

STUDI KINERJA TERMAL *ROTARY DRYER* PADA PROSES GRANULASI INSEKTISIDA DI INDUSTRI PESTISIDA DENGAN PENDEKATAN SIMULASI ASPEN PLUS

Setyo Rian Pambudi¹, Heny Dewajani¹, Ahmad Syofiyuddin Akmal²

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

²PT X Gresik Jl. Kig Raya Utara No.5 Kav. O, Sekarsore, Roomo, Manyar, Gresik 61151, Indonesia

setyoryan05@gmail.com ; [heny.dewajani@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Rotary dryer merupakan alat penting dalam proses granulasi insektisida di industri pestisida, terutama untuk menurunkan kadar air produk agar sesuai standar mutu. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja termal *rotary dryer* pada unit produksi insektisida dengan kapasitas 1,5 ton/jam melalui pendekatan neraca massa, neraca energi, dan simulasi Aspen Plus. Metode penelitian yang digunakan adalah observasi langsung di lapangan (data aktual) dengan mengamati kinerja alat saat beroperasi dalam periode tertentu. Tahapan penelitian meliputi pengambilan data, perhitungan neraca panas, serta evaluasi efisiensi alat sedangkan untuk simulasi pada Aspen Plus memasukkan data lapangan, melakukan simulasi dengan memilih pallet *rotary dryer* pada Aspen Plus kemudian melihat hasil simulasi dan melakukan evaluasi efisiensi *rotary dryer*. Variabel bebas dalam penelitian ini meliputi suhu dan flowrate bahan, sedangkan untuk variabel terikatnya adalah neraca massa dan neraca panas pada alat *rotary dryer*. Efisiensi ditentukan dari perbandingan antara panas masuk dan panas keluar *rotary dryer*, hasilnya digunakan untuk menilai apakah *rotary dryer* telah beroperasi secara optimal. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan efisiensi pengeringan dan efisiensi panas menggunakan data aktual dan hasil simulasi. Dari hasil perhitungan manual, efisiensi pengeringan diperoleh sebesar 82,32% dan efisiensi panas sebesar 94,23%. Sedangkan hasil simulasi menunjukkan efisiensi pengeringan sebesar 85,68%.

Kata kunci: Aspen Plus, Efisiensi, Neraca energi; Neraca massa, Rotary dryer.

ABSTRACT

Rotary dryer is an important tool in the insecticide granulation process in the pesticide industry, especially to reduce the water content of the product to meet quality standards. This study aims to evaluate the thermal performance of a rotary dryer in an insecticide production unit with a capacity of 1.5 tons/hour through a mass balance approach, energy balance, and Aspen Plus simulation. The research method used is direct observation in the field (actual data) by observing the performance of the tool when operating in a certain period. The research stages include data collection, heat balance calculations, and evaluation of tool efficiency, while for simulations on Aspen Plus entering field data, conducting simulations by selecting a rotary dryer pallet on Aspen Plus then viewing the simulation results and evaluating the efficiency of the rotary dryer. The independent variables in this study include temperature and material flow rate, while the dependent variables are the mass balance and heat balance on the rotary dryer. Efficiency is determined from the comparison between the heat input and heat output of the rotary dryer, the results are used to assess whether the rotary dryer has operated optimally. The evaluation was carried out by comparing drying efficiency and heat efficiency using actual data and simulation results. From the results of manual calculations, the drying efficiency was obtained at 82.32% and the heat efficiency was 94.23%. Meanwhile, the simulation results show a drying efficiency of 85.68%.

Keywords: Aspen Plus, Efficiency, Energy balance, Mass balance, Rotary dryer.

Corresponding author: Heny Dewajani

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: heny.dewajani@polinema.ac.id



1. PENDAHULUAN

Industri pestisida memiliki peranan penting dalam sektor pertanian untuk mengendalikan hama dan meningkatkan produktivitas tanaman. Dalam proses produksinya, salah satu tahapan penting adalah granulasi, di mana bentuk akhir insektisida dikondisikan menjadi butiran padat agar mudah ditangani, dikemas, dan diaplikasikan. Proses ini melibatkan tahap pengeringan yang umumnya dilakukan menggunakan *rotary dryer*, yakni alat pengering berbentuk silinder berputar yang memanfaatkan perpindahan panas antara aliran gas panas dan material padat secara langsung. Efisiensi termal dari *rotary dryer* sangat menentukan kualitas produk akhir, stabilitas proses, serta konsumsi energi dalam skala industri. Penggunaan energi panas yang tidak efisien dapat menyebabkan pemborosan sumber daya dan peningkatan emisi gas buang, yang bertentangan dengan prinsip keberlanjutan dan efisiensi proses industri modern [1]. Penelitian A'yuni et al. (2024) menunjukkan bahwa kondisi operasi yang tidak optimal pada *rotary dryer* menyebabkan konsumsi energi spesifik dan emisi karbon yang lebih tinggi, sehingga bertentangan dengan prinsip keberlanjutan dan efisiensi proses industri modern [2].

Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk mengevaluasi kinerja termal *rotary dryer* guna mengidentifikasi potensi optimasi dan penghematan energi. Untuk menentukan efektivitas proses dalam sebuah alat, diperlukan analisis menyeluruh yang mencakup evaluasi kinerja, penilaian efisiensi, pemantauan parameter teknis, serta perbandingan dengan standar operasional yang ditetapkan [3]. Evaluasi kinerja sistem termal dapat dilakukan menggunakan simulasi proses. Penelitian Mulyaningsih et al. (2024) menunjukkan bahwa simulasi numerik efektif dalam menganalisis distribusi panas pada *rotary dryer*. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan simulasi proses dengan menggunakan Aspen Plus untuk mengevaluasi sistem kerja termal *rotary dryer* berdasarkan data operasi aktual [4]. Aspen Plus merupakan perangkat lunak simulasi berbasis model matematika yang dapat digunakan untuk menganalisis berbagai parameter operasi dalam suatu proses kimia [5].

Melalui simulasi pemodelan proses pengeringan diharapkan mampu memberikan gambaran tentang aliran energi, distribusi suhu, efisiensi panas, serta performa unit operasi secara menyeluruh tanpa mengganggu proses aktual di lapangan [6],[7]. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi kinerja termal *rotary dryer* pada proses granulasi insektisida di industri pestisida dengan pendekatan simulasi Aspen Plus. Fokus kajian meliputi analisis efisiensi panas, distribusi temperatur, serta identifikasi titik-titik potensial untuk perbaikan energi. Hasil dari studi ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi pengambilan keputusan teknis dalam upaya peningkatan efisiensi energi dan kinerja proses pengeringan di industri pestisida.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pengambilan data dilakukan dengan metode observasi langsung atau disebut dengan data aktual. Data aktual adalah data yang diperoleh langsung dari lapangan saat alat beroperasi selama periode tertentu, termasuk parameter suhu, laju alir bahan, kadar air, serta kelembapan udara [2]. Kemudian data digunakan untuk perhitungan neraca massa dan panas sehingga data bisa dievaluasi terhadap kapasitas produksi yang diinginkan. Perbandingan antara neraca panas keluar dan neraca panas masuk menggambarkan efisiensi alat, sehingga alat dapat dikategorikan optimal apabila efisiensi yang diinginkan tercapai.

2.1. Data Operasi *Rotary dryer*

Untuk mendukung analisis efisiensi panas *rotary dryer*, data operasi aktual digunakan sebagai dasar perhitungan. Parameter-parameter utama yang diamati meliputi suhu, kadar air, kapasitas panas jenis (C_p), kelembapan udara, dan debit udara panas. Rincian data aktual tersebut disajikan pada Tabel 1.

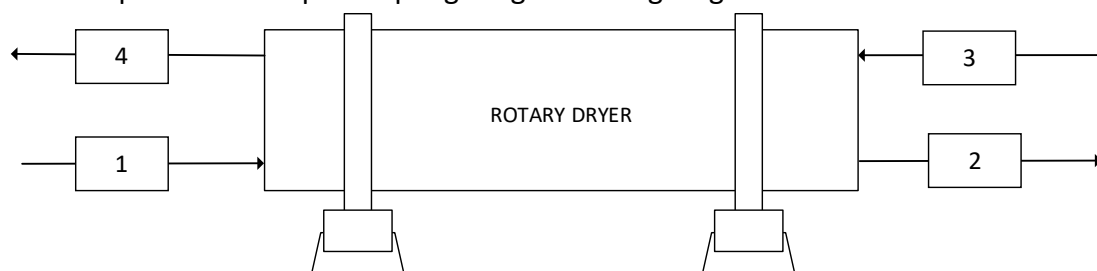
Tabel 1. Data aktual dari *rotary dryer*

Parameter operasi pada <i>rotary dryer</i>					
Tanggal 10 Februari 2024	Temperatur (°C)	Kadar air (%)	C_p kJ/kg°C	Humidity (%)	Debit udara (m ³ /h)
Produk A masuk	30	2,5	-	-	-
Produk A keluar	40	0,44	1,381	-	-
Udara panas masuk	80	-	-	25	630
Udara panas keluar	45	-	-	-	-

Sumber: Plant Unit Pestisida

2.2. Metode Perhitungan

Metode perhitungan yang digunakan dalam evaluasi *rotary dryer* meliputi perhitungan neraca massa dan neraca panas. Neraca massa total ditentukan dengan membandingkan jumlah bahan yang masuk dan keluar dari alat. Skema aliran proses pada *rotary dryer* ditunjukkan pada Gambar 1, yang menggambarkan jalur masuk dan keluar material serta udara panas selama proses pengeringan berlangsung.



Gambar 1. Aliran proses *rotary dryer*

Dimana

- Aliran 1 = Bahan solid masuk *rotary dryer* (kg/jam)
 Aliran 2 = Bahan solid keluar *rotary dryer* (kg/jam)
 Aliran 3 = Udara panas masuk *rotary dryer* (kg/jam)
 Aliran 4 = Udara panas keluar *rotary dryer* (kg/jam)

Untuk menghitung kedua neraca tersebut, digunakan persamaan yang mengacu pada pendekatan yang dikemukakan oleh Geankoplis [8]. sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut:

1. Perhitungan neraca massa pada *rotary dryer*

Neraca massa pada *rotary dryer* terdiri dari

- a. Neraca massa yang dibawa oleh udara panas dari *burner*

$$Q_{\text{udara kering}} = \frac{m_{\text{udara}}}{\text{humidity} + 1} \quad (1)$$

Dimana

m. udara = massa udara (kg/jam)

humidity = kelembapan (kg dry vapor/kg dry water)

