

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Size reduction (comminution)* adalah operasi untuk memperkecil ukuran dari suatu padatan menjadi ukuran yang lebih kecil sesuai ukuran yang diinginkan. Operasi *size reduction* bisa dilakukan dengan cara penggilingan atau penumbukan. Pengoperasian *size reduction* dibutuhkan pada industri kimia dan mineral untuk menyesuaikan bahan dengan spesifikasi alat atau menyesuaikan spesifikasi produk yang akan dipasarkan. Hal ini diperlukan oleh karena adanya sifat fisik dari bahan yang beraneka ragam. Faktor lain yang memengaruhi *size reduction* adalah kebutuhan energi pada alat dalam usaha membentuk permukaan baru dari bahan yang direduksi. Persamaan empiris yang berguna untuk memprediksi performa alat telah dikembangkan dari teori yang ada. Hukum *Kick* dan *Rittinger* merupakan hukum yang menyatakan bahwa jumlah kerja yang dibutuhkan dalam operasi *size reduction* sebanding dengan *logarithmic reduction ratio* dan luasan permukaan baru yang terbentuk. Berdasarkan uraian ini, perlu dilakukan percobaan untuk mengkaji Hukum *Kick* dan *Rittinger*.

### 1.2 Perumusan Masalah

Dalam praktikum ini dilakukan operasi *size reduction* menggunakan *hammer mill*. Respons dari percobaan ini adalah pengaruh ukuran umpan terhadap besarnya energi yang dibutuhkan untuk penggerusan. Perhitungan besarnya energi yang dibutuhkan dilakukan melalui penerapan persamaan *size reduction*, yakni Hukum *Kick* dan Hukum *Rittinger*, yang akan dibandingkan antara perhitungan teoritis dan praktis.

### 1.3 Tujuan Praktikum

Tujuan praktikum *size reduction* adalah:

1. Mengkaji Hukum *Kick* dan *Rittinger* dengan membandingkan energi yang dibutuhkan untuk operasi *size reduction* secara teoritis dan percobaan.
2. Menghitung *Power Transmission Factor* (energi penggerusan).

### 1.4 Manfaat Praktikum

1. Memahami dan mengetahui cara menghitung besarnya *reduction ratio* dan energi penggerusan dengan ukuran partikel yang berbeda-beda.
2. Memahami penerapan Hukum *Kick* dan *Rittinger* dalam operasi *size*



*reduction.*



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Unit operasi *size reduction* adalah salah satu operasi untuk memperkecil ukuran suatu partikel dengan memperhalus bentuk produk atau sekedar menjadikannya lebih kecil sesuai ukuran yang diinginkan. Operasi *size reduction* bisa dilakukan dengan cara penumbukan atau penggilingan (Agrawal, 2007). Unit operasi *size reduction* biasanya digunakan untuk menyesuaikan ukuran bahan baku agar sesuai dengan alat proses atau menyesuaikan produk sesuai kebutuhan pasar.

#### 2.1 Klasifikasi Size Reduction Berdasarkan Ukuran Umpan

Klasifikasi alat-alat penggerusan dikelompokkan berdasarkan tipe mesin dalam pengoperasian tiap *stage* ukuran produk. Terdapat tiga *stage* dalam pengoperasian *size reduction* dan tipe-tipe alat penggerusnya seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1.

1. *Coarse size reduction*
2. *Intermediate size reduction*
3. *Fine size reduction*

: umpan sebesar 2 – 96 *inch* atau lebih.
: umpan sebesar 1 – 3 *inch*.
: umpan sebesar 0,25 – 0,5 *inch*.
- (Brown, 1979)

