

Pengaruh Penggunaan Rasio Geometri *High Efficiency Stairmand* terhadap Efisiensi Pengumpulan *Top Cyclone Separator*

Ferrianto Falikh Syamsudin¹, Sapto Prajogo², Slameto³

¹Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 40012
E-mail: ferrianto.falikh.tken419@polban.ac.id¹, saptoprajogo@gmail.com², slameto@polban.ac.id³

ABSTRAK

Kinerja *top cyclone separator* dapat dipengaruhi oleh ukuran dan pemilihan bentuk dari *cyclone*. Perancangan *top cyclone separator* yang memiliki biaya operasi rendah memiliki beberapa keuntungan, antara lain kemampuan untuk beroperasi pada suhu tinggi dan pemeliharaannya yang sangat mudah. Salah satu metode yang sering dipilih untuk meningkatkan produksi klinker adalah dengan melakukan modifikasi pada *top cyclone separator*. Peningkatan produksi klinker dapat terjadi sebagai akibat dari peningkatan kinerja alat, yang kemudian dapat menghasilkan penghematan energi dalam proses tersebut. Tulisan ini mengulas tentang perancangan geometri *cyclone* secara sederhana dan ekonomis untuk meningkatkan efisiensi perangkat tersebut. Pemilihan rasio dimensi *high efficiency Stairmand* dan penggunaan Metode Muschelknautz (MM) dalam menghitung kinerja *top cyclone separator* dianggap sebagai metode komprehensif yang dapat meningkatkan efisiensi pengumpulan yang tinggi. Setelah melakukan analisis perhitungan menggunakan Metode Muschelknautz dengan rasio geometri Stairmand, diperoleh efisiensi pengumpulan sebesar 0,966 dan *pressure drop* sebesar 159,33 Pa untuk *top cyclone separator*.

Kata Kunci

top cyclone separator, Rasio *high efficiency Stairmand*, *Muschelknautz method*, efisiensi pengumpulan,

1. PENDAHULUAN

Top cyclone separator merupakan alat pemisah material padat dengan gas yang berada pada tahap atas (awal) pada *suspension preheater*. *Cyclone* memiliki bentuk yang khas, mudah dikenali dan dapat ditemukan pada hampir di setiap industri. Diameter *cyclone* bervariasi dan digunakan sebagai alat kontrol dalam pemisahan partikulat. Alat ini memiliki biaya instalasi dan operasi yang rendah, serta memiliki dimensi yang relatif kecil untuk mendukung efisiensinya. Keuntungan tersebut membuat *cyclone Top cyclone separator* adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk memisahkan material padat dari gas pada tahap awal di *suspension preheater*. *Cyclone* memiliki bentuk yang khas dan mudah dikenali, sehingga dapat ditemukan hampir di setiap industri. Diameter *cyclone* memiliki variasi yang beragam dan digunakan sebagai alat kontrol dalam proses pemisahan partikulat. Alat ini memiliki biaya instalasi dan operasi yang rendah, serta memiliki dimensi yang relatif kecil untuk mendukung efisiensinya. Keuntungan tersebut membuat *cyclone* banyak digunakan dalam industri semen untuk memisahkan partikulat semen [1].

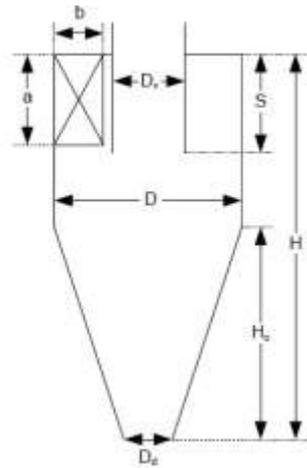
Meskipun *cyclone* sering dianggap memiliki efisiensi rendah, dalam perkembangannya tercatat bahwa *cyclone* mampu mencapai efisiensi hingga 98% atau bahkan lebih untuk partikel dengan ukuran lebih besar dari 5 μm [2]. Kinerja operasi *cyclone* dapat ditentukan oleh efisiensi pengumpulan dan *pressure drop*. Pendekatan untuk mengevaluasi kinerja *cyclone* didasarkan pada pengamatan empiris terhadap kompleksitas aliran dalam *cyclone* dan variasi geometri yang ada[3].

