

Pengaruh Rasio *Zirconia Ball* dengan Serbuk Keramik Alumina pada Proses Penghalusan Serbuk Keramik Alumina dengan Alat *Horizontal Ball Mill*

Ade Indra^{1*}, Rudi Handoko², Asfarizal³^{1,2,3}Institut Teknologi Padang, Indonesia

ABSTRACT

This study aims to determine how the effect of the ratio of zirconia ball to alumina ceramic powder in the process of refining alumina ceramic powder using a horizontal ball mill. The size distribution of alumina ceramic powder was tested using a Particle Size Analyzer (PSA). The microstructure of alumina powder was observed using Scanning Electron Microscopy (SEM). The results of PSA measurements showed that the percentage of alumina powder that was refined at a ratio of 1:20 at 150 rpm for 6 hours became 44.07 μm from the initial powder of 70.28 μm , which was 37.3%. Judging from the sub-micron size (0.1 μm -1 μm), at a particle size of 0.496 μm to 0.954 μm , the percentage of powder that passed the most or was the least retained was in a variation ratio of 1:20. At a ratio of 1:20, the total alumina powder samples tested using a sieving particle size of 0.954 μm obtained a retained percentage of 92.00% and 8% of the 2 grams of alumina powder tested, which weighed 0.16 gram. The results of SEM observations, the ratio variations that produce the most optimal grain shape and size are in the R-1:20 ratio variation test. Alumina powder grains appear to start to irregularly rounded and more grains are < 50 μm in size.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh rasio *zirconia ball* dengan serbuk keramik alumina pada proses penghalusan serbuk keramik alumina menggunakan alat *horizontal ball mill*. Distribusi ukuran serbuk keramik alumina diuji menggunakan *Partikel Size Analiser* (PSA). Struktur mikro serbuk alumina diamati menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Hasil pengukuran PSA menunjukkan persentase serbuk alumina yang dihaluskan pada rasio 1:20 pada putaran 150 rpm selama 6 jam menjadi ukuran 44,07 μm dari serbuk awal 70,28 μm , yakni 37,3%. Ditinjau dari ukuran *sub micron* (0,1 μm -1 μm), pada ukuran partikel 0.496 μm sampai 0,954 μm , persentase serbuk yang paling banyak lolos atau paling sedikit tertahan berada pada variasi rasio 1:20. Pada rasio 1:20, dari total sampel serbuk alumina yang diuji menggunakan ukuran partikel *sieving* 0.954 μm didapatkan persentase tertahan sebanyak 92,00% dan lolos sebanyak 8% dari 2 gram serbuk alumina yang diuji yaitu seberat 0,16 gram. Hasil pengamatan SEM, variasi rasio yang menghasilkan bentuk dan ukuran bulir yang paling optimal berada pada pengujian variasi rasio R-1:20. Bulir serbuk alumina terlihat mulai membulat *irregular* dan lebih banyak bulir yang berukuran < 50 μm .

CONTACT

adeindra@itp.ac.id

KEYWORDS

Keramik Alumina, *Ball zirconia*,
Horizontal Ball Mill

Received: 17/03/2023

Revised: 30/03/2023

Accepted: 01/04/2023

Online: 30/04/2023

Published: 30/04/2023

Risenologi is licenced under a Creative Commons
Attribution 4.0 International Public Licence (CC-
BY 4.0)

PENDAHULUAN

Keramik adalah senyawa padat dari non logam, anorganik, dan metaloid yang tersusun oleh ikatan kovalen dan ikatan ionik (Lin et al, 2018; Wright and Luo, 2020). Material keramik memiliki sifat yang unik di antaranya keras, kuat, stabilitas yang baik pada suhu tinggi, ketahanan terhadap korosi, titik leleh yang tinggi, dan kemampuan sebagai isolator yang baik (Kaur et al, 2019). Namun, material keramik juga memiliki kelemahan, yaitu bersifat getas dengan *fracture toughness* yang rendah (Feng et al, 2014; Indra et al, 2020). Sifat mekanik dari produk keramik dan komposit keramik dipengaruhi oleh bentuk, ukuran, dan distribusi ukuran serbuk (Cai et al, 2009). Pemanfaatan material keramik sudah diterapkan pada berbagai kebutuhan masyarakat ataupun industri seperti bidang otomotif (Li et al, 2021; Lee et al, 2021) bahan-bahan isolator (Dai and Li, 2018), bahan-bahan optik (Aung et al, 2020; Cao et al, 2021), dan aplikasi produk-produk bidang kesehatan (Indra et al, 2021; Mao et al, 2018; Singh et al, 2019).

Produk berbahan keramik dibuat dengan metode metalurgi serbuk (Xiong et al, 2016). Hal ini disebabkan oleh proses pengecoran sulit dilakukan. Tahapan dalam metode metalurgi serbuk yaitu persiapan serbuk keramik, proses cetak hasilkan *green body*, dan proses sintering untuk menghasilkan *sintered body*. Selain itu, terdapat metode lainnya dalam pembuatan produk keramik, seperti *pressureless sintering*, *hot pressing*, dan *slip casting*.

Salah satu jenis material keramik adalah alumina (Al_2O_3). Material keramik jenis alumina banyak dipakai pada industri semen, yakni untuk segmen Tyre Vertikal Mill. Produk keramik alumina digunakan untuk campuran logam dalam bentuk serbuk. Ukuran dari serbuk alumina sangat menentukan kualitas produk yang akan dihasilkan. Semakin kecil ukuran partikel serbuk alumina maka akan semakin kuat kekuatan mekaniknya (Indra et al, 2020). Salah satu metode untuk menghaluskan serbuk keramik secara terus menerus, *ball mill* merupakan *Semi-Autogenous Grinding* (SAG) (Starkey, 2004).

Ukuran keramik alumina di pasaran umumnya bervariasi mulai dari ukuran butiran atau *pellet* dengan diameter 1 (satu) hingga 13 (tiga belas) mm dan serbuk dengan ukuran hingga 13 (tiga belas) nm. Ukuran keramik alumina memengaruhi harga jual pasarnya, sebagai contoh dalam situs aplikasi Merck KGaA (sigmaaldrich.com) alumina pellet 3 (tiga) mm dihargai SGD\$ 125,35 atau Rp1.842,645/250 gram, sedangkan alumina serbuk dalam ukuran nanometer dihargai SGD\$ 579 atau Rp8.511.300/250 gram. Hal ini menjadikan penelitian dalam bidang produksi keramik alumina untuk ukuran nanometer memiliki potensi ekonomi dan dapat membantu ketersediaan kebutuhan material keramik alumina serbuk dalam negeri yang selaras dengan program pemerintah dalam pengadaan bahan baku peralatan industri yang disebut juga dengan nama Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) seperti yang tertuang dalam keputusan presiden nomor 24 tahun 2018 tentang Tim Nasional Peningkatan Penggunaan Produksi Dalam Negeri.

