

**ANALISA PENGARUH JUMLAH DAN DIAMETER BOLA
PENUMBUK PADA *BALL MILLING* TERHADAP UKURAN
PARTIKEL MAGNESIUM**



TUGAS AKHIR

**Disusun Untuk Memenuhi Syarat Menyelesaikan Pendidikan Strata 1 Pada
Program Studi Teknik Mesin**

Oleh :

**Tio Setiadi Ripal
2302220003.P**

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TRIDINANTI**

2026

UNIVERSITAS TRIDINANTI
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN



TUGAS AKHIR

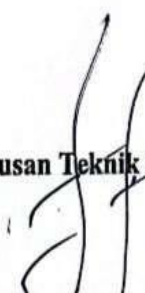
ANALISA PENGARUH JUMLAH DAN DIAMETER BOLA
PENUMBUK PADA *BALL MILLING* TERHADAP UKURAN
PARTIKEL MAGNESIUM

Disusun

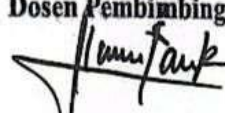
Tio Setiadi Ripal
2302220003.P

Mengetahui, Diperiksa dan
Disetujui Oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin-UTP


Heriyanto Rusmariady, ST., MT

Dosen Pembimbing I


Imam Akbar, ST., MT.

Dosen Pembimbing II


Martin Luther King, ST., MT.

Disahkan Oleh: Dekan
Fakultas Teknik




Dr. Khil Firda, ST., MT

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Tio Setiadi Ripal

NIP : 2302220003.P

Fakultas : TEKNIK

Program Studi : TEKNIK MESIN

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi berjudul: **“Analisa Pengaruh Jumlah Dan Diameter Bola Penumbuk Pada *Ball Milling* Terhadap Ukuran Partikel Magnesium”** adalah benar merupakan karya sendiri. Hal-hal yang bukan karya saya, dalam skripsi tersebut diberi tanda citasi dan ditunjukkan dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti pernyataan saya tidak benar dan ditemukan pelanggaran atas karya skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan skripsi dan gelar yang saya peroleh dari skripsi tersebut.

Palembang, Maret 2026

Yang membuat



Tio Setiadi Ripal

NIM. 2302220003.P

SURAT PERSETUJUAN PUBLIKASI

TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai Civitas Akademika Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tridinanti Palembang, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Tio Setiadi Ripal
NIP : 2302220003.P
Fakultas : TEKNIK
Program Studi : TEKNIK MESIN
Jenis Karya : TUGAS AKHIR/ SKRIPSI

Demi Pengembangan Ilmu pengetahuan untuk memberikan kepada pihak Universitas Tridinanti Palembang hak bebas Royalti Nonekslusif (*non eksklusive royalty free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

ANALISA PENGARUH JUMLAH DAN DIAMETER BOLA PENUNBUK PADA *BALL MILLING* TERHADAP UKURAN PARTIKEL MAGNESIUM

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan), dengan hak royalti eksklusif ini universitas tridinanti palembang berhak menyimpan, mengalih mediakan, mengelola dalam bentuk data base dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan saya buat dengan sebenarnya dan tanpa ada tekanan dari pihak mana pun.

Dibuat di Palembang
Tanggal, Maret 2026
Yang menyatakan,



Tio Setiadi Ripal

➤ **MOTTO :**

- ✓ *Mulai lah untuk mendapatkan apa yang kau inginkan.*
- ✓ *Selesaikan apa yang telah kau mulai.*

Kupersembahkan untuk :

