PENANGANAN BAHAN PADAT
S1 TEKNIK KIMIA
Sperisa Distantina

SIZE REDUCTION

Isi kuliah :

a. Tujuan
b. Variable operasi
c. Pemilihan alat dan alat-alat SR
d. Kebutuhan energi dan efisiensi alat SR

a. TUJUAN

Mereduksi ukuran partikel.

Contoh:

1. Mereduksi ukuran padatan supaya mempunyai ukuran atau luas spesifik.
2. Memecah batuan untuk memisahkan material atau kristal dari bahan tertentu.
3. Batuan yang mengandung mineral berharga dipecah, kemudian dipisahkan dari padatan lainnya.

Beberapa step operasi dilakukan untuk memproduksi material dari ukuran >30 cm menjadi 75 μm :

1. mereduksi ukuran besar (coarse size reduction, crushing) untuk material >7 cm.
2. mereduksi ukuran sedang (intermediate size reduction, crushing) untuk ukuran 1 - 7 cm.
3. mereduksi padatan halus (fine size reduction, grinding).

b. Beberapa istilah variable operasi SR :

1. moisture content : kandungan cairan.

   Di bawah 3 – 4 % (%berat) cairan dalam bahan, SR tidak mengalami kesulitan.

   Di atas 4%, bahan menjadi sticky (lengket), cenderung menyumbat mesin/alat.

   Di atas 50%, wet size reduction, biasanya untuk padatan halus.

2. Reduction ratio: rasio diameter rerata umpan dengan diameter rerata produk.

$$\text{Reduction ratio} = \frac{\text{diameter rerata umpan}}{\text{diameter rerata produk}}$$

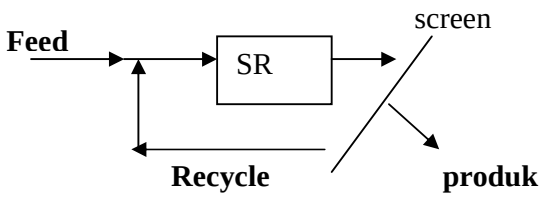
   Mesin penghancur ukuran besar atau crusher, mempunyai rasio 3 s/d 7.
   Mesin penhancur ukuran halus atau grinder, mempunyai rasio s/d 100.

3. Free crushing, proses penghancuran dimana produk yang dihasilkan langsung segera dikeluarkan sesuadah dalam waktu singkat tinggal di dalam alat. Pengeluaran produk dapat dengan cara a.l.:
   a. gaya gravitasi.
   b. Dihembus udara bertekanan.
   c. Dicuci dengan air.
   d. Dilemparkan dengan gaya sentrifugal.

   Free crushing ini untuk mencegah pembentukan kelebihan jumlah padatan yang ukurannya halus.

4. Choke feeding, kebalikan dari free crushing. Alat penghancur dilengkapi hopper (pengumpan) dan terisi terus sehingga produk tidak dapat bebas keluar dari alat. Cara ini untuk meningkatkan produk dengan ukuran halus.

5. Closed circuit. Alat pereduksi di lengkapi dengan unit pengayakan, produk yang tidak lolos ayakan didaur ulang.



6. Open circuit. Produk yang tidak lolos tidak didaur ulang.

7. Disintegrator, alat pereduksi yang dengan maksud untuk mecabik material berserat, seperti kayu atau kertas.

c. Pemilihan alat SR berdasarkan sifat dan ukuran, seperti yang disajikan di table 10.12 Coulson&Richardson Vol 6. dan table 20-7 Perry, 7th ed.

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan alat SR :

1. ukuran umpan,
2. SR ratio,
3. distribusi ukuran partikel dii arus produk,
4. kapasitas,
5. sifat bahan, seperti hardness, abrasiveness, stickiness, densitas, flammability.
6. kondisi basah atau kering.

