



## PRA RANCANGAN *CYCLONE* SEBAGAI UPAYA MENGURANGI DEBU UREA *PRILLING TOWER* DI PABRIK-3 P.T PUPUK KALIMANTAN TIMUR (STUDI KASUS PRAKTIK KERJA LAPANGAN (PKL) DI PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR)

Aji Larasati Putri Riadi <sup>1)</sup>, Irsan Adhiatama <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman

<sup>2)</sup>Departemen Proses & Pengelolaan Energi, PT. Pupuk Kalimantan Timur

Jl. Sambaliung No. 9, Kampus Gunung Kelua, Samarinda

Email: ajilarasati.putri@gmail.com

### Abstrak

Pabrik-3 PT.Pupuk Kalimantan Timur telah berdiri sejak tahun 1987. Pabrik-3 terdiri atas tiga unit yaitu : unit utilitas, unit ammonia, dan unit urea. Adapun produk yang dihasilkan pada unit urea pabrik-3 yaitu urea prill berkapasitas 1.725 ton/hari. Bahan baku untuk pembuatan urea adalah  $\text{NH}_3$  dan  $\text{CO}_2$ . Dalam proses pembuatan urea ini di pabrik-3 tidak lepas dari sistem prilling tower, alat ini digunakan untuk proses pemptiran urea. Prilling bucket berfungsi membentuk urea melt menjadi droplet - droplet (butiran). Pada monitoring P2K3 tahun 2018 dikemukakan bahwa pada Pabrik Urea-3 terjadi tren kenaikan konsentrasi urea pada emisi prilling tower. Meskipun nilai konsentrasi emisi saat ini dalam kisaran  $150 \text{ mg/Nm}^3$  masih dibawah Baku Mutu Emisi (BME) yang dipersyaratkan yaitu  $250 \text{ mg/Nm}^3$ , namun mengacu pada PerMen LHK tentang BME Industri Pupuk Dan Amonium Nitrat total partikulat akan diperketat menjadi  $100 \text{ mg/Nm}^3$ . Berdasarkan penjelasan diatas, maka perlunya dilakukan upaya-upaya dalam menangani masalah tersebut. Artikel ini ditujukan untuk mengkaji upaya dalam mengolah debu urea yang ter-emisi dari prilling tower dengan cara melakukan pra rancangan unit gas cyclone. Dimana unit ini diharapkan mampu mengurangi debu urea yang ter-emisi ke lingkungan dan juga menurunkan konsentrasi debu urea yang ter-emisi ke lingkungan. Pada pra rancangan unit cyclone kali ini, proses yang digunakan dalam menentukan dimensi cyclone adalah Classical Cyclone Design (CCD). Proses ini dikembangkan oleh Lapple pada awal tahun 1950-an. Proses CCD (model Lapple) dianggap sebagai metode standar dan telah dipertimbangkan oleh beberapa engineer agar dapat diterima. Berdasarkan pra rancangan yang dilakukan dapat diambil kesimpulan, bahwa cyclone yang dirancang memiliki efisiensi sebesar 89% untuk mengurangi debu urea yang ter-emisi ke lingkungan, yakni dari 63,84 kg/h menjadi 7,26 kg/h. Konsentrasi debu urea yang ter-emisi ke lingkungan mengalami penurunan, yakni dari  $65,53 \text{ mg/Nm}^3$  menjadi  $7,4533 \text{ mg/Nm}^3$ . Semakin besar ukuran debu yang akan ditangkap, maka akan semakin tinggi Collection Efficiency -nya.

**Kata Kunci :** Cyclone, Dimensions, Efficiency, 2D2D

### 1. PENDAHULUAN

Pabrik-3 PT.Pupuk Kaltim telah berdiri sejak tahun 1987. Pabrik-3 terdiri atas tiga unit yaitu : unit utilitas, unit ammonia, dan unit urea. Adapun produk yang dihasilkan pada unit urea pabrik-3 yaitu urea prill berkapasitas 1.725 ton/hari (*design rate* 100 %) dan *rate* aktual saat ini mencapai 104%.

