



Pengaruh Diameter Input dan Debit Aliran pada Cyclone dengan Metode CFD untuk Menghasilkan Keefektifan Laju Aliran

Ismail Marsuki (Mahasiswa), Ir. Ninik Martini M.T. (Dosen Pembimbing)

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia

email: mohmesin@untag-sby.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini menggunakan perangkat lunak komputasi dinamika fluida (CFD) untuk menganalisis sistem siklon dan memvisualisasikan kontur kondisi seperti kecepatan dan tekanan di dalam siklon. Dimensi *cyclone* yang di gunakan Panjang sisi 1700 mm dengan diameter 740 mm. Prediksi yang di hasilkan memberikan informasi keefektifan *cyclone* dengan nilai yang harus di hasilkan *Pressure* rendah, *Velocity* tinggi, dan *Acoustic level* rendah juga melakukan perbandingan analisa secara analitis terhadap hasil simulasi *cyclone*. Hasil Kajian menunjukkan didapatkan nilai *pressure* rendah *cyclone* dengan diameter input 4 inch pada *flow rate* 38,19 m³/min dengan hasil nilai *pressure*nya 281,62 mbar, Sedangkan pada hasil analisa *velocity* didapatkan nilai tertinggi *cyclone* dengan diameter input 4 inch pada *flow rate* 38,19 m³/min dengan hasil nilai *velocity*nya 83,145 m/s, dan juga pada hasil analisa *acoustic level* didapatkan nilai terendah *cyclone* dengan diameter input 8 inch pada *flow rate* 24,30 m³/min dengan hasil nilai *acoustic level*nya 57,19 dB nilai tersebut rendah di karenakan laju *velocity* yang rendah sehingga gaya gesekan yang terjadinya dalam *cyclone* rendah. Jadi Desain *cyclone* dengan diameter input 4 inch yang paling mendekati efektif dalam kinerjanya secara umum. Hasil Perbandingan Perhitungan teoritis pada diameter input 4 Inch berada dalam performa terbaiknya saat penggunaan *flow rate* 38,19 m³/min dimana nilai yang di hasilkan adalah 288,38 m/s berbanding lurus dengan hasil perhitungan menggunakan simulasi *software* yang sama sama berada dalam performa terbaiknya pada diameter input 4 inch dengan penggunaan *flow rate* 38,19 m³/min dimana nilai yang di hasilkan adalah 348,38 m/s.

Kata kunci: *Cyclone, CFD, Pneumatic Conveying, Velocity*

ABSTRACT

*This study uses computational fluid dynamics (CFD) software to analyze a cyclone system and visualize the contours of conditions such as velocity and pressure within the cyclone. The dimensions of the cyclone used were 1700 mm side length and 740 mm diameter. The generated forecast provides information about the effectiveness of the cyclone, including the generated values. The low pressure, high velocity, and low acoustic values are also compared with analytical analysis of cyclone simulation results. The study results showed that the low pressure value of the 4-inch inlet diameter cyclone was achieved with a flow rate of 38.19 m³ / min with a pressure value of 281.62 mbar, while the results of velocity analysis obtained the highest value of cyclone with an input diameter of 4 inches at a flow rate of 38.19 m³ / min with the results of a *velocity* value of 83.145 m / s, and also in the results of acoustic level analysis obtained the lowest value of cyclone with an input diameter of 8 inches at a flow rate of 24.30 m³ / min with The result of the acoustic level value is 57.19 dB, the value is low because of the low velocity rate so that the frictional force that occurs in the cyclone is low. So the cyclone design with*

an input diameter of 4 inches is closest to effective in general performance. Comparison Results The theoretical calculation on the input diameter of 4 inches is in its best performance when using a flow rate of 38.19 m³ / min where the resulting value is 288.38 m / s directly proportional to the calculation results using the same software simulation is in its best performance at an input diameter of 4 inches with the use of a flow rate of 38.19 m³ / min where the resulting value is 348.38 m / s.

Keywords: Cyclone, CFD, Pneumatic Conveying, Velocity

PENDAHULUAN

Perkembangan industri di Indonesia saat ini berlangsung pesat seiring kemajuan teknologi, dengan berdirinya perusahaan-perusahaan besar dengan memiliki peralatan yang canggih dan mengalami terus peningkatan dari beberapa sektor. Menurut (Mochamad Zikri Firmansyah, 2018)

Konveyor pneumatik adalah alat yang digunakan untuk mengangkut bahan bubuk, atau granular di pabrik. Sistem pneumatik mengandalkan udara bertekanan dan pengisapan untuk mendistribusikan partikel, menjadikannya proses tertutup yang dapat berfungsi sepenuhnya tanpa bagian atau benda bergerak menyentuh bagian atau benda bergerak. Bahan dapat diangkut pada tekanan tinggi, rendah atau negatif. Ada dua jenis sistem konveyor pneumatik: konveyor fase encer untuk material cair dan konveyor feromitik untuk material padat (Mills, D. 2004); (Chandana Ratnayake, 2005); (Cai, L.,2014);.