Dengan menganggap udara sebagai gas ideal maka densitas udara pada T 30°C dengan RH 0,025 maka

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (2)$$

Dimana

RH = Relative Humidity

V1 = volume gas ideal pada T = 25°C (22,4 L/mol)

T1 = suhu gas ideal pada T = 25°C (298 K)

V2 = volume gas pada T = 30°C

T2 = suhu gas pada T = 30°C

Dari persamaan diatas akan didapat V2 sebagai volume gas pada T=30°C Untuk perhitungan massa jenis udara diasumsikan sebagai gas ideal pada suhu Data tersebut dikalkulasikan dalam persamaan berikut untuk mendapat densitas udara

$$\rho = \frac{BM \text{ udara kering}}{V} \quad (3)$$

Dimana

ρ = densitas udara (kg / m³)

BM = 28,953 g/mol

Untuk mencari BM dapat digunakan rumus

$$BM \text{ udara kering} = \text{komposisi senyawa udara kering} + BM \quad (4)$$

Maka

$$m. \text{ udara} = \rho \text{ udara (kg/m}^3 \text{)} \times \text{laju udara masuk (m}^3\text{/jam)} \quad (5)$$

Langkah selanjutnya adalah mencari Q udara kering dengan Persamaan (1)

b. Neraca massa produk A masuk *rotary dryer*

$$Q \text{ produk A kering} = m \text{ produk A} - m. \theta \quad (6)$$

Dimana

m. θ = massa kadar air produk A (kg/jam)

Untuk mencari kadar air produk A (m. θ) dapat digunakan rumus

$$m. \theta = \theta \times m \text{ produk A} \quad (7)$$

Dimana

θ = kadar air produk A (%)

Langkah selanjutnya adalah mencari Q produk A kering dengan Persamaan (6)

c. Neraca massa produk A keluar *rotary dryer*

Untuk menentukan neraca massa produk A keluar dengan menggunakan persamaan 6 Selanjutnya untuk effisinesi panas *Rotary dryer* (RD) dapat dilakukan perhitungan menggunakan persamaan:

$$\text{Efisiensi pengeringan rotary dryer} = \frac{m. \theta \text{ masuk} - m. \theta \text{ keluar}}{m. \theta \text{ masuk}} \times 100 \% \quad (8)$$

2. Perhitungan neraca panas pada *rotary dryer*

Perhitungan panas total dilakukan menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh Geankoplis [8].

Neraca panas pada *rotary dryer* terdiri dari

- a. Neraca panas produk A masuk *rotary dryer* (Q_1)

$$Q_1 = H'_{\text{air masuk}} + H'_{\text{produk A masuk}} \quad (9)$$

Dimana

$H'_{\text{air masuk}}$ = panas pada air masuk *rotary dryer* (kJ/jam)

$H'_{\text{produk A masuk}}$ = panas pada produk A masuk *rotary dryer* (kJ/jam)

Untuk mencari panas air masuk (H'_{air}) dapat digunakan rumus

$$H'_{\text{air}} = m_{\text{air}} \times C_p_{\text{air}} \times \Delta T \quad (10)$$

Dimana

m_{air} = massa air masuk *rotary dryer* (kg)

C_p = kapasitas panas (kJ/kg.K)

ΔT = $T_{\text{out}} - T_{\text{in}}$ (K)

Untuk panas produk A masuk ($H'_{\text{produk A}}$) dapat digunakan rumus

$$H'_{\text{air}} = m_{\text{produk A}} \times C_p_{\text{produk A}} \times \Delta T \quad (11)$$

Dimana

$m_{\text{produk A masuk}}$ = massa produk A masuk (kg)

C_p = kapasitas panas (kJ/kg.K)

ΔT = $T_{\text{out}} - T_{\text{in}}$ (K)

Langkah selanjutnya menentukan Q_1 dengan menggunakan Persamaan (9)

- b. Neraca panas produk A keluar *rotary dryer* (Q_2)

$$Q_2 = H'_{\text{air keluar}} + H'_{\text{produk A keluar}} \quad (12)$$

Dimana

$H'_{\text{air keluar}}$ = panas pada air keluar *rotary dryer* (kJ/jam)

$H'_{\text{produk A keluar}}$ = panas pada produk A keluar *rotary dryer* (kJ/jam)

Untuk mencari panas air masuk (H'_{air}) dapat digunakan rumus

$$H'_{\text{air}} = m_{\text{air}} \times C_p_{\text{air}} \times \Delta T \quad (13)$$

Dimana

m_{air} = massa air masuk *rotary dryer* (kg)

C_p = kapasitas panas (kJ/kg.K)

ΔT = $T_{\text{out}} - T_{\text{in}}$ (K)

Untuk panas produk A masuk ($H'_{\text{produk A}}$) dapat digunakan rumus

$$H'_{\text{air}} = m_{\text{produk A}} \times C_p_{\text{produk A}} \times \Delta T \quad (14)$$

Dimana

$m_{\text{produk A}}$ = massa produk A keluar *rotary dryer* (kg)

C_p = kapasitas panas (kJ/kg.K)

ΔT = $T_{\text{out}} - T_{\text{in}}$ (K)

Langkah selanjutnya menentukan Q_2 dengan menggunakan Persamaan (12)