- ❖ *Papa Rudi Hariyanto,S.H. dan Mama Shanti Rabisa, atas doa, dukungan dan cinta yang banyak dalam pengerjaan skripsi ini*
- ❖ *Juga kepada adik, Tiara Amelia Ripal dan Risha Hariyanto Ripal.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT karena atas berkat dan hidayah-NYA, Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Banyak hambatan dan rintangan yang terjadi selama menyusun Tugas Akhir ini. Walaupun demikian semua merupakan tantangan yang harus dihadapi. Tugas Akhir yang berjudul **“Analisa Pengaruh Jumlah Dan Diameter Bola Penumbuk Pada *Ball Milling* Terhadap Ukuran Partikel Magnesium”** dibuat sebagai salah satu syarat untuk mendapat gelar Sarjana Strata Satu di Universitas Tridianti Palembang. Meskipun penyusunan Tugas Akhir ini telah selesai, tetap disadari Tugas Akhir masih jauh dari sempurna, baik dari segi materi, penyajian maupun bahasannya. Oleh karena itu sangat diharapkan adanya kritik dan saran yang sifatnya membangun guna kesempurnaan Tugas Akhir ini. Akhir kata, perkenankanlah untuk menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu didalam penyusunan Tugas Akhir ini, baik secara langsung maupun tidak langsung. Khususnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Edizal AE., MS. Selaku Rektor Universitas Tridianti Palembang.
2. Ibu Dr. Ani Firda, MT., MM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Tridianti Palembang.
3. Bapak Heriyanto Rusmaryadi, MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tridianti Palembang.
4. Bapak Martin Luther King, ST., MT, Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tridianti Palembang

5. Bapak Imam Akbar, ST.,MT. Selaku Dosen Pembimbing I
6. Bapak Martin Luther King, ST., MT. Selaku Dosen Pembimbing II
7. Seluruh Staf Dosen dan Karyawan Fakultas Teknik Mesin Universitas Tridinanti Palembang.
8. Pada Kedua Orang Tua saya serta, saudara saya yang telah memberikan saya semangat untuk menyelesaikan penulisan skripsi tersebut serta telah membantu baik secara moral mau pun materi.
9. Pada rekan seperjuangan saya di Jurusan Teknik Mesin pada fakultas Teknik Universitas Tridinanti.

Akhir kata penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat berguna bagi mahasiswa. Khususnya Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Tridinanti Palembang.

Palembang, Maret 2026
Penulis,

Tio Setiadi Ripal

DAFTAR ISI

HALAMAN

JUDUL.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI SKRIPSI	iii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	v
SURAT PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
MOTTO.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR GRAFIK	xiv
ABSTRAK.....	xv
BSTRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Prinsip Dasar <i>Ball Milling</i> dan Mekanisme Penghalusan	6
2.2 Rasio Bola Terhadap Serbuk (<i>Ball-to-Powder Ratio</i> , BPR)	7
2.3 Kecepatan Kritis dan Implikasinya Pada Rejim Gerak Bola	8
2.4 Hukum-Hukum Penghalusan (comminution) Untuk Estimasi Energi	9
2.5 Model Kontak Tumbukan dan Perspektif DEM.....	10
2.6 Ukuran dan Distribusi Ukuran Partikel Pasca- <i>Milling</i>	11
2.7 Peran Diameter dan Jumlah Bola Terhadap Serbuk Magnesium	12
2.8 Implikasi Terhadap Rancangan Eksperimen Penelitian	13
2.9 Magnesium Dalam Bidang Rekayasa dan Biomedis	13

