

## ABSTRAK

Disertasi ini bertujuan untuk mengembangkan model matematik *rotary dryer* untuk mengeringkan pupuk ammonium sulfat dengan anggapan aliran padat *plug flow* (model PF) dan *plug flow back-mixing* (PFBM) untuk ukuran partikel seragam dan tidak seragam. Penelitian ini dilaksanakan dengan beberapa tahap yaitu: pengembangan model matematik proses pengeringan partikel padat, penentuan karakteristik pengeringan pupuk amonium sulfat, penentuan laju pengeringan pupuk ZA dalam rotary dryer, dan pengembangan model matematik proses pengeringan pupuk ZA dalam rotary dryer.

Pertama dikembangkan model matematik proses pengeringan partikel padat, menggunakan teori difusi isothermal, dengan berbagai bentuk yaitu bentuk bola dan silinder dengan  $H/D = 1/4$  dan 4. Model matematik ini diselesaikan secara analitik, dengan metode pemisahan variabel, dan secara pendekatan polinomial. Model matematik ini digunakan untuk mengkaji pengaruh bentuk partikel terhadap laju pengeringan. Bentuk partikel telah digambarkan dengan menggunakan *sphericity* Wadell,  $\phi_s$ . Penelitian ini mengusulkan suatu faktor bentuk baru yaitu yang berbasis difusi,  $\Psi$  yang didefinisikan sebagai rasio antara jari-jari partikel ekuivalen dan panjang difusi rata-rata. Panjang difusi rata-rata adalah jarak antara pusat partikel dan permukaan luarnya. Penyelesaian model matematik ini dinyatakan sebagai hubungan tak berdimensi antara kandungan air rata-rata terhadap waktu pengeringan dan laju pengeringan terhadap kandungan air rata-rata. Hasil penyelesaian dengan metode pendekatan mendekati penyelesaian analitik untuk bilangan Biot antara 0,1 sampai 5. Ternyata seperti yang diharapkan partikel dengan *sphericity* Wadell terendah,  $\phi_s = 0.694$  atau *sphericity* berbasis difusi tertinggi  $\Psi = 2.8845$ , (partikel silinder dengan  $H/D = 0.25$ ), menunjukkan laju pengeringan yang tertinggi. Laju pengeringan tak-berdimensi partikel ini mendekati 400% lebih cepat dari pada partikel bola. Perlu dicatat bahwa permukaan spesifik partikel ini adalah 144% lebih besar dari pada partikel bola dan panjang difusi *moisture* adalah 290% lebih pendek. Jadi, untuk menentukan laju pengeringan partikel padat, faktor bentuk berbasis difusi lebih sesuai untuk menyatakan bentuk partikel dari pada faktor bentuk Wadell.

Kajian karakteristik pengeringan pupuk ammonium sulfat secara eksperimen dilakukan pada suatu tray dryer untuk mencari data karakteristik laju pengeringan ammonium sulfat. Data ini digunakan untuk menentukan koefisien diffusi efektif moisture didalam partikel pupuk ammonium sulfat pada berbagai suhu dengan cara fitting model difusi isothermal dan diperoleh  $D_{\text{eff}} = 9.7 \times 10^{-18} T^{2.702}$ . Pada pengembangan model difusi isothermal ini digunakan kondisi batas Newman yang dimodifikasi dengan faktor partisi

$\beta = e^{-\left(\frac{M_0 - M(t)}{M_0}\right)}$  untuk memperhitungkan tahanan permukaan. Dengan anggapan koefisien difusi efektif moisture didalam partikel ammonium sulfat pada rotary dryer sama dengan yang diperoleh pada tray dryer, dan dengan anggapan partikel bentuk bola maka diprediksi laju pengeringan partikel ZA dalam rotary dryer, menggunakan model difusi isothermal, untuk berbagai kondisi udara pengering dan diperoleh korelasi berikut:  
 $R_w = 1.67184 \times 10^{-12} v^{0.75719} H^{-0.01773} T^{4.87650} D_p^{-1.27485} \bar{X}$