- c. Neraca panas udara masuk *rotary dryer* (Q_3)

$$Q_3 = H'_{\text{air}} + H'_{\text{udara}} \quad (15)$$

Dimana

H'_{air} = panas pada air masuk *rotary dryer* (kJ/jam)

H'_{udara} = panas pada udara masuk *rotary dryer* (kJ/jam)

Untuk mencari panas pada air masuk (H'_{air}) dapat digunakan Persamaan (10)

Untuk mencari panas udara masuk ($H'_{\text{udara masuk}}$) dapat digunakan persamaan

$$H'_{\text{air}} = m_{\text{udara masuk}} \times C_p_{\text{produk A}} \times \Delta T \quad (16)$$

Dimana

$m_{\text{udara masuk}}$ = massa udara masuk *rotary dryer* (kg/jam)

C_p = kapasitas panas (kJ/kg.K)

ΔT = $T_{\text{out}} - T_{\text{in}}$ (K)

Langkah selanjutnya menentukan Q_3 dengan menggunakan Persamaan (15)

d. Neraca panas udara keluar *rotary dryer* (Q_4)

$$Q_4 = H'_{\text{air}} + H'_{\text{udara}} \quad (17)$$

Dimana

H'_{air} = panas pada air keluar *rotary dryer* (kJ/jam)

H'_{udara} = panas pada udara keluar *rotary dryer* (kJ/jam)

Untuk mencari panas pada air masuk (H'_{air}) dapat digunakan Persamaan (10)

Untuk mencari panas udara masuk ($H'_{\text{udara masuk}}$) dapat digunakan persamaan

$$H'_{\text{air}} = m_{\text{udara masuk}} \times C_p_{\text{produk A}} \times \Delta T \quad (18)$$

Dimana

$m_{\text{udara keluar}}$ = massa udara keluar *rotary dryer* (kg/jam)

C_p = kapasitas panas (kJ/kg.K)

ΔT = $T_{\text{out}} - T_{\text{in}}$ (K)

Langkah selanjutnya menentukan Q_4 dengan menggunakan Persamaan (17)

e. Neraca panas penguapan (Q_5)

$$Q_5 = H''_{\text{air}} \times \lambda \quad (19)$$

Dimana

H''_{air} = H_2O yang teruapkan (kJ/jam)

λ = $T_{\text{out}} - T_{\text{in}}$ (°C)

Langkah selanjutnya menentukan Q_5 dengan menggunakan Persamaan (14)

f. Neraca panas yang hilang selama proses pengeringan didalam *rotary dryer* (Q_{loss})

$$Q_{\text{loss}} = Q_{\text{masuk}} - Q_{\text{keluar}} \quad (20)$$

Dimana

Q_{masuk} = panas produk A masuk + panas udara masuk (kJ/jam)

Q_{keluar} = Panas produk A keluar + panas udara keluar + panas penguapan (kJ/jam)

Selanjutnya untuk efisiensi panas *Rotary dryer* (RD) dapat dilakukan perhitungan menggunakan persamaan:

$$\text{Efisiensi Panas } \textit{rotary dryer} = \frac{Q_{\text{masuk}} - Q_{\text{loss}}}{Q_{\text{masuk}}} \times 100 \% \quad (21)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan neraca massa dan neraca panas disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3. Tabel 2 membahas mengenai hasil perhitungan neraca massa. Pada Tabel 3 membahas hasil perhitungan neraca panas. Berdasarkan kedua tabel tersebut terlihat bahwa hasil perhitungan dengan data aktual menunjukkan efisiensi alat *rotary dryer*.

Rotary dryer beroperasi secara berputar dan dilengkapi *flight lifter* yang berfungsi untuk mengangkat granul kasar dari material di dalam *rotary dryer*. Selama *rotary dryer* beroperasi *flight lifter* mendistribusi material padat secara merata guna meningkatkan luas permukaan kontak antara material dan udara panas, sehingga proses pengeringan

berlangsung lebih merata [9]. Dari hasil perhitungan efisiensi pengeringan dan panas *rotary dryer* yang dilakukan dengan menggunakan data aktual dengan kapasitas 1,5 ton/jam efisiensi alat dapat bekerja dengan efisiensi pengeringan 82,32% dengan total evaporasi atau air yang terupakan selama proses pengeringan pada alat *rotary dryer* berlangsung sebesar 30,73 kg/jam sedangkan efisiensi panas 94,23 %. Faktor - faktor yang mempengaruhi pada proses pengeringan antara lain suhu udara, kelembaban relatif dan laju aliran cairan atau udara yang masuk ke dalam *rotary dryer* [10]. Selama proses pengeringan pada *rotary dryer*, adanya padatan yang tersuspensi dalam cairan akan menimbulkan kerak pada *rotary dryer* atau disebut juga dengan fouling. Fouling yang terjadi pada alat penukar panas dapat mengurangi laju perpindahan panas karena koefisien transfer panas mengalami penurunan [11]. Hal tersebut dapat berdampak pada terhambatnya proses penguapan. Oleh karena itu, diperlukan pembersihan *rotary dryer* secara berkala untuk mencegah terjadinya fouling agar alat *rotary dryer* dapat beroperasi secara optimal.

