

KARAKTERISASI PEMISAHAN BERAS, BEKATUL DAN SEKAM PADA SISTEM SIKLON¹

Cahyawan Catur Edi Margana² dan Sukmawaty²

ABSTRAK

Penelitian tentang karakterisasi pemisahan beras, bekatul dan sekam dengan sistem siklon telah dilaksanakan yang bertujuan untuk menentukan parameter-parameter aerodinamika pada pemisahan beras, bekatul dan sekam pada sistem siklon; menganalisis proses pemisahan beras, bekatul dan sekam dengan siklon secara keseluruhan hubungannya dengan parameter-parameter aerodinamika; untuk memperoleh karakteristik pemisahan beras, bekatul dan sekam sistem siklon yang sudah tervalidasi.

Metode penelitian yang dipergunakan adalah penelitian di laboratorium, dilaksanakan dengan langkah-langkah sebagai berikut: pengukuran sifat fisik/geometrik gabah, beras, bekatul dan sekam kemudian dilanjutkan pengukuran sifat aerodinamika beras, bekatul dan sekam.

Dari hasil penelitian telah diperoleh data sifat fisik dan geometri beras, bekatul dan sekam yang dapat dipergunakan untuk analisis karakteristik siklon; diperolehnya data sifat aerodinamika yaitu kecepatan terminal, kecepatan slip, bilangan Reynold aliran, *drag coefficient* total baik pengukuran actual maupun teoritis pada beras, bekatul dan sekam, pemodelan matematika yang berdasarkan kesebandingan gaya sentrifugal dan gaya *drag* (gaya radial) pada kondisi mantap (*steadystate*) untuk pemisahan beras-sekam dan sekam bekatul pada system siklon telah valid dengan diperolehnya kesalahan relatif antara data aktual dan simulasi bawah 10%

Pemodelan matematik berdasarkan simulasi debit aliran udara masuk ke siklon untuk pemisahan beras-bekatul, beras-sekam dan sekam-bekatul pada kecepatan radial jauh dari kecepatan terminal belum sah (valid). Namun untuk perlakuan kecepatan radial mendekati kecepatan terminal dengan diperolehnya kesalahan relatif antara data aktual dan simulasi dibawah 10% diperoleh sah (valid).

Kata Kunci : Sistem siklon gabah, bekatul, bekatul, sekam, sifat aerodinamika, pemodelan matematik

¹ Disampaikan dalam Gelar Teknologi dan Seminar Nasional Teknik Pertanian 2008 di Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian UGM, Yogyakarta 18-19 November 2008

² Program Studi Teknik Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram

A. PENDAHULUAN

Pada proses pemisahan beras, bekatul dan sekam terjadi pemisahan produk melibatkan aspek dinamika, dinamika produk serta dinamika udara. Dalam sistem siklon kedua aspek tersebut saling berinteraksi membentuk sistem siklon sehingga tujuan pemisahan beras dengan bekatul dapat terjadi dengan baik. Adapun parameter-parameter aerodinamika yang menentukan dalam proses pemisahan beras, bekatul dan sekam adalah kecepatan terminal (V_t), drag koefisien (D_c), kecepatan angular (ω) serta sifat fisik produk seperti massa jenis (ρ_p), diameter (d_p), luas proyeksi (A_p), serta sifat fisik udara meliputi viskositas udara (η), massa jenis udara (ρ_u), penelitian dari aspek mikro aerodinamika relatif masih sedikit. Pembuatan sistem siklon dilakukan dengan mengambil data dari pustaka (masih bersifat umum/tidak spesifik) bahkan dilakukan secara *trial and error* yakni mencoba-coba dimana resiko kegagalan dalam penerapannya cukup besar khususnya untuk *scale up* serta prosedur ini sebaiknya ditinggalkan (Abdullah, 1998).

Salah satu masalah dalam perancangan bangunan mesin dan peralatan di bidang pengolahan hasil pertanian adalah belum adanya data spesifik dari parameter-parameter yang dipergunakan untuk rancang bangun. Pada rancang bangun pemisahan beras, bekatul dan sekam perlu masukan data sifat aerodinamika pada bahan dan udara sehingga bisa mendapatkan pemisahan beras dan bekatul secara sempurna dan efisien. Sebagai contoh untuk menentukan kecepatan udara blower pada sistem siklon perlu input data kecepatan terminal produk (V_t) dimana merupakan kecepatan minimal yang harus diberikan produk untuk dapat diangkat (dipindahkan) dengan menggunakan energi gerak udara. Kebutuhan seperti tekan udara dipengaruhi oleh produk yang akan dipindahkan. Faktor penting aerodinamika lainnya mempengaruhi sistem siklon adalah *Drag Coefficient (C)*. Kehilangan energi untuk setiap panjang aliran (dP/L) merupakan sifat aerodinamika dari bahan dan peralatan yang merupakan faktor yang harus diperhatikan khususnya kaitannya dengan pengaruh dimensi peralatan. Ketiga data kuantitatif tersebut sangat penting untuk menentukan karakterisasi aerodinamika pada sistem siklon. Untuk mengetahui seberapa jauh kesahihan nilai kuantitatif dari karakteristik aerodinamika pada sistem siklon yang diperoleh dari pengukuran laboratorium diselesaikan dengan melalui pembuatan model matematika secara keseluruhan sistem siklon kemudian melakukan input data hasil penelitian laboratorium sifat aerodinamika dan kemudian membandingkan antara hasil yang diperoleh secara teoritis dengan data aktual dari sistem siklon terkontrol.

Salah satu masalah dalam rancang bangun dan *scale up* sistem siklon untuk pemisahan beras, sekam dan bekatul adalah belum adanya data spesifik dari parameter-parameter yang dipergunakan untuk rancang bangun. Data spesifik untuk perancang bangunan sistem siklon adalah parameter-parameter aerodinamika yang diperoleh tersebut kemudian diaplikasikan dalam bentuk model matematika yang merupakan karakteristik sistem siklon untuk pemisahan beras, bekatul dan sekam. Karakteristik sistem siklon divalidasi dengan cara membandingkan antara hasil yang diperoleh secara teoritis dengan data aktual dari sistem siklon terkontrol sehingga sah secara teknis. Hasil kuantitatif karakteristik yang kemudian diperoleh dapat dipergunakan sebagai dasar dalam rancang bangun dan *scale up* pemisahan beras, bekatul dan sekam dengan mempergunakan sistem siklon.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah: a) untuk menentukan parameter-parameter aerodinamika pada pemisahan beras, bekatul dan sekam dengan sistem siklon; b) menganalisis proses pemisahan beras, bekatul dan sekam dengan sistem siklon secara keseluruhan hubungannya dengan parameter-parameter aerodinamika; c) untuk memperoleh karakteristik pemisahan beras, bekatul dan sekam dengan sistem siklon yang sudah tervalidasi. Manfaat dari penelitian ini adalah: a) data yang diperoleh diharapkan dapat dipakai sebagai dasar rancang bangun dan *scale up* pemisahan beras, bekatul dan sekam sistem siklon yang terkontrol layak secara teknis, serta c) menambah khasanah dalam ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya di bidang rekayasa mesin dan peralatan pengolahan hasil pertanian.

