

# Rancang Bangun Alat Pereduksi Particulate Matter (PM) Gas Buang Mesin Diesel dengan Metode Cyclone

Reza Revari, I Made Ariana, Aguk Zuhdi M.F.

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: ariana@its.ac.id

**Abstrak**-Gas buang dari hasil proses pembakaran berpengaruh terhadap pencemaran udara dan lingkungan khususnya motor diesel. Proses pembakaran bahan bakar pada motor bakar menghasilkan gas buang yang mengandung unsur Nitrogen Oksida ( $\text{NO}_x$ ), Sulfur Oksida ( $\text{SO}_x$ ), Particulate Matter (PM), Karbon Monoksida (CO), dan Hidrokarbon (HC) yang bersifat mencemari udara. Agar motor diesel yang digunakan tidak mengakibatkan pencemaran udara berlebih, perlu dilakukan suatu penelitian menurunkan emisi gas buang motor diesel dengan pemilihan teknologi dan metode yang tepat. Penelitian cyclone separator ini berdasarkan prinsip kerja separator yang memanfaatkan gaya sentrifugal dan perbedaan massa jenis. Karena massa jenis PM lebih besar dari pada massa jenis gas buang, PM akan terpisah dari gas buang karena gaya sentrifugal dan adanya perbedaan massa jenis. Pada tahap awal penelitian ini yaitu dibuat desain dan kemudian dilakukan CFD analisis untuk dicari yang paling efisien dari segi kecepatan dan jenis aliran. Pada hasil analisa CFD disimpulkan bahwa metode Perry lebih efisien dibanding 3 metode yang lain. Setelah didapat desain yang efisien maka dilanjutkan dengan pembuatan prototipe, untuk selanjutnya dilakukan uji eksperimen. Berdasar uji eksperimen, cyclone separator dapat mereduksi PM gas Buang motor diesel pada beban 2000 watt sebesar 8,71%. Sedangkan pada beban 2500 watt, cyclone separator dapat mereduksi PM sebesar 34,49%.

**Kata Kunci**— CFD, Cyclone Separator, Motor Diesel, PM.

## I. PENDAHULUAN

**G**AS buang dari hasil proses pembakaran berpengaruh terhadap pencemaran udara dan lingkungan khususnya motor diesel. Motor diesel ditemukan pada tahun 1892 oleh Rudolf Diesel. Prinsip kerja motor diesel adalah melalui penginjeksian bahan bakar ke dalam ruang bakar yang udara di dalamnya telah dikompresikan. Kekurangan homogenan pencampuran bahan bakar dengan udara dan temperatur pembakaran yang tinggi menyebabkan munculnya emisi pada gas buang motor diesel misalnya PM [1].

Proses pembakaran bahan bakar pada motor bakar menghasilkan gas buang yang mengandung unsur Nitrogen Oksida ( $\text{NO}_x$ ), Sulfur Oksida ( $\text{SO}_x$ ), Particulate Matter (PM), Karbon Monoksida (CO), dan Hidrokarbon (HC) yang bersifat mencemari udara. Pencemaran terhadap udara tentunya akan berakibat terhadap kesehatan manusia, selain juga terhadap makhluk hidup lainnya seperti hewan dan tumbuhan. Agar motor diesel yang digunakan tidak mengakibatkan pencemaran udara berlebih maka perlu dilakukan suatu penelitian. Bagaimana cara

menurunkan emisi gas buang dengan pemilihan teknologi dan metode yang tepat dalam mengatasi pencemaran udara akibat emisi motor diesel. Penelitian ini berdasarkan prinsip kerja *separator* pada umumnya yang memanfaatkan gaya sentrifugal dan perbedaan massa jenis. Karena massa jenis PM lebih besar dari pada massa jenis gas buang sehingga saat proses pemisahan terjadi, PM akan terpisah dari gas buang karena gaya sentrifugal dan adanya perbedaan massa jenis.