Pendekatan umum dalam menentukan dimensi *cyclone* adalah menggunakan metode Lapple, Stairmand, dan Swift. Sementara itu, dalam penentuan nilai efisiensi *cyclone* digunakan model Barth-Muschelknautz[4]. Penelitian yang dipublikasikan pada tahun 1951 mengenai dimensi *cyclone Stairmand* telah mencakup hampir semua masalah praktis terkait dengan penggunaan *cyclone*. Metode perhitungan yang dikembangkan oleh Barth-Muschelknautz telah terbukti berhasil digunakan dalam berbagai aplikasi praktis di industri dan banyak ditemukan dalam literatur-literatur Anglo-Saxon[5]. Model Barth-Muschelknautz dapat digunakan untuk memperkirakan batas ukuran partikel yang dapat dipisahkan oleh *cyclone*, serta mengestimasi kebutuhan energi yang dihasilkan oleh *pressure drop*[6].

2. METODA

Salah satu komponen utama dalam merancang *top cyclone separator* adalah memilih rasio geometri yang menghasilkan efisiensi pengumpulan yang paling tinggi. Dalam merancang *top cyclone separator*, pemilihan rasio geometri yang tepat dapat dilakukan, dan kemudian dapat dihitung menggunakan metode Muschelknautz yang terdapat dalam buku "*Gas Cyclone and Swirl Tubes*" karya Hoffman (2017). Dalam melihat kinerja *cyclone*, dua komponen utama yang diperhatikan adalah efisiensi pengumpulan dan tekanan *pressure drop*[7].

Gambar 1 menampilkan dimensi-dimensi dari *cyclone*, sementara Tabel 1 menyajikan beberapa rasio standar geometri *cyclone* yang dapat digunakan berdasarkan Maarup (2013) [8].



Gambar 1 Nomenklatur *Cyclone*

Sumber : Maarup, et al., 2013

Tabel 1 Standar rasio geometri *Cyclone*

Source	Recommended Duty	a/D	b/D	Dx/D	s/D	(H-Hc)/D	H/D	Dd/D
<i>Stairmand</i>	<i>High efficiency</i>	0,5	0,2	0,5	0,5	1,5	4,0	0,375
<i>Swift</i>	<i>High efficiency</i>	0,44	0,21	0,4	0,5	1,4	3,9	0,4
<i>Lapple</i>	<i>General purpose</i>	0,5	0,25	0,5	0,625	2,0	4,0	0,24
<i>Swift</i>	<i>General purpose</i>	0,5	0,25	0,5	0,6	1,75	3,75	0,4
<i>Stairmand</i>	<i>High troughput</i>	0,75	0,375	0,75	0,875	1,5	4,0	0,375
<i>Swift</i>	<i>High troughput</i>	0,8	0,35	0,75	0,85	1,7	3,7	0,4

(Sumber : Maarup, et al., 2013)

2.1 Muschelknautz’s Method (MM)

Berikut adalah tahapan-tahapan untuk menghitung efisiensi pengumpulan dan pressure drop menggunakan metode Muschelknautz:

2.1.1 Menghitung Faktor Kontriksi

Faktor kontriksi adalah perbandingan antara momentum inlet tangensial dan geometri badan cyclone.

$$\alpha = \frac{1}{\beta} \cdot \left(1 - \sqrt{1 + 4 \left(\left(\frac{\beta}{2} \right)^2 - \frac{\beta}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{(1-\beta^2)(2\beta-\beta^2)}{1+c_0}}} \right) \tag{1}$$

2.1.2 Menghitung Kecepatan Tangensial

Kecepatan dinding tangensial digambarkan dengan α , diikuti dengan v_{in} , R_{in} dan R .

$$v_{\theta w} = \frac{v_{in} \cdot R_{in}}{\alpha \cdot R} \tag{2}$$

2.1.3 Menghitung Kecepatan Axial

Kecepatan axial merupakan fungsi dari R_m . R_m merupakan *geometric mean radius*.

$$v_{zw} = \frac{0,9 \cdot Q}{\pi(R^2 - R_m^2)} \tag{3}$$

R_m adalah *mean radius*: $R_m = \sqrt{R_x \cdot R}$ dan Q merupakan laju alir olumetric gas. Nilai 0,9 tersebut didasarkan pada asumsi bahwa terdapat kebocoran sebesar 10% pada inlet *cyclone*.

