



ANALISIS NERACA MASSA DAN ENERGI *PRENEUTRALIZER* PRODUKSI PUPUK NPK

(Mass and Energy Balance Analysis of the Preneutralizer in NPK Fertilizer Production)

Fina Syaafaatul Udzmah Suparman¹, Zainal Mustakim², Faridz Zainuddin Novianto³

^{1,2)} Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik

³⁾ Departemen Produksi II A PT Petrokimia Gresik

Corresponding Author: finasyafaatul030218@email.com

Article Info	ABSTRACT
Page : 77 – 84 Submission Date: 28 / April / 2026 Accepted Date: 17 / Mei / 2026 Published Date: 1 / Juni / 2023	<p><i>The preneutralizer unit is one of the important stages in the NPK fertilizer production process, functioning as the initial reactor for slurry formation through the neutralization reaction between ammonia, sulfuric acid, and phosphoric acid. The reaction is exothermic and affects the energy distribution and operating conditions of the system. This study aims to analyze the mass and energy balance of the preneutralizer unit in the NPK fertilizer production process based on actual operating data under steady-state conditions. The calculations were carried out by considering the mass flow rate of raw materials, material purity, water content, reaction stoichiometry, sensible enthalpy changes, and heat of reaction during the process. The mass balance result showed that the total mass entering and leaving the system was balance at 31,040 kg/h without mass accumulation. In addition, the exothermic heat of reaction became the largest energy contribution in the system, reaching 12,488,557.77 kJ/h. the main products formed were ammonium sulfate and monoammonium phosphate. The result indicate that the mass and energy balance approach can be used to evaluate the performance of the preneutralizer unit in the NPK fertilizer.</i></p>
<p>Keywords: mass balance, energy balance, preneutralizer, NPK fertilizer, neutralization reaction, exothermic reaction.</p>	
EMAIL	ABSTRAK
<p>¹finasyafaatul030218@email.com</p>	<p>Unit <i>preneutralizer</i> merupakan salah satu tahapan penting dalam proses produksi pupuk NPK karena berfungsi sebagai reaktor awal pembentukan <i>slurry</i> melalui reaksi netralisasi antara amonia, asam sulfat, dan asam fosfat. Reaksi tersebut bersifat eksotermis sehingga berpengaruh terhadap distribusi energi dan kondisi operasi sistem. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis neraca massa dan neraca energi pada unit <i>preneutralizer</i> dalam proses produksi pupuk NPK berdasarkan data operasi aktual pada kondisi tunak. Perhitungan dilakukan dengan mempertimbangkan laju alir massa bahan baku, kemurnian bahan, kandungan air, stoikiometri reaksi, perubahan entalpi sensibel, dan panas reaksi selama proses berlangsung. Hasil neraca massa menunjukkan bahwa total massa masuk dan keluar sistem berada dalam kondisi seimbang sebesar 31.040 kg/jam tanpa adanya akumulasi massa. Selain itu, panas reaksi eksotermis menjadi kontribusi energi terbesar dalam sistem dengan nilai sebesar 12.488.557,77 kJ/jam. Produk utama yang terbentuk berupa ammonium sulfat dan monoammonium phosphate. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan neraca massa dan energi dapat digunakab untuk mengevaluasi kinerja unit <i>preneutralizer</i> pada proses produksi pupuk NPK.</p>
<p>Kata kunci: neraca massa, neraca energi, preneutralizer, pupuk NPK, reaksi netralisasi, reaksi eksotermis.</p>	

