

Review Paper

Evaluasi *Low Pressure Decomposer* (LPD) di Unit Purifikasi *Urea Plant* Terhadap *Q Loss*, *Middle temperature* dan *Feed temperature*

Evaluation of the Low Pressure Decomposer (LPD) in the Urea Plant Purification Unit Against Q Loss, Middle Temperature and Feed Temperature

Prahady Susmanto^a, Muhammad Ilham Fatullah^a, Jimmy Aldian Maulana^a, Mareta Dwi Saharany^a, Riski Yona^a.

^aTeknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Palembang-Prabumulih KM 32, Indralaya, Sumatera Selatan, 30662, Indonesia

Artikel Histori : Submitted 22 April 2024, Revised 2 May 2024. Accepted 30 May 2024, Online 31 May 2024.

 <https://doi.org/10.33096/jcpe.v9i1.726>

ABSTRAK: Proses pembuatan pupuk urea membutuhkan bahan baku dasar NH_3 dan CO_2 dengan melewati proses sintesa, purifikasi, *recovery*, dan kristalisasi. Alat utama yang terdapat pada proses purifikasi terdiri dari *high pressure decomposer*, *low pressure decomposer*, dan *gas separator*. *Low pressure decomposer* (LPD) merupakan serangkaian peralatan yang berfungsi untuk memisahkan urea dari komponen berupa *ammonium carbamate*, *excess ammonia*, air dan biuret tersisa. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja alat *low pressure decomposer* berdasarkan efisiensi panas. Adapun data yang digunakan yaitu data aktual LPD dari *urea plant* sebanyak 4 data. Metode penelitian menggunakan metode analisis neraca massa dan neraca panas yang dilanjutkan dengan perhitungan nilai efisiensi LPD terhadap pengaruh *Qloss*, *middle temperature*, dan *feed temperature*. Hasil perhitungan menunjukkan *Qloss* rata-rata sebesar 1032679,935 kJ, *middle temperature* rata-rata sebesar 124,17°C dan *feed temperature* rata-rata sebesar 128,07°C serta nilai efisiensi panas secara aktual pada LPD plant rata-rata sebesar 96,13%.

Kata Kunci: Efisiensi, *Low Pressure Decomposer*, Purifikasi, Urea.

ABSTRACT: The process of making urea fertilizer requires the basic raw materials NH_3 and CO_2 by going through a synthesis, purification, recovery and crystallization process. The main tools in the purification process consist of a high pressure decomposer, low pressure decomposer, and gas separator. Low pressure decomposer (LPD) is a series of equipment that functions to separate urea from components in the form of ammonium carbamate, excess ammonia, water and remaining biuret. This research aims to evaluate the performance of a low pressure decomposer based on heat efficiency. The data used is 4 actual LPD data from the urea plant. The research method uses mass balance and heat balance analysis methods followed by calculating LPD efficiency values on the influence of *Qloss*, middle temperature and feed temperature. The calculation results show an average *Qloss* of 1032679.935 kJ, an average middle temperature of 124.17°C and an average feed temperature of 128.07°C and the actual heat efficiency value in the LPD plant averages 96.13%.

Keywords: Efficiency, Low Pressure Decomposer, Purification, Urea.

1. PENDAHULUAN

Urea merupakan salah satu pupuk yang paling penting, produksi pupuk tersebut dilakukan dengan cara mereaksikan NH_3 dan CO_2 menggunakan tekanan dan temperatur tinggi [1] [2]. Urea juga merupakan salah satu jenis pupuk dengan kandungan nitrogen yang cukup tinggi sehingga biasa digunakan pada sektor pertanian [3]. Kandungan nitrogen pada pupuk urea sekitar 45-46% [4]. Pada umumnya kualitas pupuk urea ditentukan beberapa faktor yaitu, berdasarkan kandungan nitrogen, *moisture*, ukuran distribusi urea *prill* dan

Published by
Department of Chemical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Universitas Muslim Indonesia, Makassar

Address

Jalan Urip Sumohardjo km. 05 (Kampus 2 UMI) Makassar- Sulawesi Selatan
e-mail : jcpe@umi.ac.id

Corresponding Author *
prahady.susmanto@ft.unsri.ac.id



kandungan biuret [5]. Reaksi pembentukan urea terjadi secara eksotermik dengan mereaksikan NH_3 dan CO_2 yang kemudian akan membentuk *ammonium carbamate*. *Ammonium carbamate* yang terbentuk didehidrasi secara endotermik mengubahnya menjadi urea [6] [7]. Larutan urea sintesis yang diproduksi di seksi sintesis akan dikirim ke seksi purifikasi.