Bahan baku untuk pembuatan urea adalah  $\text{NH}_3$  dan  $\text{CO}_2$ . Dalam proses pembuatan urea ini di pabrik-3 tidak lepas dari sistem *prilling tower*, alat ini digunakan untuk proses pemptiran urea. Pemptiran dilakukan terhadap urea melt dengan cara mengumpankan urea melt dengan konsentrasi 99,7% ke *prilling bucket* yang diputar. *Prilling bucket* berfungsi membentuk urea melt menjadi droplet - droplet (butiran).

Selama tetesan-tetesan jatuh disepanjang *prilling tower*, butiran tersebut berkontak dengan debu-debu *seeding* lalu mengeras dan membentuk *prill* yang homogen karena panas kristalisasinya

diserap oleh udara yang masuk dari bagian bawah *prilling tower* hingga suhunya turun menjadi 60°C. Udara yang dihisap dari bagian bawah *prilling tower* dilakukan oleh *ID fan*.

Dengan berjalannya waktu, terdapat peningkatan emisi debu urea pada *prilling tower*. Pada monitoring P2K3 tahun 2018 dikemukakan bahwa pada Pabrik Urea-3 terjadi tren kenaikan konsentrasi urea pada emisi *prilling tower*. Meskipun nilai konsentrasi emisi saat ini dalam kisaran 150 mg/Nm<sup>3</sup> masih dibawah Baku Mutu Emisi (BME) yang dipersyaratkan yaitu 250 mg/Nm<sup>3</sup>, namun mengacu pada PerMen LHK tentang BME Industri Pupuk Dan Amonium Nitrat total partikulat akan diperketat menjadi 100 mg/Nm<sup>3</sup>.

Berdasarkan penjelasan diatas, maka perlunya dilakukan upaya-upaya dalam menangani masalah tersebut. Artikel ini ditujukan untuk mengkaji upaya dalam mengolah debu urea yang ter-emisi dari *prilling tower* dengan cara melakukan pra rancangan unit gas *cyclone*. Dimana unit ini diharapkan mampu mengurangi debu urea yang ter-emisi ke lingkungan dan juga menurunkan konsentrasi debu urea yang ter-emisi ke lingkungan.

## 2. METODE PENELITIAN

Pra rancangan ini dilaksanakan di Departemen Proses & Pengelolaan Energi, PT. Pupuk Kalimantan Timur, Bontang. Dalam penyusun artikel ini data yang diambil meliputi data primer dan data sekunder.

### 2.1 Prosedur Pra Rancangan

#### 2.1.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh dari pengamatan dan pengukuran besaran secara langsung dilapangan (*Work Sheet* Debu Partikel, 2019). Data-data primer tersebut adalah sebagai berikut:

- a. *Volumetric flow rate of blower* = 67,66 m<sup>3</sup>/s
- b. *Dynamic pressure* = 348 Pa
- c. *Diameter particle* = 1,7x10<sup>-3</sup> m
- d. *Particle density* = 1.250 kg/m<sup>3</sup>
- e. *Density of fluid* = 0,9618 kg/m<sup>3</sup>
- f. Debu yang terbuang = 15,96 kg/h
- g. Konsentrasi debu = 65,53 mgr/Nm<sup>3</sup>

#### 2.1.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari studi literatur umum maupun data dari unit urea Pabrik-3 (Yunie, 2018). Data-data sekunder tersebut adalah sebagai berikut:

- a. *Velocity of air inlet dust* = 20 m/s
- b. *Air viscosity* = 1,78x10<sup>-5</sup> kg/m.s

### 2.2 Prosedur Pengolahan Data

#### 2.2.1 Perhitungan Dimensi *Cyclone*

Pada laporan kali ini model *cyclone* yang akan didesain adalah *cyclone* dengan konfigurasi 2D2D. Langkah-langkah dalam merancang *cyclone* tersebut, adalah:

- a. Menentukan *surface area of inlet* (A), dengan rumus:

$$A = \frac{Q}{V_i} \dots \dots \dots (2.1)$$



Dengan:

$Q =$  Volumetric flow rate of blower ( $m^3/s$ )

$V_i =$  Velocity of air inlet duct ( $m/s$ )

(Bashir, 2017).