Pada beberapa penelitian sebelumnya, serbuk keramik alumina dihaluskan kembali dan disintesis dengan unsur material lainnya dengan pengaturan komposisi yang berbeda untuk meninjau perubahan kualitas keramik, memperoleh hasil bahwa kenaikan kekuatan material keramik hingga 57% dapat dilakukan dengan menambahkan *Hydroxyapatite* (HA) ke dalam *sintered body* (Indra et al, 2020).

Pada beberapa penelitian lainnya telah dilakukan percobaan penghalusan serbuk keramik alumina mulai dari variasi diameter *ball zirconia* dan pengaturan rasio komposisi campuran material untuk mengetahui perubahan kualitas keramik. Proses penghalusan serbuk keramik dengan menggunakan *ball mill* membutuhkan beberapa parameter seperti ukuran *ball zirconia*, perbandingan atau rasio antara *ball zirconia* dan serbuk alumina serta kecepatan putar *ball mill* (rpm). Perbandingan bobot serbuk alumina berkisar antara 5 gram sampai dengan 35 gram dan bobot *ball zirconia* seberat 500 gram. Dari hasil penelitian pada bahan serbuk alumina ukuran *ball* sangat berpengaruh terhadap ukuran serbuk atau partikel dengan cara memvariasikan putaran *mill jar*. Ditemukan adanya faktor yang berpengaruh terhadap perubahan hasil ukuran serbuk alumina yang digiling menggunakan *zirconia ball* dengan variasi ukuran 1, 2, 3, 5, dan 10 mm dengan variasi kecepatan putaran *ball mill* pada 50 rpm, 100 rpm, dan 153 rpm. Dimana ukuran terkecil yang dicapai sebesar $0.84\ \mu\text{m}$, secara optimal didapatkan dengan menggunakan *zirconia ball* ukuran 2 mm dan pengaturan kecepatan putaran *ball mill* sebesar 153 rpm (Shin et al, 2013).

Pada penelitian penghalusan serbuk *boron carbide* (B_4C) berukuran $49\ \mu\text{m}$ dengan *tungsten carbide ball* dengan diameter 5 mm sebagai media penggerusnya dengan beberapa parameter, yaitu lama penggilingan, putaran penggilingan, dan ratio antara *ball* dengan serbuk. Variasi lama waktu penggilingan yang dipakai ada tiga macam (1 jam, 3 jam dan 5 jam), dan variasi putaran mill jar (100 rpm, 200 rpm dan 300 rpm). Dari hasil penelitian tersebut, didapatkan ukuran serbuk terbaik, yaitu dengan ukuran $0,7\ \mu\text{m}$ pada eksperimen RXM – 8 dengan lama penggilingan 5 jam, putaran *mill* 300 rpm, dan ratio 15 berbanding 1 (Erdemir, 2017).

Penelitian mengenai pemakaian *ball mill*, dimana optimasi dari rasio berat *ball mill* dan serbuk, merupakan parameter yang menentukan. Pengaturan diagram skematik proses dan hasil pengujian bisa dilihat parameter proses optimum yg menyimpulkan bahwa rasio berat *ball mill* : serbuk adalah 20:1 dalam hal persentase berat, kapasitas kerja *ball mill* optimum adalah 2 liter, sedangkan kecepatan optimum *ball mill* adalah 105 rpm (Hussain, 2021).

Pada studi penghalusan serbuk dengan *ball mill* dengan variasi putaran (25 rpm, 37,5 rpm, 50 rpm) dan variasi waktu (30, 45, dan 60 menit). Dari studi tersebut terlihat rpm mempengaruhi secara signifikan terhadap sifat, seperti distribusi ukuran partikel, sifat reologi, dan tekstur (Pajin and Torbica, 2017).

Pada penelitian ini, akan ditinjau pengaruh rasio campuran *ball zirconia* terhadap serbuk alumina dengan menggunakan proses *horizontal ball mill*. Hasil penelitian ini akan dilakukan pengujian dengan *Partikel Size Analyser* (PSA) (Nuraeni et al, 2013), pengamatan struktur mikro dan karakterisasi komposisi kimia (Zhou et al, 2007) dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). SEM efektif untuk menganalisis bahan baik organik maupun anorganik pada skala nanometer ke mikrometer (Abdullah and Mohammed, 2019).

METODE

Pada penelitian ini dilakukan penghalusan ukuran serbuk keramik alumina dengan cara memvariasikan ratio *ball zirconia* dengan serbuk alumina. *Ball zirconia* dan serbuk keramik alumina dimasukan ke dalam *mill jar* sesuai dengan variasi rasio yang telah ditetapkan, yaitu 1:10, 1:15, 1:20, 1: 25, 1:30, 1:35, 1:40, 1:45, dan 1:50. Setiap variasi rasionya dilakukan proses penghalusan dengan alat *Horizontal Ball Mill* selama 6 (enam) jam, dengan putaran 150 rpm, dan

berat *ball zirconia* 800 gram. Setelah dihaluskan, serbuk alumina dipisahkan dengan *ball zirconia* menggunakan *sieving mesh* 40. Serbuk alumina yang telah terpisah diukur menggunakan *Partikel Size Analiser* (PSA) dengan range 0,375 μm hingga 2.000 μm untuk mengetahui ukuran dan distribusi serbuk alumina dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengamati struktur mikro material tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengujian distribusi ukuran serbuk keramik alumina

Pada pengujian PSA ini memakai *sieving* PSA dengan range ukuran partikel (ukuran serbuk) antara 0,375 μm hingga 20.000 μm , seberat 2 gram serbuk alumina. Partikel alumina yang berukuran lebih besar dari ukuran partikel PSA akan tertahan atau yang tidak lolos (dalam %) ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Persentase serbuk alumina yang tidak lolos di *sieving* PSA pada setiap variasi ukuran partikel