Unit purifikasi bertujuan untuk menguraikan dan memisahkan *excess ammonia*, air, dan *ammonium carbamate* yang tidak terkonversi dari urea dengan pemanasan dan penurunan tekanan [8]. Pada unit *purification*, akan terjadi proses dekomposisi larutan *carbamate* menjadi gas NH_3 dan gas CO_2 [9]. Proses dekomposisi ini biasanya dapat terjadi pada temperatur 120-165°C [10]. *Ammonia* dan *ammonium carbamate* berlebih yang terkandung dalam larutan urea diuraikan dan dipisahkan sebagai gas dari larutan urea menggunakan *high pressure decomposer* dan *low pressure decomposer* [11] [12].

Low pressure decomposer merupakan serangkaian peralatan yang berfungsi untuk memisahkan urea dari komponen berupa *ammonium carbamate*, *excess ammonia*, air dan biuret tersisa dengan menggunakan tekanan rendah $\pm 2,5 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ dan temperatur sekitar 117°C. *Low pressure decomposer* terdiri dari ruang *flashing* pada bagian atas, empat *sieve tray*, penyekat, *packed bed raschig ring*, dan penampung larutan yang berada di bagian bawahnya. Bagian bawah *packed bed* dipasang pipa yang mana pada bagian bawahnya mempunyai lubang distributor (*sparger pipe*), untuk memasukkan CO_2 sebagai *stripping*, kemudian nantinya akan mengubah keseimbangan pada tekanan parsial dan gas CO_2 , sehingga *ammonium carbamate* terurai menjadi gas *ammonia*, CO_2 , dan air.

CO_2 *stripping* yang dimasukkan ke pipa *sparger*, pada tekanan dan temperatur tersebut tidak bereaksi dengan *ammonium carbamate*, tapi bertindak menguraikan *ammonium carbamate* menjadi gas *ammonia* dan CO_2 yang keduanya akan naik melalui *raschig ring* [13]. Tujuan memasukan CO_2 pada alat *low pressure decomposer* adalah untuk meningkatkan proses penyerapan gas yang dihasilkan dari dekomposisi pada alat *high pressure decomposer* yang belum terurai atau dihilangkan sehingga di LPD dilakukan dengan penambahan CO_2 *stripping*. Injeksi gas CO_2 juga bertujuan mencegah terjadinya hidrolis urea [14].

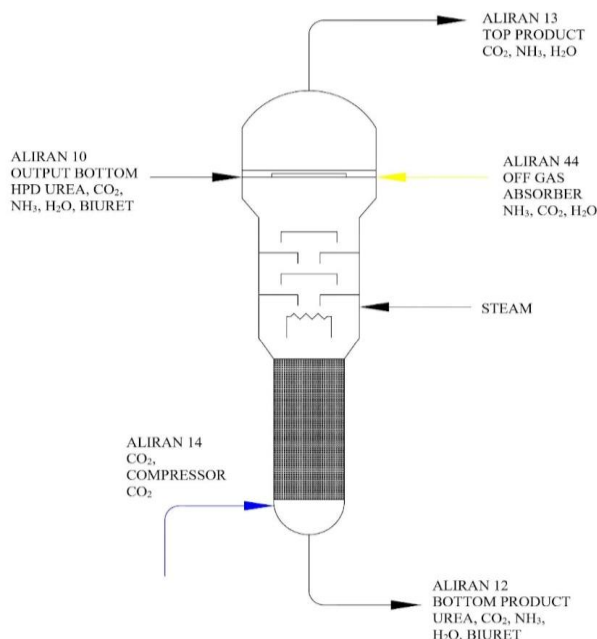
Alat *low pressure decomposer* yang terdapat pada unit purifikasi urea berperan penting dalam proses pembuatan urea (NH_2CONH_2). Alat *low pressure decomposer* (LPD) sering digunakan untuk proses pembuatan urea. Proses dekomposisi atau penghilangan *ammonium carbamate* yang efisien dari larutan kaya urea di bagian evaporator atau penguapan akan menghasilkan penghematan energi yang besar [15]. Oleh karena itu, evaluasi performa alat *low pressure decomposer* diperlukan untuk mendapatkan hasil yang maksimal dengan cara menghitung dekomposisi urea, pembentukan biuret, hidrolisa urea dan efisiensi panas dari alat tersebut.

Evaluasi alat *decomposer* juga telah dilakukan sebelumnya. Apriliantina dkk [11] melakukan evaluasi dan efisiensi kinerja pada *medium pressure decomposer* di pabrik urea yang menunjukkan bahwa semakin tinggi *rate* operasi dan panas yang digunakan maka efisiensi kinerja *medium pressure decomposer* menurun. Nilai efisiensi dari *medium pressure decomposer* dalam perhitungan masih mendekati efisiensi desain sehingga dikatakan bahwa kondisi *medium pressure decomposer* masih dalam performa yang baik. Jika temperatur turun, maka NH_3 dan CO_2 yang terbawa ke *bottom medium pressure decomposer* bertambah banyak, akibatnya maka NH_3 akan banyak terbawa bersama *urea solution*. Tetapi jika temperatur naik maka jumlah *ammonia* dan karbondioksida keluaran *medium pressure decomposer* akan berkurang tetapi hidrolisa urea dan pembentukan biuret akan bertambah.