Tabel 2.1 Tipe alat penggerus berdasarkan klasifikasi operasi

<i>Coarse crushers</i>	<i>Intermediate crushers</i>	<i>Fine crushers</i>
<i>Stag jaw crusher</i>	<i>Crushing rolls</i>	<i>Buhrstone mill</i>
<i>Dodge jaw crusher</i>	<i>Disc crusher</i>	<i>Roller mill</i>
<i>Gyratory crusher</i>	<i>Edge runner mill</i>	<i>NEI pendulum mill</i>
<i>Other coarse crusher</i>	<i>Hammer mill</i>	<i>Griffin mill</i>
	<i>Single roll crusher</i>	<i>Ring roller mill (Lopulco)</i>
	<i>Pin mill</i>	<i>Ball mill</i>
	<i>Symons disc crusher</i>	<i>Tube mill</i>
		<i>Harginge mill</i>
		<i>Babcock mill</i>

(Coulson, 2002)

Alat-alat *size reduction* meliputi:

##### 1. *Crusher*

Alat *size reduction* yang memecahkan bongkahan padatan yang besar menjadi bongkahan-bongkahan yang lebih kecil hingga ukurannya sampai batas beberapa *inch*. Alat *crusher* biasa diklasifikasikan menjadi:



a. *Primary crusher*

Mampu beroperasi untuk segala ukuran *feed*. Produk yang dihasilkan mempunyai ukuran 8 - 10 *inch*.

b. *Secondary crusher*

Mampu beroperasi dengan ukuran *feed*, seperti di produk *primary crusher* dengan ukuran 4 *inch*.

2. *Grinder*

Alat ini beroperasi untuk memecah bongkahan yang dihasilkan *crusher* sehingga bongkahan tersebut menjadi bubuk. Untuk *intermediate grinder*, produk yang dihasilkan 40 *mesh*. Sedangkan, *ultrafine grinder* dapat diatur untuk menghasilkan produk berukuran 250 *mesh* - 2500 *mesh* dengan umpan tidak lebih besar dari 20 mm.

3. *Cutter*

Alat ini mempunyai cara kerja yang berbeda dengan alat *size reduction* sebelumnya. Pada *cutter*, cara kerjanya adalah memotong. Alat ini dipakai untuk produk yang tidak mudah putus dan tidak bisa diperkecil dengan cara sebelumnya. Ukuran produk 2 - 10 *mesh*.

Operasi *size reduction* sering digunakan pada industri-industri yang memerlukan bahan baku dalam ukuran tertentu dan produk dalam ukuran tertentu, seperti industri semen, batu bara, pertambangan, pupuk, keramik, dan lain-lain. Pemilihan jenis alat yang digunakan biasanya berdasarkan ukuran *feed* pada produk, sifat bahan, kekerasan bahan, dan kapasitasnya.

## 2.2 Operasi *Size Reduction*

### 2.2.1 Operasi Penggerusan

Penggerusan atau *comminution* adalah istilah yang umum digunakan pada operasi *size reduction* yang biasanya menggunakan *crusher* atau *grinder* atau alat-alat penggerus lainnya. Alat penggerusan dikatakan ideal bila memenuhi syarat-syarat berikut:

- Mempunyai kapasitas operasi yang besar.
- Membutuhkan *power input* yang kecil per satuan produk.
- Produk yang dihasilkan seragam atau mampu memenuhi distribusi ukuran yang diinginkan.

Operasi alat penggerusan yang ideal sangat sulit didapat karena satuan produk yang dihasilkan tidak akan pernah seragam dengan variasi ukuran umpan masuk. Produk selalu terdiri atas campuran partikel dengan rentang antara ukuran terbesar yang diinginkan hingga yang paling kecil



(McCabe, 1993).

