

ANALISIS EFISIENSI RAW GRINDING MILL PADA PROSES PEMBUATAN SEMEN

Budi Setiyana¹⁾

Abstract

Raw grinding mill sebagai salah satu bagian dari alat produksi semen mempunyai peranan yang cukup penting. Selain berfungsi untuk menggiling atau menghaluskan material bahan mentah semen, juga sekaligus sebagai pengering material dengan menggunakan gas panas yang diperoleh gas panas sisa dari kiln. Perhitungan efisiensi panas pada Raw Grinding Mill dapat dilakukan dalam dua tahap yaitu, perhitungan dengan neraca massa dan perhitungan dengan neraca panas. Perhitungan neraca massa diperlukan untuk perhitungan neraca panas. Dari perhitungan neraca panas maka dapat diketahui efisiensi panas dari Raw Grinding Mill. Nilai unjuk kerja sistem Raw Grinding Mill dapat dicari dengan menghitung efisiensi panas dari Raw Grinding Mill, yaitu perbandingan panas untuk reaksi dengan panas yang disediakan. Efisiensi panas Raw Grinding Mill merupakan indikator baik atau tidaknya pengoperasian Raw Grinding Mill.

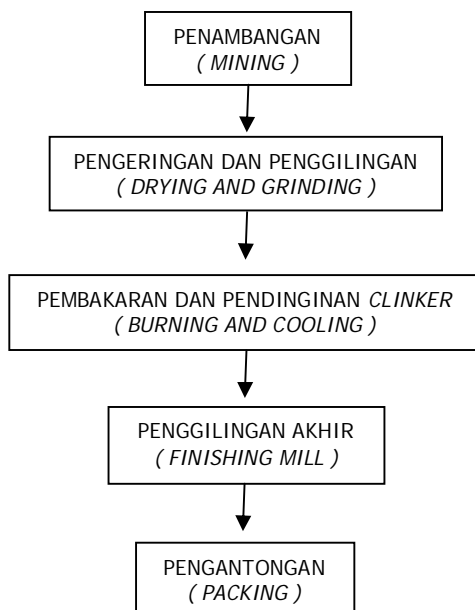
PENDAHULUAN

Pada masa sekarang ini efisiensi energi mutlak diperlukan dalam menghadapi perkembangan industri. Industri yang tidak memperhatikan efisiensi energinya akan kesulitan menghadapi persaingan usaha dan menjaga berlangsungnya industri tersebut. Efisiensi energi dalam industri dapat mencakup penggunaan bahan bakar atau panas dalam suatu peralatan. Di dalam proses produksi, meskipun suatu alat dirancang sedemikian rupa untuk kapasitas produksi tertentu, pada kenyataannya sangat dimungkinkan adanya massa dan panas yang hilang sehingga berakibat turunnya produksi.

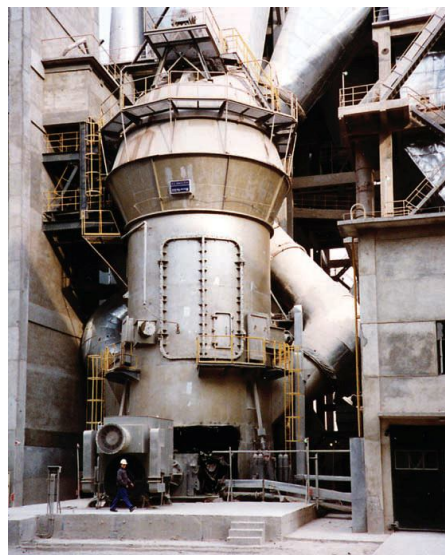
Raw Grinding Mill merupakan peralatan untuk menggiling dan mengeringkan bahan mentah semen.

Pada proses produksi semen, posisi Raw Grinding Mill diberikan pada diagram dibawah ini, dimana pengeringan dan penggilingan merupakan tahap kedua dari tahapan proses produksi secara umum

Material yang digiling dengan mesin Raw Grinding Mill ini yaitu *limestone*, *clay*, silika *sand* dan *iron sand*. Ukuran material yang dikecilkan (kecuali *iron sand*) dari ukuran panjang 5 – 7 cm menjadi partikel debu sampai dengan 0 – 9 mikron serta mengurangi kelembaban dari material tersebut dengan cara dikeringkan. Mesin ini bekerja selama 24 jam sehari secara terus menerus.



