

**PENGEMBANGAN FILTER PARTIKULAT PM₁₀
BERBAHAN SERAT LIMBAH KOKON UNTUK
FILTER EMISI SEPEDA MOTOR**

SKRIPSI

**OLEH:
FATMAWATI EKASARI
135090301111025**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**



**PENGEMBANGAN FILTER PARTIKULAT PM₁₀
BERBAHAN SERAT LIMBAH KOKON UNTUK
FILTER EMISI SEPEDA MOTOR**

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Sains dalam Bidang Fisika

**OLEH:
FATMAWATI EKASARI
135090301111025**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**

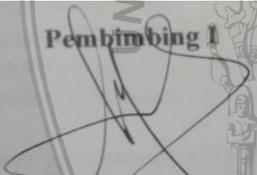


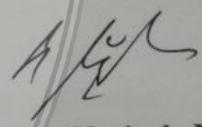
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

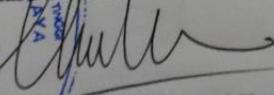
PENGEMBANGAN FILTER PARTIKULAT PM₁₀ BERBAHAN SERAT LIMBAH KOKON UNTUK FILTER EMISI SEPEDA MOTOR

oleh :
FATMAWATI EKASARI
135090301111025

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika

Pembimbing I

Drs. Arinto Y. P. W., M.Sc., Ph.D.
NIP. 196407021989031001

Pembimbing II

Dra. Lailatin Nuriyah, M.Si.
NIP. 195606171986022001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Prof. Dr. rer.nat. Muhammad Nurhuda
NIP. 196409101990021001



LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama :FATMAWATI EKASARI
NIM :135090301111025
Jurusan :Fisika
Penulis Skripsi berjudul :Pengembangan Filter Partikulat PM₁₀ Berbahan Serat Limbah Kokon Untuk Filter Emisi Sepeda Motor

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam Skripsi ini.
2. Apabila di kemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang,

Yang menyatakan,



Fatmawati Ekasari
NIM. 135090301111025



Pengembangan Filter Partikulat PM₁₀ Berbahan Serat Limbah Kokon Untuk Filter Emisi Sepeda Motor

ABSTRAK

Polusi yang berasal dari emisi sepeda motor sudah menjadi hal yang perlu diwaspadai saat ini karena polutan jenis ini sangat mengancam kesehatan makhluk hidup, tak terkecuali manusia. Sehingga diperlukan sistem filtrasi yang dapat mengurangi PM₁₀ yang berasal dari sepeda motor. Pada penelitian ini, dibuat sistem filtrasi yang berdasarkan prinsip porositas dan terbuat dari serat limbah kokon yang disatukan dengan cara dijahit sisi-sisi serat limbah kokon yang telah dibersihkan dan dipotong. Filter yang digunakan adalah filter yang memiliki variasi banyaknya lapisan filter kokon dan diberi nama F1, F2, F3, F4 dan F5. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah filter berbahan serat limbah kokon dapat mengurangi konsentrasi partikulat PM₁₀ dengan efisiensi terbaik diperoleh dari F5, yaitu sebesar 22%

Kata kunci: sepeda motor; konsentrasi PM₁₀; filter; serat limbah kokon; efisiensi

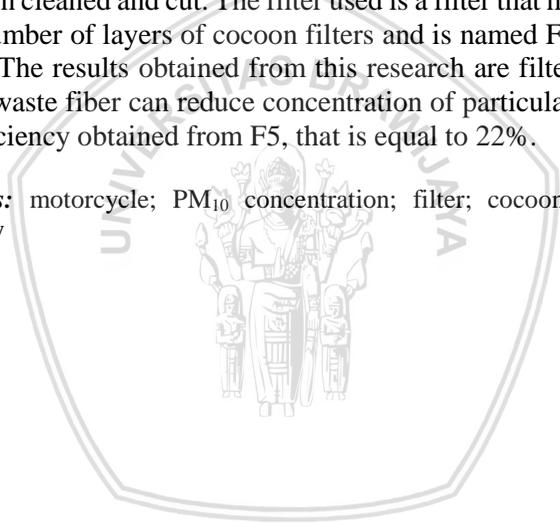


A Development of Particulate PM₁₀ Filter From Cocoon Waste For Motorcycle Emission Filter

ABSTRACT

Polution derived from motorcycle emissions have become something to watch out for today because these types of pollutants are very threatening human health. So that required filtration system that can reduce PM₁₀ coming from motorcycle. In this research, a filtration system based on the porosity principle is made of cocoon waste fiber which is put together by sewing the sides of cocoon waste fibers that have been cleaned and cut. The filter used is a filter that has a variation in the number of layers of cocoon filters and is named F1, F2, F3, F4 and F5. The results obtained from this research are filter made from cocoon waste fiber can reduce concentration of particulate PM₁₀ with best efficiency obtained from F5, that is equal to 22%.