### 2.2.2 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Operasi *Size Reduction* Berdasarkan Sifat Alami Material

Penentuan jenis mesin dalam operasi penggerusan didasarkan pada faktor sifat alami material yang ditangani, antara lain:

a. *Hardness*

Memengaruhi kebutuhan tenaga pemakaian mesin. Sifat *hardness* suatu material disusun berdasarkan skala Mohs.

b. *Structure*

Struktur material granular lebih mudah daripada material berwujud serat.

c. *Moisture Content*

Kandungan air dalam material sebesar 5 - 50% akan menyebabkan terjadinya *cake* dan menghambat aliran material.

d. *Crushing Strength*

*Power* yang dibutuhkan suatu alat akan sebanding dengan *crushing strength* suatu material.

e. *Friability*

Material yang rapuh akan mudah pecah sebelum penggerusan dan akan memengaruhi distribusi ukuran produk.

f. *Stickiness*

Material yang lengket akan menyumbat unit operasi.

g. *Soapiness*

Pengukuran berdasarkan koefisien gesekan permukaan material. Koefisien gesekan yang kecil akan mengakibatkan operasi penggerusan sulit dioperasikan.

h. *Explosive Material*

Material tidak boleh banyak mengandung inert *atmosphere*.

i. *Material Dusts*

Material yang menghasilkan debu berbahaya bagi kesehatan harus dioperasikan di tempat yang aman.

(Coulson, 2002)

## 2.3 *Screening* (Pengayakan)

*Screening* (pengayakan) adalah unit operasi pemisahan suatu campuran dari berbagai jenis ukuran partikel padat menjadi dua atau lebih bagian-bagian kecil dengan cara melewatkannya di atas *screen* (ayakan) (Fellows, 2022).

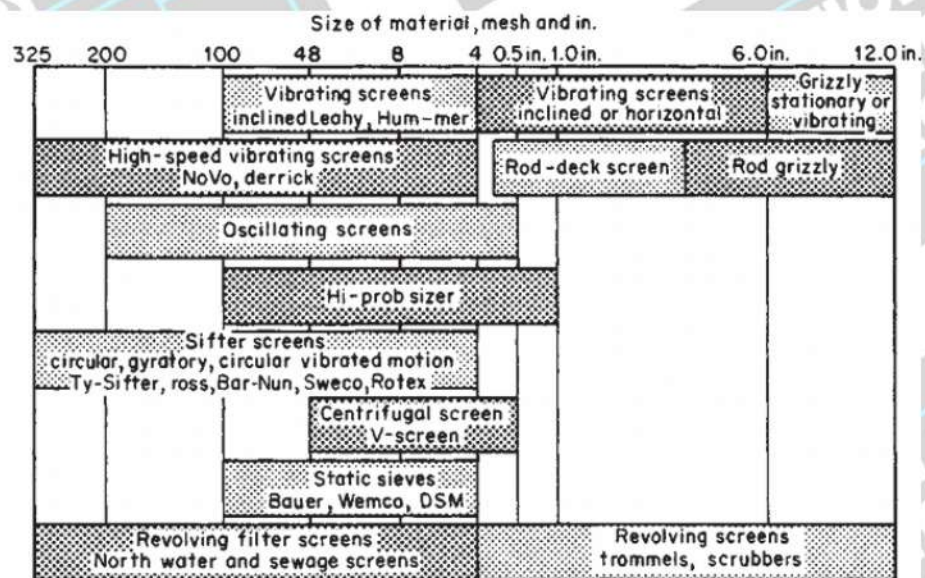


Prinsip dari proses pengayakan pada partikel padat didasarkan pada ukuran partikelnya. Bahan yang mempunyai ukuran lebih kecil dari diameter *mesh* akan lolos, sedangkan bahan yang mempunyai ukuran lebih besar dari diameter *mesh* akan tertahan pada permukaan kawat ayakan. Hasil dari proses *screening* ada 2, yaitu ukuran lebih besar daripada ukuran lubang-lubang ayakan (*oversize*) dan ukuran yang lebih kecil daripada ukuran lubang-lubang ayakan (*undersize*). Adapun tujuan dari proses *screening* antara lain:

- Untuk meningkatkan spesifikasi suatu material sebagai produk akhir.
- Mempersiapkan ukuran produk umpan (*feed*) yang sesuai untuk proses berikutnya.
- Mencegah masuknya *undersize* ke permukaan.

