

EVALUASI KINERJA ALAT *ROTARY DRYER* M-302 PADA UNIT ZA I DEPARTEMEN PRODUKSI IA PT PETROKIMIA GRESIK

Farahazza Nur Fadia¹, Ferlita Novemia Agustina¹, Yanty Maryanty¹,
Denni Riesa Anggriawan²

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

²PT Petrokimia Gresik, Jl. Jendral Ahmad Yani, Ds. Ngipik, Kec. Gresik, Kabupaten Gresik, Jawa Timur 61119, Indonesia

farahazza3@gmail.com; [yanty.maryanty@polinema.ac.id]

ABSTRAK

PT Petrokimia Gresik sebagai produsen pupuk terkemuka di Indonesia memiliki komitmen untuk menjaga kualitas produk melalui optimalisasi peralatan produksi, salah satunya adalah *rotary dryer* M-302 pada Unit ZA I, Departemen Produksi IA. *Rotary dryer* berfungsi mengeringkan pupuk ZA (Zwavelzure Ammoniak) yang keluar dari sentrifuge dengan menurunkan kadar air produk dari maksimum 2% menjadi maksimum 1%. Tujuan dari studi ini adalah untuk menilai kinerja unit *Rotary Dryer* M-302 berdasarkan evaluasi neraca massa dan energi, serta menentukan efisiensi termal dari sistem pengeringan tersebut. Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif dan kualitatif dengan mengevaluasi suhu inlet dan outlet ZA, suhu inlet dan outlet udara panas, kadar air produk, kapasitas produksi, dan konsumsi energi. Proses pengeringan menggunakan udara panas bersuhu 130,86°C dengan laju alir 12.151,46 kg/jam yang mampu menurunkan kadar air produk sebesar 0,43%. Hasil perhitungan neraca massa menunjukkan total massa masuk dan keluar sistem masing-masing sebesar 41.276,46 kg/jam sehingga memenuhi prinsip kekekalan massa. Perhitungan neraca energi menunjukkan panas masuk sebesar 3.902.402,50 kJ/jam, panas keluar sebesar 3.181.522,63 kJ/jam, dan kehilangan panas (*heat loss*) sebesar 720.879,87 kJ/jam. Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, efisiensi termal *rotary dryer* M-302 diperoleh sebesar 81,53%. Nilai ini menunjukkan bahwa sebagian besar energi panas telah dimanfaatkan secara efektif dalam proses pengeringan, meskipun masih terdapat kehilangan panas yang cukup signifikan. Oleh karena itu, diperlukan pemeliharaan preventif dan peningkatan peralatan untuk meningkatkan efisiensi operasional.

Kata kunci: efisiensi termal, neraca massa, neraca panas, pupuk ZA, *rotary dryer*

ABSTRACT

PT Petrokimia Gresik, as one of the leading fertilizer manufacturers in Indonesia, is committed to maintaining product quality through the optimization of its production equipment, including the M-302 rotary dryer in ZA I Unit, IA Production Department. The rotary dryer functions to dry ZA (Zwavelzure Ammoniak) fertilizer discharged from the centrifuge by reducing the product moisture content from a maximum of 2% to a maximum of 1%. The objective of this study is to evaluate the performance of the M-302 Rotary Dryer based on mass and energy balance analyses and to determine the thermal efficiency of the drying system. The research employed quantitative and qualitative methods by evaluating ZA inlet and outlet temperatures, hot air inlet and outlet temperatures, product moisture content, production capacity, and energy consumption. The drying process utilized hot air at a temperature of 130,86°C with an air flow rate of 12.151,46 kg/h, resulting in a moisture content reduction of 0,43%. The mass balance calculation showed that the total mass entering and leaving the system was 41.276,46 kg/hour, indicating compliance with the law of mass conservation. The energy balance analysis revealed a heat input of 3,902,402.50 kJ/h, a heat output of 3.181.522,63 kJ/h, and a heat loss of 720.879,87 kJ/h. Based on the evaluation results, the thermal efficiency of the M-302 rotary dryer was determined

Corresponding author: Yanty Maryanty

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

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

E-mail: yanty.maryanty@polinema.ac.id



to be 81,53%. This value indicates that most of the thermal energy was effectively utilized in the drying process, although a considerable amount of heat loss still occurred. Therefore, preventive maintenance and equipment upgrades are recommended to improve operational efficiency.

Keywords: thermal efficiency, mass balance, heat balance, ZA fertilizer, rotary dryer

1. PENDAHULUAN

PT Petrokimia Gresik merupakan salah satu produsen pupuk terbesar di Indonesia dan beroperasi sebagai anak perusahaan dari PT Pupuk Indonesia, sebuah Badan Usaha Milik Negara (BUMN). Perusahaan ini memiliki tiga pabrik yang masing-masing dikenal dengan nama Pabrik Produksi I, II, dan III. Pada produksi I dibagi menjadi dua bagian, yaitu Departemen Produksi IA dan Departemen Produksi IB. Departemen Produksi IA mencakup unit produksi pupuk berbahan baku ammonia, urea, dan ZA. *Zwavelzure Ammonia* (ZA), atau dikenal juga sebagai ammonium sulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), merupakan jenis pupuk yang mengandung sekitar 24% nitrogen dan 21% sulfur, yang berfungsi mendukung proses pertumbuhan tanaman secara optimal [1]. Pupuk ZA menyediakan unsur nitrogen (N) yang dapat dengan mudah diserap oleh tanaman dalam waktu yang relatif cepat. Selain itu, pupuk ZA juga mengandung unsur sulfur (S) yang berperan dalam pembentukan daun hijau pada tanaman [2]. Proses sintesis pupuk ZA dilakukan dengan mereaksikan larutan asam sulfat (H_2SO_4) dan gas amonia (NH_3) sebagai bahan baku. Produksi ZA I melibatkan tahapan reaksi netralisasi, kristalisasi, pemisahan kristal ammonium sulfat, serta proses pengeringan untuk memperoleh produk akhir yang stabil.