Table 10.12. Selection of comminution equipment (after Lowrison, 1974)

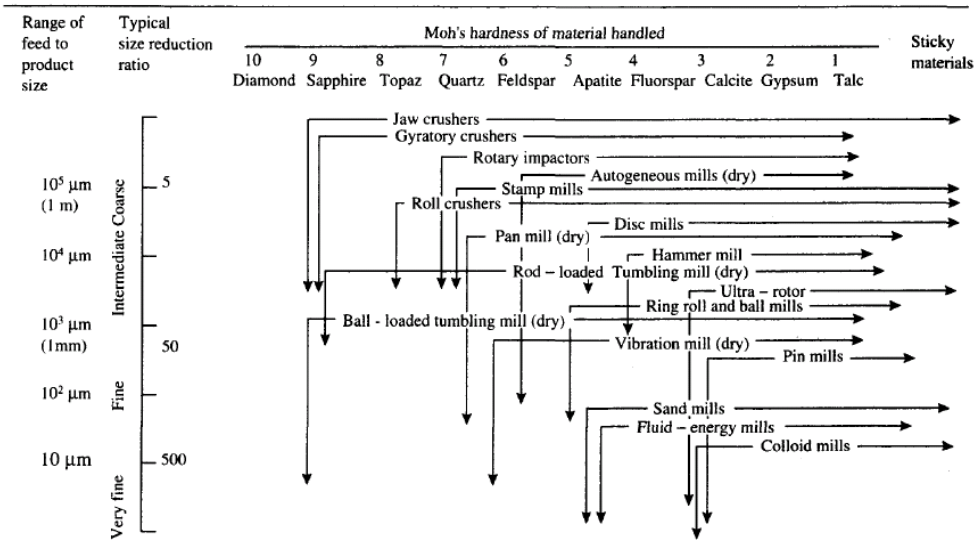


Table 10.13. Selection of comminution equipment for various materials (after Marshall, 1974) Note: Moh's scale of hardness is given in Table 10.12

Material class no	Material classification	Typical materials in class	Suitable equipment for product size classes			Remarks
			Down to 5 mesh	Between 5 and 300 mesh	Less than 300 mesh	
1	Hard and tough	Mica Scrap and powdered metals	Jaw crushers Gyratory crushers Cone crushers Autogeneous mills	Ball, pebble, rod and cone mills Tube mills Vibration mills	Ball, pebble and cone mills Tube mills Vibration and vibro-energy mills Fluid-energy mills	Moh's hardness 5–10, but includes other tough materials of lower hardness
2	Hard, abrasive and brittle	Coke, quartz, granite	Jaw crushers Gyratory and cone crushers Roll crushers	Ball, pebble, rod and cone mills Vibration mills Roller mills	Ball, pebble and cone mills Tube mills Vibration and vibro-energy mills Fluid-energy mills	Moh's hardness 5–10 High wear rate/ contamination in high-speed machinery Use machines with abrasion resistant linings
3	Intermediate hard, and friable	Barytes, fluor-spar, limestone	Jaw crushers Gyratory crushers Roll crushers Edge runner mills Impact breakers Autogeneous mills Cone crushers	Ball, pebble, rod and cone mills Tube mills Ring roll mills Ring ball mills Roller mills Peg and disc mills Cage mills Impact breakers Vibration mills	Ball, pebble and cone mills Tube mills Perl mills Vibration and vibro-energy mills Fluid-energy mills	Moh's hardness 3–5
4	Fibrous, low abrasion and possibly tough	Wood, asbestos	Cone crushers Roll crushers Edge runner mills Autogeneous mills Impact breakers	Ball, pebble, rod and cone mills Tube mills Roller mills Peg and disc mills Cage mills Impact breakers Vibration mills Rotary cutters and dicers	Ball, pebble and cone mills Tube mills Sand mills Perl mills Vibration and vibro-energy mills Colloid mills	Wide range of hardness Low-temperature, liquid nitrogen, useful to embrittle soft but tough materials
5	Soft and friable	Sulphur, gypsum rock salt	Cone crushers Roll crushers Edge runner mills Impact breakers Autogeneous mills	Ball, pebble and cone mills Tube mills Ring roll mills Ring ball mills Roller mills Peg and disc mills Cage mills Impact breakers Vibration mills	Ball, pebble and cone mills Tube mills Sand mills Perl mills Vibration and vibro-energy mills Colloid mills Fluid-energy mills Peg and disc mills	Moh's hardness 1–3
6	Sticky	Clays, certain organic pigments	Roll crushers Impact breakers Edge runner mills	Ball, pebble, rod and cone mills* Tube mills* Peg and disc mills Cage mills Ring roll mills	Ball, pebble and cone mills* Tube mills* Sand mills Perl mills Vibration and vibro-energy mills Colloid mills	Wide range of Moh's hardness although mainly less than 3 Tends to clog *Wet grinding employed except for certain exceptional cases

Perry.