- b. Menentukan *height of the inlet* ( $H$ ) berdasarkan luas area *inlet* ( $A$ ) dengan mengasumsikan bahwa *inlet* tersebut berbentuk persegi, dengan rumus:

$$H = \sqrt{A} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan :

$A =$  Surface area of inlet

(Bashir, 2017).

- c. Menentukan *outside diameter cyclone body* ( $D$ ) berdasarkan *height of the inlet* ( $H$ ), dengan rumus:

$$D = H \times 2 \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan:

$H =$  Height of the inlet

(Bashir, 2017).

- d. Menentukan dimensi *cyclone* yang lain berdasarkan nilai *outside diameter cyclone body* ( $D$ ) dengan ratio sebagai berikut:

<i>Dimensions</i>	<i>Ratio</i>
<i>Length of the body</i>	2D
<i>Length of the cone</i>	2D
<i>Widht of the inlet</i>	D/4
<i>Diameter of gas exit</i>	D/2
<i>Diameter of dust outlet</i>	D/4
<i>Length of vortex finder</i>	0.625
<i>Length of Sc</i>	D/8
<i>Total length of cyclone</i>	4D

### 2.2.2 Perhitungan Desain Peralatan

Prosedur desain *cyclone* yang diuraikan dalam Cooper dan Alley, selanjutnya disebut sebagai proses desain *cyclone* klasik (CCD), dikembangkan oleh Lapple pada awal 1950-an. CCD dianggap sebagai metode standar dan telah dipertimbangkan oleh beberapa *engineer* agar dapat diterapkan. Dengan data yang diberikan ini, proses CCD adalah sebagai berikut:

a. *Number of Effective Turn*

$$N = \frac{1}{H} \left( \frac{L_b}{\sqrt{2}} + L_c \right) \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

$N =$  Number of turns inside the device (no units)

$H =$  Height of inlet duct (m or ft)

$L_b =$  Length of cyclone body (m or ft)

$L_c =$  Length (vertical) of cyclone cone (m or ft)

(Bashir, 2017).



b. Gas Residence Time

$$\Delta t = \frac{\pi D N}{V_i} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

$\Delta t$  = time spent by gas during spiraling descent (sec)

D = cyclone body diameter (m or ft)

$V_i$  = gas inlet velocity (m/s or ft/s) = Q/WH

Q = volumetric inflow (m<sup>3</sup>/s or ft<sup>3</sup>/s)

H = height of inlet (m or ft)

W = width of inlet (m or ft)

(Bashir, 2017).

c. Particle Drift Velocity

$$V_t = W / \Delta t \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

$V_t$  = particle drift velocity in the radial direction (m/s or ft/s).

(Bashir, 2017).

d. Cut Point Diameter

$$d_{pc} = \left[ \frac{9\mu W}{2N V_i \left( \rho_p - \rho_g \right)} \right]^{1/2} \dots\dots (2.7)$$

Dimana:

$d_p$  = diameter of the smallest particle that will be collected by the cyclone

$\mu$  = gas viscosity (kg/m. s)

W = width of inlet duct (m)

$N_e$  = number of turns

$V_i$  = inlet gas velocity (m/s)

$\rho_p$  = particle density (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_g$  = density of fluid (kg/m<sup>3</sup>)

(Bashir, 2017).

e. Pressure Drop

$$H_v = K \frac{HW}{D_e^2} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho_g V_v^2 H_v \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

$H_v$  = pressure drop expressed in number of inlet velocity Heads

K = constant that depends on cyclone configurations and Operating conditions (K=12 to 18 for a standard tangential-entry cyclone)

