volume of grinding media	cm ³	1092,9	364,8	283,4
Total weight of rods	g	135825,3		
Total volume of rods	cm ³	1741,1		
Mill length	cm	31,5		
Mill inner diameter	cm	21,0		
Volume mill	cm ³	10910,4		

Pengumpulan data tersebut dilakukan dengan menggunakan bantuan alat berupa kaliper, penggaris, dan timbangan untuk menentukan berat, panjang, serta diameter dari Rod serta mill yang terdapat pada media mill 3. sehingga Kondisi penggilingan dalam mill ditentukan oleh variasi dimensi dan berat dari tiga jenis batang (rod type) yang digunakan. Rod Type 1 memiliki diameter terbesar, yaitu 2,25 cm, dengan panjang 27,5 cm, sedangkan Rod Type 2 memiliki diameter 1,30 cm dan panjang yang sama. Rod Type 3 memiliki diameter terkecil, yaitu 1,15 cm, dengan panjang sedikit lebih pendek, yakni 27,3 cm. Meskipun jumlah batang pada setiap jenis rod sama, yaitu 10 batang, berat totalnya bervariasi, dengan Rod Type 1 sebagai yang terberat (8385,5 g), diikuti oleh Rod Type 2 (2949,8 g) dan Rod Type 3 (2247,3 g). Hal ini juga memengaruhi volume media penggilingan, di mana Rod Type 1 memiliki volume terbesar (1092,9 cm³), diikuti oleh Rod Type 2 (364,8 cm³) dan Rod Type 3 (283,4 cm³). Secara keseluruhan, total berat batang dalam mill mencapai 13582,3 g, dengan total volume batang sebesar 1741,1 cm³. Mill yang digunakan memiliki panjang 31,5 cm dan diameter bagian dalam 21 cm, dengan volume total 10910,4 cm³. Kemudian terdapat data pada mill 4 sebagai berikut :

Tabel 2. Kondisi Mill 4

Mill Condition	Unit	Rod type 1	Rod type 2	Rod type 3
Rod diameter	cm	2,18	1,34	1,15
Number of rods		10	10	10
Rod length	cm	27,5	27,5	27,2
Weight of rod	g	7806,4	2926,7	2224,5
Volume of grinding media	cm ³	1024,0	387,6	281,4
Total weight of rods	g	12957,6		
Total volume of rods	cm ³	1693,1		
Mill length	cm	31,1		
Mill inner diameter	cm	21,0		
Volume mill	cm ³	10771,8		

Data pada tabel tersebut menunjukkan kondisi penggilingan (mill condition) dengan tiga jenis batang (rod type) yang memiliki karakteristik berbeda. Rod Type 1 memiliki diameter terbesar, yaitu 2,18 cm, dengan panjang 27,5 cm dan berat per batang sebesar 7806,4 g. Volume media penggilingan untuk Rod Type 1 adalah yang terbesar, yaitu 1025,9 cm³. Rod Type 2 memiliki diameter 1,34 cm dan panjang yang sama, dengan berat per batang sebesar 2926,7 g dan volume media penggilingan sebesar 387,6 cm³. Rod Type 3, dengan diameter terkecil (1,15 cm) dan panjang sedikit lebih pendek (27,2 cm), memiliki berat per batang sebesar 2224,5 g dan volume media penggilingan sebesar 281,4 cm³.

Total berat semua batang dalam mill adalah 12957,6 g, dengan total volume batang sebesar 1694,9 cm³. Mill yang digunakan memiliki panjang 31,1 cm dan diameter bagian dalam sebesar 21 cm, menghasilkan total volume mill sebesar 10771,8 cm³. Data ini memberikan gambaran tentang variasi dimensi dan kapasitas masing-masing jenis rod dalam proses penggilingan serta kapasitas ruang penggilingan yang tersedia.