Salah satu tahap krusial dalam proses pembuatan pupuk ZA skala industri adalah proses pengeringan. Proses pengeringan merupakan proses pemindahan massa air atau pelarut lainnya dari bahan padat atau semi padat melalui proses penguapan [3]. Pengeringan kristal ammonium sulfat bertujuan mengurangi kandungan air hingga tidak melebihi 1% bobot, yang dilakukan menggunakan alat pengering tipe *rotary dryer*. Jika produk akhir memiliki kadar air melebihi 1% wt, maka kualitas produk dapat menurun karena berpotensi mempercepat pertumbuhan mikroorganisme, menurunkan stabilitas produk, serta memengaruhi tekstur dan umur simpan. Hal ini menunjukkan adanya keterkaitan langsung antara performa *rotary dryer* dengan kualitas produk akhir. *Rotary dryer* yang tidak beroperasi secara optimal, misalnya suhu pengeringan tidak cukup tinggi, waktu tinggal terlalu singkat, atau distribusi panas tidak merata dapat menyebabkan proses penguapan air tidak sempurna, sehingga kadar air produk akhir tetap tinggi [4]. Oleh karena itu, pemantauan performa *rotary dryer* harus dilakukan untuk memastikan bahwa kadar air tetap di bawah 1%, sesuai standar kualitas produk akhir.

Rotary dryer merupakan alat pengering berbentuk silinder horizontal yang dipasang pada penyangga berbasis roller, memungkinkan perputaran dengan sudut kemiringan tertentu. Di dalam silinder, dilengkapi komponen shovel yang berfungsi untuk mengangkat dan menjatuhkan material secara terus-menerus guna mengoptimalkan proses perpindahan panas selama pengeringan [5]. *Rotary dryer* memiliki kelebihan dalam mengeringkan material secara menyeluruh, baik pada permukaan luar maupun bagian dalam, karena adanya gerakan pencampuran kontinu selama proses berlangsung, dengan kebutuhan energi listrik yang tergolong rendah. Proses pengeringan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti suhu, tekanan, kelembaban udara sekitar, kecepatan aliran udara pengering, energi pengering, kapasitas

pengering, dan luas permukaan yang bersentuhan antara padatan dan fluida panas. Faktor-faktor tersebut akan memengaruhi laju pengeringan [6].

Evaluasi performa *rotary dryer* sangat penting dalam industri karena berkaitan langsung dengan efisiensi energi, stabilitas proses, dan kualitas produk akhir. *Rotary dryer* merupakan salah satu unit operasi yang menyerap energi dalam jumlah besar, sehingga analisis efisiensi energi melalui neraca panas sangat dibutuhkan untuk mengidentifikasi potensi penghematan dan meminimalkan kehilangan panas. Di sisi lain, kestabilan proses juga menjadi fokus utama evaluasi, karena fluktuasi suhu, laju aliran udara panas, atau waktu tinggal dapat berdampak pada konsistensi kadar air produk. Kualitas produk, khususnya dalam menjaga kadar air akhir di bawah batas tertentu seperti <1% wt, sangat bergantung pada performa pengering ini.

Neraca massa digunakan untuk memastikan kesetimbangan antara massa air yang dihilangkan dan massa produk yang keluar, sehingga efisiensi proses dapat terukur secara akurat. Melalui kombinasi evaluasi neraca massa dan panas, performa *rotary dryer* dapat ditingkatkan secara menyeluruh agar menghasilkan produk dengan mutu yang stabil dan proses produksi yang hemat energi [7]. Untuk mencapai sasaran output *rotary dryer* yang diinginkan, perlu dilakukan analisis neraca massa dan panas dalam *rotary dryer* [8]. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, peneliti mengungkapkan bahwa nilai efisiensi termal alat *rotary dryer* yaitu berkisar 47,79 – 77% [6]. Evaluasi mengenai efisiensi *rotary dryer* juga diperlukan untuk mengetahui pengaruh dari efisiensi pengeringan terhadap jumlah hasil produksi [9]. Tujuan dari studi ini adalah untuk menilai kinerja unit *Rotary Dryer M-302* berdasarkan evaluasi neraca massa dan energi, serta menentukan efisiensi termal dari sistem pengeringan tersebut.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode perhitungan menggunakan metode penelitian kuantitatif dan kualitatif, yaitu metode penelitian yang menggunakan data angka untuk perhitungan kemudian dijabarkan secara naratif. Pengambilan data untuk perhitungan menggunakan metode observasi lapangan dari *control room* ZA I Departemen IA atau melalui referensi yang berkaitan dengan data-data di ZA I. Data yang terkumpul selanjutnya dilakukan perhitungan sesuai dengan teori. Kemudian dijabarkan secara naratif pada pembahasan.