Penelitian lain juga melakukan evaluasi kinerja pada *high pressure decomposer* yang menunjukkan kinerja pada HPD (*high pressure decomposer*) masih berfungsi secara baik ditinjau dari neraca massa sistem [14]. Jika kinerja dari HPD (*high pressure decomposer*) bekerja cukup baik, hal ini dikarenakan massa yang masuk pada alat HPD memiliki hasil yang sama dengan massa yang keluar menuju LPD (*low pressure decomposer*). Adapun penelitian lainnya yang mengevaluasi keuntungan pabrik urea dimana HPD dan LPD berbagi beban pada kegagalan separator gas [16]. Apabila *gas separator* terjadi kegagalan, maka sistem hanya beroperasi dengan dua unit HPD dan LPD yang menghasilkan jumlah urea lebih sedikit dibandingkan ketika semua unit beroperasi.

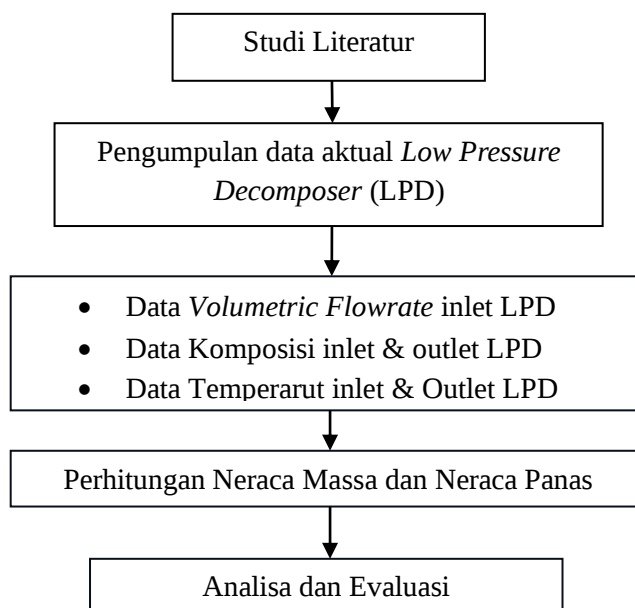
2. METODE PENELITIAN

Secara desain alat *low pressure decomposer* (LPD) memiliki 3 aliran input dan 2 aliran output. Berikut ini merupakan contoh gambar *low pressure decomposer* (LPD) secara desain.



Gambar 1. Alat *Low Pressure Decomposer* (LPD) Secara Desain

Untuk melakukan perhitungan evaluasi kinerja *low pressure decomposer* (LPD), diperlukan data-data khusus yang akan diolah dalam perhitungan. Data tersebut diperoleh dari *Control Room unit* industri pupuk urea. Data operasi yang dibutuhkan yaitu, komposisi input output, temperatur input output, dan *flowrate* input output pada LPD. Data-data yang digunakan dalam mengevaluasi kinerja LPD pada industri pupuk urea merupakan data aktual yang diambil sebanyak 4 data pada 4 periode waktu. Data kondisi operasi tersebut diambil karena merupakan data terbaru yang terekam pada data panel kontrol. Metodologi penelitian yang digunakan terdapat pada gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

Evaluasi kinerja *low pressure decomposer* dilakukan dengan menghitung neraca massa dan panas dari setiap aliran pada LPD dengan tujuan akhir menghitung efisiensi panas *low pressure decomposer*.

Rumus perhitungan yang digunakan dalam evaluasi ini sebagai berikut.

- 1) Panas Sensibel

$$Q = n \times C_p \times dT \dots\dots\dots (1)$$

- 2) Panas Penguapan

$$Q = n \times \Delta H_v \dots\dots\dots (2)$$

- 3) Qloss

$$Q_{input} = Q_{output} \dots\dots\dots (3)$$

$$Q_{masuk} + Q_{steam} = Q_{keluar} + Q_{penguapan} + Q_{reaksi} + Q_{loss} \dots\dots\dots (4)$$

$$Q_{loss} = (Q_{masuk} + Q_{steam}) - (Q_{keluar} + Q_{penguapan} + Q_{reaksi}) \dots\dots\dots (5)$$

- 4) Efisiensi Panas

$$\text{Efisiensi Panas} = \frac{Q_{input} - Q_{loss}}{Q_{input}} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Neraca Massa

Berikut 4 data neraca massa yang telah diperoleh dari industri pupuk urea.