BAB III METODE PENELITIAN.....	16
3.1 Diagram Alir Penelitian	16
3.2 Jenis dan Pendekatan Penelitian	17
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	17
3.4 Desain Experimen.....	18
3.4.1 Rancangan Faktorial.....	19
3.5 Prosedur Penelitian	19
3.6 Jadwal Kegiatan.....	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	22
4.1 Proses penggilingan	22
4.1.1 Waktu Proses Penggilingan Ball Milling	22
4.1.2 Menentukan Kecepatan Operasi Ball Milling	22
4.1.3 Menentukan (<i>BPR</i>).....	24
4.2 Hasil Pengujian <i>SEM</i>	28
4.3 Gambar Visual Hasil <i>Ball milling</i>	44
4.4 Pembahasan	46
4.4.1 Pengaruh Jumlah Bola Terhadap Ukuran Partikel Magnesium	46
4.4.2 Pengaruh Diameter Bola Terhadap Ukuran Partikel Magnesium.....	46
4.4.3 Pengaruh Kombinasi Jumlah dan Diameter Bola (<i>Multi-Size Ball</i>) Terhadap Ukuran Partikel	49
4.4.4 Pengaruh Rasio Massa Bola terhadap Serbuk (<i>BPR</i>)	50
4.5 Perhitungan Energi Penghalusan Berdasarkan Hukum Comminution	51
4.6 Analisa Data.....	52
4.6.1 Pengaruh Jumlah Bola Penumbuk	53
4.6.2 Pengaruh Diameter Bola Penumbuk.....	53
4.6.3 Kombinasi Jumlah dan Diameter Bola Penumbuk	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA.....	57
LAMPIRAN.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 3.1. Kombinasi Perlakuan Penelitian.....	19
Tabel 3.2. Jadwal Kegiatan Penelitian.....	21
Tabel 4.1 Distribusi ukuran partikel serbuk magnesium setelah ball milling jumlah bola 300 buah diameter 5mm.....	30
Tabel 4.2 Distribusi ukuran partikel serbuk magnesium setelah ball milling jumlah bola 125 buah diameter 10mm.....	32
Tabel 4.3 Distribusi ukuran partikel serbuk magnesium setelah ball milling jumlah bola 125 buah diameter 10mm.....	34
Tabel 4.4 Distribusi ukuran partikel serbuk magnesium setelah ball milling jumlah bola 550 buah diameter 5mm.....	36
Tabel 4.5 Distribusi ukuran partikel serbuk magnesium setelah ball milling jumlah bola 250 buah diameter 10mm.....	38
Tabel 4.6 Distribusi ukuran partikel serbuk magnesium setelah ball milling jumlah bola 105 buah diameter 15mm.....	40
Tabel 4.7 Distribusi ukuran partikel serbuk magnesium setelah ball milling jumlah bola 580 buah diameter 5mm, 10mm dan 15mm.....	42
Tabel 4.8 Hasil Pengujian <i>Ball Milling</i>	43
Tabel 4.9 Gambar Visual Hasil Ball Milling.....	44
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Energi Kinetik Diameter Bola	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1. Ball milling konsep.....	7
Gambar 2.2. Kecepatan kritis <i>ball milling</i>	9
Gambar 2.3. Model kontak.....	11
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian	16
Gambar 3.2. Bola Penumbuk Ball Mill	17
Gambar 3.3. Small Laboratory Desktop Grinding Ball Mill	18
Gambar 3.4. Magnesium Powder	18
Gambar 3.5. Prosedur penelitian	20
Gambar 4.1 Hasil pengujian SEM pembesaran 100X dan <i>fiji imageJ</i>	29
jumlah bola 300 buah diameter 5mm	29
Gambar 4.2 Hasil pengujian SEM pembesaran 100X dan <i>fiji imageJ</i>	31
jumlah bola 125 buah diameter 10mm	31
Gambar 4.3 Hasil pengujian SEM pembesaran 100X dan <i>fiji imageJ</i>	33
jumlah bola 75 buah diameter 15mm	33
Gambar 4.4 Hasil pengujian SEM pembesaran 100X dan <i>fiji imageJ</i>	35
jumlah bola 550 buah diameter 5mm	35
Gambar 4.5 Hasil pengujian SEM pembesaran 100X dan <i>fiji imageJ</i>	37
jumlah bola 250 buah diameter 10mm	37
Gambar 4.6 Hasil pengujian SEM pembesaran 100X dan <i>fiji imageJ</i>	39
jumlah bola 105 buah diameter 15mm	39
Gambar 4.7 Hasil pengujian SEM pembesaran 100X dan <i>fiji imageJ</i>	41
jumlah bola 580 buah diameter 5mm, 10mm dan 15mm	41

DAFTAR GRAFIK

Grafik	Halaman
Grafik 4.1 Ukuran Partikel Magnesium Setelah Proses <i>Ball Milling</i>	43

ABSTRAK

Magnesium merupakan material logam ringan yang banyak digunakan pada berbagai aplikasi industri, khususnya pada bidang material maju dan energi. Salah satu metode yang umum digunakan untuk memperkecil ukuran partikel magnesium adalah proses *ball milling*. Proses ini dipengaruhi oleh beberapa parameter penting, di antaranya jumlah dan diameter bola penumbuk. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jumlah dan diameter bola penumbuk pada proses *ball milling* terhadap ukuran partikel magnesium.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan melakukan proses *ball milling* magnesium menggunakan variasi jumlah bola penumbuk dan diameter bola yang berbeda, sementara parameter lain seperti waktu milling dan kecepatan putar dijaga konstan. Karakterisasi ukuran partikel dilakukan untuk mengetahui perubahan ukuran partikel magnesium akibat perlakuan tersebut. Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk melihat hubungan antara jumlah dan diameter bola penumbuk terhadap hasil ukuran partikel.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan jumlah bola penumbuk dan penggunaan diameter bola yang lebih besar cenderung menghasilkan ukuran partikel magnesium yang lebih kecil. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya energi tumbukan dan frekuensi tumbukan selama proses *ball milling*. Namun demikian, kombinasi jumlah dan diameter bola penumbuk tertentu memberikan hasil yang paling optimal dalam memperkecil ukuran partikel magnesium. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa pengaturan jumlah dan diameter bola penumbuk sangat berpengaruh terhadap efektivitas proses *ball milling* dalam menghasilkan partikel magnesium berukuran halus.