2.1.4 Menghitung Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds pada *cyclone* menggambarkan jenis aliran yang terjadi

$$Re_c = \frac{R_{in} \cdot R_m \cdot v_{zw} \cdot \rho_G}{H \cdot \pi \left(1 + \left(\frac{v_{zw}}{v_{\theta m}} \right)^2 \right)} \tag{4}$$

$v_{\theta m}$ adalah *mean* kecepatan tangensial : $v_{\theta m} = \sqrt{v_{\theta w} \cdot v_{\theta CS}}$, dan untuk nilai $1 + (v_{zw}/v_{\theta m})$ tersebut bisa diabaikan atau diasumsikan 1.

2.1.5 Menghitung Faktor Friksi Gas

f_{air} adalah faktor friksi yang diakibatkan oleh gas pada dinding tabung dan kerucut *cyclone*.

$$f_{air} = f_{sm} + f_r \tag{5}$$

1) Pada kerucut *cyclone*

$$f_{sm} = 0,323 \cdot Rec^{-0,623} \tag{6}$$

$$f_r = \left(\log \left(\frac{1,60}{\frac{k_s}{r_a} - 0,0005999} \right) \right)^{2,38} \cdot \left(1 + \frac{2,25 \times 10^5}{R_{zc}^2 \left(\frac{k_s}{r_a} - 0,0005999 \right)^{0,213}} \right)^{-1}$$

2) Pada silinder *cyclone*

$$f_{sm} = 1,51 \cdot Rec^{-1} \quad (7)$$

$$f_r = \left(\log \left(\frac{1,60}{\frac{k_s}{\gamma_a} - 0,0005999} \right)^{2,38} \right)^{-2} \left(1 + \frac{2,14 \times 10^5}{R_{ec}^{1,64}} \right)^{-1}$$

2.1.6 Menghitung Faktor Friksi Total

F_{rx} merupakan *Froude number* pada *vortex*, dapat dicari dengan persamaan $F_{rx} = v_x / \sqrt{2 R_x g}$.

$$f = f_{air} + 0,25 \left(\frac{R}{R_x} \right)^{-0,625} \sqrt{\frac{\eta \cdot C_o \cdot F_{rx} \cdot \rho}{\rho_{str}}} \quad (8)$$

2.1.7 Menghitung Luas Total *Cyclone*

A_{tot} merupakan total luas permukaan di dalam *cyclone* yang berkontribusi terhadap terjadinya gesekan-gesekan.

$$A_{tot} = \pi [(R^2 - R_x^2) + 2R(H - H_c) + (R + R_d) \sqrt{H_c^2 + (R - R_d)^2} + 2R_x S] \quad (9)$$

2.1.8 Menghitung Kecepatan Tangensial Pada *Control-Surface* (CS)

Untuk menghitung diameter *cut-size*, langkah pertama adalah menghitung kecepatan tangensial gas pada *control-surface*.

$$v_{\theta CS} = v_{\theta w} \frac{R/R_x}{1 + \frac{f A_{tot} v_{\theta w} \sqrt{R/R_x}}{2Q}} \quad (10)$$

2.1.9 Menghitung *Cut-Size* Partikel

Diameter *cut-size cyclone* (d_{50}) adalah diameter ekuivalen aerodinamik (AED) dari partikel yang berhasil dikumpulkan dengan efisiensi sebesar 50%.

$$d_{50} = d_{fact} \sqrt{\frac{18 \cdot \mu \cdot (0,9Q)}{2\pi (\rho_p - \rho_g) v_{\theta CS}^2 (H - S)}} \quad (11)$$

Istilah d_{fact} adalah faktor koreksi yang digunakan untuk memastikan bahwa titik potong yang dihitung sesuai dengan yang diamati dalam penelitian. Nilai yang umumnya digunakan untuk d_{fact} adalah antara 0,9 hingga 1,4.

2.1.10 Menghitung Efisiensi Kurva Fraksionasi

Efisiensi kurva fraksionasi (η_i) atau efisiensi perpindahan partikel pada interval tertentu.

$$\eta_i = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{50}}{d_i} \right)^m} \quad (12)$$

Umumnya, nilai koefisien m telah ditentukan berada dalam kisaran antara 2 hingga 7 untuk semua *cyclone*.

