



Program Studi Teknik Kimia

Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret 2020

1

SIZE REDUCTION

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

- Industri berbahan baku padatan ataupun menggunakan bahan padat pada prosesnya, membutuhkan proses reduksi ukuran partikel.
- Pada pembuatan plaster gipsum, batuan gipsum diambil dengan ukuran diameter 5 ft. Sebelum masuk ke proses hidrasi, batuan gipsum dikecilkan ukurannya melalui screen 100 mesh.
- Proses reduksi dilakukan dari ukuran 50 in hingga 0,005 in.

- Mereduksi ukuran partikel ke ukuran yang diinginkan.
- 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.



- Konsep : material harus dapat dipecah dengan kontak antar partikel atau komponen penghancur pada mesin.
- Beberapa tahapan 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*)

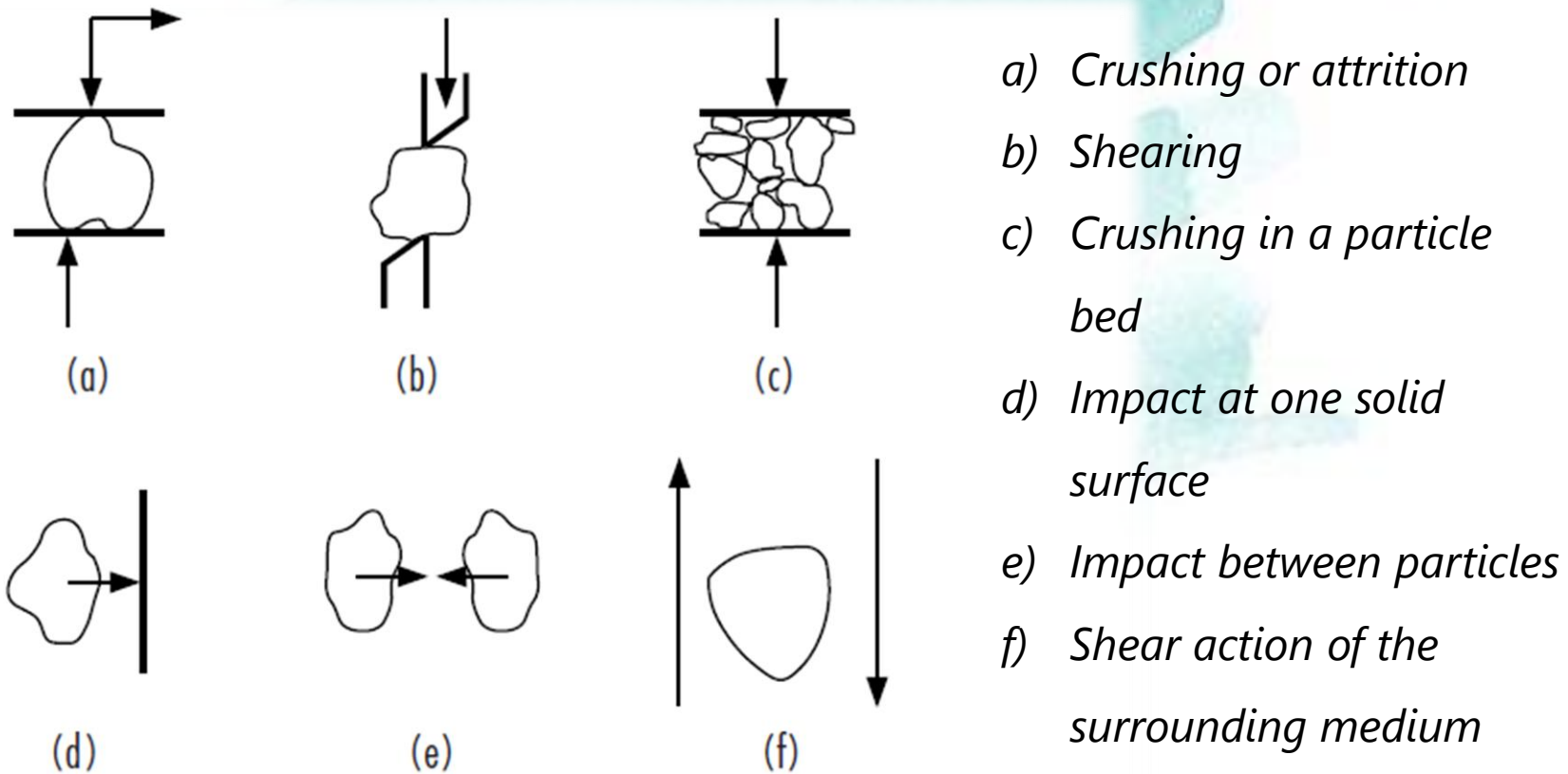


FIG. 20-20 Stressing mechanisms to cause size reduction. [*Rumpf, Chem. Eng. Tech.*, 37(3), 187-202 (1965).]

Moisture content : kandungan cairan

- Di bawah 3 - 4% (% berat) → tidak mengalami kesulitan.
- Di atas 4%, bahan menjadi *sticky* (lengket) → cenderung menyumbat mesin/alat.
- Di atas 50%, sebagai suspensi atau slurry (*wet size reduction*) → biasanya untuk padatan halus.



Granite aggregate at various moisture conditions

Reduction ratio

- Nilai rasio diameter umpan rata-rata dengan diameter produk rata-rata
- Mesin penghancur ukuran besar atau crusher, mempunyai rasio 3 s/d 7.
- Mesin penghancur ukuran halus atau grinder, mempunyai rasio s/d 100.

$$\text{Reduction Ratio} = \frac{\text{diameter rata umpan}}{\text{diameter rata produk}}$$

Free Crushing

- Proses penghancuran dimana produk yang dihasilkan langsung segera dikeluarkan, setelah secara singkat tinggal di dalam alat.
- Pengeluaran produk dapat dengan cara berikut:
 - a. gaya gravitasi
 - b. dihembus udara bertekanan
 - c. dicuci dengan air
 - d. dilemparkan dengan gaya sentrifugasi
- *Free crushing* ini untuk mencegah pembentukan kelebihan jumlah padatan yang ukurannya halus.

Choke feeding

- Kebalikan dari *free crushing*.
- Alat penghancur dilengkapi dengan hopper (pengumpan) dan terisi terus sehingga produk tidak dapat bebas keluar dari alat.
- Cara ini untuk meningkatkan produk dengan ukuran halus.
- Dapat mengeliminasi proses selanjutnya, karena menghasilkan ukuran halus dengan jumlah besar.

Hardness of material

- Untuk material yang *soft*, tidak perlu konstruksi *crusher* yang terlalu kuat di *range* ukuran kasarnya.
- Pada *range* ukuran halus, mesin yang sama dapat digunakan untuk *soft* dan *hard material*.