Ukuran Partikel	Rasio									
	Bahan	R-1:10	R- 1:15	R-1:20	R-1:25	R-1:30	R-1:35	R-1:40	R-1:45	R-1:50
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,496 μm	99,8	99,20	99,40	98,90	99,50	99,30	99,00	98,90	99,20	99,20
0,954 μm	99	94,80	94,90	92,00	95,90	94,70	92,20	92,10	93,70	94,00
2,92 μm	98,7	92,60	88,50	83,40	90,70	87,50	82,70	82,00	86,90	87,30
5,111 μm	98,5	90,80	85,60	78,70	89,00	83,70	78,50	78,00	84,70	85,10
9,819 μm	98,2	88,80	82,30	73,50	87,30	79,60	74,50	74,20	82,30	82,50
20,71 μm	97,4	86,50	79,70	70,20	85,80	76,30	72,00	71,20	80,20	79,90
30,07 μm	96,3	83,70	76,70	66,40	83,50	73,20	68,30	67,90	77,20	76,40
43,67 μm	90,4	75,50	66,80	57,60	74,80	62,90	58,90	59,30	68,30	67,00
92,1 μm	16,1	9,06	5,95	2,81	8,69	6,20	5,85	4,17	9,06	9,15
176,9 μm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00

Berdasarkan tabel di atas, berikut ini merupakan pembahasan hasil pengujian serbuk khusus pada R-1:20, yang mana menggunakan variasi rasio *sieving* PSA dengan range ukuran partikel (ukuran serbuk) antara 0,496 μm hingga 176,9 μm ;

- 1) Ukuran partikel 0,496 μm : Dari 2 gram sampel serbuk alumina yang diuji, serbuk alumina yang tidak lolos dari *sieving* sebanyak 98,90% sehingga serbuk yang lolos dari *sieving* sebanyak 1,1% atau seberat 0,022 gram.
- 2) Ukuran partikel 0,954 μm : Dari 2 gram sampel serbuk alumina yang diuji, serbuk alumina yang tidak lolos dari *sieving* sebanyak 92,00% sehingga serbuk yang lolos dari *sieving* sebanyak 8% atau seberat 0,16 gram.
- 3) Ukuran partikel 2,92 μm : Dari 2 gram sampel serbuk alumina yang diuji, serbuk alumina yang tidak lolos dari *sieving* sebanyak 83,40% sehingga serbuk yang lolos dari *sieving* sebanyak 16,60% atau seberat 0,332 gram.
- 4) Ukuran partikel 5,111 μm : Dari 2 gram sampel serbuk alumina yang diuji, serbuk alumina yang tidak lolos dari *sieving* sebanyak 78,70% sehingga serbuk yang lolos dari *sieving* sebanyak 21,30% atau seberat 0,426 gram.
- 5) Ukuran partikel 9,819 μm : Dari 2 gram sampel serbuk alumina yang diuji, serbuk alumina yang tidak lolos dari *sieving* sebanyak 73,50% sehingga serbuk yang lolos dari *sieving* sebanyak 26,5% atau seberat 0,53 gram.
- 6) Ukuran partikel 20,71 μm : Dari 2 gram sampel serbuk alumina yang diuji, serbuk alumina yang tidak lolos dari *sieving* sebanyak 70,20% sehingga serbuk yang lolos dari *sieving* sebanyak 29,8% atau seberat 0,596 gram.
- 7) Ukuran partikel 30,07 μm : Dari 2 gram sampel serbuk alumina yang diuji, serbuk alumina yang tidak lolos dari *sieving* sebanyak 66,40% sehingga serbuk yang lolos dari *sieving* sebanyak 33,60% atau seberat 0,672 gram.
- 8) Ukuran partikel 43,67 μm : Dari 2 gram sampel serbuk alumina yang diuji, serbuk alumina yang tidak lolos dari *sieving* sebanyak 57,60% sehingga serbuk yang lolos dari *sieving* sebanyak 42,40% atau seberat 0,848 gram.
- 9) Ukuran partikel 92,1 μm : Dari 2 gram sampel serbuk alumina yang diuji, serbuk alumina yang tidak lolos dari *sieving* sebanyak 2,81% sehingga serbuk yang lolos dari *sieving* sebanyak 97,19% atau seberat 1,9438 gram.
- 10) Ukuran partikel 176,9 μm : Dari 2 gram sampel serbuk alumina yang diuji, serbuk alumina yang tidak lolos dari *sieving* sebanyak 0,0% sehingga serbuk yang lolos dari *sieving* sebanyak 100% atau seberat 2,0 gram.

Dapat disimpulkan dari semua variasi rasio, yang menghasilkan persentase serbuk paling optimal dihasilkan oleh variasi rasio R-1:20 dengan 8% serbuk alumina yang berukuran submikron atau seberat 0,16 gram dari 2 gram sampel yang diuji.

Persentase dan berat serbuk alumina yang lolos dari *sieving* PSA berdasarkan ukuran partikel ditunjukkan pada tabel 2 dan 3 berikut ini:

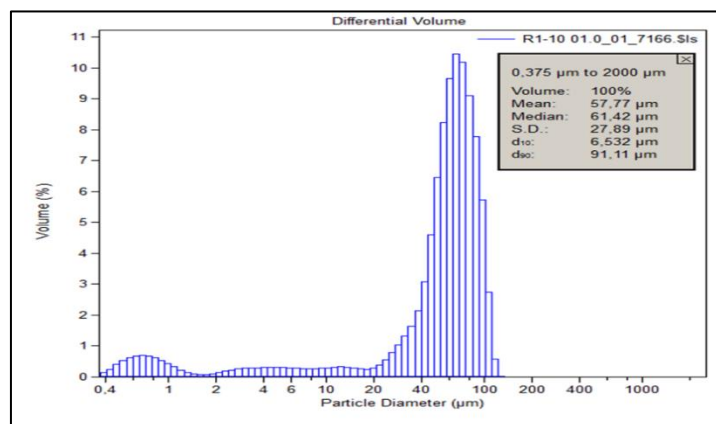
Tabel 2. Persentase serbuk alumina yang lolos dari sieving PSA pada setiap variasi ukuran partikel.

