

Proses Pengisaran Bijirin Makanan

Siti Masrinda Tasirin

Too Soo Ping

ABSTRAK

Kajian ini mengutarakan keputusan kesan beberapa parameter iaitu tempoh masa serta muatan bahan ke atas kecekapan suatu proses pengisaran bijirin. Keputusan menunjukkan bahawa kecekapan suatu proses, yang ditakrifkan sebagai berat produk /berat suapan adalah bertambah dengan tempoh masa pengisaran (produk ditakrifkan sebagai zarah yang mempunyai saiz kurang daripada 250 μm). Untuk kesemua tempoh masa pengisaran yang dikaji, jumlah produk adalah paling optimum apabila hanya 45 % daripada isipadu bekas pengisar dipenuhi oleh bahan suapan. Nilai indeks kerja (Bond 1952) dan indeks kemudahpecahan (ASTM D440) bijirin zarah yang telah digunakan telah dikirakan dan didapati berkadaran songsang antara satu sama lain.

ABSTRACT

The effects of time and total loading on the grinding process of food materials are presented in this work. Results show that the efficiency of process; defined as the weight ratio of product produced over the feed material, increases as the time of grinding increases (product in this case is defined as particles with size less than 250 μm). At any given time, a volume fraction of 45 % of the total volume of the grinding machine is found to be the optimum loading to produced the highest amount of product. The work index (Bond 1952) and attrition index (ASTM D440) of the food materials were calculated and found to be related in inverse manner.

PENDAHULUAN

Proses pengurangan saiz atau pengisaran adalah satu cabang utama dalam teknologi pemprosesan dan industri kimia. Pengurangan saiz bermaksud pemisahan zarah pepejal kepada cebisan-cebisan yang lebih kecil tanpa mengubah keadaan kelompokan (*aggregate*) zarah pepejal tersebut. Pengurangan saiz kepada zarah kecil akan membawa kebaikan seperti kemudahan pengangkutan, penyimpanan, luas permukaan yang lebih besar (untuk tindakbalas bermangkin) dan lain-lain lagi.

Bagi industri penghasilan kuari, logam dan simen misalnya, proses pengurangan saiz skala besar dan meluas dipraktikkan. Disamping itu, industri-industri sekunder seperti industri cat, makanan dan farmasi juga melibatkan proses pengurangan saiz pada beberapa peringkat proses penghasilan.

Walaupun penggunaan proses ini adalah meluas, namun ianya adalah suatu proses yang amat tidak cekap dari segi penggunaan tenaga. Austin (1964) dan Rhodes et al. (1990) melaporkan bahawa hanya sebahagian kecil daripada tenaga

yang dibekalkan kepada alat pengisar zarah digunakan secara berkesan bagi pengurangan saiz, sementara sebahagian besarnya hilang di dalam bentuk haba dan bunyi (95-99%). Maka, pengembangan dalam bidang ini kebanyakannya menumpu kepada peningkatan kecekapan alat tersebut.

Beberapa orang penyelidik telah cuba untuk meramalkan jumlah tenaga yang diperlukan bagi proses ini. Di antaranya, Rittinger (1867) mencadangkan bahawa tenaga yang diperlukan untuk pengurangan saiz sebutir zarah adalah berkadar terus dengan luas permukaan baru yang terhasil. Kick (1885) pula, mencadangkan bahawa jumlah tenaga adalah berkadar terus dengan nisbah isipadu seperti berikut:

$$E \propto \frac{\text{Isipadu zarah awal}}{\text{Isipadu zarah akhir}} \propto \left\{ \frac{X_1}{X_2} \right\}^3 \quad (1)$$

dimana X_1 dan X_2 masing-masing adalah saiz awal dan saiz akhir zarah.

Anggapan ini walaupun bagaimanapun dianggap sangat tidak munasabah. Sementara Bond (1952), mencadangkan persamaan di bawah yang lebih berguna, berdasarkan data-data yang diperolehi daripada industri yang melibatkan berbagai jenis bahan, iaitu:

$$E = E_1 \left(\frac{10}{\sqrt{X_2}} - \frac{10}{\sqrt{X_1}} \right) \quad (2)$$

di mana E (kWj/ton) ialah tenaga diperlukan untuk mengurangkan saiz zarah (μm) daripada X_1 kepada X_2 . Disini X_1 dan X_2 adalah saiz bukaan ayak (μm) di mana 80% bahan dapat menelusinya, bagi masing-masing bahan suapan dan produk. E_1 (kWj/ton) ialah indeks kerja, iaitu tenaga yang diperlukan bagi mengurangkan saiz unit jisim zarah daripada infiniti (∞) kepada 80% menelusinya dengan bukaan 100 μm , yang nilainya perlu ditentukan secara empirik untuk setiap bahan yang berlainan.