Perusahaan besar saat ini masih ada beberapa menggunakan proses manual, contohnya pemindahan biji plastik pada mesin mixer yang pemindahannya masih menggunakan tenaga manusia. PT. Intidaya Dinamika Sejati saat ini mendapat *project Pneumatic Conveying System* dengan menggunakan *Root Blower type Vacuum*.

Aliran udara cair tanpa filter dapat dipisahkan menjadi partikel-partikel melalui alat yang dikenal sebagai *Cyclone* (Toni Suhartono, 20). Prinsip alat ini adalah menggunakan gaya sentrifugal dan gravitasi untuk memisahkan partikel padat dan gas dalam *cyclone* separator. Sebuah *vortex* tercipta di dalam *cyclone* yang memisahkan partikel dan gas, menyebabkan partikel yang lebih padat jatuh ke bawah dan udara yang kurang padat naik ke atas. Tergantung pada ukuran partikel, dan kepadatan masing-masing bagian, partikel dipisahkan dengan kekuatan yang cukup dari *cyclone*. Kecepatan masuk inlet juga berpengaruh signifikan terhadap persentase pemisahan partikel (A.Husairy dan Benny D Leonanda, 2014).

Fokus tujuan penelitian ini adalah menganalisis sistem menggunakan CFD (*Computation Fluid Dynamic*) dan memvisualisasikan kontur kondisi seperti kecepatan dan tekanan di dalam siklon. Simulasi aliran siklon dapat dilakukan dengan menggunakan CFD (*Computation Fluid Dynamic*) untuk menentukan jumlah partikel yang menangkap atau melepaskannya. Melalui simulasi ini, hubungan antara kecepatan masuk dan persentase pemisahan partikel serta ukuran relatif pemisah siklon dapat ditentukan.

METODE PENELITIAN

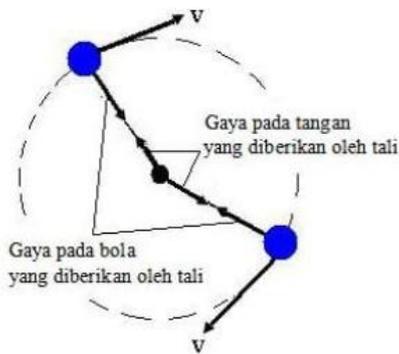
Cyclone

Cyclone adalah perangkat alat yang digunakan untuk memisahkan partikel dari aliran udara fluida tanpa menggunakan filter, fluida mengalir dengan gerakan berputar biasanya gerakannya turbulen kecepatan dan laju rotasi terbesar berada dipusat dan berkurang menjauhi pusat, efek rotasi dan gravitasi digunakan untuk memisahkan campuran padatan dan cairan.

Gaya Sentrifugal

Gaya sentrifugal merupakan gaya inersia yang terjadi pada benda yang berputar. Gaya ini bekerja pada kerangka acuan yang berputar (melingkar). Gaya sentrifugal adalah suatu gerak yang menggambarkan kecenderungan suatu benda mengikuti lintasan melengkung (melingkar) keluar atau menjauhi pusat kurva (Lohat 2009). Berdasarkan sifatnya yang non-Newtonian, gaya sentrifugal bukanlah suatu gaya, melainkan suatu efek yang disebabkan oleh momen inersia suatu benda yang bergerak dalam gerak siklis. Kemampuan suatu benda untuk mempertahankan bentuk aslinya disebut momen inersia (Barattini 2012).

Rumus gaya sentrifugal:



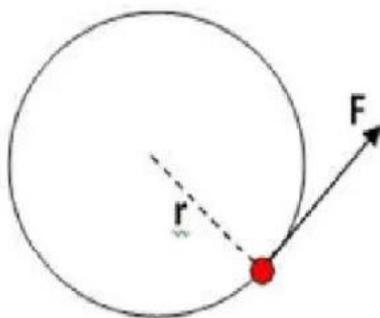
Gambar 1. Gaya Sentrifugal

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

Dimana: F = gaya sentrifugal (N)
 v = kecepatan linear (m/s)
 m = massa (kg)
 r = jari-jari lintasan (m)

Gaya Tangensial

Gaya tangensial merupakan gaya yang dipengaruhi oleh gaya sentrifugal (gaya yang diarahkan dari pusat ke luar) dan gaya sentripetal (gaya yang diarahkan dari luar menuju pusat). Gaya tangensial berhubungan dengan tekanan sentrifugal/sentripetal. Konsep dasar gaya tangensial berasal dari teori Newton, yaitu :



