

# Rancang Bangun Filter Emisi Gas Buang Kendaraan Diesel Berbahan Baku Zeolite Bayah

Ahsan Baidhowi<sup>1,a)</sup>, Agung Sudrajad<sup>2,b)</sup>, Yusvardi Yusuf<sup>3,c)</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jl. Jend Sudirman KM.3, Kotabumi, Cilegon-Banten, Indonesia, 42435

<sup>a)</sup> ahsanbaidhowi@gmail.com (corresponding author), <sup>b)</sup> agung@untirta.ac.id, <sup>c)</sup> yusvardi.yusuf@untirta.ac.id

## Abstrak

Zeolite merupakan salah satu jenis bahan galian non logam atau bahan galian mineral industri. Zeolite mempunyai beberapa sifat yaitu sifat dehidrasi, sifat penyerapan, sifat penukar ion, sifat penyaringan dan sifat katalisator. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat filter emisi gas buang menggunakan bahan baku zeolite serta melakukan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*), dengan menggunakan analisis pada *particulate matter* PM 2.5 dan PM 10 untuk mengetahui efektifitas filter dalam menyaring emisi gas buang. Manfaat yang di dapatkan dari pembuatan filter emisi gas buang menggunakan zeolite adalah karena kelimpahannya, harga yang relatif murah, serta sifat-sifat zeolite tersebut dapat menggantikan fungsi *catalytic converter* yang terbuat dari material yang sulit di dapatkan serta memiliki harga yang relatif mahal. Hasil pengujian yang didapatkan pada pengujian SEM menggunakan zeolite 70 mesh dan 80 mesh menunjukkan bahwa diameter *average particulate matter* yang didapatkan adalah 4 $\mu$ m-7 $\mu$ m, sedangkan pada pengujian tanpa menggunakan zeolite *average particulate matter* yang didapatkan adalah 3 $\mu$ m-6 $\mu$ m. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan zeolite sangat efektif untuk menyaring emisi gas buang, karena semakin kecil ukuran diameter *particulate matter* maka gas beracun pada emisi gas buang akan semakin jauh masuk kedalam saluran pernafasan serta lebih berbahaya bagi tubuh manusia.

**Kata Kunci** : Zeolite, Filter gas buang, SEM (*Scanning Electron Microscope*), *average particulate matter*

## Abstract

*Zeolite is one type of non-metal or industrial mineral. Some of the properties are dehydration properties, absorption properties, filtering properties and catalytic properties. The purpose of this research is to make exhaust gas emission filters using zeolite as raw material and to perform SEM (Scanning Electron Microscope) testing, using analysis on PM 2.5 and PM 10 particles to see the effectiveness of the filter in filtering exhaust emissions. The benefits of making exhaust emission filters using zeolite are due to its abundance, relatively low price, and the properties of zeolite that can replace the function of catalytic converters made from materials that are difficult to accept and have a relatively expensive price. The test results obtained in SEM testing using 70 mesh and 80 mesh zeolite showed that the average diameter of the particulate matter obtained was 4 $\mu$ m-7 $\mu$ m, while in the test without using zeolite the average particulate matter obtained was 3 $\mu$ m-6 $\mu$ m. This shows that the use of zeolites is very effective for filtering exhaust emissions, because the smaller the diameter of the particle matter, the more exhaust emissions will enter the respiratory tract and be more dangerous for the human body.*

**Keywords**: Zeolite, exhaust gas filter, SEM (*Scanning Electron Microscope*), *average particles*

## I.PENDAHULUAN

Kebutuhan masyarakat akan alat transportasi berupa kendaraan bermotor saat ini sangatlah tinggi. Hal tersebut memberikan dampak positif berupa meningkatnya berbagai pengembangan teknologi yang pesat di bidang otomotif, baik di bidang material, efisiensi bahan bakar, dan performa mesin yang digunakan. Namun, selain dampak positif terdapat juga dampak negatif yang ditimbulkan karena meningkatnya permintaan alat transportasi.

Dampak negatif dari masalah sistem transportasi ini adalah tingginya kadar polutan akibat emisi gas buang kendaraan mobil [1]. Emisi gas buang adalah sisa hasil pembakaran bahan bakar pada mesin pembakaran dalam, mesin pembakaran luar yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin [2]. Efek dari penggunaan kendaraan bermotor yang dirasakan oleh masyarakat dan lingkungannya adalah pencemaran (polusi) udara yang

membahayakan kesehatan dan lingkungan, seperti karbon monoksida [3].

Knalpot pada kendaraan bermotor berfungsi untuk menyaring emisi gas buang hasil pembakaran mesin serta sebagai peredam suara kebisingan. Knalpot memiliki bentuk seperti pipa panjang yang dilengkapi dengan beberapa komponen yaitu *Header*, *Filter*, dan peranti peredam suara (*Muffler*). Knalpot memiliki prinsip kerja menyalurkan sisa pembakaran mesin dari ruang bakar yang masih bertekanan tinggi serta panas. Kemudian knalpot akan memberikan penurunan temperatur dan tekanan pada gas sisa pembakaran tersebut [4].

Pada masa yang akan datang, berbagai riset yang dilakukan oleh peneliti dituntut dapat menggunakan material yang ramah lingkungan serta melimpah di alam, sehingga diperlukan inovasi-inovasi dalam bidang transportasi, khususnya agar dapat menjadikan bahan baku alami sebagai material utama dalam proses pembuatan filter knalpot.

Salah satu material yang melimpah, dan dapat dikembangkan sebagai filter adalah zeolite. Zeolite merupakan salah satu jenis bahan galian non logam atau bahan galian mineral industri. Zeolite merupakan mineral hasil tambang yang bersifat lunak dan mudah kering. Ukuran kristal zeolite kebanyakan tidak lebih dari 10 - 15 mikron [5]. Zeolite mempunyai lorong terbuka yang besar dalam struktur kristal yang memungkinkan satu lubang besar untuk penyerapan dan bertukar kation, mengakibatkan zeolite sangat efektif sebagai penukar kation [6].

Berdasarkan hasil analisa kuantitatif *difraksi* sinar-X (XRD) zeolite ini mempunyai komposisi mineral berjenis *klinoptilolit* (30,89 %) dan *mordenit* (32,70 %), serta beberapa mineral lainnya yang terdiri dari kuarsa, *plagioklas* dan mika [7]. Sumber daya *hipotetik* atau kandungan zeolite di Bayah adalah sebesar 123.000.000 ton [8].

Dengan melimpahnya sumber daya tersebut, diharapkan filter emisi gas buang yang di ciptakan dari bahan zeolite ini, dapat menggantikan teknologi *catalytic converter* yang digunakan saat ini sebagai penyerap emisi kendaraan bermotor.