Permasalahan yang akan dijawab pada penelitian ini yaitu menentukan desain *cyclone separator* yang mampu menurunkan kadar *Particulate Matter* (PM) secara optimal. Kemudian bagaimana kandungan emisi gas buang motor diesel setelah dilakukan *treatment* dengan *cyclone separator* dengan putaran motor diesel *disetting* pada putaran tetap 2300 sedangkan beban divariasikan pada 2000 watt dan 2500 watt.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Komponen pencemar udara dari gas buang motor diesel yang paling berpengaruh adalah [2]:

- Sulfur Oksida ( $\text{SO}_x$ )

Pencemaran oleh sulfur oksida terutama disebabkan oleh adanya kandungan sulfur dalam bahan bakar yang membentuk Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) dan Sulfur trioksida ( $\text{SO}_3$ ), dan keduanya disebut sulfur oksida ( $\text{SO}_x$ ).

- Karbon Monoksida (CO)

Karbon dan Oksigen bergabung membentuk senyawa karbon monoksida (CO) sebagai hasil pembakaran yang tidak sempurna dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) sebagai hasil pembakaran sempurna.

- Nitrogen Oksida ( $\text{NO}_x$ )

Udara terdiri dari 80% nitrogen dan 20% oksigen. Oksida Nitrogen ( $\text{NO}_x$ ) adalah kumpulan gas nitrogen yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ). Pembentukan NO dan  $\text{NO}_2$  merupakan reaksi antara nitrogen dan oksigen pada kondisi temperatur yang tinggi.

- Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon (HC) terbentuk karena adanya bahan bakar yang tidak terbakar pada saat proses pembakaran [3].

- Partikulat Matter (PM)

Emisi dari motor diesel tersusun atas partikel jelaga, hidrokarbon, dan kandungan sulfur yang terdapat pada bahan bakar [4].

Partikulat merupakan senyawa dengan kandungan karbon yang tinggi (misalnya aromatics) yang belum ikut terbakar di

dalam ruang pembakaran motor diesel dan ikut dikeluarkan pada saat langkah buang. Partikulat bergabung dengan senyawa sulfur dan air yang membentuk jelaga. Partikulat yang dihasilkan motor diesel tersusun dengan inti senyawa karbon yang bergabung dengan senyawa organik, seperti sulfat, nitrat, logam, dan elemen lainnya. Diesel partikulat matter berukuran kurang dari  $2,5\mu\text{m}$  yang pada partikel ini tersusun oleh partikel yang lebih kecil yaitu dengan ukuran diameter kurang dari  $0,1\mu\text{m}$ . Partikulat matter yang dihasilkan motor diesel sangat dimungkinkan terhirup pada saat proses pernapasan makhluk hidup dan masuk ke dalam paru-paru. Efek jangka pendek yang diakibatkan karena pengaruh partikulat yang masuk contohnya yaitu iritasi pada mata, tenggorokan, dan bronkus. Gejala yang terlihat karena pengaruh partikulat dalam jangka pendek yaitu sakit kepala, mual, dan gangguan pernapasan seperti batuk [5].

Di bawah ini adalah beberapa teknik mereduksi *particulate matter* [6]:

- *Gravity Settling Chamber*

Alat ini bertujuan untuk menurunkan kecepatan gas, sehingga PM akan mengendap karena pengaruh gravitasi. Untuk memisahkan partikel yang semakin kecil, maka dibutuhkan ruangan yang sangat besar.

- *Impingement Separator*

Gas berdebu ditabrakkan ke suatu penghalang yang menyebabkan partikel terkumpul di penghalang tersebut.

- *Cyclone Separator*

Memanfaatkan gaya sentrifugal dan perbedaan massa jenis antara PM dan gas buang.

- *Mechanical Centrifugal Separator*

Gaya sentrifugal dihasilkan oleh putaran alat misal dari motor listrik.

- *Particulate Scrubber*

Menggunakan fluida air yang berfungsi untuk menangkap *particulate matter*.