Gambar 1. Tahapan Produksi Semen



Gambar 2. Raw Grinding Mill

TINJAUAN TENTANG RAW GRINDING MILL

Bagian-bagian Raw Grinding Mill

Roller mill secara umum tersusun dari shell, kerangka utama, stand, table, roller arm, gear reducer, roller-pressing unit dan separator. Secara umum detail dari bagian-bagian Raw Grinding Mill diberikan dibawah ini :

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

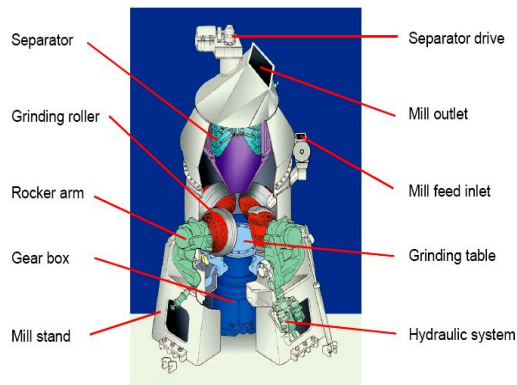


FIGURE 3: VRM for Cement

Gambar 3. Bagian-bagian raw mill

a. Shell dan bagian-bagiannya

1. Shell (Cangkang)

Shell atau cangkang terdiri dari tiga bagian dan setiap bagian dihubungkan dengan baut juga pada bagian atas separator dan dilas pada dudukan bagian bawah serta pada balok penghubung. Tutup dari roller dibaut pada mill shell dan tutup dibuka pada kondisi swing out yaitu roller ditegakkan.

2. Wind Box (Kotak Udara)

Wind box atau tempat udara bertekanan terbuat dari plat besi yang diletakkan pada sekeliling table dan dilas dengan dudukan/stand serta pada balok penghubung. Pada wind box ini terdapat 2 inlet udara panas dan 2 saluran pembuang material yang jatuh.

3. Nozzle dan Armour Ring

Nozzle terbuat dari plat besi dengan kelilingnya terbagi menjadi 12 bagian yang dibuat dengan keliling yang dibagi 6 bagian yang dibaut dengan nozzle.

b. Kerangka Utama / Stand

1. Kerangka Utama

Kerangka utama merupakan struktur yang dilas dari baja dan plat baja, dimana baut pada pondasi dan dicor dengan sement. Gear reducer dibuat tetap pada bagian kerangka utama dengan tiga stand pada kelilingnya. Selanjutnya sisi luar pada stand dilengkapi tiga tempat untuk swing-out cylinder.

2. Stand dan Balok Penghubung

Bagian atas stand terbuat dari baja coran pada bagian bawah terbuat dari baja yang dihubungkan dengan balok penghubung. Pada permukaan bagian atas dari stand, sebuah arm bearing dibaut tetap dan ujung dudukan silinder hidrolik yang terhubung dengan pin tetap pada bagian bawah stand. Pada stand dilengkapi dengan stopper untuk mencegah kontak langsung dari roller dan table.

3. Motor Base

Motor base merupakan struktur yang dilas pada profil baja H dan plat baja tetap dengan baut pondasi pada kerangka utama dan pondasi kemudian di cor dengan semen.

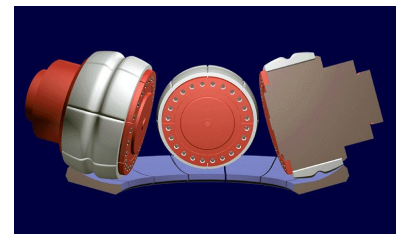
c. Table

Table yang terbuat dari baja cor ini dihubungkan dengan gear reducer memakai pin dan baut. Bagian atas dari table terbuat dari baja cromium tingkat tinggi anti abrasive. Table Linier disusun dari 16 segmen dan cekung pada permukaan atas pada sisi jalur penggiling. Pada bagian bawah permukaan table terdapat scrapper yang akan mengeluarkan material yang jatuh, juga pada bagian atas permukaan table yang terdapat sebuah scrapper untuk menyeimbangkan ketebalan bubuk lapisan.

d. Roller

Roller terbuat dari high Chromium cast iron yang memiliki ketahanan terhadap gesekan dan dipasang pada hubungan silinder dan ditahan oleh tapered ring dari baja cor. Hubungan terpasang pada poro roller melalui roller silinder dan bantalan tipe tapered roller. Roller ketika berputar melakukan penggilingan material secara menjepit diantara roller dan grinding table. Roller diberi pelumas dengan unit pelumas bantalan roller dengan system pelumas bertekanan.

