

PAIR/P. 312/1988

STUDI RTD PADA PROSES PENGGILINGAN AKHIR  
TERAK SEMEN DENGAN MENGGUNAKAN  
ISOTOP LANTANUM 140

Indrojono, Agung S., Trijono,  
Mauritz L.T., dan S. Abbas Ras

P. 512 / 900 / 50

## STUDI RTD PADA PROSES PENGGILINGAN AKHIR TERAK SEMEN DENGAN MENGGUNAKAN ISOTOP LANTANUM-140

Indrojono\*, Agung S.\*, Trijono\*, Maurits L.T.\*, dan S. Abbas Ras\*

### ABSTRAK

STUDI RTD PADA PROSES PENGGILINGAN AKHIR TERAK SEMEN DENGAN MENGGUNAKAN LANTANUM-140. Telah dilakukan suatu penelitian untuk mempelajari Distribusi Waktu Tinggal (Residence Time Distribution atau RTD) dan Waktu Tinggal Rata-rata (MRT) pada Proses Penggilingan Akhir Terak Semen. Perunut radioaktif yang digunakan  $^{140}\text{La}$ , dengan aktivitas 30 mCi untuk setiap ulangan percobaan yang dilakukan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa harga MRT untuk ke empat percobaan tidak sama. Dari kurva RTD dapat diketahui bahwa penyebab perbedaan ini ialah adanya proses penggilingan ulang, sehingga mengakibatkan terjadinya ekor panjang pada kurva yang terbentuk. Pengaruh ini secara langsung mengakibatkan menaiknya harga MRT, dan untuk setiap percobaan, perbedaannya tidak sama, tergantung pada tingkat efektivitas tahapan proses sebelumnya.

### ABSTRACT

STUDI ON THE CEMENT CLINKER RTD ON FINAL MILLING PROCESS USING LANTANUM-140. An investigation to determine the Residence Time Distribution (RTD) and Mean Residence Time (MRT) on Cement Clinker in the Final Milling Process has been carried out. A radiotracer  $^{140}\text{La}$  was used with an activity of 30 mCi for every experiment. The experiment was carried out four times. The result showed that the MRT values in those experiments were different. From the RTD curve it could be seen that the long tail was due to the remilling as manifested in the long tail of the curve.

### PENDAHULUAN

Dalam industri semen salah satu tahapan proses yang cukup penting adalah Proses Penggilingan Akhir Terak Semen. Pada proses ini terak semen (87%) dicampur dengan gypsum (3%), yang kemudian secara bersama-sama dihancurkan hingga halus. Hasil akhir proses penggilingan inilah yang biasa disebut sebagai semen.

Tahap penghalusan terak semen dilakukan di dalam suatu peralatan yang berbentuk silinder, terbuat dari baja dengan diameter 2,5 meter dan

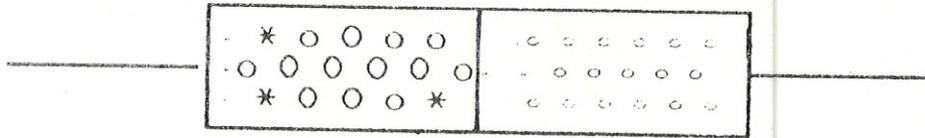
panjang 5 meter. Peralatan ini disebut Cement Mills. Untuk mendapatkan semen yang berukuran sekitar 170 mesh, Cement Mills harus diputar dengan laju (dalam satuan rph) yang konstan. Ruang dalam Cement Mills terbagi 2 sektor. Ruang Awal dan Ruang Akhir. Bola-bola baja pada Ruang Awal berfungsi untuk menghancurkan terak semen + gypsum, sedangkan bola-bola baja pada Ruang Akhir berfungsi untuk menghaluskannya. (lihat Gambar 1) (1).

Terak semen + gypsum (selanjutnya disebut terak semen atau semen) yang keluar dari Cement Mills, kemudian bergerak memasuki Bejana Pemisah. Pada

\* Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN

bejana ini butiran semen yang belum mencapai ukuran 170 mesh akan diarahkan kembali menuju pintu masuk Cement Mills, untuk digiling ulang. Sedangkan

lah menentukan waktu tinggal rata-rata terak semen, selama berada dalam Cement Mills serta menentukan distribusi waktu tinggalnya.