- 1) Data Aktual 1

Tabel 1. Data Aktual 1 Neraca Massa Aktual LPD

Komponen	Input			Output	
	Aliran 10 (Liquid)	Aliran 44 (Gas)	CO ₂ Compressor Aliran 14 (Gas)	Aliran 12 (Liquid)	Aliran 13 (Gas)
Urea	53140	-	-	52680	-
NH ₃	722,2525	380	-	659,5659	1022,0301
CO ₂	-	579	1419	-	2740,862
H ₂ O	18160	870	-	18179,11	722
Biuret	342	-	-	368	-
NH ₂ COONH ₄	2263,748	-	-	1504,434	-
Total	74628	1829	1419	73391,11	4484,893
		77876			77876

- 2) Data Aktual 2

Tabel 2. Data Aktual 2 Neraca Massa Aktual LPD

Komponen	Input			Output	
	Aliran 10 (Liquid)	Aliran 44 (Gas)	CO ₂ Compressor Aliran 14 (Gas)	Aliran 12 (Liquid)	Aliran 13 (Gas)
Urea	53560	-	-	53090	-
NH ₃	667,9509	230	-	583,2767553	1575,1980
CO ₂	-	305	1299	-	3227,0437
H ₂ O	14690	2200	-	16277,75834	480
Biuret	285	-	-	310	-
NH ₂ COONH ₄	3832,049	-	-	1525,72345	-
Total	73035	2735	1299	71786,7583	5282,2416
		77069			77069

3) Data Aktual 3

Tabel 3. Data Aktual 3 Neraca Massa Aktual LPD

Komponen	Input			Output	
	Aliran 10 (Liquid)	Aliran 44 (Gas)	CO ₂ Compressor Aliran 14 (Gas)	Aliran 12 (Liquid)	Aliran 13 (Gas)
Urea	54660	-	-	54180	-
NH ₃	2387,7937	554	-	479,7886	3280,8959
CO ₂	-	460	1167	-	2678,2482
H ₂ O	17410	880	-	16737,8569	1419
Biuret	360	-	-	391	-
NH ₂ COONH ₄	3328,1996	-	-	2040,2093	-
Total	78146	1894	1167	73828.8558	7378.14411
		81207			81207

4) Data Aktual 4

Tabel 4. Data Aktual 4 Neraca Massa Aktual LPD

Komponen	Input			Output	
	Aliran 10 (Liquid)	Aliran 44 (Gas)	CO ₂ Compressor Aliran 14 (Gas)	Aliran 12 (Liquid)	Aliran 13 (Gas)
Urea	54530	-	-	54060	-
NH ₃	2865,451	530	-	1077,1983	4041,9773
CO ₂	-	490	1268	0	3965,5455
H ₂ O	19170	1210	-	18610,4771	1660
Biuret	280	-	-	370	-
NH ₂ COONH ₄	5304,549	-	-	1862.8016	-
Total	82150	2230	1268	75980,4771	9667,5228
		85648			85648

3.2 Neraca Panas

Berikut beberapa data neraca panas dari industri pupuk urea yang digunakan dalam hasil pembahasan menggunakan metode perhitungan Qloss dan Efisiensi Panas.

1) Data Aktual 1

Tabel 5. Data Aktual 1 Neraca Panas Aktual Low Pressure Decomposer

Input (kJ)		Output (kJ)	
Qmasuk	20583594,01	Qkeluar	17714424,29
Qsteam	5581320,192	Qpenguapan	1798177,672
		Qreaksi	5190575,8946
		Qloss	1461736,34
Total	26164914,20	Total	26164914,20

2) Data Aktual 2

Tabel 6. Data Aktual 2 Neraca Panas Aktual *Low Pressure Decomposer*

Input (kJ)		Output (kJ)	
Qmasuk	18382389,82	Qkeluar	19170901,30
Qsteam	5006704,64	Qpenguapan	628266,9954
		Qreaksi	2416708,9008
		Qloss	1173217,26
Total	23389094,46	Total	23389094,46

3) Data Aktual 3

Tabel 7. Data Aktual 3 Neraca Panas Aktual *Low Pressure Decomposer*

Input (kJ)		Output (kJ)	
Qmasuk	21826200,91	Qkeluar	19411361,90
Qsteam	5217527,808	Qpenguapan	3645146,157
		Qreaksi	3454400,9293
		Qloss	532819,73
Total	27043728,72	Total	27043728,72