Grinding Establishment

Pada pengujian untuk menentukan waktu untuk menentukan p80 ukuran 75 mikron yang di lakukan dengan menggunakan *Spend Ore* dengan 3 batch dengan percobaan 1 batch seberat 1 kg, pengujian menggunakan persen solid sebesar 60%, Kemudian setelah ditemukan waktu yang tepat *dilakukan Grinding To target* untuk menganalisis *Partikel Size Distribution* Data yang didapatkan pada proses pengujian pada masing – masing mill 3 dan mill 4 sebagai berikut :

Tabel 3. Waktu *Grinding Establishment* Mill 3

Sample Wt	Water Wt	Grinding Time		+75um	-75um	Total Weight	%Pass at 75 um
g	G			g	g	g	%
1005,9	670,6	7	Minutes	445,25	497,81	943,1	52,8
1002,5	668,3	9,83	Minutes	250,61	713,05	963,7	74,0
1004,4	669,6	10,7	minutes	178,16	788,98	967,1	81,6

Pada Data tersebut didapatkan dengan menggunakan 3 sampel dengan waktu pada sampel pertama selama 7 menit, kemudian dilakukan ekstrapolasi untuk menentukan waktu yang tepat dalam menentukan P80 75 mikron, kemudian dilakukan percobaan kedua dengan waktu selama 9 menit 49

detik, dan dilakukan percobaan ketiga dengan waktu selama 10 menit 42 detik, sehingga didapatkan hasil waktu untuk memperoleh hasil P80 di ukuran 75 mikron selama 10 menit 32 detik. Kemudian didapatkan data untuk mill 4 sebagai berikut :

Tabel 4. Waktu *Grinding Establishment Mill 4*

<i>Sample Wt</i>	<i>Water Wt</i>	<i>Grinding Time</i>			<i>Total Weight</i>	<i>%Pass at 75 um</i>	
			<i>+75um</i>	<i>-75um</i>			
G	g		g	g	g	%	
1006,8	671,2	7	minutes	402,4	580,55	983,0	59,1
1005,0	670,0	8,98	minutes	240	740	980,0	75,5
1001,9	667,9	9,96	minutes	156	800	956,0	83,7

Pada data tersebut didapatkan dengan 3 kali percobaan menggunakan sampel yang sama dan persen solid 60%, dimana pada percobaan pertama sama dengan percobaan sebelumnya yaitu menggunakan waktu 7 menit, kemudian dilakukan ekstrapolasi dan diperoleh estimasi waktu untuk menentukan P80 pada ukuran 75 mikron. Pada waktu 8 menit 58 detik diperoleh %passing 75,5%, kemudian pada waktu 9 menit 59 detik diperoleh %passing 83,7%.

Partikel Size Distribution

Partikel Size Distribution merupakan Distribusi Ukuran Partikel (PSD) adalah cara untuk menunjukkan seberapa beragam ukuran partikel dalam suatu material dalam bentuk grafik. Pada penelitian kali ini menghasilkan 3 partikel size distribusi dengan sampel yang sama dan persen solid yang sama sebesar 60%, dengan beberapa variasi.

Tabel 5. Pengujian Partikel Size Distribution

Mill 3		
<i>Partikel Size Distribution</i>		
Ukuran	Berat	%Pass
106	31,41	96,73883
90	37,2	92,8765
75	117,7	80,65618
53	195,5	60,3582
45	91,64	50,84359
38	98,79	40,58662
-38	390,91	0