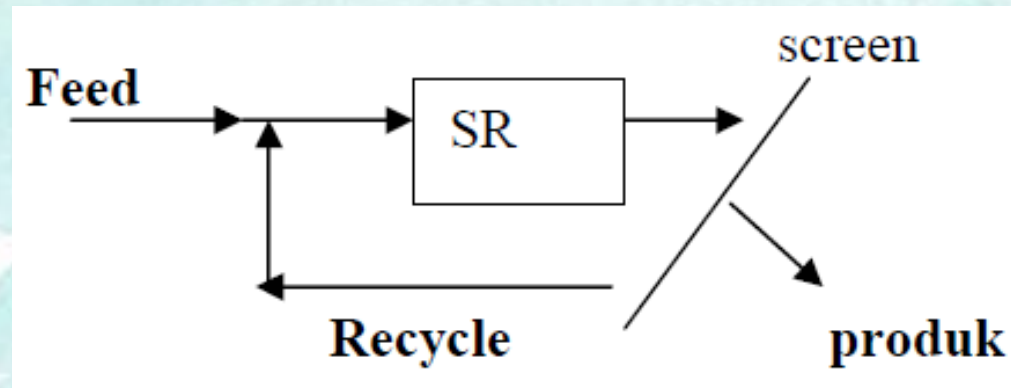
Hardness of material

- *Hardness* merupakan kekerasan bahan, dinyatakan dalam skala Mohs.
- *Hardness* merupakan kekuatan bahan terhadap goresan untuk mineral, sedangkan *hardness* merupakan kekuatan bahan terhadap lekukan untuk logam dan plastik .

Skala mohs	hardness	mineral
1	Soft material	Talkum: soap stone, waxes, agregat garam kristal
2		Gypsum: batuan garam, garan kristal, batubara
3		Kalsit: marmer, batu kapur lunak, kapur tulis
4	Intermediate material	Fluorit: fosfat, batu kapur
5		Apatit: batu kapur keras, bauksit
6		felspar
7		Kuarsa : granit (keras)
8	Hard material	Topas
9		Corundum (safir)
10		Intan (diamond)

CLOSED CIRCUIT,

- Alat pereduksi yang dilengkapi dengan unit pengayakan, produk yang tidak lolos ayakan *direcycle*.
- Lebih ekonomis di sisi energi, menghasilkan material dengan keseragaman yang tinggi.



OPEN CIRCUIT,

- Produk yang tidak lolos tidak didaur ulang.

DISINTEGRATOR,

- Alat pereduksi yang bertujuan untuk mencabik material berserat; kayu atau asbestos.

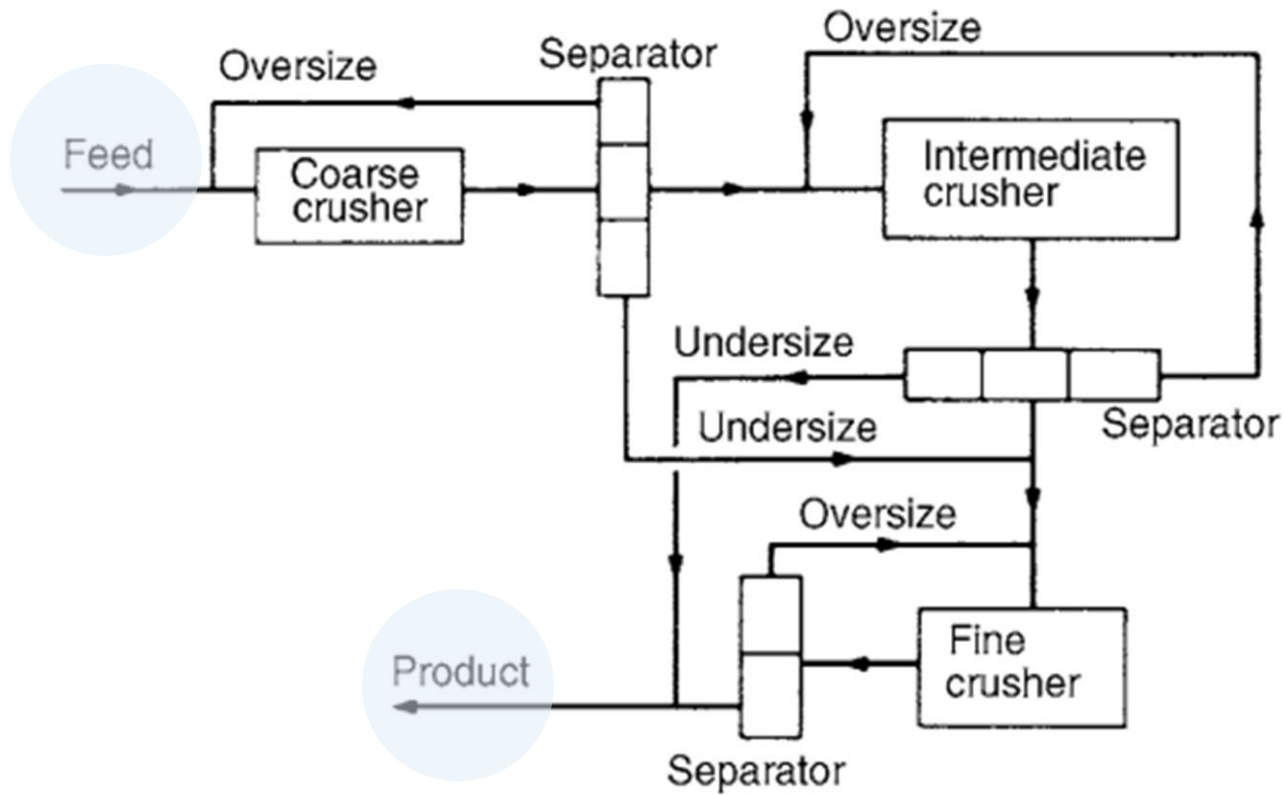


Figure 2.3. Flow diagram for closed circuit grinding system

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan alat SR:

- Ukuran umpan,
- SR ratio,
- Distribusi ukuran partikel di arus produk,
- Kapasitas,
- Sifat bahan, seperti *hardness*, *abrasiveness*, *stickiness*, densitas, *flammability*,
- Kondisi basah atau kering.

Tabel 10.12 Coulson & Richardson Vol 6 dan Tabel 20-7 Perry, 7th ed.

- Pada prosesnya, **Size Reduction** biasanya dibagi menjadi beberapa kelas, sesuai dengan ukuran umpan dan produk yang diinginkan.
- Karena tidak efisien jika *reduction ratio* terlalu tinggi dibebankan pada satu alat saja.

Table 2.1. Classification of size reduction equipment

	Feed size	Product size
Coarse crushers	1500–40 mm	50–5 mm
Intermediate crushers	50–5 mm	5–0.1 mm
Fine crushers	5–2 mm	0.1 mm
Colloid mills	0.2 mm	down to 0.01 μm

Table 2.2. Crushing equipment

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

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

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

*85% by weight smaller than the size given.

