

ISBN 978-602-98726-1-3

# PROCEEDING

## ANNUAL ENGINEERING SEMINAR 2012

**Towards Sustainable Engineering**

**Dies Natalis ke-66 Pendidikan Tinggi Teknik**

16 Februari 2012  
Kantor Pusat Fakultas Teknik  
Universitas Gadjah Mada

PROCEEDING  
ANNUAL ENGINEERING SEMINAR  
2012



UNIVERSITAS GADJAH MADA



FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS GADJAH MADA

24. KONSEP PENGEMBANGAN RUANG TERBUKA HIJAU  
DI SEMPADAN SUNGAI CODE, KELURAHAN GOWONGAN,  
KOTA YOGYAKARTA D138  
*Dana Adikusuma, Achmad Andi Rif'an, Dian Kusuma Wardhani*
25. PENENTUAN EFEKTIVITAS DESAIN UNIT CYCLONE UNTUK  
MEREDUKSI PARTIKULAT DI UDARA D146  
*Allen Kurniawan, Yanuar Chandra Wirasembada*
26. KAJIAN PEMISAHAN ALIRAN DASAR PADA PENURUNAN  
HIDROGRAF SATUAN D152  
*Nilna Amal*
27. PENGETAHUAN MANDOR KONSTRUKSI DALAM BIDANG  
MATERIAL DAN STRUKTUR UNTUK BANGUNAN TAHAN  
GEMPA D158  
*Albani Musyafa*



# Penentuan Efektivitas Desain Unit Cyclone untuk Mereduksi Partikulat Di Udara

Allen Kurniawan, Yanuar Chandra Wirasembada

Institut Pertanian Bogor, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Bogor, 16680, Indonesia.

## Abstract

Cyclone is one of air pollution control devices for separating the gas phase to the solid phase to reduce particulate emissions in industrial area. Sometimes the cyclone performance does not have significant influence to reduce particulate, because the best approach to determine the cyclone dimensions and efficiency that appropriate with the air flow rate input is unknown. Therefore, the main purpose of this research was to determine the best cyclone dimensions and efficiency, based on several alternatives criteria to recommend the appropriate design for particulate control device in industrial activity. There are three versions of cyclone design standard dimension (Lapple, Swift and Stairmand). The calculation processes used Barth, Leith-Licht and Ionizia-Leith Models, with variations of gas inlet velocity (10, 15, 20 m/s) and volumetric flow rate (60000, 65000, 70000 m<sup>3</sup>/hr). The calculation results obtained that the lower volumetric flow rate and the higher gas velocity at cyclone inlet will provide the higher particulate removal efficiency value.

**Keywords:** air pollution control, cyclone, particulate.

## 1. Pendahuluan

Pencemaran diakibatkan oleh aktivitas manusia dan proses alamiah di lingkungan. Menurut media terjadinya, secara garis besar pencemaran terbagi menjadi tiga bagian, yaitu pencemaran udara, air dan tanah. Pencemaran udara menurut Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara adalah masuk dan dimasukkannya zat, energi dan komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun hingga ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Beberapa polutan pada konsentrasi di atas normal dapat menyebabkan pencemaran udara, seperti partikulat.

Partikulat merupakan campuran dari bahan organik dan anorganik di atmosfer yang berbentuk cairan atau padatan. Partikulat dapat berbentuk debu, abu, kabut, atau aerosol. Partikulat dalam jumlah besar mempunyai efek mengganggu kesehatan manusia, sehingga untuk mencegah terdispersinya partikulat di udara diperlukan adanya unit pengontrol. Salah satu jenis unit pengontrol partikulat adalah *cyclone*. Unit ini merupakan salah satu perangkat untuk memisahkan fasa gas dengan fasa padatan yang paling umum dimanfaatkan untuk mereduksi emisi partikulat di lingkungan industri.

Seringkali kemampuan *cyclone* di lapangan tidak memberikan pengaruh yang signifikan untuk mereduksi partikulat. Hal ini diakibatkan tidak diketahuinya analisis pendekatan terbaik dalam menentukan dimensi dan efisiensi *cyclone* sesuai dengan besar laju aliran udara yang masuk. Pendekatan yang umum digunakan untuk menentukan dimensi *cyclone* adalah Lapple, Stairmand dan Swift. Sedangkan dalam penentuan nilai efisiensi terbaik digunakan Model Barth, Leith-Licht dan Ionizia-Leith [1].

