



**Program Studi Teknik Kimia**

**Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret 2020**

1

## ***SIZE REDUCTION (lanjutan)***

**Tika Paramitha, S.T., M.T.**

- Ukuran umpan: 1 – 5 cm
- *Reduction ratio:*
  - 20 : 1 – 600 : 1
- Jenis:
  - *Vertical mill*
  - *Horizontal mill*

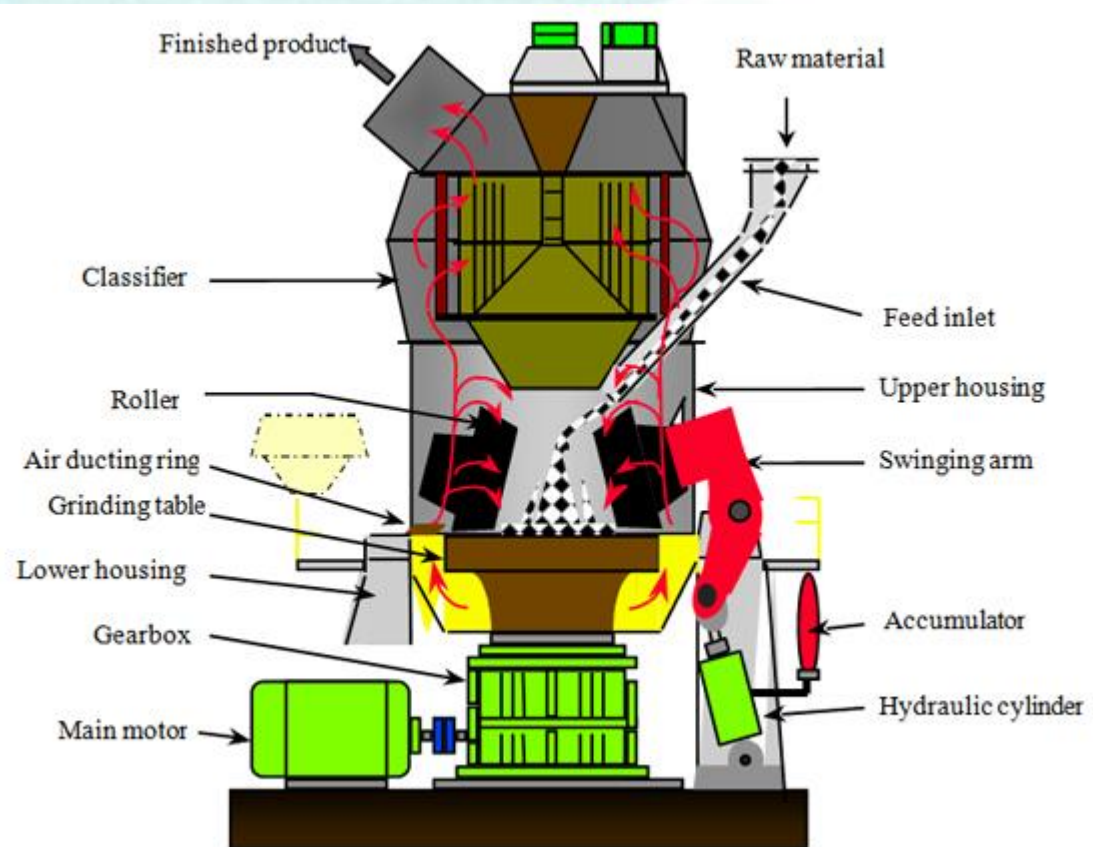


- *Vertical Roller Mill* (VRM) adalah alat yang digunakan untuk mereduksi material menjadi ukuran yang lebih kecil (*grinding*), selain itu VRM juga memiliki fungsi sebagai pengering (*drying*), alat transport, dan juga sebagai penyaring material (*classifying*).

