



EVALUASI DAN EFISIENSI KINERJA *MEDIUM PRESSURE DECOMPOSER* PADA UNIT UREA OPERASI PABRIK-4 PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR

Apriliantina Putribarafike^{1*}, Jonson Hutagalung², Agus Restu Setyawati¹

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman
Jl. Sambaliung No. 9, Kampus Gunung Kelua, Samarinda

²Superintendent Unit Urea Operasi Pabrik 4, PT. Pupuk Kalimantan Timur
Jl. James Simandjuntak No.1, Bontang
Email: apriliantinap@gmail.com

Abstrak

Medium Pressure Decomposer merupakan salah satu alat proses pemurnian tingkat II dengan tekanan rendah pada unit Urea di Pabrik 4 PT. Pupuk Kalimantan Timur yang berfungsi untuk mendekomposisi sisa karbamat yang tidak bereaksi pada alat proses pemurnian tingkat II dengan tekanan tinggi serta untuk meningkatkan konsentrasi Urea Solution menjadi 62%. Medium Pressure Decomposer dioperasikan pada tekanan 17,8 kg/cm²G dan temperature 160 °C, dimana panas dekomposisi disuplai dari tube bagian luar (shell side) steam SLU yang bertekanan 5,3 kg/cm²G. Pada kondisi operasi saat ini temperature operasi tidak mencapai optimal yaitu berkisar antara 157-158 °C yang dapat mempengaruhi kinerja dari Medium Pressure Decomposer menurun serta mempengaruhi konsentrasi Urea Solution yang dihasilkan. Sehingga perlu dilakukannya evaluasi dan efisiensi kinerja Medium Pressure Decomposer pada kondisi aktual yang diambil datanya untuk 3 hari pada bulan Agustus dibandingkan dengan kondisi design yang dilakukan dengan menghitung neraca massa dan neraca panas serta menghitung efisiensi dekomposisinya. Hasil yang didapatkan pada kondisi aktual 3 hari di bulan Agustus efisiensi dekomposisi pada Medium Pressure Decomposer semakin tinggi rate operasi dan semakin banyak panas yang digunakan maka efisiensi kinerja Medium Pressure Decomposer menurun, namun masih tidak jauh dari efisiensi pada kondisi design maka alat tersebut masih layak.

Kata kunci: *Medium Pressure Decomposer, dekomposisi, temperature, efisiensi*

1. PENDAHULUAN

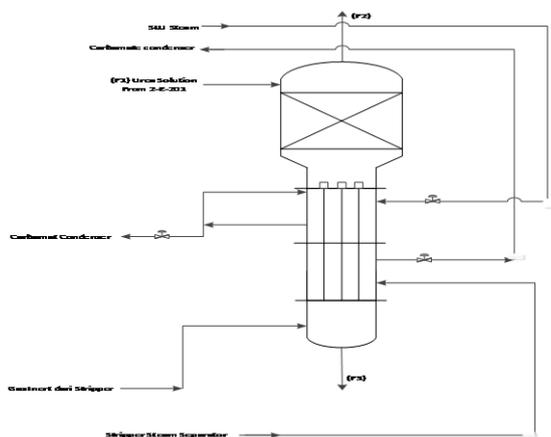
Pabrik-4 PT. Pupuk Kalimantan Timur telah berdiri sejak tahun 2002. Pabrik-4 terdiri dari tiga unit, yaitu unit utilitas, unit ammonia, dan unit urea. Pabrik ini dirancang memproduksi 1725 MTPD urea granul yang menggunakan Proses *Snamprogetti NH₃ Stripping*. Dalam pembuatan pupuk urea granul terdapat beberapa tahapan dalam rangkaian prosesnya. Salah satunya pada proses dekomposisi berlangsung pada tiga tahap yaitu dekomposisi pada tekanan tinggi di *stripper* (2-E-201), pada tekanan medium di *Medium Pressure Decomposer* (2-E-204 A/B), dan pada tekanan rendah *Low Pressure Decomposer* (2-E-205). Reaksi dekomposisi merupakan reaksi bolak-balik dan endotermis, sehingga reaksi tersebut akan semakin baik pada tekanan yang lebih rendah, atau dengan penambahan panas (Umberto Zardi, 1980). *Medium Pressure Decomposer* dioperasikan pada tekanan 17,8 kg/cm²G dengan temperatur 160 °C dimana panas dekomposisi disuplai dari tube bagian luar (*shell side*) oleh steam SLU bertekanan 5,3 kg/cm²G dan *steam condensate* dari *shell side stripper*. Larutan dengan kadar CO₂ yang rendah keluar dari bagian bawah *Stripper* di ekspansikan hingga mencapai tekanan 17.8 kg/cm²G, larutan Urea dipisahkan dari gas yang dihasilkan dalam proses ekspansi sebelum masuk ke *Medium Pressure Decomposer* menggunakan *Medium Pressure Decomposer Separator*. Campuran gas dan *liquid* mengalami proses *flash* sehingga larutan *carbamate* terurai menjadi NH₃ dan CO₂. Kemudian sisa karbamat dalam campuran di dekomposisi oleh *Medium Pressure Decomposer* agar konsentrasi urea naik dari 43% menjadi 62% berat. Sebagai pemanas untuk proses dekomposisi di gunakan steam pemanas SLU dengan tekanan 5,3 kg/cm²G dan suhu 160 °C. Selanjutnya larutan Urea yang keluar

dari *bottom Medium Pressure Decomposer* di tampung dalam *Urea Solution Holder*. Temperatur operasi larutan proses pada *bottom Decomposer Holder* akan menentukan konsentrasi urea yang dihasilkan pada outletnya. Suhu di *bottom Holder* diatur dengan mengatur jumlah steam SLU yang masuk ke *shell Medium Pressure Decomposer*. Jika aliran steam terlalu tinggi menyebabkan suhu pada *bottom Medium Pressure Decomposer* akan naik, sehingga kemungkinan pembentukan biuret semakin tinggi (Team Start Up, 2002).

Oleh karena itu, efisiensi kinerja *Medium Pressure Decomposer* menjadi faktor penting agar reaksi dekomposisi berjalan semakin baik guna meningkatkan efisiensi proses pada pembuatan urea. Apabila efisiensi diketahui, maka dapat diketahui bagaimana performa dari alat tersebut.

2. METODE

Evaluasi kinerja *MP Decomposer* dilakukan dengan menghitung neraca massa dan panas yang diberikan oleh steam serta yang digunakan untuk penguraian karbamat. Hasil perhitungan yang diperoleh diharapkan dapat menjelaskan komposisi dari masing-masing komponen disetiap alur masuk dan keluar, jumlah ammonium karbamat yang terdekomposisi, serta efisiensi *Medium Pressure Decomposer*. Dengan menggunakan neraca massa akan diperoleh besarnya laju alir komponen yang terlibat dalam sistem *MP Decomposer*. Dalam semua perhitungan neraca massa ini digunakan basis 1 jam operasi dan asumsi aliran *steady state*.



Gambar 1. Aliran Arus *Medium Pressure Decomposer*

a. Menghitung laju alir 1 (F1)

Laju alir 1 diperoleh melalui pendekatan *design* dengan mengalikan *rate* operasi pabrik aktual terhadap *flow design* aliran keluar *stripper*. Pada aliran 1 terdapat CO₂, NH₃, Urea, Karbamat dan H₂O.

$$F_{1 \text{ aktual}} = \text{Rate} \times F_{1 \text{ design}} \quad (1)$$

Setelah mendapat laju alir aliran 1, dapat di hitung massa tiap komponen dengan mengalikan laju alir 1 dan wt % komponen.

$$\text{Massa} = F_{1 \text{ aktual}} \times \% \text{ wti} \quad (2)$$

dengan :

- F_{1 aktual} = laju alir aliran 1
- F_{1 design} = laju alir sesuai design pabrik
- % wti = fraksi massa masing-masing komponen



Data analisa laboratorium mengukur kandungan karbamat dalam bentuk NH_3 dan CO_2 , untuk mengetahui berapa banyak karbamat yang terdekomposisi dalam *Medium Pressure Decomposer*, perlu di hitung mol tiap komponen.

$$\text{mol } i = \frac{\text{massa } i}{\text{BM } i} \quad (3)$$

Seluruh CO_2 dalam campuran dianggap berikatan dengan NH_3 membentuk karbamat, sehingga tidak ada CO_2 bebas.

b. Perhitungan laju alir 3

Perhitungan laju alir 3 dicari menggunakan neraca mol urea aliran 1 dan aliran 3.



Dari reaksi pembentukan biuret, dapat diketahui urea aliran 3 yang diubah menjadi biuret, sehingga ditentukan neraca mol sebagai berikut:

$$\text{mol urea } F_1 = \text{mol urea } F_3 + \text{mol biuret} \quad (4)$$

$$\text{mol urea } F_1 = \frac{\%wt \text{ urea } \times F_3}{\text{BM urea}} + \frac{\%wt \text{ biuret } \times F_3}{\text{BM biuret}} \quad (5)$$

Setelah di dapat laju alir aliran 3, dapat dihitung massa dan mol tiap komponen dengan menggunakan rumus seperti pada persamaan (2) dan (3). Data %wt komponen di dapat dari hasil analisis laboratorium operasi pabrik 4 Pupuk Kaltim.

c. Perhitungan laju alir 2

Laju alir aliran 2 dicari dengan cara menjumlahkan massa dari masing-masing komponen.

$$\text{mol } \text{NH}_3\text{-}F_2 = (\text{mol } \text{NH}_3\text{-}F_1 - \text{mol } \text{NH}_3\text{-}F_3) + \text{mol biuret} \quad (6)$$

$$\text{Massa } \text{CO}_2\text{-}F_2 = \text{massa } \text{CO}_2\text{-}F_1 - \text{massa } \text{CO}_2\text{-}F_3 \quad (7)$$

$$\text{Massa } \text{H}_2\text{O}\text{-}F_2 = \text{massa } \text{H}_2\text{O}\text{-}F_1 - \text{massa } \text{H}_2\text{O}\text{-}F_3 \quad (8)$$

$$F_2 = \text{massa } \text{NH}_3\text{-}F_2 + \text{massa } \text{CO}_2\text{-}F_2 + \text{massa } \text{H}_2\text{O}\text{-}F_2 \quad (9)$$

Dari semua neraca massa dan neraca mol yang telah dijabarkan tersebut, dapat diketahui pula jumlah mol karbamat yang berhasil terdekomposisi kembali menjadi reaktannya, yaitu NH_3 dan CO_2 , serta dapat diketahui jumlah pengurangan mol urea akibat terbentuknya biuret saat proses dekomposisi berlangsung.

$$\text{mol karbamat}_{F_1} = \text{mol } \text{CO}_2\text{-}F_1 \quad (10)$$

$$\text{mol karbamat}_{F_3} = \text{mol } \text{CO}_2\text{-}F_3 \quad (11)$$

$$\text{mol karbamat}_{\text{terdekomposisi}} = \text{mol karbamat}_{F_1} - \text{mol karbamat}_{F_3} \quad (12)$$

$$\text{mol urea}_{\text{membentuk biuret}} = \text{mol urea}_{F_1} - \text{mol urea}_{F_3} \quad (13)$$

$$\text{mol urea}_{\text{membentuk biuret}} = 2 \times \text{mol biuret}_{F_3} \quad (14)$$

d. Perhitungan Efisiensi *MP Decomposer* menggunakan neraca massa

Yang dimaksud dengan efisiensi dekomposisi (α) adalah perbandingan antara jumlah CO_2 yang terdekomposisi pada aliran 2 dengan jumlah CO_2 masuk *Medium Pressure Decomposer* pada aliran 1.

$$\alpha = \left[\frac{CO_2 - F_2}{CO_2 - F_1} \right] \times 100 \quad (15)$$

Dari hasil perhitungan neraca massa selanjutnya dilakukan perhitungan neraca panas, data yang diperlukan :

Kapasitas panas (C_p) untuk masing-masing zat dalam wujud gas maupun liquid dengan persamaan sebagai berikut:

Data kapasitas panas dapat dilihat pada *Handbook of Thermodynamic Diagram Volume 4*

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4 \text{ kJ/kgmol K} \quad (16)$$

$$\int C_p dT = A (T - 298,15) + B/2 (T^2 - 298,15^2) + C/3 (T^3 - 298,15^3) + D/4 (T^4 - 298,15^4) + E/5 (T^5 - 298,15^5) \quad (17)$$

Sehingga panas umpan masuk (Q_F)

$$Q_F = n \cdot \int C_p dT \quad (18)$$

Untuk perhitungan C_p Biuret menggunakan persamaan sebagai berikut

$$C_p \text{ Biuret} = 0,9686 - 0,63339E^{-2X_c} + 0,1104E^{-4X_c^2} + (0,3928E^{-3} + 0,2834E^{-4X_c}) \quad (19)$$

T referensi = $25^\circ\text{C} + 273,15 = 298,15 \text{ K}$

Keterangan: X_c : Konsentrasi Biuret

Untuk menghitung kebutuhan panas *steam* pada *MP Decomposer* dapat menggunakan rumus pada persamaan (20) hingga persamaan (23)

$$Q_{\text{steam}} = Q_1 - (Q_2 + Q_3) \quad (20)$$

$$\Delta H_{\text{laten steam}} = H_V - H_L \quad (21)$$

$$Q_{\text{steam}} = m_{\text{steam}} \times \Delta H_{\text{laten steam}} \quad (22)$$

$$m_{\text{steam}} = \frac{Q_{\text{steam}}}{\Delta H_{\text{laten steam}}} \quad (23)$$

Menghitung panas *steam* masuk dan keluar dari *MP Decomposer* dengan menggunakan persamaan (24) dan persamaan (25), sedangkan untuk menghitung panas *steam* yang digunakan dengan persamaan (26)

panas masuk ($Q_{si \text{ (in)}}$)

$$Q_{si \text{ (in)}} = m_{\text{steam}} \times H_V \quad (24)$$

Panas keluar ($Q_{so \text{ (out)}}$)

$$Q_{so \text{ (out)}} = m_{\text{steam}} \times H_L \quad (25)$$

$$Q_{\text{yang digunakan}} = Q_{si \text{ (in)}} - Q_{so \text{ (out)}} \quad (26)$$

Menghitung efisiensi kinerja *MP Decomposer* (η) dengan persamaan (27)

$$\eta = \frac{Q_{\text{yang digunakan}}}{Q_{si \text{ (masuk)}}} \times 100\% \quad (27)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengamatan

Analisa	Q in (kkal)	Qreaksi (kkal)	η (%)
Design (rate 100%)	$52,33 \times 10^6$	$35,96 \times 10^6$	69
13 Agustus 2019 (rate 103,6%)	$55,28 \times 10^6$	$37,68 \times 10^6$	68,20
14 Agustus 2019 (rate 103,6%)	$56,32 \times 10^6$	$38,42 \times 10^6$	68,22
15 Agustus 2019 (rate 104,1%)	$61,21 \times 10^6$	$41,71 \times 10^6$	68,15

Pada Tabel 1 adalah neraca panas perbandingan masing-masing *stream*, dapat dilihat bahwa semakin tinggi rate operasi berpengaruh terhadap kalor yang bereaksi, Q reaksi merupakan panas yang dihasilkan dari proses dekomposisi yang terjadi di didalam *Medium Pressure Decomposer*. Q reaksi pada desain yaitu dengan rate 100% sebesar $35,96 \times 10^6$ kkal sedangkan pada data aktual didapat data:

- Untuk rate operasi 103,6% adalah $37,68 \times 10^6$ kkal
- Untuk rate operasi 103,6% adalah $38,42 \times 10^6$ kkal
- Untuk rate operasi 104,1% adalah $41,71 \times 10^6$ kkal

Dari hasil neraca panas yang didapatkan diketahui bahwa proses dekomposisi yang terjadi di dalam *Medium Pressure Decomposer* semakin besar rate operasi semakin besar pula panas reaksi yang dihasilkan.