PENDAHULUAN

Industri pupuk merupakan salah satu sektor strategis yang memiliki peran penting dalam menunjang produktivitas pertanian serta menjaga ketahanan pangan nasional. Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk, kebutuhan akan pangan juga mengalami peningkatan yang signifikan[1]. Kondisi ini secara langsung mendorong peningkatan permintaan terhadap pupuk. Ketersediaan pupuk yang berkualitas menjadi faktor dalam meningkatkan hasil pertanian baik dari segi kuantitas maupun kualitas. Industri pupuk dituntut untuk mampu menghasilkan produk dengan mutu yang konsisten melalui proses produksi yang efisien, aman, dan terkendali. Pengendalian parameter operasi proses sangat penting untuk menjaga kualitas produk pupuk NPK agar sesuai spesifikasi[2]. Selain itu meningkatkan hasil panen, penggunaan pupuk juga berperan dalam menjaga kesuburan tanah dan mendukung keberlanjutan sektor pertanian dalam jangka panjang. Salah satu jenis pupuk yang digunakan dalam sektor pertanian adalah pupuk majemuk NPK. Pupuk ini mengandung tiga unsur hara yang sangat dibutuhkan tanaman, yaitu nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) yang dibutuhkan tanaman untuk proses pertumbuhan dan perkembangan[3]. Kombinasi ketiga unsur tersebut menjadikan pupuk NPK sebagai salah satu pilihan utama dalam meningkatkan produktivitas pertanian secara menyeluruh[4]. Dibanding dengan pupuk tunggal, penggunaan pupuk NPK dinilai lebih praktis dan efisien karena mampu menyediakan beberapa unsur hara sekaligus dalam satu produk.

Proses produksi pupuk NPK terdiri dari serangkaian tahapan yang saling terintegrasi dan harus dikendalikan dengan baik agar menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Tahapan tersebut meliputi persiapan bahan baku, reaksi kimia, pembentukan *slurry*, proses granulasi, pengeringan, pendinginan, hingga tahap akhir berupa pengemasan produk[5]. Setiap tahapan memiliki kontribusi yang penting dalam menentukan karakteristik fisik maupun kimia dari pupuk yang dihasilkan, sehingga diperlukan pengendalian proses yang tepat pada setiap unit operasi[6]. Salah satu unit yang memiliki peranan penting dalam proses produksi pupuk NPK adalah unit *preneutralizer*. Unit ini berfungsi sebagai reaktor awal tempat berlangsungnya reaksi netralisasi antara bahan baku utama, yaitu amonia, asam sulfat, dan asam fosfat untuk menghasilkan *slurry* sebagai bahan baku pada tahap granulasi untuk membentuk butiran pupuk yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Reaksi netralisasi yang berlangsung di dalam *preneutralizer* bersifat eksotermis, yaitu menghasilkan panas dalam jumlah yang cukup besar. Hal tersebut berpengaruh terhadap suhu campuran di dalam reaktor, yang pada akhirnya akan mempengaruhi kestabilan proses serta karakteristik *slurry* yang dihasilkan.

Ketidakeimbangan dalam komposisi bahan baku dapat menyebabkan adanya reaktan yang tidak bereaksi secara sempurna, sehingga menurunkan efisiensi proses. Selain itu, ketidakseimbangan energi dapat menyebabkan peningkatan suhu yang tidak terkendali, yang berpotensi menimbulkan risiko terhadap keselamatan proses serta menurunkan kualitas produk akhir. Oleh karena itu, pengendalian energi dan suhu proses diperlukan untuk menjaga kestabilan operasi pada sistem reaksi eksotermis[7]. Dalam kajian teknik kimia, analisis neraca massa dan neraca energi merupakan pendekatan dasar yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja suatu sistem proses[8]. Neraca massa didasarkan pada prinsip kekekalan massa, yang menyatakan bahwa massa tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan[9]. Sehingga massa masuk harus sama dengan massa keluar pada kondisi tunak. Di sisi lain, neraca energi digunakan untuk menganalisis distribusi energi dalam sistem termasuk panas reaksi dan perubahan entalpi aliran. Penerapan neraca massa pada unit *preneutralizer* memungkinkan evaluasi aliran bahan, jumlah produk, serta identifikasi terhadap pereaksi pembatas. Sementara itu, penerapan neraca energi memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kontribusi panas reaksi dan kebutuhan energi dalam sistem. Pada