Penggilingan padi bertujuan untuk membuang sekam dan bekatul atau kotoran lainnya dari beras utuh. Penggilingan padi menghasilkan campuran beras utuh, gabah belum tergilang, sekam, bekatul, debu, beras pecah dan biji gabah belum masak. Alat pemisah beras (separator) memisahkan antara beras utuh dengan gabah, bekatul dan debu, beras pecah dan sekam harus dibuang. Pada aspek keteknikan hal yang penting dipelajari adalah sifat fisik dan geometrik, sifat aerodinamika. Sifat fisik dan geometrik padi telah diteliti oleh Steffe and Singh (1992) adapun aspek yang diteliti adalah pengklasifikasian ukuran beberapa varietas CSMS dimana panjang rata-rata, rasio panjang/lebar USDA (1973) menentukan beberapa varietas padi dengan mengklasifikasikan dengan beberapa ukuran pendek, medium dan panjang. Morita dan Singh (1979); Wraten *et al* (1969) dan Steffe (1979) mendapatkan hubungan erat antara variabel panjang, lebar dan tebal terhadap parameter kadar air beras (basis basah/b.b). Steffe and Singh (1979) mendapatkan pula hubungan antara volume beras

dengan kadar airnya (b.b). Bakhsi dan Singh (1979) memperoleh hubungan erat berat jenis curah dan berat jenis padatan dengan kadar air (b.b).

Studi dengan pendekatan analisis geometrik gabah dengan pendekatan *sphere* telah diteliti oleh Gustafson (1980); Muthukumarrapan dan Gunasekaran (1994); Iganthinnathane dan Chattopadhyay (1999).

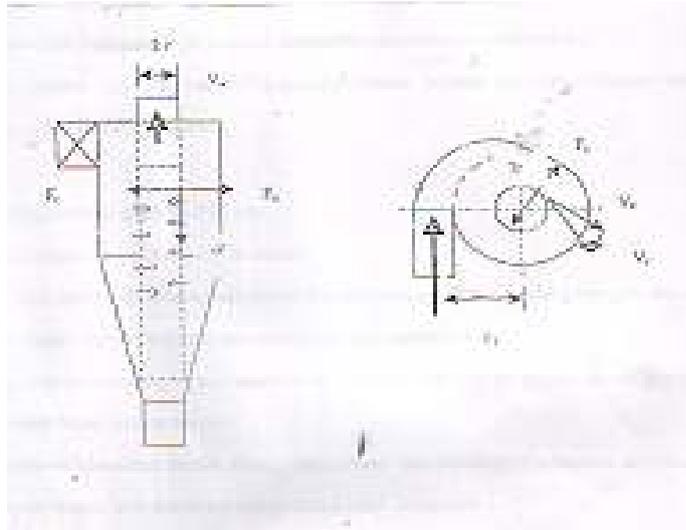
Berdasarkan hasil percobaan yang sudah dilakukan untuk beras varietas Thailand besar mempunyai rata-rata panjang 10.45 mm, lebar 2.28 mm, tebal 1.82 mm, spherisitas 0.3349 (Margana^a, 1999). Harahap *et al* (1981) menginformasikan bahwa sifat fisik sekam untuk kadar air 12.95% mempunyai densitas kamba sebesar 640 kg/m² serta prosentase sekam terhadap gabah sebesar 19-22%.

Biasanya bekatul dengan debu dipisahkan menggunakan pemisah getar dengan lobang-lobang halus dan dibuang sebagai limbah produk (IDRC, 1995 dalam Noomhorm, 1998) karena tingkat kesulitan yang tinggi dalam pemisahan beras terhadap bekatul dan sekam maka proses akan lebih sempurna apabila menggunakan sistem siklon.

Sifat aerodinamika berdasarkan eksperimen yang dilakukan di *Postharvest and Food Engineering Laboratory*, Asian Institute of Technology diperoleh kecepatan terminal untuk rata-rata varietas Thailand medium sebesar 6.5 m/det, sekam 1.1 m/det dan debu 0.1 m/det (Margana^b et al, 1999).

Kapasitas masukan terhadap sistem siklon terhadap nilai kecepatan slip (V_{slip}) dan *Drag Coefficient Total (C)* sangat signifikan (Mohsenin, 1980) dan Jindal (1998). Kapasitas mesin penggiling yang ada sekarang adalah 200-500 kg/jam (JAM, 1992) dan 700-1735 kg/jam (Araullo et al, 1979). Untuk beras, bekatul dan sekam data *Drag Coefficient Total (C)* ataupun *Drag Coefficient Friksi (C_f)* maupun *Drag Coefficient Tekanan (C_D)* secara spesifik belum ditentukan.

Secara prinsip gaya-gaya yang terjadi pada sistem siklon (Vincent, 1998):



Gambar 1: Gaya-gaya yang terjadi pada sistem siklon

Dalam kondisi mantap (*steady state*) gaya sentrifugal (F_e) sebanding dengan gaya resisten udara (F_r). Jika F_e lebih besar dari F_r partikel akan mengikuti gaya sentrifugal dan bergerak turun ditentukan oleh kecepatan terminal (V_t). F_e lebih kecil dari F_r partikel akan mengikuti gaya resisten udara dan bergerak ke bagian tengah siklon.