†Sieve number in parentheses, mesh per inch

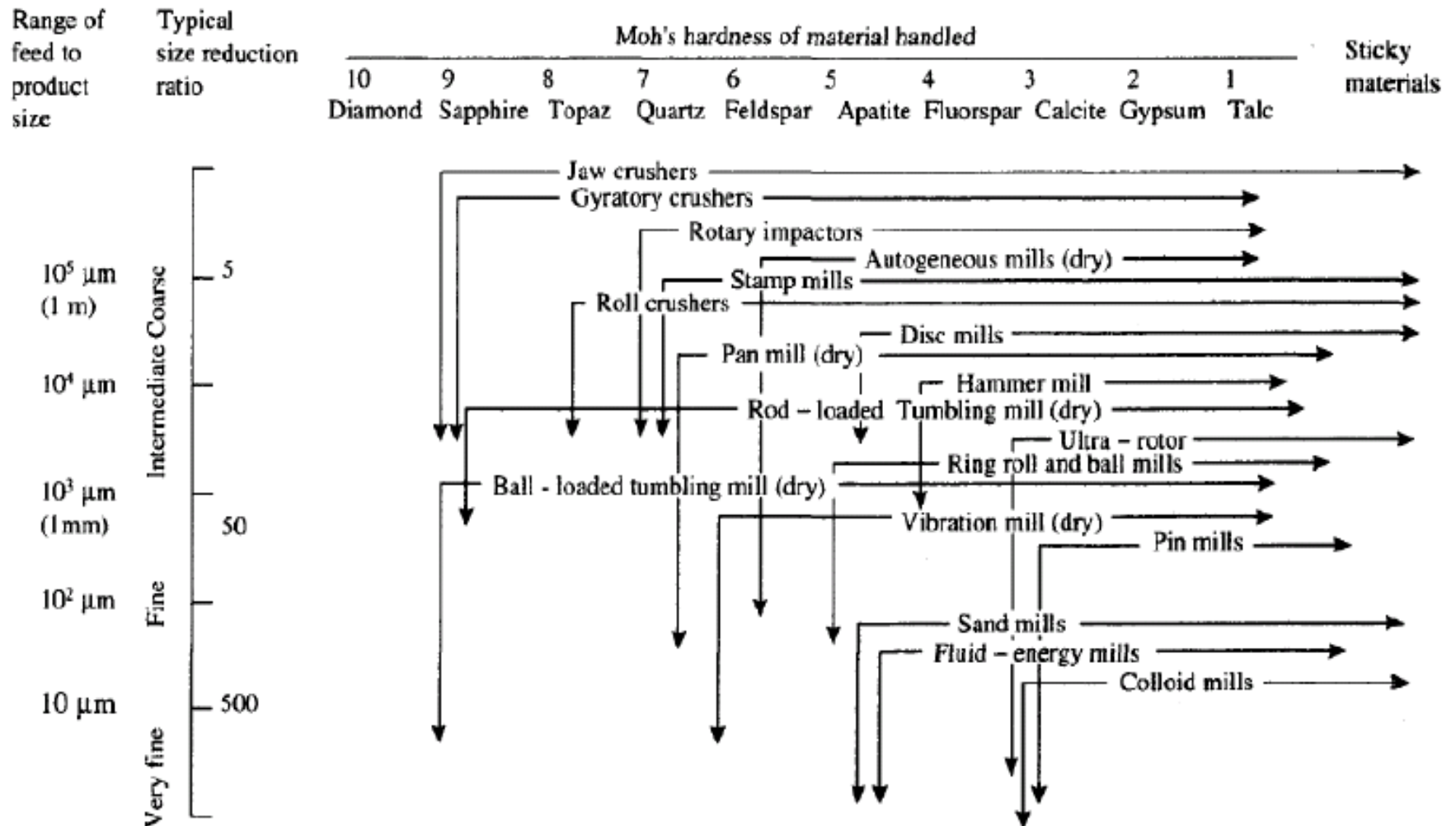
‡Higher reduction ratios for closed-circuit operations.

NOTE: To convert inches to millimeters, multiply by 25.4.

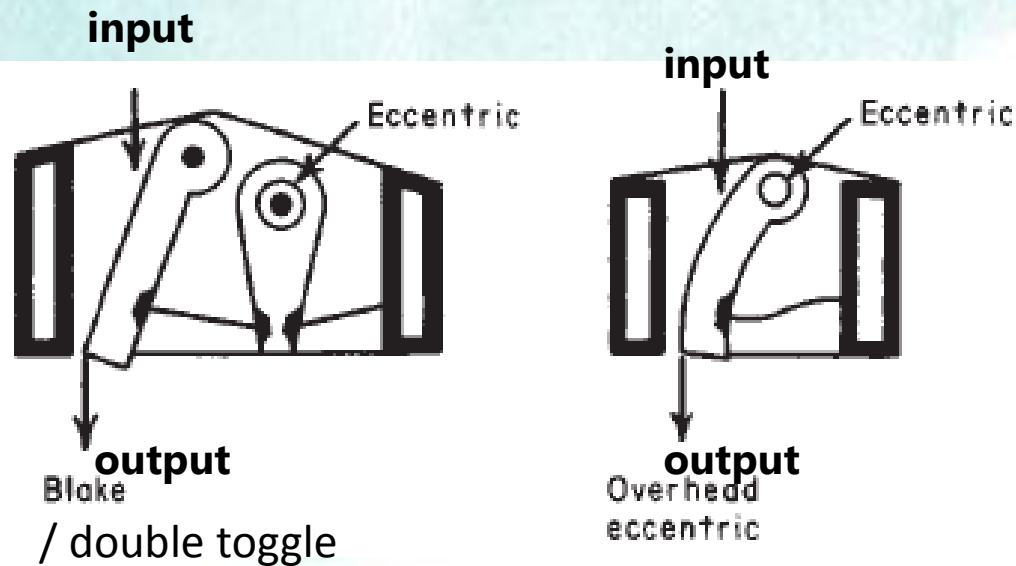
TABLE 20-6 Types of Size-Reduction Equipment