2.1.11 Menghitung Efisiensi Pengumpulan

Efisiensi pengumpulan keseluruhan diperoleh dengan membagi umpan menjadi fraksi-fraksi berdasarkan ukuran partikel.

$$\eta_x = \sum_{i=1}^N \eta_i \times \Delta MF_i \quad (13)$$

2.1.12 Menghitung Nilai Limit Padatan (C_o)

Menentukan efek pembebanan (*saltation*) yang dapat ditahan oleh fase gas dalam suspension turbulen saat masuk ke dalam *cyclone* melibatkan analisis terhadap kemampuan fase gas untuk menahan partikel-partikel dalam suspensi turbulen tersebut.

$$C_{ol} = 0,025 \left(\frac{d_{50}}{d_{med}} \right) (10 \cdot C_o)^k \quad (14)$$

$$\text{untuk } \begin{cases} C_o \geq 0,1 ; k = 0,15 \\ C_o < 0,1 ; k = -0,11 - 0,10 \cdot \ln(C_o) \end{cases}$$

Nilai C_{ol} digunakan untuk menentukan penggunaan persamaan dalam menghitung efisiensi total *cyclone*. Jika nilai $C_o < C_{ol}$, maka nilai efisiensi pengumpulan sama dengan efisiensi total *cyclone* dan dapat menggunakan persamaan (13). Namun, jika nilai $C_o > C_{ol}$, maka perhitungan efisiensi total menggunakan persamaan (15).

2.1.13 Menghitung Efisiensi Total *Cyclone*

Menentukan efisiensi pemisahan keseluruhan yaitu ketika kondisi jika nilai $C_o > C_{ol}$.

$$\eta = \left(1 - \frac{C_{ol}}{C_o} \right) + \left(\frac{C_{ol}}{C_o} \right) \sum_{i=1}^N \eta_i \times \Delta MF_i \quad (15)$$

2.1.14 Menghitung *Pressure Drop*

Perhitungan *pressure drop* yang digunakan untuk tipe masukan secara tangensial melibatkan penjelasan tentang efek peningkatan gesekan dinding akibat partikel-padatan yang menabrak dinding.

1) Pada *body cyclone*

$$\Delta P_{body} = \frac{f \cdot A_{tot} \cdot \rho \cdot (v_{\theta CS} v_{\theta w})^{1,5}}{2 \cdot 0,9 \cdot Q} \quad (16)$$

2) Pada *vortex finder*

$$\Delta P_x = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_x^2 \cdot \left(2 + \left(\frac{v_{\theta CS}}{v_x} \right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{v_{\theta CS}}{v_x} \right)^4 \right) \quad (17)$$

3) Total *pressure drop*

$$\Delta P = \Delta P_{body} + \Delta P_x \quad (18)$$

3. HASIL DAN ANALISA

Rasio geometri yang digunakan adalah rasio *high efficiency Stairmand* dengan diameter yang sama dengan yang ada, yaitu 6,9 m, untuk menghitung dimensi *cyclone*. Hasil perhitungan rasio geometri dapat dilihat pada Tabel 2. Selanjutnya, perhitungan efisiensi pengumpulan menggunakan metode *Muschelknautz* dapat dilihat pada Tabel 3.

3.1 Hasil Perhitungan

Tabel 2 Dimensi *cyclone* dengan rasio *high efficiency* Stairmand

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
1	<i>Diameter</i>	D	6,9	m
2	<i>Heigh of inlet</i>	a	3,45	m
3	<i>Width of inlet</i>	b	1,38	m
4	<i>Diameter of gas exit</i>	Dx	4	m
5	<i>Length of vortex finder</i>	S	3,45	m
6	<i>Length of cyclone</i>	H	27,6	m
7	<i>Length of body</i>	Hx	10,35	m
8	<i>Length of cone</i>	Hc	17,25	m
9	<i>Diameter of dust outlet</i>	Dd	2,6	mm

(Sumber : Data primer, 2023)

Dalam perhitungan rasio geometri menggunakan metode Muschelknautz, didapatkan efisiensi pengumpulan sebesar 0,966 dan *pressure drop* sebesar 159,33 Pa.