TABLE 20-6 Types of Size-Reduction Equipment

A. Jaw crushers:
   1. Blake
   2. Overhead eccentric
B. Gyratory crushers:
   1. Primary
   2. Secondary
   3. Cone
C. Heavy-duty impact mills:
   1. Rotor breakers
   2. Hammer mills
   3. Cage impactors
D. Roll crushers:
   1. Smooth rolls (double)
   2. Toothed rolls (single and double)
   3. Roll press
E. Dry pans and chaser mills
F. Shredders:
   1. Toothed shredders
   2. Cage disintegrators
   3. Disk mills
G. Rotary cutters and dicers
H. Media mills:
   1. Ball, pebble, rod, and compartment mills:
      a. Batch
      b. Continuous
   2. Autogenous tumbling mills
   3. Stirred ball and bead mills
   4. Vibratory mills
I. Medium peripheral-speed mills:
   1. Ring-roll and bowl mills
   2. Roll mills, cereal type
   3. Roll mills, paint and rubber types
   4. Buhrstones
J. High-peripheral-speed mills:
   1. Fine-grinding hammer mills
   2. Pin mills
   3. Colloid mills
   4. Wood-pulp beaters
K. Fluid-energy superfine mills:
   1. Centrifugal jet
   2. Opposed jet
   3. Jet with anvil
   4. Fluidized-bed jet

TABLE 20-7 Guide to Selection of Crushing and Grinding Equipment

Size-reduction operation	Hardness of material	Size* Range of feeds, in.† Max.	Range of feeds, in.† Min.	Range of products, in.† Max.	Range of products, in.† Min.	Reduction ratio‡	Types of equipment
Crushing:							
Primary	Hard	60	12	20	4	3 to 1	*A* to *B*
		20	4	5	1	4 to 1	
Secondary	Hard	5	1	1	0.2	5 to 1	*A* to *E*
		1.5	0.25	0.185 (4)	0.033 (20)	7 to 1	
	Soft	60	4	2	0.4	10 to 1	*C* to *G*
Grinding:							
Pulverizing:							
Coarse	Hard	0.185 (4)	0.033 (20)	0.023 (28)	0.003 (200)	10 to 1	*D* to *I*
Fine	Hard	0.046 (14)	0.0058 (100)	0.003 (200)	0.00039 (1250)	15 to 1	*H* to *K*
Disintegration:							
Coarse	Soft	0.5	0.065	0.023	0.003	20 to 1	*F*, *I*
Fine	Soft	0.156 (5)	0.0195 (32)	0.003 (200)	0.00039 (1250)	50 to 1	*I* to *K*

*85% by weight smaller than the size given.
†Sieve number in parentheses, mesh per inch
‡Higher reduction ratios for closed-circuit operations.
NOTE: To convert inches to millimeters, multiply by 25.4.

Tugas: Berkelompok, membuat paper dan dipresentasikan untuk didiskusikan.

Materi:

a. Fungsi dan kemampuan alat.
b. Cara kerja alat.
c. Aplikasi di industri.
d. Pustaka : Brown, Perry, textbook lainnya, web.

d. KEBUTUHAN ENERGI ALAT SIZE REDUCTION

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 Fig. 44 (Brown).

Hasil percobaannya dinyatakan dalam :

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

Tabel 9 (Brown), Rittinger number .

Mineral	Rittinger's number		
	in^2/(ft. lb)	cm^2/ (ft. lb)	cm^2/(Kg. cm)
Quartz (SiO_2)	37.7	243	17.56
Pyrite (FeS_2)	48.7	314	22.57
Sphalerite (ZnS)	121.0	780	56.2
Calcite ($CaCO_3$)	163.3	1053	75.9
Galena (PbS)	201.5	1300	93.8

Contoh : quartz , setiap energi 1 kg-cm akan memberikan luas permukaan baru sebersar 17,56 cm^2.
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 enersia.

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

Table 10. Experimental values of new surface produces per unit energy of quartz

Total weight of ball in ball mill, lb	cm^2/(ft. lb)
36	36
71	65
142	82
178	94
249	78
Drop weight method	243

Contoh: Table 10 menyajikan:
Ball mill dengan berat bola=36 lb, setiap 1 Kg cm akan membentuk luas permukaan baru sebesar 2,6 cm^2.
Sedangkan dari percobaan drop weight method, setiap 1 Kg cm energi akan membentuk luas permukaan sebesar 17,56 cm^2.