Ukuran Partikel	Rasio									
	Bahan	R-1:10	R-1:15	R-1:20	R-1:25	R-1:30	R-1:35	R-1:40	R-1:45	R-1:50
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,496 μm	0,2	0,80	0,60	1,10	0,50	0,70	1,00	1,10	0,80	0,80
0,954 μm	1	5,20	5,10	8,00	4,10	5,30	7,80	7,90	6,30	6,00
2,92 μm	1,3	7,40	11,50	16,60	9,30	12,50	17,30	18,00	13,10	12,70
5,111 μm	1,5	9,20	14,40	21,30	11,00	16,30	21,50	22,00	15,30	14,90
9,819 μm	1,8	11,20	17,70	26,50	12,70	20,40	25,50	25,80	17,70	17,50
20,71 μm	2,6	13,50	20,30	29,80	14,20	23,70	28,00	28,80	19,80	20,10
30,07 μm	3,7	16,30	23,30	33,60	16,50	26,80	31,70	32,10	22,80	23,60
43,67 μm	9,6	24,50	33,20	42,40	25,20	37,10	41,10	40,70	31,70	33,00
92,1 μm	83,9	90,94	94,05	97,19	91,31	93,80	94,15	95,83	90,94	90,85
176,9 μm	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,97	100,00

Tabel 3. Berat serbuk alumina yang tertahan di sieving PSA pada setiap variasi ukuran partikel

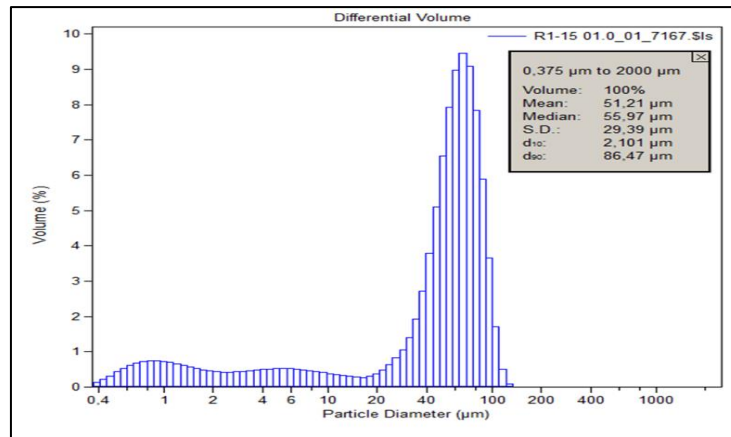
Ukuran Partikel	Rasio									
	Bahan	R-1:10	R-1:15	R-1:20	R-1:25	R-1:30	R-1:35	R-1:40	R-1:45	R-1:50
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,496 μm	0,004	0,016	0,012	0,022	0,001	0,014	0,02	0,022	0,016	0,016
0,954 μm	0,02	0,104	0,102	0,16	0,082	0,106	0,156	0,158	0,126	0,12
2,92 μm	0,026	0,148	0,23	0,332	0,186	0,25	0,346	0,36	0,262	0,254
5,111 μm	0,03	0,184	0,288	0,426	0,22	0,326	0,43	0,44	0,306	0,298
9,819 μm	0,036	0,224	0,354	0,53	0,254	0,408	0,51	0,516	0,354	0,35
20,71 μm	0,052	0,27	0,406	0,596	0,284	0,474	0,56	0,576	0,396	0,402
30,07 μm	0,074	0,326	0,466	0,672	0,33	0,536	0,634	0,642	0,456	0,472
43,67 μm	0,192	0,49	0,664	0,848	0,504	0,742	0,822	0,814	0,634	0,66
92,1 μm	1,678	1,8188	1,881	1,9438	1,8262	1,876	1,883	1,9166	1,8188	1,817
176,9 μm	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Pengujian PSA dari masing-masing variasi rasio untuk mengetahui nilai distribusi ukuran serbuk alumina dapat dilihat pada grafik dibawah ini (Gambar 1 sd. 10):



Gambar 1. Grafik Distribusi dan Mean serbuk alumina pada Rasio 1:10

Pada pengujian rasio 1: 10 dapat diketahui:
Rata-rata ukuran serbuk adalah 57,77 μm .
Median ukuran serbuk adalah 61,42 μm .

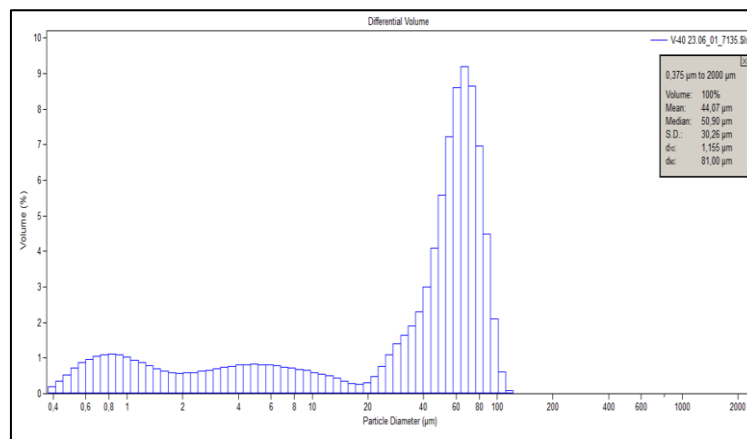


Gambar 2. Grafik Distribusi dan Mean serbuk alumina pada Rasio 1:15

Pada pengujian rasio 1: 15 dapat diketahui:

Rata-rata ukuran serbuk adalah 51,21 µm.

Median ukuran serbuk adalah 55,97 µm.

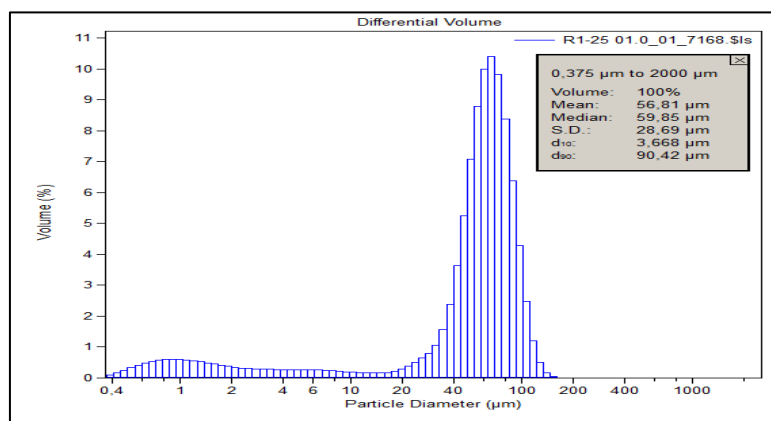


Gambar 3. Grafik Distribusi dan Mean serbuk alumina pada Rasio 1:20

Pada pengujian rasio 1: 20 dapat diketahui:

Rata-rata ukuran serbuk adalah 44,07 µm.