Tabel 3 Hasil perhitungan menggunakan Muschelknautz's Method

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
1	Faktor Kontriksi	α	0,622	-
2	Kecepatan Pada Dinding	$v_{\theta w}$	4,88	m/s
3	Kecepatan <i>Axial</i>	v_{zw}	8,117	m/s
4	Nilai Reynoldss	R_{ec}	23880,65	
5	Faktor Friksi Gas	f_{air}	0,000786	
6	Faktor Friksi Total	f	0,00305	
7	Total Luas <i>Cyclone</i>	A_{tot}	550,10	m ²
8	Kecepatan Tangensial	$v_{\theta cs}$	8,104	m/s
9	<i>Diameter Cut Size</i>	d_{50}	$5,15 \times 10^{-5}$	m
10	Efisiensi Fraksional	η_i	0,966	
11	Efisiensi Pengumpulan	η_x	0,966	
12	Nilai Limit Beban	Col	0,00154	kg
13	Efisiensi <i>Cyclone</i> Total	η	0,966	
14	<i>Pressure drop</i> Total	ΔP	159,33	Pa

(Sumber : Data primer, 2023)

Cyclone tahap atas (*top cyclone separator*) memiliki ukuran yang lebih ramping dibandingkan tahap lainnya dengan tujuan untuk mengoptimalkan efisiensi pengumpulan dan mengurangi kehilangan debu. Di sisi lain, bagian kerucut (*cone*) pada *cyclone* tahap bawah (*bottom cyclone*) cenderung dirancang untuk mengurangi penumpukkan padatan. Efisiensi pengumpulan keseluruhan yang umum terjadi dalam *cyclone* pada pabrik semen berkisar antara 0,70 hingga 0,95. Pada umumnya, tingkat pengumpulan tertinggi terjadi pada *top cyclone*. [6].

Efisiensi pengumpulan yang mencapai 0,966 dapat dikategorikan sebagai efisiensi yang sangat tinggi dan sangat penting bagi *cyclone* tahap atas, karena efisiensi tersebut memiliki dampak signifikan pada material yang masuk ke tahap berikutnya. Semakin tinggi efisiensi pengumpulan, semakin banyak material yang akan terakumulasi. Terdapat beberapa parameter dimensi yang memiliki pengaruh terhadap efisiensi pengumpulan, yakni sebagai berikut:

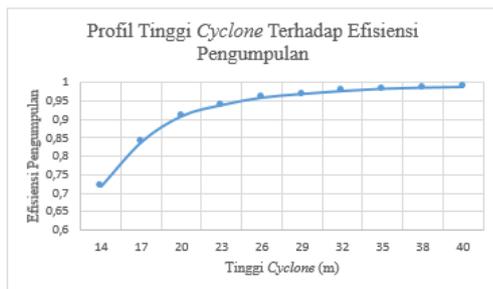
3.2 Analisa Tinggi *Cyclone* Terhadap Efisiensi Pengumpulan

Pada perhitungan yang dilakukan, ditemukan bahwa bagian kerucut *cyclone* memiliki panjang yang lebih besar dibandingkan dengan bagian silinder *cyclone*. Bagian kerucut *cyclone* berperan sebagai tempat terjadinya induksi aliran gas atau fluida yang berputar, menciptakan *vortex*. Hal ini memungkinkan pemisahan material padatan ke dasar kerucut, sementara udara bersih akan mengalir kembali ke atas melalui pusat *cyclone* dan keluar melalui *vortex finder*. Dengan meningkatnya panjang bagian kerucut, jumlah *vortex* yang terbentuk akan semakin banyak, sehingga massa material yang terkumpul atau terpisah akan lebih banyak. Dengan kata lain, peningkatan panjang bagian kerucut *cyclone* dapat meningkatkan efisiensi pengumpulan material padatan yang diinginkan.

Tinggi *cyclone* memiliki dampak terhadap peningkatan jumlah massa yang mengarah pada peningkatan efisiensi pengumpulan pada *top cyclone separator*. Peningkatan jumlah massa debu yang terkumpul disebabkan oleh terjadinya tumbukan antara partikel debu dan juga tumbukan

partikel debu dengan dinding *cyclone* yang lebih sering terjadi. Dampaknya adalah peningkatan jumlah massa yang jatuh dan terkumpul di bagian bawah *cyclone*.

Sebaliknya, dengan badan *cyclone* yang lebih panjang, waktu tinggal udara dalam sistem akan lebih lama, terutama di bagian kerucut yang lebih sempit. Ini menghasilkan peningkatan kecepatan aliran udara di dalam *cyclone*. Peningkatan kecepatan ini menciptakan gaya sentrifugal yang lebih kuat pada udara, yang pada gilirannya menarik partikel lebih efektif saat berputar di dalam *cyclone*. Akibatnya, udara yang keluar dari *cyclone* menjadi semakin bersih. Hubungan antara tinggi *cyclone* dan efisiensi pengumpulan dapat dilihat dalam Gambar 2.