Persamaan (2) dikatakan dapat memberikan ramalan awal yang munasabah untuk keperluan tenaga, bagi bahan-bahan yang saiznya lebih besar daripada 100 μm dan masih digunakan secara meluas (British Material Handling Board 1987; Prior et al. 1990; Berthiaux and Dodds 1997). Holmes (1957) pula mencadangkan persamaan di bawah bagi menggabungkan ketiga-tiga ramalan di atas,

$$\frac{dE}{dX} = -C \frac{1}{X^N} \quad (3)$$

dengan $N = 2$ untuk Rittinger, $N = 1$ untuk Kick, dan $N = 1.5$ untuk Bond. Sungguhpun begitu, setiap pendekatan di atas adalah sesuai digunakan bagi kasus yang berbeza iaitu, Kick bagi zarah besar, Rittinger bagi zarah sangat halus dan Bond bagi zarah pertengahan (British Material Handling Board 1987).

Namun apa yang biasa dipraktikkan untuk suatu jenis bahan suapan tertentu, dan sejenis alat pengisar tertentu secara umumnya, adalah berpandukan kepada pengalaman lepas dan data-data yang telah dicerap sebelumnya.

Semasa proses pengurangan saiz, zarah-zarah tertakluk kepada daya di antara zarah dan medium pengisar, dan daya di antara zarah-zarah. Daya-daya ini akan menghasilkan tegasan, sekiranya cukup kuat akan menyebabkan retakan. Bilangan dan arah retakan ini yang akan menentukan saiz dan bentuk serpihan zarah nanti. Sifat-sifat fizikal zarah merupakan faktor yang penting dalam menentukan kemudahpecahannya (Broadbent & Calcott 1956; Kendal 1978; Pitt et al. 1980; Chen & Soo 1982).

MATLAMAT PENYELIDIKAN

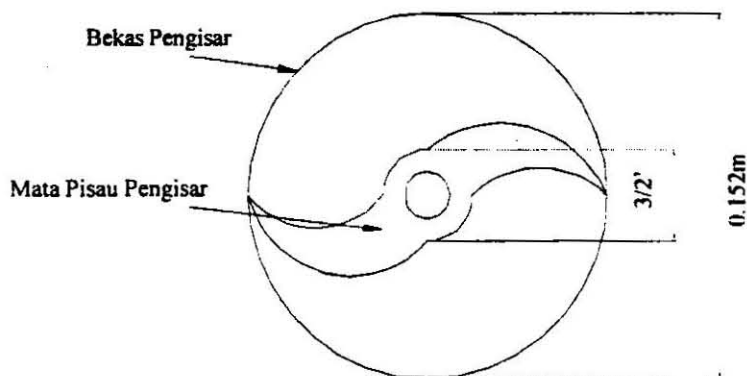
Kajian dijalankan ke atas beberapa aspek di dalam proses pengurangan saiz atau pengisaran bijirin makanan. Aspek-aspek tersebut adalah kesan masa, muatan bahan dan jenis zarah ke atas kecekapan proses pengisaran, serta penentuan pekali indeks kerja, E_p , dan indeks kemudahpecahan bagi setiap bahan yang dikaji.

TATACARA UJI KAJI

Uji kaji ini dilakukan dengan empat jenis bijirin makanan yang berbeza iaitu, beras, kacang soya, kacang dal dan juga kacang hijau. Sifat-sifat fizikal bahan adalah seperti yang dicerapkan di dalam Jadual 1. Sebuah alat pengisar makanan yang menggunakan sebilah mata pisau sebagai agen pengisaran seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 1, dan bekas yang berisipadu 800 cm³ digunakan. Ia dioperasikan pada putaran maksimum dengan kuasa sebanyak 3.25 kW. Tempoh pengisaran yang berbeza digunakan yang berubah dari 3 minit sehingga 11 minit. Bahan uji kaji ditimbang terlebih dahulu dan dicerap sifat fizikalnya seperti saiz purata, ketumpatan pukal terudara dan bentuk sebelum dikisar. Selepas proses pengisaran, produk dikeluarkan dan analisa saiz zarah dilakukan sekali lagi menggunakan kaedah pengayakan. Setiap uji kaji diulang sebanyak tiga kali bagi mendapatkan keputusan yang baik dan dipercayai.