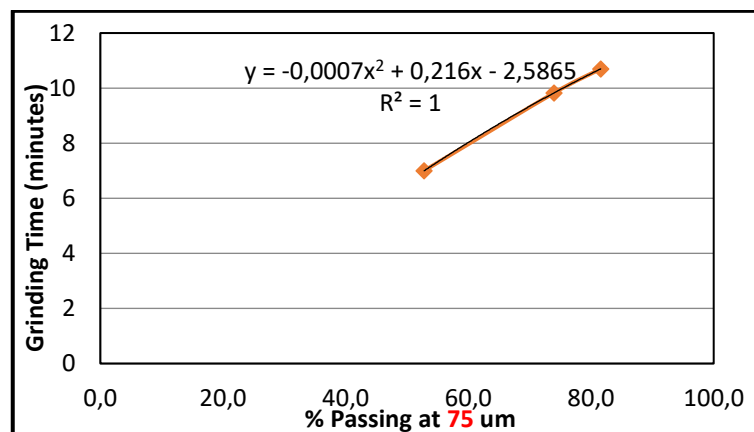
Pada hasil penelitian partikel Size distribution mill 3 dengan berat aktual sebesar 963,15 gram dengan spesifikasi pada ukuran 106 mikron diperoleh hasil %passing sebesar 96,73%, kemudian pada ukuran 90 mikron diperoleh %passing sebesar 92,87%, pada ukuran 75 mikron diperoleh %passing 80,65%, kemudian pada ukuran 53 mikron diperoleh 60,35%, pada ukuran 45 mikron diperoleh %passing sebesar 50,84%, dan pada ukuran 38 mikron diperoleh %passing 40,5%.

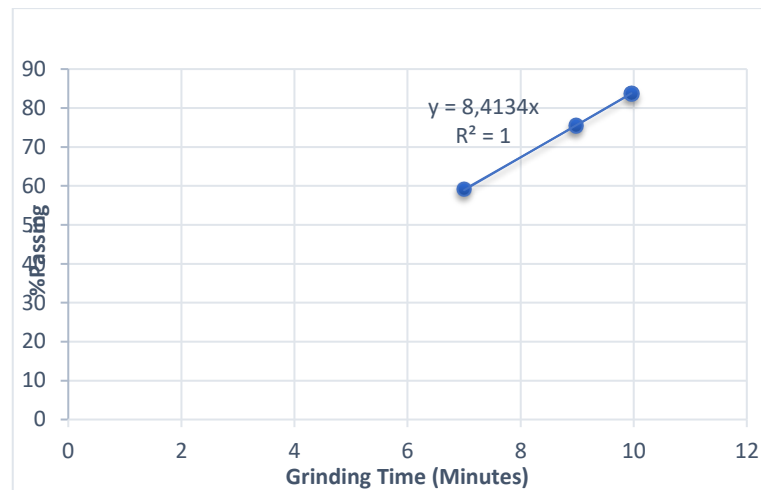
Tabel 6. Pengujian *Partikel Size Distribution* Mill 4

Mill 4		
Partikel Size Distribution		
Ukuran	Berat	%Pass
106	20	98
90	45	93
75	116,5	81
53	223	57
45	96,56	47
38	57,7	41
-38	387,4	0%
Total	946,16	

Pada data diatas diperoleh distribusi ukuran pada mill 4 dimana pada ukuran 106 mikron diperoleh %passing 98%, kemudian pada ukuran 90 mikron diperoleh %passing 93%, pada ukuran 75 mikron diperoleh %passing 81%, lalu pada ukuran 53 micron diperoleh %passing 57%, pada ukuran 45 mikron diperoleh %passing 47%, dan yang terakhir pada ukuran 38 miron diperoleh %passing 41%, dengan berat total aktual pada saat melakukan partikel size distribution adalah 946,16 gram.