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

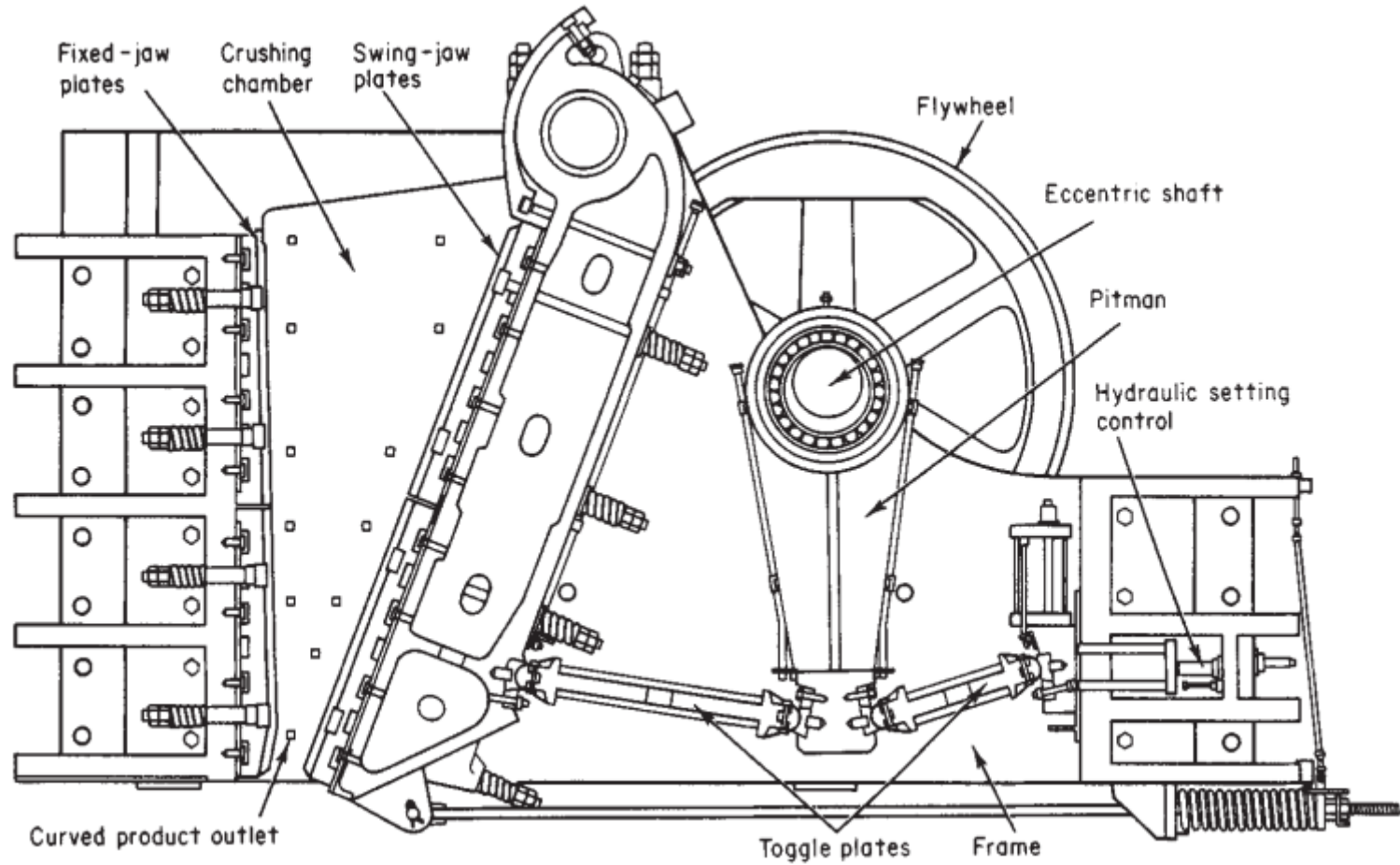


- Reduction ratio pada pengaturan minimum yang disarankan sekitar 8 : 1.
- Jaw Crusher bekerja mengandalkan kekuatan motor. Melalui roda motor, poros eksentrik digerakkan oleh sabuk segitiga dan slot wheel untuk membuat jaw plate bergerak seirama.
- Secara umum terbagi menjadi 2 jenis:



Komponen Jaw Crusher

- Terdiri dari dua buah plat baja seperti Jaw (rahang)
- Fixed Jaw (tetap tidak bergerak) berfungsi sebagai rahang penghancur → sebagai tumpuan material yang ditumbuk
- Movable jaw (dapat digerakkan) bergerak memberikan tumbukan pada material yang akan dihancurkan.
- Pitman Arm, berfungsi sebagai tempat dua buah jaw diletakkan, biasa juga disebut Togle Block.
- Excentric shaft menggerakkan pitman arm.



Prinsip Kerja Jaw Crusher

- Material (umpan) masuk melalui feed opening bagian movable jaw yang bergerak, akibat dari eccentric shaft yang digerakkan oleh motor listrik.
- Umpan dihancurkan oleh kedua buah rahang jaw karena gerakan moveble jaw.
- Material lebih halus dikeluarkan melalui discharge opening → dapat diatur dengan menyeting atau menyetel baut adjustment.
- Pengisian dengan material yang terlampau kecil dalam jaw crusher → tidak ekonomis dan menyebabkan keausan pada bagian bawah.
- **Lihat video**
 - <https://youtu.be/E9inrsIL02o>
 - <https://youtu.be/ECbBtcPkl8Y>

Parameter Performance

TABLE 20-8 Performance Data for Blake Jaw Crushers

Model	Feed opening, in.	hp	Closed setting, in.	Capacity, ton/h	Weight, 1000 lb.	Max. r/min.
Standard 22	3 × 12	10	¼	2–5	3	400
54	8 × 24	15–25	2	19–32	7	400
81	12 × 36	25–40	¾	15–26	17	390
95	24 × 36	30–50	3	59–88	27	390
Big Bite 110	25 × 42	50–60	2	32–50	40	390
			3	95–135		
			6	195–270		
160	42 × 48	125–150	4	85–120	117	290
440	66 × 84	350–400	5	205–275	455	210
			10	215–290		
			7	520–770		
			22	835–1310		
				2625–4120		

To convert inches to millimeters, multiply by 2.54; to convert pounds to kilograms, multiply by 0.4535; to convert horsepower to kilowatts, multiply by 0.746; and to convert tons per hour to kilograms per hour, multiply by 907.

Parameter Performance

TABLE 20-9 Performance Data for Overhead Eccentric Jaw Crushers*

		Capacity, tons/h									
		Setting, in.									
Crusher Size, in.	r/min.	hp	¾	1	1½	2	3	4	6	8	12
10 × 16	300	20–30	15	20	30	40	60				
12 × 36	275	60–75			65	85	130	175			
24 × 36	250	125–150					130	175	265		
30 × 42	250	125–175						200	300	400	610
54 × 60	200	350–450						290	440	580	880

*Cedar Rapids, CO. Div. of Raytheon Co., Pocket Reference Book, 13 ed., pp. 8–12, 1993.

Capacity can vary depending on breaking characteristics and compression strength of each: installed horsepower, size of feed, rate of feed, type of fall, and proper operating conditions.