Atas dasar permasalahan tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah:

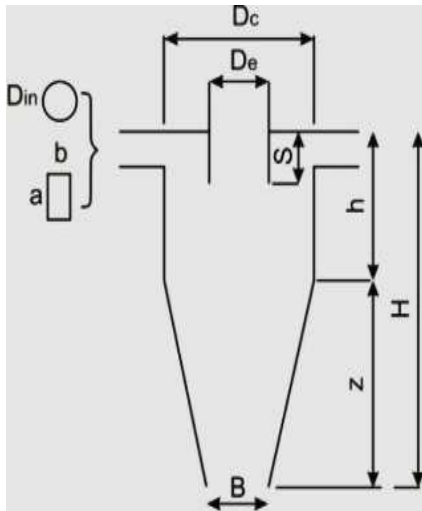
- mengetahui dimensi *cyclone* berdasarkan kriteria umum, efisiensi tertinggi dan laju aliran tertinggi;
- menentukan efisiensi *cyclone* terbaik berdasarkan Model Barth, Leith-Licht dan Ionizia-Leith; dan
- merekomendasikan desain *cyclone* yang tepat untuk aktivitas perindustrian.

## 2. Metodologi

Duakomponen utama harus diperhitungkan untuk mendesain *cyclone*, yaitu dimensi dan efisiensi. Dimensi *cyclone* dihitung terlebih dahulu sehingga efisiensi *cyclone* dapat diperoleh secara keseluruhan. *Cyclone* yang memiliki efisiensi tertinggi kemudian dipilih dan dianggap mampu mereduksi emisi partikulat secara efektif dan efisien di udara.

Komponen dimensi *cyclone* tertera pada Gambar 1. Sedangkan hubungan antara versi dan penggunaan *cyclone* dalam menentukan dimensi tertera pada Tabel 1 [1][2]. Secara umum, prosedur kalkulasi dalam menentukan korelasi efisiensi *cyclone* terdiri dari tiga model pendekatan, yaitu:





**Gambar 1.** Dimensi Cyclone  
**Sumber:** Wang *et. al.*, 2004.

**2.1 Model Barth**

Prosedur perhitungan efisiensi Model Barth adalah sebagai berikut.

- a. Menghitung nilai  $\alpha$   
 $\alpha = 1 - 1.2(b/D_c)$  ..... (1)
- b. Menghitung nilai  $v_0$   
 $v_0 = \frac{4Q}{\pi D_e^2}$  ..... (2)
- c. Menghitung nilai  $V_{tmax}$

$$V_{tmax} = v_0 \left[ \frac{(D_e/2)(D_c-b)\pi}{2ab\alpha + h^m(D_c-b)\pi\lambda} \right] \dots\dots\dots (3)$$

$v_0$  = kecepatan gas pada outlet cyclone (m/dtk)  
 $\lambda$  = koefisien friksi = 0,02

- d. Menghitung nilai  $h^m$   
 $h^m = H - S$  Untuk  $De \leq B$  ..... (4)

$$h^m = \frac{(H-h)(D_c-De)}{(D_c-B)} + (h - S) \text{ Untuk } De \geq B \dots\dots (5)$$

- e. Menghitung nilai  $V_{ts}/V_{ts}^m$   
 $\frac{V_{ts}}{V_{ts}^m} = \frac{\pi h^m \rho_p v_{tmax}^2 D_i^2}{9\mu Q}$  ..... (6)

$h^m$  = ketinggian sumbu atau poros pusat (*central axis*) pada Model Barth (m)  
 $\rho_p$  = densitas partikel ( $kg/m^3$ )  
 $V_{tmax}$  = kecepatan maksimum tangensial gas (m/dtk)  
 $D_i$  = diameter partikel (m)  
 $\mu$  = viskositas gas ( $kg/m.dtk$ )  
 $Q$  = laju alir volumetrik gas ( $m^3/dtk$  atau  $l/mnt$ )

- f. Menghitung efisiensi  
 $\eta_i = \frac{1}{[1 + (V_{ts}/V_{ts}^m)^{-3.2}]}$  ..... (7)