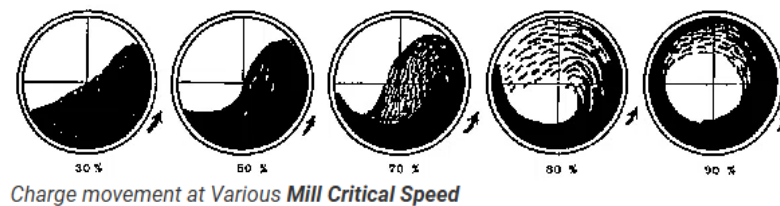
3. Hasil dan Pembahasan

**Gambar 1.** Grafik Hasil Grinding Establishment Mill 3



Gambar 2. Grafik Hasil *Grinding Establishment* Mill 4

Pada Analisis hasil tersebut terdapat perbedaan selama 1 menit, hal ini terjadi dikarenakan berbagai faktor yang dipengaruhi oleh kecepatan dari Mill waktu dilakukan proses penggilingan, hal ini dikarenakan perbedaan RPM yang diperoleh dari Mill 3 dengan Mill 4, dimana pada mill 3 didapatkan kecepatan pada mill 3 sebesar 42, 6 rpm sedangkan untuk kecepatan pada mill 4 sebesar 59,6 rpm, sehingga waktu yang diperlukan untuk proses penggilingan lebih cepat dengan menggunakan mill 4 daripada menggunakan mill 3, hal ini dikarenakan kondisi daripada mill 4 yang memiliki kritikal speed yang lebih tinggi daripada mill 3, seperti dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



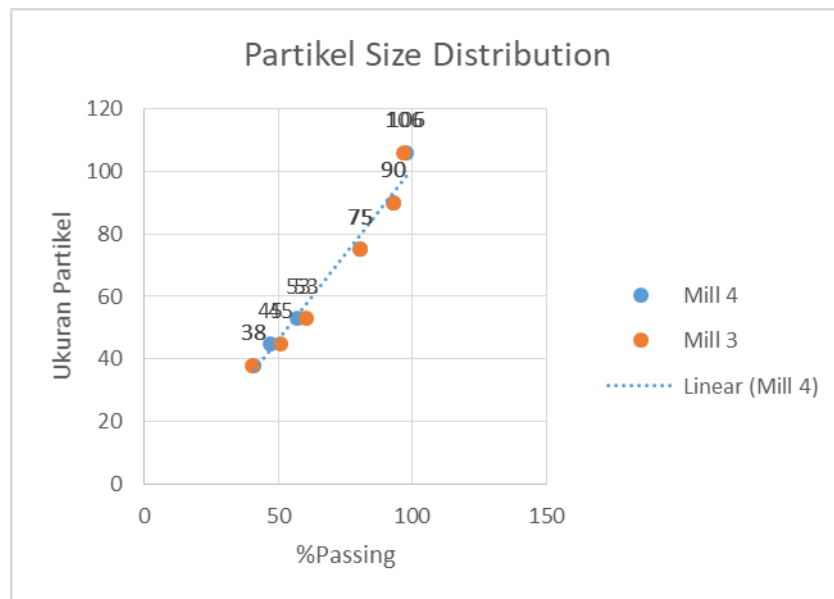
Gambar 3. Grafik Hasil *Grinding Establishment* Mill 4

Pada gambar diatas menunjukkan putaran Rod dalam mill berdasarkan berapa persen terhadap kecepatan kritis. Pada mill 3 dan mill 4 mill memiliki kecepatan kritis sebesar 63,6 rpm dimana dari hasil tersebut diperoleh dari rumus dibawah ini

$$N_c = 76,6 (D^{0,5}) \quad (1)$$

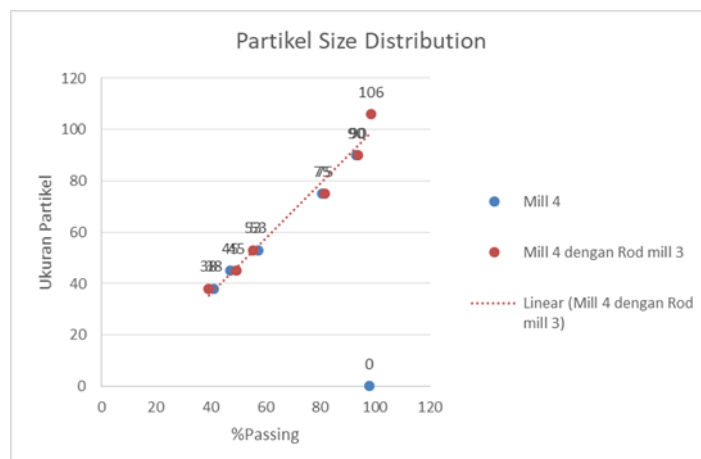
Kemudian dari analisa tersebut maka Mill 4 lebih cepat dalam menggerus bijih pada saat dilakukan *grinding* akan tetapi mill 4 mengalami kehausan lebih besar daripada mill 3, hal tersebut dapat dilihat dari liner dalam mill 4 yang lebih bergelombang daripada mill 3 dan berat media rod pada mill 4 yang lebih ringan daripada mill 4 dimana berat media rod pada mill 4 sebesar 12,9 kg, sedangkan pada mill 3 sebesar 13,5 kg.