*Screening* biasanya dilakukan dalam keadaan kering untuk material kasar, dapat optimal sampai dengan ukuran 10 *inch* (10 *mesh*), sedangkan pengayakan dalam keadaan basah biasanya untuk material yang halus mulai dari ukuran 20 *inch* sampai dengan ukuran 35 *inch*.

(Taggart, 1927)



Gambar 2.1 Pemilihan *screen* berdasarkan ukuran (Perry, 1997)

## 2.4 Hukum-Hukum Energi *Size Reduction*

Energi yang dibutuhkan untuk operasi *size reduction* sangat bergantung dari ukuran partikel yang dihasilkan.

### 2.4.1 Hukum *Rittinger*

*Rittinger* beranggapan bahwa besarnya energi yang diperlukan untuk *size reduction* berbanding lurus dengan luas permukaan baru yang dihasilkan. Luas permukaan spesifik yang dihasilkan akan sebanding dengan ukuran partikel sehingga dirumuskan persamaan dalam bentuk:



$$E = k \left( \frac{1}{d_i} - \frac{1}{D_i} \right) \quad (2.1)$$

Keterangan:

- E : energi penggerusan  
 k : konstanta *Rittinger*  
 d<sub>i</sub> : diameter rata-rata produk  
 D<sub>i</sub> : diameter rata-rata *feed*

#### 2.4.2 Hukum Kick

*Kick* beranggapan bahwa energi yang dibutuhkan untuk pemecahan partikel zat padat adalah berbanding lurus dengan rasio dari *feed* dengan produk. Secara matematis dinyatakan dengan:

$$E = K \log \left( \frac{D_i}{d_i} \right) \quad (2.2)$$

Keterangan:

- E : tenaga yang dibutuhkan untuk memecahkan partikel zat padat atau *feed*  
 K : konstanta *Kick*  
 d<sub>i</sub> : diameter rata-rata produk  
 D<sub>i</sub> : diameter rata-rata *feed*

Memecah partikel kubus berukuran lebih dari  $\frac{1}{2}$  inch adalah sama besarnya dengan energi yang dibutuhkan untuk memecah partikel  $\frac{1}{2}$  inch menjadi  $\frac{1}{4}$  inch.

## 2.5 Pengertian Diameter

### a. Trade Arithmetic Average Diameter (TAAD)

TAAD didefinisikan sebagai diameter rata-rata berdasarkan jumlah partikel.

$$TAAD = \frac{\sum(\text{partikel} \times \text{diameter})}{\sum(\text{partikel total})} \quad (2.3)$$

$$= \frac{N_1 D_1 + N_2 D_2 + \dots + N_n D_n}{N_1 + N_2 + \dots + N_n} \quad (2.4)$$

$$N_i = \frac{V_t}{v_t} = \frac{\frac{M_t}{\rho}}{m} = \frac{m X_i}{V_p} = \frac{m X_i}{\rho C_i D_i^3} \quad (2.5)$$

$$TAAD = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{X_i}{C_i D_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{X_i}{C_i D_i^3}} \quad (2.6)$$

Keterangan:

- D<sub>i</sub> : diameter partikel (cm)  
 N<sub>i</sub> : jumlah partikel dengan diameter D<sub>i</sub>  
 M<sub>i</sub> : massa total partikel dengan diameter D<sub>i</sub> (gram)



- $M$  : massa partikel dengan diameter  $D_i$  (gram)  
 $V_i$  : volume total partikel dengan diameter  $D_i$  ( $\text{cm}^3$ )  
 $C$  : konstanta yang harganya tergantung dari titik partikel sehingga:  $D_3$  adalah volume partikel untuk bola =  $\pi/6$ ; kubus = 1  
 $V$  : volume partikel dengan diameter  $D_i$  ( $\text{cm}^3$ )

b. *Mean Surface Diameter*

Didefinisikan sebagai diameter rata-rata berdasarkan luas permukaan jumlah partikel x luas.