Tujuan akhir dilakukannya penelitian ini adalah untuk mendapatkan rancangan lengkap berupa bentuk dan dimensi filter emisi gas buang untuk kendaraan dengan mesin diesel menggunakan bahan baku Zeolite Bayah, dan menghitung biaya produksi filter tersebut, serta melakukan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) dengan tiga variasi pada emisi gas buang yang telah melalui filter tanpa zeolite dan zeolite dengan ukuran 70 dan 80 mesh.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Pengertian Zeolite

Zeolite adalah kelompok mineral yang dalam pengertian/penamaan bahan galian merupakan salah satu jenis bahan galian non logam atau bahan galian mineral industri, Zeolite diambil dari bahasa Greek atau Yunani yaitu kata *Zeinlithos*. Kata *Zein* memiliki arti membuih atau mendidih sedangkan kata *lithos* memiliki arti batuan. Batuan ini akan mendidih atau membuih jika dipanaskan pada temperatur antara 100 °C sampai 350°C. Zeolite merupakan mineral hasil tambang yang bersifat lunak dan

mudah kering. Warna dari zeolite adalah putih keabu-abuan, putih kehijau-hijauan, atau putih kekuning-kuningan. Ukuran kristal zeolite kebanyakan tidak lebih dari 10 -15 mikron [5].

Zeolite sudah banyak dimanfaatkan dan mengalami banyak pengembangan sehingga dapat dimanfaatkan untuk keperluan dalam industri dan pertanian, zeolite juga bermanfaat bagi lingkungan terutama untuk menghilangkan bau dan menyerap emisi karena zeolite dapat menyerap molekul-molekul gas seperti CO, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, dan zat berbahaya lainnya. Zeolite dapat dimanfaatkan dalam berbagai industri karena memiliki sifat-sifat kimia dan fisika yang unik sebagai katalisator, penyaring molekuler, dan penyerap serta penukar ion [8].

Berdasarkan pada asalnya zeolite dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu zeolite alam dan zeolite sintetis. Zeolite alam pada umumnya dibentuk oleh reaksi dari air pori dengan berbagai material seperti gelas, *poorly crystalline clay*, *plagioklas*, ataupun silika. Pembentukan zeolite alam ini tergantung pada komposisi dari batuan induk, temperatur, tekanan, tekanan parsial dari air, pH dan aktifitas dari ion-ion tertentu [9].

Sedangkan, mineral zeolite sintetis yang dibuat tidak dapat persis sama dengan mineral zeolite alam, walaupun zeolite sintetis mempunyai sifat fisis yang jauh lebih baik. Beberapa ahli menamakan zeolite sintetis sama dengan nama mineral zeolite alam dengan menambahkan kata sintetis di belakangnya, dalam dunia perdagangan muncul nama zeolite sintetis seperti zeolite A, zeolite K-C, dll. Zeolite sintetis terbentuk ketika gel yang ada terkristalisasi pada temperatur dari temperatur kamar sampai dengan 200 °C pada tekanan *atmosferik* ataupun *autogenous*[9].

### B. Sifat-sifat Zeolite

#### 1. Sifat Dehidrasi

Zeolite memiliki sifat dehidrasi dimana apabila mineral ini dipanaskan dapat melepaskan molekul H<sub>2</sub>O. Secara umum akan terjadi penyusutan pada struktur kerangka zeolite, tetapi kerangka dasarnya secara nyata tidak akan mengalami perubahan [8].

#### 2. Sifat Penyerapan (*Absorbent*)

Jika dilakukan pengamatan pada ruang hampa, terdapat molekul air bebas yang berada disekitar kation di dalam kristal zeolite. Air tersebut dapat dikeluarkan bila kristal zeolite dipanaskan pada temperatur 300 – 400 °C, sehingga zeolite dapat berfungsi sebagai media penyerap cairan dan gas[8].

#### 3. Sifat Pertukaran Ion

Kation-kation pada pori berperan sebagai penetral muatan zeolite. Kation-kation ini dapat bergerak bebas sehingga dapat dengan mudah terjadi pertukaran ion. Mekanisme pertukaran kation tergantung pada ukuran, muatan dan jenis zeolitenya[8].

#### 4. Sifat Penyaringan (*Sieving*)

Zeolite dengan struktur kerangka "*framework*" mempunyai luas permukaan yang besar dan berperan sebagai saluran yang dapat menyaring ion/molekul (*molecular sieving*). Peran Zeolite sebagai penyaring ataupun pemisah molekul didasarkan pada perbedaan

bentuk, ukuran, dan polaritas molekul yang disaring. Sifat ini disebabkan zeolite mempunyai pori dengan ukuran tertentu. Molekul yang berukuran lebih kecil dari pori dapat melintas sedangkan yang berukuran lebih besar dari pori akan tertahan [8].

#### 5. Sifat Katalis-Katalisator.

Terdapat ciri khusus dari zeolite yaitu berupa ruang kosong yang membentuk saluran di dalam strukturnya. Apabila zeolite digunakan sebagai katalisator atau proses penyerapan, maka di dalam ruang bebas di antara kristal akan terjadi difusi molekul [8].

#### C. Ketersediaan Zeolite di Bayah, Banten

Di Provinsi Banten Zeolite banyak dijumpai Desa Pasirgombang, Kecamatan Bayah, Kabupaten Lebak, Banten [7]. Zeolite di daerah ini telah mengalami deformasi dan mengalami metamorfosa lemah, seiring dengan adanya proses kimia pada mineral tersebut. Setelah diamati secara megaskopik, zeolite memiliki warna hijau gelap, putih kecoklatan, abu-abu muda, putih kehijauan, dan abu-abu gelap apabila segar dan putih kehijauan sampai kecoklatan apabila telah mengalami proses pelapukkan. Berdasarkan hasil analisa kuantitatif menggunakan difraksi sinar-X (XRD), diperoleh jenis mineral dari zeolite di daerah ini mempunyai komposisi mineral *klinoptilotit* (30,89 %), *mordenit* (32,70 %), dan mineral-mineral lainnya terdiri dari kuarsa, plagioklas, dan mika, sedangkan hasil analisa kimia rata-rata dari beberapa sample zeolite bayah adalah: MgO = 0,71%, SiO<sub>2</sub> = 64,55%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 1,38%, Al<sub>2</sub>O = 12,83%, TiO<sub>2</sub> = 0,22%, K<sub>2</sub>O = 2,81%, Na<sub>2</sub>O = 0,33%, CaO = 1,64%, serta yang hilang dibakar adalah = 15,18 % [10]. Serta mempunyai nilai KTK 52.00–67.00 meq/100g (sebelum diaktivasi) dan 65.00–84.00 meq/100g (setelah diaktivasi) [7].

#### D. Filter gas buang

Munculnya emisi pada gas buang motor diesel diakibatkan karena pembakaran yang tinggi di dalam mesin. Pada proses pembakaran bahan bakar di motor bakar akan menghasilkan gas buang yang mengandung gas berupa Nitrogen Oksida (NO<sub>2</sub>), Hidrokarbon (HC), *Particulate Matter* (PM), Sulfur Oksida (SO), dan Karbon Monoksida (CO). yang dapat mencemari udara. Pencemaran udara akan berakibat berbahaya bagi kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya seperti hewan dan tumbuhan. Untuk itu diperlukan filter gas yang buang untuk menyaring emisi dari hasil pembakaran bahan bakar untuk meminimalisir pencemaran yang ditimbulkan.