TABLE 20-10 Relation of Product Size to Discharge Setting of Crusher*

Setting measured on open side	Kind of feed	% of product passing a square opening equal to discharge setting of crusher				
		Limestone	Granite	Trap rock	Ores	
Primary service: Jaw crusher†	Quarry-run	85–90	70–75	65–70	85–90	
	Prescalped	80–85	65–70	60–65	80–85	
	Gyratory crusher	Quarry-run	85–90	75–80	65–70	85–90
		Prescalped	80–85	70–75	60–65	80–85
Secondary service: Gyratory crusher‡	Screened	85–90	80–85	75–80	85–90	

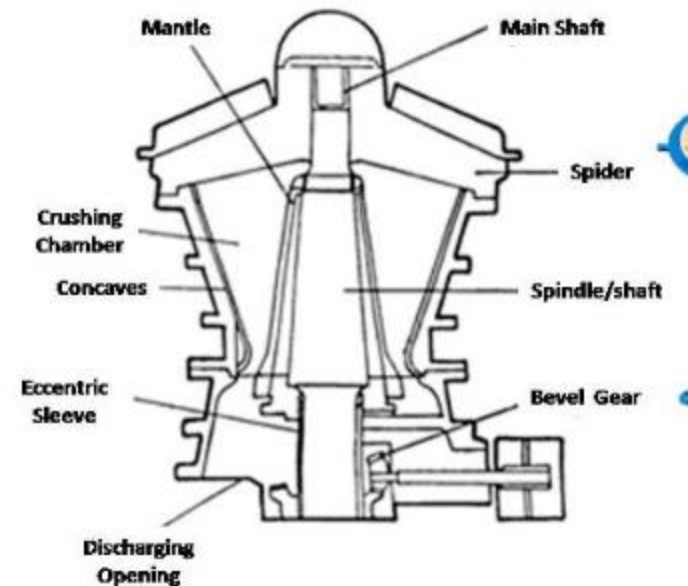
*From "Crushing Theory and Practice," Allis-Chalmers Mfg. Co.

†Blake type, or crushers with equivalent speeds and throws: opening measured from tip of corrugations on one jaw plate to bottom of corrugations in opposing plate.

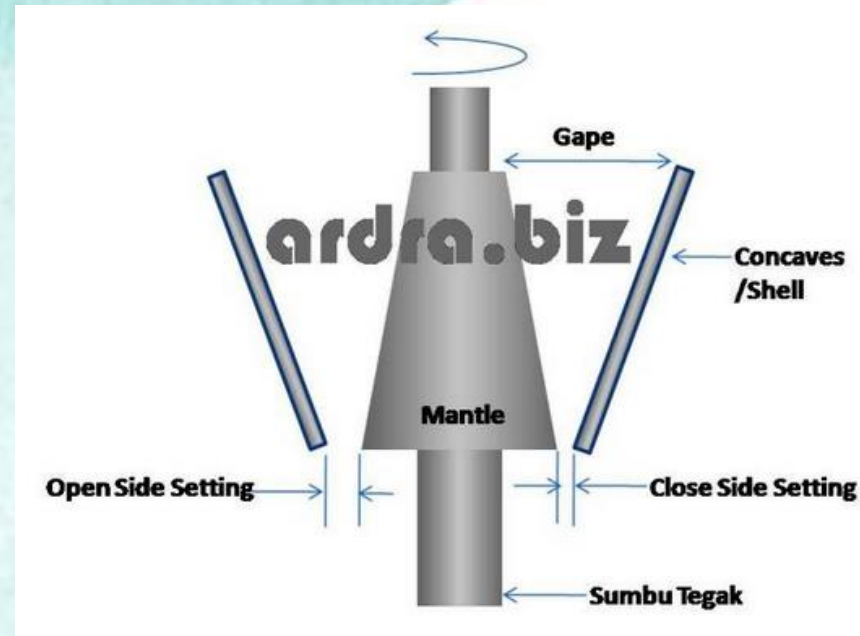
‡For standard, or reduction, types with nonchoking concaves. Single-toggle jaw product, on screened feed, will approximate that of gyratory-type secondary crushers with nonchoking concaves.

b. Gyratory Crusher

- Berkapasitas besar.
- Full time crushing.
- Lebih efisien dari Jaw Crusher, namun memerlukan biaya dan pemeliharaan lebih tinggi.
- Berbentuk cone (kerucut terbalik), berperan sebagai mortar dan alu. Mortar = *bowl* = *outer cone*; alu = *mantle with shaft*.



- Rongga remuk (crusher chamber) berada diantara *alu (mantle)* dengan mortar (*bowl*).
- Sumbu tegak diputar oleh eccentric sleeve, memberikan gerakan pada alu untuk memutar mendekati *bowl*.
- Bergerak secara gyratory memberikan gaya tekanan pada material ke arah dinding bowl.
- Setelah halus, material turun secara gravitasi.
- Tidak memerlukan feeder, umpan dapat ditumpuk.



Lihat video

- <https://www.youtube.com/watch?v=rC9rhEpZBMU>
- <https://youtu.be/IYeOW7UCZAq>

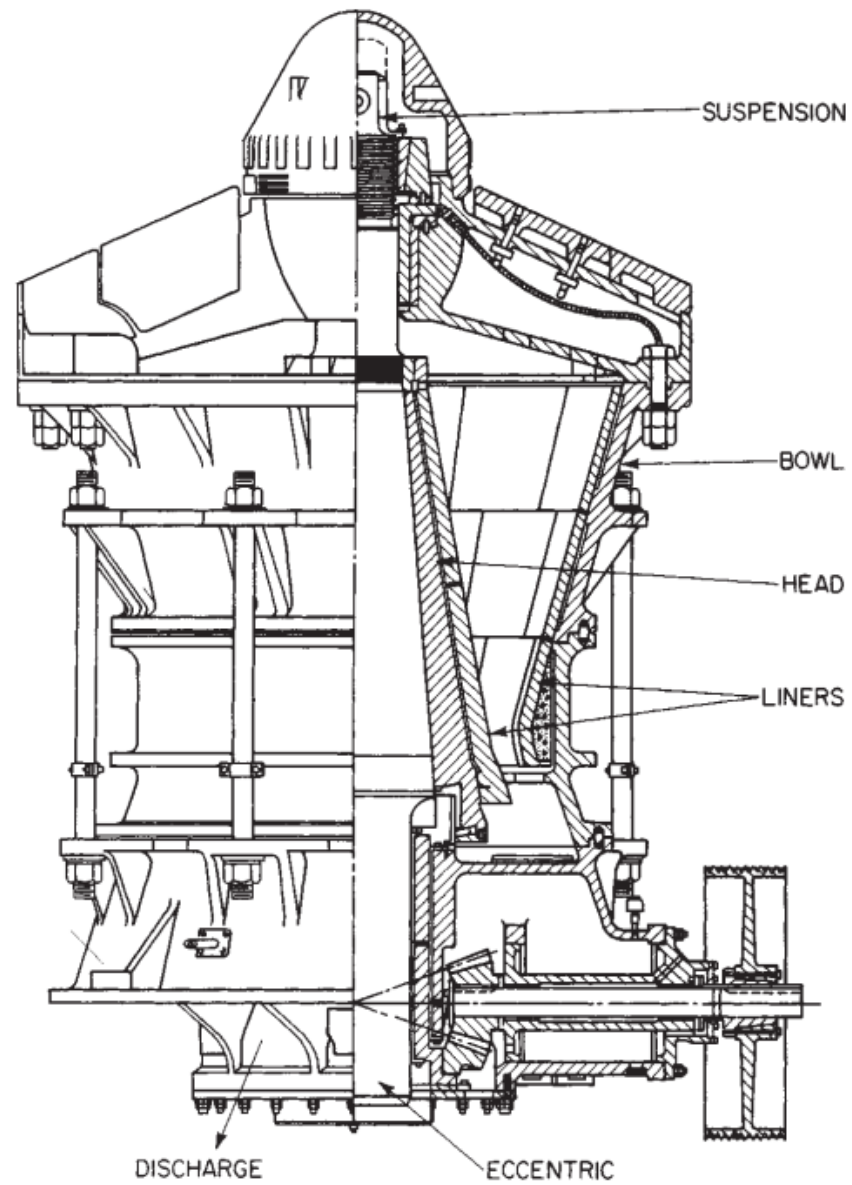


FIG. 20-23 Primary gyratory crusher with spider suspension. (Nordberg, Inc.)