$\eta_i$  = efisiensi partikel dari diameter  $D_i$   
 $V_{ts}$  = kecepatan akhir partikel (m/dtk)  
 $V_{ts}^m$  = kecepatan akhir partikel dengan efisiensi 50% pada Model Barth (m/dtk)

**Tabel 1.** Dimensi Standar untuk Merancang Cyclone

Hubungan	Versi					
	Lapple	Swift	Stairmand	Swift	Stairmand	Swift
	Penggunaan					
	Umum		Efisiensi Tinggi		Laju Aliran Tinggi	
Nilai						
$Q/D_c^2$	6860	6680	5500	4940	16500	12500
$a/D_c$	0,50	0,50	0,50	0,44	0,75	0,80
$b/D_c$	0,25	0,25	0,20	0,21	0,38	0,35
$H/D_c$	4,00	3,75	4,00	3,90	4,00	3,70
$h/D_c$	2,00	1,75	1,50	1,40	1,50	1,70
$De/D_c$	0,50	0,50	0,50	0,40	0,75	0,75
$B/D_c$	0,25	0,40	0,38	0,40	0,38	0,40
$S/D_c$	0,63	0,60	0,50	0,50	0,88	0,85
$\Delta H$	8,00	7,60	6,40	9,20	7,20	7,00

**Sumber:** Wang *et. al.*, 2004 dan Cooper & Alley, 2011

**2.2 Model Leith-Licht**

Prosedur perhitungan efisiensi Model Leith-Licht adalah sebagai berikut.

- a. Menghitung  $Z_c$   
 $Z_c = 2.3D_e \left( \frac{D_c^2}{ab} \right)^{\frac{1}{3}}$  ..... (8)
- b. Menghitung  $n$

$$n = 1 - [1 - 0.67(D_c^{0.14})] \left( \frac{T}{283} \right)^{0.3} \dots\dots\dots (9)$$

- T = temperatur gas ( $^{\circ}K$ )
- c. Menghitung  $d_c$   
 $d_c = D_c - (D_c - B) \left( \frac{S+Z_c-h}{H-h} \right)$  ..... (10)
- d. Menghitung nilai  $V_{nl}$  atau  $V_H$



$$V_{nl} = \frac{\pi D_c^2}{4} (h - S) + \left( \frac{\pi D_c^2}{4} \right) \left( \frac{Z_c + S - h}{3} \right) \left( 1 + \frac{d_c}{D_c} + \frac{d_c^2}{D_c^2} \right) - \frac{\pi D_e^2 Z_c}{4} \text{Jika } (H-S) > Z_c \dots\dots\dots (11)$$

$$V_H = \frac{\pi D_c^2}{4} (h - S) + \left( \frac{\pi D_c^2}{4} \right) \left( \frac{H-h}{3} \right) \left( 1 + \frac{B}{D_c} + \frac{B^2}{D_c^2} \right) - \frac{\pi D_e^2 (H-S)}{4} \text{Jika } (H-S) < Z_c \dots\dots\dots (12)$$

$Z_c$  = ketinggian sumbu pusat *cyclone* (m)

$D_c$  = diameter sumbu pusat *cyclone* (m)

$V_{nl}$  = volume annular antara S dan titik akhir dari panjang *vortex*, tidak termasuk sumbu atau poros tengah (m<sup>3</sup>)

$V_H$  = volume di bawah saluran outlet, tidak termasuk sumbu tengah atau poros tengah (m<sup>3</sup>)

e. Menghitung  $G$

$$G = \frac{D_c}{a^2 b^2} \{ 2[\pi(S - a/2)(D_c^2 - D_e^2)] + 4V_{nl.H} \} \dots\dots\dots (13)$$

f. Menghitung  $\tau_i$

$$\tau_i = \frac{\rho_p (D_i^2)}{18\mu} \dots\dots\dots (14)$$

g. Menghitung efisiensi

$$\eta_i = 1 - \exp \left\{ -2 \left[ \frac{G \tau_i Q}{D_c} (n + 1) \right]^{\frac{1}{2n+2}} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

$\tau_i$  = waktu relaksasi (dtk)