JADUAL 1. Sifat fizikal zarah bijirin

	Beras	Kacang Hijau	Kacang soya	Kacang dal
Bentuk	Tirus. Bujur	Bulat	Bulat	Leper
Saiz purata suapan, X_i (mm)	1.7	3.48	5.76	3.95
Julat saiz (mm)	1.4-2.2	2.4-4.5	4.0-7.2	2.0-5.0
Ketumpatan pukal terudara (kg/m ³)	816	833.5	822	841.33
Sudut istirehat (°)	42	19	36	33



RAJAH 1. Jenis mata pisau yang diguna bagi proses pengisaran

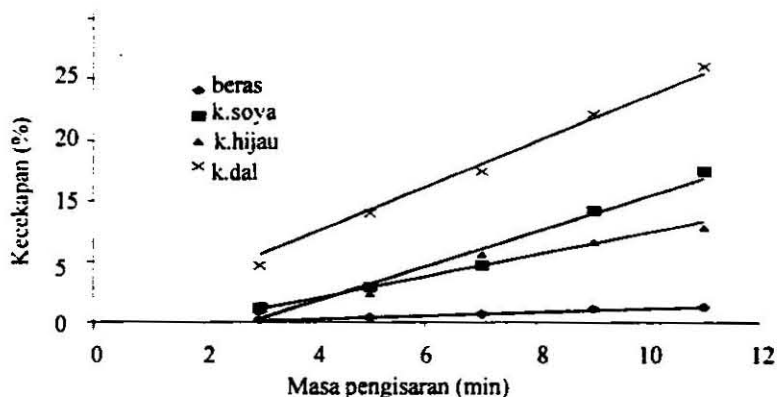
KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

KESAN MASA MUATAN DAN JENIS BAHAN KE ATAS KADAR DAN KECEKAPAN PENGURANGAN SAIZ

Penganalisaan dilakukan dengan menakrif produk sebagai zarah yang bersaiz kurang daripada 250 μ m. Kecekapan pengurangan saiz pula ditakrif sebagai peratusan nisbah berikut:

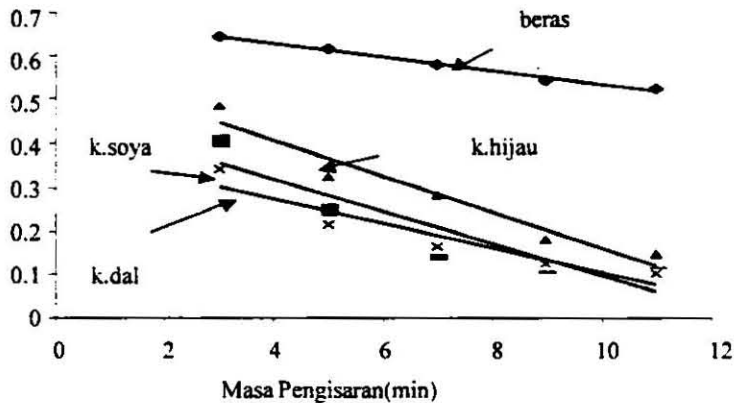
$$\eta = \frac{\text{Berat Produk (Jumlah berat zarah yang bersaiz kurang daripada 250mm)}}{(\text{Berat Muatan Suapan})}$$

Hasil kajian menunjukkan kecekapan seperti yang ditakrifkan di atas bertambah secara linear dengan penambahan masa pengisaran. Rajah 2 menunjukkan pola kecekapan untuk setiap bahan. Pekali perkadaran adalah berbeza di antara satu dengan yang lain bergantung kepada bahan yang dikisar. Hasil memberikan nilai pekali perkadaran sebanyak 1.86, 0.94, 0.69 dan 0.102 bagi masing-masing kacang dal, kacang soya, kacang hijau dan beras.