Median ukuran serbuk adalah 50,90 µm.

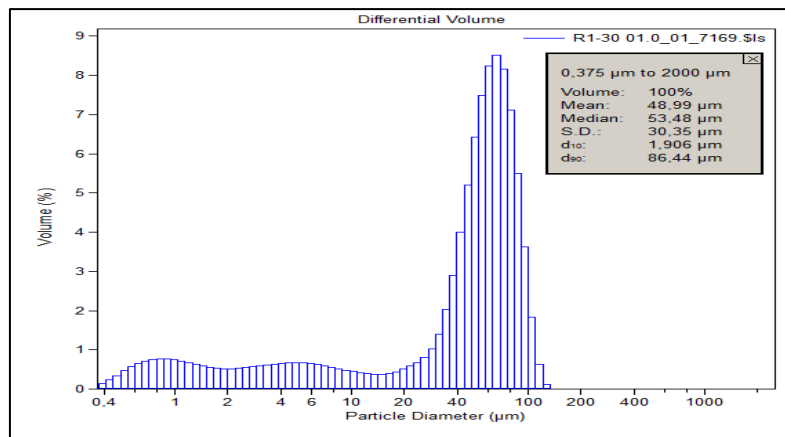


Gambar 4. Grafik Distribusi dan Mean serbuk alumina pada Rasio 1:25

Pada pengujian rasio 1: 25 dapat diketahui:

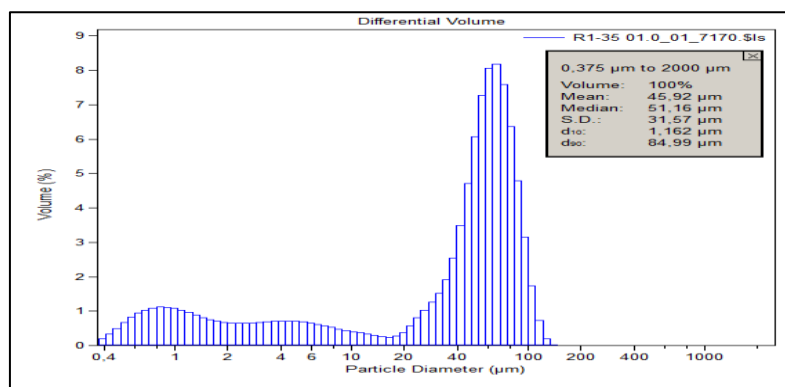
Rata-rata ukuran serbuk adalah 56,81 µm.

Median ukuran serbuk adalah 59,85 µm.



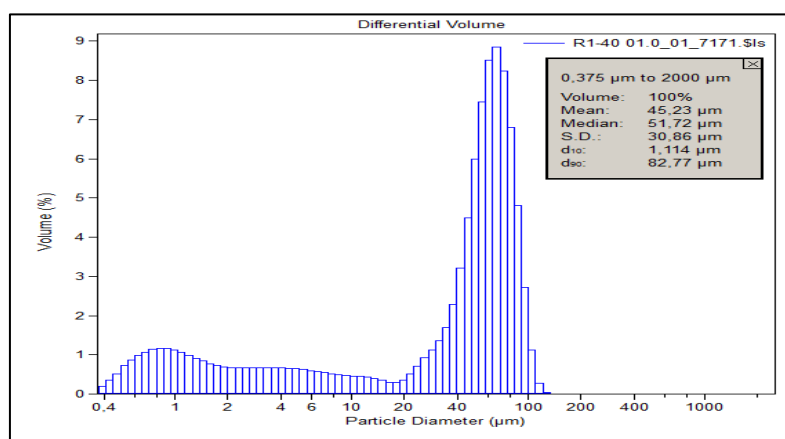
Gambar 5. Grafik Distribusi dan Mean serbuk alumina pada Rasio 1:30

Pada pengujian rasio 1: 30 dapat diketahui:
Rata-rata ukuran serbuk adalah 48,99 μm.
Median ukuran serbuk adalah 53,48 μm.



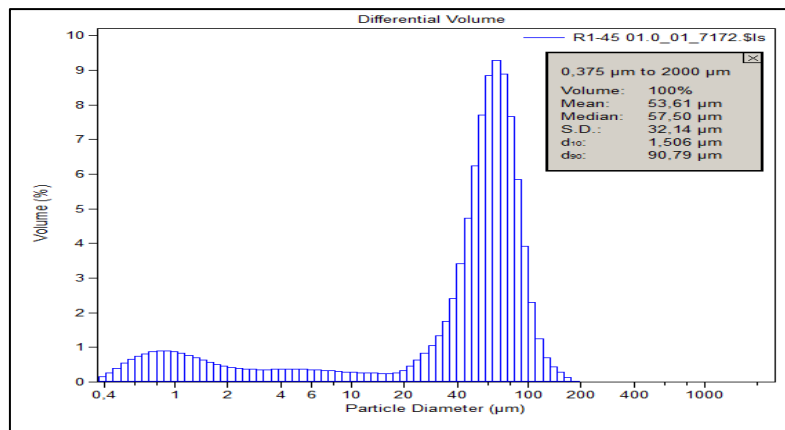
Gambar 6. Grafik Distribusi dan Mean serbuk alumina pada Rasio 1:35

Pada pengujian rasio 1: 35 dapat diketahui:
Rata-rata ukuran serbuk adalah 45,92 μm.
Median ukuran serbuk adalah 51,16 μm.