Gambar 2. Gaya Tangensial

$$F = ma_{tan}$$

$$a_{tan} = r a$$

Dimana : F = gaya tangensial
 m = massa
 a = percepatan sudut (rad/s^2)
 r = jari jari lintasan (m)

Pneumatic Conveying System

Pneumatic Conveying System adalah padatan berbentuk butiran yang dapat dialirkan ke segala arah melalui saluran dengan menggunakan aliran udara berkecepatan tinggi. Saluran air berskala besar biasa terjadi di lingkungan industri, dengan aliran limbah seperti abu terbang dan semen terbawa bermil-mil atau bahkan kilometer. Bahan tersirkulasi udara meliputi bahan kimia, segala jenis pelet plastik, butiran, dan bubuk. Sistem *pneumatic conveying* (pengangkutan pneumatik) adalah sistem yang dapat membawa butiran menggunakan aliran udara.

Pengangkutan pneumatik menyediakan cara yang hemat biaya untuk dengan mudah menangani dan mengangkut material curah berbentuk bubuk dan granular dengan kerugian minimal. Cocok untuk berbagai industri proses seperti makanan dan minuman, makanan hewan, bahan kimia, produk pembersih, energi terbarukan, dan material khusus. Ada 2 kategori *Pneumatic Conveying System*.

Vacuum Roots Blower

Fungsi dari *Vacuum roots blower* untuk menyedot udara dari *Cyclone* dan meniupkannya ke bagian bawah *Rotary air lock*. Udara dari vacuum blower menarik dan mendorong material butiran yang keluar dari *Cyclone*. Material dikeluarkan dari port output *Cyclone* (Dedi Suwandi, 2022).



Gambar 3. Vacuum Roots Blower

Laju Aliran Fluida

Istilah fluida digunakan untuk menggambarkan suatu zat yang dapat bergerak melalui tegangan geser wadahnya atau berubah bentuk seiring berubahannya. Dalam kesetimbangan, fluida tidak dapat menahan gaya tangensial atau gaya geser. Semua fluida dapat dikompresi sampai batas tertentu dan menunjukkan ketahanan terhadap deformasi.

Baik aliran kental maupun aliran tak-kental merupakan kemungkinan bentuk aliran fluida. Fluida Newtonian dan non-Newtonian adalah dua kategori fluida kental. Dalam fluida Newton, laju regangan berbanding lurus dengan jumlah tegangan geser yang diterapkan, sebagaimana ditentukan dengan memperhatikan hukum viskoelastisitas.

Fluida Newtonian memiliki persamaan spesifik yang disebut viskositas, yang terkait secara linier dengan tegangan geser dan gradien kecepatan. Persamaan di bawah menjelaskan cara kerja proses ini:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dx}$$

Dimana : τ = tegangan geser yang dihasilkan oleh fluida

μ = viskositas fluida-sebuah konstanta proporsionalitas

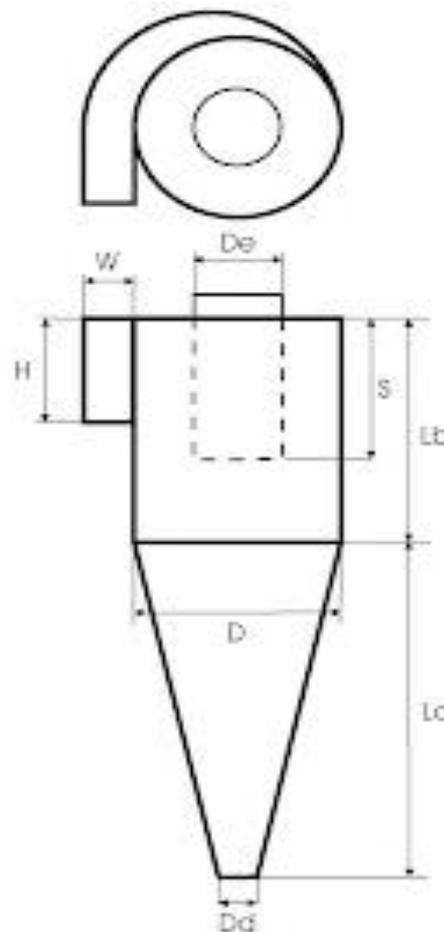
$\frac{dv}{dx}$ = gradien kecepatan yang tegak lurus dengan arah geseran

Menurut definisinya, viskositas fluida Newton hanya dipengaruhi oleh tekanan yang dihadapinya. Fluida yang tidak dapat dimampatkan mempunyai kekentalan yang konsisten sepanjang keberadaannya.