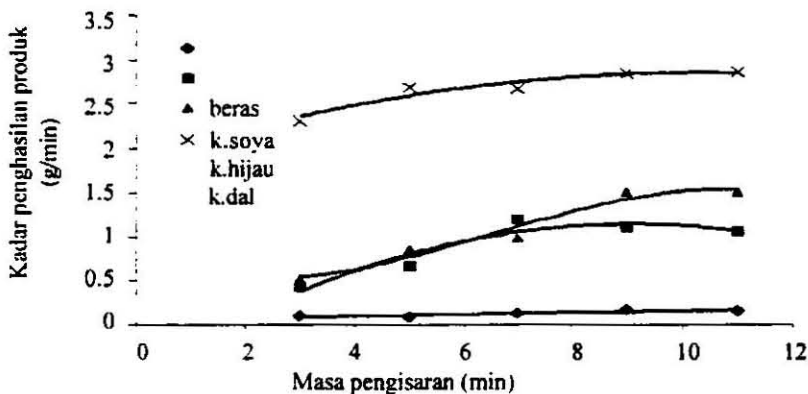
RAJAH 2. Graf kecekapan melawan masa bagi jumlah muatan sebanyak 150g

Bagi suatu proses pengisaran, semakin lama masa mastautin zarah di dalam alat pengisar semakin tinggi darjah pengurangan saiznya. Di sini darjah penurunan saiz boleh ditakrifkan sebagai nisbah bagi saiz produk / saiz suapan. Untuk ini semakin kecil nilainya menunjukkan darjah pengisaran yang lebih tinggi. Dari Rajah 3 juga di dapati bahawa beras mengalami darjah pengurangan saiz yang paling sedikit sekali diikuti dengan kacang hijau, kacang soya dan kacang dal yang merupakan bijirin yang paling tinggi pengurangan saiznya untuk muatan yang sama dan tempoh masa pengisaran yang sama berbanding dengan zarah bijirin yang lain.



RAJAH 3. Graf darjah pengurangan saiz melawan masa bagi jumlah muatan sebanyak 150g

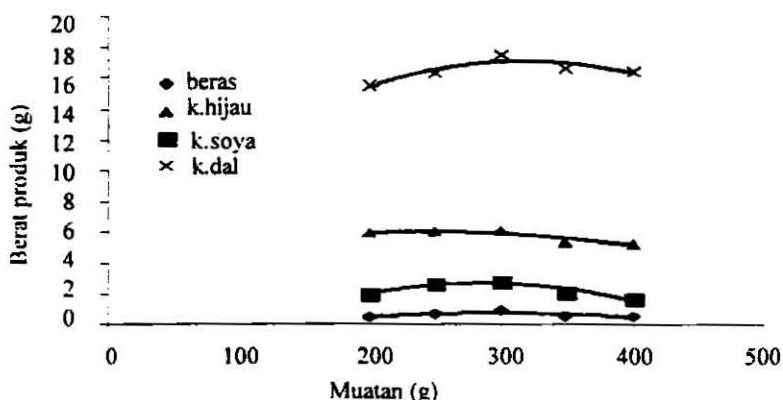
Namun, plot kadar penghasilan produk yang ditakrif sebagai berat produk / masa pengisaran, melawan masa menunjukkan pola yang tidak linear seperti yang ditunjukkan oleh Rajah 4. Kadar penghasilan produk akan bertambah dengan masa pada mulanya, sehingga ke suatu ketika ianya mula berkurangan.



RAJAH 4. Hubungan antara kadar penghasilan produk dengan masa pengisaran

Vaux, (1978, 1983) dan Vedene'va et al. (1978) menerangkan bahawa kadar pemecahan yang tinggi pada permulaan adalah disebabkan oleh pemecahan zarah-zarah lebih lemah dan lebih mudah dipecahkan. Setelah beberapa lama, zarah ini akan menjadi bulat, licin dan susah dipecahkan.

Kajian kesan muatan terhadap proses pengurangan saiz pula menunjukkan bahawa muatan yang banyak tidak menentukan penghasilan produk yang banyak seperti yang ditunjukkan oleh Rajah 5. Daripada ujikaji menggunakan alat pengisar berisipadu 800 cm³, didapati muatan optimum bagi penghasilan produk yang paling banyak untuk setiap bahan, dan setiap jangka waktu pengisaran ialah 300g. Dengan menggunakan ketumpatan pukal zarah, kapasiti optimum pengoperasian dikirakan sebagai 0.45 daripada isi padu sebenar bekas pengisar. Ini adalah benar untuk setiap bahan yang dikaji.