Kata kunci: magnesium, *ball milling*, jumlah bola penumbuk, diameter bola penumbuk, ukuran partikel.

ABSTRACT

Magnesium is a lightweight metal material that is widely used in various industrial applications, particularly in advanced materials and energy-related fields. One commonly used method to reduce the particle size of magnesium is the ball milling process. This process is influenced by several important parameters, including the number and diameter of the milling balls. This study aims to analyze the effect of in the number and diameter of milling balls in the ball milling process on the particle size of magnesium.

The research method employed was an experimental approach by conducting the ball milling process on magnesium powder using different variations of the number and diameter of milling balls, while other parameters such as milling time and rotational speed were kept constant. Particle size characterization was carried out to determine the changes in magnesium particle size resulting from the milling process. The obtained data were then analyzed to evaluate the relationship between the number and diameter of milling balls and the resulting particle size.

The results indicate that an increase in the number of milling balls and the use of larger ball diameters tend to produce smaller magnesium particle sizes. This phenomenon is attributed to the higher impact energy and increased collision frequency during the ball milling process. However, certain combinations of milling ball number and diameter provide optimal results in reducing the particle size of magnesium. The conclusions of this study demonstrate that proper control of the number and diameter of milling balls significantly affects the effectiveness of the ball milling process in producing fine magnesium particles.

Keywords: magnesium, ball milling, number of milling balls, milling ball diameter, particle size.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri otomotif dan kedirgantaraan terus menekan kebutuhan akan material yang lebih ringan dan kuat untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar. Magnesium, sebagai logam ringan menjadi kandidat utama, namun pemanfaatannya seringkali terhambat oleh proses pembentukan serbuk yang belum optimal. Perkembangan teknologi material saat ini menuntut adanya metode yang efisien untuk menghasilkan serbuk logam dengan ukuran partikel halus, seragam, dan memiliki sifat mikrostruktur yang sesuai untuk aplikasi lanjutan. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah *ball milling*, yaitu proses penghalusan material padat melalui mekanisme tumbukan (*impact*) dan gesekan (*attrition*) antara bola penumbuk dan material di dalam wadah berputar. Teknik ini memiliki fleksibilitas tinggi karena dapat digunakan untuk berbagai jenis material, termasuk logam ringan seperti magnesium yang memiliki prospek besar dalam industri otomotif, kedirgantaraan dan biomedis karena sifat mekanik dan biokompatibilitasnya.

Efisiensi proses *ball milling* sangat dipengaruhi oleh parameter operasional, di antaranya jumlah bola, ukuran atau diameter bola, kecepatan putar, waktu milling, serta rasio bola terhadap serbuk (*ball to powder ratio*). Dari berbagai parameter tersebut, jumlah bola dan diameter bola memiliki kontribusi signifikan terhadap hasil akhir berupa ukuran partikel. Bola berdiameter besar mampu menghasilkan gaya tumbukan tinggi sehingga efektif untuk menghancurkan

partikel kasar, sedangkan bola kecil lebih efektif dalam memperhalus partikel menjadi ukuran yang lebih halus dan seragam. Kombinasi keduanya dapat memberikan keseimbangan antara kekuatan tumbukan dan frekuensi gesekan, sehingga menghasilkan distribusi ukuran partikel yang lebih optimal (Rios dkk., 2021).

Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa variasi ukuran bola secara langsung memengaruhi morfologi dan mikrostruktur partikel. Sebagai contoh, penelitian pada serbuk magnesium menunjukkan bahwa penggunaan bola berdiameter kecil (1 mm) setelah tahap awal dengan bola lebih besar (10 mm dan 3 mm) mampu menghasilkan perubahan mikrostruktur yang signifikan dan memperbaiki homogenitas serbuk (Rios dkk., 2021). Penelitian serupa pada material lain, seperti talc, mengungkapkan bahwa peningkatan ukuran bola dari 0,1 mm menjadi 2 mm dapat mempercepat laju comminution dan menghasilkan ukuran partikel yang lebih halus, dengan pengaruh positif pada sifat diseminasi partikel (Kim dkk., 2019).