(Bashir, 2017).

f. Power Requirement

$$W_f = Q \Delta P \dots\dots\dots (2.10)$$



Dimana:

$\Delta P$ = Pressure Drop  
(Bashir, 2017).

g. Outlet Gas Velocity

$$r = \frac{D_e}{2} \dots \dots \dots (2.11)$$

$$V_o = Q / \pi^2 \dots \dots \dots (2.12)$$

(Bashir, 2017).

h. Collection Efficiency

$$\eta = \frac{1}{1 + (d_{pc} / d_{pj})^2} \dots \dots (2.13)$$

Dimana:

$d_{pc}$ = diameter of the smallest particle that will be collected by the cyclone (in microns)

$d_{pj}$ = collection efficiency of particles in the jth size range ( $0 < n_j < 1$ )

(Bashir, 2017).

i. Overall Separation Efficiency

$$M_f = M_c + M_e \dots \dots \dots (2.14)$$

$$\eta = \frac{M_c}{M_f} = 1 - \frac{M_e}{M_f} = \frac{M_c}{M_c + M_e} \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana:

$M_f$ = mass flow rate of feed

$M_c$ = mass flow rate collected

$M_e$ = mass flow rate emitted or lost

(Hoffmann, 2002).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan data yang diperoleh maka dapat ditentukan dimensi *cyclone* berdasarkan ratio dimensi terhadap diameter *cyclone*, sebagai berikut:

**Tabel 1.** Dimensi Cyclone

<i>Standard Cyclone Dimensions (Lapple Dimension)</i>			
<i>Conventional Dimensions</i>			
<i>Cyclone Separator Dimensions</i>			
	<i>Dimensions</i>	<i>Ratio</i>	<i>Value (m)</i>
<i>Diameter OD Cyclone Body (Barrel)</i>	D	D	7,3572
<i>Length of the body</i>	Lb	2D	14,7143
<i>Length of the cone</i>	Lc	2D	14,7143
<i>Height of the inlet</i>	H	D/2	3,6786
<i>Widht of the inlet</i>	W	D/4	1,8393
<i>Diameter of Gas Exit</i>	De	D/2	3,6768
<i>Diameter of Dust outlet</i>	Dd	D/4	1,8393
<i>Length of vortex Finder</i>	S	0,625	4,5982
<i>Length of Sc</i>	Sc	D/8	0,9196
<i>Total length of Cyclone</i>	Lb+Lc	4D	29,4287

**Tabel 2. Design Aspects**

<i>Number of Affective Turn</i>	6
<i>Gas Residence Time (sec)</i>	6,9305
<i>Particle Drift Velocity (m/sec)</i>	0,2654
<i>Terminal Drift Transverse Velocity (m/sec)</i>	1.225,0676
<i>Cut Diameter Point (μm)</i>	8,4431
<i>Pressure Drop (Pa)</i>	1.154,1604
<i>Power Requirement (J/sec)</i>	312.361,9803
<i>Outlet Gas Velocity (m/sec)</i>	291.5844

**Tabel 3. Collection Efficiency**

<i>Avarage Size Range (d<sub>j</sub>)</i> <i>(μm)</i>	<i>Collection Efficiency (η<sub>j</sub>)</i> <i>(%)</i>
3	11,21%
5	25,96%
8	47,31%
10	58,38%
15	75,94%
20	84,87%
25	89,76%
30	92,66%
35	94,50%
40	95,73%

*Cut Diameter Point*

**Tabel 4. Overall Separation Efficiency**

<i>Avarage Size Range (d<sub>j</sub>)</i> <i>(μm)</i>	<i>Collection Efficiency (η<sub>j</sub>)</i> <i>(%)</i>	<i>Mass Fraction (%)</i>	<i>Contribution to Performance (η)</i> <i>(%)</i>
10	58,38%	4	2,34
15	75,94%	8	6,08
20	84,87%	11	9,34
25	89,76%	30	26,93
30	92,66%	30	27,80
35	94,50%	10	9,45
40	95,73%	7	6,70
		100	89