RAJAH 5. Kesan muatan ke atas produk selepas tempoh pengisaran selama 5 minit

PENENTUAN NILAI INDEKS KERJA DAN KEMUDAHPECAHAN ZARAH

Dengan menggunakan persamaan (2), nilai indeks kerja untuk setiap bahan ditentukan. Untuk ini, andaian dibuat dengan menganggap bahawa kesemua tenaga yang dibekal diguna bagi proses pengisaran untuk mengurangkan saiz zarah dari X_1 kepada X_2 .

Nilai indeks kerja purata bagi setiap bahan, pada muatan dan masa pengisaran yang berbeza-beza disenaraikan di dalam Jadual 2. Pemerhatian menunjukkan nilai indeks kerja ini memberi gambaran tentang kekerasan zarah atau kemudahpecahan bijirin tersebut. Kacang dal yang berupa zarah yang paling lembut dan rapuh, memberikan indeks kerja yang paling kecil berbanding bijirin lain. Sementara beras yang merupakan bijirin yang paling keras ditunjukkan oleh nilai indeks kemudahpecahannya yang terendah memberikan nilai indeks kerja yang paling tinggi.

Di dalam kes ini dua cara penentuan nilai kemudahpecahan digunakan bagi mengaruh kenyataan di atas tadi, iaitu nilai *Indeks Kemudahpecahan* (ASTM D440, 1949), yang ditakrifkan sebagai:

$$\text{Indeks Kemudahpecahan} = (\text{saiz purata asal-saiz purata akhir}) / \text{saiz purata awal}$$

Juga penentuan secara darjah penurunan saiz (British Materials Handling Board 1987) yang ditakrifkan sebagai:

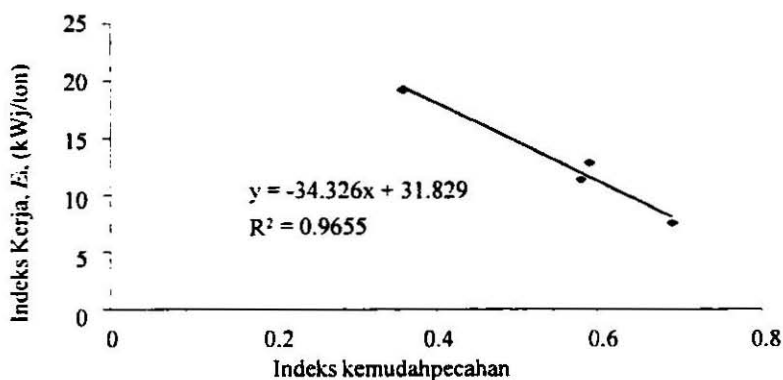
$$\text{Darjah penurunan saiz} = \text{saiz purata akhir/saiz purata awal}$$

Nilai kedua-dua indeks kemudahpecahan ini untuk setiap bahan adalah disenaraikan di dalam Jadual 2. Diperhatikan bahawa nilai darjah penurunan saiz adalah (1- indeks kemudahpecahan). Bagi indeks kemudahpecahan, semakin besar nilai yang diperolehi menunjukkan kebolehpemecahan yang tinggi atau dengan kata lain semakin lembut bahan tersebut, manakala darjah penurunan saiz semakin besar nilainya yang menunjukkan semakin lembut bahan tersebut.

JADUAL 2. Nilai indeks kerja, darjah penurunan saiz dan indeks kemudahpecahan

Bahan	Darjah penurunan saiz	Indeks kemudah Pecahan	Indeks kerja, E_i (kWj/ton)
Beras	0.64	0.36	19.25
Kacang Hijau	0.42	0.58	11.37
Kacang soya	0.41	0.59	12.91
Kacang dal	0.31	0.69	7.58

Daripada nilai-nilai indeks kerja dan indeks kemudahpecahan yang didapati untuk 4 jenis bijirin makanan yang telah dikaji, hubungan antara keduanya adalah seperti yang ditunjukkan oleh Rajah 6, yang secara amnya diperhatikan berkadaran songsang. Kajian lanjut dengan berbagai jenis bahan perlu dilakukan sebelum sebarang hubung kait yang lebih menyeluruh dapat di perolehi.