reaksi eksotermis seperti di unit *preneutralizer*, analisis energi sangat penting untuk menjaga kestabilan operasi. Meskipun perhitungan menggunakan metode ini telah banyak digunakan dalam industri kimia, penelitian yang membahas unit *preneutralizer* pada produk pupuk NPK berdasarkan data operasi aktual masih terbatas. Sehingga diperlukan analisis yang lebih spesifik untuk memahami distribusi massa dan energi pada unit *preneutralizer*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis neraca massa dan energi pada unit *preneutralizer* dalam proses produksi pupuk NPK menggunakan data operasi aktual pada kondisi tunak. Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan laju alir bahan baku, komposisi bahan, kandungan air, stoikiometri reaksi, perubahan entalpi sensibel, serta panas reaksi yang terjadi selama proses berlangsung.

METODE

Penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan perhitungan teoritis berdasarkan data operasi aktual pada unit *preneutralizer*. Analisis dilakukan dengan menerapkan prinsip dasar teknik kimia, yaitu neraca massa, neraca energi, dan stoikiometri reaksi. Sistem dianalisis pada kondisi tunak atau *steady state*, sehingga tidak terdapat akumulasi massa maupun energi di dalam sistem selama periode pengamatan. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari sistem kontrol operasi unit *preneutralizer*[10]. Data tersebut meliputi laju alir massa bahan baku, suhu masuk masing-masing komponen, dan suhu operasi reaktor. Data operasi yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data laju alir dan suhu input

Komponen	Laju alir massa (kg/jam)	Suhu masuk (°C)
NH ₃	2.820	-11,9
H ₂ SO ₄	4.380	30
H ₃ PO ₄	23.840	30

Suhu operasi reaktor adalah 120 °C. Suhu ini digunakan sebagai dasar dalam perhitungan perubahan entalpi sensibel masing-masing komponen. Komponen utama yang dianalisis dalam sistem adalah NH₃, H₂SO₄, H₃PO₄, air, ammonium sulfate, dan monoammonium phosphate. Beberapa asumsi digunakan dalam penelitian ini untuk menyederhanakan analisis. Pertama, sistem beroperasi pada kondisi tunak sehingga tidak terjadi akumulasi massa dan energi. Kedua, reaksi yang diperhitungkan hanya meliputi pembentukan ammonium sulfate dan monoammonium phosphate. Ketiga, air yang masuk bersama bahan baku dianggap tidak bereaksi dan keluar bersama *slurry*. Keempat, tidak terdapat kehilangan massa akibat kebocoran, penguapan, atau reaksi samping yang signifikan. Kelima, pada perhitungan neraca energi, sistem diasumsikan tidak mengalami kehilangan panas ke lingkungan dan tidak melibatkan kerja poros. Keenam, panas reaksi diperlakukan sebagai energi yang dilepaskan oleh reaksi eksotermis dan berkontribusi dalam mempertahankan suhu operasi reaktor. Dengan adanya asumsi tersebut, hasil perhitungan dalam penelitian ini digunakan untuk mengevaluasi keseimbangan massa dan energi berdasarkan pendekatan teoritis. Oleh karena itu, pernyataan mengenai kestabilan proses dibatasi pada hasil neraca massa dan energi, sedangkan evaluasi efisiensi aktual secara menyeluruh masih memerlukan data tambahan seperti kehilangan panas aktual, konsumsi utilitas, profil suhu reaktor, dan komposisi *slurry* hasil analisis laboratorium.

Perhitungan neraca massa dilakukan berdasarkan hukum kekekalan massa[11]. Pada kondisi tunak, persamaan umum neraca massa dapat dituliskan dalam Persamaan (1) sebagai berikut:

$$\sum m_{in} = \sum m_{out} \quad (1)$$

Tahap awal perhitungan dilakukan dengan menentukan massa komponen murni berdasarkan fraksi kemurnian bahan baku. Massa komponen murni dihitung menggunakan Persamaan (2):

$$m_{murni} = m_{total} \times X \quad (2)$$

sedangkan massa air yang terkandung dalam bahan baku dihitung menggunakan persamaan (3):

$$m_{H_2O} = m_{total} \times (1 - X) \quad (3)$$

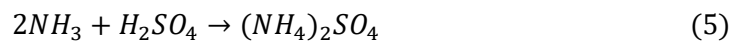
dengan m_{murni} adalah massa komponen murni, m_{total} adalah massa total bahan baku, dan X adalah fraksi kemurnian bahan.