Pada pra rancangan unit *cyclone* kali ini, proses yang digunakan dalam menentukan dimensi *cyclone* adalah *Classical Cyclone Design* (CCD). Proses ini dikembangkan oleh Lapple pada awal tahun 1950-an. Proses CCD (model Lapple) dianggap sebagai metode standar dan telah dipertimbangkan oleh beberapa *engineer* agar dapat diterima. Jenis *cyclone* yang didesain adalah *cyclone* dengan gaya masuk tangensial. Jenis *cylone* ini memiliki bentuk dan ciri khas yang mudah dikenali. *Cyclone* jenis ini banyak digunakan dalam pembangkit listrik, semen dan proses industri lainnya. *Cyclone* yang dirancang dikategorikan sebagai *cyclone* dengan efisiensi sedang. Pemilihan ini disebabkan *cyclone* dengan efisiensi yang tinggi cenderung memiliki *pressure drop* yang tinggi pula.

*Cyclone* kali ini didesain dengan konfigurasi 2D2D, dimana D dalam konfigurasi 2D2D merujuk pada diameter *barrel* dari *cyclone*. Masing-masing angka sebelum D berhubungan dengan panjang bagian *barrel* dan *cone*. Sebuah *cyclone* 2D2D memiliki panjang *barrel* dan *cone* dua kali diameter *barrel*. Konfigurasi 2D2D dipilih dikarenakan beberapa faktor, yaitu *cyclone* dengan konfigurasi ini paling efisien untuk pengumpulan debu halus (diameter partikel dibawah dari 100  $\mu\text{m}$ ) (Bashir, 2017).

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan oleh (Wang, 2019) mengenai Karakteristik Kinerja untuk 1D2D, 2D2D, 1D3D dan *Barrel Cyclones* menyimpulkan bahwa *cyclone* dengan konfigurasi 1D2D adalah desain terbaik untuk memisahkan debu dengan serat yang tinggi, contohnya pada industri kapuk. Sedangkan, untuk *cyclone* dengan konfigurasi 1D3D dan 2D2D adalah desain terbaik untuk debu halus atau debu tanpa serat. Serta, hasil dari pengamatan yang pernah dilakukan untuk memprediksi secara akurat *number of effective turns* antara  $N_e$  model Lapple dengan  $N_e$  *observed*, nilai  $N_e$  yang valid hanya untuk desain *cyclone* konfigurasi 2D2D (Bashir, 2017).

Standar untuk dimensi *cyclone* kali ini merujuk pada gambar 2.5, dimana ratio tersebut menjadi acuan dalam menentukan dimensi *cyclone*. Dalam dimensi *cyclone* hal utama yang perlu diketahui adalah diameter luar dari *barrel*. Langkah awal dalam menentukan diameter luar *barrel* adalah dengan menghitung nilai *surface area of inlet*. Nilai tersebut diperoleh dengan cara membagi *volumetric flow rate of blower* dengan *velocity of air inlet dust*. *Volumetric flow rate of blower* diperoleh dari *flow rate one stack* yang ada di *stack prill A K-3* sebesar 67,66  $\text{m}^3/\text{s}$ . Diasumsikan 3 *stack* lainnya memiliki *flow rate* yang sama, sehingga nilai *volumetric flow rate of blower* ialah 4 kali lipat dari *flow rate one stack* yang ada di *stack prill A K-3*, yakni sebesar 270,64  $\text{m}^3/\text{s}$ . Sedangkan, untuk *velocity of air inlet dust* diperoleh dari nilai *normal gas velocity in a pipeline* sebesar 20  $\text{m/s}$ . Dari data tersebut maka diperoleh *surface area of inlet* sebesar 13,5320  $\text{m}^2$ .