$$= N_i B_i D_i^2 \times \sum_{i=1}^n (\text{jumlah partikel} \times \text{luas total}) \quad (2.7)$$

$$= N_1 B_1 D_1^2 + N_2 B_2 D_2^2 + \dots + N_n B_n D_n^2 = B(D_{\text{sur}})^2 N_t \quad (2.8)$$

$$(D_{\text{sur}})^2 = \frac{N_1 B_1 D_1^2 + N_2 B_2 D_2^2 + \dots + N_n B_n D_n^2}{N_1 + N_2 + \dots + N_n} \quad (2.9)$$

$$= \sum_{i=1}^n \frac{N_i B_i D_i^2}{B \sum_{i=1}^n N_i} \quad (2.10)$$

$$= \sum_{i=1}^n \frac{\frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{X_i}{c \cdot D_i^2} \cdot B_i D_i^2}{B \sum_{i=1}^n \frac{M}{\rho} \cdot \frac{X_i}{c \cdot D_i}} \quad (2.11)$$

$$D_{\text{sur}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \frac{B_i X_i}{c_i D_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{X_i}{c_i D_i^2}}} \quad (2.12)$$

Keterangan:

- $B$  : konstanta yang harganya tergantung bentuk partikel, untuk bola  $B = 2$  dan untuk kubus  $B = 6$ .

c. *Mean Volume Diameter*

Didefinisikan sebagai diameter rata-rata berdasarkan volume.

$$\text{Jumlah Total} = N_i V_i = N_i C_i D_i^3 n = C(D_{\text{vol}})^3 \sum_{i=1}^n N_i \quad (2.13)$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{m}{c} \cdot \frac{X_i}{c_i D_i^3} C_i D_i^3 = C(D_{\text{vol}})^3 \sum_{i=1}^n N_i \quad (2.14)$$

$$D_{\text{vol}} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^n \frac{X_i}{c_i D_i^3}}{\sum_{i=1}^n \frac{X_i}{c_i D_i^3}}} \quad (2.15)$$

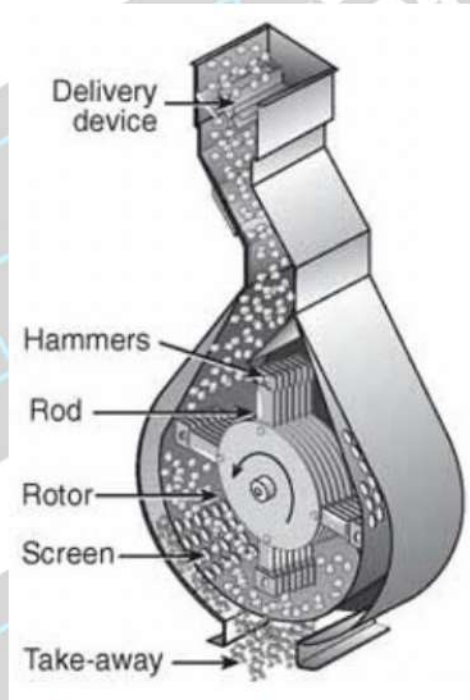
(Brown, 1979 hlm. 20 – 22)

## 2.6 Hammer Mill

*Hammer mill* merupakan alat penggerusan yang digunakan untuk menghancurkan atau menggiling material menjadi lebih kecil. *Hammer mill* berbahan dasar baja drum berisi poros berputar vertikal atau horizontal yang dipasang palu. Rotor dengan kecepatan tinggi akan berputar dan palu-palu pemukul di sepanjang lintasan. Variabel yang masuk akan terpukul oleh palu yang berputar dan bertumbukan dengan dinding. Akibatnya akan terjadi



pemecahan umpan. Proses ini akan berlangsung terus hingga didapatkan produk yang dapat lolos dari saringan di bawah alat (Salahu, 2023).



Gambar 2.2 Komponen *hammer mill*

Komponen-komponen pada *hammer mill* yaitu:

1. *Hopper* : yaitu tempat untuk memasukkan umpan sebelum proses penggerusan.
2. *Hammer* : merupakan alat pemukul umpan yang terpasang pada rotor.
3. Rotor : merupakan poros berputar tempat *hammer* dipasang.
4. *Screen* : digunakan untuk menyaring hasil gerusan.
5. *Take away* : merupakan jalur umpan keluar yang telah dilakukan penggerusan.
6. Mesin penggerak : sebagai sumber penggerak *hammer mill*.