B. METODE PENELITIAN

1. Alat dan bahan penelitian

Alat-alat penelitian

Perincian peralatan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah:

Pengukuran yang dilakukan	Metode/langkah kerja yang dilakukan
1. Sifat fisik/geometrik produk	Mikrometer, perbesaran gambar, metode coating, picnometer, planimeter
2. <i>Drag coefficient</i>	Tunnel udara vertikal untuk menentukan kecepatan terminal udara
3. Penentuan kecepatan terminal	Tunnel udara vertikal untuk menentukan kecepatan terminal udara
4. <i>Drag coefficient</i>	Tunnel udara vertikal untuk menentukan kecepatan terminal udara
5. Siklon pemisah beras, bekatul dan sekam	Membuat model matematika, dilakukan perlakuan kecepatan udara siklon
6. Kecepatan aliran udara	Pengukur kecepatan udara elektrik
7. Stroboskop	Pengukuran kecepatan aktual partikel/butiran

Bahan penelitian

Adapun bahan yang dipergunakan pada penelitian ini adalah: beras, bekatul dan sekam

2. Langkah penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

Pengukuran sifat fisik/geometrik gabah, beras, bekatul dan sekam

Pengukuran sifat fisik/geometrik meliputi: panjang (p), lebar (l), tebal (t), diameter rata-rata (d_{avg}), diameter equivalen (d_e), geometric mean diameter (GMD), berat jenis (ρ), luas proyeksi (A_p) dan luas permukaan (A_s), ruang pori-pori (ϵ). Pengukurannya berdasarkan Mohsenin (1980).

Pengukuran sifat aerodinamika beras, bekatul dan sekam

Parameter-parameter sifat aerodinamika meliputi: kecepatan terminal (V_t) partikel tunggal maupun dispersi, *Drag Coefficient Friksi* (C_f) partikel tunggal maupun partikel dispersi, *Drag Coefficient Tekanan* (C_D) partikel tunggal maupun dispersi maupun *Drag Coefficient Total* (C) partikel tunggal maupun dispersi.

Adapun parameter-parameter yang diukur untuk setiap perlakuan dikelompokkan oleh dua kelompok yakni pengukuran untuk partikel tunggal dan partikel dispersi.

Adapun variabel-variabel (sebagai perlakuan) berdasarkan parameter yang diukur adalah:

- Kecepatan terminal (V_t) untuk partikel tunggal (beras, bekatul dan sekam).
 - Tingkat Diameter Partikel (d_p)
 - Tingkat selisih massa jenis produk-udara ($\rho_p - \rho_u$)
- Kecepatan slip (V_t) untuk partikel tunggal
 - Tingkat Bilangan Reynould (NRE)
 - Tingkat selisih massa jenis produk-udara ($\rho_p - \rho_u$)
- Kecepatan slip (V_t) untuk partikel dispersi
 - Tingkat laju massa padatan
 - Tingkat perbandingan debit aliran padatan dengan debit aliran udara
- *Drag Coefficient Friksi* (C_f)
 - Tingkat Bilangan Reynould (NRE)
- *Drag Coefficient Tekanan* (C_D)
 - Tingkat Bilangan Reynould (NRE)

- *Drag Coefficient Total (C)* untuk partikel tunggal
 - Tingkat Bilangan Reynould (NRE)
 - Tingkat selisih massa jenis produk udara ($\rho_p - \rho_u$)
- *Drag Coefficient Total (C)* untuk partikel dispersi
 - Tingkat laju massa padatan (m_s)

Semua perlakuan diulang tiga kali

Heldman (1979), Mohsenin (1980) dan Jindal (1998) menyatakan bahwa variabel-variabel di atas mempunyai pengaruh tunggal terhadap parameter-parameternya. Hubungan antara variabel-variabel dengan parameter-parameter di atas diselesaikan dengan menggunakan analisis regresi pada taraf nyata 5%.

3. Persamaan-persamaan dasar yang dipergunakan

Persamaan-persamaan dasar yang dipergunakan untuk menentukan sifat/ geometris yang berhubungan dengan sifat aerodinamika berdasarkan Mohsenin (1980):

Penurunan tekanan udara karena dinamika partikel (P_s , pascal) (Cornish and Charity, 1996):

$$\frac{P_s}{\rho_f \cdot V_a^2} = f \left[\frac{R}{D}, \frac{M}{\rho_f \cdot V_a \cdot D^2}, \frac{D}{d_p}, \frac{\rho_p}{\rho_f}, \frac{\rho_f \cdot V D}{\eta} \right] \dots\dots\dots (20)$$

- Dimana:
- ρ_f = Massa jenis udara (kg/m^3)
 - ρ_p = Massa jenis produk (kg/m^3)
 - V_a = Laju aliran pemindah (m/det)
 - R = Radius kolom laju udara (m)
 - D = Diameter pipa (m)
 - M = Laju aliran padatan (m^3/det)
 - D_p = Diameter produk (m)
 - η = Viscositas udara (Pa.S)

Persamaan di atas dapat diselesaikan melalui analisis dimensi dengan theorema PHI Buckingham (Mohsenin, 1980 dan Abdullah, 1990). Apabila penyelesaian secara matematika, maka dilanjutkan dengan penentuan nilai konstanta dari persamaan ini berdasarkan analisis regresi:

4. Pemodelan matematik sistem siklon pemisah beras, bekatul dan sekam

Pemodelan matematik berdasarkan keseimbangan massa dan energi sesuai dengan Heldman (1979), Mohsenin (1980), Jindal (1998) dan Vincent (1998). Adapun persamaan-persamaan prinsip pemodelan matematika adalah sebagai berikut:

Aksi gaya pada pemisahan siklon pada kondisi mantap (*steady state*, gaya sentrifugal (F_c) sebanding dengan gaya resisten (F_r) atau dapat ditulis (Mohsenin, 1980):

$$F_c = F_r \dots\dots\dots (21)$$

$$\frac{W \cdot V_c^2}{g \cdot r} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot A_p \cdot \rho_a \cdot V_a^2 \dots\dots\dots (22)$$

Agar terjadi pemisahan produk maka $V_c > V_f$

Debit aliran udara ($Q, m^3/det$) yang dialirkan untuk memisahkan dua partikel dengan massa jenis produk ($\rho_p^2, kg/m^3$) dan produk yang dipisahkan ($\rho_p^1, kg/m^3$) dengan jari-jari bagian dalam (R_1, m) dan jari-jari bagian luar (R_2, m) mengikuti persamaan:

$$Q = \frac{\omega^2 (\rho_{p1} - \rho_{p2}) d_{p2}^2}{18 \cdot \eta \cdot \ln \frac{R_2}{R_1}} [\pi \cdot L (R_2^1 - R_1^2)] \dots\dots\dots (23)$$

dan

$$\omega = \sqrt{\frac{V_t \cdot 18 \cdot \eta}{R_t \cdot d_p^2 \cdot (\rho_{p1} - \rho_{p2})}} \dots\dots\dots (24)$$

Prosentase hasil pemisahan dengan diameter produk yang diharapkan terpisah (Q_p, kg) dinyatakan dengan:

$$Q_p = \frac{Q_t}{Q_i} \dots\dots\dots (25)$$

Dimana: Q_t = Massa produk yang terpisah untuk setiap waktu (kg)

Q_i = Massa masuk ke siklon untuk setiap waktu (kg)

Dengan memasukkan nilai parameter-parameter aerodinamika hasil penelitian ke dalam model matematika sistem siklon kemudian memvalidasi dengan membandingkan hasil perhitungan dengan persamaan-persamaan model di atas dengan nilai-nilai aktual; dari pengukuran pemisahan beras, bekatul dan sekam pada sistem siklon yang terkontrol.