Setelah massa komponen murni diperoleh, laju alir massa dikonversi menjadi laju alir molar menggunakan Persamaan (4) berikut:

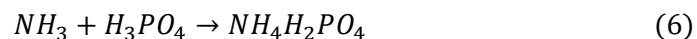
$$n = \frac{m}{BM} \quad (4)$$

dengan n adalah laju alir molar, m adalah laju alir massa, dan BM adalah berat molekul masing-masing komponen.

Reaksi yang dianalisis dalam unit *preneutralizer* terdiri atas dua reaksi utama. Reaksi pertama adalah pembentukan ammonium sulfat dari amonia dan asam sulfat, seperti terlihat pada Persamaan (5):



Reaksi kedua adalah pembentukan monoammonium phosphate dari amonia dan asam fosfat, seperti terlihat pada Persamaan (6):



Penentuan pereaksi pembatas dilakukan dengan membandingkan rasio molar aktual terhadap koefisien stoikiometri masing-masing komponen seperti terlihat pada Persamaan (7):

$$Rasio = \frac{n_{aktual}}{koefisien\ stoikiometri} \quad (7)$$

Komponen dengan nilai rasio terkecil ditetapkan sebagai pereaksi pembatas. Setelah pereaksi pembatas diketahui, jumlah produk yang terbentuk dihitung berdasarkan hubungan stoikiometri reaksi. Sisa reaktan dihitung dari selisih antara jumlah mol awal dan jumlah mol yang bereaksi. Perhitungan neraca energi dilakukan untuk mengevaluasi distribusi energi pada unit *preneutralizer*. Pada kondisi tunak, persamaan umum neraca energi dapat dinyatakan dalam Persamaan (8) sebagai berikut:

$$\Sigma Q + \Sigma(mh)_{in} = \Sigma(mh)_{out} \quad (8)$$

Perubahan entalpi sensibel masing-masing komponen dihitung berdasarkan perbedaan antara suhu masuk dan suhu operasi reaktor menggunakan Persamaan (9):

$$\Delta H = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (9)$$

dengan ΔH adalah perubahan entalpi, m adalah laju alir massa, C_p adalah kapasitas panas [12][13], dan ΔT adalah perbedaan suhu antara suhu operasi dan suhu masuk komponen.

Nilai kapasitas panas dihitung berdasarkan korelasi empiris sebagai fungsi suhu, seperti terlihat pada Persamaan (10):

$$C_p = A + BT + CT^2 \quad (10)$$

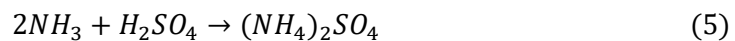
Panas reaksi dihitung berdasarkan jumlah mol produk yang terbentuk dan nilai entalpi reaksi. Karena reaksi netralisasi bersifat eksotermis, panas reaksi berperan sebagai energi yang dilepaskan ke dalam sistem. Besarnya panas reaksi dihitung menggunakan Persamaan (11):