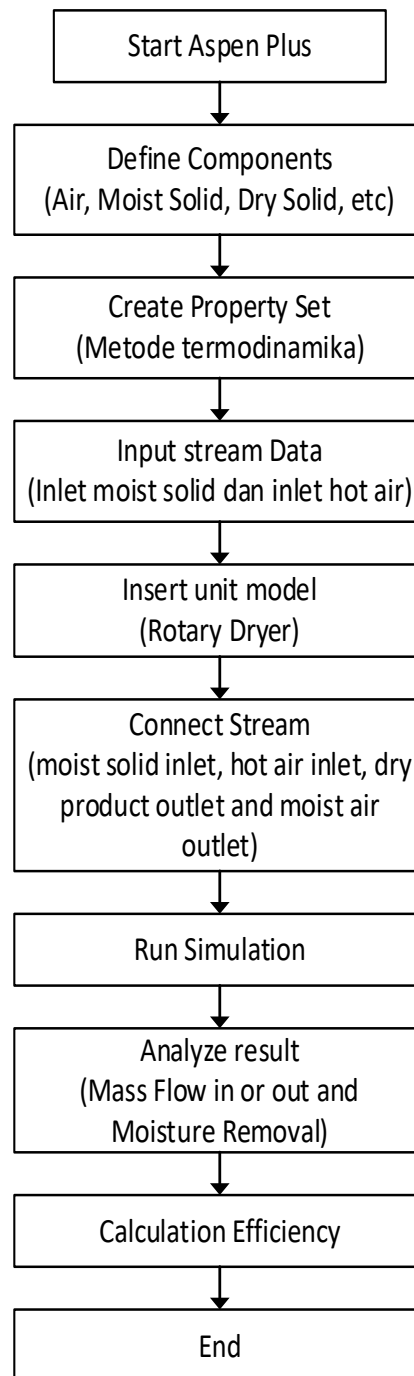
Tabel 2. Neraca massa *rotary dryer*

Masuk			Keluar		
Aliran	Komponen	massa (kg/jam)	Aliran	Komponen	massa (kg/jam)
1	Pasir vulkanik	1493,40	2	Pasir vulkanik	1493,40
	Bahan aktif	38,29		Bahan aktif	38,29
	H ₂ O pada produk A	37,34		H ₂ O pada produk A	6,60
3	Udara	717,25	4	Udara	717,25
	H ₂ O dalam Udara	17,19		H ₂ O dalam Udara	48,67
Total produk A masuk (kg/jam)		= 2304,23			
Total Produk A keluar (kg/jam)		= 2304,23			
Total evaporation (kg/jam)		= 30,73			
Efisiensi pengeringan (%)		= 82,32			

Tabel 3. Neraca panas *rotary dryer*

Masuk			Keluar		
Aliran	Komponen	massa (kJ/h)	Aliran	Komponen	massa (kJ/h)
Q1	Panas produk A	10487,74	Q2	Panas produk A	29535,45
Q2	Panas udara	43954,25	Q4	Panas udara	18547,41
-	-	-	Q5	Panas penguapan	3222,26
Total panas umpan (kJ/h)		= 55066			
Total panas keluar(kJ/h)		= 51305,12			
Total Q Loss (kJ/h)		= 3136,88			
Efisiensi panas (%)		= 94,23			

Simulasi Aspen Plus sebagai pembanding penting untuk memvalidasi hasil perhitungan manual dan data aktual, serta untuk mengidentifikasi potensi ketidaksesuaian dalam sistem. Dengan demikian, evaluasi kinerja *rotary dryer* dapat dilakukan secara lebih akurat dan menyeluruh [12]. Langkah-langkah simulasi Aspen Plus disajikan pada Gambar 2 yang memberikan petunjuk bagaimana langkah-langkah simulasi menggunakan Aspen Plus pada simulasi *rotary dryer*.



Gambar 2. Langkah-langkah simulasi Aspen Plus

Informasi mengenai aliran masuk ke dalam *rotary dryer* dapat dilihat pada Gambar 3 yang menyajikan data berupa suhu (temperatur), tekanan, massa total, serta fraksi massa dari masing-masing komponen yang masuk ke alat. Gambar 3 (a) menunjukkan aliran padatan (solid) yang memasuki *rotary dryer* merupakan bahan utama yang akan dikeringkan. Sementara itu, Gambar 3 (b) menunjukan aliran udara panas masuk ke dalam *rotary dryer* yang digunakan untuk proses pengeringan. Kedua aliran ini memiliki karakteristik fisik dan komposisi yang berbeda, yang ditampilkan gambar 3. Pada Gambar 3(a) aliran umpan memiliki karakteristik berupa fase padat (solid) dengan suhu 30 °C, laju alir massa sebesar 1.500 kg/jam serta komposisi MgCO_3 , CaCO_3 , dan H_2O . Sementara itu, pada Gambar 3(b) ditunjukkan aliran

dengan karakteristik yang berbeda, yaitu berupa fase vapor (udara panas) dengan suhu 85 °C, laju alir massa sebesar 717 kg/jam, dan komposisi berupa udara.