Penggunaan filter emisi gas buang untuk kendaraan bermotor di Indonesia masih terbatas pada mobil-mobil keluaran terbaru ditambah belum ada peraturan dari pemerintah untuk mewajibkan penggunaan filter gas buang bagi seluruh kendaraan. Padahal kendaraan-kendaraan tua memiliki potensi terbesar menghasilkan emisi tidak bersih. Kendala dalam penggunaan filter emisi gas buang pada semua jenis kendaraan bermotor adalah biaya filter yang relatif mahal.

Filter gas buang selama ini dibuat dari beberapa bahan logam sehingga memiliki harga relatif mahal. Logam-logam yang biasa digunakan adalah *Rhodium* (Rh), *Palladium* (Pd),

dan *Platinum* (Pt). Untuk itu perlu dilakukan penelitian yang mengarah pada penggunaan bahan alternatif dengan harga murah untuk membuat filter emisi gas buang. Di Indonesia, penelitian material alternatif untuk membuat filter gas buang banyak menggunakan bahan-bahan logam transisi seperti Seng, Nikel, dan Tembaga. Terdapat juga pengembangan material filter gas buang berbahan keramik dengan prinsip adsorpsi untuk melakukan penurunan kadar emisi pada kendaraan bermotor [11].

#### E. Catalytic Converter

*Catalytic Converter* adalah sebuah *Fixed Bed Reactor* dengan operasi dinamik untuk menjadikan zat-zat yang berbahaya pada emisi gas buang kendaraan, menjadi zat-zat yang tidak berbahaya bagi lingkungan dan makhluk hidup. *Catalytic Converter* menggunakan media yang bersifat katalis sebagai *converter* (pengubah), nantinya katalis tersebut diharapkan dapat mempercepat terjadinya proses perubahan reaksi kimia suatu zat sehingga gas berbahaya seperti CO dapat teroksidasi menjadi CO<sub>2</sub> [11].

#### F. Katalis

Katalis merupakan zat yang pada suhu tertentu dapat mempercepat laju reaksi kimia, tanpa mengubah reaksi itu sendiri. Palladium, Platinum dan Stainless Steel merupakan logam yang biasa digunakan sebagai media katalis, bahan tersebut tergolong material yang mahal dan sulit untuk didapatkan [12].

*Catalytic converter* yang biasa dipakai dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu *single bed oksidation* dan *Three-Way Catalytic Converter*. Sistem *single bed oksidation* mampu mengubah CO dan HC menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Pada sistem ini terdapat dua system katalis yang dipasang segaris menggunakan reaksi redoks, dimana gas buang akan mengalir terlebih dahulu melalui *Catalytic* reduksi selanjutnya gas buang akan mengalir *catalytic* oksidasi. *Catalytic* reduksi merupakan sistem pertama untuk menurunkan emisi NO<sub>x</sub>, sedangkan *catalytic* oksidasi merupakan sistem kedua yang dapat menurunkan emisi HC dan CO [13].

Sedangkan pada tipe *Three-Way Catalytic Converter*, didesain menggunakan reaksi kimia agar dapat mengurangi gas-gas berbahaya seperti CO, HC dan No<sub>x</sub> yang keluar dari *exhaust system* menjadi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), uap air (H<sub>2</sub>O), dan Nitrogen (N) [14].

Pemasangan *Catalytic Converter* dalam penanganan terhadap gas buang kendaraan bermotor banyak dikembangkan dan dilakukan oleh peneliti akhir-akhir ini. Dalam bukunya *Catalytic Hand Book*, Dowden berpendapat bahwa pada umumnya *Catalytic Converter* yang digunakan kendaraan bermotor adalah tipe *monolithic* dan pelet menggunakan bahan katalis dari logam-logam mulia seperti Platinum (Pt), palladium (Pd), dan Rodium (Rh) [11].

Logam-logam diatas memiliki jumlah yang sedikit di pasaran dan memiliki harga yang cukup mahal, sifat logam-logam tersebut antara lain memiliki aktifitas spesifik yang tinggi, memiliki tingkat volatilitas besar, serta mudah rusak dan mudah teroksidasi pada suhu 500 – 900 derajat Celcius sehingga dapat mengurangi aktifitas katalis [11].

Pemasangan *catalytic converter* pada saluran gas buang yang menggunakan bahan logam katalis Pt, Pd, dan Rh dengan penyangga alumina, silica dan keramik sulit di dapat serta memerlukan biaya yang mahal dalam proses produksinya, sehingga kurang cocok digunakan di Indonesia yang masih menggunakan bahan bakar dengan campuran timbal (Pb). Padahal jenis *Catalytic Converter* ini dapat mengkonversi emisi gas buang (CO, HC dan NOx) yang cukup tinggi hingga 80 - 90% [15].

Sehingga alternatif lainnya adalah dengan menggunakan logam transisi yang memiliki harga relatif lebih murah serta mempunyai kelimpahan yang tinggi. Beberapa oksida logam transisi yang cukup aktif dalam mengoksidasi emisi gas CO antara lain : CuO, NiO dan Cr<sub>2</sub>O. Beberapa logam yang diketahui dapat digunakan sebagai katalis reduksi, yaitu tembaga, besi, Nikel paduan dan oksida dari logam-logam tersebut. Sedangkan beberapa logam yang diketahui dapat digunakan sebagai katalis oksidasi yaitu Plutonium, Mangan, Platinum, Nikel, chromium serta oksida dari logam-logam tersebut [16].

Selain itu beberapa logam yang diketahui efektif sebagai bahan katalis reduksi dan oksida mulai dari yang kecil sampai yang besar adalah Zn, Cr, Fe, Ni, Cu, Mn, Ru, Pd, Pt dan oksida dari logam-logam tersebut [11].

#### G. Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*)

*Scanning Electron Microscope* (SEM) merupakan salah satu jenis mikroskop elektron yang dapat menunjukkan gambar spesimen dengan memindainya menggunakan sinar elektron berenergi tinggi dalam *scan* pola raster. Elektron berinteraksi dengan atom-atom sehingga spesimen menghasilkan sinyal yang mengandung informasi tentang topografi permukaan spesimen, komposisi, dan karakteristik lainnya seperti konduktivitas listrik. SEM memungkinkan beberapa perbesaran, dari sekitar 10 kali (sekitar setara dengan lensa tangan) sampai lebih dari 500.000 kali perbesaran, atau sekitar 250 kali kemampuan perbesaran mikroskop optik [17].