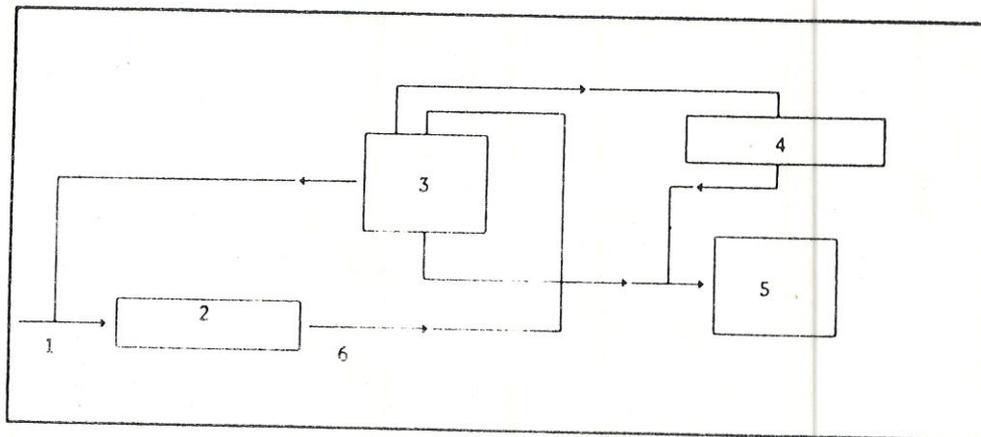
Gambar 1. Sketsa cement mills.

butiran semen yang telah mencapai ukuran 170 mesh, bergerak menuju Cement Silos. Debu semen yang timbul akibat proses penggilingan ini, dikumpulkan dalam Dust Collector. Proses ini akan berulang kembali jika semen yang dihasilkan belum mencapai ukuran standard (1).

Adapun tujuan penelitian ini ada-

#### TEORI

Jika kinematika dan dinamika sekelompok material yang terlihat dalam suatu proses tertentu dapat diketahui secara pasti, maka peta distribusi gerakan material tersebut dapat diperoleh secara lengkap. Hal ini berarti karakteristik bejana sebagai alat pemroses dapat ditentukan. Sangat di-



Gambar 2. Sirkuit tertutup proses penggilingan akhir terak semen.

- |                          |                               |
|--------------------------|-------------------------------|
| 1. Lokasi injeksi isotop | 4. Dust collector             |
| 2. Cement mills          | 5. Cement silos               |
| 3. Bejana pemisah        | 6. Detektor, recorder, scaler |

sayangkan, meskipun ide tersebut sangat bagus, pendekatan terhadap model ini pada prakteknya sulit dilakukan (2).

Dalam banyak kasus informasi lengkap tentang karakteristik suatu sistem aliran material tidak diperlukan, atau dengan kata lain hanya beberapa informasi (minimal) yang betul-betul diperlukan dalam mendisain suatu bejana (alat) pemroses. Informasi minimal tersebut yaitu Distribusi Waktu Tinggal. Informasi ini dapat diperoleh secara mudah, melalui suatu metode yang disebut "Metode Stimulus-Response" (2).

*Metode Perunut Radioaktif.* Salah satu dari Metode Stimulus-Response adalah Metode Perunut Radioaktif. Stimulus adalah pemasukan zat radioaktif yang (bertindak sebagai perunut) dalam jumlah (konsentrasi) tertentu ke dalam pintu masuk (inlet) sistem proses. Sedangkan respons adalah "kejadian-kejadian" pada pintu keluar sistem (outlet) yang merupakan informasi penting tentang "watak" sistem yang sedang diamati (2,3).

Ciri - ciri Metode Perunut Radioaktif (4):

1. Menggunakan zat radioaktif sebagai perunut.
2. Secara kimia-fisik sifat perunut identik dengan sifat material sistem.
3. Dapat dideteksi pada konsentrasi rendah.
4. Deteksi, injeksi, maupun pengambilan

sampel yang dilakukan tidak mengganggu jalannya proses yang sedang berlangsung.