$$Q_{reaksi} = \sum n \cdot \Delta H_{reaksi}^{\circ} \quad (11)$$

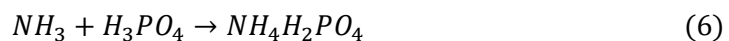
Dalam penelitian ini, Q_{reaksi} dinyatakan sebagai besarnya panas yang dilepaskan oleh reaksi eksotermis dalam satuan kJ/jam. Secara termodinamika, nilai ΔH_{reaksi} untuk reaksi eksotermis bernilai negatif. Namun, panas yang dilepaskan dapat disajikan sebagai nilai positif apabila dinyatakan sebagai kontribusi energi masuk ke dalam sistem. Penjelasan konvensi tanda ini penting untuk menjaga konsistensi interpretasi neraca energi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data operasi aktual, aliran masuk ke unit *preneutralizer* terdiri atas NH_3 , H_2SO_4 , H_3PO_4 , serta air yang berasal dari kandungan bahan baku. Setelah dilakukan koreksi terhadap kemurnian bahan, diperoleh massa komponen murni yang terlibat dalam reaksi serta massa air yang ikut masuk ke sistem. Air tidak terlibat langsung dalam reaksi netralisasi, tetapi tetap diperhitungkan dalam neraca massa karena keluar bersama produk *slurry*. Reaksi pertama yang terjadi adalah pembentukan ammonium sulfat melalui reaksi antara NH_3 dan H_2SO_4 , yang ditunjukkan pada persamaan (5).



Berdasarkan data massa masuk, NH_3 sebesar 2.763,60 Kg/jam dan H_2SO_4 sebesar 4.314,30 Kg/jam dikonversi ke dalam satuan Kmol untuk menentukan pereaksi pembatas. Jumlah mol NH_3 diperoleh sebesar 162,56 Kmol/jam, sedangkan jumlah mol H_2SO_4 sebesar 44,02 Kmol/jam. Karena jumlah NH_3 yang tersedia lebih besar dibanding kebutuhan stoikiometri, maka H_2SO_4 menjadi pereaksi pembatas dan diasumsikan habis bereaksi. Sedangkan sebagian NH_3 masih tersisa dan bereaksi pada tahap berikutnya. Produk ammonium sulfat yang terbentuk sebesar 5.811,10 kg/jam. Reaksi kedua adalah pembentukan monoammonium phosphate melalui reaksi antara sisa NH_3 dan H_3PO_4 , yang ditunjukkan pada persamaan (6).



Jumlah NH_3 sisa dari reaksi pertama sebesar 74,53 Kmol/jam, sedangkan jumlah mol H_3PO_4 yang masuk ke sistem sebesar 194,61 Kmol/jam. Berdasarkan stoikiometri reaksi pembentuk monoammonium phosphate, perbandingan jumlah H_3PO_4 yang tersedia, maka NH_3 menjadi pereaksi pembatas sehingga seluruh NH_3 sisa dari reaksi pertama diasumsikan habis bereaksi. Sebaliknya, H_3PO_4 tersedia dalam jumlah berlebih sehingga sebagian tidak bereaksi dan tetap berada dalam sistem. Produk monoammonium phosphate yang terbentuk sebesar 8.569,10 kg/jam, sedangkan sisa H_3PO_4 sebesar 11.769,26 kg/jam.

Tabel 2. Neraca massa pada unit *preneutralizer*

Komponen	Massa masuk (kg/jam)	Massa keluar (kg/jam)
NH_3	2.763,6000	-
H_2SO_4	4.314,3000	-
H_3PO_4	19.072,0000	11.769,2588
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	-	5.811,0980
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	-	8.569,0980
H_2O	4.890,1000	4.890,1000
Total	31.040,0000	31.040,0000

Berdasarkan Tabel 2, total massa masuk dan total massa keluar sistem masing-masing sebesar 31.040 kg/jam. Kesetaraan massa masuk dan keluar menunjukkan bahwa neraca massa terpenuhi pada kondisi tunak berdasarkan asumsi perhitungan. Tidak adanya selisih massa menunjukkan