2.1. Data Operasional *Rotary Dryer M-302*

Data berikut diperoleh dari buku laporan harian di *control room* Departemen Produksi IA untuk periode 3 hingga 9 Januari 2024. Data tersebut akan dirata-rata dan hasil rata-rata tersebut akan digunakan sebagai acuan dalam perhitungan.

Tabel 1. Data spesifikasi *blower* PT Petrokimia Gresik

Data	Satuan	Nilai
Kapasitas <i>Blower</i>	m ³ /jam	13.000
Tegangan <i>Blower</i>	Volt	380
Kuat Arus <i>Blower</i>	Ampere	42
Daya <i>Blower Spect</i>	Hp	20

Tabel 2. Data aktual alat *rotary dryer* M-302

Tanggal	Suhu Udara (°C)		Suhu ZA (°C)		Kadar Air (%wt)	
	Masuk	Keluar	Masuk	Keluar	Masuk	Keluar
3	129	51	54	57	2,05	0,49
4	137	61	56	65	1,86	0,35
5	132	52	56	69	2,03	0,42
6	128	52	54	66	2,1	0,41
7	128	57	55	73	2,12	0,75
8	131	51	57	71	1,83	0,31
9	131	51	56	74	1,81	0,25
Average	130,86	53,57	55,43	67,86	1,97	0,43

2.2. Neraca Massa

Untuk menghitung efisiensi termal, diperlukan perhitungan neraca massa terlebih dahulu. Perhitungan neraca massa digunakan untuk menentukan jumlah material yang masuk dan keluar dari suatu proses, sesuai dengan prinsip hukum kekekalan massa yang menyatakan bahwa total aliran masuk harus sama dengan total aliran keluar [10].

Untuk menghitung neraca massa pada *rotary dryer* M-302, pertama-tama identifikasi variabel penting seperti massa bahan masuk (m_{in}), massa bahan keluar (m_{out}), serta kadar air awal (X_{in}) dan akhir (X_{out}) pada bahan yang masuk dan keluar *dryer*. Menurut hukum kekekalan massa, neraca massa menyatakan bahwa jumlah massa yang masuk ke sistem harus seimbang dengan massa yang keluar, termasuk akumulasi jika terdapat perubahan dalam sistem [10]. Dalam hal ini, massa air yang masuk dan keluar dihitung dengan mengalikan massa bahan dengan kadar air masing-masing berdasarkan Persamaan 1.

$$\dot{m} \text{ H}_2\text{O dalam bahan} = \% \text{H}_2\text{O} \times \dot{m} \text{ ZA} \quad (1)$$

Keterangan :

$\dot{m} \text{ H}_2\text{O}$ = Laju alir massa air dalam bahan (kg/jam)

$\% \text{ H}_2\text{O}$ = Kadar air dalam bahan (%)

$\dot{m} \text{ ZA}$ = Laju alir massa bahan ZA (kg/jam)

Di PT Petrokimia Gresik pabrik ZA I tidak ada alat pengukur laju udara kering, maka laju udara kering dapat dihitung dengan pendekatan perbandingan daya *blower* seperti pada Persamaan 2, 3, 4, dan 5.

$$P = V \times A \text{ (watt)} \quad (2)$$

Keterangan :

P = Daya *blower* (Watt)

V = Tegangan *blower* (Volt)

A = Kuat arus *blower* (Ampere)

Dari lapangan didapatkan data kapasitas *design blower* 13.000 m³/jam, tegangan *blower* 380 volt, kuat arus rata-rata 42 ampere, dan daya *blowerspect* 20 HP, maka :

$$\dot{V} \text{ Udara} = \frac{P_{blower}}{P_{Spect}} \times \text{kapasitas blower} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \right) \quad (3)$$

Keterangan:

$\dot{V}$ udara = Laju aliran volumetrik udara yang masuk ke *rotary dryer* (m^3/jam)

P blower = Daya aktual blower (Watt)

P spect = Daya spesifikasi blower (watt)

Kapasitas blower = Kapasitas udara blower berdasarkan spesifikasi (m^3/jam)

$$\rho \text{ Udara} = \frac{P \times M_r}{R \times T} \times \text{kapasitas blower} \quad (4)$$

Keterangan:

ρ udara = Densitas udara (kg/m^3)

P = Tekanan absolut udara (Pa)

M_r = Massa molar udara (kg/kmol)

R = Konstanta gas universal ($8,314 \text{ kJ}/\text{kmol.K}$)

T = Temperatur absolut udara (K)

$$\dot{m} \text{ Udara} = \dot{V} \text{ udara} \times \rho \text{ udara} \quad (5)$$

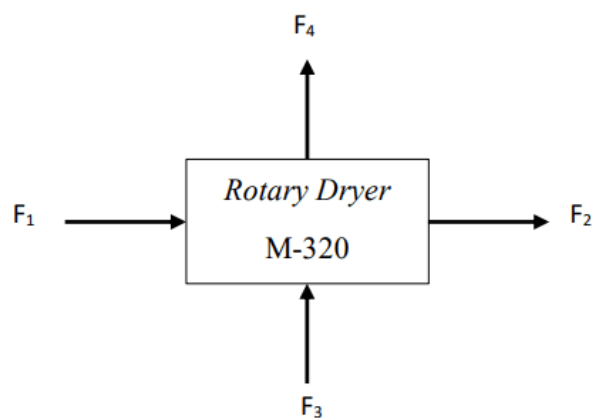
Keterangan:

$\dot{m}$ Udara = Laju alir massa udara (kg/jam)

$\dot{V}$ udara = Laju aliran volumetrik udara (m^3/jam)

ρ udara = Densitas udara (kg/m^3)

Berikut diagram alir *overall rotary dryer* beserta Persamaan 6.