#### H. *Particulate Matter* dan Dampaknya

*Particulate Matter* dihasilkan oleh adanya residu bahan bakar yang terbakar dalam ruang bakar, dan keluar melalui pipa gas buang. Ukuran *particulate* bervariasi, dengan ukuran besar cenderung berasal dari faktor geologi, seperti debu dan pasir yang ditiup angin. Sedangkan yang berukuran kecil terutama dari sumber-sumber pembakaran seperti sulfur dioksida menjadi sulfat dan nitrogen oksida menjadi nitrat.

Polutan *particulate matter* (PM) masuk ke dalam tubuh manusia terutama melalui sistem pernapasan, oleh karena itu pengaruh yang merugikan langsung terutama terjadi pada sistem pernafasan. Faktor yang paling berpengaruh terhadap sistem pernafasan terutama adalah ukuran *particulate matter*, karena ukuran PM yang menentukan seberapa jauh penetrasi PM ke dalam sistem pernafasan. Berikut adalah Tabel 1 yang menjelaskan hubungan antara pengaruh ukuran partikel dengan mekanisme pertahanan sistem pernafasan [18].

**Tabel 1.** Mekanisme Pertahanan Organ Pernapasan Terhadap *Particulate Matter*.

Ukuran partikel	Istilah	Mekanisme
> 10 $\mu\text{m}$	Debu kasar, Fly Ash	Ditahan oleh bulu di dalam hidung Gerakan cilia mendorong mucus ke atas, partikel dibuang melalui mulut
2 – 10 $\mu\text{m}$	Fumes, Dust, Smoke	Limfosit dan Fagosit dalam paru-paru menyerang submicron
< 2 $\mu\text{m}$	Aerosol, Fumes	

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Waktu dan Tempat Penelitian

Kegiatan penelitian dilaksanakan di laboratorium prestasi mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon. Waktu pelaksanaan penelitian dimulai dari bulan Februari 2020 sampai September 2020.

#### B. Alat dan Bahan yang Digunakan

##### 1. Zeolite

Digunakan sebagai bahan utama pembuatan filter yang berfungsi menyerap gas beracun dari emisi gas buang kendaraan (Gambar 1)



**Gambar 1.** Zeolite Bayah

##### 2. Galvanized steel

Salah satu jenis baja ringan ini digunakan untuk membuat casing knalpot, dengan lapisan anti karat yang cukup baik, material ini di pilih karena dapat tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan (Gambar 2)



**Gambar 2.** Galvanized Steel yang Telah Difabrikasi

### 3. Wiremesh

*Wiremesh* (Gambar 3) merupakan material untuk menampung zeolite yang berukuran mesh 70 & 80, material ini terbuat dari *stainless steel 304* sehingga tidak mudah korosi.



**Gambar 3.** *Wiremesh*

### 4. Filter Paper

*Filter paper* (Gambar 4) adalah kertas saring berfungsi untuk proses *filtrasi* yaitu memisahkan padatan (*particulate matter*) dari cairan atau gas yang terdapat dalam gas buang motor diesel.



**Gambar 4.** *Filter Paper*

### 5. Lie Big Condenser

*Condenser* merk Iwaki (Gambar 5) adalah peralatan gelas laboratorium yang digunakan untuk proses pemanasan dengan pendingin balik. Pada penelitian ini berfungsi juga untuk menstabilkan tekanan yang keluar dari *exhaust pipe* sehingga menjadi *continue*.



**Gambar 5.** *Lie Big Condenser*

### 6. Labu Erlenmeyer Burchner

Labu *Burchner* merk Iwaki (Gambar 6) digunakan untuk menjadikan aliran gas buang yang konstan ke *filter paper*



**Gambar 6.** Labu *Erlenmeyer Burchner*

### 7. Sputter Coater

*Sputter coater* merk Quorum (Gambar 7) adalah alat yang digunakan untuk membuat lapisan tipis pada *filter Paper* yang akan di uji SEM dengan menggunakan material Au dan Ag dalam keadaan vakum. Sputtering dilakukan di PT. Vanadia Utama Jakarta. Sputtering berfungsi untuk meningkatkan pencahayaan saat sample diuji.



**Gambar 7.** *Sputter Coater*

### 8. Scanning Electron Microscope (SEM)

SEM *Zeiss EVO MA15* buatan Germany (Gambar 8) merupakan mikroskop electron yang digunakan untuk melihat morfologi (bentuk dan ukuran) dari *sample filter paper*. Pengujian SEM dilakukan di PT Vanadia Utama Jakarta.



**Gambar 8.** *Scanning Electron Microscope (SEM)*

### 9. Mesin Diesel *Single Cylinder*

Mesin yang digunakan untuk menerapkan filter emisi gas buang dan diambil sampel gas buangnya yaitu Mesin Diesel *Single Cylinder* bermerk Dong Feng R175A (Gambar 9).



**Gambar 9.** Mesin Diesel Dong Feng R175A

Spesifikasi dari mesin Dong Feng R175A yang digunakan adalah sebagai berikut (Tabel 2).

**Tabel 2.** Spesifikasi Mesin Diesel Dong Feng R175A

Klasifikasi	Uraian
Jenis pendinginan	Pendinginan air
Sistem pembakaran	<i>Indirect</i>
Tenaga maksimum	7 HP / 2600 rpm
Diameter x langkah	75 x 80 (mm)
Isi silinder	353 cc
Kompresi	23:1
Arah putaran	Berlawanan arah jarum jam
<i>Weight</i>	65 kg
Dimensi mesin	589 x 341 x 463 (mm)

### C. Prosedur Fabrikasi dan Pengujian Filter Gas Buang Zeolit

Prosesur pembuatan dan pengujian filter gas buang berbahan dasar zeolite dilakukan melalui beberapa proses berikut ini:

#### a) Proses pembuatan knalpot

1. Memilih material plat yang sesuai dengan standard untuk membuat *casing* knalpot,
2. Memotong plat baja menggunakan gerindra sesuai dengan dimensi design yang telah dibuat,
3. Plat yang sudah dipotong sesuai ukuran kemudian di tekuk menggunakan mesin bending untuk membuat bentuk segi enam,
4. Plat yang sudah menjadi bentuk segi enam kemudian di hubungkan dengan pengelasan.

#### b) Proses persiapan bahan utama filter

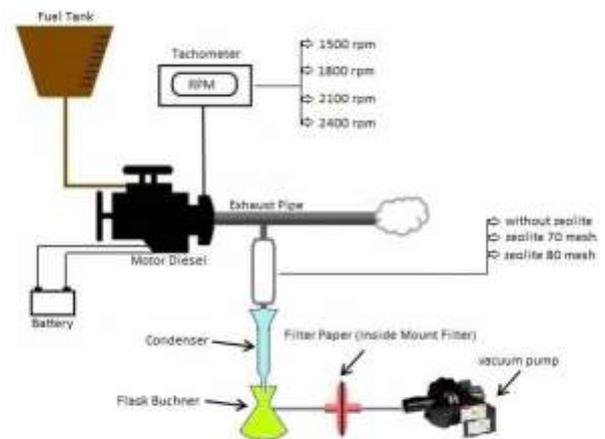
1. Menyiapkan zeolite yang berasal dari Bayah,
2. Melakukan proses penumbukan untuk menghancurkan batu zeolite agar sesuai ukuran yang diinginkan yaitu 70 dan 80 mesh,
3. Kemudian dilakukan proses pengayakan dan penyaringan untuk melakukan pemisahan tiap ukuran mesh.