- *Dry Scrubbing*

Biasanya memanfaatkan reaksi kimia.

- *Fabric filters/ bag filters/ bag houses*

Gas berdebu dilewatkan membran yang menangkap debu, sedangkan gas akan tetap mengalir.

- *Granular bed filters*

- *Air filters*

- *Electrical precipitators*

Gas yang mengandung debu ditembak dengan electron menyebabkan debu bermuatan listrik. Debu bermuatan listrik didorong ke dinding dengan medan listrik.

*Cyclone separator* adalah salah satu alat yang digunakan untuk mereduksi kandungan *particulate matter* pada gas buang motor diesel. Alat ini menggunakan prinsip gaya sentrifugal dan perbedaan massa jenis antara PM dan gas buang motor diesel [7].

*Cyclone separator* banyak digunakan sebagai alat pengumpul *particulate matter*, dimana gas yang mengandung *particulate* masuk secara tangensial ke dalam *body cyclone* membentuk aliran spiral dan keluar melalui bagian tengah yang terbuka[8].

Prinsip kerja *separator* yaitu gas atau aliran fluida diinjeksikan melalui pipa input. Bentuk kerucut pada bagian *body cyclone* menyebabkan aliran gas atau fluida untuk

berputar, menciptakan *vortex*. *Vortex* yaitu gerak alamiah yang terjadi pada suatu fluida yang diakibatkan adanya pengaruh parameter kecepatan dan tekanan [9].

Partikel dengan ukuran atau kerapatan yang lebih besar didorong ke arah luar *vortex* menempel di dinding *separator* karena pengaruh gaya sentrifugal. Gaya gravitasi menyebabkan partikel-partikel tersebut jatuh ke sisi kerucut menuju tempat pembuangan. Partikel dengan ukuran atau kerapatan yang lebih kecil keluar melalui bagian atas dari *cyclone* melalui pusat yang bertekanan rendah [10].

Kelebihan *cyclone separator* yaitu [11]:

- Biaya investasi rendah
- Tidak memerlukan sumber energi yang terpisah
- Biaya perawatan murah, karena yang dibutuhkan pada saat proses perawatan yaitu pembersihan.
- Mudah diterapkan dalam berbagai dunia industri
- Pemasangan yang cepat

Bagian-bagian dari *cyclone separator* yaitu:

- *Inlet cyclone*
- *Body cyclone*
- Sistem pembuangan *particulate*
- *Outlet cyclone*

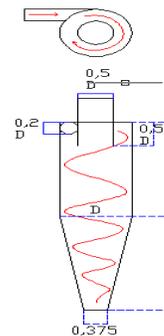
Beberapa variasi dimensi dalam mendesain *cyclone separator* yaitu dengan metode Perry dan metode Stairmand. Desain *Cyclone* ditunjukkan pada gambar di bawah ini 1, 2, 3, dan 4.

### III. PROSES PENELITIAN

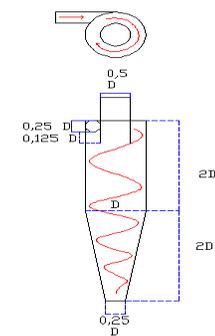
Pada tahap awal pengerjaan penelitian ini dimulai dengan membuat desain 3D *cyclone separator* yang ukuran dan bentuknya berdasarkan literatur yang didapat. Untuk diameter *inlet* yang dijadikan patokan pada tiap metode dan variasi yaitu menggunakan ukuran yang terdapat pada *exhaust* mesin yang akan digunakan untuk uji emisi, yaitu dengan diameter 3cm. Desain *cyclone separator* dapat dilihat pada gambar berikut:

Metode Stairmand[ 12].

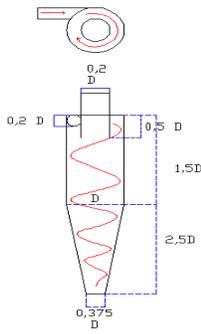
Metode Perry [13].