Gambar 1. Diagram alir *overall rotary dryer*

Keterangan :

F_1 = laju alir ZA basah masuk M-302 (kg/jam)

F_2 = laju alir ZA kering keluar M-302 (kg/jam)

F_3 = laju alir udara masuk M-302 (kg/jam)

F_4 = laju alir udara + H_2O teruapkan (kg/jam)

Sehingga rumus neraca massa *overall* seperti pada Persamaan 2:

$$F_1 + F_3 = F_2 + F_4 \quad (6)$$

2.3. Neraca Panas

Langkah terakhir dalam menentukan efisiensi termal *rotary dryer* adalah melakukan perhitungan neraca panas untuk menganalisis distribusi energi panas dalam sistem. Perhitungan neraca panas memberikan gambaran mengenai keseimbangan energi termal pada *rotary dryer*, dengan membandingkan jumlah panas yang diterima dan yang dilepaskan oleh sistem. Perhitungan ditunjukkan pada Persamaan 7 dan 8 [11]:

1. Perhitungan panas sensibel

$$Q = m \times C_p \times (T - T_{ref}) \quad (7)$$

2. Perhitungan panas laten

$$Q = m \times \lambda \quad (8)$$

Keterangan:

Q = panas yang dihasilkan di input dan output (kJ/jam)

C_p = kapasitas panas bahan baku pada *rotary dryer* (kJ/kg K)

T = suhu bahan baku di input dan output (°C)

T_{ref} = suhu referensi (25°C)

m = massa (kg/jam)

λ = *heat of vaporization* (kJ/kg)

2.4. Perhitungan Heat Loss

Perhitungan *heat loss* untuk menentukan jumlah panas yang digunakan dalam proses pengeringan. Perhitungan ini ditunjukkan pada Persamaan 9 [11].

$$Q_{loss} = Q_{in} - Q_{out} \quad (9)$$

Keterangan :

Q_{loss} = Panas yang hilang (kJ/jam)

Q_{in} = Panas yang masuk ke dalam system (kJ/jam)

Q_{out} = Panas yang keluar dari system (kJ/jam)

2.5. Efisiensi Termal

Kinerja *rotary dryer* dapat dievaluasi melalui nilai efisiensi termalnya. Nilai ini menunjukkan sejauh mana panas yang digunakan efektif dalam mendukung proses pengeringan [12]. Untuk menghitung nilai efisiensi termal, dapat digunakan Persamaan 10.

$$\eta = \left(\frac{Q_{out}}{Q_{in}} \right) \times 100\% \quad (10)$$

Keterangan :

η = Efisiensi termal (%)

Q_{out} = Panas yang masuk ke dalam sistem (kJ/jam)

Q_{in} = Panas yang keluar dari sistem (kJ/jam)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rotary dryer M-302 berperan penting dalam proses produksi pupuk ZA I di PT Petrokimia Gresik, yaitu untuk mengurangi kadar air *slurry* ammonium sulfat hasil reaksi agar

mencapai spesifikasi maksimum 1% wt. Unit ini bekerja dengan prinsip pengeringan termal menggunakan udara panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar, yang dialirkan secara *co-current* ke dalam silinder berputar dimana arah aliran udara panas dan material masuk dari sisi yang sama. Material basah masuk dari ujung atas *rotary dryer* dan mengalami penguapan air saat bergerak sepanjang silinder karena adanya perpindahan panas dari udara panas ke material. Udara panas yang digunakan sebagai media pemanas memiliki suhu antara 128 – 137°C dan dipanaskan terlebih dahulu melalui pemanas uap bertekanan rendah yang berasal dari unit utilitas I. Udara buangan dari *rotary dryer* M-302, yang bersuhu sekitar 51 – 61°C, selanjutnya dialirkan menuju *wet cyclone* (D-303/309). Di sana, partikel debu ammonium sulfat ditangkap dengan semprotan air proses, dan larutan yang terbentuk dialirkan kembali ke dalam tangki larutan induk. Sementara itu, udara sisa dari *wet cyclone* dibuang ke atmosfer [13].

Di PT Petrokimia Gresik, proses pengeringan kristal ZA I dilakukan menggunakan alat pengering tipe *rotary dryer*. *Rotary dryer* merupakan alat pengering berbentuk silinder yang berputar secara kontinyu, memungkinkan bahan yang dikeringkan bergerak secara perlahan di sepanjang ruang pengering. *Rotary dryer* bekerja berdasarkan prinsip pemanasan langsung, di mana panas dialirkan ke bahan yang akan dikeringkan melalui sebuah drum yang berputar secara kontinu [14]. Prinsip kerja *rotary dryer* melibatkan perpindahan panas dan massa, dimana udara panas dihembuskan ke dalam alat untuk menguapkan kandungan air pada kristal ZA I. Tujuan pengeringan adalah mengurangi kandungan air pada kristal ZA I dari kisaran 2% hingga tidak melebihi 1%, sesuai dengan persyaratan mutu pupuk amonium sulfat menurut standar SNI 02-1760-2005 [15]. Ketidakseimbangan dalam aliran udara, suhu, atau laju umpan dapat menyebabkan produk akhir tidak mencapai target kadar air, yang berujung pada produk menggumpal saat disimpan atau bermasalah saat pengemasan otomatis [4]. Selain itu, performa *rotary dryer* ini juga berdampak pada beban kerja unit pendingin dan efisiensi energi secara keseluruhan. Oleh karena itu, evaluasi rutin melalui analisis neraca massa dan panas sangat diperlukan untuk memantau efisiensi pengeringan, mendeteksi kehilangan panas atau uap yang tidak terkontrol, serta memastikan kestabilan proses produksi yang berkelanjutan dan berkualitas.