5. Waktu paruh isotop yang digunakan cukup proporsional dengan lamanya percobaan, akan tetapi tidak terlalu tinggi, sehingga tidak membahayakan lingkungan.
6. Tidak berbahaya (beracun).

*Teori Residence Time Distribution (RTD).* Mudah dipahami bahwa suatu fraksi material yang terlibat dalam suatu proses tertentu memiliki lintasan (rute) yang berbeda dengan lintasan fraksi lainnya (pada proses dan saat yang sama). Sebagai contoh : Proses Penggilingan Akhir Terak.

Diandaikan suatu fraksi terak semen A bergerak melalui lintasan "a", begitu juga fraksi terak semen "B" dan "C" serta bergerak melalui lintasan "b" dan "c" (Gambar 3).

Dengan jelas dapat terlihat bahwa untuk mencapai pintu ke luar (outlet) Cement Mills, ke tiga fraksi terak semen tersebut memiliki jarak lintas yang berbeda. Perbedaan jarak lintas jelas berpengaruh terhadap waktu lintas, yang tidak lain merupakan waktu tinggal terak semen selama berada dalam bejana proses. Pengaruh ini tidak selalu timbal balik, artinya waktu tinggal yang lama tidak selalu diakibatkan oleh karena jarak lintas yang panjang. Pemahaman ini merupakan hal yang perlu dimengerti dalam menganalisis data RTD.

Dengan demikian setiap fraksi terak semen secara eksak memiliki waktu lintas yang berbeda. Hal ini menimbulkan pengertian baru yang didefinisikan sebagai Distribusi Waktu Tinggal (Residence Time Distribution/RTD) (2,4).

men material untuk tinggal dalam bejana proses, selama proses berlangsung. Parameter ini merupakan momen pertama  $\mu_1$  pada kurva RTD. Secara matematis nilai  $\mu_1$  dapat diperoleh melalui persamaan di bawah ini (2,3,4) :



Gambar 3. Ilustrasi beda waktu lintas.

Selanjutnya, setidaknya-tidaknya diperlukan 3 parameter untuk menggambarkan karakteristik suatu sistem proses. Ketiganya secara matematis dapat diperoleh dari data/kurva RTD. Parameter-parameter tersebut yaitu :

*Distribusi Waktu Tinggal (RTD).*

Untuk mendapatkan kurva RTD yang diperoleh dari data percobaan digunakan fungsi distribusi waktu tinggal (RTD). Fungsi ini dinotasikan dengan lambang  $E(t)$  atau  $E(t)$  sesuai dengan persamaan berikut ini :

$$E(t) = \frac{C(t)}{\int C(t).dt} \text{----- (1)}$$

dimana:  $C(t)$  = cacahan keluaran  
 $E(t)$  = fungsi distribusi waktu tinggal (keluar)

*Waktu Tinggal Rata-rata (MRT).*

Waktu tinggal rata-rata adalah waktu rata-rata yang secara statistik merupakan waktu yang diperlukan sejumlah ele-

$$MRT = \bar{t} = \mu_1 = \frac{\int c(t).t.dt}{\int c(t).dt} \text{----- (2)}$$

Nilai  $t$  secara teori dapat diperoleh berdasarkan rumusan berikut :

$$\bar{t} = V/Q \text{----- (3)}$$

$v$  = volume bejana  
 $Q$  = debit aliran zat

Penyimpangan  $t$  terhadap  $t_{th}$  merupakan petunjuk bahwa proses yang sedang berlangsung berjalan tidak normal/optimal.