Specifications

Flash Type: Temperature Pressure

State variables

Temperature: 30 C

Pressure: 1 bar

Vapor fraction:

Total flow basis: Mass

Total flow rate: 1500 kg/hr

Solvent:

Reference Temperature

Volume flow reference temperature: C

Component concentration reference temperature: C

Composition

Mass-Frac

Component	Value
MGCO3	0,952
CACO3	0,024
WATER	0,024
AIR	0

Total: 1

(a)

Specifications

Flash Type: Temperature Pressure

State variables

Temperature: 85 C

Pressure: 1 bar

Vapor fraction:

Total flow basis: Mass

Total flow rate: 717 kg/hr

Solvent:

Reference Temperature

Volume flow reference temperature: C

Component concentration reference temperature: C

Composition

Mass-Frac

Component	Value
MGCO3	
CACO3	
WATER	0,002
AIR	0,998

Total: 1

(b)

Gambar 3. Nilai Solid masuk *rotary dryer* (a) dan udara panas masuk *rotary dryer* (b)

Hasil pendekatan dengan simulasi Aspen Plus disajikan pada Gambar 4, kinerja *rotary dryer* dapat dievaluasi melalui perubahan *temparature vapor* (udara panas) dan material *solid*, kadar air uap dan padatan, serta laju penguapan dan laju pengeringan sepanjang panjang alat. Sedangkan untuk mengetahui kinerja *rotary dryer* pada Gambar 4 dapat di lihat pada penurunan kadar air padatan (*solids moisture content*) dan peningkatan laju penguapan (*total evaporation rate*) menunjukkan bahwa proses perpindahan panas dan massa berlangsung secara efektif selama operasi *rotary dryer*. Simulasi ini memerlukan sejumlah data pendukung, antara lain spesifikasi komponen, pemilihan model persamaan termodinamika, serta kondisi operasi yang sesuai dengan sistem aktual sebagaimana tercantum pada Tabel 1.

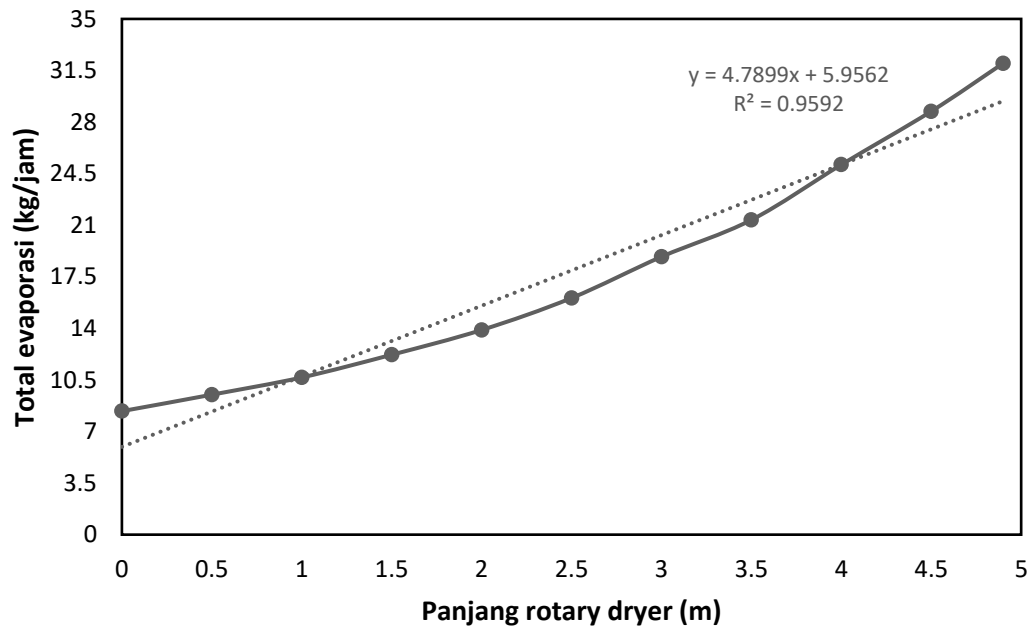
Length	Vapor temperature	Solids temperature	Vapor moisture content (dry)	Solids moisture content (dry)	Total evaporation rate	Drying rate	Moisture content change rate
meter	C	C			kg/hr	kg/sqm-hr	kg/kg_dry-sec
4,32247	73,515	33,8061	0,00838529	0,238835	27,0337	0,0386995	6,2578e-06
4,36541	74,1594	33,732	0,00801609	0,238642	27,3661	0,0391755	6,33476e-06
4,45128	75,4821	33,583	0,00726401	0,238248	28,0414	0,0401421	6,49106e-06
4,49421	76,1608	33,5081	0,00688104	0,238047	28,3842	0,0406328	6,57041e-06
4,53714	76,8513	33,4329	0,00649339	0,237844	28,7304	0,0411284	6,65055e-06
4,62301	78,2683	33,2817	0,00570386	0,23743	29,4331	0,0421343	6,81321e-06
4,66595	78,9951	33,2057	0,00530188	0,23722	29,7895	0,0426446	6,89572e-06
4,75182	80,4864	33,0529	0,00448328	0,236791	30,5126	0,0436797	7,06309e-06
4,79475	81,2512	32,9761	0,00406656	0,236573	30,8791	0,0442044	7,14795e-06
4,88062	82,82	32,8218	0,00321806	0,236128	31,6223	0,0452683	7,31999e-06
4,92355	83,6244	32,7443	0,00278619	0,235902	31,9989	0,0458074	7,40715e-06
5	85,0916	32,6056	0,00200401	0,235492			