4) Data Aktual 4

Tabel 8. Data Aktual 4 Neraca Panas Aktual *Low Pressure Decomposer*

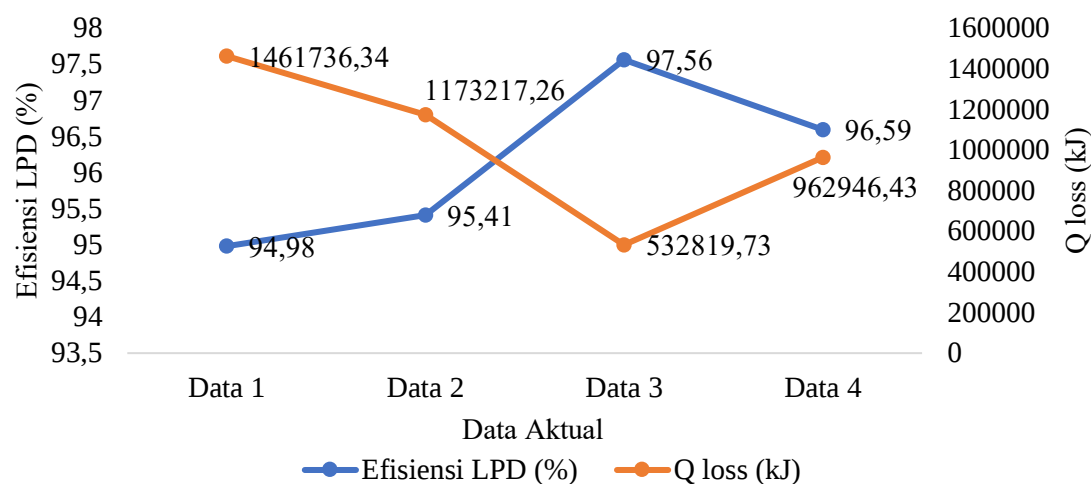
Input (kJ)		Output (kJ)	
Qmasuk	28231808,11	Qkeluar	20760761
Qsteam	5613815,808	Qpenguapan	4694594,524
		Qreaksi	7427321,9572
		Qloss	962946,43
Total	33845623,92	Total	33845623,92

3.3 Pengaruh Q loss terhadap Efisiensi *Low Pressure Decomposer* (LPD)

Panas yang hilang atau Q loss merupakan suatu proses transfer panas dari suatu sistem ke lingkungan sekitarnya [17]. Transfer panas dapat terjadi melalui berbagai mekanisme, seperti konduksi konveksi dan radiasi [18]. Ketika panas keluar dari suatu sistem atau objek, peristiwa ini dianggap sebagai kehilangan panas. Apabila terjadi penurunan nilai efisiensi panas terhadap data desain, maka yang perlu dilihat adalah nilai heat loss [19]. Gambar 3 menunjukkan pengaruh Q loss terhadap efisiensi LPD. Data pertama menunjukkan nilai Q loss sebesar 1461736,34 kJ dengan nilai efisiensi terendah yaitu 94,49%, data kedua mendapatkan nilai Q loss sebesar 1173217,26 kJ dengan besar efisiensi 95,41%, data ketiga memiliki nilai Q loss terkecil yaitu sebesar 532819,73 kJ dan dengan efisiensi terbesar yaitu 97,56%, dan data terakhir mendapat nilai Q loss sebesar 962946,41 kJ dengan efisiensi LPD 96,59%. Dari data ini didapatkan rata-rata Qloss sebesar 1032679,935 kJ.

Dari grafik dibawah, dapat diketahui bahwa adanya hubungan antara efisiensi *low pressure decomposer* (LPD) dengan panas yang hilang selama proses berlangsung (Q loss) yaitu berbanding terbalik, sehingga dapat diartikan semakin kecil panas yang hilang (Q loss) maka efisiensi panas pada *low pressure decomposer* akan semakin besar [20]. Q loss pada *low pressure decomposer* (LPD) memiliki pengaruh yang cukup signifikan. Q loss selama proses dekomposisi dapat mempengaruhi temperatur dan tekanan gas yang digunakan dalam reaksi kimia untuk memurnikan urea, dikarenakan hal tersebut maka diperlukan nilai Q loss yang sekecil mungkin, sehingga proses dekomposisi di *low pressure decomposer* (LPD) dapat bekerja dengan maksimal [21]. Selain itu, penelitian [22] menyatakan bahwa kinerja dari suatu sistem merupakan

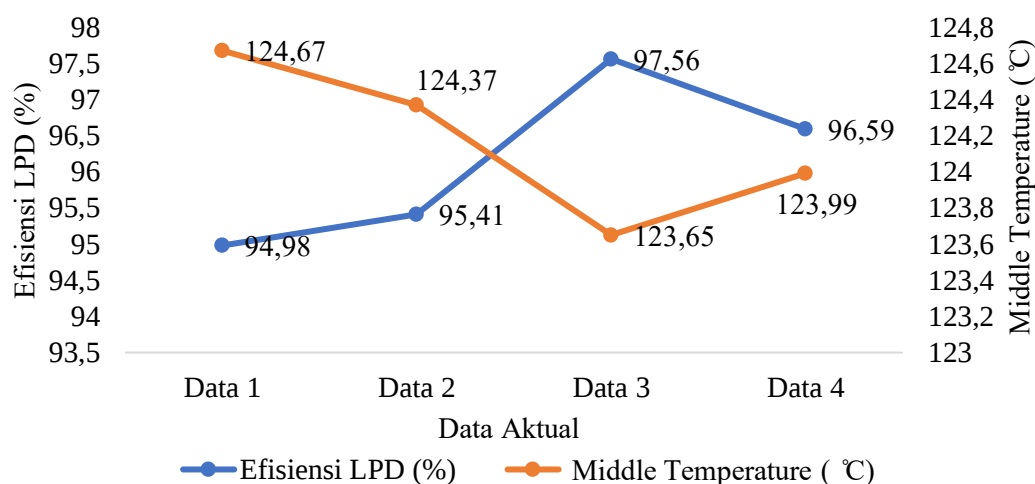
faktor yang penting untuk sebuah peralatan ataupun sistem karena semakin rendah nilai efisiensi kinerja peralatan tersebut maka semakin sering diperlukannya *maintenance*. Apabila suatu alat atau mesin tidak dilakukan *maintenance* secara rutin, maka menyebabkan kerusakan yang parah dan mengeluarkan biaya yang besar untuk perbaikan.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Efisiensi LPD dan Q loss LPD

3.4 Pengaruh *Middle temperature* terhadap Efisiensi *Low Pressure Decomposer* (LPD)

Gambar 4 menunjukkan perbandingan antara *middle temperature* LPD dan efisiensi LPD dalam proses purifikasi urea menggunakan alat LPD. Dilihat bahwa pada data pertama diperoleh nilai efisiensi terkecil sebesar 94,98% dengan *middle temperature* 124,67°C, kemudian pada data kedua didapatkan nilai efisiensi sebesar 95,41% dengan *middle temperature* 124,37°C, pada data ketiga diperoleh nilai efisiensi paling tinggi yaitu 97,56% dengan *middle temperature* 123,65 °C, dan pada data keempat didapatkan nilai efisiensi sebesar 96,59% dengan *middle temperature* 123,99°C. Dari keempat data tersebut, didapatkan rata-rata *middle temperature* sebesar 124.17°C.

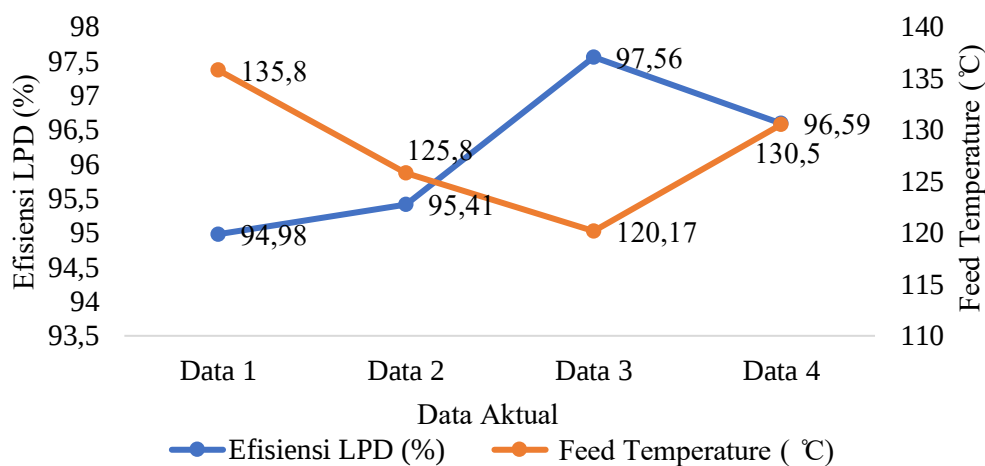


Gambar 4. Grafik Perbandingan Efisiensi LPD dan *Middle temperature* LPD

Salah satu pengaruh *middle temperature* terhadap efisiensi proses adalah akan dapat mempengaruhi kecepatan reaksi. Peningkatan *feed temperature* cenderung meningkatkan kecepatan reaksi. Namun, perlu dicatat bahwa ada batasan temperatur optimal untuk kecepatan reaksi tertentu, dan temperatur yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan laju reaksi yang tidak diinginkan sehingga memicu pertumbuhan zat yang berbeda, termasuk biuret dan turunan urea lainnya, oleh karena itu *feed temperature* harus dijaga karena jika terlalu tinggi dapat terjadi pembentukan biuret [23][24].

3.5 Pengaruh *Feed temperature* terhadap Efisiensi *Low Pressure Decomposer* (LPD)

Efisiensi dari *low pressure decomposer* dalam konteks dekomposisi urea dapat dipengaruhi oleh *feed temperature* atau temperatur pakan, yaitu temperatur dari bahan umpan yang masuk ke dalam dekomposer [25]. Dilakukan perhitungan perbandingan antara *feed temperature* dan efisiensi *low pressure decomposer* untuk mengetahui pengaruh dari *feed temperature* terhadap efisiensi *low pressure decomposer*. Gambar 5 menunjukkan perbandingan antara efisiensi LPD dan *feed temperature*. Data pertama diperoleh nilai efisiensi terkecil sebesar 94,98% dengan *feed temperature* 135,8°C, kemudian pada data kedua didapatkan nilai efisiensi sebesar 95,41% dengan *feed temperature* 125,8°C, pada data ketiga diperoleh nilai efisiensi paling tinggi yaitu 97,56% dengan *feed temperature* 120,17°C, dan pada data keempat didapatkan nilai efisiensi sebesar 96,59% dengan *feed temperature* 130,5°C. Dari data ini, didapatkan *feed temperature* rata-rata sebesar 128,07°C.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Efisiensi LPD dan *Feed Temperature*