*Variance.* Merupakan parameter sistem yang menggambarkan distribusi penyebaran material. Pada kurva RTD variance merupakan momen kedua  $\mu_2$ , yang secara matematis nilainya ditentukan oleh rumusan berikut (2,3,4):

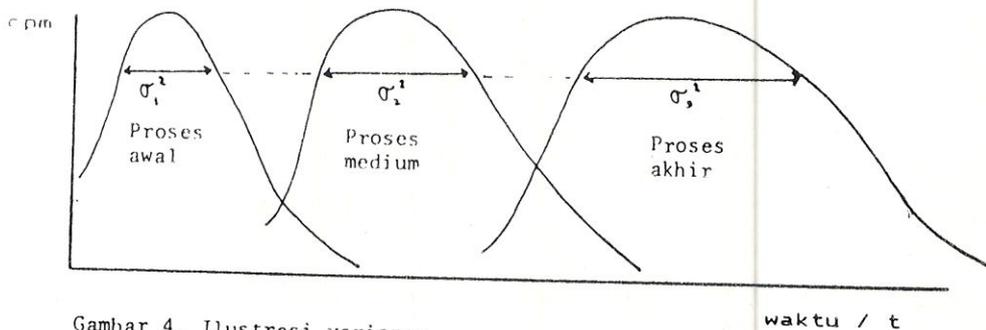
$$\sigma^2 = \mu_2 = \frac{\int (t-\bar{t})^2 . c(t).dt}{\int c(t).dt} \text{----- (4)}$$

Pada MRT dan Variance berlaku aturan penjumlahan, sehingga :

$$\bar{t} = \bar{t}_1 + \bar{t}_2 + \bar{t}_3 + \dots + \bar{t}_n$$

$$\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots + \sigma_n^2 \quad (5)$$

Nilai variance berbanding lurus terhadap lama proses pencampuran (pada proses penggilingan secara tidak sengaja terjadi proses pencampuran). Semakin lama proses berlangsung semakin tinggi harga variansinya (lihat Gambar 4).



Gambar 4. Ilustrasi variance.

**Parameter Model.** Seperti telah diketahui secara luas bahwa pola aliran ideal terdiri atas 2 tipe, Pola Aliran Piston (Ideal Plug Flow) dan Pola Aliran Pencampuran Sempurna (Ideal Well Mixed Flow). Bejana proses yang menghasilkan kedua jenis aliran tersebut disebut Plug Flow Reactor dan Well Mixed Flow Reactor. Pola aliran riil (nonideal) yang merupakan pendekatan terhadap pola aliran ideal terdiri atas 3 tipe, yaitu pola aliran model bejana berderet, pola aliran model dispersi aksial, dan kombinasi.

a. Pola Aliran Model Bejana Berderet. Almarhum S.K. Jain dari India

menyebut model ini sebagai Block Series Model. Dalam mensimulasi sistem aliran yang hendak dianalisis, model ini paling banyak digunakan orang. Parameter model untuk Model Bejana Berderet ini dinotasikan dengan lambang "n". Pada model ini diasumsikan bejana pemroses sistem terbagi atas "n" jumlah bejana yang bervolume sama, dan dirangkai secara seri (berderet) sebagaimana ter-

lihat pada Gambar 5 di bawah ini (2, 3,4).

Fungsi distribusi Model Bejana Berderet dapat dituliskan sebagai berikut :

$$C(\theta) = \frac{n^n \theta^{n-1} e^{-n\theta}}{(n-1)!} \quad (6)$$

dimana:  $C(\theta)$  = fraksi konsentrasi perunit pada saat  $\theta$   
 $C(\theta) = C/C_0$   
 $\theta = \text{perbandingan waktu } t \text{ terhadap } t = t/\bar{t}$   
 $n = \text{jumlah bejana (vessel)}$   
 $n = \text{bilangan parameter model}$

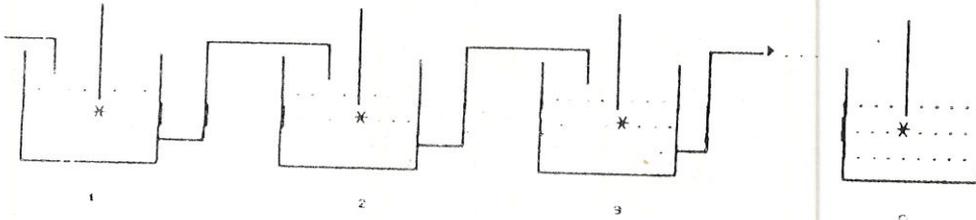
Untuk  $n = 1$  pola aliran yang terjadi adalah Ideal Well Mixed Flow. Sedangkan untuk  $n = \infty$ , pola aliran yang terjadi adalah Ideal Plug Flow (2,3,4).