Oli pelumas dipompa dari tanki setelah melewati saringan, oli didinginkan oleh oil cooler untuk dapat dikontrol temperatur oli tersebut sebelum oli tersebut dialirkan kedalam roller. Untuk pipa pelumasan dilengkapi beberapa unit penunjang keamanan seperti Flowmeter untuk setiap pipa pelumasan sebelum mengalir kedalam roller, termocouple untuk setiap aliran kembali ke pompa dan level switch pada tanki oli. Tanki oli dilengkapi dengan pemanas untuk dapat beroperasi pada musim dingin.



Gambar 4. Roller

e. Arm (lengan)

Poros roller dihubungkan dengan lengan roller (roller arm) yang terbuat dari baja cor. Roller arm dihubungkan dengan lengan silinder (cylinder arm), diujung atas pasak dengan pin dan dibawah dihubungkan dengan silinder hidrolik sebagai pemberi gaya yang menekan roller. Pada ujung pangkal roller arm dilengkapi dengan pin seat untuk mengangkat roller arm dengan silinder hidrolik swing out.

f. Mill Reducer

Gear reducer diletakkan pada kerangka utama, sebagai penurun kecepatan motor sesuai dengan kecepatan yang ditentukan juga ditransmisikan

pada table pada saat yang sama untuk mendukung gaya tekan roller. Reducer terdiri dari level gear dan planetary gear dengan input horizontal dan output vertical.

g. Roller-Pressing System (Sistem Tekanan Roller)

System pemberi tekanan roller terdiri dari unit hidrolik, akumulator, silinder hidrolik penekan roller dan silinder hidrolik swing out. Unit hidrolik terdiri dari tanki oli, pompa hidrolik berbagai jenis katup, yang berfungsi sebagai pemberi tekanan pada silinder hidrolik dan sebagai pemberi tekanan pada silinder hidrolik dan sebagai pemberi gaya tekan.

Gaya tekan yang dihasilkan dari silinder hidrolik yang ditransmisikan pada roller melalui lengan silinder, lengan roller digunakan untuk menggiling material yang dijepit antar roller dan table. Variasi gaya tekan berdasarkan kondisi penggilingan diatur oleh dua N₂ sebagai kandungan gas dari akumulator yang dipasang pada setiap silinder hidrolik.

h. Sistem penyemprotan (Water-Spraying System)

Jika material yang akan digiling terlalu kering maka akan sukar digiling oleh roller dan mill akan menghasilkan getaran yang abnormal. Untuk mencegah hal ini maka disemprotkan air pada mill tube.

Air dipompakan dari tangki air menuju pipa-pipa air dimana pipa-pipa tersebut memiliki katup yang dilengkapi dengan motor, flowmeter, katup selenoid, check valve dan alat ukur tekanan.

Cara Kerja Raw Grinding Mill

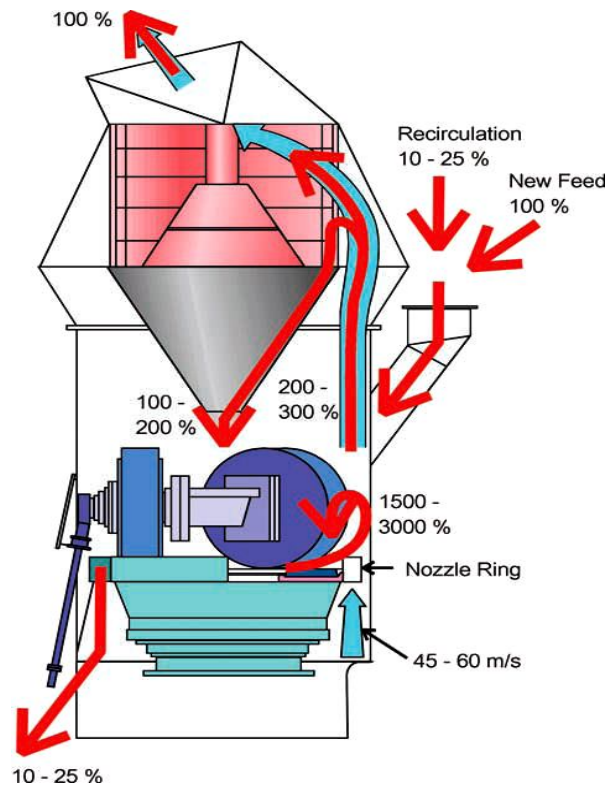
Cara kerja roller mill ini terdiri dari roller yang memiliki bentuk roller grinding yang dapat menghasilkan kehalusan yang baik dan pada bagian atasnya terdapat classifying part dari baling-baling berputar tipe separator dengan bagian dalam berbentuk kerucut.