Menghitung Dimensi Cyclone

Untuk menyelesaikan peningkatan efisiensi perlu di buat *cyclone* yang memiliki desain proposional. Untuk memperoleh desain yang sesuai dengan kapasitas yang di inginkan perlu di lakukan perhitungan.

$$D = \left(\frac{5,7 * Q}{V} \right)^{0,5}$$



Gambar 4. Menentukan Dimensi Cyclone

Perancangan *cyclone* dapat di hitung dengan :

$$De = 0.5 \cdot D$$

$$Lc = 3 \cdot D$$

$$Lb = 1.6 \cdot D$$

$$Dd = 0.25 \cdot D$$

$$S = 0.9 \cdot D$$

$$H = 0.6 \cdot D$$

$$W = 0.18 \cdot D$$

Kecepatan Putaran Inti Maksimum

Kecepatan putaran inti maksimum adalah frekuensi putaran inti vortex di sekitar dinding dalam siklon (atau tabung pusaran) yang telah diamati berbanding lurus dengan laju aliran. Menariknya, untuk laju aliran yang diberikan, frekuensi *processing* ini juga ditemukan kurang lebih sama dengan kecepatan putar inti maksimum dibagi oleh keliling dinding dalam pada bidang yang melekat. Hal yang akan mengilustrasikan ini sebagai berikut.

$$v_{\theta \max} = \left(\frac{r_e}{r_{\theta \max}} \right)^n v_{in}$$

Dimana :

$V_{\theta \max}$ = Kecepatan Inti Maksimum, m/s

r_e = Radius Rata rata masuk gas = $(D - b) / 2$, m

$r_{\theta \max}$ = Radius $V_{\theta \max}$ yang terjadi = $(0.8 \times d_x) / 2$, m

n = Koefisien = 0.8

V_{in} = Kecepatan input = (Q / A_{in}) , m/s

Q = Volume flow rate, m^3/s

A_{in} = Luas area input, m^2

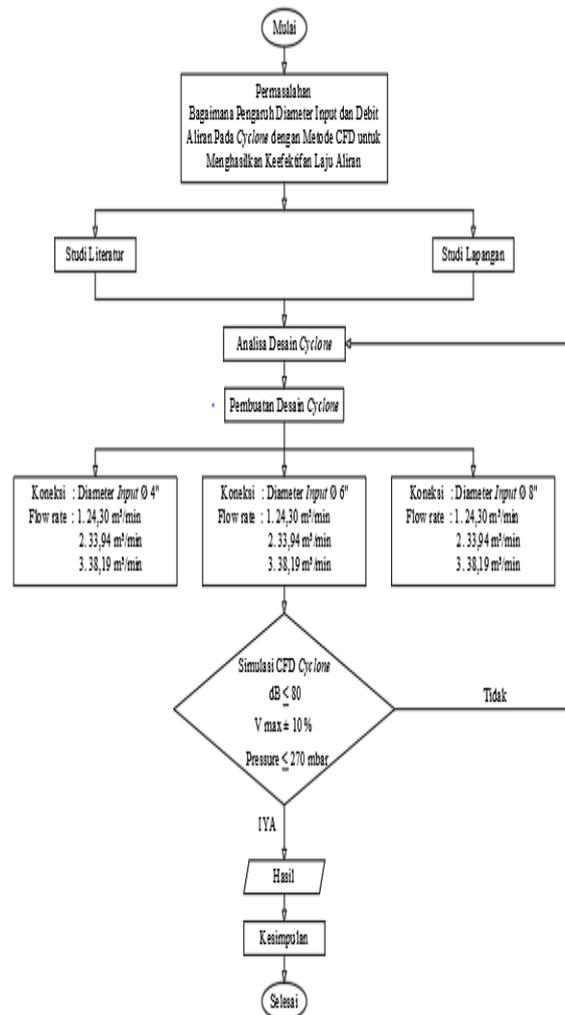
Perencanaan Penelitian

Tahap Pembuatan *Design* dilakukan 3 proses, yaitu desain *cyclone* diameter Input 4 inch, desain *cyclone* diameter input 6 inch dan desain *cyclone* diameter input 8 inch . Pada tahapan ketiga desain *cyclone* tersebut menghitung *input* dan *output* dengan variasi flow rate dimana:

Tabel 1. Level Yang Digunakan

Faktor	Level		
	1	2	3
Flow rate	24,30 m^3/min	33,94 m^3/min	38,19 m^3/min
Diameter Input <i>Cyclone</i>	4 Inch	6 Inch	8 Inch

Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Flow chart Sistem Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