$n$  = *vortex exponent*

$G$  = parameter geometrik pada Model Leith-Licht

### 2.3 Model Iozia-Leith

Prosedur perhitungan efisiensi Model Leith-Licht adalah sebagai berikut.

a. Menghitung  $\beta$

$$\ln \beta = 0.62 - 0.87 \ln(D_{50}) + 5.21 \ln \left( \frac{ab}{D_c^2} \right) + 1.05 \ln \left[ \ln \left( \frac{ab}{D_c^2} \right) \right]^2 \dots\dots\dots (16)$$

b. Menghitung  $V_{tmax}$

$$v_i = \frac{Q}{ab} \dots\dots\dots (17)$$

$$V_{tmax} = 6.1 v_i \left( \frac{ab}{D_c^2} \right)^{0.61} \left( \frac{D_e}{D_c} \right)^{-0.74} \left( \frac{H}{D_c} \right)^{-0.33} \dots\dots\dots (18)$$

c. Menghitung  $d_c$

$$d_c = 0.47 \left( \frac{ab}{D_c^2} \right)^{-0.25} \left( \frac{D_e}{D_c} \right)^{1.4} D_c \dots\dots\dots (19)$$

d. Menghitung  $Z_c$

$$Z_c = (H - S) - \left[ \frac{(H-h)}{(D_c/B)-1} \right] \left[ \frac{d_c}{B} \right] \text{Untuk } d_c > B \dots\dots\dots (20)$$

$$Z_c = (H - S) \text{Untuk } d_c < B \dots\dots\dots (21)$$

e. Menghitung  $D_{50}$

$$D_{50} = \left( \frac{9\mu Q}{\pi \rho_p Z_c V_{tmax}^2} \right)^{0.5} \dots\dots\dots (22)$$

f. Menghitung efisiensi

$$\eta_i = \frac{1}{[1 + (D_{50}/D_i)^\beta]} \dots\dots\dots (23)$$

### 2.4 Korelasi Penurunan Tekanan Cyclone dan Penentuan Efisiensi Total

Prosedur perhitungan penurunan tekanan *cyclone* dan penentuan efisiensi total adalah sebagai berikut.

a. Menghitung  $\Delta H$

$$\Delta H = 16 \left( \frac{ab}{D_e^2} \right) \text{(Shepherd \& Laplle)} \dots\dots\dots (24)$$

$$\Delta H = 11.3 \left( \frac{ab}{D_c^2} \right)^2 + 3.33 \text{(Casal \& Benet dalam Wang 2004)} \dots\dots\dots (25)$$

$$\Delta H = 20 \left( \frac{ab}{D_e^2} \right) \text{(Ramachandran et. al dalam Wang 2004)} \dots\dots\dots (26)$$