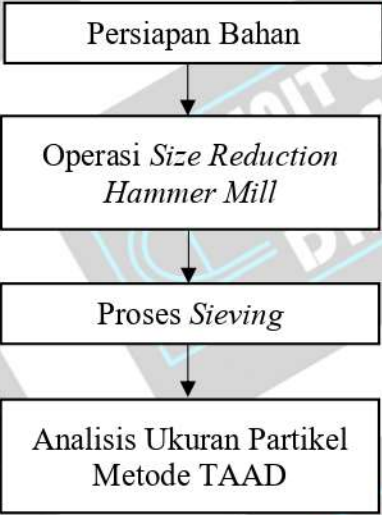


**BAB III**  
**METODE PERCOBAAN**

**3.1 Rancangan Percobaan**

**3.1.1 Rancangan Praktikum**

Untuk mencapai tujuan, praktikum dilaksanakan dalam beberapa tahapan seperti persiapan bahan, operasi *size reduction*, operasi *screening*, serta analisis ukuran partikel secara TAAD. Dalam tahapan persiapan bahan diperoleh data yang memuat nilai diameter rata-rata umpan ( $D_i$ ). Pada tahap *size reduction* digunakan alat penggerus yaitu *hammer mill*. Dalam pengoperasiannya, diukur pula daya yang terpakai selama proses *size reduction* pada setiap variabel. Hasil dari penggerusan tersebut kemudian diayak dalam proses operasi *screening*. Dalam tahapan ini diperoleh data yang memuat nilai diameter rata-rata produk ( $D_{avg}$ ) serta berat produk pada setiap *tray*. Nilai-nilai yang dihasilkan dari operasi *screening* kemudian dianalisis menggunakan metode TAAD sehingga dapat diperoleh nilai *reduction ratio* untuk setiap variabel yang berbeda.



Gambar 3.1 Skema praktikum *size reduction*

**3.1.2 Penetapan Variabel**

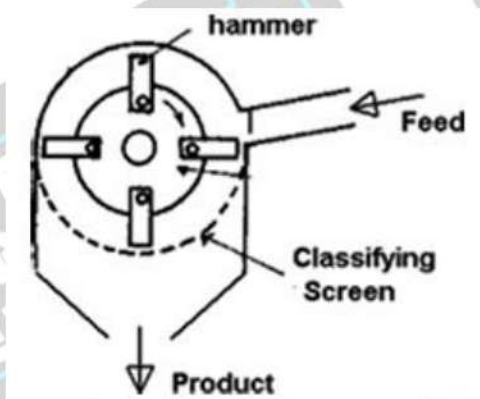
- 1. Variabel Tetap  
Waktu Pengayakan :
- 2. Variabel Berubah  
Ukuran Dimensi padatan (cm) :  
Berat padatan (gram) :

**3.2 Bahan dan Alat yang Digunakan**

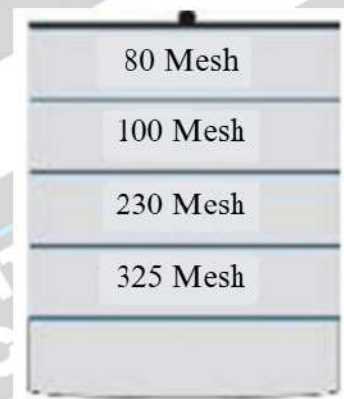
Dalam pelaksanaan praktikum *size reduction*, terdapat bahan dan alat-alat



yang digunakan untuk menunjang praktikum ini. Bahan yang digunakan dalam praktikum ini adalah arang. Sedangkan alat-alat penunjang praktikum ini antara lain *hammer mill*, alat *sieving*, alat pengukur kuat arus, dan *stopwatch*. Adapun ilustrasi alat *hammer mill* yang akan digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.2 dan model alat *sieving* ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.2 *Hammer mill-crusher*