5. Analisa data

Analisa sistem siklon pemisahan beras, bekatul dan sekam

- Penentuan sifat fisik, geometrik beras, sekam dan bekatul: ρ , GMD, A_p , D_p , ε
- Penentuan/kalkulasi teoritis berdasarkan model matematik dari sistem siklon
- Membandingkan antara hasil simulasi dengan data real dari sebuah sistem siklon yang terkontrol (dengan berdasarkan nilai % kesalahan relatif).

Adapun persamaannya:

$$\% \text{ kesalahan relatif} = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^{x=n} \left[\frac{M_{\text{teoritis}} - M_{\text{aktual}}}{M_{\text{teoritis}}} \right]^2}{n}} \times 100\%$$

Analisa statistik mempergunakan software STATGRAPH version 3.0. sedangkan penyelesaian simulasi dengan mempergunakan pemrograman komputer dengan bahasa GW BASIC version 3.2.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Sifat Fisik dan Geometri Beras, Bekatul dan Sekam

Ukuran beras ditentukan berdasarkan panjang, lebar dan ketebalan. Ukuran beras diukur menggunakan mikrometer. Selain itu pengukuran panjang, lebar dan ketebalan juga dilakukan pula menggunakan gambar diperbesar dengan *Over Head Projector*. Jarak dan luas diukur dengan planimeter khususnya untuk bekatul dan sekam. Cara yang sama telah dilakukan oleh Moritta and Singh (1979); Steffe and Singh (1980). Dalam penelitian ini digunakan beras IR 26 yang telah digiling dan dipisahkan komponen beras, bekatul dan sekam. Dari hasil penggilingan kemudian diambil sampel secara acak dan dibawa ke Laboratorium dan dilakukan pengukuran sifat fisik dan geometri beras, bekatul serta sekam.

Adapun hasil pengamatan secara ringkas diberikan pada Tabel 1.

2. Kecepatan Terminal

Pada kondisi jatuh bebas, obyek berada pada kondisi di tempat dengan kecepatan terminal (V_t) pada gaya percepatan gravitasi bersih (F_a) sebanding dengan gaya drag resistensi ke atas (F_r). Dalam penelitian ini telah dilakukan penelitian kecepatan terminal

pada beras, bekatul dan sekam. Dengan melakukan pengukuran pergerakan butiran pada saluran yang terbuat dari gelas kaca, dengan

Tabel 1: Sifat Fisik dan Geometri Beras, Bekatul dan Sekam

Parameter	Beras	Bekatul	Sekam
Geometrical Mean Diameter (GMD, cm)	0,249 ± 0,0067	0,0362 ± 0,00607	0,281 ± 0,043
Diameter Equivalent (De, cm)	0,477 ± 0,0136	0,0116 ± 0,00189	0,5409 ± 0,1141
Volume Padatan (V, cm ³)	0,0198 ± 0,00083	0,00023 ± 0,0001	0,00152 ± 2,76E-09
Massa Jenis Padatan (ρ _π , kg/m ³)	1039,3 ± 40,4797	893,17 ± 51,642	240,18
Massa Jenis Curah (ρ _x , kg/m ³)	840,5 ± 0,000002	0,4304 ± 0,000002	98,9 ± 3,958
Porositas (ε, desimal)	0,236 ± 0,0481	0,9995181 ± 0,0002	0,243 ± 0,039587

pengaturan kecepatan blower maka telah dilakukan pengukuran kecepatan udara tanpa bahan dan pengukuran kondisi produk pada kecepatan terminal dengan menggunakan anemometer elektrik (m/det) serta frekuensi pergerakan butiran diukur dengan menggunakan stroboskop (Hertz). Kecepatan terminal dapat diperoleh berdasarkan pengukuran langsung (aktual), atau dapat pula diperoleh secara teoritis dengan memasukkan parameter-parameternya kemudian dihitung berdasarkan kondisi butiran tunggal (hukum Stokes), serta butiran dispersi (Jindal, 1998).

Dengan pengaturan blower maka kecepatan terminal dapat dicapai dan diukur. Hasil pengamatan dan analisis secara ringkas diberikan pada Tabel di bawah.

Tabel 2: Kecepatan Terminal pada Beras, Bekatul dan Sekam

Parameter	Beras	Bekatul	Sekam
Kecepatan terminal pengukuran (V _t , m/det)	6,14 ± 0,4979	0,56 ± 0,13416	1,38 ± 0,08366
Kecepatan terminal butiran tunggal (V _t , m/det) teoritis	8,3895	1,2818	4,2059
Kecepatan terminal butiran terdispersi (V _t , m/det) teoritis	6,4046	0,9786	3,2109

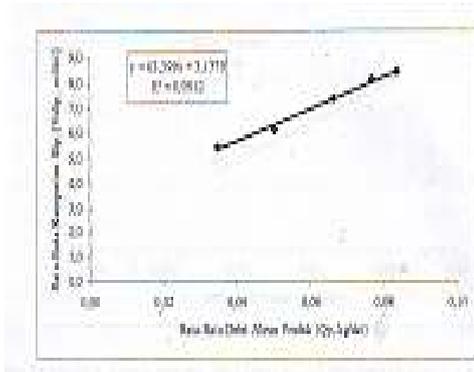
Dari Tabel di atas memperlihatkan bahwa kecepatan rata-rata untuk beras, bekatul dan sekam berturut-turut 6,14 m/det, 0,56 m/det dan 1,38 m/det. Nilai ini mendekati nilai yang pernah diteliti sebelumnya oleh Margana *et al* (1999) untuk varietas Thailand yakni untuk beras 6,5 m/det dan sekam 1,1 m/det. Sedang kecepatan terminal butiran tunggal teoritis melalui kalkulasi diperoleh nilai kecepatan terminal cukup jauh dibandingkan dengan kecepatan terminal pengukuran, hal ini disebabkan pengaturan kecepatan terminal butiran tunggal disebabkan faktor-faktor yang mempengaruhi nilai tersebut berdasarkan diameter butiran serta selisih antara massa jenis butiran dengan masa jenis udara serta viskositas udara serta butiran diasumsikan berbentuk bola. Diketahui bahwa butiran beras, bekatul dan sekam tidak merupakan bentuk bola yang sempurna meskipun perhitungan diameter besar dalam penelitian dinyatakan dalam bentuk *Geometric Mean Diameter (GMD)* yang merupakan upaya pendekatan bentuk beras, bekatul dan sekam mendekati bola.