b. Menghitung  $\Delta P$

$$\Delta P = \frac{\rho v_i^2}{2} \Delta H \dots\dots\dots (27)$$

c. Menghitung  $W_C$

$$W_C = \frac{Q \Delta P}{E_f} \dots\dots\dots (28)$$

$E_f$  = efisiensi kipas

d. Menghitung  $m_{oi}$

$$m_{oi} = c_{in} Q x_i (1 - \eta_i) \dots\dots\dots (29)$$

e. Menghitung  $X_{oi}$

$$X_{oi} = \frac{m_{oi}}{\sum m_{oi}} \dots\dots\dots (30)$$

f. Menghitung  $\eta_0$

$$\eta_0 = \sum (\eta_i X_i) \dots\dots\dots (31)$$

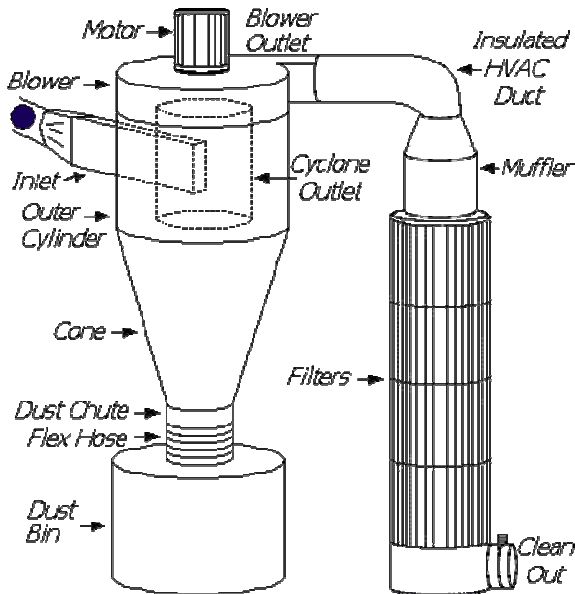
g. Menghitung  $C_0$

$$C_0 = (1 - \eta_0) C_{in} \dots\dots\dots (32)$$

## 3. Hasil dan Pembahasan

*Cyclone* bekerja dengan memaksakan suspensi gas mengalir spiral pada ruang tertutup, sehingga partikel dihembuskan menuju dinding *vessel* dengan gaya sentrifugal [3]. Partikel bergerak ke bawah oleh gaya gravitasi dan dihilangkan dari *cyclone* di dasar penampung, dan gas yang telah tersaring berputar keluar ke atas.





Gambar 2. Bagian-Bagian dari Cyclone

Cyclone relatif murah dan mudah dibangun, dibutuhkan sedikit pemeliharaan, serta dapat bekerja pada suhu dan tekanan tinggi. Tergantung pada kinerja proses, cyclone dapat digunakan sebagai *precollector* untuk menghilangkan partikel yang lebih besar sebelum pengolahan lanjutan seperti *bag filter* atau *electrostatic precipitator*. Jika dirancang dengan baik, cyclone dapat mengumpulkan partikel yang lebih besar dari 10  $\mu\text{m}$

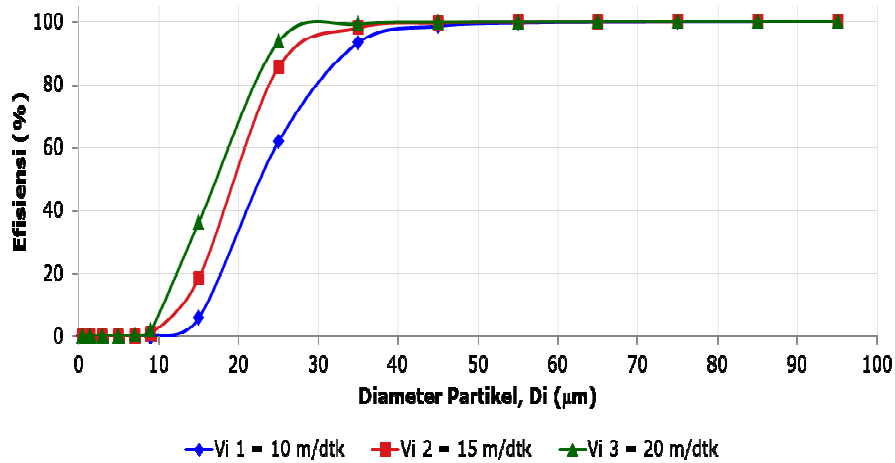
dengan efisiensi tinggi. Untuk partikel yang lebih kecil, efisiensi menjadi jauh menurun. Cyclone tidak dapat digunakan pada pengolahan dengan sifat partikel yang melekat atau padatan dengan kandungan kelembaban tinggi, sehingga penggumpalan dan penyumbatan dapat terjadi [4].

Dalam merancang dimensi cyclone, Tabel 1 digunakan untuk mendapatkan nilai faktor pembanding pada setiap elemen dimensi versi Lapple, Swift dan Stairmand, sehingga dihasilkan beberapa variasi dimensi. Semakin besar laju alir (*flow rate*) volumetrik ( $Q$ ), maka semakin besar pula dimensi cyclone yang dihasilkan. Pada penelitian ini digunakan variasi  $Q$  sebesar 60000, 65000 dan 70000  $\text{m}^3/\text{jam}$ . Sebagai contoh, pada Tabel 2 digunakan  $Q$  sebesar 70000  $\text{m}^3/\text{jam}$ .