bahwa dalam model perhitungan ini tidak terdapat akumulasi massa, kehilangan material, maupun reaksi samping yang diperhitungkan[14]. Keberadaan sisa H_3PO_4 menunjukkan bahwa asam fosfat berada dalam kondisi berlebih. Pengoperasian unit *preneutralizer* dengan kondisi asam fosfat berlebih umum dilakukan untuk meminimalkan keberadaan amonia bebas dan menjaga kestabilan *slurry* selama proses granulasi pupuk NPK berlangsung[14]. Kondisi ini dapat dikaitkan dengan strategi operasi untuk memastikan NH_3 bereaksi secara sempurna sehingga keberadaan amonia bebas dalam *slurry* dapat diminimalkan. Pengendalian amonia bebas penting untuk menjaga kualitas produk dan meminimalkan kehilangan amonia selama proses berlangsung[15]. Namun demikian, jumlah H_3PO_4 berlebih juga perlu dikendalikan agar komposisi *slurry* tetap sesuai dengan spesifikasi proses dan tidak menyebabkan ketidakseimbangan formulasi unsur hara pada produk pupuk NPK. Dari sisi proses, hasil neraca massa menunjukkan bahwa pembentukan *slurry* sangat dipengaruhi oleh rasio molar antara NH_3 , H_2SO_4 , dan H_3PO_4 . Rasio ini menentukan distribusi produk antara ammonium sulfate dan monoammonium phosphate, sekaligus menentukan jumlah asam fosfat yang tersisa[9]. Oleh karena itu, neraca massa dapat digunakan sebagai dasar evaluasi awal untuk mengoptimalkan penggunaan bahan baku dan menjaga konsistensi komposisi produk.

Perhitungan neraca energi dilakukan dengan mempertimbangkan perubahan entalpi aliran masuk, panas reaksi, dan entalpi aliran keluar. Perubahan entalpi sensibel terjadi karena adanya perbedaan antara suhu masuk masing-masing komponen dan suhu operasi reaktor sebesar $120\text{ }^\circ\text{C}$. NH_3 masuk pada suhu $-11,9\text{ }^\circ\text{C}$ sehingga mengalami kenaikan suhu yang lebih besar dibandingkan H_2SO_4 dan H_3PO_4 yang masuk pada suhu $30\text{ }^\circ\text{C}$. Perbedaan suhu ini menyebabkan kontribusi entalpi NH_3 perlu diperhitungkan secara cermat dalam neraca energi. Berdasarkan hasil perhitungan, total perubahan entalpi aliran masuk diperoleh sebesar $70.936,18\text{ kJ/jam}$, sedangkan total perubahan entalpi aliran keluar sebesar $853.325,88\text{ kJ/jam}$. Selisih kebutuhan energi tersebut dipenuhi oleh panas reaksi netralisasi yang berlangsung di dalam *preneutralizer*. Reaksi antara NH_3 dengan H_2SO_4 dan H_3PO_4 merupakan reaksi eksotermis, sehingga menghasilkan panas dalam jumlah besar. Panas reaksi yang dilepaskan sebesar $12.417.621,59\text{ kJ/jam}$ dan menjadi komponen energi paling dominan dalam sistem.

Tabel 3. Neraca energi pada unit *preneutralizer*

Komponen	Nilai input (kJ/jam)	Nilai output (kJ/jam)
NH_3	-79.099,0192	-
H_3PO_4	143.787,8786	-32.505,3118
H_2SO_4	-7.176,5079	-
H_2O	13.423,8271	867.676,4433
$(NH_4)_2SO_4$	-	10.455,5740
$NH_4H_2PO_4$	-	7.699,1757
Q reaksi	12.417.621,5900	-
ΔH reaksi	-	11.635.231,8858
Total	12.488.557,7670	12.488.557,7670

Berdasarkan Tabel 3, total energi masuk dan total energi keluar memiliki nilai yang sama, yaitu $12.488.557,77\text{ kJ/jam}$. Hasil ini menunjukkan bahwa neraca energi terpenuhi pada kondisi tunak berdasarkan asumsi perhitungan. Kesetimbangan energi tersebut mengindikasikan bahwa tidak terdapat akumulasi energi dalam sistem yang dianalisis. Besarnya panas reaksi menunjukkan bahwa reaksi netralisasi memberikan kontribusi energi yang sangat signifikan terhadap sistem. Energi yang dilepaskan dari reaksi dapat membantu meningkatkan suhu campuran hingga mencapai suhu operasi reaktor. Dengan demikian, panas reaksi berperan sebagai sumber energi internal yang mendukung pemeliharaan suhu operasi pada $120\text{ }^\circ\text{C}$. Akan tetapi, karena jumlah panas yang dilepaskan sangat besar, pengendalian suhu tetap menjadi aspek penting dalam operasi *preneutralizer*. Jika panas reaksi tidak dikendalikan dengan baik, peningkatan suhu berlebih dapat terjadi dan berpotensi memengaruhi kestabilan proses, kualitas *slurry*, serta keselamatan operasi. Oleh karena itu, meskipun