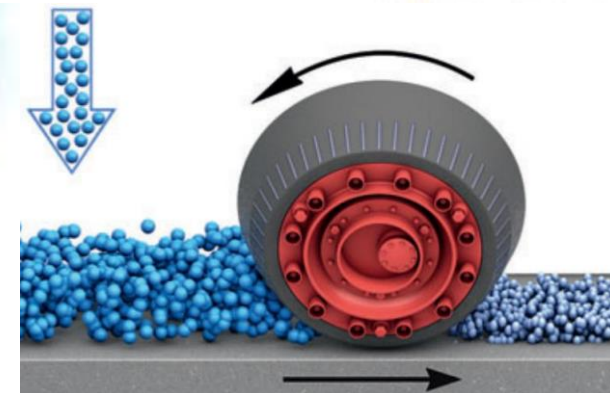
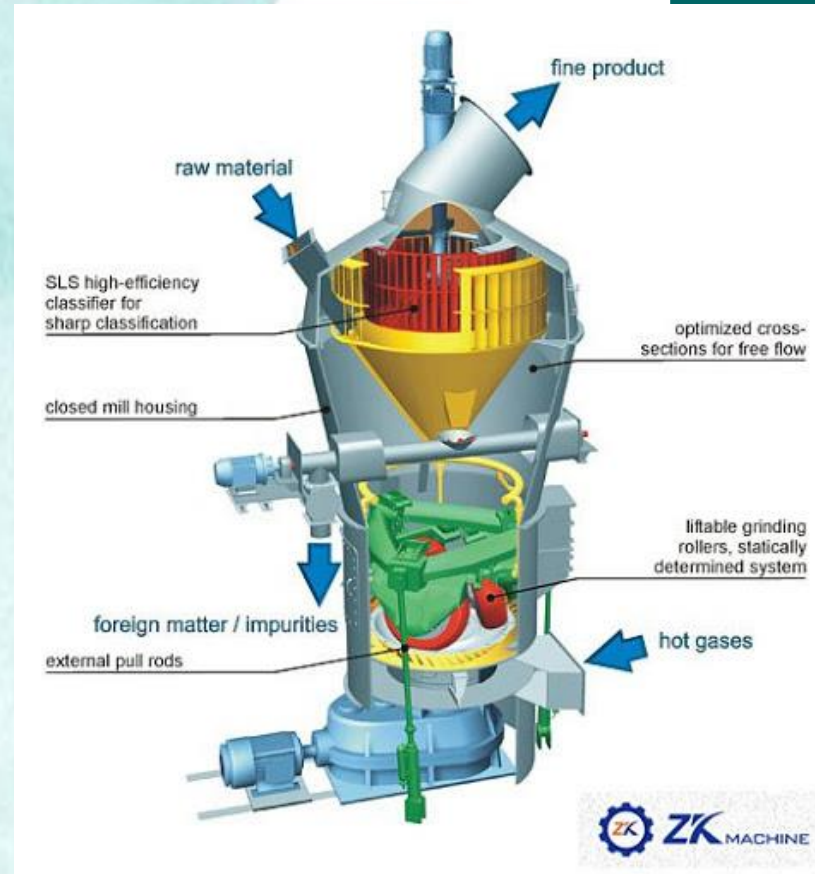
- Cek video berikut:

<https://bit.ly/2XdnxCN>

<https://bit.ly/2JGYz6L>



**Cara kerja dari VRM** adalah material masuk melalui saluran *feed gate* dan turun tepat ditengah *rotary table*. Pergerakan sentrifugal pada *rotary table* menyebabkan material akan terbawa menjauhi tengah *rotary table* dan akan digiling oleh *main roller* dan *support roller* hingga ukurannya mengecil sesuai dengan standar. Lalu material yang telah tereduksi akan terbawa oleh hisapan *fan* ke atas dan akan disaring oleh *separator*. Material yang masih berukuran besar akan kembali ke *rotary table* atau akan terbuang ke *material scrapper* (Jensen, 2011).





## ***Tumbling Mill***

Silinder horizontal berputar pada sumbunya, berisi *grinding media* (misal: bola baja, bola keramik, batang baja) sebanyak 35% – 50% volume silinder.

### 1. *Ball Mill*

- $L/D \approx 1,0$
- *Reduction ratio*  $\rightarrow 20 : 1$  sampai  $200 : 1$
- Satu kompartemen

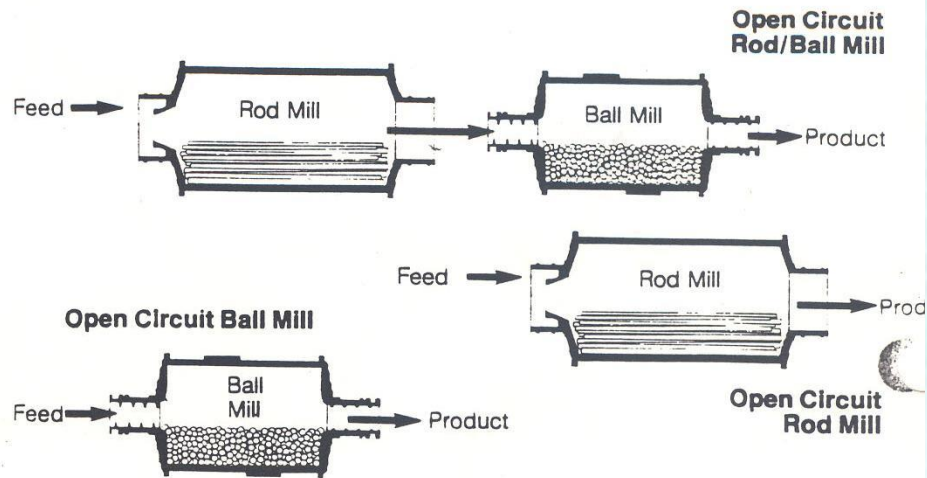
### 2. *Tube Mill*

- $L/D \geq 2,0$
- *Reduction ratio*  $\rightarrow 600 : 1$
- Biasanya lebih dari satu kompartemen