Sedang nilai kecepatan terminal butiran terdispersi teoritis lebih mendekati nilai pengukuran (aktual), hal ini disebabkan faktor porositas (perbandingan massa padatan dan udara) dipertimbangkan dalam perhitungan sehingga hasil perhitungan lebih terkoreksi.

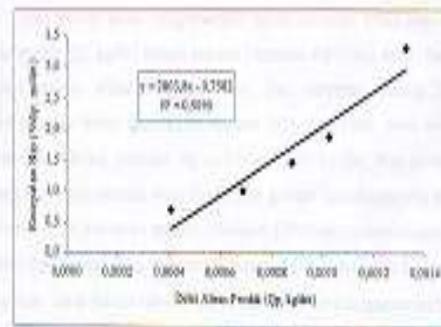
3. Kecepatan Slip dan *Drag Coefficient*

Kecepatan slip sangat diperlukan dalam mempelajari sifat aerodinamika produk. Kecepatan slip menurut Noomhorn (1998) merupakan kecepatan butiran (dari gerakan absolut udara) dimana kecepatan slip mempunyai korelasi langsung dengan koefisien drag yaitu suatu nilai koefisien yang memperlihatkan tekanan ke arah atas dari obyek lebih besar daripada tekanan ke atas bawah. Kecepatan produk pada kecepatan terminal mendekati 0 m/det atau sama dengan 0 m/det. Kecepatan produk dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan stroboscoup. Hasil analisis diperoleh kecepatan rata-rata produk pada kondisi kecepatan terminal adalah sebesar 0,00993 m/det (beras); 0,00741 (bekatul) dan 0,02851 m/det (sekam). Nilai ini mendekati 0 m/det serta nilai tersebut memperlihatkan bahwa kecepatan slip mendekati kecepatan terminal. Atau dapat dikatakan bahwa pada kondisi tersebut telah terjadi slip yang mendekati sempurna. Sesuai dengan hasil analisis diperoleh kecepatan slip rata-rata beras, bekatul dan sekam hasil pengukuran berturut-turut sebesar 3,93 m/det; 0,55 m/det dan 1,35 m/det.

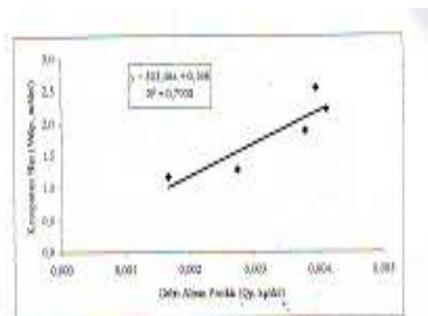
Penentuan nilai kecepatan slip dengan pendekatan analisis butiran terdispersi diperoleh korelasi antara debit aliran massa (kg/det) dengan kecepatan slip (m/det) sesuai dengan Jindal (1998). Grafik hubungan antara rata-rata debit aliran massa (kg/det) dengan rata-rata kecepatan slip butiran terdispersi berturut-turut beras, bekatul dan sekam dapat dilihat pada Gambar 2 s/d 3.



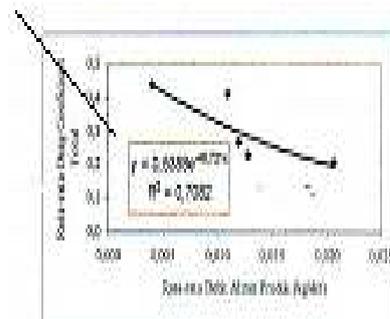
Gambar 2: Grafik hubungan rata-rata debit aliran produk (Q_p , kg/det) dengan rata-rata kecepatan slip (V_{slip} , m/det) pada Beras



Gambar 3: Grafik hubungan rata-rata debit aliran produk (Q_p , kg/det) dengan rata-rata kecepatan slip (V_{slip} , m/det) pada Bekatul



Gambar 3: Grafik hubungan rata-rata debit aliran produk (Q_p , kg/det) dengan rata-rata kecepatan slip (V_{slip} , m/det) pada Sekam



Gambar 4 : Grafik hubungan rata-rata debit aliran produk (kg/det) dengan rata-rata Drag Coefficient Total Beras

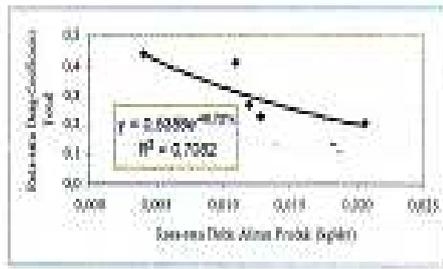
Dari gambar di atas memperlihatkan bahwa hubungan antara rata-rata debit aliran produk (Q_p , kg/det) dengan rata-rata kecepatan slip (V_{slip} , m/det) baik beras, bekatul maupun sekam berbentuk linear. Dari interpretasi Gambar 1 di atas memperlihatkan bahwa pada kondisi rata-rata debit aliran beras sama dengan nol kg/det maka rata-rata kecepatan slip sama dengan 3,1379 m/det. Nilai ini mendekati besarnya kecepatan terminal beras dimana gaya gravitasi sama dengan nilai gaya drag resistansi. Lebih jauh dalam aplikasi, Noomhorn (1998) menyatakan kecepatan udara 3 m/det dipergunakan untuk memisahkan

beras terhadap bahan-bahan lain yang tidak diinginkan. Untuk bekatul rata-rata debit aliran beras sama dengan nol kg/det maka rata-rata kecepatan slip sama dengan $-0,7582$ m/det dimana nilai tersebut mendekati nilai kecepatan terminal bekatul yakni $0,1$ m/det (Margana *et al*, 1998). Sedang untuk sekam, rata-rata debit aliran beras sama dengan nol kg/det maka rata-rata kecepatan slip sama dengan $0,168$ m/det nilai tersebut jauh di bawah kecepatan terminal sekam hal ini diduga bahwa pada kecepatan slip sekam yang disebabkan kondisi fisik dan geometrik produk (luas proyeksi dan titik berat sekam) bukan hanya ada pengaruh nyata oleh gaya drag resistan namun dipengaruhi pula oleh gaya lift dengan arah transversal.