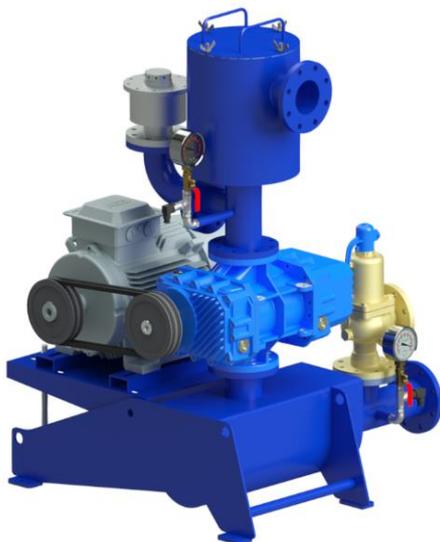
Pengumpulan Data Penelitian

Data penelitian yang didapatkan pada tahapan pengumpulan data terdiri dari beberapa data, yaitu rangkaian percobaan desain system cyclone, spesifikasi blower, spesifikasi dimensi cyclone dan variable yang digunakan untuk analisa. Berikut data yang didapat untuk penelitian.

Vacuum roots blower berfungsi untuk menghisap udara maupun material sebagai media transfer material berbasis *pneumatic Conveying*. Hisapan udara dari *vacuum roots blower* akan menarik material biji-bijian maupun material lain yang keluar dari proses pengolahan.

Cyclone Berfungsi Sebagai media pemisah partikel padat maupun cair dimana aliran masuk di arahkan secara tangensial ke arah dinding *cyclone* dan di bantu proses penarikan material menggunakan roots blower sehingga menimbulkan Gerakan melingkar. Massa Material yang lebih berat membentur dinding dan kemudian mengalir turun, Sedangkan fase gas yang lebih ringan keluar melalui lubang lubang filterasi atas pada bagian perangkat *cyclone*.

Data Spesifikasi Blower



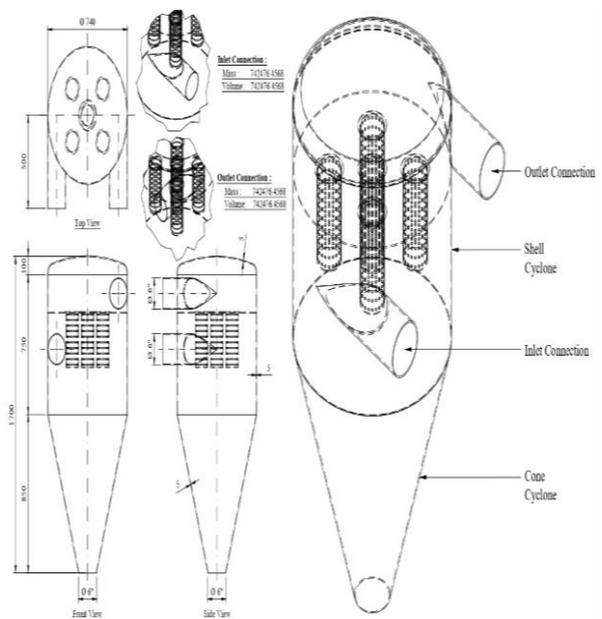
Gambar 3. Blower Complete Set Sistem Koneksi 6 Inch

Hasil penelitian yang sesuai dengan pengambilan data di gunakan blower sistem yang dimana sudah di lakukan penyesuaian spesifikasi seperti yang terlihat dalam tabel berikut :

Tabel 2. Hasil Spesifikasi *Roots Blower*

Spesifikasi <i>Roots Blower Complete Set</i>		
Keterangan	Kapasitas	Satuan
Unit Blower	RNT 33.20 – 6 Inch	Vacuum
Unit Motor	37 kW – 2 Pole	kW
Δ Pressure	300	mbar
Δ t Temperature	39	°C
Speed Blower	3300	rpm
Speed Motor	2945	rpm

Data Spesifikasi Dimensi *Cyclone*

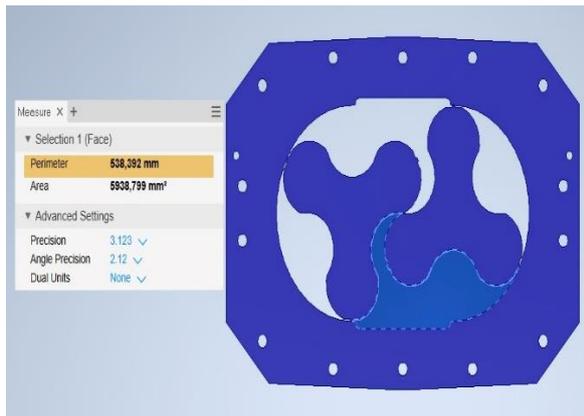


Gambar 4. Dimensi Unit Cyclone

Hasil penelitian yang sesuai dengan pengambilan data di gunakan *cyclone* yang dimana sudah di lakukan penyesuaian spesifikasi seperti yang terlihat dalam tabel berikut :