Parameter Performance

TABLE 20-11 Performance Data for Primary Gyratory Crushers*

Capacities for crushing limestone, tons/hr.

Crusher size	Approx. feed opening, in.	Cyrations per min.	Pinion r.p.m.	Max. hp.	Eccentric throw, in.	Open-side setting of discharge opening, in																					
						2½	3	3½	4	4½	5	5½	6	6½	7	7½	8	8½	9	9½	10	10½	11	11½	12		
30-55	30 × 78	175	585	150	¾	150	205	270	335	390	450	510															
42-65	42 × 108	150	497	265	1¼				605	675	735	800															
					1½				540	660	790	920	1040	1170													
54-74	54 × 132	135	497	300	1							960	1040	1100	1160	1240	1330										
60-109	60 × 150	100	400	1000	1½													3250	3500	3750	4000	4250	4500	4750	5000		

*Allis-Chalmers Corporation. To convert inches to millimeters, multiply by 2.514; to convert horsepower to watts, multiply by 746.

- *Primary crusher* memiliki sudut kerucut yang curam dan rasio reduksi yang kecil.
- *Secondary crusher* memiliki sudut kerucut yang lebih luas (landai); memungkinkan produk yang lebih halus tersebar di area yang lebih luas dan juga menyebarkan keausan.

- Roll crusher masih umum digunakan untuk menghancurkan batu bara primer dan sekunder dan batuan rapuh lainnya seperti fosfat.
- Permukaan roll dapat berwujud halus, bergelombang, atau bergerigi, tergantung pada aplikasi.

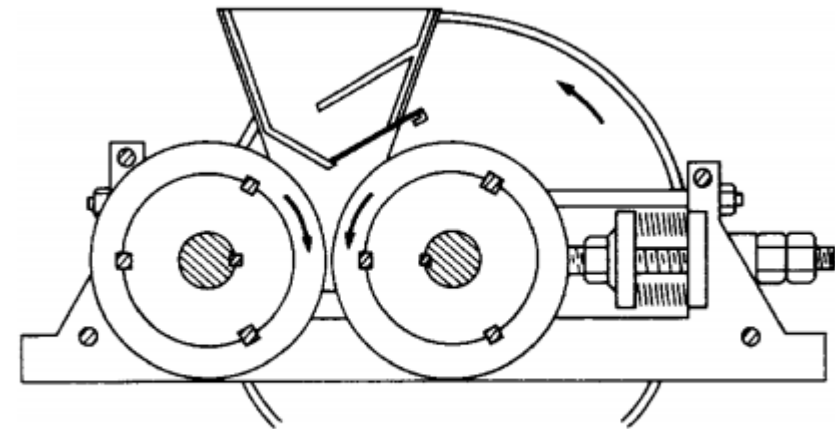
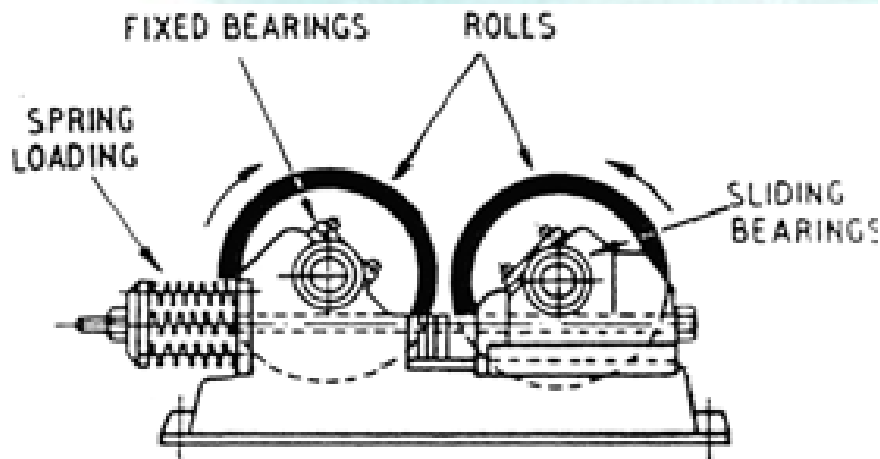
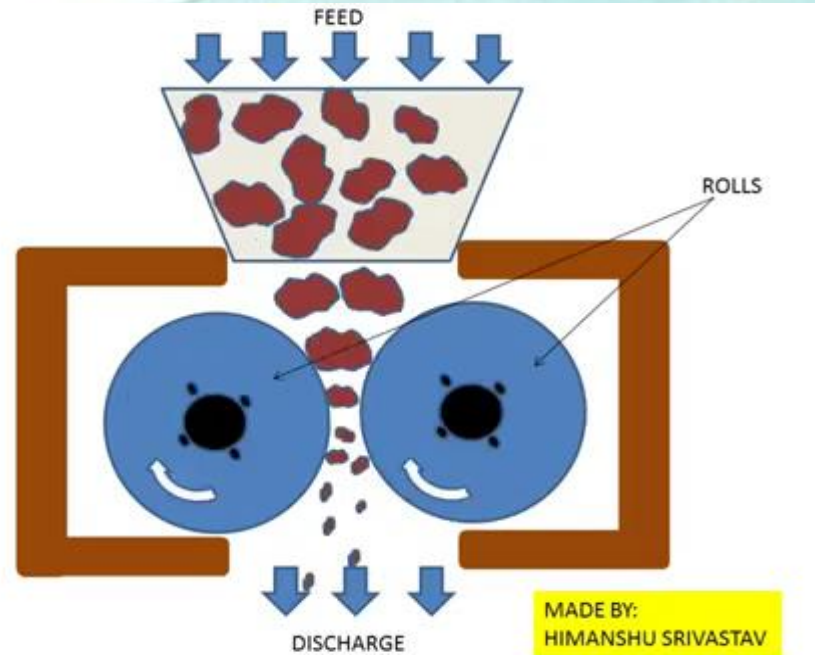


Figure 2.15. Crushing rolls

Prinsip Kerja

- Roll Crusher memiliki dua buah rol logam berat.
- Biasanya hanya satu dari beberapa roll yang digerakkan dan satu spring dipasang untuk mencegah kerusakan akibat material yang keras atau tidak bisa dihancurkan dalam umpan.
- Merupakan pemecah sekunder yang menghasilkan produk dengan ukuran kira-kira 20 mesh.
- Roll crusher memiliki rasio pengurangan maksimum teoritis 4:1. Jika partikel 2 in diumpankan ke crusher, satu ukuran absolut terkecil dari crusher adalah 1/2 in.
- Alat ini bekerja dengan prinsip tekanan.