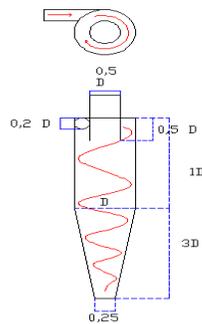
Gambar 1. Metode Stairmand.



Gambar 2. Metode Perry.



Gambar. 3. Variasi 1.



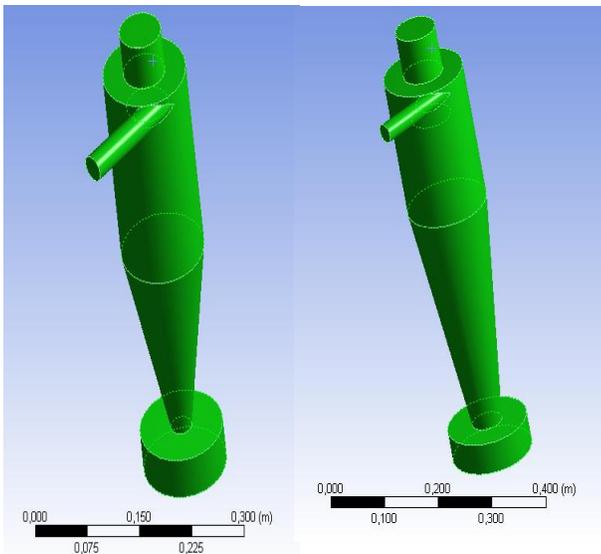
Gambar 4. Variasi 2.

Setelah tahap desain alat telah selesai, selanjutnya dilakukan proses *meshing*. Proses *meshing* yaitu proses menghubungkan antara 1 titik dengan titik yang lain. Untuk melakukan analisa aliran pada *cyclone separator* digunakan *software* Ansys. Hal yang dianalisa yaitu jenis aliran yang terjadi dan kecepatan aliran gas buang di dalam *cyclone separator*. Untuk menganalisa aliran yang terjadi, diperlukan beberapa parameter yaitu: *flow rate*, suhu gas buang, diameter *inlet cyclone*, ukuran rata-rata PM, dan densitas gas buang. Setelah mendapatkan desain yang direncanakan dan telah dilakukan simulasi untuk mendapatkan efisiensi yang paling tinggi diantara 4 desain tersebut. Dilanjutkan dengan pembuatan *prototipe cyclone separator*. *Prototipe* yang telah dibuat akan dilakukan pengujian emisi gas buang motor diesel untuk mendapatkan data kandungan PM.

IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

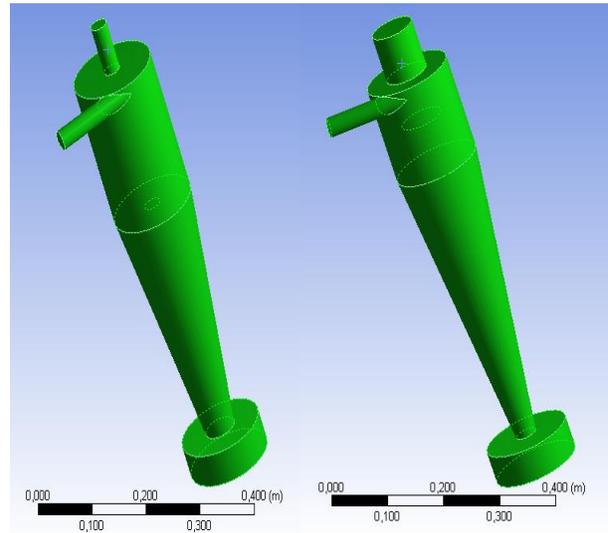
IV.1 Hasil Desain

Hasil desain *cyclone separator* dengan bantuan *software* Ansys ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 5. Desain Metode Perry