Tabel 3. Hasil Spesifikasi Unit Cyclone

Spesifikasi <i>Cyclone</i>		
Keterangan	Dimensi	Satuan
Shell Cyclone	Dia.740 x 750	mm
Cone Cyclone	Dia.740 x 114 x 850	mm
Tutup Cyclone	Dia.740 x 100	mm
Saringan Cyclone	Dia.4" x 300	mm



Blower Flow Rate 24,30 m³/min

Diket : Luas Area per Lobe = 5938,799 mm²
 Panjang Lobe = 270 mm
 Kecepatan = 4710 rpm

Ditanya : $Q = \dots m^3/min$

Jawab : $V = Luas\ area \times Panjang\ lobe$
 $= 5938,799\ mm^2 \times 270\ mm$
 $= 1603475,73\ mm^3$
 $= 0,00160347573\ m^3$

$$Volume\ per\ Rotasi = V \times Jumlah\ lobe$$

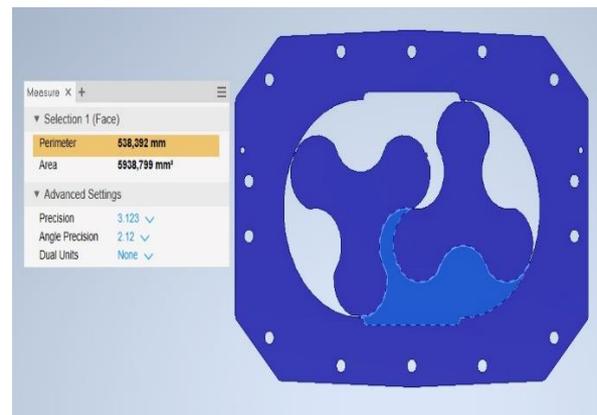
$$= 0,00160347573\ m^3 \times 3$$

$$= 0,00481042719\ m^3$$

$$Q = \frac{Volume \times Rotasi}{min}$$

$$= \frac{0,00481042719\ m^3 \times 4710\ rpm}{min}$$

$$= 22,66\ m^3/min$$



Blower Flow Rate 33,94 m³/min

Diket : Luas Area per Lobe = 5938,799 mm²
 Panjang Lobe = 371 mm
 Kecepatan = 4640 rpm

Ditanya : $Q = \dots m^3/min$

Jawab : $V = Luas\ area \times Panjang\ lobe$
 $= 5938,799\ mm^2 \times 371\ mm$
 $= 2203294,429\ mm^3$
 $= 0,002203294429\ m^3$

$$Volume\ per\ Rotasi = V \times Jumlah\ lobe$$

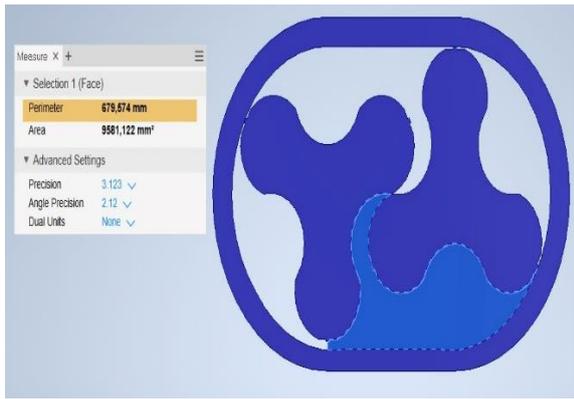
$$= 0,002203294429\ m^3 \times 3$$

$$= 0,006609883287\ m^3$$

$$Q = \frac{Volume \times Rotasi}{min}$$

$$= \frac{0,006609883287\ m^3 \times 4640\ rpm}{min}$$

$$= 30,67\ m^3/min$$



Blower Flow Rate 38,19 m³/min

Diket : Luas Area per Lobe = 9581,122 mm²
 Panjang Lobe = 338 mm
 Kecepatan = 3660 rpm

Ditanya : $Q = \dots m^3/min$

Jawab : $V = Luas\ area \times Panjang\ lobe$
 $= 9581,122\ mm^2 \times 338\ mm$
 $= 3238419,24\ mm^3$
 $= 0,00323841924\ m^3$