#### c) Proses pembuatan filter

1. Memotong wiremesh sesuai dimensi design filter yang akan dibuat,
2. Menggabungkan batu zeolite hasil pengayakan dengan wiremesh,
3. Melakukan penggulungan filter agar berbentuk spiral,
4. Melakukan assembling filter ke dalam knalpot.

#### d) Prosedur Pengambilan Sample

Untuk memperoleh data percobaan yang dilakukan dalam studi pengaruh variasi ukuran zeolite sebagai filter gas buang motor diesel. Tahap percobaan dalam memperoleh sample data ditunjukkan dalam skema pada Gambar 10 berikut ini.



**Gambar 10.** Skema Pengambilan Sample Filter Gas Buang Berbahan Zeolite

1. Menyiapkan zeolite dengan ukuran 70 dan 80 mesh.
2. Membuat *wiremesh* menjadi kantung sebagai tempat zeolite.
3. Memasukkan zeolite kedalam kantung *wiremesh* sesuai ukuran zeolite.
4. Memasukan *wiremesh* yang sudah terisi zeolite ke dalam tabung filter.
5. Menutup tabung filter zeolite dengan rapat.
6. Mengisi tangki bahan bakar dengan solar.
7. Menghubungkan knalpot atau *exhaust pipe* ke tabung filter zeolite menggunakan selang.
8. Menghubungkan tabung filter zeolite ke *lie big condenser* menggunakan selang.
9. Menyambung *labu burchner* dan *lie big condenser*, pastikan terisolasi agar tidak ada gas yang keluar.
10. Meletakkan 1 (satu) lembar *sample paper* baru ke dalam *paper holder*.
11. Menghidupkan Mesin Diesel satu silinder.
12. Memanaskan mesin pada kondisi idle kurang lebih 3-5 menit.
13. Menyalakan *tachometer* dan mengatur rpm hingga 1500, 1800, 2100 dan 2400. Usahakan rpm konstan
14. Menyambung *paper holder* ke *labu burchner* dengan menggunakan selang.

15. Menghubungkan *vacuum pump* dengan selang ke *paper holder* dan menyalakan.
16. Mengukur waktu pengambilan gas buang selama 2 menit.
17. Mematikan *vacuum pump* lalu turunkan rpm hingga mesin dalam keadaan mati
18. Mengambil *sampel* berupa *filter paper* di dalam *paper holder*
19. Meletakkan *sampel filter paper* ke dalam *Petri Dish* agar tidak terkontaminasi udara lingkungan dengan menggunakan pinset.
20. Mengisi *paper holder* kembali dengan *filter paper* yang baru. Mengulangi langkah 1-19 dengan menggunakan variasi ukuran filter zeolite dan rpm yang berbeda.

**IV. HASIL PENELITIAN**

**A. Design Knalpot dan Filter Gas Buang**

Filter gas buang dirancang agar mampu menyerap emisi gas buang dengan baik, berbentuk prisma segi enam. Hal tersebut dikarenakan desain dari filter emisi yang digunakan berbentuk spiral, sehingga dibutuhkan bentuk yang dapat menahan filter knalpot, apabila casing knalpot yang digunakan berbentuk lingkaran, memungkinkan filter dapat bergeser atau berubah posisi didalam knalpot. Filter gas buang yang dibuat memiliki beberapa komponen penyusun, antara lain adalah:

1. *Casing*

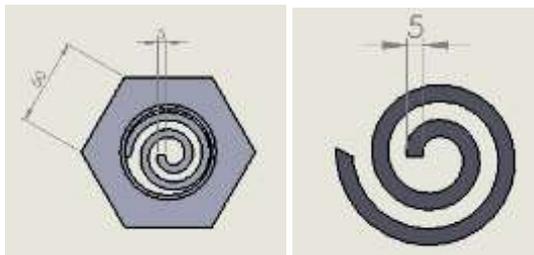
*Casing* (Gambar 11) adalah selubung luar dari knalpot yang berfungsi untuk melindungi bagian-bagian dalam knalpot, berbentuk segi 6 dengan panjang sisi 50 mm dan memiliki tinggi 300 mm, berikut adalah design dari *casing*.



**Gambar 11.** *Casing* Filter Gas Buang

2. *Filter*

Filter gas buang berbentuk spiral (Gambar 12) digunakan untuk memperbesar kontak gas buang terhadap permukaan filter, sehingga penyerapan emisi gas buang lebih tinggi.



**Gambar 12.** Filter Gas Buang Berbahan Zeolite

Setelah dilakukan proses produksi dan manufaktur, didapatkan filter gas buang berbahan dasar zeolite seperti foto yang ditunjukkan oleh Gambar 13 berikut ini.



**Gambar 13.** Produk Filter Gas Buang Berbahan Dasar Zeolite Bayah Setelah Ddibangun

**B. Perhitungan Porositas Filter Gas Buang**

Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah volume lubang-lubang kosong yang di miliki oleh zat padat (volume kosong) dengan jumlah dari volume zat padat ditempati oleh zat padat [19].

1. Perhitungan volume knalpot

Knalpot dibuat berbentuk segi enam, sehingga untuk mencari volume knalpot ( $V_k$ ) dapat menggunakan rumus volume prisma segi enam di bawah ini:

$$V_k = \text{luas alas} \times \text{tinggi} \tag{1}$$

$$V_k = \frac{3\sqrt{3} \times S^2}{2} \times \text{tinggi}$$

$$V_k = \frac{3\sqrt{3} \times 50^2}{2} \times 300$$

$$V_k = 1948557,157 \text{ mm}^3$$

2. Perhitungan volume filter gas buang

Filter gas buang di buat berbentuk balok dengan wiremesh pada sisi atas bawah dan zeolite ditengahnya, kemudian di gulung menjadi spiral. Sehingga volume dari filter ( $V_f$ ) dapat dihitung dengan menggunakan rumus balok, dimana  $p$  adalah panjang filter,  $l$  adalah lebar filter, dan  $t$  adalah tinggi filter sebelum di gulung spiral. Berikut adalah berhitungn volume filter gas buang:

$$V_f = p \times l \times t \tag{2}$$

$$V_f = 300 \times 5 \times 300$$

$$V_f = 450.000 \text{ mm}^3$$

3. Perhitungan Porositas

Sehingga porositas dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$\text{Porositas} = \frac{V_k - V_f}{V_k} \times 100\% \tag{3}$$

$$\text{Porositas} = \frac{1948557,157 - 450.000}{1948557,157} \times 100 \%$$

$$\text{Porositas} = 76,9059 \%$$

**C. Hasil Pengujian Emisi Particulate & SEM**

1. Hasil Emisi Particulate Matter

Hasil emisi *particulate matter* pada gas buang mesin diesel *single cylinder* diambil menggunakan filter tanpa zeolite dan zeolite dengan ukuran 70 dan 80 mesh.