Video Prinsip Kerja.



<https://www.youtube.com/watch?v=r0XZTIWXQ3M>

- <https://youtu.be/6lJtad0VtLE>
- <https://youtu.be/pplZE6qyNtA>
- <https://youtu.be/DFlpOghVcNc>

Perancangan *Roller Crusher*

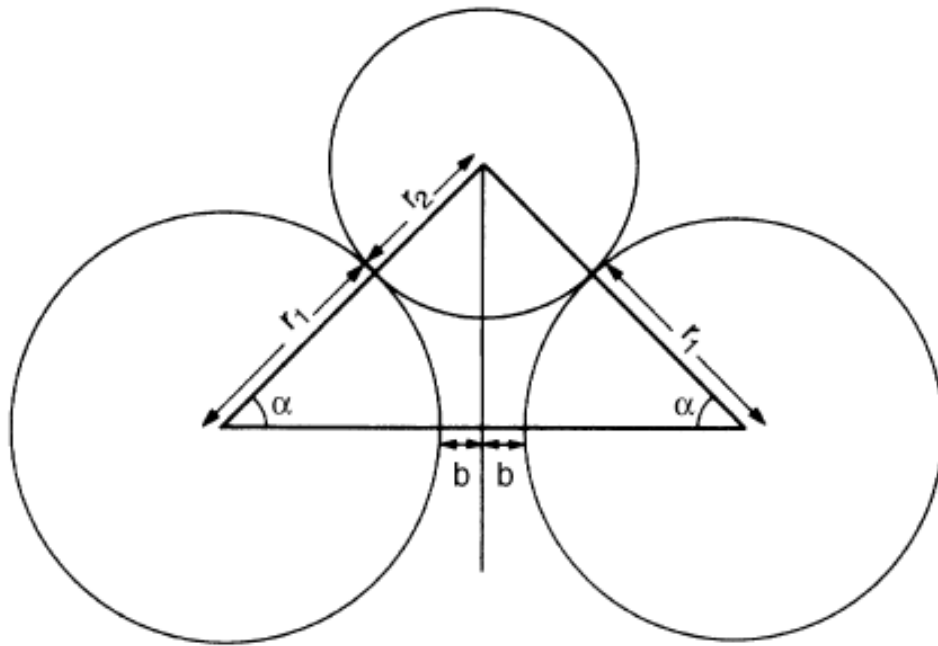


Figure 2.16. Particle fed to crushing rolls

- Actual capacity = 0,1 – 0,3 theoretical capacity.
- Rolls speed limit 6 – 10 fps; bisa sampai 20 fps. (Badger & Banchero)
- N (fpm) = $300 + 84.(2.r1)$; untuk $2.r1 < 72$ in. (Brown)

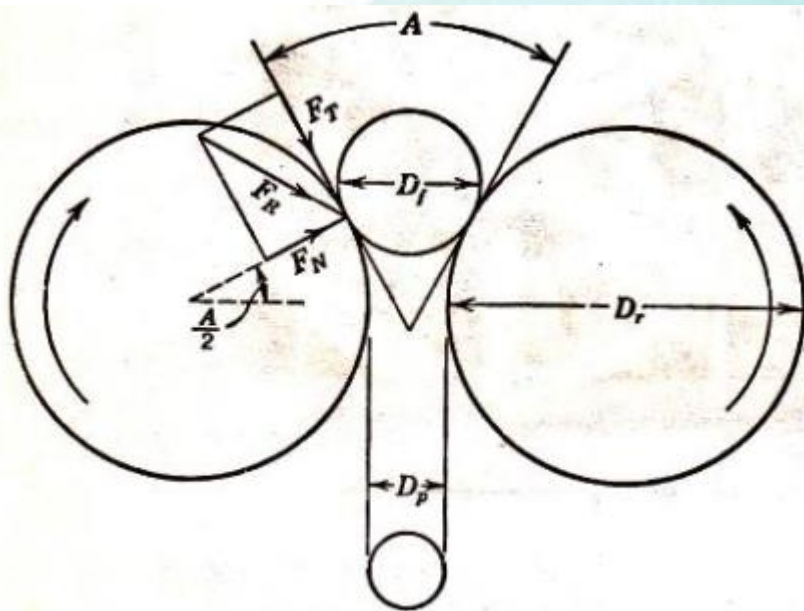


FIG. 31. Forces exerted by crushing rolls for a spherical particle in position to be crushed.

- A = nip angle = sudut kritis dimana partikel tidak akan jatuh di antara crusher.
- Koefisien friksi (gesekan) = rasio gaya tangen ke permukaan terhadap gaya normal ke permukaan.

$$\tan \frac{A}{2} = \frac{F_T}{F_N}$$

A. Penentuan ukuran / diameter roller

$$\cos \alpha = \frac{(r_1 + b)}{(r_2 + r_1)}$$

r_1 = jari-jari roller

r_2 = jari-jari umpan

2α = nip angle

$2b$ = jarak antar roll (ft)