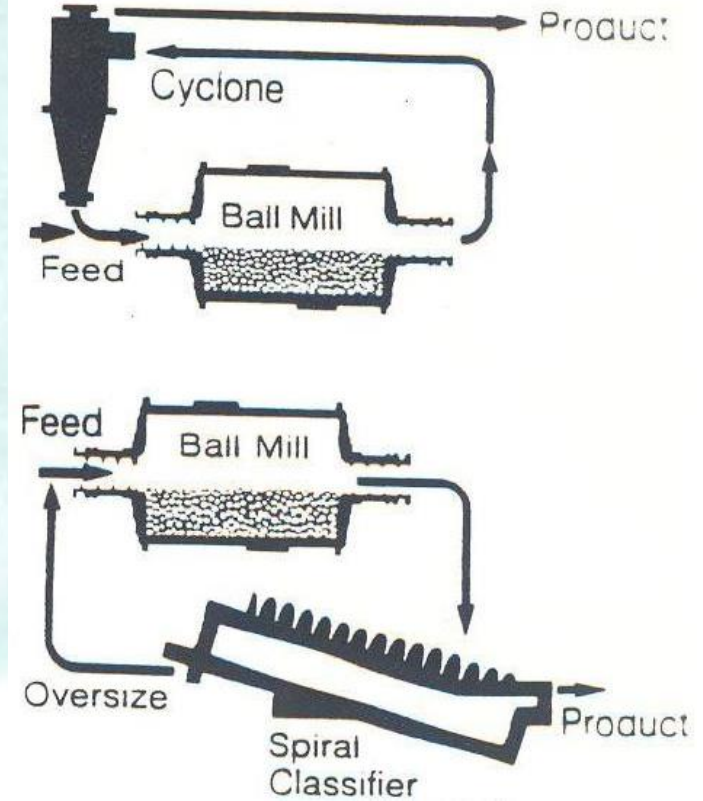
Yang membedakan antara *ball mill* dan *tube mill* adalah rasio panjang dan diameter tabung.

## Metode Pengoperasian

### Open Circuit Grinding



### Closed Circuit Grinding

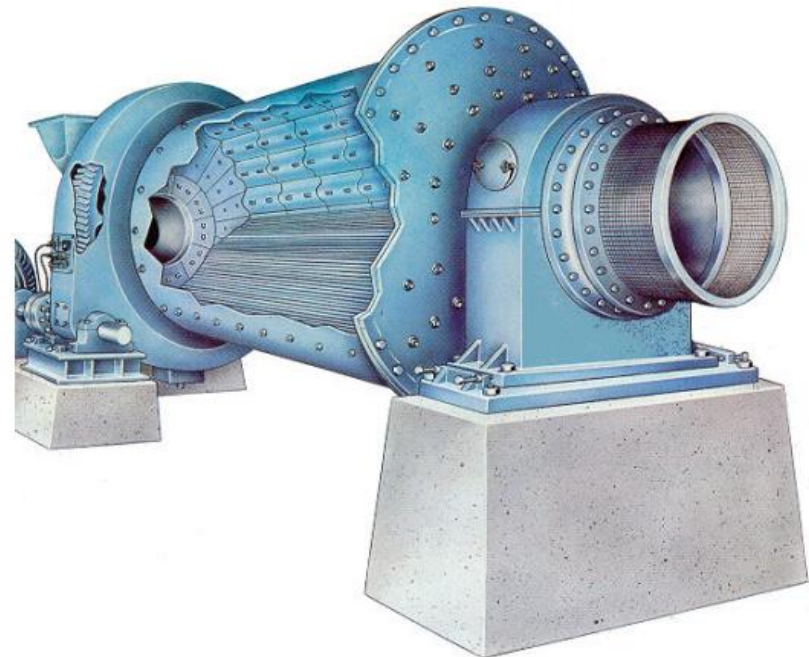


Berdasarkan *grinding media*, yaitu:

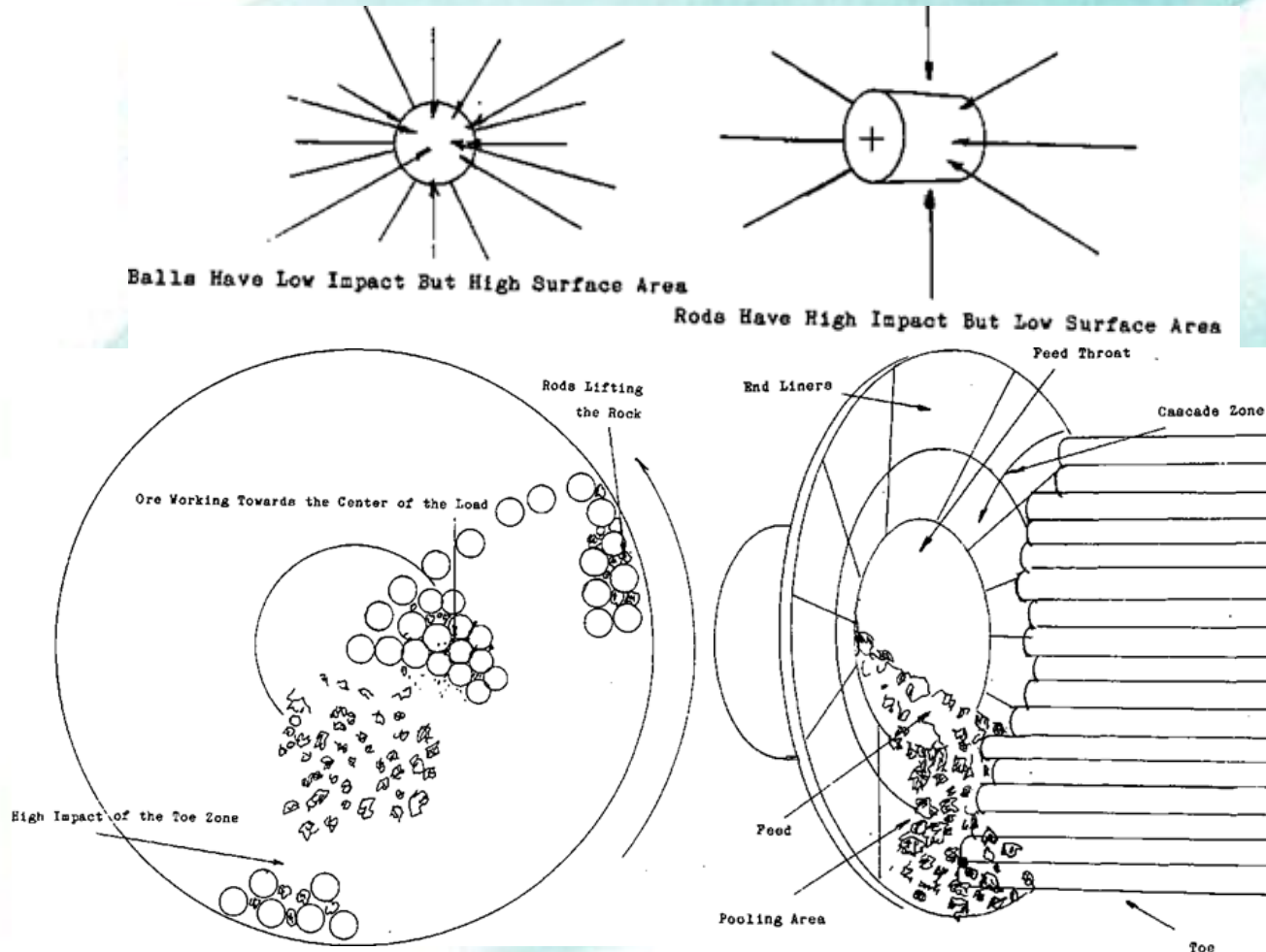
### **Bola Baja**



### **Batang Baja**



Perbedaan bola baja dan batang baja : **batang baja membutuhkan energi sekitar 12% lebih banyak daya dan penggilingan selektif yang lebih baik dibandingkan bola baja.**





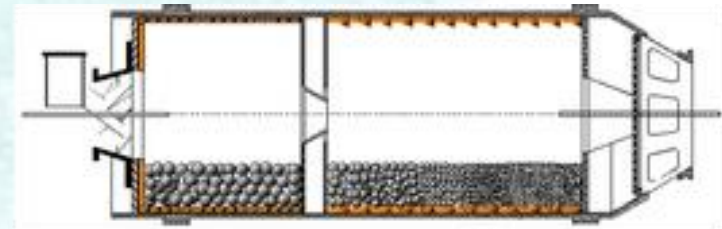
Size, mesh	Feed, weight percent	Product, weight percent			
		50 pounds of chert		75 pounds of chert	
		Large balls	Small rods	Large balls	Small rods
8	1.7	0.1			
10	25.2	2.2		0.7	
14	55.0	10.2	1.3	5.3	1.4
20	76.7	24.2	12.8	17.6	15.6
28	87.2	40.2	33.7	34.8	37.7
35	93.4	56.9	54.5	53.3	57.4
48	96.2	67.4	66.5	65.2	68.3
65	97.9	75.6	75.3	74.3	76.3
100	98.9	82.0	81.9	81.1	82.5
150	99.4	86.3	86.3	85.8	86.7
200	99.6	89.0	89.0	88.7	89.4
-200	.4	11.0	11.0	11.3	10.6
Surface tons per hour		27.0	27.8	28.5	26.8
Surface tons per horsepower-hour		19.6	18.3	21.2	17.8
Ton per hour		.281	.281	.278	.278
Horsepower		1.38	1.521	1.343	1.506
Ton per horsepower-hour		.204	.185	.207	.185
Time, minutes		5.3	5.3	8.1	8.1

Proses-proses penggilingan yang terjadi di dalam *tube mill* antara lain :

- *Crushing*, dilakukan oleh energi tumbukan terhadap partikel-partikel yang besar.
- *Coarse grinding*, dilakukan oleh sebagian energi gesekan terhadap partikel-partikel yang agak kasar.
- *Fine grinding*, dilakukan oleh energi gesekan terhadap partikel-partikel yang kecil menjadi partikel-partikel yang lebih halus.