Gambar69. Desain Metode Stairmand



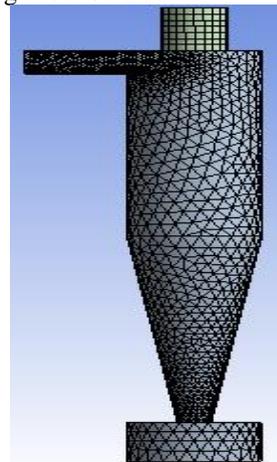
Gambar 7. Desain Variasi 1

Gambar 8. Desain Variasi 2

IV.2 Meshing

Proses *meshing* yaitu proses menghubungkan antara 1 titik dengan titik yang lain. Pada tahap *meshing* ini digunakan *mesh volume* dengan tipe *Tet/Hybrid*. *Mesh* model yang telah dibuka pada *Fluent* harus dicek terlebih dahulu apakah terdapat kesalahan (*error*) atau tidak. Proses pengecekan *mesh* ini dapat dilakukan melalui perintah *Grid* kemudian *Check*. Setelah dilakukan pengecekan apabila terdapat pesan *error* maka *mesh* model tersebut harus diperbaiki terlebih dahulu atau kembali ke langkah desain [14].

Contoh hasil proses *meshing* pada salah satu desain ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 9. Hasil Meshing

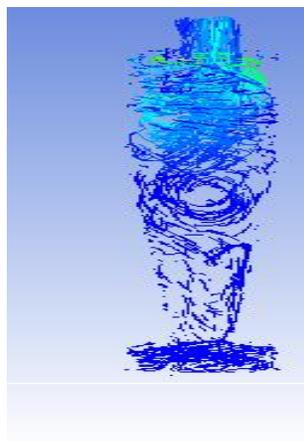
IV.3 Flow Analisis

Dengan bantuan simulasi menggunakan *software* Ansys *Fluent* kita dapat menganalisa aliran gas buang dan kecepatannya yang terjadi di dalam alat *cyclone separator*.