Dengan menggunakan program *Visual Basic Application* (VBA) pada Microsoft Excel dan memasukkan seluruh rumus (1) hingga (32) untuk Model Barth, Leith-Licht dan Iozia-Leith maka dapat ditentukan nilai efisiensi penyisihan partikulat untuk diameter perkiraan antara 0-100  $\mu\text{m}$ . Sebagai contoh, Gambar 3 dengan Metode Swift-Barth versi umum pada laju alir volumetrik sebesar 60000  $\text{m}^3/\text{dtk}$ , dapat disimpulkan bahwa semakin kecil  $Q$  dan diikuti dengan membesarnya kecepatan gas di inlet ( $v$ ), maka efisiensi penyisihan partikulat semakin besar.

Tabel 2. Dimensi Cyclone

Deskripsi	Versi					
	Lapple	Swift	Stairmand	Swift	Stairmand	Swift
	Penggunaan					
	Umum		Efisiensi Tinggi		Laju Aliran Tinggi	
Nilai (m)						
Dc	3,19	3,24	3,57	3,76	2,06	2,37
a	1,60	1,62	1,78	1,66	1,54	1,89
b	0,80	0,81	0,72	0,79	0,77	0,83
H	12,78	12,14	14,27	14,68	8,24	8,76
h	6,39	5,67	5,35	5,27	3,09	4,02
De	1,60	1,62	1,78	1,51	1,55	1,78
B	0,80	1,30	1,34	1,51	0,77	0,95
S	2,00	1,94	1,78	1,88	1,80	2,01
$\Delta H$	8,00	7,60	6,40	9,20	7,20	7,00