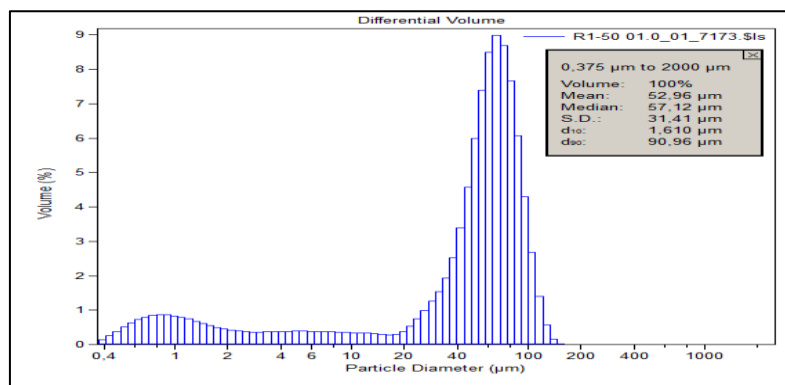
Gambar 7. Grafik Distribusi dan Mean serbuk alumina pada Rasio 1:40

Pada pengujian rasio 1: 40 dapat diketahui:
Rata-rata ukuran serbuk adalah 45,23 μm.
Median ukuran serbuk adalah 51,72 μm.



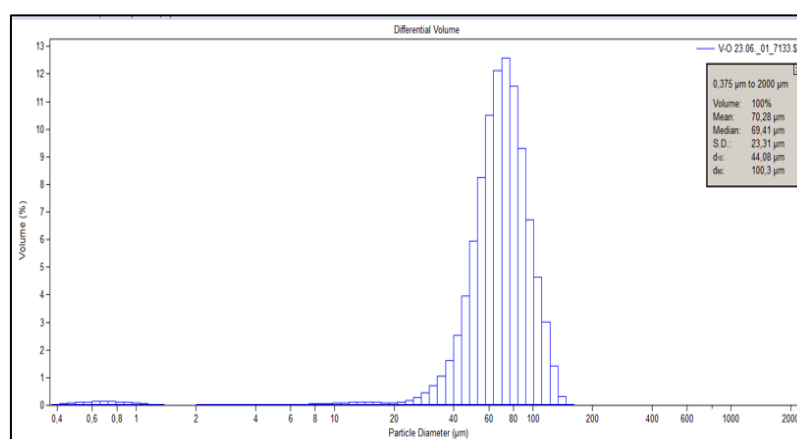
Gambar 8. Grafik Distribusi dan Mean serbuk alumina pada Rasio 1:45

Pada pengujian rasio 1: 45 dapat diketahui:
Rata-rata ukuran serbuk adalah 53,61 µm.
Median ukuran serbuk adalah 57,50 µm.



Gambar 9. Grafik Distribusi dan Mean serbuk alumina pada Rasio 1:50

Pada pengujian rasio 1: 50 dapat diketahui:
Rata-rata ukuran serbuk adalah 52,96 µm.
Median ukuran serbuk adalah 57,12 µm.

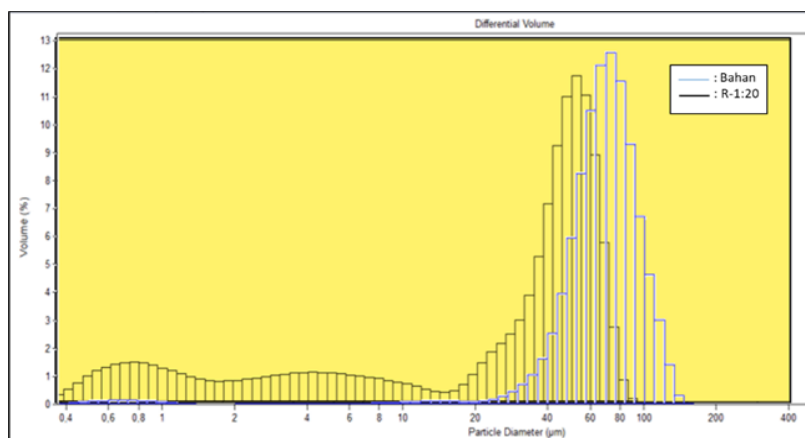


Gambar 10. Grafik Distribusi dan Mean serbuk alumina pada Rasio 1:55

Pada bahan serbuk alumina dapat diketahui:
Rata-rata ukuran serbuk adalah 70,28 µm.
Median ukuran serbuk adalah 69,41 µm

1.1 Analisis berdasarkan distribusi dan rata-rata (*mean*) serbuk alumina.

Perbandingan berdasarkan ukuran rata-rata (*mean*) partikel serbuk alumina antara sebelum dan sesudah pengujian dapat dilihat pada grafik dibawah ini (Gambar 11):



Gambar 11. Perbandingan Grafik Distribusi dan *Mean* bahan serbuk alumina Dengan Hasil optimal rasio 1:20

Ukuran rata-rata (*mean*) serbuk alumina berdasarkan variasi rasio ditampilkan pada tabel 4.

Tabel 4. Ukuran rata-rata (*mean*) serbuk alumina berdasarkan variasi rasio

Sampel code	Variasi rasio alumina powder zirconia ball (wt%)	Putaran mill jar (rpm)	Persentase Zirconia ball thd vol mill jar (%)	Rerata Powder seze alumina, uji PSA (μm)
R-1:10	1:10	150	40	57,77
R-1:15	1:15	150	40	51,21
R-1:20	1:20	150	40	44,07
R-1:25	1:25	150	40	56,81
R-1:30	1:30	150	40	48,99
R-1:35	1:35	150	40	45,92
R-1:40	1:40	150	40	45,23
R-1:45	1:45	150	40	53,61
R-1:50	1:50	150	40	52,96

Berdasarkan tabel 4 didapatkan rata-rata hasil penghalusan serbuk keramik alumina pada masing-masing variasi rasio yang paling optimal terdapat pada rasio 1:20 yaitu sebesar 44,07 μm. Dibandingkan dengan penelitian lainnya (Shin et al, 2013) dengan 2 mm *ball zirconia* dengan berat 500 gram, 153 rpm dalam waktu 12 jam ukuran serbuk alumina yang dicapai, yaitu 84 μm.

Persentase optimal serbuk alumina yang dapat dihaluskan dari ukuran awalnya dapat ditentukan menggunakan rumus, yaitu seperti pada persamaan 1 berikut:

$$\%R20 = \frac{R0 - R20}{R0} \quad (1)$$

$$\%R20 = \frac{70,28 - 44,07}{70,28}$$

$$\%R20 = 0,373 = 37,3 \%$$

Dengan R0 adalah ukuran rata-rata bahan serbuk alumina (μm), R20 adalah ukuran rata-rata serbuk alumina pada rasio 1:20 dengan satuan mikrometer (μm).

Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa serbuk alumina dapat dihaluskan secara optimal dari ukuran awalnya sebesar 37,3 %. Variasi rasio teroptimal berada pada R-1:20.

1.2 Analisis berdasarkan distribusi pada ukuran sub mikron (100 nm-1 μ m) partikel serbuk alumina.

Tabel 5. Volume ukuran sub mikron serbuk alumina berdasarkan variasi rasio

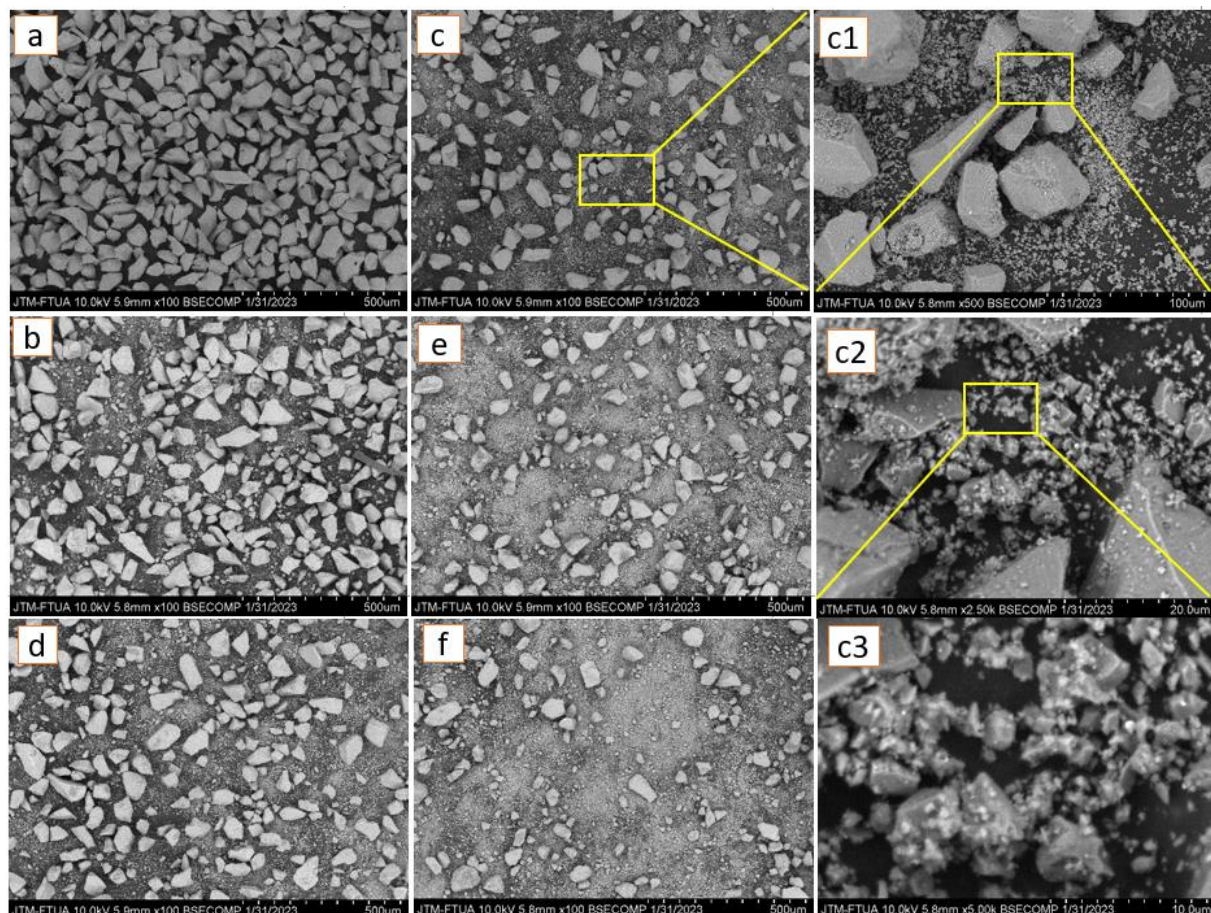
Ukuran Partikel Sieving		Rasio									
		Bahan	R-1:10	R-1:15	R-1:20	R-1:25	R-1:30	R-1:35	R-1:40	R-1:45	R-1:50
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,496	μ m	99,8	99,20	99,40	98,90	99,50	99,30	99,00	98,90	99,20	99,20
0,954	μ m	99	94,80	94,90	92,00	95,90	94,70	92,20	92,10	94,70	94,00
Sub Mikron (%)	0.1-1 μ m	1	5,2	5,1	8	4,1	5,3	7,8	7,9	6,3	6

Pada ukuran partikel 0,496 μ m sampai 0,954 serbuk berada pada ukuran sub mikron, persentase serbuk yang paling banyak lolos atau paling sedikit tertahan berada pada variasi rasio R-1:20. Pada rasio R-1:20, persentase tertahan sebanyak 92,00% yang berukuran lebih besar dari 0.954 μ m dari total sampel serbuk alumina yang diuji, dengan demikian yang lolos dari sieving 0.954 sebanyak 8%. Jadi, berat serbuk di bawah ukuran 0,954 μ m adalah 8% dari 2 gram serbuk alumina yang diuji, yaitu seberat 0,16 gram.

Berdasarkan data dan perhitungan diatas didapatkan serbuk alumina dengan ukuran *sub micron* mempunyai persentase teroptimal berada pada variasi rasio R-1:20, yaitu sebesar 8% dari bahan serbuk alumina.

2. Pengamatan struktur mikro serbuk alumina

Berdasarkan hasil pengamatan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada serbuk alumina dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 12. Foto SEM dengan pembesaran: a) bentuk Awal 100X, b) R-1:10 100X, c) R-1:20 100X, c1) R-1:20 500X, c2) R-1:20 2500X, c3) R-1:20 5000X d) R-1:30 100X, e) R-1:40 100X, f) R-1:20 500X

Dapat disimpulkan variasi rasio R-1:20 menghasilkan bentuk butiran serbuk alumina yang berbentuk bulat irregular yang terlihat pada pembesaran 5000 kali, serbuk yang berbentuk bulat reguler lebih baik dari pada bentuk bulat irregular. Serbuk yang berbentuk reguler memiliki permukaan yang sama bentuk permukaannya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, didapatkan variasi rasio yang paling optimal untuk menghasilkan ukuran rata-rata serbuk alumina adalah pada rasio R-1:20. Persentase serbuk alumina yang dihaluskan pada rasio R-1:20 pada putaran 150 rpm menjadi ukuran 44,07 μm dari 70,28 μm , yakni 37,3%. Variasi rasio yang paling optimal menghasilkan persentase pada ukuran *sub mikron* (0,1 μm -1 μm) adalah rasio R-1:20 yaitu 8% dari total sampel uji. Hasil pengamatan SEM, variasi rasio yang menghasilkan bentuk dan ukuran butir yang paling optimal berada pada pengujian variasi rasio R-1:20. Butir serbuk alumina terlihat mulai membulat *irregular* dan lebih banyak butiran yang berukuran < 50 μm .