Pada penelitian ini, dilakukan evaluasi terhadap alat *rotary dryer* M-302 yang telah beroperasi selama 52 tahun. Evaluasi ini bertujuan untuk menilai kinerja dan efisiensi alat, serta mengidentifikasi potensi kerusakan atau penurunan performa seiring berjalannya waktu. Evaluasi performa *rotary dryer* tidak hanya penting untuk memastikan efisiensi energi dan stabilitas operasional, tetapi juga sangat berkaitan dengan pencapaian spesifikasi mutu produk akhir, khususnya kadar air [16]. Dalam proses produksi pupuk ZA, kadar air produk yang melebihi 1% wt dapat menyebabkan aglomerasi, penggumpalan selama penyimpanan, serta menurunkan *flowability* dan kualitas granul produk. Oleh karena itu, *rotary dryer* M-302 harus mampu mempertahankan performa optimal secara konsisten untuk menjamin kadar air tetap berada di bawah ambang batas tersebut. Inilah yang membedakan kebutuhan evaluasi di proses ini dibanding proses lain yang juga menggunakan *rotary dryer*, namun tidak memerlukan tingkat kekeringan setinggi itu. Sebagai contoh, pada industri pengeringan bahan baku dengan toleransi kadar air lebih tinggi, deviasi kecil dari efisiensi pengeringan mungkin tidak berdampak signifikan pada mutu produk. Namun dalam produksi pupuk ZA, target kadar air <1% menjadi standar mutu kritis, sehingga evaluasi performa *rotary dryer* melalui analisis

neraca massa dan panas menjadi keharusan. Dengan demikian, tujuan evaluasi tidak hanya sebatas menjaga efisiensi alat, tetapi juga menjamin bahwa kualitas produk akhir tetap sesuai standar.

Evaluasi kinerja *rotary dryer* dilakukan menggunakan pendekatan kombinasi metode kuantitatif dan kualitatif untuk mendapatkan gambaran yang komprehensif tentang kondisi operasional alat. Metode kuantitatif meliputi pengumpulan dan analisis data teknis seperti suhu udara masuk dan keluar, laju alir udara, kadar air umpan dan produk akhir, serta energi yang digunakan selama proses pengeringan. Data ini kemudian digunakan dalam perhitungan neraca massa dan neraca panas untuk mengukur efisiensi termal dan efektivitas pengeringan secara tepat. Sementara itu, metode kualitatif mencakup observasi langsung kondisi fisik *rotary dryer*, pengamatan potensi kerusakan mekanis, serta wawancara dengan operator terkait kestabilan proses dan kendala yang dialami selama operasi. Kombinasi kedua metode ini memungkinkan evaluasi tidak hanya dari sisi angka dan perhitungan, tetapi juga dari aspek operasional dan pemeliharaan. Oleh karena itu, data hasil pengukuran dan perhitungan neraca massa dan panas menjadi sangat penting sebagai dasar analisis kuantitatif dalam evaluasi performa *rotary dryer*.

3.1. Neraca Massa

Neraca massa pada suatu sistem proses di industri adalah suatu pendekatan yang digunakan untuk menghitung distribusi massa dalam suatu sistem, memastikan bahwa massa yang masuk ke dalam sistem (input) sama dengan massa yang keluar (ouput), dengan memperhitungkan perubahan yang terjadi di dalam sistem seperti reaksi kimia, pemisahan, atau penguapan [17]. Perhitungan neraca massa alat *rotary dryer* pada produksi ZA I menunjukkan laju alir umpan masuk dan umpan keluar dalam keadaan *balance*.

Tabel 3. Perhitungan neraca massa *rotary dryer* M-302

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)	
	F ₁	F ₃	F ₂	F ₄
ZA	29.125		28.674,81	
Udara		12.151,46		12.601,65
Total	41.276,46		41.276,46	

Berdasarkan Tabel 2, hasil analisis neraca massa dalam proses pengeringan pupuk ZA I telah memenuhi prinsip keseimbangan massa dalam suatu sistem [18]. Nilai-nilai ini mencerminkan bahwa proses pengeringan berlangsung secara stabil dengan sedikit perbedaan massa yang mungkin berasal dari pengukuran atau fluktuasi operasional minor. Memenuhi prinsip neraca massa berarti bahwa tidak terjadi kehilangan atau penambahan massa yang tidak terkontrol di dalam sistem, yang merupakan indikasi bahwa proses pengeringan dapat diprediksi dan dikendalikan dengan baik [4]. Prinsip ini penting karena jika massa masuk dan keluar tidak seimbang secara signifikan, maka bisa terjadi gangguan seperti kebocoran, penumpukan material, atau penguapan air yang tidak sesuai, yang akan berdampak pada efisiensi pengeringan dan kualitas produk akhir [19].