Cara kerja *tumbling mill*, cek video berikut:

- <https://bit.ly/2JMdUmN>
- <https://bit.ly/3aJSSB0>



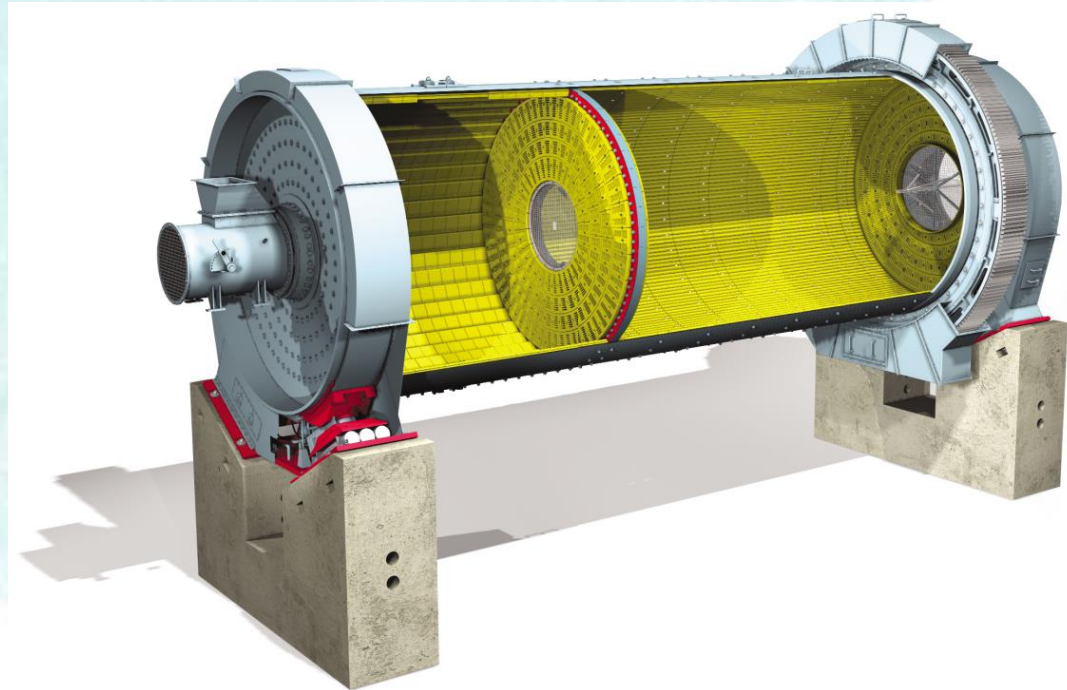
Penggilingan Kasar  
(Kompartmen 1)  
Cataracting grinding media



Penggilingan Halus  
(Kompartmen 2)  
Cascading grinding media

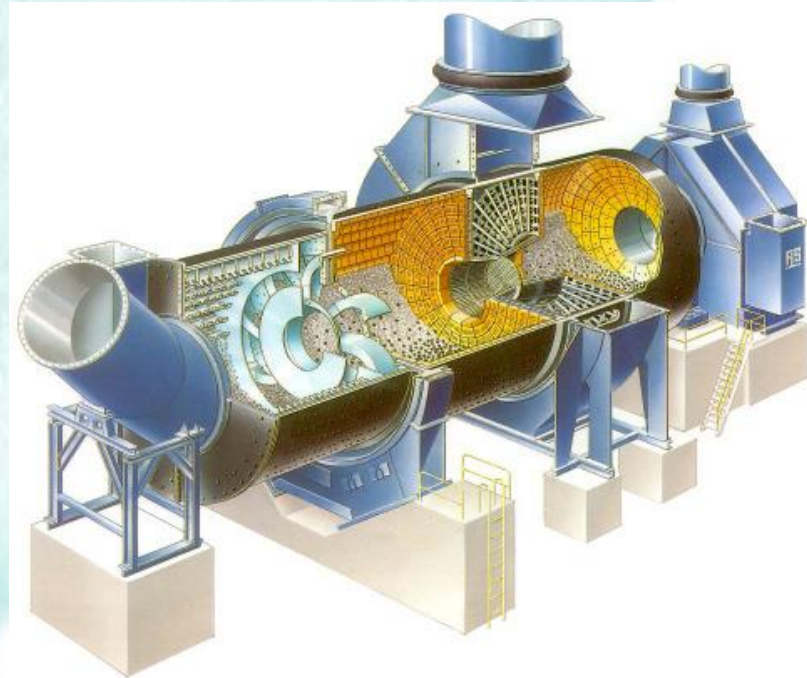
Berdasarkan jumlah kompartemen, dibedakan menjadi :

**Unidan** : Terdiri dari dua kompartemen. Pada kompartemen 1 untuk pengeringan dan *coarse grinding* atau penggilingan kasar. Sedangkan pada kompartemen 2 untuk penggilingan halus.



Berdasarkan jumlah kompartemen, dibedakan menjadi :

**Duodan** : Terdiri dari tiga kompartemen, yaitu: *drying chamber*, kompartemen 1, dan kompartemen 2. Kompartemen 1 digunakan untuk menghancurkan material yang masuk. Kompartemen 2 digunakan untuk menghaluskan material yang masih kasar.





## Ukuran / diameter bola

$$D_b = \sqrt{\frac{X_p \cdot E_i}{K \cdot n_r}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_s}{\sqrt{D}}}$$

$D_b$  = diameter ball (cm);  $D$  = diameter mill (cm)

$X_p$  = diameter umpan (cm);  $\rho_s$  = densitas umpan ( $\text{g/cm}^3$ )

$K$  = konstanta (= 214 untuk *rods* dan 143 untuk *balls*). Jika satuan  $D$  dan  $D_b$  menggunakan in atau ft, nilai  $K$  menjadi 300 untuk *rods* dan 200 untuk *balls*;

$n_r$  = kecepatan putar (%  $N_c$  = *percent of critical*)

$E_i$  = *work index* umpan (lihat Table 20-4 Perry 7<sup>th</sup> ed.)