Material yang telah dipisahkan dan ditransportasikan dengan tipe belt tertutup diumpukan pada ruangan tertutup ditengah-tengah mill. Material yang akan digiling sekali melewati roller mill akan dibawa oleh gaya sentrifugal yang dihasilkan dari putaran table dan digiling, dikeringkan dan dibawa oleh aliran gas yang naik dari nozzle diluar table sehingga dapat memasuki separator pada mill bagian dalam.

Separator memisahkan partikel kasar dari material yang akan digiling dan mengeluarkan partikel halus sebagai produk sepanjang aliran gas dan ditangkap oleh Dust Collector (Electrostatic Precipitator). Partikel kasar jatuh pada bagian dinding kerucut dibagian dalam mill dan kembali ketengah table untuk digiling kembali. Disisi lain partikal kasar yang tidak dapat ditiup oleh nozzle untuk naik keruang penggilingan akan dikeluarkan dari mill.

Material kasar yang dikeluarkan termasuk besi dikembalikan kedalam mill dan digiling kembali

setelah material dipecah oleh magnet separator. Tiga roller dirancang pada jarak yang sama pada jalur penggilingan yang juga didukung oleh bantalan melalui roller arm dan cylinder arm. Setiap cylinder arm pada bagian bawahnya ada sebuah hidrolik cylinder yang memberi gaya tekan yang dipindahkan pada roller.



Gambar 5. Sketsa Proses kerja Raw Mill

Roller kemudian menekan dan berputar karena putaran table sehingga memungkinkan penggilingan material secara berkelanjutan. Bantalan dari roller dilengkapi dengan system sirkulasi pelumasan bertekanan dari unit pelumasan oli. Gaya utama dari roller mill dihasilkan dari motor elektrik dimana setelah memutar table gaya tersebut dipindahkan melewati material yang digiling ke roller.

PERHITUNGAN EFISIENSI RAW GRINDING MILL

Perhitungan Neraca Massa

Perhitungan neraca massa merupakan perhitungan untuk mencari kesetimbangan antara massa yang masuk dan yang keluar Raw Grinding Mill. Dibawah ini diberikan contoh komposisi dan laju alir dari material atau bahan baku yang masuk ke Raw Grinding Mill untuk tipe tertentu di pabrik semen yang diberikan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Komposisi bahan baku dan Laju alir masuk Raw Mill (ton/jam)

Komposisi	Lime Stone	Clay	Silica sand	Iron Sand
SiO ₂	27,6	6,87	4,69	0,6
Al ₂ O ₃	9,35	2,32	0,24	0,77
Fe ₂ O ₃	2,9	0,77	0,07	3,74
CaO	188,2	1,3	0,04	0,06
MgO	3,3	0,25	0,00	0,23
H ₂ O	25,87	1,4	0,36	0,31
Total	257,2	12,91	5,4	5,71

Laju alir (*Feed*) tiap komponen :

Lime Stone : 257,2 ton/jam (91,1 %)

Clay : 12,9 ton/jam (4,8 %)

Silika Sand : 5,4 ton/jam (2,0 %)

Iron Sand : 5,71 ton/jam (2,1 %)

Total Feed Rate = 282,5 ton/jam (100 %)

Bahan baku tersebut diatas merupakan bahan yang dipakai sebagai masukan dari Raw Grinding Mill. Bahan baku tersebut dapat diuraikan menjadi 3 bagian utama, yaitu massa umpan kering, massa H₂O dan massa debu yang dari preheater seperti yang ditampilkan pada tabel 2 sampai dengan tabel 4.

Tabel 2. Komposisi dan Laju Massa Umpan Kering

Komposisi	Komposisi (% berat)	Laju Massa (ton/jam)
SiO ₂	13,49	910,575
Al ₂ O ₃	3,81	257,175
Fe ₂ O ₃	2,19	147,825
CaO	70,44	4.754,7
MgO	1,18	79,65
H ₂ O	8,89	600,08
Total	100	6.750

Tabel 3. Komposisi dan Laju Massa H₂O dalam Umpan Masuk

Komponen	Komposisi (% berat)	Laju Massa (ton/jam)
H ₂ O	2,2	14,136
O ₂	22,8	146,504
N ₂	75,0	481,918
Total	100	642,558

Material yang keluar Raw Mill juga dapat diuraikan menjadi 3 bagian utama, yaitu massa produk kering, massa H₂O keluar Raw Mill dan massa H₂O dalam Umpan Raw Mill seperti yang ditampilkan pada tabel 5 sampai dengan tabel 7.