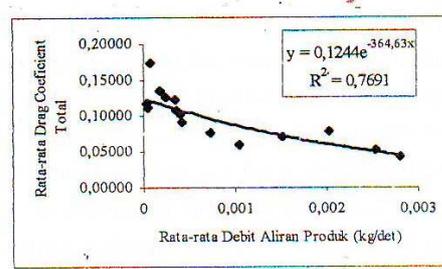
Gaya drag dapat menjadikan butiran dengan kecepatan tertentu akan bergerak ke atas. Koefisien pembanding nilai kuantitas gaya drag ini disebut dengan koefisien gaya drag. Sedang koefisien gaya drag menurut Jindal (1998) dipengaruhi oleh ukuran, bentuk dan massa jenis padatan, viskositas udara dan Bilangan Reynold. Dalam penelitian ini dikaitkan dengan bilangan Reynold berdasarkan kecepatan slip yang diaplikasikan pada sifat aerodinamika beras, bekatul dan sekam dimana menurut Heldman (1980) Bilangan Reynold ini merupakan bilangan yang tidak berdimensi dan dipergunakan untuk mengevaluasi aliran fluida apakah berbentuk laminer, transisi atau turbulen (lihat persamaan 5). Dalam penelitian ini kesemua perlakuan aliran udara yang diperoleh mempunyai sifat aliran turbulen yakni untuk beras 44030 s/d 73107; untuk bekatul 5935 s/d 31569 serta untuk sekam 9969 s/d 73107.

Dengan asumsi seperti disampaikan oleh Mohsenin (1980) pada aplikasinya bahwa pergerakan produk bersifat bebas dengan arah yang random. Dengan alasan ini gaya resistansi neto dapat dinyatakan dengan drag coefficient total. Drag coefficient total merupakan penjumlahan total antara drag coefficient friksi (C_f) dan drag coefficient tekanan (C_D). Dengan berdasarkan sifat aliran udara (laminer, transisi atau turbulen) dapat diperoleh nilai drag coefficient friksi (C_f) dan drag coefficient tekanan (C_D) secara teoritis. Dengan menggunakan diketahui bahwa nilai drag coefficient friksi (C_f) untuk setiap jenis produk (beras, bekatul dan sekam) mempunyai nilai yang lebih besar dibanding dengan nilai drag coefficient tekanan (C_D).

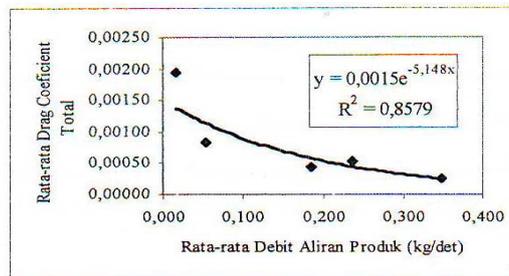
Nilai drag coefficient total merupakan fungsi dari kecepatan terminal. Sedang hasil perhitungan nilai drag coefficient total butiran terdispersi merupakan fungsi dari debit aliran produk (kg/det). Secara grafik dapat dilihat pada Gambar di bawah:



Gambar 5: Grafik Hubungan Rata-Rata Aliran Produk (kg/det) terhadap terhadap rata-rata Drag Coefficient Total Beras



Gambar 6: Grafik Hubungan Rata-Rata Debit Aliran Produk (kg/det) Debit Aliran Produk (kg/det) rata-rata Drag Coefficient Total Bekatul



Gambar 7: Grafik Hubungan Rata-Rata Debit Aliran Produk (kg/det) terhadap rata-rata Drag Coefficient Total Sekam

Berdasarkan persamaan 17 konstanta A dan B untuk beras, bekatul dan sekam berturut-turut 0,5358 dan 48,721; 0,1244 dan 364,63; 0,0015 dan 5,148. Dengan semakin besar konstanta A menunjukkan bahwa peningkatan yang lebih tajam terhadap besarnya rata-rata drag coefficient. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar debit massa aliran beras akan mempengaruhi besarnya rata-rata drag coefficient yang lebih besar dibandingkan dengan bekatul maupun sekam. Sedang index B menunjukkan kenaikan dan penurunan besarnya rata-rata drag coefficient terhadap rata-rata debit aliran massa secara eksponensial. Kenaikan dan penurunan paling tinggi terdapat pada bekatul kemudian disusul beras dan sekam.

4. Penurunan tekanan udara karena dinamika partikel dengan analisis similitude

Salah satu metode penyelesaian di bidang keteknikan adalah menggunakan analisis similitude. Untuk penurunan tekanan udara karena dinamika sangat diperlukan untuk memperoleh suatu persamaan yang representatif dari fenomena fisik yang cukup

kompleks untuk memprediksi penurunan tekanan udara pada sistem pneumatik beras, bekatul dan sekam yang merupakan aplikasi aerodinamika. Melalui analisis similitude diperoleh pengembangan sesuai dengan cara penyelesaian seperti pada Kamaruddin, dkk (1990) sebagai berikut:

$$\frac{P_s}{\rho_s \cdot V_a^2} = K \cdot \left(\frac{R}{D}\right) \left(\frac{M}{\rho_f \cdot V_a \cdot D^2}\right) \left(\frac{D}{d_p}\right) \left(\frac{\rho_p}{\rho_f}\right) \left(\frac{\rho_f \cdot V_a \cdot D}{\eta}\right)$$

Karena dalam penelitian ini kesulitan dalam menentukan radius kolom kecepatan udara maka faktor $\left(\frac{R}{D}\right)$ diabaikan.. Dengan menggunakan analisis *multiple regression* dengan tingkat kepercayaan 95% memperoleh persamaan untuk produk beras:

$$\frac{P_s}{\rho_s \cdot V_a^2} = 0,000583681 \cdot \left(\frac{M}{\rho_f \cdot V_a \cdot D^2}\right) \left(\frac{D}{d_p}\right) \left(\frac{\rho_p}{\rho_f}\right) \left(\frac{\rho_f \cdot V_a \cdot D}{\eta}\right)$$

dengan $R^2 = 0,7631$ dan $M.A.E = 0,149995$.