B. Penentuan kapasitas dan panjang roller

$$T = \frac{60.N.L.(2.b).\rho_p}{2000}$$

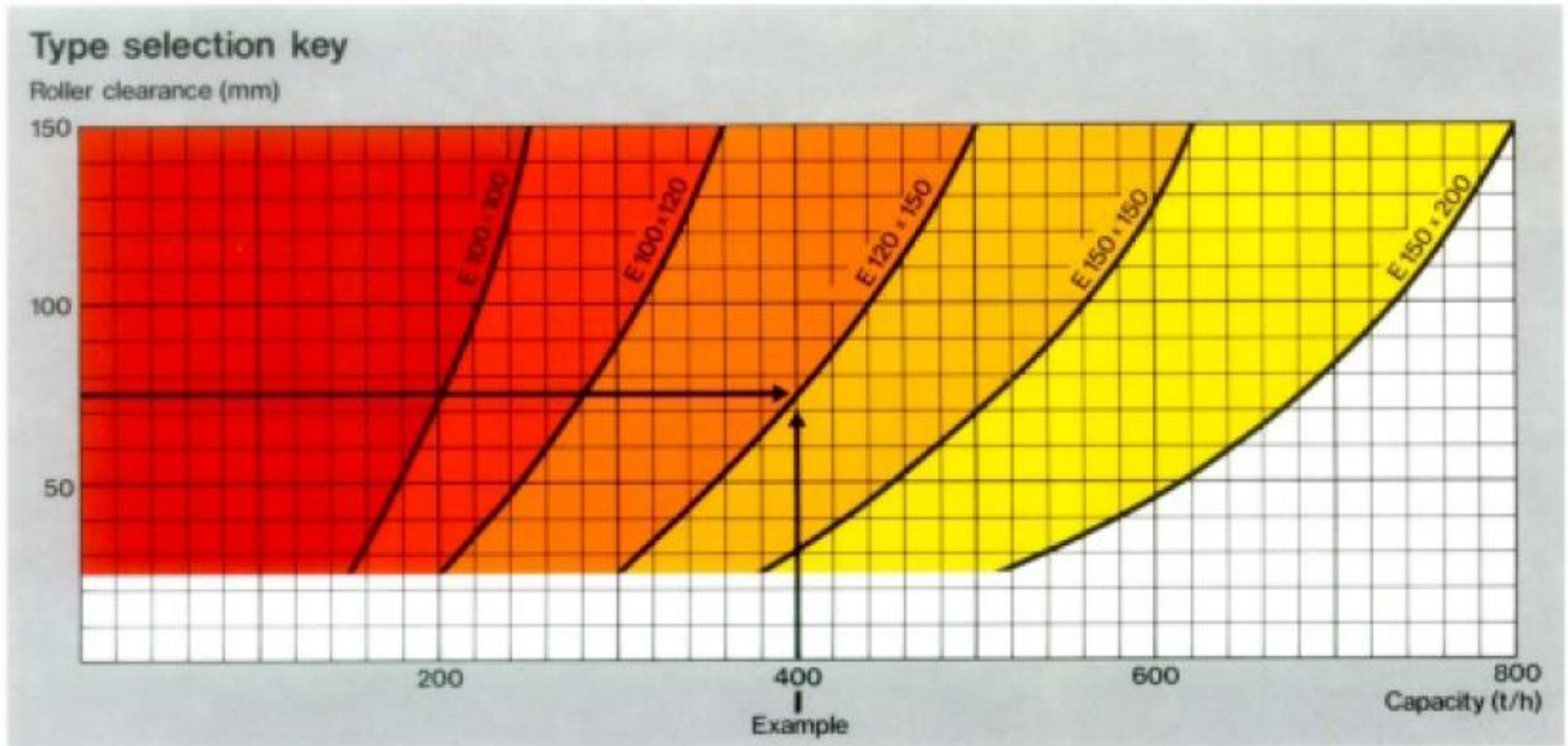
T = kapasitas (ton/jam)

N = kecepatan putar roll (fpm)

L = panjang roller (ft)

ρ_p = densitas partikel (lb/ft³)

Contoh soal 01.

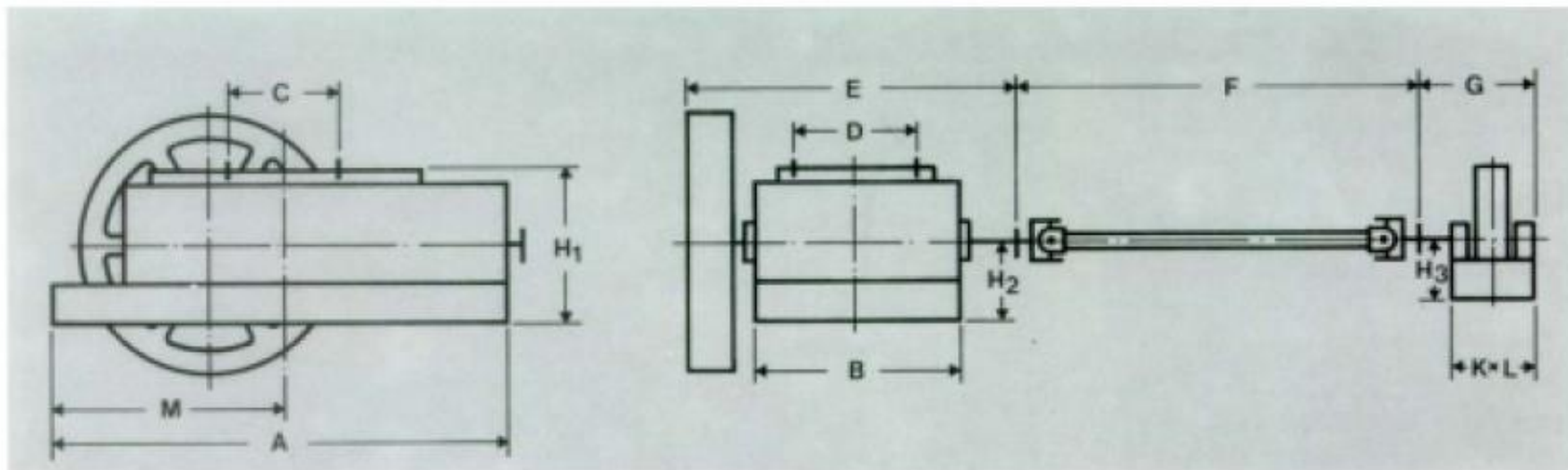


Example :

Clay to be crushed to outlet size 75 mm with a throughput of 400 t/h.

Solution :

FLS Roller Crusher, Type E
Size 120 x 150
Weight 35,000 kg.



Type E	Dimensions (mm)													Weight (t)	Motor size (kW) from* to **
	A	B	C	D	E	F	G	H ₁	H ₂	H ₃	K	L	M		
100 x 100	3420	1625	850	968	2590	3095	905	1230	611	430	650	3000	1730	19.1	45 - 90
100 x 120	3420	1825	850	1168	2790	3095	935	1230	611	430	680	3040	1730	20.5	75 - 150
120 x 150	4065	2220	1150	1470	3415	3000	1340	1503	741	402	1020	3355	1975	35.0	150 - 250
150 x 150	4620	2320	1350	1470	3585	2885	1520	1810	900	442	1040	4000	2310	52.0	220 - 400
150 x 200	4620	2820	1350	1970	4085	2885	1590	1810	900	442	1110	4000	2310	59.0	280 - 500

*) Lowest motor rating for coarse crushing **) Highest motor rating for fine crushing.

Contoh soal 02.

Suatu set *roll-crusher* digunakan untuk mereduksi ukuran umpan berbentuk bola sebesar 1,5 inchi menjadi 0,5 inchi (maksimum).

Specific gravity umpan = 2,35.

- Berapakah diameter *roll* jika koefisien gesekan 0,35?
- Berapakah kira-kira kecepatan putar *roll* (fpm)?
- Jika panjang roller 20 inchi, berapakah kapasitas aktual (TPH) bila dianggap kapasitas aktual sebesar 15% kapasitas teoritis?
- Jika *angle of nip* naik sebesar 5% dari desain awal, berapakah ukuran maksimum umpan yang diijinkan, dan berapakah kapasitasnya?