Tabel 4. Komposisi dan Laju Massa Debu dari Preheater

Komponen	Komposisi (% berat)	Laju Massa (ton/jam)
SiO ₂	13,49	910,575
Al ₂ O ₃	3,81	257,175
Fe ₂ O ₃	2,19	147,825
CaO	70,44	4.754,7
MgO	1,18	79,65
H ₂ O	8,89	600,08
Total	100	6.750

Tabel 5. Komposisi dan Laju Massa Produk Raw Mill Kering

Komposisi	Komposisi (% berat)	Laju Massa (ton/jam)
SiO ₂	13,49	906,333
Al ₂ O ₃	3,81	255,977
Fe ₂ O ₃	2,19	147,136
CaO	70,44	4.731,58
MgO	1,18	79,279
H ₂ O	8,89	597,28
Total	100	6.717,558

Tabel 6. Komposisi dan Laju Massa H₂O Keluar ke Raw Mill

Komponen	Komposisi (% berat)	Laju Massa (ton/jam)
H ₂ O	2,2	14,85
O ₂	22,8	153,9
N ₂	75,0	506,25
Total	100	675

Tabel 7. Komposisi dan Laju Massa H₂O dalam Umpan Raw Mill

Komponen	Komposisi (% berat)	Laju Massa (ton/jam)
CO	0	0
CO ₂	40,55	2.737,13
SO ₂	0,18	12,15
NO ₂	0,17	11,475
H ₂ O	4,15	280,125
O ₂	3,00	202,5
N ₂	51,95	3.506,63
Total	100	6.750

Sehingga berdasar uraian dari tabel 2 sampai tabel 7, dapat dibuat neraca massa yang masuk dan keluar Raw Mill seperti yang diberikan pada tabel 8 dibawah ini.

Tabel 8. Neraca Massa Raw Grinding Mill

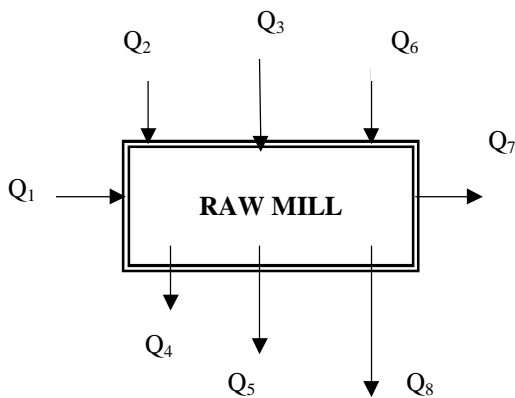
Aliran Massa	Masuk (kg)	Keluar (kg)
Massa umpan kering (m_1)	6.750.000	
Massa H ₂ O dalam umpan masuk (m_2)	642.558	
Massa debu dari preheater (m_3)	6.750.000	
Massa produk Raw Mill kering (m_4)		6.718.558
Massa H ₂ O keluar Raw Mill (m_5)		675.000
Massa H ₂ O dalam umpan Raw Mill (m_6)		6.750.000
Total	14.142.55	14.142.55

Perhitungan Neraca Panas

Dengan data tentang massa yang berproses di Raw Grinding Mill, maka dapat dihitung nilai kalor yang dibawa oleh masing-masing komponen massa tersebut berdasarkan hasil pengukuran temperatur dan nilai kapasitas panasnya. Dari hasil perhitungan maka didapat neraca kesetimbangan seperti yang diberikan pada tabel dan diagram dibawah ini.