Dasar prinsip neraca massa ini berasal dari hukum kekekalan massa dalam termodinamika dan mekanika fluida, yang menyatakan bahwa massa dalam suatu sistem

tertutup harus sama dengan massa yang keluar ditambah massa yang tersimpan di dalam sistem [20]. Oleh karena itu, evaluasi keseimbangan massa menjadi langkah dasar dan penting dalam menilai performa *rotary dryer* serta kestabilan proses pengeringan. Jika neraca massa menunjukkan keseimbangan yang baik, maka proses dapat diasumsikan berjalan sesuai desain dan target kualitas, terutama dalam mencapai kadar air produk akhir yang diinginkan.

3.2. Neraca Panas

Selanjutnya, untuk menghitung efisiensi termal dari proses pengeringan, dilakukan analisis neraca panas pada proses pengeringan kristal ZA I. Neraca panas adalah suatu Persamaan yang menggambarkan keseimbangan energi dalam suatu sistem dengan mempertimbangkan jumlah energi yang masuk dan keluar selama periode waktu operasional tertentu [21]. Alat pengering dikatakan bekerja secara ideal apabila seluruh panas yang diterima digunakan secara maksimal untuk proses pemanasan bahan. Namun, dalam praktiknya sebagian besar panas hilang melalui berbagai mekanisme, seperti gas buang yang masih panas, konduksi melalui dinding silinder, radiasi ke lingkungan sekitar, dan akumulasi panas pada material yang tidak langsung berkontribusi pada proses pengeringan. Artinya, tidak semua panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dapat digunakan secara efektif dalam proses pengeringan, karena sebagian energi tersebut hilang selama transfer panas.

Penelitian oleh Urbano dkk (2023) menunjukkan bahwa efisiensi energi dalam sistem pengeringan konvektif dapat meningkat secara signifikan dengan penerapan teknologi pemulihan panas, seperti *preheating* udara pengering menggunakan panas dari gas buang. Studi menunjukkan bahwa penerapan sistem pemulihan panas berhasil meningkatkan efisiensi energi dari 59% menjadi 87%, sekaligus membantu menurunkan penggunaan energi dan emisi gas rumah kaca [22]. Oleh karena itu, memahami dan meminimalkan kehilangan panas dalam sistem pengeringan sangat penting untuk meningkatkan efisiensi energi, mengurangi biaya operasional, dan memenuhi standar lingkungan yang semakin ketat. Langkah-langkah seperti isolasi termal yang efektif, desain ulang sistem aliran udara, dan penerapan teknologi pemulihan panas dapat menjadi strategi yang efektif dalam mencapai tujuan tersebut.

Tabel 4. Perhitungan neraca panas pada *rotary dryer* M-302

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
ZA	2.596.833,98	1.763.111,55
Udara	1.305.568,52	1.418.411,09
Heat loss		720.879,87
total	3.902.402,50	3.181.522,64

Berdasarkan Tabel 4, diketahui bahwa terdapat ketidakseimbangan neraca panas antara aliran input dan output dalam sistem yang dianalisis. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan antara jumlah panas yang masuk ke dalam sistem dengan massa yang keluar, dimana panas yang masuk ke dalam alat sebesar 3.902.402,50 kJ/jam, panas yang keluar dari alat sebesar 3.181.522,64 kJ/jam dan terdapat panas yang hilang sebesar 720.879,87 kJ/jam dengan persentase panas yang hilang dari sistem adalah sekitar 18,47% dari total

panas yang masuk. Panas yang hilang pada alat *rotary dryer* umumnya dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti konduksi melalui dinding *dryer*, konveksi dengan udara sekitar, serta radiasi panas dari permukaan *dryer* [23]. Konduksi terjadi ketika panas berpindah melalui dinding logam silinder *rotary dryer* dari bagian dalam yang bersuhu tinggi ke bagian luar yang lebih dingin. Jika *dryer* tidak dilengkapi dengan isolasi termal yang memadai, panas ini dapat dengan mudah hilang ke lingkungan sekitar. Menurut FEECO International, konduksi dalam *rotary dryer* terjadi melalui kontak langsung antara permukaan panas dan material yang dikeringkan, serta melalui dinding drum ke lingkungan sekitar. Konveksi merupakan perpindahan panas melalui udara atau gas yang bersentuhan dengan permukaan luar *dryer*. Udara sekitar yang lebih dingin menyerap panas dari permukaan *dryer* yang panas, menyebabkan hilangnya energi termal ke lingkungan. Proses ini diperkuat oleh pergerakan udara yang disebabkan oleh perbedaan suhu, yang menciptakan arus konveksi alami di sekitar *dryer*. Radiasi adalah perpindahan panas dalam bentuk gelombang elektromagnetik dari permukaan panas *dryer* ke lingkungan tanpa memerlukan media perantara. Semakin tinggi suhu permukaan *dryer*, semakin besar energi radiasi yang dipancarkan ke lingkungan. FEECO International menjelaskan bahwa radiasi dalam *rotary dryer* terjadi dari permukaan drum ke lingkungan sekitar, serta dari gas proses ke material yang dikeringkan. Kehilangan panas melalui ketiga mekanisme ini dapat mencapai 30 – 40% dari total energi yang digunakan dalam proses pengeringan [24]. Untuk meminimalkan kehilangan ini, penting untuk menerapkan strategi seperti penggunaan isolasi termal yang efektif, desain ulang sistem aliran udara, dan penerapan teknologi pemulihan panas. Langkah-langkah ini tidak hanya meningkatkan efisiensi energi tetapi juga mengurangi biaya operasional dan dampak lingkungan dari proses pengeringan