hasil neraca energi menunjukkan kondisi setimbang, sistem tetap memerlukan pengendalian proses yang memadai, terutama melalui pengaturan laju alir bahan baku, rasio reaktan, dan pemantauan suhu reaktor secara kontinu. Selain panas reaksi, air juga berperan penting dalam distribusi energi sistem. Nilai entalpi air pada aliran keluar yang relatif besar menunjukkan bahwa air berfungsi sebagai media pembawa panas di dalam *slurry*. Keberadaan air membantu mendistribusikan panas dalam campuran reaksi dan mendukung pembentukan *slurry* yang homogen. Dengan demikian, kandungan air dalam bahan baku perlu diperhitungkan secara cermat karena berpengaruh terhadap neraca massa, neraca energi, viskositas *slurry*, dan karakteristik proses lanjutan pada tahap granulasi[16]. Secara umum, hasil analisis neraca energi menunjukkan bahwa unit *preneutralizer* berada dalam kondisi setimbang berdasarkan pendekatan *steady state*. Optimasi proses pada unit NPK dilakukan untuk meningkatkan efisiensi produk dan stabilitas operasi pabrik[17] Namun, pernyataan mengenai efisiensi proses perlu disampaikan secara hati-hati. Berdasarkan data yang tersedia, sistem dapat dinyatakan stabil secara massa dan energi, tetapi belum cukup untuk menyimpulkan efisiensi aktual secara menyeluruh. Evaluasi efisiensi yang lebih komprehensif memerlukan data tambahan, seperti kehilangan panas aktual, konsumsi utilitas, efisiensi pencampuran, profil suhu reaktor, serta komposisi kimia *slurry* hasil produksi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan neraca massa dan neraca energi pada unit *preneutralizer* dalam proses produksi pupuk NPK, sistem menunjukkan kondisi setimbang berdasarkan asumsi operasi tunak. Hasil neraca massa menunjukkan bahwa total massa masuk dan massa keluar masing-masing sebesar 31.040 kg/jam, sehingga tidak terdapat akumulasi massa dalam sistem perhitungan. Reaksi netralisasi menghasilkan ammonium sulfat sebesar 5.811,10 kg/jam dan monoammonium phosphate sebesar 8.569,10 kg/jam, dengan sisa H_3PO_4 sebesar 11.769,26 kg/jam. Keberadaan H_3PO_4 berlebih menunjukkan bahwa sistem dioperasikan untuk memastikan NH_3 habis bereaksi, sehingga potensi amonia bebas dalam *slurry* dapat diminimalkan. Hasil neraca energi menunjukkan bahwa total energi masuk dan keluar masing-masing sebesar 12.488.557,77 kJ/jam. Panas reaksi eksotermis sebesar 12.417.621,59 kJ/jam merupakan kontribusi energi paling dominan dalam sistem dan berperan penting dalam mempertahankan suhu operasi reaktor pada 120 °C. Dengan demikian, unit *preneutralizer* menunjukkan setimbang berdasarkan pendekatan neraca massa dan energi dengan asumsi *steady state* berdasarkan pendekatan neraca massa dan energi. Namun, evaluasi efisiensi aktual proses masih memerlukan data tambahan terkait kehilangan panas, konsumsi utilitas, profil suhu reaktor, serta komposisi aktual *slurry*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada PT Petrokimia Gresik atas dukungan data operasi yang digunakan dalam penelitian ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan arahan, masukan, dan dukungan dalam penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Atmadja FK, Febrilla WH, Widjaja T. Pra-Desain Pabrik Pupuk NPK Dari DAP, ZA, Dan KCL Dengan Metode Mixed Acid Route Berkapasitas 500.000 Ton/Tahun. Jurnal Teknik ITS 2021;10:F216–21.
- [2] Himawan AFI, Al Habtsi MA. Pengendalian Kualitas Produk Npk Phonska Dengan Metode Statistical Processing Control Pada Unit Produksi 2a Pt. Petrokimia Gresik. Jurnal Manajerial 2018;5:75–83.
- [3] Yuniarti A, Solihin E, Arief Putri AT. Aplikasi Pupuk Organik Dan N, P, K Terhadap Ph Tanah, P-Tersedia, Serapan P, Dan Hasil Padi Hitam (*Oryza Sativa L.*) Pada Inceptisol. Jurnal Kultivasi 2020;19:4.