Sedang untuk produk bekatul

$$\frac{P_s}{\rho_s \cdot V_a^2} = 144,414 \cdot \left(\frac{M}{\rho_f \cdot V_a \cdot D^2}\right) \left(\frac{D}{d_p}\right) \left(\frac{\rho_p}{\rho_f}\right) \left(\frac{\rho_f \cdot V_a \cdot D}{\eta}\right)$$

dengan $R^2 = 0,8777$ dan $M.A.E = 0,054218$

Namun pada analisis regresi untuk penyelesaian analisis similitude pada sekam diperoleh tidak berbeda nyata hubungan antara variabel bebas dengan tidak bebas pada tingkat kepercayaan 90% atau lebih. Hal ini diduga bahwa variabel-variabel bebas khususnya untuk sekam sangat bervariasi yang disebabkan adanya kontrol diameter sekam yang dikaitkan dengan sifat aerodinamika (luas proyeksi, adanya pengaruh gaya lift yang cukup besar) berpengaruh pada besarnya gaya drag resistan sehingga tidak diperoleh korelasi yang baik antar variabel-variabel bebas dengan variabel tidak bebas.

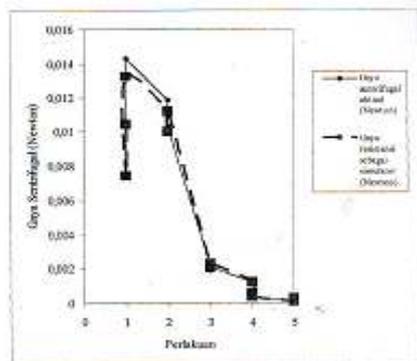
5. Pemodelan Matematik pada Sistem Siklon

Kesebandingan gaya sentrifugal dan gaya drag (gaya radial) pada kondisi mantap (*steady state*)

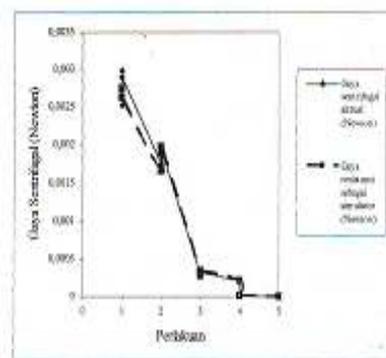
Pemisahan beras, bekatul dan sekam berdasarkan prinsip pemisahan pneumatik berdasarkan perbedaan sifat aerodinamika dari komponen-komponennya yakni beras, bekatul dan sekam. Dalam penelitian ini dilakukan pendekatan analisis kondisi mantap (*steady state*) yakni kesebandingan antara gaya sentrifugal dengan gaya drag pada sistem

siklon. Adapun hasil analisis kesebandingan gaya sentrifugal dan gaya drag dengan pemasukan bahan dari arah sentrifugal, dan kecepatan radial yang merupakan gaya drag pada sistem siklon ditentukan berdasarkan besarnya kecepatan radial diperlakukan sama dengan atau lebih besar dari kecepatan terminal produk yang akan dipisahkan pada sistem siklon (beras-bekatul, beras-sekam dan sekam-bekatul) hal ini sesuai dengan Mohsenin (1980) dan Noomhorn (1998). Dalam penelitian ini pemodelan matematik ini bertujuan untuk mempelajari lebih mendalam mekanisme pemisahan beras, bekatul dan sekam pada pemisahan sistem siklon. Selain itu juga untuk memvalidasi pemodelan matematik yang dibuat sekaligus untuk memvalidasi parameter-parameter aerodinamika yang diukur dalam penelitian ini.

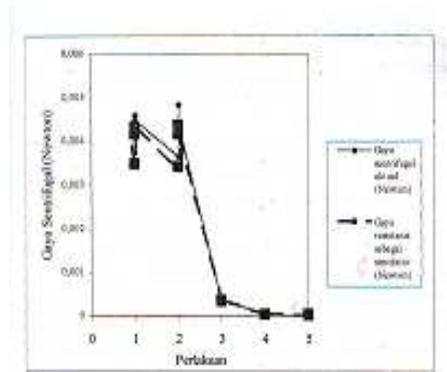
Dengan menyelesaikan gaya sentrifugal sebagai pengukuran aktual serta gaya radial sebagai fungsi drag coefficient total, luas proyeksi produk, massa jenis udara serta kecepatan radial sebagai pensimulasi maka dapat dilakukan validasi model matematik yang dibuat. Secara grafis hasil pengukuran aktual dan simulasi dapat dilihat pada gambar di bawah:



Gambar 8: Grafik pengukuran aktual dan simulasi pada pemisahan beras dan bekatul pada sistem siklon



Gambar 9: Grafik pengukuran aktual dan simulasi pada pemisahan beras sekam pada sistem siklon



Gambar 10: Grafik pengukuran aktual dan simulasi pada pemisahan sekam dan bekatul pada sistem siklon

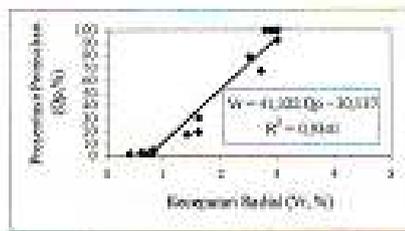
Dengan melakukan pemodelan matematik berdasarkan kesebandingan gaya tangensial dan gaya drag (gaya radial) berdasarkan kondisi mantap (*steady state*) pada sistem siklon senyatanya diperoleh bahwa model matematik adalah sakhiih (valid), hal ini dapat dilihat bahwa kesalahan relatif yang diperoleh pada percobaan beras-bekatul, beras-sekam dan sekam-bekatul dibawah 10% yakni berturut-turut sebesar 5,3%, 4,4% dan 6,7%.

Pemodelan matematik debit aliran udara masuk ke siklon

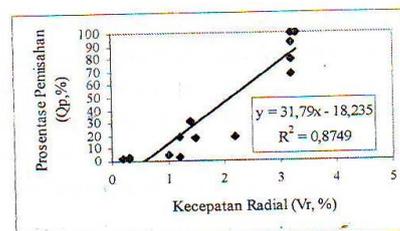
Pemodelan matematik debit aliran udara yang dialirkan untuk memisahkan dua butiran dengan massa jenis produk dan produk yang dipisahkan dengan jari-jari bagian dalam dan jari bagian luar siklon dilakukan validasi antara pengukuran langsung debit aliran masuk ke siklon sebagai data aktual dengan data hasil perhitungan. Hasil perhitungan dan analisis diketahui bahwa model matematik debit aliran udara yang dialirkan untuk memisahkan dua butiran sakhiih (valid) pada kecepatan radial mendekati kecepatan terminal pada pemisahan beras-bekatul, beras-sekam dan sekam-bekatul dengan kesalahan relatif dibawah 10%. Semakin tinggi dari kecepatan terminal model matematik tersebut tidak sakhiih (valid) hal ini diduga bahwa pada kecepatan jauh di atas kecepatan terminal terjadi turbulensi yang tinggi sehingga kontrol terhadap gaya drag (kecepatan radial) juga dioptimalisasi dari jari-jari dan panjang bagian dalam siklon (pengarah aliran radial) sedang dalam simulasi ini hanya dilakukan pada satu macam jari-jari siklon bagian tengah. Kontrol gaya drag tidak memfokus sehingga korelasi antara kecepatan aliran masuk dengan aliran kecepatan radial menjadi kurang erat, khususnya pada kecepatan radial jauh dari kecepatan terminal.