Feed temperature dapat memiliki efek signifikan pada distribusi produknya, hal itu disebabkan oleh reaksi dekomposisi urea memiliki keseimbangan termal yang dapat dipengaruhi oleh temperatur. Keseimbangan ini berkaitan dengan distribusi produk antara NH_3 dan CO_2 . Peningkatan temperatur dapat menggeser keseimbangan ke arah pembentukan lebih banyak amonia. Pembentukan amonia didapat dari reaksi hidrolisa yang terjadi pada urea, hal tersebut akan mengurangi konsentrasi urea yang diinginkan dan akan mengurangi nilai efisiensi dari *low pressure decomposer* (LPD) [26].

4. KESIMPULAN

Hasil perhitungan menunjukkan Q loss rata-rata sebesar 1032679,935 kJ yang dapat mempengaruhi temperatur dan tekanan gas yang digunakan pada reaksi kimia untuk memurnikan urea. Sedangkan, rata-rata *middle temperature* sebesar 124.17°C, hal ini dapat mempengaruhi kecepatan reaksi sehingga perlu dijaga. Selain itu, *feed temperature* rata-rata pada LPD sebesar 128,07°C memberikan pengaruh pada kesetimbangan reaksi pembentukan gas amonia. Berdasarkan hasil penelitian, nilai efisiensi panas secara aktual pada LPD

plant rata-rata sebesar 96,13% sehingga dapat disimpulkan bahwa efisiensi kinerja dari alat *low pressure decomposer* (LPD) kurang stabil.

Apabila *middle temperature* lebih rendah dari temperatur operasi maka proses dekomposisi pada alat tidak akan berjalan dengan maksimal, sehingga produk yang dihasilkan juga akan kurang maksimal. Namun, apabila *middle temperature* jauh lebih tinggi dari temperatur operasi, maka jumlah biuret yang dihasilkan akan meningkat. Maka dari itu, *middle temperature* selama proses berlangsung perlu ditentukan dengan tepat guna meminimalkan sisa NH_3 di dalam larutan, serta meminimalkan pengaruh terhadap hidrolisa urea dan pembentukan biuret.

Pengembangan penelitian selanjutnya dengan memanfaatkan data aktual yang diolah sebaiknya menggunakan program simulasi proses seperti hysys sehingga mampu memberikan gambaran dan prediksi terhadap hasil evaluasi serta memahami permasalahan di lapangan untuk meningkatkan nilai evaluasi dari *low pressure decomposer* (LPD). Oleh karena itu, penelitian selanjutnya akan dilakukan simulasi dengan memodifikasi beberapa faktor untuk memberikan optimalisasi dari penggunaan LPD di Unit *Urea Plant*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Isla, H. A. Irazoqui, dan C. M. Genoud, "Simulation of a Urea Synthesis Reactor. 1. Thermodynamic Framework," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 32, hlm. 2662–2670, 1993.
- [2] H. A. Irazoqui, M. A. Isla, dan C. M. Genoud, "Simulation of a Urea Synthesis Reactor. 2. Reactor Model," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 32, hlm. 2671–2680, 1993.
- [3] C. J. Overdahl, G. W. Rehm, dan H. L. Meredith, "Fertilizer Urea," 1987.
- [4] F. Sukiman, Budiman, dan Rinduwati, "Pengaruh Frekuensi Pemberian Pupuk Nitrogen Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Rumput Pakchong (*Pennisetum purpureum* cv. Thailand)," *Buletin Nutrisi dan Makanan Ternak*, vol. 17, no. 1, hlm. 62–73, 2023.
- [5] P. Baboo, "Urea Product Quality," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 7, no. 4, hlm. 103–111, 2018, [Daring]. Tersedia pada: www.ureaknowhow.com
- [6] U. Zardi dan V. Lagana, "Method For The Production Of Urea And Purification of Water," US4314077, 1982
- [7] K. Haryani, M. R. Scesario, M. Sugiarto, dan Suryanto, "Evaluasi Efisiensi Reaktor Urea (R-201) Pabrik Urea 1A PT. Pupuk Kalimantan Timur," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. 3, hlm. 79–83, 2018.
- [8] D. S. Wardani, U. A. Sari, dan T. Widjaja, "Pra Desain Pabrik Pupuk Urea dari Amonia dan Karbon Dioksida Berbasis Advance Process for Cost and Energy Saving 21 (ACES 21)," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 12, no. 3, hlm. F142–F147, 2023.
- [9] S. Yonathan, E. Ekawati, dan A. Samsi, "Pembuatan Operator Training Simulator Unit Proses Stripping dan Purification pada Pabrik Urea Menggunakan Fasilitas Pemrograman Function Block pada Distributed Control System," *Ktrl.Inst (J.Auto.Ctrl.Inst)*, vol. 5, no. 1, hlm. 29–37, 2013.
- [10] N. H. Zuhria, "Efisiensi Panas Evaporator Unit Urea Operasi Pabrik II-B PT. PUSRI Palembang," Makasar, 2019.
- [11] A. Putribarafike, J. Hutagalung, dan A. R. Setyawati, "Evaluasi dan Efisiensi Kinerja Medium Pressure Decomposer Pada Unit Urea Operasi Pabrik-4 PT. Pupuk Kalimantan Timur," dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknologi V*, Samarinda, Okt 2019, hlm. 142–147.