Gambar 3.3 Alat *sieving*

(Shashidhar *et al.*, 2013)

### 3.3 Prosedur Praktikum

Praktikum *size reduction* dilakukan dalam beberapa tahapan yang sistematis. Praktikum dimulai dengan mempersiapkan bahan yang akan digunakan sesuai variabel yang telah ditentukan. Selanjutnya, dilakukan pengukuran material (*feed*) sebelum dimasukkan ke dalam *hammer mill*. Tentukan bukaan tutup *feeder* sesuai dengan kapasitas yang diinginkan, usahakan jangan terlalu lebar supaya bahan yang masuk tidak terlalu besar. Lalu, masukkan bahan ke dalam *hammer mill* dalam jumlah tertentu sesuai variabel. Selama dilakukan proses *size reduction* dengan *hammer mill*, ukur ampere atau daya yang terpakai dengan *amperemeter*. Setelah operasi *size reduction* selesai, kumpulkan dan timbang hasil dari setiap variabel lalu lakukan analisis *sieving*. Analisis *sieving* dilakukan dengan menyusun *screen* dari posisi paling bawah 325 *mesh* dilanjut dengan ukuran 230 *mesh*, 100 *mesh*, dan posisi paling atas 80 *mesh*. Letakkan sampel yang telah ditimbang di atas *screen* yang telah disusun dan goyangkan selama 5 menit hingga massa partikel konstan dengan menggunakan amplitudo 1,8. Setelah itu timbang partikel pada setiap *screen* kemudian catat. Analisis *sieving* dilakukan 1 kali untuk setiap variabel.



## DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal., S. S. (2007). *Particle Size reduction and Size Separation*. Agrawal Principal Delhi Institute of Pharmaceutical Science and Research Sector-3, 156–169.
- Brown., G. G. (1979). *Unit Operation* (Modern Asia Ed., pp. 20-22; 26). Mc Graw Hill Book. Co. Ltd. Tokyo. Japan.
- Coulson, J. M. & Richardson, J. F. (2002). *Chemical Engineering Particle Technology and Separation Process* (5th ed., pp. 105-106). Butterworth and Heinemann Oxford. England.
- Fellows, P. J. (2022). *Food processing technology: principles and practice*. Woodhead. England.
- Green, D. W. & Perry, R.H. (1997). *Perry's Chemical Engineers Handbook* (7th ed.). New York: McGraw-Hill Professional.
- Gupta, V. K. (2019). An appraisal of the energy-size reduction relationships for mill scale-up design. *Advanced Powder Technology*, 30(1), 73-84.
- Liu, X. & Li, S. (2024). A crushing index for granular soils based on comminution energy consumption theory. *Powder Technology*, 434.
- McCabe, W. L., Smith, J.C., & Harriott, P. (1993). *Unit Operation of Chemical Engineering* (5th ed., pp 261). Tioon Well Finishing Co. Ltd. Singapore.
- Rukmana, R. R., Arief, A. T., & Iskandar, H. (2019). Evaluasi Produktivitas Roll Crusher Untuk Mencapai Target Produksi Claystone Unit Kerja Crusher Pt. Semen Baturaja (Persero), TBK. *Jurnal Pertambangan*, 3(3), 1-6.
- Salahu, H. (2023). Analisis energi *hammer mill* pada batu apung dengan metode indeks kerja *Kick* dan *Rittinger*. *DINTEK*, 16(2), 70-74.
- Shashidar, M. G., Murthy, T. P. K., Girish, K.G., & Manohar, B. (2013). Grinding of coriander seeds: Modeling of particle size distribution and energy studies. *Particulate Science and Technology: An International Journal*, 31(5), 449-457.
- Taggart, F.A. (1927). *Handbook of Mineral Dressing Ores and Industrial Materials*. New York: John Willie & Sons.Inc.