Gambar 2 Grafik hubungan tinggi *cyclone* terhadap efisiensi pengumpulan
(Sumber : Data primer, 2023)

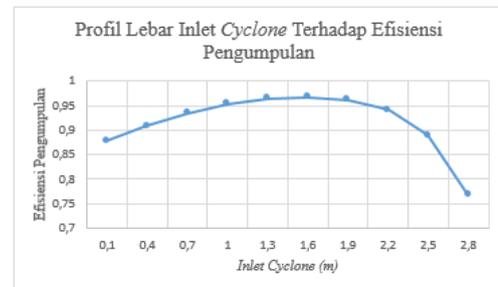
Gambar 2 menggambarkan pengaruh variasi tinggi *cyclone* terhadap efisiensi pengumpulan yang dapat dicapai. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa semakin tinggi *cyclone*, nilai efisiensi pengumpulan yang dapat dicapai juga semakin tinggi. Hal ini disebabkan oleh peningkatan jumlah tumbukan partikel dengan dinding dan antar partikel yang terjadi dalam *cyclone* yang lebih tinggi serta menghasilkan lebih banyak partikel dapat terpisah dan terkumpul.

Selain pemisahan partikel, di dalam bagian tubuh *cyclone* juga terjadi perpindahan panas antara partikel-partikel tersebut. Oleh karena itu, tumbukan antar partikel yang terjadi juga berkontribusi pada perpindahan panas yang merata di dalam *cyclone*. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi perpindahan panas di dalam alat tersebut. Pemilihan tinggi *cyclone* harus disesuaikan dengan tempat peletakan objek yang tersedia. Ketentuan tersebut diberikan agar *cyclone* dengan rasio geometri yang telah dipilih dapat diimplementasikan pada proses.

3.3 Analisa Lebar Inlet Terhadap Efisiensi Pengumpulan

Input material *cyclone*, yang terdiri dari campuran raw meal dan hot gas, akan memasuki *cyclone* melalui inlet *cyclone*. Dimensi lebar inlet *cyclone* mempengaruhi kecepatan masukan ke dalam *cyclone*. Saat partikel memasuki *cyclone*, terbentuk gaya sentrifugal yang menciptakan sebuah *vortex* saat mencapai puncak kolektor silinder pada sudut yang curam. Lebar inlet *cyclone* yang lebih besar akan meningkatkan kecepatan masukan, sehingga mempengaruhi gaya sentrifugal yang mendorong partikel ke luar *vortex*

untuk bertumbukan dengan dinding atau partikel lain dan jatuh ke bawah. Semakin banyak partikel yang jatuh ke bawah, maka efisiensi pengumpulan *cyclone* akan semakin tinggi. Kecepatan masukan juga berpengaruh terhadap *pressure drop* dan efisiensi. Peningkatan kecepatan masukan akan meningkatkan efisiensi pengumpulan, namun juga akan meningkatkan *pressure drop* yang tidak menguntungkan. Hubungan antara lebar inlet dengan efisiensi pengumpulan dapat dilihat dalam Gambar 3.

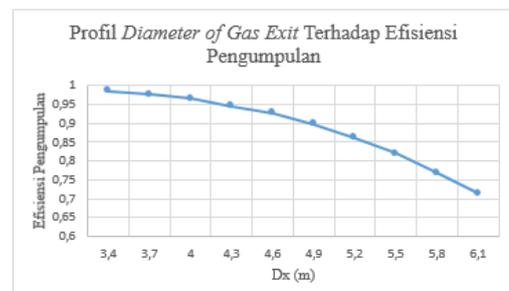


Gambar 3 Grafik hubungan lebar inlet *cyclone* terhadap efisiensi pengumpulan
(Sumber : Data primer, 2023)

Gambar 3 menunjukkan bahwa ukuran lebar inlet *cyclone* memiliki pengaruh terhadap efisiensi pengumpulan. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa semakin besar lebar inlet, efisiensi pengumpulan cenderung menurun karena adanya kontraksi aliran. Oleh karena itu, pemilihan ukuran lebar inlet yang tepat sangat penting agar efisiensi pengumpulan yang tinggi dapat dicapai dan *top cyclone separator* dapat beroperasi secara optimal.