Selain ukuran bola, jumlah bola yang digunakan dalam proses milling juga memegang peran penting. Jumlah bola yang lebih banyak akan meningkatkan frekuensi tumbukan dengan serbuk, sehingga mempercepat proses fragmentasi partikel. Namun, jumlah bola yang terlalu besar dapat menyebabkan fenomena *cushion effect*, yaitu kondisi ketika partikel saling menumpuk sehingga gaya tumbukan tidak tersalurkan secara efektif. Beberapa literatur menyebutkan bahwa pengisian bola dalam volume tabung milling yang ideal berkisar antara 25-55% dari

total kapasitas, guna menjaga keseimbangan antara frekuensi tumbukan dan ruang gerak partikel (“Thoroughly modern milling,” 2007)

Penelitian eksperimental juga memperkuat temuan ini. Siregar et al. (2020) melaporkan bahwa variasi jumlah bola dan waktu milling pada pasir silika berpengaruh nyata terhadap kehalusan, morfologi, serta sifat mikrostruktur partikel yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah bola merupakan variabel penting yang tidak dapat diabaikan dalam proses penghalusan material melalui ball milling (Haryanto dkk., 2020).

Dalam konteks magnesium, kontrol parameter milling menjadi semakin penting karena sifatnya yang reaktif dan rentan mengalami oksidasi. Penggunaan kombinasi bola dengan diameter tertentu serta jumlah yang sesuai tidak hanya menentukan ukuran partikel akhir, tetapi juga memengaruhi distribusi ukuran partikel, homogenitas, serta kemungkinan terbentuknya fasa baru akibat energi tumbukan yang tinggi. Meskipun sejumlah penelitian telah membahas pengaruh ukuran bola atau jumlah bola secara terpisah, kajian yang mengombinasikan keduanya secara sistematis terhadap ukuran partikel magnesium masih terbatas. Hal ini menciptakan ruang penelitian baru yang relevan sekaligus berkontribusi dalam pengembangan ilmu material, khususnya pada pemrosesan serbuk magnesium untuk aplikasi industri maupun biomedis.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini menjadi penting untuk dilakukan guna memberikan pemahaman lebih mendalam mengenai interaksi jumlah bola dan diameter bola terhadap ukuran partikel magnesium, sekaligus menjadi rujukan

bagi penelitian lanjutan dalam optimasi parameter ball milling yang lebih efisien dan aplikatif.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat dirumuskan permasalahan penelitian sebagai berikut:

1. Berapa besar pengaruh variasi jumlah bola terhadap ukuran rata-rata partikel dan distribusi ukuran partikel magnesium?
2. Seberapa signifikan pengaruh variasi diameter bola terhadap laju reduksi ukuran partikel magnesium?
3. Apakah terdapat interaksi signifikan antara jumlah bola dan diameter bola dalam menghasilkan ukuran partikel magnesium yang optimal?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis pengaruh jumlah bola terhadap ukuran partikel magnesium pada proses ball milling.
2. Menganalisis pengaruh diameter bola terhadap ukuran partikel magnesium yang dihasilkan.
3. Menganalisis kombinasi optimal antara jumlah dan diameter bola untuk meminimalkan ukuran partikel magnesium.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus penelitian, beberapa batasan masalah ditetapkan sebagai berikut:

1. Material yang digunakan terbatas pada magnesium murni dalam bentuk serbuk.
2. Variasi parameter proses hanya dibatasi pada jumlah bola dan diameter bola, sedangkan variabel lain seperti kecepatan putar dan waktu millig dibuat konstan.
3. Proses penggilingan dilakukan dengan jenis *ball mill* laboratorium, (*small laboratory desktop grinding ball mill*).
4. Analisis hasil hanya difokuskan pada ukuran partikel menggunakan metode *Scanning Electron Microscope* (SEM) tanpa membahas sifat mekanik atau termal dari serbuk magnesium.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Secara akademis, penelitian ini memberikan data eksperimental baru mengenai korelasi antar parameter operasional ball milling pada magnesium, untuk melengkapi model-model teoretis yang ada.
2. Secara praktis, penelitian ini dapat menjadi acuan dalam menentukan parameter operasi optimal pada proses penghalusan serbuk magnesium, sehingga lebih efisien dalam waktu, energi, dan hasil yang diperoleh.
3. Bagi pengembangan ilmu material, penelitian ini berpotensi memberikan kontribusi pada pemrosesan serbuk magnesium untuk aplikasi lebih lanjut, seperti bahan baku paduan ringan, material biomedis, atau aplikasi energi.
4. Bagi mahasiswa dan peneliti, penelitian ini dapat dijadikan dasar untuk penelitian lanjutan yang lebih kompleks, misalnya dengan menambahkan