$Volume\ per\ Rotasi = V \times$
 $Jumlah\ lobe$

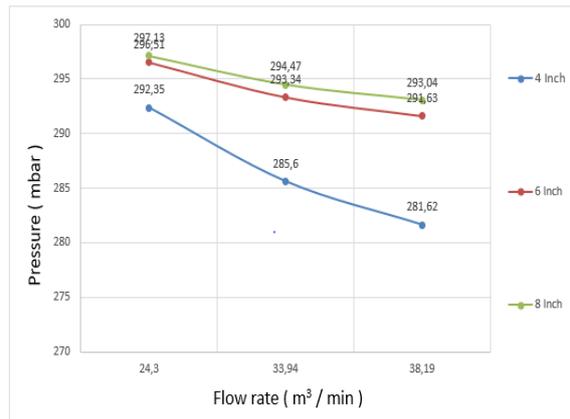
$= 0,00323841924\ m^3 \times 3$

$= 0,009715255772\ m^3$

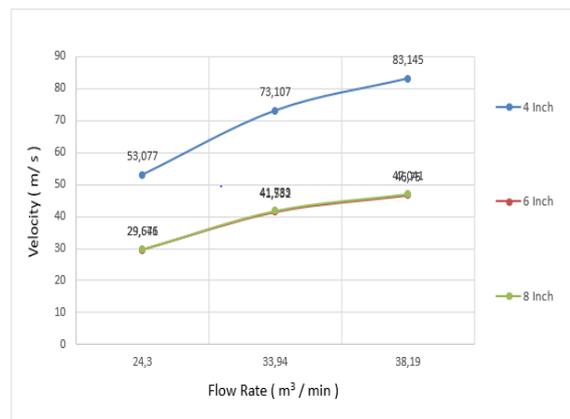
$Q = \frac{Volume \times Rotasi}{min}$
 $= \frac{0,009715255772\ m^3 \times 4640\ rpm}{min}$
 $= 35,56\ m^3/min$

Hasil Simulasi

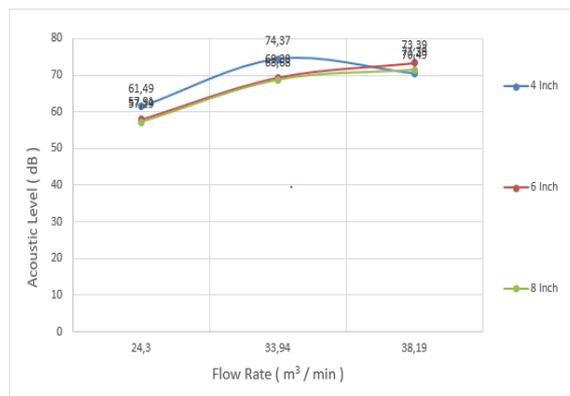
Simulasi *Computation Fluid Dynamic* (CFD) dilakukan dengan menggunakan *software solidworks* guna analisa data untuk mendapatkan hasil simulasi *Cyclone* pada aplikasi *vacuum conveying*. Tujuan dari simulasi *Cyclone* untuk mengetahui laju aliran fluida yang optimal terhadap hasil *velocity* (m/s), *acoustic level* (dB) dan *pressure* (mbar).



Gambar 3. Perbandingan Hasil Nilai *Pressure* pada Desain *Cyclone*



Gambar 4. Perbandingan Hasil Nilai *Velocity* pada Desain *Cyclone*



Gambar 5. Perbandingan Pengujian *Acoustic Level* pada Desain *Cyclone*

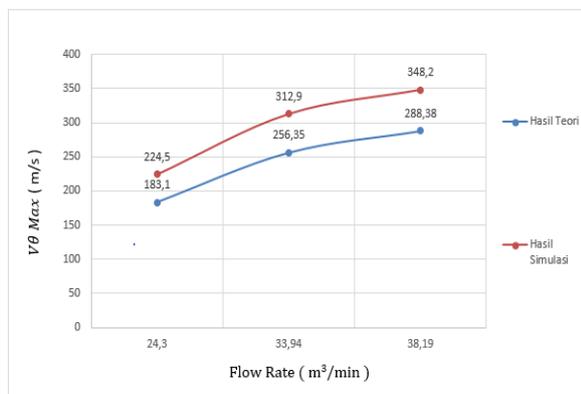
Dari hasil pengujian *cyclone* dengan diameter *input* yang berbeda - beda pada pemberian *flow* masing - masing di 24,30 m³/min, 33,94 m³/min, dan 38,19 m³/min di peroleh nilai *acoustic* level yang bervariasi pada *cyclone* dimana nilai *acoustic* level yang tertinggi adalah 74,37 dB pada *cyclone* dengan diameter *input* 4 inch pada *flow rate* 33,94 m³/min dan nilai *velocity* terendah 57,19 dB pada *cyclone* dengan diameter *input* 8 inch pada *flow rate* 24,30 m³/min.