RAJAH 6. Hubungan antara indeks kerja dengan indeks kemudahpecahan untuk beberapa jenis bijirin

Perbandingan nilai-nilai indeks kerja bagi bahan-bahan lain yang didapati daripada literatur juga dibuat. Sebagai contohnya, indeks kerja bagi batu kapur ialah 12.74 kWj/ton, bijih timah ialah 10.81 kWj/ton, kok arang batu ialah 15.13kWj/ton. Daripada nilai yang didapati bagi bijirin makanan yang telah dikaji, menunjukkan bijirin tersebut adalah lebih lembut kecuali bagi bijirin beras yang agak tinggi nilainya. Walau bagaimanapun nilai-nilai daripada literatur yang tersebut adalah berdasarkan kepada jenis alat pengisar yang berlainan berbanding dengan yang digunakan di dalam kajian ini. Jesteru nilai yang agak berbeza didapati, yang menyukarkan perbandingan untuk dilakukan.

KESIMPULAN

Kajian ini, dengan menggunakan empat sampel bijirin makanan yang berbeza mendapati bahawa kecekapan dan kadar penurunan saiz adalah bertambah secara linear terhadap masa pengisaran. Walau bagaimanapun kadar penghasilan akan mula berkurang selepas suatu jangka waktu tertentu, di mana kebanyakan zarah mencapai saiz yang kritikal. Kajian ke atas kesan muatan menggunakan alat pengisar dengan isipadu 800 cm³, mendapati bahawa muatan optimum bagi penghasilan produk yang paling banyak untuk setiap bahan, dan setiap jangka waktu pengisaran ialah 45 % isi padu. Pengiraan nilai indeks kerja (Bond 1952) dan juga indeks kemudahpecahan (ASTM D440) mendapati bahawa semakin lembut suatu zarah tersebut yang diberikan oleh nilai indeks kemudahpecahan yang besar, semakin kecil nilai indeks kerjanya. Hubungan kasar antara keduanya untuk empat jenis bijirin yang dikaji telah didapati di dalam kes ini.

SIMBOL

C	pemalar indeks dalam persamaan (3)	{-}
E	tenaga yang perlu bagi pengurangan saiz dari X_1 ke X_2	[kWj/ton]
N	pemalar dalam persamaan (3)	{-}
E_i	pemalar indeks kerja dalam persamaan (3)	[kWj/ton]
X_1	saiz purata suapan	[μ m]
X_2	saiz purata produk	[μ m]

RUJUKAN

- Austin, L.G. 1964. Theory of grinding operations. *Ind. Eng. Chem.* 56: 18-29.
 ASTM D440-49. 1949. Drop Shatter Test for Coal.
 ASTM C142-67. 1967. Friability of Particles in Aggregate.
 Berthiaux, H., & J. Dodds. 1997. A new estimation technique for the determination of breakage and selection parameters in batch grinding. *Powder Technol.* 94(2): 173-180.
 Bond, F.C. 1952. The third theory of comminution. *Mining Engineering Trans. A.I.M.E.* 193: 484-494.
 British Materials Handling Board. 1987. Particle Attrition: State-of-the-Art Review. Trans. Tech. Publications. *Series on Bulk Materials Handling*, Vol. 5.
 Broadbent, S.R. & Calcott, T.G. 1956. *J.Inst. of Fuel* 29: 524-539.

- Chen, C. & Soo, S.L. 1982. Attrition and Dehulling of grains in Pneumatic Conveying. *J. of Pipelines* 2(2-4): 103-109.
- Kendal, K. 1978. *Nature*, 272: 710.
- Kick, F. 1885. *The Laws of Proportional Resistance and Their Applications*. Leipzig: Verlag von Arthur Felix.
- Pitt, G.J. & Rumsey, J.C.V. 1980. *J. Phys. D., Appl. Phys.* 13: 969.
- Rhodes, M.J., Prem, H., & Prior, M.H. 1990. In *Principles of Powder Technology*. M.J.Rhodes (ed.). Wiley and Son.
- Rittinger, von P. R. 1867. *Lehrbuch der aufbereitungskunde*. Berlin.
- Vaux, W.G. 1978. *Proc. Am. Power Conf.*, 40: 793-802.
- Vaux, W.G. & Schruben, S.J. 1983. *A.I.Ch.E. Symp. Ser.* 79(222): 97-102.
- Veden'eva, A.I., Paranskii, S. A. & Schchukin, E.D. 1978. *Kinetika i Kataliz* 19(2) 463-467.

Siti Masrinda Tasirin dan Too soo Ping
 Department of Chemical & Process Engineering
 Faculty of Engineering
 Universiti Kebangsaan Malaysia
 43650 UKM Bangi, Selangor D.E. Malaysia