Pengambilan sample dilakukan dengan cara gas buang mesin diesel dialirkan melewati *filter paper* sehingga *particulate matter* dapat tersaring. Volume zeolite yang digunakan masing-masing 200 gram. Rpm yang digunakan yaitu 1500, 1800, 2100 dan 2400. Sampel rpm terbesar terdapat sebelah kanan dan sampel rpm terkecil sebelah kiri secara berurutan yaitu 1500, 1800, 2100 dan 2400. Berikut adalah hasil emisi *particulate matter* yang dihasilkan setelah melakukan eksperimen (Gambar 14).



(a)



(b)



(c)

**Gambar 14.** Hasil Emisi *Particulate* (a) Tanpa Menggunakan Zeolite (b) Menggunakan Filter Zeolite 70 Mesh (c) Menggunakan Filter Zeolite 80 Mesh

Pada Gambar 14 dapat dilihat hasil dari emisi *particulate matter*. Pada semua variasi, warna hitam yang tebal pada *filter paper*, dihasilkan pada rpm 1500 dan 2400. Sedangkan

warna hitam pudar cenderung terdapat pada variasi rpm 1800 dan 2100.

Berdasarkan data diatas dapat disimpulkan *particulate* dalam emisi gas buang banyak di dapatkan saat mesin diesel melakukan start awal (*idling*) dan saat mencapai putaran tertinggi.

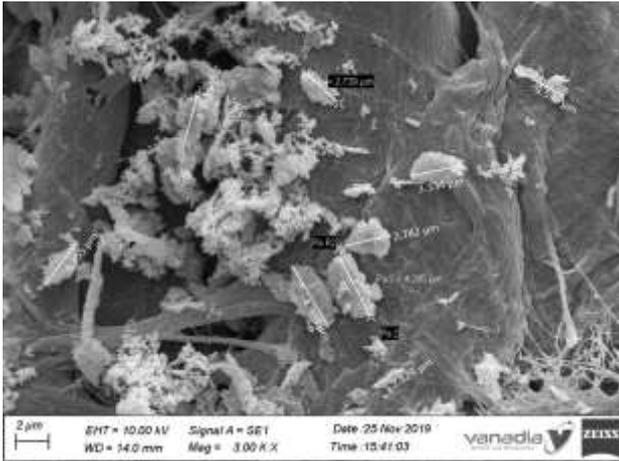
Hal tersebut ditunjang oleh penelitian yang dilakukan oleh Awal Syarani pada tahun 2006, yang menyatakan bahwa pada saat idling putaran 1000 rpm, suhu dalam ruang bakar tidak tinggi sehingga mengakibatkan bahan bakar menguap sehingga mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna. Sedangkan, pada putaran tinggi 2500 rpm, pembakaran berlangsung cepat yang mengakibatkan banyak bahan bakar tidak terbakar karena terjadi kekurangan oksigen [20]. Pembakaran tidak sempurna dari rpm diatas mengakibatkan *particulate* yang keluar dari knalpot menjadi berwarna hitam tebal

## 2. Hasil Pengujian Emisi menggunakan alat Scanning Electron Microscope (SEM)

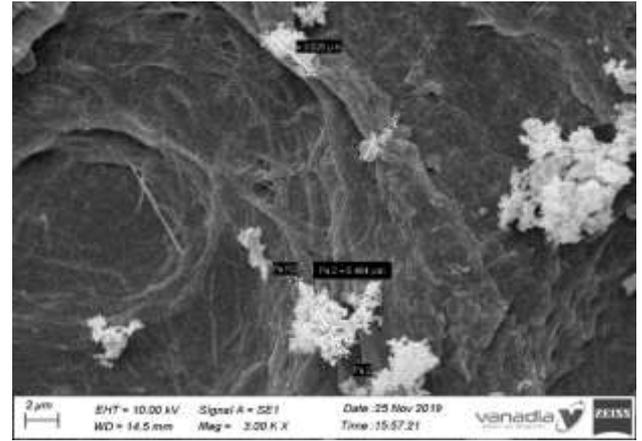
Pengujian sample dengan menggunakan SEM dilakukan di PT. Vanadia Utama yang terletak di kota Jakarta. Pengujian SEM dilakukan untuk mendapatkan data morfologi dari *Particulate Matter* yang tersampling. Pengujian SEM dilakukan dengan kondisi perbesaran 3000x menggunakan detector SED. Dalam gambar didapatkan skala 0.25 : 1 cm. Pada gambar dapat diukur nilai diameter *particulate*. *Particulate matter* yang diukur hanya 2 jenis yaitu PM 2.5 dan PM 10. Konsentrasi ialah banyaknya *particulate* (massa) per volume udara. Pada gambar banyaknya *particulate* tidak menunjukkan konsentrasi karena hanya PM2.5 dan PM10 yang dihitung diameternya jika tidak termasuk golongan tersebut maka *particulate* tidak dihitung.

### a) Hasil uji SEM Filter Paper dengan pengujian tanpa menggunakan filter Zeolite

Berikut adalah Gambar 15 yang merupakan gambar permukaan hasil pengujian emisi yang dilakukan menggunakan SEM dengan sample *filter paper* pada mesin diesel yang tidak menggunakan filter zeolite. Pengujian dilakukan dengan menggunakan variasi kecepatan putaran mesin pada rpm 1500 rpm, 1800 rpm, 2100 rpm dan 2400 rpm. Hasil pengujian ditampilkan dengan perbesaran hingga 3000x, menggunakan detector SED.

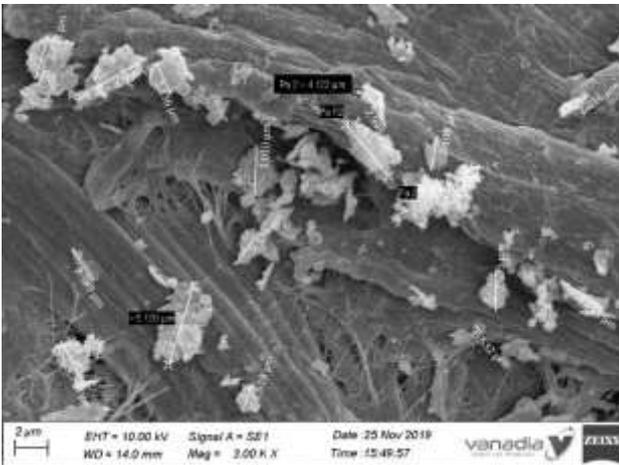


(a)