3.4 Analisa Diameter Keluaran Gas Terhadap Efisiensi Pengumpulan

Gas bersih yang dihasilkan dari pemisahan material gas dan debu semen di dalam *cyclone* akan keluar melalui *vortex finder* yang terletak di bagian atas *cyclone*. Pada saat udara mencapai bagian ujung silinder, udara akan berputar secara radial menuju bagian dalam *cyclone* melalui *vortex* dalam dan kemudian keluar melalui *vortex finder* sebagai gas bersih. Semakin bersih gas yang keluar, semakin tinggi pula efisiensi pengumpulan. *Diameter exit gas* merujuk pada diameter dari *vortex finder*. Hubungan antara *diameter exit gas* dengan efisiensi pengumpulan dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 4 Grafik hubungan *diameter of gas exit* terhadap efisiensi pengumpulan
(Sumber : Data primer, 2023)

Gambar 4 menggambarkan bahwa semakin besar diameter keluaran gas, efisiensi pengumpulan akan semakin rendah. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa diameter keluaran yang lebih besar memungkinkan partikel debu dalam *cyclone* ikut keluar melalui bagian atas bersama dengan gas, sehingga gas yang keluar tidak terlalu bersih. Selain itu, diameter keluaran yang besar juga mengakibatkan jumlah massa debu yang terkumpul di bagian bawah *cyclone* menjadi lebih sedikit. Sebagai akibatnya, efisiensi pengumpulan menurun karena kurangnya massa debu yang terkumpul di dalam *cyclone*.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa menggunakan diameter *cyclone* sebesar 6,9 m menghasilkan efisiensi pengumpulan sebesar 0,966 dan *pressure drop* sebesar 159,33 Pa. Perhitungan dimensi *cyclone* didasarkan pada rasio *high efficiency* Stairmand dan menggunakan metode perhitungan Muschelknautz. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa dalam penelitian ini, ukuran dan metode perhitungan yang digunakan memberikan hasil yang memadai dalam mencapai efisiensi pengumpulan yang tinggi dan menghasilkan tingkat *pressure drop* yang diinginkan.

Efisiensi pengumpulan yang tinggi menunjukkan bahwa jumlah material yang terkumpul akan lebih banyak. Terdapat beberapa parameter dimensi yang akan mempengaruhi efisiensi pengumpulan. Tinggi *cyclone* yang lebih besar akan menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi, namun juga meningkatkan *pressure drop*. Lebar inlet *cyclone* yang lebih besar akan meningkatkan efisiensi pengumpulan. Namun, diameter *cyclone* yang lebih besar akan mengurangi efisiensi pengumpulan karena material yang terbuang akan lebih

banyak. Oleh karena itu, pemilihan rasio geometri yang tepat sangat penting karena akan mempengaruhi besarnya efisiensi pengumpulan dari *cyclone separator*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Husairy and B. D. Leonanda, "Simulasi Pengaruh Variasi Kecepatan Inlet Terhadap Persentase Pemisahan Partikel pada *Cyclone Separator* dengan Menggunakan CFD," *Jurnal Rekayasa Sipil*, vol. 10, no. 1, pp. 12-21, 2014.
- [2] C. Cooper and F. Alley, *Air Pollution Control*, USA, 1986.
- [3] P. S. Darmanto and S. Arief, "Modifikasi Top *Cyclone* Untuk Meningkatkan Kinerja Suatu Pabrik Semen," *Jurnal Teknik Mesin*, pp. 10-15, 2006.
- [4] L. Wang, N. Pereira and Y. T. Hung, *Air Pollution Control Engineering*, Totowa: Humana Press inc., 2004.
- [5] A. Burkholiz, *Droplet Separator*, VCH VmbH, 1989.
- [6] P. S. Darmanto and P. Katon, "Pengujian Karakteristik Kinerja Siklon Separator Hemat Energi," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. XII, no. 3, pp. 87-94, 2006.
- [7] S. Hoffman, *Gas Cyclone And swirl Tubs Principles, Design, Operation*, Bergen: s.n, 2007.
- [8] C. Maarup, Dam-Johansen, K. Clement and Klaus, *Gas-Solid Heat Exchanger for Cement Production*, Technical University of Denmark, Department of Chemical and Biochemical Engineering, 2013.