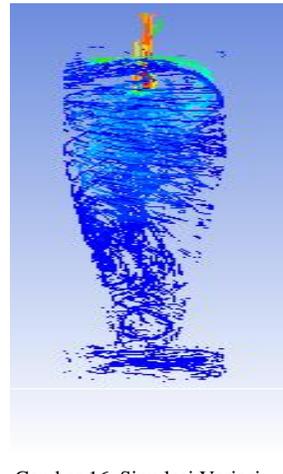
IV.3.1 Beban 2000 watt



Gambar 10. Simulasi Metode Perry



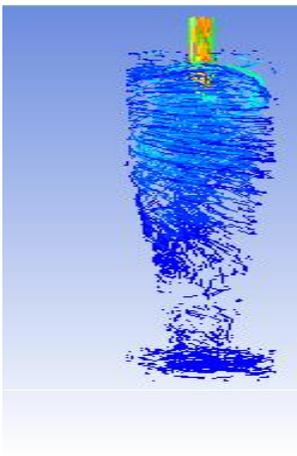
Gambar 11. Simulasi Metode Stairmand



Gambar 16. Simulasi Variasi 1



Gambar 17. Simulasi Variasi 2

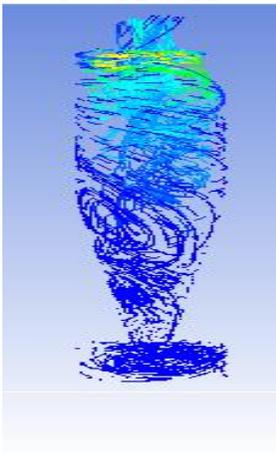


Gambar 12. Simulasi Variasi 1

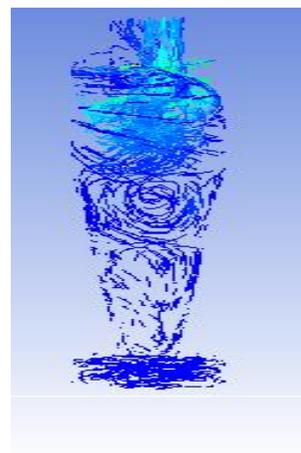


Gambar 13. Simulasi Variasi 2

IV.3.2 Beban 2500 watt



Gambar 14. Simulasi Metode Perry



Gambar 15. Simulasi Metode Stairmand

Dari hasil simulasi terlihat bahwa terjadinya turbulensi di semua variasi, namun pada metode Perry aliran yang mengalami turbulensi lebih sedikit dibandingkan metode atau variasi yang lain. Sehingga dari hasil simulasi dipilih metode Perry. Selain itu kecepatan aliran gas buang pada bagian *body cyclone* juga lebih tinggi ditandai dengan warna hijau kekuningan dan hampir merata yang menyebabkan *particulate matter* dapat terdorong ke dinding karena gaya sentrifugal.

IV.4 Prototipe Cyclone Separator

Pembuatan alat didasarkan pada hasil simulasi yang memiliki bentuk aliran yang paling baik dan kecepatan yang tinggi. Bahan yang digunakan pada pembuatan prototipe ini adalah *stainless steel*. *Stainless steel* dipilih dengan pertimbangan permukaan yang lebih rata dan tingkat korosi yang rendah.



Gambar 18. Prototipe

IV.5 Eksperiment

Saat pengujian, data yang diambil yaitu saat diberi pembebanan 2000 watt dan 2500 watt. Sedangkan untuk kondisi putaran motor diesel dikondisikan pada putaran tetap yaitu 2300 rpm. Diesel yang digunakan pada proses ini yaitu diesel dengan merk Dong Feng dengan spesifikasi memiliki *power* 6,6 hp dan *speed* maksimum 2600 rpm. Sedangkan untuk pembebanan menggunakan generator dengan spesifikasi *voltage* 220/110 V, *speed* 1500 rpm, dan frekuensi 50 Hz.

Berikut adalah grafik data yang didapat saat pelaksanaan uji emisi.

Tabel 1.  
Data Hasil Uji Emisi

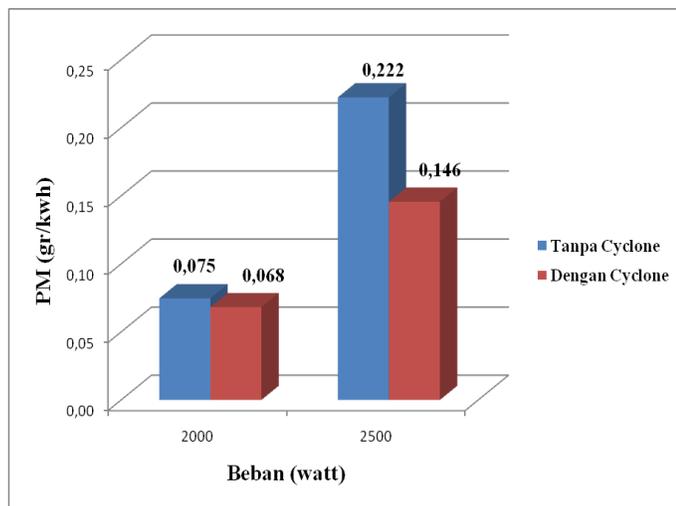
Variasi	Beban (watt)	PM (mg/m <sup>3</sup> )	Waktu Operasional MDO Tiap 20 ml (detik)
Tanpa Cyclone	2000	7,2	68
	2500	27,8	57
Dengan Cyclone	2000	6,7	68
	2500	18,66	56

Variasi	Beban (watt)	Volt	Ampere	T Exhaust (°C)
Tanpa Cyclone	2000	210	8,4	141
	2500	205	10,5	170
Dengan Cyclone	2000	210	8,4	149
	2500	206	10,5	179

Berdasarkan hasil uji emisi yang telah dilakukan, didapatkan efisiensi penggunaan *cyclone separator*. Pada beban 2000 watt dapat mereduksi PM sebesar 0,5 mg/m<sup>3</sup>. Sedangkan pada beban 2500 watt dapat mereduksi PM sebesar 9,14 mg/m<sup>3</sup>.