- [4] Susilo E, Pujiwati H, Husna M. Pertumbuhan Dan Hasil Sorgum Pada Pemberian Beberapa Dosis Pupuk NPK Majemuk Di Lahan Pesisir. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia* 2021;23:15–22.
- [5] Prasetya T. Laporan Kerja Praktei Departemen Produksi II A Unit NPK-Phonska I. Gresik: 2024.
- [6] Kusuma MAP, Sagala FML, Kusworo TD, Laksono SD. Performance Evaluation Of Rotary Dryer And Granulator In NPK Steam Granulation Plant Production Department Of IIB PT Petrokimia Gresik. *Jurnal Global Ilmiah* 2024;1:287–302.
- [7] Gresik Ptp. Perhitungan Neraca Energi Converter (30-R-1201) Pada Unit Asam Sulfat Pabrik Iii B N.D.
- [8] Maya PP, Dewi AR, Rohmadi R, Sa'diyah K. Evaluasi Neraca Massa Dan Neraca Energi Pada Proses Distilasi Atmosferik Di Unit Kilang Ppsdm Migas Cepu. *Jurnal Teknologi Separasi* 2023;9.
- [9] Smith JM. *Introduction To Chemical Engineering Thermodynamics* 1950.
- [10] Departemen Produksi II A PT Petrokimia Gresik. Data DCS Control Room NPK-Phonska I. Gresik: 2026.
- [11] Yuliana HR. *Neraca Massa Dan Neraca Panas*. Yogyakarta: Deepublish; 2019.
- [12] Yaws CL. *Yaws' Handbook Of Thermodynamic And Physical Properties Of Chemical Compounds*. New York: John Wiley & Sons; 1998.
- [13] Perry R, Green D, Maloney JO. *Perry's Chemical Engineers' Handbook. 6 Th*. New York: Mcgraw-Hill; 1984.
- [14] Hidayat WJ, Chalim A. Evaluasi Perhitungan Neraca Massa Preneutralizer Tank-Granulator Pada Unit Phonska 4 Pabrik Ii B Pt Petrokimia Gresik. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi* 2022;8:791–6.
- [15] Rohmah ZNAC, Setiawan O. Analisis Neraca Massa Pada Alat Centrifuge Dan Rotary Dryer ZA I Bagian Produksi IA PT. Petrokimia Gresik. *Jurnal Integrasi Proses Dan Lingkungan* 2023;1.
- [16] Marintika GF, Cundari L, Kurniawan FH. Proses Pengeringan NPK Berdasarkan Evaluasi Rotary Dryer Dan Kadar Air NPK Di PT. Petrokimia Gresik. *Jurnal Rekayasa Mesin* 2023;14:273–89.
- [17] Setyanto A, Purwanto F, Anurogo DS. Optimasi Struktur Proses Dan Penerapan Metodologi Six Sigma Di Unit NPK Phonska–PT Petrokimia Gresik. *Jurnal Rekayasa Proses* 2009;3:22.