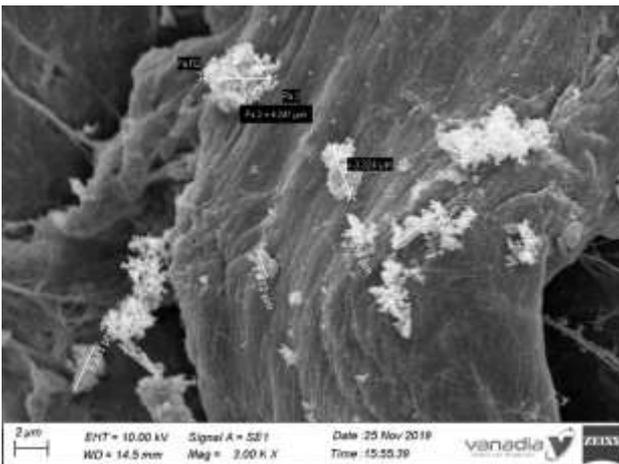
(d)

**Gambar 15.** Hasil Uji SEM (a) Tanpa Zeolite 1500 , (b) Tanpa Zeolite 1800, (c) Tanpa Zeolite 2100 dan (d) Tanpa Zeolite 2400



(b)

Pada Gambar 15, dapat dilihat karakteristik ukuran dari *particulate matter* yang dihasilkan dari emisi kendaraan diesel berbahan bakar solar tanpa menggunakan filter zeolite dengan rpm masing-masing yaitu 1500, 1800, 2100 dan 2400. Dapat dilihat bahwa ukuran *particulate matter* tampak kecil dan halus, serta memiliki rongga antar partikel yang berjauhan. Selanjutnya *particulate* digolongkan ke dalam PM 2.5 atau PM 10 dan dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini.



(c)

**Tabel 3.** *Particulate Matter* Tanpa Menggunakan Filter Zeolite

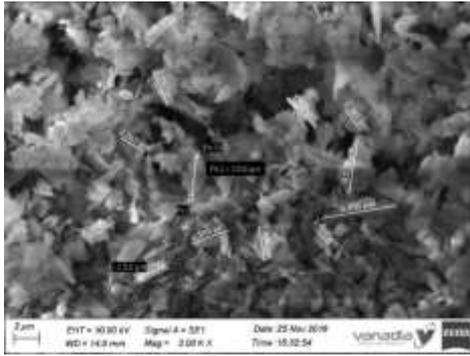
RPM	Jumlah <i>Particulate</i>		Diameter total (μm)	Diameter <i>average</i> (μm)
	PM 2.5	PM 10		
1500	1	8	29.33	5.52
1800	8	7	41.9	5.52
2100	2	4	18.44	5.58
2400	1	2	10.86	3.62

Tabel 3 menampilkan data *particulate matter* (PM) yang dihasilkan pada pengujian emisi tanpa menggunakan filter zeolit. Dari tabel 3 jumlah PM 2.5 sebanyak 12 *particulate* dan PM 10 sebanyak 21 *particulate*. Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi rpm mesin diesel, maka diameter total dan diameter *average* dari *particulate* akan semakin mengecil.

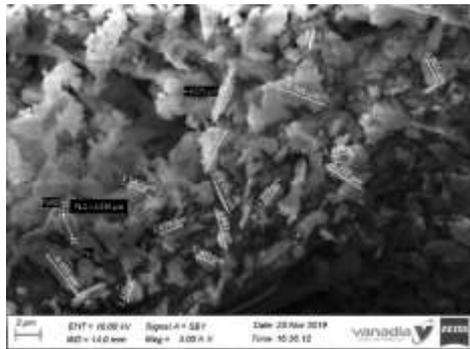
*b) Hasil uji SEM Filter Paper dengan pengujian dengan menggunakan filter Zeolite 70 mesh*

Berikut adalah Gambar 16 yang merupakan gambar permukaan hasil pengujian emisi yang dilakukan menggunakan SEM dengan sample *filter paper* pada mesin diesel yang menggunakan filter zeolite 70 mesh. Dengan variasi dan tampilan perbesaran sama dengan Gambar 15.

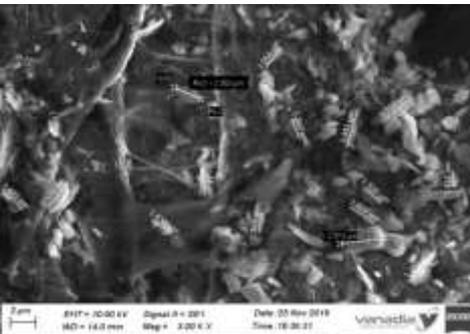




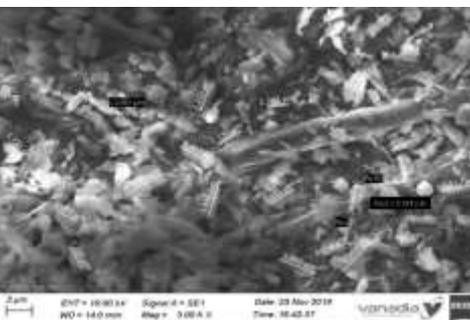
(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 17.** Hasil Uji SEM (a) Zeolite 80 Mesh 1500 , (b) Zeolite 80 Mesh 1800, (c) Zeolite 80 Mesh 2100 dan (d) Zeolite 80 Mesh 2400

Pada Gambar 17 dapat dilihat karakteristik ukuran dari *particulate matter* yang dihasilkan dari filter menggunakan zeolite 80 mesh memiliki kontur yang tampak lebih besar dibandingkan dengan hasil uji tanpa menggunakan filter zeolite. Gambar diatas menunjukkan jarak antar *particulate matter* sangat rapat sehingga minim sekali rongga yang ada. Berikut adalah ukuran dan jumlah *particulate* yang digolongkan ke dalam PM 2.5 atau PM 10 (Tabel 5).

**Tabel 5.** *Particulate Matter* Menggunakan Zeolite 80 Mesh

RPM	Jumlah <i>Particulate</i>		Diameter total (μm)	Diameter <i>avearge</i> (μm)
	PM 2.5	PM 10		
1500	7	8	45.41	5.94
1800	7	8	42.88	5.60
2100	15	4	42.93	5.34
2400	12	9	50.54	5

Tabel 5 menampilkan data *particulate matter* (PM) yang dihasilkan pada pengujian emisi tanpa menggunakan filter zeolite. Dari tabel 5 jumlah PM 2.5 sebanyak 41 *particulate* dan PM 10 sebanyak 29 *particulate*. Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi rpm mesin diesel, diameter *average* dari *particulate* akan semakin mengecil, namun terjadi kenaikan kembali diameter total pada 2400 rpm.