Hasil Uji Nilai Perbandingan V_{θ} max

Berdasarkan hasil perhitungan diatas nilai perhitungan V_{θ} max secara teoritis cenderung lebih kecil dibandingkan dengan nilai perhitungan V_{θ} max secara simulasi. Hasil Perhitungan teoritis pada diameter *input* 4 Inch berada dalam performa terbaiknya saat penggunaan *flow rate* 38,19 m³/min dimana nilai yang di hasilkan adalah 288,38 m/s berbanding lurus dengan hasil perhitungan menggunakan simulasi *software* yang sama sama berada dalam performa terbaiknya pada diameter *input* 4 inch dengan penggunaan *flow rate* 38,19 m³/min dimana nilai yang di hasilkan adalah 348,38 m/s.

analisa *acoustic* level didapatkan nilai terendah *cyclone* dengan diameter *input* 8 inch pada *flow rate* 24,30 m³/min dengan hasil nilai *acoustic* levelnya 57,19 dB nilai tersebut rendah di karenakan laju *velocity* yang rendah sehingga gaya gesekan yang terjadinya dalam *cyclone* rendah. Jadi Desain *cyclone* dengan diameter *input* 4 inch yang paling mendekati efektif dalam kinerjanya secara umum. hasil perhitungan menggunakan teori dan simulasi *software* yang sama sama berada dalam performa terbaiknya pada diameter *input* 4 inch dengan penggunaan *flow rate* 38,19 m³/min dimana nilai yang di hasilkan adalah 348,38 m/s. Jadi Hasil dari nilai V_{θ} max berpengaruh pada kontur laju aliran yang terdapat pada system *cyclone* untuk menghasilkan performa kerja yang efektif.

Saran saya perlu di lakukan meshing yang lebih baik agar hasil yang di dapat lebih akurat, Perlu di lakukan juga beberapa uji coba menggunakan *software* lain sebagai pembandingan tingkat keakuratan simulasi.



Gambar 6. Hasil Nilai Performa Terbaik V_{θ} max *Cyclone* Diameter *Input* 4 Inch pada *Flow Rate* 38,19 m³/min

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada hasil analisa dimana didapatkan nilai *pressure* rendah *cyclone* dengan diameter *input* 4 inch pada *flow rate* 38,19 m³/min dengan hasil nilai *pressure*nya 281,62 mbar, Sedangkan pada hasil analisa *velocity* didapatkan nilai tertinggi *cyclone* dengan diameter *input* 4 inch pada *flow rate* 38,19 m³/min dengan hasil nilai *velocity*nya 83,145 m/s, dan juga pada hasil

REFERENSI

- Aprilianto, F., Mulyono, & Margana. (2014). Analisa Kecepatan Aliran Masuk Terhadap Nilai Total Suspended Solid (TSS) Pada Overflow Hydrocyclone Menggunakan Metode Computation Fluid Dynamic (CFD) Pada PT. PLN (Persero) Pembangkitan Tanjung Jati B Unit 3 Dan 4. *Jurnal Teknik Energi Vol 10*, 55-64.
- Aziz, A., Hamid, A., & Hidayat, I. (2014). Perancangan Bejana Tekan (Pressure Vessel) Untuk Separasi 3 Fasa. *Sinergi*, 31-38.
- Husairy, A., & D, B. L. (2014). Simulasi Pengaruh Variasi Kecepatan Inlet Terhadap Persentase Pemisahan Partikel Pada Cyclone Separator Dengan Menggunakan CFD. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 13-21.
- Nurannisaa, S. P., Andreas, & Andi, J. N. (2021). Pengembangan "Jurnal Proses Desain" Sebagai Media Pembelajaran Perancangan Desain. *Jurnal Desain*, 131-142.
- Rahmawati, F., Prasetyo, B. S., & Hadiwidodo, M. (2020). Evaluasi Kinerja Alat Pengendali Partikulat Cyclone dan Wet Scrubber Unit Paper Mill 7/8 PT. Pura Nusapersada Kudus. *Jurnal Presipitasi*, 144-153.
- Sriyono. (2012). Analisis Dan Permodelan Cyclone Separator Sebagai Prefilter Debu Karbon Pada Sistem Pemurnian Helium Reaktor RGTT200K. *Prosiding Seminar Nasional*, 215-225.
- Suhartono, T., Rahmalina, D., & Maulana, E. (n.d.). Rancang Bangun Cyclone Dan Wet Scrubber Pada Incinerator Untuk Mencegah Terjadinya Pencemaran Udara. *Jurnal Ilmiah TeknoBiz Vo. 7 No. 1*, 45-52.
- Suwandi, D., Endramawan, T., Prasetya, R. P., Setiadi, D. W., Alfarisi, Suheryadi, A., & Dionisius, F. (2022). Uji Performa Portable Vacuum Grain Conveyor Tipe Centrifugal Fan. *Jurnal Teknologi Terapan*, 184-190.
- Yudi, I. K. (2008). Analisa Aliran Berkembang Fluida. 06-22.
- Zikri, M. F. (2018). Perancangan Pneumatic Conveyor Untuk Tepung Dengan Kapasitas 60 ton.