3.3. Efisiensi Termal

Kinerja *rotary dryer* M-302 dapat ditinjau dari nilai efisiensi termal karena efisiensi termal menunjukkan seberapa baik alat tersebut dapat mengonversi energi panas yang diberikan menjadi energi yang digunakan untuk mengeringkan material. Udara panas yang besar dapat berpengaruh pada nilai efisiensi termal. Hal ini dikarenakan adanya energi dari udara panas yang mencukupi dan menguapkan air pada bahan. Udara panas akan memanaskan bahan baku, kemudian suhu dari bahan baku tersebut akan naik. Perbedaan suhu tersebut menjadikan air pada bahan baku akan berpindah dari bahan solid ke udara. Adanya udara panas yang besar menjadikan air yang teruap juga semakin banyak akibat kontak antara bahan baku dengan udara panas. Berdasarkan perhitungan efisiensi termal diperoleh nilai sebesar 81,53%. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa sebagian besar energi panas selama proses pengeringan digunakan secara efektif untuk evaporasi air dalam bahan, sementara sebagian energi sisanya hilang selama proses berlangsung [25].

Umur operasional *rotary dryer* umumnya berkisar antara 15 hingga 20 tahun, tergantung pada intensitas penggunaan, kondisi operasional, dan pemeliharaan yang dilakukan. Namun, terdapat kasus dimana *rotary dryer* dapat beroperasi lebih dari 70 tahun dengan perawatan yang tepat. Pada *rotary dryer* M-302 yang telah beroperasi selama 52 tahun, efisiensi termal yang menurun dan kehilangan panas yang signifikan menunjukkan bahwa performa alat tersebut kemungkinan telah menurun. Efisiensi termal *rotary dryer* dianggap memadai jika mencapai sekurang-kurangnya 55%. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa *rotary dryer* ini masih memenuhi standar tersebut, sehingga dapat

dikatakan layak beroperasi [12]. Akan tetapi dengan adanya kehilangan panas (*heat loss*) yang terus terjadi, terutama setelah digunakan selama 52 tahun, menunjukkan bahwa performa alat tersebut kemungkinan telah menurun. Untuk mengatasi penurunan performa *rotary dryer* M-302 yang telah beroperasi selama lebih dari 50 tahun, beberapa langkah peningkatan efisiensi dapat dilakukan. Pertama, peningkatan sistem kontrol dan otomasi sangat penting untuk memungkinkan pemantauan kondisi alat secara *real-time* dan mengoptimalkan pengoperasian melalui pengendalian suhu serta aliran udara secara presisi. Kedua, penggantian komponen-komponen kritis seperti *shovel (flights)*, burner, dan sensor suhu perlu dilakukan jika telah mengalami degradasi, karena bagian-bagian ini secara langsung memengaruhi proses perpindahan panas dan efisiensi pengeringan. Ketiga, peningkatan isolasi termal pada permukaan silinder *rotary dryer* dapat mengurangi kehilangan panas melalui konduksi dan radiasi, sehingga energi panas dapat lebih efektif digunakan untuk menguapkan air dari kristal. Keempat, implementasi sistem pemulihan panas dari gas buang, seperti *economizer* atau *heat exchanger*, dapat dimanfaatkan untuk memanaskan udara masuk sehingga menurunkan konsumsi energi utama. Terakhir, jika evaluasi menyeluruh menunjukkan bahwa efisiensi tidak dapat ditingkatkan hanya melalui perbaikan, maka penggantian sebagian atau seluruh unit *rotary dryer* dengan model yang lebih modern dan efisien secara energi dapat menjadi solusi jangka panjang yang lebih menguntungkan [24].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan evaluasi kinerja *rotary dryer* M-302, diperoleh data laju alir massa masuk dan keluar sebesar 41.276,46 kg/jam, *heat loss* sebesar 18,47% dari total panas masuk, dan efisiensi termal alat sebesar 81,53%. Untuk meningkatkan efisiensi pada *rotary dryer* dapat dilakukan melalui pemeliharaan preventif pada peralatan dan upgrade peralatan. Hal ini untuk memastikan panas yang dihasilkan efisien sehingga kadar air yang dapat dikeringkan dapat optimal.

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja *rotary dryer* M-302, peneliti selanjutnya disarankan untuk melakukan kajian lebih mendalam terhadap distribusi *heat loss* pada berbagai titik alat guna mengidentifikasi area kehilangan panas terbesar yang memengaruhi efisiensi termal. Selain itu, penggunaan simulasi proses pengeringan berbasis perangkat lunak teknik seperti Aspen Plus atau CFD dapat membantu mengoptimalkan parameter operasi, seperti suhu udara masuk, kecepatan putar drum, dan desain internal dryer. Penelitian lebih lanjut juga perlu mempertimbangkan perbandingan dengan teknologi pengering alternatif yang lebih efisien serta evaluasi dampak usia peralatan terhadap performa alat. Implementasi sensor kadar air *real-time* dan analisis kelayakan ekonomi terhadap rekomendasi *upgrade* alat, seperti sistem insulasi atau burner efisiensi tinggi, juga dapat mendukung peningkatan efisiensi pengeringan secara menyeluruh.

REFERENSI

- [1] S. Supandji, M. Muharram, V. G. Agusty, dan L. Yuliana, "Pengaruh Pemberian Dosis Pupuk Za terhadap Pertumbuhan Awal Tanaman Tebu (*Saccharum officinarum*) Varietas PS 80-148," *Agrotrop : Journal on Agriculture Science*, vol. 14, no. 1, hal. 126, 2024.