variabel lain seperti kecepatan putar, waktu milling, atau penggunaan media penumbuk dengan material berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Djamarani, K. M., & Clark, I. M. (1997). Characterization of particle size based on fine and coarse fractions. *Powder Technology*.
[https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(97\)03233-6](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(97)03233-6)
- Doll, A., & Simonian, B. (2019). Bond's Work Index : What It Is And What It Isn't Keywords. SAG Conference.
- Haryanto, B., Trisakti, B., Wangi, Y., Khosman, H., & Sinaga, A. W. (2020). Crushing Mung Beans Using Ball Mill Tool: Base on Fraction Size Sieving Results. *Journal of Physics: Conference Series*.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1542/1/012050>
- Kim, H. N., Kim, J. W., Kim, M. S., Lee, B. H., & Kim, J. C. (2019). Effects of ball size on the grinding behavior of talc using a high-energy ball mill. *Minerals*. <https://doi.org/10.3390/min9110668>
- Morrell, S. (2004). An alternative energy-size relationship to that proposed by Bond for the design and optimisation of grinding circuits. *International Journal of Mineral Processing*.
<https://doi.org/10.1016/j.minpro.2003.10.002>
- Muthukumar, S., & DesRoches, R. (2006). A Hertz contact model with non-linear damping for pounding simulation. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. <https://doi.org/10.1002/eqe.557>
- Nikolić, V., Doll, A., & Trumić, M. (2022). A new methodology to obtain a corrected Bond ball mill work index valid with non-standard feed size. *Minerals Engineering*, 188, 107822.
<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2022.107822>
- Peng, B. (2014). Discrete Element Method (DEM) Contact Models Applied to Pavement Simulation. Master Thesis.
- Rios, J., Restrepo, A., Zuleta, A., Bolívar, F., Castaño, J., Correa, E., & Echeverria, F. (2021). Effect of ball size on the microstructure and morphology of mg powders processed by high-energy ball milling. *Metals*.
<https://doi.org/10.3390/met11101621>
- 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. *Ceramics International*.
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.04.093>
- Suryanarayana, C. (2001). Mechanical alloying and milling. In *Progress in Materials Science*. [https://doi.org/10.1016/S0079-6425\(99\)00010-9](https://doi.org/10.1016/S0079-6425(99)00010-9)
- Thoroughly modern milling. (2007). *American Ceramic Society Bulletin*.
 Türkaslan, S., Mutluay, M. M., Vallittu, P. K., Arola, D., & Tezvergil-Mutluay, A. (2020). Fatigue resistance of metal-free cantilever bridges

supported by labial laminate veneers. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 103, 103596. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2019.103596>

Watanabe, H. (1999). Critical rotation speed for ball-milling. *Powder Technology*, 104(1), 95–99. [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(99\)00031-5](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(99)00031-5)

Zakeri, M., Ramezani, M., & Nazari, A. (2012). Effect of ball to powder weight ratio on the mechanochemical synthesis of MoSi₂-TiC nanocomposite powder. *Materials Research*. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392012005000111>



Digital Receipt

This receipt acknowledges that **Turnitin** received your paper. Below you will find the receipt information regarding your submission.

The first page of your submissions is displayed below.

Submission author: 1 1
Assignment title: Kelas Kimia Feb 1304
Submission title: TIO SETIADI RIPAL - 2302220003.P.docx
TIO_SETIADI_RIPAL_-_2302220003.P.docx 8.06M
File name: File size: 56
Page count: Word count: 8,732
48,022
Character count: 08-Apr-2026 09:22PM (UTC+0700)
Submission date: 2925815546
Submission ID:

