

# EVALUASI EKONOMI *STEAM TRIPPLE EFFECT EVAPORATOR* PADA PROSES PRODUKSI PUPUK AMMONIUM SULFAT II (ZA II) DI INDUSTRI PUPUK

Arum Kartikasari, Febrianti U. D. Pratiwi, Achmad Chumaidi  
Jurusan Teknik Kimia  
arumk3@gmail.com, [achmad.chumaidi@yahoo.com]

## ABSTRAK

*Tripple effect evaporator* merupakan salah satu alat terpenting yang digunakan dalam proses produksi pupuk ZA II. Proses evaporasi bertujuan untuk mendapatkan produk akhir berupa kristal dengan cara menguapkan kandungan air dalam pupuk ZA II yang menggunakan bahan baku *phospo gypsum*. Evaluasi proses pada *tripples effect evaporator* diperlukan untuk mengetahui kinerja evaporator karena pengotor yang terdapat pada evaporator akan mempengaruhi produksi pupuk ZA II. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari jumlah laju alir massa masuk dan keluar pada proses evaporasi dan untuk mempelajari ekonomi *steam* pada proses evaporasi dalam proses produksi pupuk ZA II. Perhitungan ekonomi *steam* diperoleh melalui persamaan neraca massa dan neraca panas. Nilai ekonomi *steam* yang dihasilkan sebesar 1,40 kg uap air/kg *steam*, sesuai dengan teori yaitu ekonomi *steam* dari *tripples effect evaporator* selalu lebih dari 1 kg uap air/kg *steam*.

**Kata kunci:** ekonomi *steam*, pupuk ZA II, *tripples effect evaporator*

## ABSTRACT

*Tripple effect evaporator* is the most important equipment that used in production process ZA II fertilizer. Purpose of evaporation process is to get the final product in crystals form by evaporating the water content in ZA II fertilizer using *phospho gypsum*. Evaluation process at *tripples effect evaporator* is required to determine the performance of evaporator because of impurities contained in evaporator will effect the production of ZA II fertilizer. The aims of this research is to study the amount of mass flow in and out of the evaporation process and to study the steam economy in evaporation process in ZA II fertilizer production process. Calculation of steam economy is obtained through mass balance and heat balance equations. The value of steam economy is 1.40 kg of water vapor/kg *steam*, according to the theory that the steam economy of the *tripples effect evaporator* is always more than 1 kg of water vapor/kg *steam*.

**Keywords:** steam economy, *tripples effect evaporator*, ZA II fertilizer

## 1. PENDAHULUAN

Pupuk ammonium sulfat (ZA) merupakan pupuk yang diminati di Indonesia. Proses produksi pupuk ZA II menggunakan bahan baku ammonium karbonat dengan *phospho gypsum* yang merupakan produk samping pengolahan asam fosfat. Proses produksi ZA II di industri dibagi dalam 6 unit yaitu unit karbonasi, unit reaksi, unit filtrasi, unit netralisasi, unit evaporasi kristalisasi, dan unit *drying-cooling*. Pada unit evaporasi kristalisasi memiliki peran penting dalam proses produksi ZA II karena produk akhir pupuk ZA II berbentuk kristal. *Tripples effect evaporator* berfungsi untuk menguapkan H<sub>2</sub>O dari larutan ammonium sulfat agar larutan menjadi pekat hingga terbentuk kristal ammonium sulfat (ZA). Evaluasi kinerja

evaporator sangat penting dilakukan untuk memantau apakah evaporator masih bekerja secara efisien atau tidak. Hasil pengukuran ekonomi uap (*steam*) evaporator efek tunggal adalah 0,78 kg air teruapkan per kg uap yang digunakan [1]. Penelitian lain [2] menunjukkan ekonomi *steam* tripple effect evaporator sebesar 2,05. Sedangkan pada *trippel effect evaporator* untuk proses desalinasi air laut menghasilkan ekonomi *steam* yaitu 2,06 [3]. Evaporasi adalah metode yang umum digunakan untuk meningkatkan konsentrasi dari suatu larutan dengan cara menguapkan air yang terkandung dalam larutan melalui pendidihan larutan tersebut di dalam suatu wadah dan mengambil uapnya [4]. Evaporator umumnya terdiri dari tiga bagian yaitu, penukar panas, bagain evaporasi (tempat dimana cairan mendidih lalu menguap), dan pemisah untuk memisahkan uap dari cairan lalu dimasukkan ke dalam kondenser (untuk diembunkan atau dikondensasi). Prinsip dasar dari *multiple effect evaporator* adalah menggunakan panas atau kalor yang dilepaskan dari proses kondensasi pada evaporator efek pertama untuk memberikan panas bagi efek selanjutnya. Uap yang terbentuk dari evaporator efek pertama akan memanaskan komponen yang sedang berada di evaporator efek kedua, ketika *steam* awal (*steam* langsung) sedang memanasi komponen yang berada pada evaporator efek pertama. Keuntungan utama penggunaan sistem *multiple effect evaporator* adalah penggunaan energi yang lebih ekonomis dan efisien. Ekonomi *steam* bagi sistem *multiple effect* ini bergantung pada jumlah efek (*number of effects*), evaporator dengan kapasitas besar lebih efisien dengan menggunakan sistem ini.

**Tabel 1.** Spesifikasi *trippel effect evaporator* di industri

Spesifikasi Evaporator	Efek 1	Efek 2	Efek 3
Tipe	<i>Vertical Cylindrical with conical bottom</i>	<i>Vertical Cylindrical</i>	<i>Crystal Vertical Cylindrical</i>
Tekanan operasi	707 torr	303 torr	107 torr
Suhu operasi	107 °C	84 °C	59 °C
Pemanasan	Menggunakan LPS ( <i>Low Pressure Steam</i> ) 2 kg/cm <sup>2</sup>	Uap panas evaporator efek pertama	Uap panas evaporator efek kedua

Rangkaian Evaporator disusun seri untuk mengoptimalkan proses evaporasi dan aliran *steam* diumpankan secara searah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari jumlah laju alir massa masuk dan keluar pada proses evaporasi dalam proses produksi pupuk ZA II dan untuk mempelajari ekonomi *steam* pada proses evaporasi dalam proses produksi pupuk ZA II.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk melakukan evaluasi ekonomi *steam trippel effect evaporator* pada proses produksi pupuk ZA II di industri pupuk adalah:

### 2.1. Data Primer

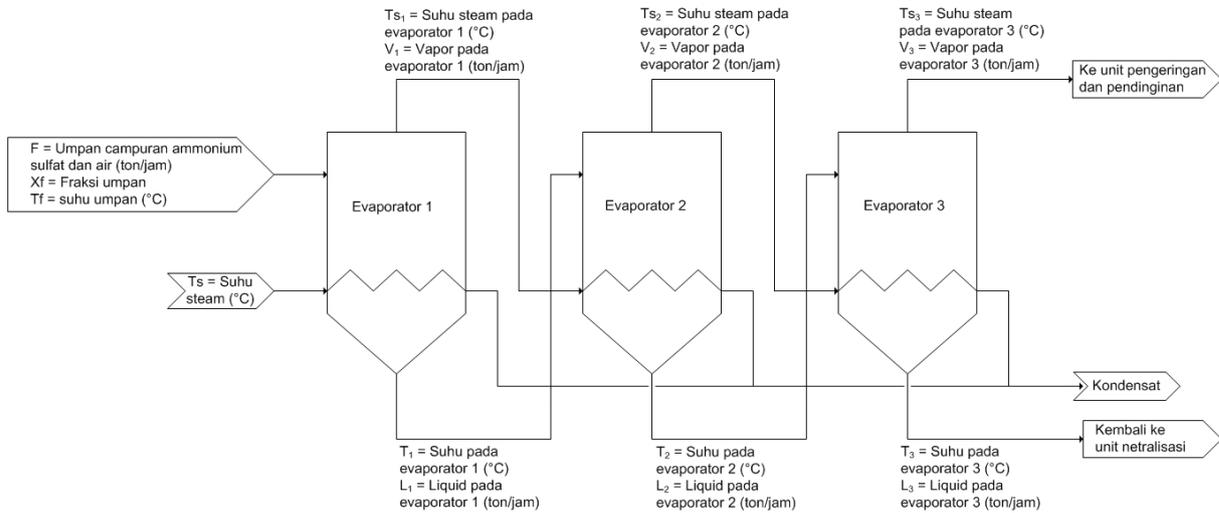
Data – data proses secara aktual diperoleh dari pengamatan langsung di industri.

### 2.2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh secara tidak langsung. Salah satu cara untuk memperoleh data tersebut yaitu studi literatur, dengan mengumpulkan data dari berbagai buku, jurnal, artikel dan internet yang dapat membantu perhitungan ekonomi *steam* proses evaporasi pada evaporator tiga efek.

### 2.3. Pengolahan Data

Perhitungan ekonomi *steam* tripple effect evaporator pada proses produksi pupuk ZA II di industri pupuk. Terdapat 10 tahapan yang harus dilakukan [5].



**Gambar 1.** Sistem *tripple effect evaporator* di industri

- Menentukan titik didih efek terakhir berdasarkan konsentrasi produk yang diinginkan dan tekanan di efek yang terakhir
- Menghitung jumlah total uap air yang diuapkan dengan asumsi bahwa  $V_1=V_2=V_3$  sehingga diperoleh total *liquid* ( $L_1, L_2, L_3$ )
 
$$F = L_3 + (V_1 + V_2 + V_3) \tag{1}$$

$$F.X_f = L_3.X_L + (V_1 + V_2 + V_3).X_V \tag{2}$$
- Menentukan kenaikan titik didih (BPR) ammonium sulfat ( $(NH_4)_2SO_4$ ) tiap efek
- Menghitung *heat capacity* cairan tiap efek
 

Neraca panas evaporator efek 1

$$F.Cp_f.(T_f - T_1) + S.\lambda_s = L_1.Cp_1.(T_1 - T_{ref}) + V_1.\lambda_1 \tag{3}$$

Neraca panas evaporator efek 2

$$L_1.Cp_1.(T_1 - T_2) + V_1.\lambda_1 = L_2.Cp_2.(T_2 - T_{ref}) + V_2.\lambda_2 \tag{4}$$

Neraca panas evaporator efek 3

$$L_2.Cp_2.(T_2 - T_3) + V_2.\lambda_2 = L_3.Cp_3.(T_3 - T_{ref}) + V_3.\lambda_3 \tag{5}$$

Untuk mencari laju penguapan tiap efek

$$V_1 = F - L_1 \tag{6}$$

$$V_2 = L_1 - L_2 \tag{7}$$

$$V_3 = L_2 - L_3 \tag{8}$$
- Menghitung kalor ( $q$ ), luas area ( $A$ ) tiap efek dan luas area rata-rata ( $A_m$ ). Jika perbedaan luas area tiap efek dengan luas area rata-rata >10%, perlu dilakukan trial kedua
- Menghitung neraca massa baru dengan data  $L_1, L_2, L_3$  dari poin 4
- Menentukan kenaikan titik didih (BPR) ammonium sulfat ( $(NH_4)_2SO_4$ ) tiap efek
- Menghitung *heat capacity* cairan tiap efek
- Menghitung kalor ( $q$ ), luas area ( $A$ ) tiap efek dan luas area rata-rata ( $A_m$ )

10. Menghitung ekonomi *steam*

$$\text{Ekonomi steam} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{S} \quad (9)$$

Keterangan:

X : fraksi bahan

Cp : kapasitas panas bahan (kJ/kg.°C)

T : suhu aktual (°C)

T<sub>ref</sub> : suhu referensi (°C)λ<sub>s</sub> : panas laten kJ/kg

F : laju alir umpan masuk evaporator (ton/jam)

L<sub>1,2,3</sub> : laju alir liquid pada evaporator (ton/jam)V<sub>1,2,3</sub> : laju penguapan pada evaporator (ton/jam)

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Prinsip kerja evaporator yaitu proses pemekatan larutan berdasarkan perbedaan titik didih antara masing-masing zat. Untuk menilai kinerja atau performa dari *triple effect evaporator* dapat dilihat dari ekonomi yang dihasilkan. *Triple effect evaporator* yang digunakan pada proses produksi pupuk ZA II menggunakan sistem vakum, sistem vakum berguna untuk menarik uap dari evaporator agar kristal mudah cepat terbentuk. Hal ini disebabkan sistem vakum dapat menurunkan titik didih dari suatu campuran sehingga kristal dapat terbentuk lebih cepat, karena evaporator juga berfungsi sebagai *crystallizer* sehingga adanya kenaikan suhu maupun tekanan dapat berpengaruh terhadap kelarutan ammonium sulfat pada umpan campuran. Untuk menganalisis ekonomi *steam* evaporator, maka perlu menghitung neraca massa dan neraca panas terlebih dahulu.

## 3.1. Perhitungan Neraca Massa dan Neraca Panas

Setelah dilakukan proses perhitungan menunjukkan bahwa laju alir massa umpan masuk dan keluar pada setiap efek dalam keadaan *balance* (setimbang) yaitu sebesar 74,9434 ton/jam. Hal tersebut menunjukkan proses evaporasi masih berjalan dengan baik.

Tabel 2. Hasil perhitungan neraca massa pada *triple effect evaporator*

	Inlet (ton/jam)	Outlet (ton/jam)
Evaporator 1	74,9434	74,9434
Evaporator 2	74,9434	74,9434
Evaporator 3	74,9434	74,9434

Tabel 3. Hasil laju alir *liquid, vapor* dan *steam*

L <sub>1</sub> = 137,58 ton/jam	V <sub>1</sub> = 36,87 ton/jam
L <sub>2</sub> = 112,48 ton/jam	V <sub>2</sub> = 25,10 ton/jam
L <sub>3</sub> = 92,34 ton/jam	V <sub>3</sub> = 20,14 ton/jam
S = 58,85 ton/jam	

**Tabel 4.** Hasil perhitungan neraca panas pada *triple effect evaporator*

	Inlet (kJ/jam)	Outlet (kJ/jam)
Evaporator 1	136.056,9	136.056,9
Evaporator 2	126.056,3	126.056,3
Evaporator 3	88.913,6	88.913,6

Hasil perhitungan neraca panas menunjukkan energi yang masuk untuk proses penguapan dan energi yang keluar pada tiap efek menunjukkan kesetimbangan. Namun energi yang dihasilkan pada evaporator efek kedua dan ketiga mengalami penurunan. Hasil tersebut sesuai dengan laju penguapan ( $V$ ) pada tiap efek yang mengalami penurunan pula.

Dari data diatas dapat dilihat bahwa laju penguapan ( $V$ ) pada evaporator 1, 2, dan 3 mengalami penurunan, hal ini sudah sesuai dengan prinsip kerja *triple effect evaporator*. Prinsip kerja *triple effect evaporator* yaitu uap air yang keluar dari evaporator 1 ( $V_1$ ) digunakan sebagai medium pemanas pada evaporator 2 yang akan menguapkan air dalam evaporator 2. Demikian juga uap yang keluar dari evaporator 2 ( $V_2$ ) akan digunakan sebagai medium pemanas pada evaporator 3 dan begitu seterusnya [6].

### 3.2. Perhitungan Ekonomi Steam untuk Triple Effect Evaporator

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai ekonomi *steam* sebesar 1,40 kg uap air/kg *steam*. Pada evaporator efek tunggal ekonomi *steam* hampir selalu kurang dari 1, namun pada *multiple effect evaporator* bisa jadi jauh lebih besar [7]. Hal tersebut sesuai dengan jenis evaporator yang digunakan pada proses produksi pupuk ZA II di industri yang memiliki 3 efek. Sehingga, semakin tinggi ekonomi *steam* evaporator maka kinerja evaporator tersebut semakin baik. Ekonomi *steam* untuk multiple effect bergantung pada jumlah efek (*number of effects*).

Hasil perhitungan ekonomi *steam* masih tergolong kurang optimal karena evaporator memiliki 3 efek. Salah satu penyebab kecilnya nilai ekonomi *steam* yaitu adanya kerak. Kerak terbentuk dari padatan yang tersuspensi atau kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) pada proses pembuatan pupuk ZA II. Selain itu penggunaan asam kuat berupa  $\text{H}_2\text{SO}_4$  menyebabkan korosi. Untuk itu diperlukan pembersihan evaporator secara berkala agar tidak terdapat kerak dan korosi untuk menghindari penurunan kinerja dari evaporator.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian diperoleh kesimpulan yaitu: (1) Neraca massa masuk dan keluar dalam proses evaporasi pada proses produksi pupuk ZA II dalam keadaan setimbang (*balance*) sebesar 74,9434 ton/jam. (2) Ekonomi *steam* yang diperoleh dari hasil perhitungan sebesar 1,40 kg uap air/kg *steam*.

Beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, yaitu perlu adanya perawatan dan evaluasi kinerja pada tiap unit evaporator secara berkala serta harus dilakukan tepat waktu agar performa alat tidak menurun mengingat alat yang digunakan juga sudah cukup tua, guna meningkatkan proses produksi agar lebih optimal.

## REFERENSI

- [1] Harianto, M. S., Tazwir, dan Rosmawaty, P., 2009, *Uji Unjuk Kerja Evaporator Tipe Falling Film Efek Tunggal untuk Pemekatan Gelatin Ikan*, Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan, Vol. 4, No. 1, 87-95.
- [2] Balkan, F., Neslihan, C., and Arif H., 2005, *Performance Evaluation of A Triple-Effect Evaporator with Forward Feed Using Exergy Analysis*, International Journal of Energy Research, No. 29, 455-470.
- [3] Ahmed, T. M., Gurashi, A. G., 2017, *Design of Triple Effect Evaporators Based on Solar Desalination of Red Sea Water*, International Journal Of Engineering Sciences & Research Technology, Vol. 6, No. 6, 502-507.
- [4] Coulson J.M. dan J.F. Richardson, 2005, *Chemical Engineering Design*, Fourth Edition, Oxford : ElsevierButterwoth-Heinemann.
- [5] Geankoplis, C. J., 2003, *Transport Proses and Unit Operation 4th edition*, Tokyo: Prentice-Hall International.
- [6] Widyatmoko, dan Endang, D. S., 2003, Pemekatan Larutan Gula dalam Suatu Sistem "Evaporator Efek Tiga", Yogyakarta: Seminar Nasional MIPA, FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- [7] McCabe, W. L., Smith, J. C., and Harriot, P., 1993, *Unit Operations of Chemical Engineering*, United States of America: McGraw-Hill.