Length	Vapor temperature	Solids temperature	Vapor moisture content (dry)	Solids moisture content (dry)	Total evaporation rate	Drying rate	Moisture content change rate
meter	C	C			kg/hr	kg/sqm-hr	kg/kg_dry-sec
0,415454	45,6719	39,4861	0,0285315	0,249391	9,21822	0,0131962	2,13385e-06
0,458388	45,774	39,4326	0,0284056	0,249325	9,31202	0,0133304	2,15556e-06
0,544257	45,9858	39,3252	0,02815	0,249191	9,50428	0,0136057	2,20006e-06
0,587191	46,0957	39,2712	0,0280202	0,249123	9,60277	0,0137467	2,22286e-06
0,67306	46,3237	39,163	0,0277565	0,248985	9,8046	0,0140356	2,26958e-06
0,715994	46,4419	39,1087	0,0276226	0,248915	9,90799	0,0141836	2,29352e-06
0,801862	46,6868	38,9995	0,0273505	0,248772	10,1198	0,0144868	2,34254e-06
0,844797	46,8137	38,9447	0,0272123	0,2487	10,2283	0,0146421	2,36765e-06
0,887731	46,9436	38,8898	0,0270726	0,248627	10,3385	0,0147999	2,39317e-06
0,9736	47,2126	38,7794	0,0267887	0,248478	10,5642	0,015123	2,44543e-06
1,01653	47,3518	38,724	0,0266444	0,248402	10,6798	0,0152885	2,47218e-06
1,1024	47,6399	38,6127	0,0263511	0,248248	10,9165	0,0156274	2,52698e-06
1,14534	47,780	38,5568	0,0263002	0,24817	11,0377	0,0158008	2,55503e-06

Gambar 4. Hasil simulasi Aspen Plus

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara panjang *rotary dryer* dengan total evaporasi (kg/jam) selama proses pengeringan. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa semakin panjang *rotary dryer*, total evaporasi yang terjadi juga semakin meningkat. Pada panjang *rotary dryer* 4,9 m dan total evaporasi selama proses sebesar 31,99 kg/jam. Hasil perhitungan efisiensi penengeringan *rotary dryer* yang dilakukan dengan menggunakan data simulasi kapasitas 1,5 ton/jam efisiensi pengeringan alat dapat bekerja secara optimal dengan efisiensi pengeringan 85,68% mengindikasikan perpindahan panas berlangsung efektif[13]. Selain itu Gambar 2 juga menunjukkan dimana produk A kehilangan air selama proses *rotary dryer* berlangsung, jika dilihat dari Tabel 2 hasil perhitungan hanya menunjukkan total *evaporation* akhir yaitu sebesar 30,73 kg/jam. Gambar 4 menjelaskan bahwa hasil simulasi dapat digunakan sebagai pembandingan untuk mengetahui kinerja *rotary dryer*, agar *rotary dryer* mampu beroperasi secara optimal dengan melakukan perhitungan efisiensi dengan menggunakan Persamaan (8). Selain itu peningkatan panjang *rotary dryer* memberikan waktu tinggal (*residence time*) yang lebih lama bagi material dalam alat, sehingga proses pengeringan berlangsung lebih efektif dan uap air dari material dapat teruapkan dengan lebih

maksimal [14], [6]. Hal ini berdampak langsung terhadap kenaikan jumlah total evaporasi yang dihasilkan, guna meningkatkan kinerja pengeringan *rotary dryer* juga dapat dilakukan pengendalian suhu yang digunakan, kelembapan dan waktu pengeringan pada *rotary dryer* [15], [16]. Sehingga mampu meningkatkan total evaporasi dan efisiensi alat *rotary dryer* sesuai dengan keinginan.



Gambar 5. Hasil perbandingan antara panjang *rotary dryer* dengan total evaporation selama proses.

Selisih efisiensi pengeringan antara hasil perhitungan manual dan simulasi menggunakan Aspen Plus menunjukkan perbedaan sebesar 3,36%. Perbedaan antara kedua metode dapat disebabkan beberapa faktor seperti modifikasi alat *rotary dryer* yang dilakukan oleh tim engineering yaitu pengeringan api langsung dari burner di ganti dengan udara panas dari burner, panas yang hilang karena terhalang material yang menumpuk akibat tidak meratanya granul pestisida di dalam *rotary dryer* dan jumlah lifter yang tidak sesuai spesifikasi akibat korosi menyebabkan banyak lifter terlepas sehingga distribusi panas tidak merata [17]. Hasil simulasi Aspen Plus dapat digunakan sebagai acuan untuk mengevaluasi efisiensi pengeringan pestisida. Pembersihan kerak secara rutin juga diperlukan untuk mencegah hambatan perpindahan panas dan *heat loss* berlebih. Selain itu, waktu tinggal material di dalam alat juga memengaruhi efisiensi, semakin lama waktu tinggal (*residence time*), semakin optimal perpindahan panas dan massa yang terjadi [6].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan neraca massa dan neraca panas, *rotary dryer* berkapasitas 1,5 ton/jam menunjukkan efisiensi pengeringan sebesar 82,32% dan efisiensi panas sebesar 94,23%. Hasil ini mencerminkan bahwa alat bekerja dengan performa termal yang cukup baik dalam proses pengeringan insektisida. Perbandingan dengan simulasi Aspen Plus menunjukkan efisiensi pengeringan sebesar 85,68% dan total evaporasi sebesar 31,99

kg/jam, sedikit lebih tinggi dari data aktual. Perbedaan ini sebesar 3,36% disebabkan oleh beberapa faktor seperti modifikasi sistem pemanas, ketidakaturan distribusi material akibat kerusakan lifter, serta fouling yang menghambat perpindahan panas sehingga panas tidak merata.