6. Hasil Pemisahan Produk pada Sistem Siklon

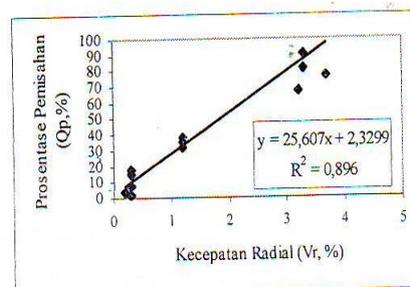
Secara teoritis pemisahan produk pada sistem siklon terjadi apabila kecepatan radial (V_r , m/det) > kecepatan terminal bahan yang akan dipisah (V_t , m/det). Hal ini didukung oleh Heldman (1980) dan Jindal (1998). Dengan argumen itu berarti pula bahwa kecepatan sentrifugal juga akan menjadi lebih besar dari kecepatan terminal. Pernyataan teoritis tersebut terbukti sesuai hasil penelitian yang diperoleh. Namun dikaitkan dengan mutu hasil pemisahan yang dinyatakan dalam prosentase khususnya untuk pengumpanan bahan melalui arah sentrifugal membentuk pola tertentu dengan kecepatan radial di atas kecepatan terminal terhadap peningkatan prosentase hasil pemisahan. Secara grafis diperoleh sebagai berikut:



Gambar 11: Hubungan antara Prosentase hasil pemisahan beras-bekatul terhadap kecepatan radial pada sistem siklon



Gambar 12: Hubungan antara Prosentase hasil pemisahan beras-sekam terhadap kecepatan radial pada sistem siklon



Gambar 13: Hubungan antara Prosentase hasil pemisahan sekam-bekatul terhadap kecepatan radial pada sistem siklon

Persamaan tersebut di atas berlaku pada kecepatan radial lebih besar dari kecepatan terminal pada bahan yang dipisahkan. Dan prosentase hasil pemisahan dengan kisaran 0% s/d 100%.

D. KESIMPULAN

Terbatas pada penelitian ini dapat diperoleh hasil-hasil sebagai berikut:

1. Telah diperoleh data sifat fisik dan geometri beras, bekatul dan sekam yang dapat dipergunakan untuk analisis karakteristik siklon
2. Telah diperolehnya data sifat aerodinamika yaitu kecepatan terminal, kecepatan slip, Bilangan Reynold, Drag Coefficient Total baik pengukuran aktual maupun teoritis pada beras, bekatul dan sekam.
3. Pemodelan matematik yang berdasarkan kesebandingan gaya sentrifugal dan gaya drag (gaya radial) pada kondisi mantap (*steady state*) untuk pemisahan beras-bekatul, beras-sekam dn sekam-bekatul pada sistem siklon telah valid dengan diperolehnya kesalahan relatif nyata data aktual dan simulasi di bawah 10%.
4. Pemodelan matematik berdasarkan simulasi debit aliran udara masuk ke siklon untuk pemisahan beras-bekatul, beras-sekam dan sekam-bekatul pada kecepatan radial jauh dari kecepatan terminal belum shahih (*valid*). Namun untuk perlakuan kecepatan radial mendekati kecepatan terminal dengan diperolehnya kesalahan relatif antara data aktual dan simulasi di bawah 10% diperoleh shahih (*valid*).
5. Dikaitkan dengan mutu hasil pemisahan untuk pengumpanan bahan melalui arah sentrifugal membentuk pola linear dengan kecepatan radial di atas kecepatan terminal terhadap peningkatan prosentase hasil pemisahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakshi, A.S. and R.P. Singh, 1979. *Surface Area Measurements of Rough Rice*. Am. Soc. Agric. Eng. Paper No (79) 3549, ASAE, Michigan.
- Cornish and Charity, 1966. *Pressure Drop in Elbows of a Pneumatic Conveying System*, Trans. Am. Soc. Agric. Eng. Vol. 9 (1): 29-31.
- Heldman, 1980. *Food Process Engineering*. AVI Publising, Westport, Connecticut.
- Igathinathane^a, C. and Chattopadhyay, P.K. (1999). *Moisture Diffusion Modeling of Drying in Parboiled Paddy Components*. Part I: Starchy Endosperm, Journal of Food Engineering. Vol. (40): 43-51.
- Igathinathane^b, C. and Chattopadhyay, P.K. (1999). *Moisture Diffusion Modeling of Drying in Parboiled Paddy Components*. Part II: Bran and Husk, Journal of Food Engineering. Vol. (41): 89-101.
- Jindal, V. K., 1998. *Food Process Engineering I*, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Kamaruddin A., Dhalhar M.A., Fujii, K. (1990), Matematika Terapan, JICA-DGHE/IPB Project/ADAET: JTA-9A (132), Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Bogor Agricultural University (Institut Pertanian Bogor).
- Morita, T and R.P. Singh, 1979. *Physical Properties and Thermal Properties of Short-grain Rough Rice*, Trans. Am. Soc. Agric. Eng. Vol. (22): 630-636.
- Margana^a, C.C.E., 2000. *Study on Physical Properties and Drying Characteristic of Rough Rice*, Journal Agroteksos (terakreditasi), Fakultas Pertanian, Universitas Mataram, Lombok.
- Margana^b, C.C.E., Limpisut, P, Sangkram, U. and Lien, D.T.P., 1998. *Aerodynamic Properties of Selected Cereals*, Experimental Report, Agricultural and Food Engineering Program, Asian Institute of Technology.
- Mohsenin, 1980. *Thermal Properties of Foods and Agriculture Materials*, Gordon and Beach Science Publishers, New York.
- Noomhorn, A., 1998. *Post Harvest Technology of Cereals*, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Steffe, J.F. 1979. in Noohorm (1998). *Moisture Diffusion and Temperature in The Drying of Rough Rice*, Post Harvest Technology of Cereals, AIT, Bangkok.
- Steffe, J.F. 1979. and R.P. Singh, 1980. *Parameters Required in The Analysis of Rough Rice Drying* in Mujumdar, Drying '80. International Symposium of Drying Technology, Canada.