- **Kecepatan kritis ( $N_c$ )**  $\rightarrow N_c(\text{rpm}) = 42,3 / \sqrt{D - D_b(m)}$  atau  $N_c(\text{rpm}) = 76,6 / \sqrt{D - D_b(ft)}$
- **Kecepatan putar normal ( $N$ )** = 65% – 75% kecepatan kritis
- **Power consumption:**

$$E = [(1,64.L - 1)K + 1][(1,64.D)^{2,5}E_2]$$

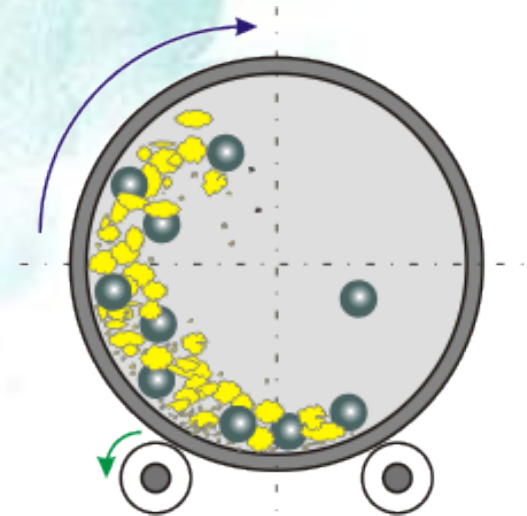
$K = 0,90$  ( $L < 1,5$  m);  $K = 0,85$  ( $L > 1,5$  m);  $L$  = panjang mill (m)

$E_2$  = power menggerakkan  $0,6 \times 0,6$  m (*laboratory mill*)

TABLE 20-4 Average Work Indices for Various Materials\*

Material	No. of tests	Specific gravity	Work index†	Material	No. of tests	Specific gravity	Work index†
All materials tested	2088	—	13.81	Taconite	66	3.52	14.87
Andesite	6	2.84	22.13	Kyanite	4	3.23	18.87
Barite	11	4.28	6.24	Lead ore	22	3.44	11.40
Basalt	10	2.89	20.41	Lead-zinc ore	27	3.37	11.35
Bauxite	11	2.38	9.45	Limestone	119	2.69	11.61
Cement clinker	60	3.09	13.49	Limestone for cement	62	2.68	10.18
Cement raw material	87	2.67	10.57	Manganese ore	15	3.74	12.46
Chrome ore	4	4.06	9.60	Magnesite, dead burned	1	5.22	16.80
Clay	9	2.23	7.10	Mica	2	2.89	134.50
Clay, calcined	7	2.32	1.43	Molybdenum	6	2.70	12.97
Coal	10	1.63	11.37	Nickel ore	11	3.32	11.88
Coke	12	1.51	20.70	Oil shale	9	1.76	18.10
Coke, fluid petroleum	2	1.63	38.60	Phosphate fertilizer	3	2.65	13.03
Coke, petroleum	2	1.78	73.80	Phosphate rock	27	2.66	10.13
Copper ore	308	3.02	13.13	Potash ore	8	2.37	8.88
Coral	5	2.70	10.16	Potash salt	3	2.18	8.23
Diorite	6	2.78	19.40	Pumice	4	1.96	11.93
Dolomite	18	2.82	11.31	Pyrite ore	4	3.48	8.90
Emery	4	3.48	58.18	Pyrrhotite ore	3	4.04	9.57
Feldspar	8	2.59	11.67	Quartzite	16	2.71	12.18
Ferrochrome	18	6.75	8.87	Quartz	17	2.64	12.77
Ferromanganese	10	5.91	7.77	Rutile ore	5	2.84	12.12
Ferrosilicon	15	4.91	12.83	Sandstone	8	2.68	11.53
Flint	5	2.65	26.16	Shale	13	2.58	16.40
Fluorspar	8	2.98	9.76	Silica	7	2.71	13.53
Gabbro	4	2.83	18.45	Silica sand	17	2.65	16.46
Galena	7	5.39	10.19	Silicon carbide	7	2.73	26.17
Gamet	3	3.30	12.37	Silver ore	6	2.72	17.30
Glass	5	2.58	3.08	Sinter	9	3.00	8.77
Gneiss	3	2.71	20.13	Slag	12	2.93	15.76
Gold ore	209	2.86	14.83	Slag, iron blast furnace	6	2.39	12.16
Granite	74	2.68	14.39	Slate	5	2.48	13.83
Graphite	6	1.75	45.03	Sodium silicate	3	2.10	13.00
Gravel	42	2.70	25.17	Spodumene ore	7	2.75	13.70
Gypsum rock	5	2.69	8.16	Syenite	3	2.73	14.90
Ilmenite	7	4.27	13.11	Tile	3	2.59	15.53
Iron ore	8	3.96	15.44	Tin ore	9	3.94	10.81
Hematite	79	3.76	12.68	Titanium ore	16	4.23	11.88
Hematite—specular	74	3.29	15.40	Trap rock	49	2.86	21.10
Oolitic	6	3.32	11.33	Uranium ore	20	2.70	17.93
Limanite	2	2.53	8.45	Zinc ore	10	3.68	12.42
Magnetite	83	3.88	10.21				

Suatu pabrik semen memiliki *ball mill* berdiameter dalam 1,2 m beroperasi pada kecepatan putar 0,4 rps untuk pengecilan ukuran *clinker*. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa produk tidak memenuhi persyaratan. Sebagai seorang *process engineer* di pabrik tersebut, apa komentar dan saran saudara?