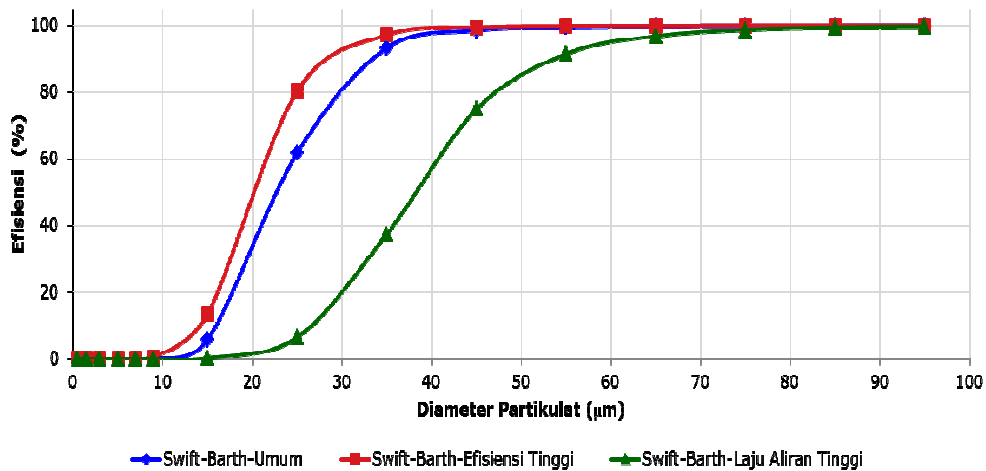


**Gambar 3.** Efisiensi Penyisihan Partikulat Terhadap Variasi Kecepatan Pada Model Swift-Umum

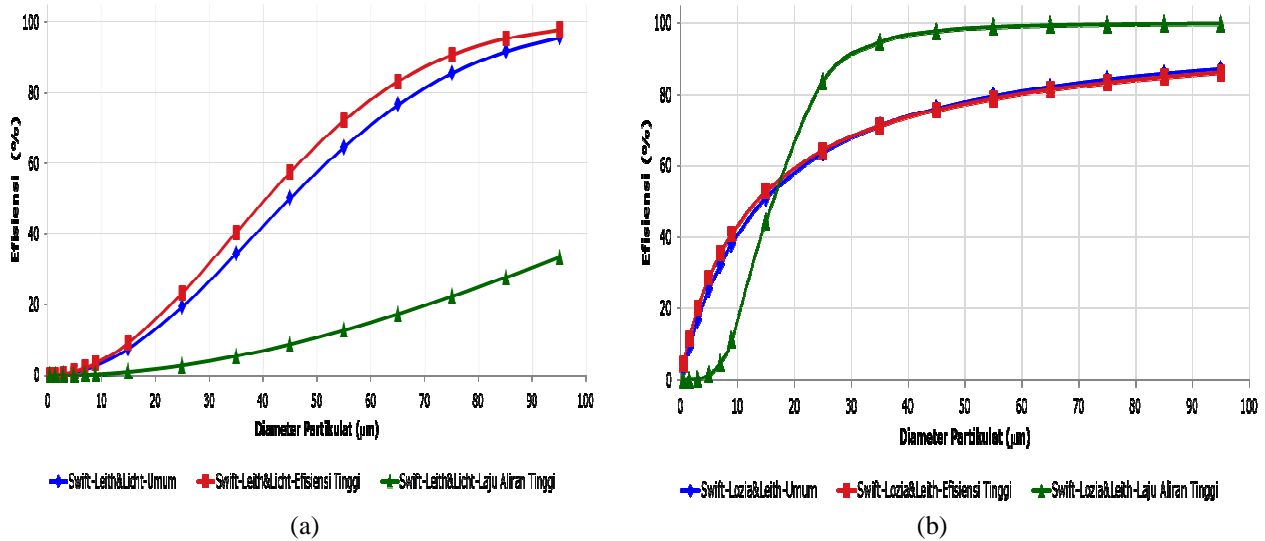
Pada Gambar 3 di atas, nilai efisiensi penyisihan partikulat dengan kecepatan gas ( $v_3$ ) sebesar 20 m/dtk jauh lebih besar dibandingkan dengan  $v_1$  sebesar 10 m/dtk. Namun pada diameter partikel di atas 30 µm, nilai efisiensi semakin menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu signifikan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa *semakin besar diameter partikel yang tersisih, semakin tinggi efisiensi kinerja pada cyclone.*

Pada Model Barth, persentase nilai efisiensi tertinggi setiap diameter partikulat dihasilkan oleh cyclone Swift-

efisiensi tinggi. Kondisi tersebut berdasarkan hasil simulasi yang tersaji pada Gambar 4 dengan contoh perhitungan menggunakan kecepatan gas di inlet sebesar 10 m/dtk. Hal serupa terjadi pada Model Leith-Litch ketika persentase nilai efisiensi tertinggi setiap partikulat dihasilkan oleh *cyclone* Swift-efisiensi tinggi (Gambar 5a).



**Gambar 4.** Efisiensi Penyisihan Partikulat Terhadap Variasi Model Swift-Barth Versi Umum, Efisiensi Tinggi dan Laju Aliran Tinggi



**Gambar 5.** Efisiensi Penyisihan Partikulat Terhadap Variasi Model Swift Leith-Litch (a) dan Model Iozia-Leith Versi Umum (b), Efisiensi Tinggi dan Laju Aliran Tinggi

Model Iozia-Leith mempunyai kondisi yang berbeda dibandingkan dengan Model Barth dan Leith-Litch. Pada model tersebut, persentase nilai efisiensi tertinggi untuk diameter partikulat 0-20 mm dihasilkan oleh *cyclone* Swift-umum, sedangkan untuk diameter partikulat 20-100 mm dihasilkan oleh *cyclone* Swift-laju aliran tinggi (Gambar 5b).

#### 4. Kesimpulan

Dari penelitian di atas maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

- Semakin tinggi laju alir (*flow rate*) volumetrik ( $Q$ ), maka dihasilkan dimensi *cyclone* yang semakin besar.
- Semakin kecil  $Q$  dan diikuti diperbesarnya kecepatan gas di inlet ( $v$ ), maka efisiensi penyisihan partikulat pada *cyclone* semakin membesar.
- Efisiensi partikulat terbesar terdapat pada *cyclone* versi efisiensi tinggi, kecuali Model Iozia-Leith.

#### Daftar Pustaka

- [1] Wang, L. K., Pereira, N. C., Hung, Y. T, 2004, *Air Pollution Control Engineering*, Humana Press Inc., Totowa.
- [2] Cooper, C. D., Alley, F. C., 2010, *Air Pollution Control: A Design Approach*, Fourth Edition, Waveland Pr Inc., New York.
- [3] De Nevers, N., 2010, *Air Pollution Control Engineering*, Second Edition, Waveland Pr Inc., New York.

[4] Vallero, D., 2008, *Fundamentals of Air Pollution*, Fourth Edition, Academic Press, London.