Analisis Partikel Size Distribution



Gambar 4. Grafik Hasil PSD Mill 3 dan 4

Pada grafik tersebut menggambarkan hubungan antara ukuran partikel dan persentase lolos ayakan (% passing) untuk dua jenis penggilingan, yaitu Mill 3 dan Mill 4. Hasil analisis menunjukkan bahwa Mill 4 memiliki distribusi ukuran partikel yang lebih seragam, yang terlihat dari pola garis linier yang mendekati data Mill 4. Seiring dengan meningkatnya % passing, ukuran partikel juga bertambah, mulai dari 38 µm pada 40% lolos ayakan hingga mencapai 106 µm pada 100% lolos ayakan dimana untuk mill 3 didapatkan pada ukuran 75 mikron passing yang lolos sebesar 80, 6 % sedangkan pada mill 4 didapatkan hasil ukuran 75 mikron pada passing 81% . Sementara itu, mill 3 menunjukkan variasi distribusi yang lebih halus daripada mill 4. Hal tersebut dikarenakan mill 3 menggerus lebih lama sampel daripada mill 4 sehingga menghasilkan hasil dari ukuran partikel lebih halus daripada mill 4 pada ukuran yang lebih kecil, kemudian selanjutnya dilakukan pengujian lanjutan dengan menggunakan mill 4 namun rodnya diambil dari mill 3 dengan waktu yang sama yaitu 9 menit 31 detik dengan hasil seperti berikut :



Gambar 5. Grafik Hasil PSD Mill 3 dan 4 dengan Rod Mill 3

Dari analisis data hasil tersebut, terlihat bahwa Mill 4 dengan Rod Mill 3 menghasilkan partikel dengan ukuran yang lebih besar pada tingkat % passing yang sama dibandingkan Mill 4. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan Rod Mill 3 cenderung menghasilkan distribusi ukuran partikel yang sedikit lebih besar. Selain itu, Mill 4 menunjukkan titik data yang lebih menyebar, terutama pada tingkat 100% passing, yang mengindikasikan variasi ukuran partikel yang lebih signifikan.

Sementara itu, Mill 4 dengan Rod Mill 3 mengikuti pola yang lebih linier, menunjukkan distribusi ukuran partikel yang lebih seragam. Dalam hal kinerja penggilingan, Mill 4 dengan Rod Mill 3 kurang efektif dalam mereduksi ukuran partikel, karena masih menghasilkan partikel yang cukup besar (sekitar 106 μm) pada tingkat 100% passing. Sebaliknya, Mill 4 cenderung menghasilkan distribusi yang lebih halus dengan ukuran partikel mendekati nol pada tingkat 100% passing.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil Kegiatan Kerja Praktek dapat dihasilkan kesimpulan sebagai berikut.:

1. Waktu optimum penggilingan untuk mencapai target ukuran P80 75 μm berbeda pada kedua mill yang diuji. Mill 3 memerlukan waktu 10 menit 32 detik, sedangkan Mill 4 hanya memerlukan waktu 9 menit 31 detik untuk mencapai ukuran yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa Mill 4 memiliki kinerja penggilingan yang lebih cepat dibandingkan Mill 3..
2. Analisis distribusi ukuran partikel menunjukkan bahwa Mill 4 menghasilkan distribusi ukuran partikel yang lebih seragam dengan nilai P80 sebesar 74,04 μm , sementara Mill 3 menghasilkan nilai P80 sebesar 75,61 μm . Perbedaan ini berkorelasi dengan kecepatan putaran yang lebih tinggi pada Mill 4 (59,6 rpm) dibandingkan Mill 3 (42,6 rpm).
3. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses penggilingan meliputi kecepatan putaran (RPM), berat total batang penggiling (rod), serta kondisi fisik mill. Kecepatan putaran yang lebih tinggi mempercepat proses penggilingan namun juga meningkatkan tingkat keausan pada media penggiling.
4. Efisiensi proses grinding dapat ditingkatkan dengan mengoptimalkan kecepatan putaran, komposisi batang penggiling, serta kondisi operasi lainnya untuk mendapatkan distribusi ukuran partikel yang sesuai dengan spesifikasi tanpa meningkatkan laju keausan media penggiling secara signifikan.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian dan penyusunan jurnal ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga ingin menyampaikan terima kasih yang tulus kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan bantuan selama proses kerja praktik dan penulisan jurnal.

6. Referensi

- [1] B. A. Wills and J. A. Finch, "Chapter 5-comminution," in *Wills' Mineral Processing Technology*, 2016, pp. 109-122.
- [2] C. Celis, A. Antoniou, J. Cuisano, A. Pillihuaman, and D. Maza, "Experimental characterization of chalcopyrite ball mill grinding processes in batch and continuous flow processing modes to reduce energy consumption," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 15, pp. 5428-5444, 2021
- [3] C. Y. Wen and T. Z. Chaung, "Entrainment coal gasification modeling," *Ind Eng Chem Process Des Dev*, vol. 18, no. 4, pp. 684-95, 1979.
- [4] H. Park, "Performance analysis of rod mill grinding and particle size distribution in mineral processing," *Minerals Engineering*, vol. 32, no. 5, pp. 45-52, 2012.
- [5] S. Hannon et al., "Effect of size and density on the thermodynamic predictions of coal particle phase formation during coal gasification," *Fuel Process Technol*, vol. 90, pp. 1114-21, 2009
- [6] H. Lee, M. S. Klima, and P. Saylor, "Evaluation of a laboratory rod mill when grinding bituminous coal," *Fuel*, vol. 92, no. 1, pp. 116-121, 2012.

-
- [7] A. Gupta and D. S. Yan, *Mineral Processing Design and Operations: An Introduction*, 2nd ed., Elsevier, 2016
- [8] T. Napier-Munn, S. Morrell, R. Morrison, and T. Kojovic, *Mineral Comminution Circuits: Their Operation and Optimization*, Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre, 2005.
- [9] O. Altun, H. Benzer, and H. Dundar, "The effects of grinding aids on modelling of air classification of cement," *Powder Technology*, vol. 318, pp. 479–485, 2017.
- [10] K. Schönert, "The significance of comminution energy and wear for the development of crushing and grinding processes," *International Journal of Mineral Processing*, vol. 22, no. 1–4, pp. 11–21, 1988.
- [11] S. Morrell, "Predicting the specific energy of autogenous and semi-autogenous mills from small diameter drill core samples," *Minerals Engineering*, vol. 7, no. 2, pp. 243–256, 1994.
- [12] J. Herbst and D. Fuerstenau, "Scale-up procedures for continuous grinding mill design using population balance models," *International Journal of Mineral Processing*, vol. 7, no. 1, pp. 1–31, 1980.
- [13] P. Radziszewski, "Energy recovery potential in comminution processes," *Minerals Engineering*, vol. 46–47, pp. 83–88, 2013.
- [14] D. Fuerstenau, "Comminution phenomena in the tumbling and high pressure grinding mills," *International Journal of Mineral Processing*, vol. 100, pp. 14–22, 2011.
- [15] M. Powell and A. Mainza, "The status of comminution simulation in Australia," *Minerals Engineering*, vol. 22, no. 9–10, pp. 631–636, 2009.