- [2] S. Bahri, B. R. Juanda, dan H. Maulida, "Pengaruh Jenis Biochar dan Pupuk ZA terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.)," *Jurnal Penelitian*, 2018.
- [3] D. F. Simatupang, Y. Yunianto, dan E. D. W. Sihaloho, "Analisa Kebutuhan Batu Bara pada Unit Dryer dalam Pengeringan Pupuk NPK di PT AGS Medan," *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*, vol. 4, no. 1, hal. 11, 2021.
- [4] F. J. Gomez-de la Cruz, A. Palomar-Torres, J. M. Palomar-Carnicero, dan F. Cruz-Peragón, "Energy and Exergy Analysis During Drying in Rotary Dryers from Finite Control Volumes: Applications to The Drying Of Olive Stone," *Applied Thermal Engineering*, vol. 200, 2022.
- [5] 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," 2023.
- [6] S. Yuliati, A. Syarif, M. Zamhari, R. Junaidi, Yuniar, A. Depiana, A. Andini, Putri, S. Ulfah, T. N. B. Yandini, dan T. Rahayu, "Unjuk Kerja Rotary Dryer pada Proses Pengeringan Biji Kopi," *Jurnal Kinetika*, vol. 9, no. 03, 2018.
- [7] A. R. Vargas, L. P. Garcia, C. S. Guillen, F. Y. Aljaberi, A. D. Salman, S. M. Alardhi, dan P.C. Le, "Performance Evaluation of A Flighted Rotary Dryer for Lateritic Ore in Concurrent Configuration," *Heliyon*, vol. 9, no. 11, 2023.
- [8] A. S. Putri dan H. Alkindi "Analisa Perhitungan Keseimbangan Massa Dan Kalor Pada Unit Rotary Dryer," vol. 4, no. 3, 2022.
- [9] I. A. Septiaji dan H. Dewajani, "Evaluasi Kinerja Rotary Dryer pada Industri Pupuk NPK dengan Kapasitas 800 Ton/Hari," vol. 6, no. 2, hal. 82–88, 2019.
- [10] A. Mustafa, "Analisis Proses Pembuatan Pati Ubi Kayu (Tapioka) Berbasis Neraca Massa," 2015.
- [11] "Unit-Operations-of-Chemical-Engineering-5th-Ed-McCabe-and-Smith".
- [12] G. Fauziah Marintika, L. Cundari, dan F. H. Kurniawan, "Proses Pengeringan NPK berdasarkan Evaluasi Rotary Dryer dan Kadar Air NPK di PT Petrokimia Gresik," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 1, hal. 273–289, 2023.
- [13] 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," 2023.
- [14] N. Tumbel, B. Pojoh, S. Manurung, B. Riset, D. Standardisasi, dan I. Manado, "Rekayasa Alat Pengering Jagung Sistem Rotary Design of Multipurpose Dryer Using Rotary System," 2016.
- [15] "Badan Standarisasi Nasional, Pupuk Amonium Sulfat: Komposisi, Spesifikasi, dan Persyaratan Mutu, SNI 02-1760-2005."
- [16] C. S. P. J. R. Z. A. Mujumdar, "Drying of Coated Webs," dalam *Handbook of Industrial Drying*, CRC Press, 2014, hal. 947–966.
- [17] K. P. Saragih dan T. Hutabarat, "Perhitungan Neraca Massa dan Energi pada Proses Pelumatan Fruit di Unit Digester PT Socfin Indonesia Perkebunan Tanah Gambus," 2023.

- [18] R. Sugiharto, E. Suroso, dan B. Dermawan., "Tinjauan Neraca Massa Pada Proses Pengomposan Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Penambahan Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit," 2016.
- [19] Y. Zefanya Yusuf, D. Hermanuadi, T. R. Pangan, T. Pertanian, dan N. Jember, "Perhitungan Neraca Massa Dan Energi Proses Pengolahan Tepung Pisang Kepok Calculation of Mass and Energy Balance of Kepok Banana Flour Process," *JOFE : Journal of Food Engineering | E-ISSN*, vol. 4, no. 1, hal. 18–27, 2025.
- [20] A. I. Dewantoro dan S. H. Putri, "Evaluasi Kehilangan Bahan selama Proses Produksi Gondorukem Berdasarkan Analisis Neraca Massa," *METANA*, vol. 18, no. 1, hal. 29–38, 2022.
- [21] D. R. Ferbriyana dan Safaruddin, "Perhitungan Neraca Massa, Neraca Panas dan Efisiensi pada Rotary Kiln PT Semen Baturaja (Persero) TBK," 2022.
- [22] D. G. Urbano, A. Aquino, dan F. Scrucca, "Energy Performance, Environmental Impacts and Costs of a Drying System: Life Cycle Analysis of Conventional and Heat Recovery Scenarios," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 3, 2023.
- [23] K. Syska dan R. Ropiudin, "Perpindahan Panas pada Pengering Tipe Drum Berputar pada Kondisi Tanpa Beban," *Agroteknika*, vol. 3, no. 1, hal. 1–15, 2020.
- [24] FEECO International, "The FEECO Process Systems Engineering & Manufacturing Handbook."
- [25] A. Zikri, E. Erlinawati, dan I. Rusnadi, "Uji Kinerja Rotary Dryer berdasarkan Efisiensi Termal Pengering Serbuk Kayu Untuk Pembuatan Biopellet," 2015.