Untuk menentukan harga parameter

model digunakan metode momen. Diasumsikan perunut radioaktif dengan konsentrasi tertentu diasumsikan di dalam

berikut :

$$M_1 = \bar{t} \text{ dan } M_2 = \bar{t}^2 \cdot (n+1)/(n) \text{ ----- (15)}$$



Gambar 5. Model bejana berderet.

inlet sistem, dan diperoleh konsentrasi outlet  $C_i(t)$ . Penentuan nilai momen di sekitar titik nol, selanjutnya sebagai berikut (4) :

$$\alpha_n = \int_0^{\infty} t^n \cdot C(t) \cdot dt, \text{ untuk } n = 0,1,2,3 \text{ ---- (7)}$$

$$A_n = \alpha_n / \alpha_0, \text{ untuk } n = 0,1,2,3. \text{ ----- (8)}$$

Dengan menggunakan Transformasi Laplace dan Intergral Konvolusi (4), dapat diperlihatkan bahwa :

$$\text{momen pertama } \mu_1 = A_1 = \alpha_1 / \alpha_0 \text{ ----- (9)}$$

$$\text{momen kedua } \mu_2 = A_2 = \alpha_2 / \alpha_0 \text{ ----- (10)}$$

$$\text{dimana: } \alpha_0 = \int_0^{\infty} C(t) \cdot dt = \Sigma C_i \text{ ----- (11)}$$

$$\alpha_1 = \int_0^{\infty} C(t) \cdot t \cdot dt = \Sigma C_i t \text{ ----- (12)}$$

$$\alpha_2 = \int_0^{\infty} C(t) \cdot t^2 \cdot dt = \Sigma C_i t^2 \text{ ----- (13)}$$

Dari persamaan-persamaan di atas akan diperoleh harga parameter sistem (4) yaitu :

$$A_1 = \bar{t} = \text{MRT dan Variance } \sigma^2 = A_2 - A_1^2 \text{ -- (14)}$$

Dua momen pertama fungsi distribusi Model Bejana Berderet diperoleh sebagai

Gabungan persamaan (14) dan persamaan (15) diperoleh besarnya nilai bilangan parameter model yaitu :

$$n = \bar{t} / \sigma^2 \text{ ----- (16)}$$

b. Pola aliran model dispersi aksial dan kombinasi. Model Aliran Dispersi Aksial jarang dipergunakan, karena lebih rumit dalam penerapannya. Sedangkan Model Kombinasi (Model Multiparameter) hanya digunakan bila kedua model selainnya memberikan hasil analisis yang kurang memuaskan. Model ini biasanya digunakan untuk mensimulasi sistem aliran yang rumit dan kompleks. Pada makalah ini model aliran Distribusi Aksial dan Model Multiparameter tidak akan dibahas secara terperinci.

#### BAHAN DAN METODE

Pada percobaan ini digunakan :

1. Isotop : La-140
2. Energi Isotop : 1,6 Mev

- (15)
3. Waktu paruh : 40 jam
  4. Bentuk : Larutan  $\text{LaCl}_3$
  5. Limbah : Powder (bubuk) semen
  6. Peralatan : Detektor, recorder scaler, teletector

Secara ringkas pelaksanaan eksperimen ini, dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Detektor, recorder, maupun scaler ditempatkan pada pintu masuk (outlet) Cement Mills.

2. Kontener + isotop serta peralatan injeksi disiapkan di sekitar pintu masuk (inlet) Cement Mills.

3. Detektor, recorder, scaler serta teletector dinyalakan, kemudian cacahan latar belakang diukur dan dicatat.

4. Waktu injeksi ditetapkan dan diberitahukan kepada seluruh personil pencatat data maupun pengambil sampel, melalui walkie talkie.