Rasio perbedaan ini dinyatakan dalam:

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

Rittinger's nu. Menunjukkan efektivitas maksimum dari crusher.

Contoh : table 10 menunjukkan energi:
Suatu Ball mill (aktual)= 94 cm^2/(ft.Lb).
Drop weight method (teoritis) = 243 cm^2/(ft.Lb).
Jadi efektivas crhusing = 94/243 = 0,387.

Selain hukum Rittinger, ada teori lain yang dapat digunakan untuk memprediksi energi yang dibutuhkan alat size reduction.

Pada dasarnya, hukum yang digunakan untuk merubah partikel sebesar dX :

$$\frac{dE}{dX} = -\frac{C}{X^n} \qquad (1)$$

X = diameter partikel,
n, C = konstanta tergantung tipe dan ukuran material, serta tipe mesin.
E= energi teorits untuk menghancurkan dan membentuk luas permukaan baru.

Kondisi batas :
E=0 , X= X1; diameter partikel pada umpan alat.
E= E , X = X2 ; diameter partikel pada arus produk alat.

Efisiensi alat SR:

$$\text{Energi aktual} = \frac{\text{energi teoritis}}{\text{effektivitas}}$$

1. Rittinger (1857)

E sebanding dengan luas permukaan baru yang terbentuk, maka persamaan (1) dengan n = 2 akan mengikuti hukum Rittinger.

$$\frac{dE}{dX} = -\frac{C}{X^2}$$

Buktikan :

$$E = C\left(\frac{1}{X2} - \frac{1}{X1}\right)$$

E untuk mengecilkan dari 100 mm menjadi 50 mm akan sama dengan E untukmengecilkan dari 50 mm menjadi 33,3 mm.

Jadi persamaan Rittinger cocok untuk grinding fine powder.

2. Kick (1885)

E sebanding dengan size reduction ratio.

$$E \propto \frac{X2}{X1}$$

Persamaan (1) dengan n =1 akan mengikuti hukum Kick:

Butktikan :

$$E = C.\ \ln \frac{X1}{X2}$$

$$E = Kk.\ \log \frac{X1}{X2}$$

3. Bond (1952)

$$E \propto \sqrt{\frac{\text{luas permukaan produk}}{\text{volum produk}}}$$

Persamaan (1) dengan n= 1,5 akan mengikuti hukum Bond.

$$E = \frac{C}{n-1}\left(\frac{1}{X2^{n-1}} - \frac{1}{X1^{n-1}}\right)$$

dengan n = 1,5.

$$E = KB\left(\frac{1}{\sqrt{X2}} - \frac{1}{\sqrt{X1}}\right)$$

$$\frac{P}{T} = 1{,}46.\ E_i\left(\frac{1}{\sqrt{Dp}} - \frac{1}{\sqrt{Df}}\right)$$

dengan,
P = gross power required, hp.
T= feed capacity, ton/ min.
Df= diameter of feed , ft.
Dp = diameter of product, ft.
Ei = indeks kerja= work index = kerja yang dibutuhkan untuk memecahkan dari ukuran besar menjadi 80% lolos ayakan 100 µm, disajikan di table 20-4 Perry, 7th ed.

Contoh : 14.5.1. Power to crush ore by Bond's Theory (Geankoplis, 3th ed., p. 842).

Problem : 14.5.1 dan 15.5.2.

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
Garnet	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				

*Allis-Chalmers Corporation.
†Caution should be used in applying the average work index values listed here to specific installations, since individual variations between materials in any classification may be quite large.

Contoh:

It is desired to crush 10 ton/h of iron ore hematite.
The size of the feed is such that 80% passes a 3 –in (76.2 mm) screen and 80% of the product is to pass a 1/8-in (3.175 mm) screen. Calculate the gross power required.
Ei = 12.68 (iron ore hematite; table 20-4 Perry).

PR I

2. Problem Brown, p. 46, no. 4
A feed of 150 tons/day of pyrites must be comminuted from the material size given below as feed to size range given below as product. A ball mill is to be used. It will be loaded with balls to operate at a crushing effectiveness of about 32%. What size motor will be needed to drive it.

mesh	Feed, mass fraction	Product, mass fraction

PR II dan III (problem Geankoplis. 14.5.1 dan 15.5)