- [12] A. Q. Fadhilah dan C. B. Muslikhah, "Laporan Magang Departemen Produksi IA Unit ZA PT Petrokimia Gresik," Gresik, 2021.
- [13] M. I. Dwiputri, A. Nawasanjani, Renanto, dan R. P. Anugraha, "Pra Desain Pabrik Urea dari Amonia dan CO₂ Berbasis Proses Stamicarbon CO₂ Stripping," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 10, no. 1, hlm. F13–F18, 2021.
- [14] A. A. Melkias dan M. Salsabila, "Evaluasi Kinerja High Pressure Decomposer," dalam *Prosiding The 11th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung*, Bandung, Agu 2020, hlm. 26–27.
- [15] S. Zahid, N. Ramzan, dan M. Rustam, "Simulation and Parametric Study of Urea Decomposition Section," dalam *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences*, 2014, hlm. 277–288.
- [16] S. Upasana dan K. Rajveer, "Profit Evaluation of Urea Plant where HPD and LPD Share Load upon the Failure of Gas Separator," *IJSRR*, vol. 2019, no. 3, hlm. 395–404, 2019, [Daring]. Tersedia pada: www.ijssr.org
- [17] K. Syska dan Ropiudin, "Perpindahan Panas pada Pengering Tipe Drum Berputar pada Kondisi Tanpa Beban," *Agroteknika*, vol. 3, no. 1, hlm. 1–15, Jun 2020, doi: 10.32530/agroteknika.v3i1.68.
- [18] E. Irawati, W. Kurniawan, dan C. Huda, "Keefektifan Pembelajaran Perpindahan Kalor Secara Konduksi, Konveksi, dan Radiasi Berbantuan Alat Peraga Sederhana untuk Pemahaman Konsep Mahasiswa," *Physics Education Research Journal*, vol. 1, no. 1, hlm. 21–28, 2019.
- [19] E. Nurisman, M. A. Putri, dan M. Bidari, "Analisis Performa Persentase Stripping dan Efisiensi Panas Stripper (DA-101) pada Unit Sintesa Urea PUSRI-II B," *Journal Of Chemical Process Engineering*, vol. 7, no. 2, hlm. 109–116, 2022.
- [20] M. Septiani, D. Dhasvianty, M. M. Z, dan R. Wati, "Pengaruh Temperatur Operasi Terhadap Penurunan Kadar Biuret Dalam Urea Prill dan Evaporator Tingkat II di PT. Pupuk Kaltim," *Journal Of Chemical Process Engineering*, vol. 5, no. 1, hlm. 27–32, 2020, [Daring]. Tersedia pada: <https://jurnal.teknologiindustriumi.ac.id/index.php/JCPE/index>
- [21] E. Tarigan, *ENERGI TERBARUKAN*. Surabaya, 2020.
- [22] R. A. Faizah dan Ya'umar, "Analisis Keandalan dan Safety Integrated Level pada Stripper PV-3900 di Industri Pengolahan Minyak," *JURNAL TEKNIK ITS*, vol. 4, no. 1, hlm. 1–6, 2015.
- [23] A. N. Farros, Y. Rahmawati, dan A. Candraningtyas, "Pra Desain Pabrik Pupuk Urea dari Ammonia (NH₃) dan Karbon Dioksida (CO₂) dengan Menggunakan Teknologi ACES21," *JURNAL TEKNIK ITS*, vol. 12, no. 2, hlm. F124–F129, 2023.
- [24] A. Woods, A. Quirk, dan I. J. Burgess, "Electrochemical and SEIRAS studies of urea and biuret adsorption on polycrystalline gold," *Journal of Electroanalytical Chemistry*, vol. 819, hlm. 152–158, Jun 2018, doi: 10.1016/j.jelechem.2017.09.058.
- [25] A. D. Danansya dan R. M. Aziz, "Pra Rancangan Pabrik Urea dari Amonia dan Karbon Dioksida dengan Proses ACES Kapasitas 65.000 Ton/Tahun," Yogyakarta, 2022.
- [26] E. Sitorus dkk., *KIMIA INDUSTRI*. Padang: GET PRESS INDONESIA, 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.researchgate.net/publication/376583249>