Tabel 2.  
Hasil Perhitungan

Variasi	Beban (watt)	PM (mg/m <sup>3</sup> )	mg/h	gr/h	gr /kwh
Tanpa Cyclone	2000	7,2	164,77	0,16	0,075
	2500	27,8	598,45	0,59	0,222
Dengan Cyclone	2000	6,7	150,42	0,15	0,068
	2500	18,66	393,98	0,39	0,146



Gambar 19. Grafik Hasil Perhitungan

Persentase Penurunan PM

Beban 2000 Watt	Beban 2500 watt
8,71	34,49

Berdasar hasil uji emisi yang telah dilakukan, pada beban 2000 watt *cyclone separator* dapat mereduksi PM 0,007 gr/kwh atau 8,71%. Sedangkan pada beban 2500 watt *cyclone separator* dapat mereduksi PM 0,077 gr/kwh atau 34,49%. Dengan pembebanan yang semakin besar maka efisiensi semakin tinggi. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh flow rate yang semakin tinggi yang menyebabkan kecepatan gas buang semakin meningkat, sehingga gaya sentrifugal akan semakin besar.

### V. KESIMPULAN

Dari serangkaian tahapan yang telah dilakukan pada penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode yang lebih efisien digunakan sebagai referensi *cyclone separator* yaitu menggunakan metode Perry
2. Pada beban 2000 watt, *cyclone separator* dapat mereduksi PM sebesar 8,71%. Sedangkan pada beban 2500 watt, *cyclone separator* dapat mereduksi PM sebesar 34,39%.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Selesainya laporan dari penelitian ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak yang telah memberikan bantuan dari segi pengetahuan serta beberapa masukan. Untuk itu tak lupa ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bpk. Agus Purwanto dan Bpk. Nur Afandi yang selalu membantu dalam pelaksanaan uji eksperimen.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Taylor, D.A. 1990. Introduction to Marine Engineering 2nd ed. Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- [2] Anonim 1. 2012. Parameter Pencemar Udara Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan, <http://www.depkes.go.id/downloads/Udara.PDF>. Diakses tanggal 3 Maret 2012.
- [3] BP Australia Limited. 2005. Diesel Engine Emission Reduction. Australia.
- [4] Technical Working Group European Commission. 1997. Ambient Air Pollution By Particulate Matter.
- [5] Hoyer, M. 2002. Diesel Emissions Characterization, Atmospheric Transformation, and Exposures. U.S. Environmental Protection Agency.
- [6] Distantina, Sperisa. 2009. Pemisahan Gas-Padatan, <http://www.distantina.staff.uns.ac.id/files/2009/.../1-materi-pemisahan-gas-padat>.
- [7] Widjaja, T. 2012. Cyclone. Teknik Kimia. ITS Surabaya.
- [8] Buekens, A., 2012. Mechanical and Cyclonic Collector. Departement of Chemical Engineering, Universitas Brussel, Belgium.
- [9] Ridwan., Siswantara,A.I., Rohim,A., 2004. "Kajian Aliran Sebuah Model Cyclone Separator Dengan CFD". Universitas Gunadarma, Jakarta.
- [10] Hermana, J; Rachmat Boedisantoso. 2011. Cyclone. Teknik Lingkungan. ITS Surabaya.
- [11] Sukma, Indra.W.D., 2012. Industri Pengolahan Batubara. Teknik kimia. Universitas Lampung.
- [12] Coulson; Richardson. 1983. Chemical Engineering Volume 6.
- [13] Perry, R. H.,1999, Chemical Engineer's Handbook 7<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo.
- [14] Tuakia, Firman. 2008. Dasar-dasar CFD Menggunakan FLUENT. Bandung.