Setelah *surface area of inlet* diperoleh, maka langkah selanjutnya ialah menghitung dimensi *height of the inlet*. Perhitungan kali ini mengasumsikan bahwa *inlet of cyclone* yang akan didesain berbentuk persegi, sehingga *height of the inlet* yang diperoleh sebesar 3,6786 m. Sesuai dengan ratio yang telah ditetapkan, maka dimensi untuk diameter luar *barrel* dan bagian lainnya dapat diperoleh, sesuai dengan Tabel 1.

Parameter terpenting dari sebuah *cyclone* dalam pemisahan partikulat ialah *cut diameter point*, *pressure drop* dan *overall collection efficiency*. *Cut diameter point* adalah ukuran partikel terkecil yang dapat disisihkan dengan efisiensi 50%, pada *cyclone* yang didesain kali ini memiliki nilai *cut diameter point* sebesar 8,4430  $\mu\text{m}$  atau 8  $\mu\text{m}$ . Sehingga debu dengan ukuran kurang dari 8  $\mu\text{m}$  akan memiliki *collection efficiency* dibawah dari 50%. *Pressure drop* adalah perbedaan tekanan yang terjadi didalam sistem *cyclone*, *pressure drop* yang diperoleh dari hasil perhitungan sebesar 1.154 Pa. Sedangkan, untuk *overall collection efficiency* yang diperoleh adalah sebesar 89%.

Dari hasil yang didapat, *cyclone* yang dirancang mampu mengurangi konsentrasi emisi debu urea yang ada. Nilai tersebut diperoleh dengan cara membagi sisa debu yang terbuang ke lingkungan sebesar 7,26  $\text{kg/h}$  dengan 4 kali lipat nilai *flow rate one stack* sebesar 243.564  $\text{Nm}^3/\text{h}$ , sehingga menghasilkan konsentrasi emisi debu sebesar 7,4537  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ .

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan pra rancangan yang dilakukan dapat diambil kesimpulan, bahwa *cyclone* yang dirancang memiliki efisiensi sebesar 89% untuk mengurangi debu urea yang ter-emisi ke lingkungan, yakni dari 63,84  $\text{kg/h}$  menjadi 7,26  $\text{kg/h}$ . Konsentrasi debu urea yang ter-emisi ke lingkungan mengalami penurunan, yakni dari 65,53  $\text{mg}/\text{Nm}^3$  menjadi 7,4533  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ . Semakin besar ukuran debu yang akan ditangkap, maka akan semakin tinggi *Collection Efficiency* -nya.



## 5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Pupuk Kalimantan Timur, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melaksanakan Kerja Praktik dan menulis artikel dari hasil Kerja Praktik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bashir, Kashan. 2017. *Design and Fabrication of Cyclone Separator*. [https://www.researchgate.net/publication/312160127\\_Design\\_and\\_fabrication\\_of\\_cyclone\\_separator](https://www.researchgate.net/publication/312160127_Design_and_fabrication_of_cyclone_separator). (30 Juli 2019).
- Hoffmann, Alex C., Stein, Louis E. 2002. “*Gas Cyclones and Swirl Tubes: Principles, Design, and Operation*”. Springer.
- Yunie, Kurnia Putri. 2018. Evaluasi Proses Di Unit *Prilling Tower* Sebagai Upaya Mengurangi Emisi Debu Urea Di Pabrik-3 Pupuk Kaltim. [http://lib.pupukkaltim.com/opac/index.php?p=show\\_detail&id=9568&keywords=emisi+debu](http://lib.pupukkaltim.com/opac/index.php?p=show_detail&id=9568&keywords=emisi+debu). (3 September 2019).
- Wang, Lingjuan. 2019. *Performance Characteristics for the 1D2D, 2D2D, 1D3D and Barrel Cyclones*. <https://pdfs.semanticscholar.org/5dbd/0018977fb659fbb0368af6dedab2a6101e91>. pdf. (3 September 2019).
- Work Sheet* Debu Partikel. 2019. PT. Pupuk Kalimantan Timur. (27 Maret 2019).