Untuk meningkatkan nilai efisiensi *rotary dryer*, diperlukan perawatan alat secara rutin. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah pengecekan berkala pada sambungan *lifter*, guna memastikan bahwa distribusi panas di dalam alat berlangsung secara merata dan stabil pada suhu optimal. Stabilitas suhu ini sangat penting agar proses pengeringan dapat berlangsung secara maksimal, sehingga kadar air dalam produk akhir dapat diturunkan hingga mencapai nilai optimal sesuai target yang di inginkan.

REFERENSI

- [1] L. P. Afisna, I. D. Denara, E. Pujiyulianto, dan V. F. Sanjaya, "Design and Simulation of Rotary dryer Frame Strenght using Finite Element Analysis," *Motiv. J. Mech. Electr. Ind. Eng.*, vol. 4, no. 3, hal. 245–252, 2022.
- [2] G. Fauziah Marintika, L. Cundari, dan F. H. Kurniawan, "Proses Pengeringan Npk Berdasarkan Evaluasi Rotary dryer Dan Kadar Air Npk Di Pt. Petrokimia Gresik," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 1, hal. 273–289, 2023.
- [3] A. Echeeri dan M. Maalmi, "Performance evaluation of a rotary dryer in both co-current and counter-current configurations," *J. Therm. Eng.*, vol. 7, no. Supplement14, hal. 1945–1957, 2021.
- [4] N. Mulyaningsih, A. Prasetyo, dan I. Taufik, "A r m a t u r :," vol. 5, no. March, hal. 179–184, 2024.
- [5] J. Han, Y. Choi, dan J. Kim, "Development of the Process Model and Optimal Drying Conditions of Biomass Power Plants," *ACS Omega*, vol. 5, no. 6, hal. 2811–2818, 2020.
- [6] H. Rezaei dan S. Sokhansanj, "A review on determining the residence time of solid particles in rotary drum dryers," *Dry. Technol.*, vol. 39, no. 11, hal. 1762–1772, 2021.
- [7] Rahmatullah, F. P. Caesaranty, dan F. P. Sari, "Evaluasi performance ammonia converter Pabrik urea ditinjau dari pengaruh temperatur, tekanan, rasio H₂/N₂, dan mol inert inlet, serta perhitungan neraca massa dan neraca panas dengan simulator," *J. Tek. Kim.*, vol. 25, no. 1, hal. 21–30, 2019.
- [8] C. J. Geankoplis, A. A. Hersel, Dan D. H. Lepek, *Transport Processes and Separation Process Principles*, 5 ed. 2018.
- [9] Ninla Elmawati Falabiba, "Rotary dryer," vol. 0537, hal. 26–33, 2019.
- [10] Z. N. A. C. Rohmah dan O. Setiawan, "Analisis Neraca Massa Pada Alat Centrifuge dan Rotary dryer ZA I Bagian Produksi IA PT. Petrokimia Gresik Analysis of Mass Balance in Centrifuge and Rotary dryer ZA I Production Department IA PT. Petrokimia Gresik," *J. Integr. Proses dan Lingkungan*, vol. 1, no. 1, hal. 1–5, 2023.
- [11] O. Gudmundsson, O. P. Palsson, dan H. Pálsson, "Fouling detection in a cross-flow heat exchanger based on physical modeling," *Heat Exch. Fouling Clean.*, 2009.
- [12] H. Baxi, A. Patel, dan J. Barve, "Modelling and simulation of dryer system," *2015 Int. Conf. Ind. Instrum. Control. ICIC 2015*, no. April 2016, hal. 1544–1549, 2015.
- [13] P. Donoso-García, L. Henríquez-Vargas, J. González, I. Díaz, dan I. Fuentes, "A Study for Estimating the Overall Heat Transfer Coefficient in a Pilot-Scale Indirect Rotary dryer,"

Processes, vol. 12, no. 2, 2024.

- [14] G. L. P. V. Armando Rojas, S. G. Crispin, A. F. Yasir, S. A. Dawood, A. S. Mohsen, dan L. P. Cuong, "Performance evaluation of a flighted *rotary dryer* for lateritic ore in concurrent configuration," *Heliyon*, vol. 9, no. 11, 2023.
- [15] M. A. P. Kusuma, F. M. L. Sagala, T. D. Kusworo, dan S. D. Laksono, "Performance Evaluation of *Rotary dryer* and Granulator in NPK Steam Granulation Plant Production Department of IIB PT Petrokimia Gresik," *J. Glob. Ilm.*, vol. 1, no. 5, hal. 287–302, 2024.
- [16] R. Rosalina, G. Sushanti, P. Rahayu, dan D. K. Putri, "Pengaruh kemiringan dan suhu gas inlet *rotary dryer* terhadap laju pengeringan gabah," *Agrointek*, vol. 17, no. 2, hal. 242–249, 2023.
- [17] I. A. Septiaji dan H. Dewajani, "Evaluasi Kinerja *Rotary dryer* Pada Industri Pupuk Npk Dengan Kapasitas 800 Ton/Hari," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 6, no. 2, hal. 82–88, 2023.