5. Isotop dilepaskan pada saat yang telah ditetapkan.

6. Secara berkala dilakukan pencatatan data maupun pengambilan sampel.

7. Tim proteksi radiasi mengawasi dan mencatat laju paparan di sekitar lokasi eksperimen.

8. Pengumpulan data dihentikan jika laju cacahan telah mendekati atau sama dengan laju cacahan latar belakang.

9. Eksperimen ke dua dapat langsung dilaksanakan jika memang dikehendaki.

dakai.

10. Peralatan dimatikan, limbah radioaktif dikumpulkan pada tempat khusus, jika percobaan telah benar-benar selesai.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian disajikan pada Tabel Data Analisis, dan kurva Distribusi Waktu Tinggal (RTD).

Untuk proses penggilingan akhir terak semen, nilai MRT terbaik adalah nilai yang terendah. Semakin rendah harga MRT pada proses ini semakin rendah pula energi yang diperlukan. Dengan demikian proses pada percobaan pertama memberikan hasil terbaik, yaitu 13,154 menit. Sebaliknya untuk tahapan proses sebelumnya yaitu proses pencampuran pada Blending Silos harga MRT yang rendah sangat dihindari. Harga MRT yang tinggi dapat disebabkan oleh menurunnya laju putar Cement Mills atau oleh hal lain yang bersifat lebih mendasar, yaitu proses pencampuran bahan mentah semen (raw meal) yang kurang sempurna. Akibat ini timbul karena rendahnya harga Blending Faktor, yang pada gilirannya menyebabkan nilai Modulus Silica kurang dari 1,9. Jika terjadi terak semen yang dihasilkan menjadi sangat keras, sehingga sulit digiling/dihancurkan, atau dengan kata lain diperlukan proses penggilingan yang berulang kali. Hal inilah yang

menyebabkan nilai MRT menjadi tinggi.

Meskipun peningkatan harga derajat homogenitas bukan merupakan tujuan

Semen bervariasi antara 13 menit hingga 16 menit.

2. Terdapat tahapan pengulangan (re-

Tabel 1. Data analisis

No.	Parameter	Perc. I	Perc. II	Perc. III	Perc. IV
1	MRT	13,154	15,039	16,578	16,365
2	$\sigma^2$	43,603	119,192	119,551	102,305
3	n	3,973	1,899	2,229	2,616
4	P	1,000	1,000	1,000	1,000
5	R	0,000	0,000	$7 \cdot 10^{-8}$	$6 \cdot 10^{-8}$

Satuan : MRT = menit  
 $\sigma^2$  = menit<sup>2</sup>  
n = tidak ada  
P = tidak ada  
R = tidak ada

utama proses penggilingan, akan tetapi nilai variance  $\sigma^2$  yang tinggi sangat diharapkan hampir pada setiap proses (lihat Gambar 6,7,8,9).

Seperti telah disinggung di atas bahwa harga parameter sistem untuk Ideal Well Mixed Flow yaitu  $n = 1$ . Sehingga nilai parameter model aliran pada percobaan ke dua ( $n = 1,899$ ) memberikan indikasi bahwa pola aliran terak semen pada saat itu mendekati pola aliran Pencampuran Sempurna.

Untuk data yang akurat akan diperoleh harga  $P = 1$  dan  $R = 0$ . Ini berarti data perunut pada percobaan I dan II memberikan hasil yang terbaik (3).

#### KESIMPULAN

1. MRT proses Penggilingan Akhir Terak

sirkulasi) pada Proses Penggilingan Akhir Terak Semen.

3. Ada indikasi bahwa Proses Pencampuran Pada Blending Silos berjalan kurang sempurna/optimal.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. HERMANU, ANSARI., (1987) : Komunikasi Pribadi.
2. LEVENSPIEL, O., Chemical Reaction Engineering, John Wiley and Son, Inc, New York, (1962).
3. SANTOSO, A., Menentukan Pola Aliran Proses Pembakaran Bahan Baku Semen Dengan Metode Perunut Radioaktif, Skripsi, Univ. Indonesia, Jakarta (1987).
4. CHARLTON, J.S., Radioisotop Techniques for Problem - Solving Industry Process, Leonard Hill, London (1986).