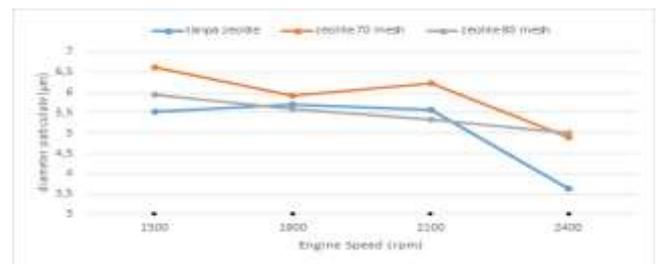
3. Pengaruh Ukuran Zeolite terhadap *Particulate Matter*

Pada Tabel 6 dilakukan pengolahan data untuk dapat membandingkan nilai diameter *average* pada dari tiap variasi

**Tabel 6.** Rerata Diameter *Particulate Matter*

Ukuran zeolite	Diameter <i>Average Particulate</i> (μm)			
	1500 rpm	1800 rpm	2100 rpm	2400 rpm
Tanpa zeolite	5.52	5.70	5.58	3.62
70 mesh	6.62	5.93	6.24	4.90
80 mesh	5.94	5.60	5.34	5

Dari hasil pengujian SEM pada masing-masing sample didapat ukuran diameter *particulate* dengan satuan micron meter. Ukuran *particulate* tersebut dihitung diameter rata-ratanya (*average*) untuk memudahkan analisa pengaruh dari penggunaan filter berbahan dasar zeolite. Dalam tabel 6 didapat diameter *average* hasil perhitungan pada masing-masing sampel filter zeolite.



**Gambar 18.** Grafik Perbandingan Filter Menggunakan Zeolite Terhadap Ukuran *Particulate Matter*

Dari grafik yang ditunjukkan pada gambar 18, perbandingan antara menggunakan zeolite 70 mesh, 80 mesh dan tanpa zeolite. Dengan menggunakan zeolite 70 mesh dan 80 mesh diameter *average particulate matter* yang didapatkan 4 $\mu$ m-7 $\mu$ m, sedangkan tanpa menggunakan zeolite *average particulate matter* yang didapatkan 3 $\mu$ m-6 $\mu$ m. Sehingga dapat di simpulkan bahwa ukuran mesh terbaik untuk digunakan sebagai filter zeolite adalah 70 mesh, karena menghasilkan ukuran diameter *average particulate* yang lebih besar dibandingkan variasi lainnya.

Karena berdasarkan buku yang ditulis oleh Taty Alfiah pada tahun 2009, menyatakan bahwa semakin kecil ukuran diameter *average particulate* maka semakin berbahaya bagi kesehatan tubuh, karena *particulate* akan semakin jauh masuk ke dalam saluran pernafasan [18].

## V. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan, produksi, dan pengujian filter emisi gas buang berbahan zeolite dengan variasi mesh dapat disimpulkan bahwa.

1. Filter emisi gas buang dibuat berbentuk spiral untuk memperbesar luas kontak antara gas buang dengan filter zeolite agar dapat menyerap emisi lebih tinggi.
2. Porositas yang di dapat dari hasil perancangan filter emisi gas buang adalah sebesar 76,9059 % .
3. Pada pengujian dengan menggunakan SEM dengan menggunakan zeolite 70 mesh dan 80 mesh diameter *average particulate matter* yang didapatkan 4 $\mu$ m-7 $\mu$ m, sedangkan tanpa menggunakan zeolite *average particulate matter* yang didapatkan 3 $\mu$ m-6 $\mu$ m. Semakin kecil ukuran diameter *particulate matter* maka semakin jauh masuk kedalam saluran pernafasan dan lebih berbahaya bagi tubuh.

## REFERENSI

- [1] Jayanti Novita Eka, Hakam Mochamad dan Sutiansih Indri, Emisi gas carbon monoksida (CO) dan hidroarbon (HC) pada rekayasa jumlah blade turbo ventilator sepeda motor Supra X 125 tahun 2006, *Jurnal Teknik Mesin* Vol. 16, No. 02, 2014, Hal : 1-6.
- [2] Ismiyati, Marlita Devi dan Saidah Deslida, Pencemaran udara akibat gas buang emisi kendaraan bermotor, *Jurnal Manajemen Transportasi dan Logistik (JMTransLog)* Vol. 01, No. 03, 2014, Hal : 241-247.
- [3] Muh. Amin dan Muhammad Subri, Pengaruh penambahan tembaga terhadap densitas material ceramic matrix composit (CMC) untuk aplikasi filter gas emisi kendaraan, *Jurnal Traksi* Vol. 15 No. 1, 2015, Hal 21-2.
- [4] Daryanto, *Teknik otomotif*, PT. Bumi Aksara, 2008.
- [5] Sutarti dan M. Rachmawati, *Zeolit : Tinjauan literatur*, Pusat Dokumentasi dan Informasi LIPI, 1994.
- [6] Suhendi, Batu zeolite untuk pengembangan asap knalpot motor matic 125 cc, *Jurnal Ilmiah TEKNOBIZ* vol. 5 No. 2, 2018.
- [7] Sariman, *Pemanfaatan zeolit sebagai bahan katalis dan pengolahan limbah skala pilot*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral, 1996.
- [8] Kusdarto, *Potensi Zeolite di Indonesia*, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2008.
- [9] Rodhie Saputra, Pemanfaatan zeolit sintesis sebagai alternative pengolahan limbah industry, 23 Januari 2006.

Website: Warmada.staff.ugm.ac.id/Articles/rodhie-zeolit.pdf diakses tanggal 1 Februari 2021

- [10] M. Arifin dan Harsodo, *Zeolite alam, potensi, teknologi, kegunaan dan prospeknya di Indonesia*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral, 1991.
- [11] Dowden D. A, et al, *Catalytic Handbook*. Springer-Verlag Wien, 1970.
- [12] Heisler H, *Advance Engine Technology*, Hodder Headline Group, 1995.
- [13] Husselbee, W. L, *Automotive Cooling, Exhaust, Fuel and Lubricating System*, Reston Publishing Co, 1985.
- [14] Team Toyota Astra Motor, *Buku Pedoman Pelatihan*, PT. Toyota – Astra Motor, 1995.
- [15] Warju, Pengaruh penggunaan catalytic converter tembaga berlapis mangan terhadap kadar polutan motor bensin empat langkah, *Jurnal Teknik* Vol.7, No.2, 2006.
- [16] Obert. Edward F, 1973, *Internal combustion Engine And Air Pollution Third Edition*, Harper & Row Publisher Inc, 1973.
- [17] Yusuf Nugroho dan Bayuseno, Analisa kegagalan las dan rekomendasi standard operating procedure (SOP) pada pengelasan pipa kondensor PT. Siemens Indonesia, *thesis*, Universitas Diponegoro, Semarang, 2012.
- [18] Taty Alfiah, *Pencemaran Udara*, Teknik Lingkungan Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, 2009.
- [19] I Putu Putra Widia Semara, Studi pengaruh aktifasi termal terhadap struktur mikro dan porositas zeolit alam, *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CakraM* Vol.4, No.2, 2010, Hal : 139-144.
- [20] Awal Syahrani, Analisa kinerja mesin berdasarkan hasil uji emisi, *Jurnal SMARTek*, Vol. 4, No. 4, 2006, hal 260-266.