Tabel 9. Neraca Panas di Raw Grinding Mill

Keterangan	Input (kcal)	Output (kcal)
Panas yang dibawa umpan kering masuk Raw Mill (Q_1)	24.907.500,000	
Panas yang dibawa dust loss dari SP (Q_2)	50.139.603,000	
Panas sensibel H ₂ O yang terkandung dalam umpan masuk Raw Mill (Q_3)	3.468.750,000	
Panas dari gas hasil pembakaran SP yang masuk Raw Mill (Q_6)	337.441.554,88	
Panas yang dibawa Feed Keluar Raw Mill (Q_7)		102.337.075,50
Panas dari penguapan H ₂ O feed yang masuk Raw Mill (Q_4)		23.793.750,000
Panas laten penguapan H ₂ O (Q_5)		268.438.050,00
Panas yang hilang (Q_8)		21.409.532,380
Total	415.978.407,88	415.978.407,88



Keterangan :

Q_1 : Panas yang dibawa umpan bahan baku Raw Mill

Q_2 : Panas yang dibawa debu dari Suspension Preheater

Q_3 : Panas sensible H₂O dalam umpan masuk

Q_4 : Panas penguapan H₂O dalam umpan masuk Raw Mill

Q_5 : Panas laten penguapan H₂O

Q_6 : Panas gas hasil pembakaran dari Suspension Preheater

Q_7 : Panas yang dibawa Feed keluar Raw Mill

Q_8 : Panas yang hilang

Perhitungan efisiensi termal

Perhitungan efisiensi termal dilakukan untuk dua jenis efisiensi, yaitu efisiensi peralatan (*Raw Grinding Mill*) η_1 , yang menyatakan tentang kecilnya tingkat kebocoran panas yang keluar dari peralatan, dan efisiensi proses η_2 yaitu yang menyatakan tingkat penggunaan kalor yang dipakai untuk proses pengeringan. Perhitungan dilakukan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Panas yang hilang (\%)} &= \frac{Q_8}{Q_{\text{total}}} \times 100\% \\ &= 5,14\% \end{aligned}$$

Efisiensi Peralatan, η_1

$$\begin{aligned} &= \frac{Q_{\text{total}} - Q_8}{Q_{\text{total}}} \times 100\% \\ &= 94,86\% \end{aligned}$$

Efisiensi Proses di Raw Mill η_2

$$\begin{aligned} &= \frac{Q_6 - (Q_7 + Q_8)}{Q_6} \times 100\% \\ &= 63,3\% \end{aligned}$$

PENUTUP

Dari perhitungan diatas didapat bahwa efisiensi termal untuk peralatan Raw Grinding Mill adalah sebesar 94,86 % yang menunjukkan harga yang relatif baik, karena panas yang hilang atau yang bocor dari peralatan hanya sebesar 5,14%, sebab umumnya batas toleransi panas yang hilang sebesar 12 – 22 %. Hal ini menunjukkan bahwa bagian-bagian saluran udara panas pada raw mill masih berfungsi dengan baik.

Sedang untuk efisiensi termal yang berkaitan dengan proses yang terjadi pada Raw Grinding Mill adalah sebesar 63,3 %, yang dinilai masih cukup baik karena masih dibawah harga efisiensi minimal yang disyaratkan yaitu 50 %. Umumnya efisiensi yang jenis terakhir inilah yang sering dipakai dalam dunia industri. Dalam perancangan biasanya efisiensi di rancang sebesar 75 %, maka efisiensi ini sudah

mengalami penurunan. Penurunan efisiensi tersebut merupakan hal yang wajar khususnya jika alat tersebut sudah beroperasi selama beberapa tahun.

Penurunan efisiensi termal akibat adanya panas yang hilang ke sekeliling disebabkan antara lain oleh :

- Menipisnya bagian-bagian Raw Mill.
- Kemungkinan adanya kebocoran dalam saluran udara panas raw mill
- Feed yang masuk masih banyak mengandung senyawa alkali yang mengakibatkan terbentuknya *coating* di Raw mill

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa Raw Grinding Mill yang dianalisis masih layak untuk dioperasikan, karena nilai efisiensinya masih berada diatas batas minimal yang disyaratkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Alsop, P. A., "Cement Plant Operation Handbook for Dry Process Plant". 4th edition, Tradeship Publication, Ltd., 2005.
2. Duda, W.H., "Cement data Book: International Process Engineering in The Cement Industries", 3rd ed., Bauverlag GMBH Weis Baden and Berlin, Mc. Donald and Evan, London, 1976.
3. Perray, K.E., "Cement Manufacturer's Hand Book", Chemical Publishing Co., Inc., New York, 1979.
4. Perry, R.H. and Clinton, C.H., "Chemical Engineer's Hand Book", 5th edition, International Student, Mc. Graw Hill, Kogakhusa. Ltd., 1973.
5. Wijaya,Handi., "Cement Technology", Industrial Relation Division Training&Development departement, PT. Indocement tunggal Prakarsa Tbk., 1994.
6. Chapman,AJ, " Heat Transfer ",4th edition, Macmillan Publishing Company, New York, 1984