**Ball mill critical speed:** <https://bit.ly/2RdTZkz>



Energi yang dibutuhkan *crusher/grinder* digunakan untuk:

- a. mengatasi friksi mekanis
- b. menghancurkan bahan

Energi ini proporsional terhadap luas permukaan baru yang terbentuk. Rittinger melakukan percobaan tentang hal ini, menggunakan "*a drop weight crusher*" seperti Gambar 44 (Brown),

Hasil percobaannya dinyatakan dalam:

$$\text{Rittinger's number} = \frac{\text{luas permukaan baru yang terbentuk}}{\text{energi mekanis yang dibutuhkan}}$$

*Drop weight test* adalah suatu spesimen yang diberikan beban secara tiba-tiba. Sehingga, pada percobaan Rittinger suatu spesimen yang diberikan beban tertentu akan mengalami perubahan luas permukaannya.

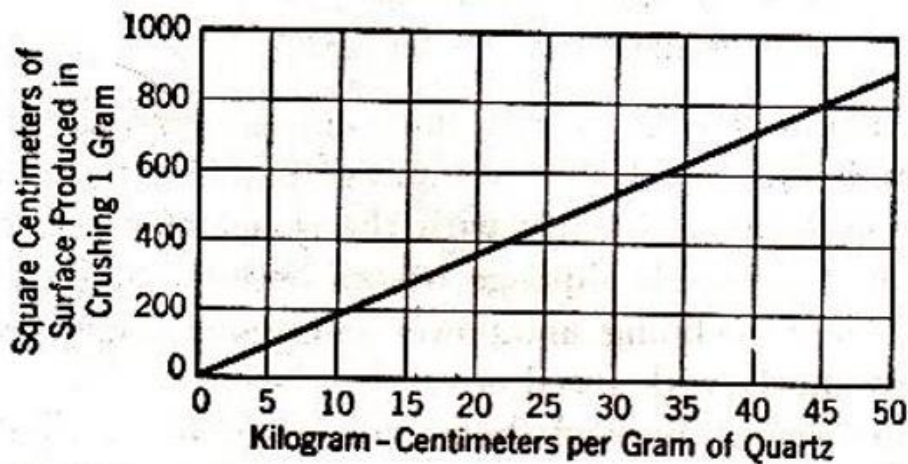


FIG. 45. Relation of energy input to surface produced in crushing quartz with a drop weight crusher.<sup>2</sup>

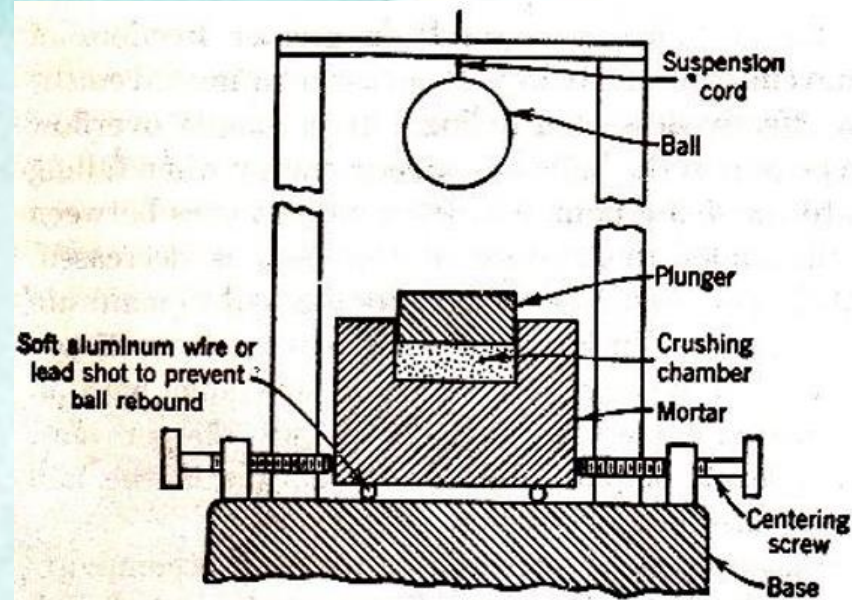


FIG. 44. Diagram of a drop weight crusher.<sup>2</sup>

Tabel 9 (Brown), *Rittinger Number*

Mineral	Rittinger's number		
	in <sup>2</sup> /(ft. lb)	cm <sup>2</sup> / (ft. lb)	cm <sup>2</sup> /(Kg. cm)
Quartz (SiO <sub>2</sub> )	37.7	243	17.56
Pyrite (FeS <sub>2</sub> )	48.7	314	22.57
Sphalerite (ZnS)	121.0	780	56.2
Calcite (CaCO <sub>3</sub> )	163.3	1053	75.9
Galena (PbS)	201.5	1300	93.8

Contoh : quartz, setiap energi (beban) 1 kg.cm akan memberikan luas permukaan baru sebesar 17,56 cm<sup>2</sup>.