REFERENSI

- Abdullah, A., Mohammed, A., 2019. Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review. Proc. 2018 Int. Conf. Hydraul. Pneum. - HERVEX 77–85.
- Aung, Y.L., Ikesue, A., Yasuhara, R., Iwamoto, Y., 2020. Optical properties of improved Tb₂Hf₂O₇ pyrochlore ceramics. J. Alloys Compd. 153564. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.153564>
- Cai, X., Tong, H., Shen, X., Weixuan Chen, Yan, J., Hu, J., 2009. Preparation and characterization of homogeneous chitosan–polylactic acid hydroxyapatite nanocomposite for bone tissue engineering and evaluation of its mechanical properties.pdf.
- Cao, Z., Dai, S., Ding, S., Wang, M., Xu, L., 2021. Chalcogenide glass ceramics : A high-performing innovative infrared acousto-optic material. J. Eur. Ceram. Soc. 41, 7215–7221. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2021.07.022>
- Dai, J., Li, J., 2018. Scripta Materialia Promising magneto-optical ceramics for high power Faraday isolators. Scr. Mater. 155, 78–84. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2018.06.031>
- Erdemir, F., 2017. Study on particle size and X-ray peak area ratios in high energy ball milling and optimization of the milling parameters using response surface method. Meas. J. Int. Meas. Confed. 112, 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.08.021>
- Feng, P., Niu, M., Gao, C., Peng, S., Shuai, C., 2014. A novel two-step sintering for nano-hydroxyapatite scaffolds for bone tissue engineering. Sci. Rep. 4, 1–10. <https://doi.org/10.1038/srep05599>
- Hussain, Z., 2021. Comparative Study on Improving the Ball Mill Process Parameters Influencing on the Synthesis of Ultrafine Silica Sand: A Taguchi Coupled Optimization Technique. Int. J. Precis. Eng. Manuf. 22, 679–688. <https://doi.org/10.1007/s12541-021-00492-3>
- Indra, A., Firdaus, R., Mulyadi, I.H., Affi, J., Gunawarman, 2020. Enhancing the physical and mechanical properties of pellet-shaped hydroxyapatite by controlling micron- and nano-sized powder ratios. Ceram. Int. 46, 15882–15888. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.03.136>
- Indra, A., Hadi, F., Hari, I., Affi, J., 2021. A novel fabrication procedure for producing high strength hydroxyapatite ceramic scaffolds with high porosity. Ceram. Int. 47, 26991–27001. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.06.112>
- Kaur, G., Kumar, V., Baido, F., Mauro, J.C., Pickrell, G., Evans, I., Bretcanu, O., 2019. Mechanical properties of bioactive glasses, ceramics, glass-ceramics and composites: State-of-the-art review and future challenges. Mater. Sci. Eng. C 104, 109895. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.109895>
- Lee, J.W., M.C., J., H.B., B., S.W., C., H., D.J., C.B. Yoon, 2021. Effect of Using MgO, CaO additives as sintering aid in pressureless sintering of M₂Si₅N₈:Eu²⁺ (M = Ba, Sr) phosphor ceramics for amber LED automotive applications. J. Alloys Compd. 858, 157710. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.157710>
- Li, W., Yang, X., Wang, S., Xiao, J., Hou, Q., 2021. Research and prospect of ceramics for automotive disc-brakes. Ceram. Int. 47, 10442–10463. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.12.206>
- Lin, C., Rüssel, C., Dai, S., 2018. Chalcogenide glass-ceramics: Functional design and crystallization mechanism. Prog. Mater. Sci. 93, 1–44. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2017.11.001>
- Mao, D., Li, Q., Bai, N., Dong, H., Li, D., 2018. Porous stable poly (lactic acid)/ ethyl cellulose / hydroxyapatite composite scaffolds prepared by a combined method for bone regeneration. Carbohydr. Polym. 180, 104–111. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.031>
- Nuraeni, W., Daruwati, I., W, E.M., Sriyani, M.E., 2013. Verifikasi kinerja alat Particle Size Analyzer (PSA) Horiba

- Lb-550 untuk penentuan distribusi ukuran nanopartikel. Pros. Semin. Nas. Sains dan Teknol. Nukl. 268–269.
- Pajin, B.S., Torbica, A.M., 2017. Optimazation of the ball mill processing parameters in the fat filling production, scientific paper. Chem. Ind. Chem. Eng. Q. 23, 197–206.
- Shin, H., Lee, S., Suk Jung, H., Kim, J.B., 2013. Effect of ball size and powder loading on the milling efficiency of a laboratory-scale wet ball mill. Ceram. Int. 39, 8963–8968. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.04.093>
- Singh, M.K., Zafar, S., Talha, M., 2019. Development of porous bio-composites through microwave curing for bone tissue engineering. Mater. Today Proc. 18, 731–739. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.478>
- Starkey, J., 2004. Ball Mill 2, 1–2.
- Wright, A.J., Luo, J., 2020. A Step Forward from High-Entropy Ceramics to Compositionally Complex Ceramics : A New Perspective. <https://doi.org/10.1007/s10853-020-04583-w>
- Xiong, G., Nie, Y., Ji, D., Li, J., Li, C., Li, W., Zhu, Y., Luo, H., Wan, Y., 2016. Characterization of biomedical hydroxyapatite/magnesium composites prepared by powder metallurgy assisted with microwave sintering. Curr. Appl. Phys. 16, 830–836. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2016.05.004>
- Zhou, W., Apkarian, R., Wang, Z.L., Joy, D., 2007. Fundamentals of scanning electron microscopy (SEM). Scanning Microsc. Nanotechnol. Tech. Appl. 1–40. https://doi.org/10.1007/978-0-387-39620-0_1