Berikutnya, disertasi ini mengembangkan model matematik proses pengeringan ammonium sulfat didalam rotary dryer dengan menggunakan karakteristik laju pengeringan yang telah diperoleh sebelumnya. Pada pengembangan model matematik ini diasumsikan kondisi steady state, aliran gas plugflow, sedang aliran partikel padat *plug*

*flow* (model PF) dan *plug flow back-mixing* (PFBM). Pada pemodelan ini, koefisien transfer panas *overall*, *hold up* padatan didalam *rotary dryer*, dan bilangan dispersi axial diperoleh dari korelasi-korelasi empiris di literature. Model matematik yang dikembangkan ini menghasilkan sistim persamaan-persamaan diferensial dengan variable dependen kandungan moisture dalam padatan, humidity udara, suhu udara, dan suhu padatan. Model matematik ini diselesaikan secara numerik dengan menggunakan metode Beda hingga yang menghasilkan sistim persamaan aljabar non linear yang diselesaikan dengan metoda Newton Raphson menggunakan fasilitas Matlab 6.1. Hasil penyelesaian model matematik ini berupa distribusi axial *moisture content* padatan, kelembaban udara, suhu udara dan suhu padatan didalam *rotary dryer*. Hasil prediksi teoritis ini divalidasi dengan data operasi *rotary dryer* di PT. Petrokimia Gresik dengan spesifikasi: diameter = 2,418 m, panjang = 12,2 m, kecepatan putar 3,5 rpm, dan slope  $4,5^{\circ}$ . Ternyata model PFBM memberikan prediksi dengan penyimpangan yang lebih kecil terhadap data pengamatan di lapangan dibandingkan model PF. Besarnya penyimpangan hasil prediksi kandungan air dalam solid keluar dryer menggunakan model PFBM terhadap data pilot lebih kecil dari 5%. Pengaruh berbagai variabel proses yaitu laju alir udara, temperatur udara masuk dan laju alir padatan umpan terhadap kinerja *rotary dryer* telah analisa menggunakan model yang telah dikembangkan dalam penelitian ini.

Disertasi ini juga mengembangkan model matematik rotary dryer untuk mengeringkan pupuk ammonium sulfat dengan ukuran partikel yang tidak seragam dengan mengkombinasikan model proses pengeringan partikel padat dalam rotary dryer dengan model distribusi ukuran partikel. Model distribusi ukuran partikel yang digunakan adalah model Rosin-Rammler dan model distribusi Gamma. Untuk penyederhanaan, model proses pengeringan partikel padat dalam rotary dryer dikembangkan dengan anggapan kondisi udara (suhu dan kelembaban) yang seragam sepanjang *rotary dryer* seperti pada kondisi masuk. Persamaan diferensial yang dihasilkan diselesaikan secara analitik. Telah dikaji pengaruh distribusi ukuran partikel terhadap kinerja *rotary dryer*, yang dinyatakan dengan profil kandungan air dalam solid disepanjang dryer. Dengan menggunakan model distribusi fungsi Gamma diperoleh bahwa untuk koefisien variansi, CV, lebih kecil dari 0.5 distribusi ukuran partikel tidak banyak berpengaruh terhadap kinerja dryer. Untuk CV lebih besar dari 0.5, kenaikan CV meningkatkan kinerja *dryer* atau menurunkan kadar air dalam padatan yang keluar dari *dryer*. Model Rosin Rammler memberikan prediksi kandungan air dalam padatan keluar dryer yang lebih kecil dari pada penggunaan model distribusi fungsi Gamma.

**Kata Kunci** : *Rotary dryer*, ammonium sulfat, proses pengeringan, distribusi ukuran partikel, Rosin-Rammler, Gamma function, koefisien varian