Dari data massa steam dapat dihitung panas masuk sistem dengan mengalikan dengan entalpi uap dan juga dapat di hitung panas yang keluar dengan mengalikan dengan entalpi cairan dilihat pada kondisi tekanannya. Pada perhitungan ini didapat nilai efisiensi dari *Medium Pressure Decomposer* secara desain dan aktual. Dengan rumus :

$$\eta = \frac{Q \text{ reaksi}}{Q_{si} \text{ (masuk)}} \times 100\%$$

Dimana nilai panas reaksi dibagi dengan panas masukan. Dari rumus tersebut didapatkan nilai efisiensi, efisiensi secara desain 69% dengan rate operasi 100% dan didapatkan nilai efisiensi secara actual diambil dari analisa selama 3 hari didapat:

- Untuk rate operasi 103,6% adalah 68,20%
- Untuk rate operasi 103,6% adalah 68,22%
- Untuk rate operasi 104,1% adalah 68,15%

Pada kondisi aktual 3 hari pada bulan Agustus didapat efisiensi dekomposisi pada *Medium Pressure Decomposer* semakin tinggi *rate* dan semakin banyak panas yang digunakan maka efisiensi kinerja *Medium Pressure Decomposer* menurun, namun masih tidak jauh dari kondisi desain maka alat *Medium Pressure Decomposer* masih layak.

Menurut Team Start Up (2002) faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja *Medium Pressure Decomposer*:

1. Temperatur

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. Selain itu pemakaian *steam* di *Medium Pressure Decomposer* akan berkurang tetapi pada *Low Pressure Decomposer* akan meningkat. Tetapi jika temperatur naik maka laju korosi dan erosi di *Medium Pressure Decomposer* akan meningkat, jumlah ammonia dan karbondioksida keluaran *Medium Pressure Decomposer* akan berkurang tetapi hidrolisa urea dan pembentukan biuret akan bertambah.



2. Tekanan

Pada pengaruh tekanan, jika tekanan operasi *Medium Pressure Decomposer* naik, maka temperatur atas *Medium Pressure Decomposer* akan menurun, akibatnya jumlah ammonia dan karbondioksida dalam larutan keluaran akan bertambah. Sedangkan jika tekanan turun, maka jumlah ammonia dan karbondioksida dalam larutan keluaran *Medium Pressure Decomposer* berkurang tetapi jumlah steam yang masuk akan bertambah

4. KESIMPULAN

1. Efisiensi pada *Medium Pressure Decomposer* secara desain sebesar 69 %.
2. Efisiensi pada *Medium Pressure Decomposer* secara actual di ambil dari analisa selama 3 hari di dapat untuk rate operasi sebesar 103,6 % ; 103,6% ; 104,1 % masing-masing adalah 68,20 % ; 68,22 % ; 68,15 %.
3. Nilai efisiensi dari *Medium Pressure Decomposer* dalam perhitungan masih mendekati efisiensi desain, hal ini dapat di simpulkan bahwa kondisi *Medium Pressure Decomposer* masih dalam performa yang baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami tujukan kepada PT. Pupuk Kalimantan Timur karena sudah diizinkan laporan ini untuk dijadikan makalah dalam SEMNASTEK V.

DAFTAR PUSTAKA

- Geankoplis, C.J., 2003, *Transport Processes and Unit Operations, 4nd Edition.*, Tokyo : Prentice-Hall International
- Smith. J. M, dkk. 2001. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics 6th Edition.* New York : Mc Graw-Hill
- Team Start Up. 2002. *Petunjuk Manual Operasi Pabrik-4.* PT. Pupuk Kalimantan Timur. Bontang, Kalimantan Timur.
- Umberto Zardi, et. al. 1980. *Method For The Production Of Urea And Purification Of Water.* US Patent 4314077.
- Yaws, Carl. L. 1996. *Handbook of Thermodynamic Diagram. Volume 4.* Inorganic Compounds and Element. Texas : Gulf Publishing Company