**Luas permukaan baru** = selisih luas permukaan sebelum dihancurkan dan setelah dihancurkan.

Energi yang dibutuhkan *crusher* biasanya lebih besar daripada kebutuhan yang ditunjukkan pada bilangan rittinger, hal ini disebabkan energi alat harus mengatasi friksi dan efek inersia.

Total energi alat tergantung dari jenis alat dan beban alat, seperti yang disajikan di Tabel 10 (Brown).

Tabel 10. Experimen untuk luas permukaan baru per unit quartz

<b>Total weight of ball in ball mill, lb</b>	<b>cm<sup>2</sup>/(ft.lb)</b>	<b>cm<sup>2</sup>/(kg.cm)</b>
36	36	2,6
71	65	4,6
142	82	5,9
178	94	6,8
249	78	5,6
<i>Drop weight method (Rittinger)</i>	243	17,56



Berdasarkan data di atas, untuk energi 1 kg.cm dapat menghasilkan luas permukaan baru berikut:

Percobaan Rittinger (teoritis) (Tabel 9)	Eksperimen (aktual) (Tabel 10)
17,56 cm <sup>2</sup>	2,6 cm <sup>2</sup> (berat bola = 36 lb)

Rasio perbedaan ini dinyatakan dalam:

$$\text{crushing effectiveness} = \frac{\frac{\text{luas permukaan baru}}{\text{energi total crusher}}}{\frac{\text{luas permukaan baru}}{\text{energi teoritis Rittinger's nu.}}}$$

Rittinger number menunjukkan efektivitas maksimum *crusher*.

Suatu *ball mill* (aktual) = 2,6 cm<sup>2</sup>/(kg.cm)

*Drop weight method* (teoritis) = 17,56 cm<sup>2</sup>/(kg.cm)

Jadi efektivitas *crushing* = 2,6/17,56 = 0,148 = 14,8%

Theoretical effectiveness = (minimum energy required to create new surface) / (energy increase due to charge)

Overall energy effectiveness = (minimum energy required to create new surface) / (total energy used)

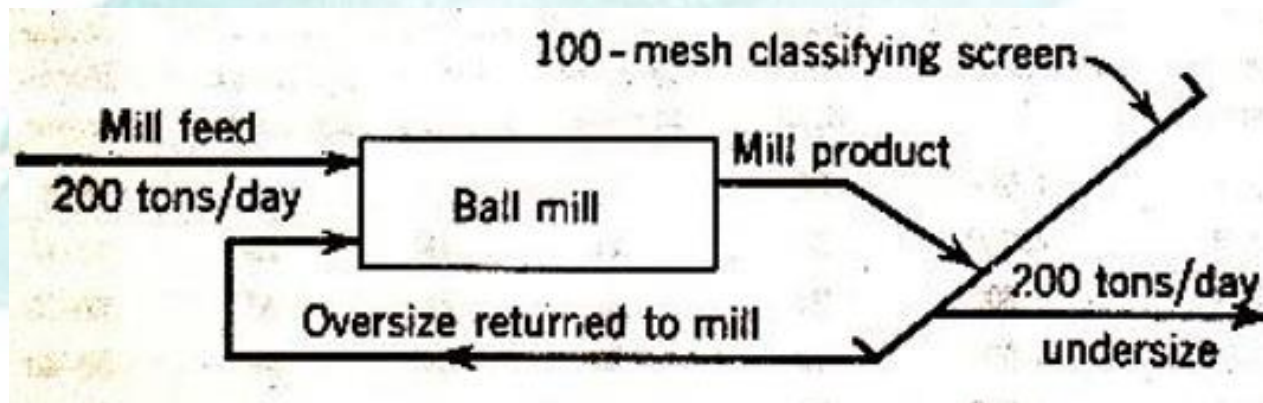
Overall energy effectiveness atau Efisiensi selalu lebih rendah dari Theoretical effectiveness atau Crushing effectiveness

## Latihan Soal: Brown, hal.43

**Illustrative example.** A ball mill operating in closed circuit with a 100 mesh screen gives the screen analyses below. The ratio of the oversize to the undersize (product) stream is 1,0705 when 200 tons of galena are handled per day.

The ball mill requires 15 hp when running empty (with the balls but without galena) and 20 hp when delivering 200 tons per day of galena. Find:

1. The effectiveness of crushing based on drop weight crushing as 1,00.
2. The overall energy efficiency.



Mesh	Mill Feed, weight %	Oversize from Screen, weight %	Undersize from Screen, weight %
- 4 + 6	1.0	0	0
- 6 + 8	1.2	0	0
- 8 + 10	2.3	0	0
- 10 + 14	3.5	0	0
- 14 + 20	7.1	0	0
- 20 + 28	15.4	0	0
- 28 + 35	18.5	13.67	0
- 35 + 48	17.2	32.09	0
- 48 + 65	15.6	27.12	0
- 65 + 100	10.4	20.70	2.32
- 100 + 150	6.5	4.35	14.12
- 150 + 200	1.3	2.07	13.54
- 200	0	0	70.02
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	100.00	100.00	100.00