Keywords: motorcycle; PM₁₀ concentration; filter; cocoon waste fiber; efficiency





KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis diberi kemudahan untuk menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul **“Pengembangan Filter Partikulat PM₁₀ Berbahan Serat Limbah Kokon untuk Filter Emisi Sepeda Motor”**. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam bidang sains Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya.

Selama menyelesaikan penyusunan skripsi ini penulis telah banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang turut membantu, khususnya:

1. Bapak Prof. Dr.rer.nat Muhamad Nurhuda selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.
2. Bapak Drs. Arinto Y. P. W., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing pertama yang telah meluangkan waktu dan pikiran, serta segala arahan, saran, motivasi, kesabaran dan bimbingannya dari awal proses penelitian dan penulisan skripsi ini.
3. Ibu Dra. Lailatin Nuriyah, M.Si. selaku dosen pembimbing kedua yang telah membimbing dan memberikan saran, motivasi dan arahnya kepada penulis.
4. Seluruh dosen Jurusan Fisika serta Staff dan Karyawan Jurusan Fisika yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat dan membantu dalam proses perkuliahan.
5. Seluruh anggota Taufiq Squad (Bapak, Ibu, Kak Desy dan Adek Karim) tercinta atas semua doa, motivasi, masukan, dukungan moril dan materil, segala jasa yang tidak akan pernah bisa penulis balas sampai kapan pun.
6. Seluruh keluarga besar Djaini (Mbah uti, Pakde Budi, Bude Sanah, Bude Tutut, Pakde Nanto, Bude Indri, Bude Ning, Pakde Taji, Om Yok, Tante Neneng, Mama Ana, Om Sugeng, Mas Windo, Mbak

Tiyuk, Mas Danang, Kakak Atik, Irul, Mas Yudis, Mbak Riza, Mas Irfan, Maulita, Ine, Firda) tercinta atas semua doa, motivasi, masukan, dukungan dan segala jasa yang tidak akan pernah bisa penulis balas sampai kapan pun.

7. Nurul Mufidah, Nurma Zubaidah dan Salsabila Amanda Putri yang telah memberikan dukungan, bantuan, motivasi dan sebagai tempat berkeluh kesah serta membantu mengatasi hambatan yang dialami penulis.
8. Mas Arif, Mbak Mia, Mas Eko, Mas Arsyal yang telah memberikan saran, motivasi, pemecahan masalah dan dukungannya kepada penulis.
9. Semua rekan-rekan Laboratorium Air Quality and Astro Imaging (Faizul, Rijal, Ikta, Susan, Mas Momon, Mas Fikri, Mas Bagus, Mas Aldo, Anas, dkk) yang telah memberikan bantuan dan dukungan semangat kepada penulis.
10. Claudi, Sadiyah, Radityo, Angga, Kiki, yang telah memberikan bantuan kepada penulis.
11. Semua laboran di Jurusan Fisika yang telah membantu penulis.
12. Rekan-rekan Fisika 2013 selaku teman seperjuangan penulis
13. Seluruh pihak-pihak terkait yang telah membantu penulis.

Atas segala kekurangan dan ketidaksempurnaan skripsi ini, penulis sangat mengharapkan masukan, kritik dan saran yang bersifat membangun ke arah perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini, akhir kata penulis berharap dengan adanya skripsi ini dapat memberikan pencerahan dan manfaat kepada pembaca, terutama dalam pengembangan ilmu pengetahuan

Malang, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	v
LEMBAR PERNYATAAN	vii
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	Error! Bookmark not defined.
1. 1. Latar Belakang	Error! Bookmark not defined.
1. 2. Rumusan Masalah	Error! Bookmark not defined.
1. 3. Tujuan Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
1. 4. Batasan Masalah.....	Error! Bookmark not defined.
1. 5. Manfaat Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
2. 1. Polusi Udara	Error! Bookmark not defined.
2. 2. Emisi Kendaraan Bermotor	Error! Bookmark not defined.
2. 3. <i>Particulate Matter</i> (PM)...	Error! Bookmark not defined.
2. 4. Dampak PM Bagi Kesehatan	Error! Bookmark not defined.
2. 5. Sistem Filtrasi PM Pada Pembuangan Emisi Sepeda Motor	Error! Bookmark not defined.
2. 6. Porositas	Error! Bookmark not defined.
2. 7. Kokon Ulat Sutra.....	Error! Bookmark not defined.



2. 8. Handheld Air Tester (Hinaway, CW-Hat200S)..... **Error! Bookmark not defined.**

BAB III METODE PENELITIANError! Bookmark not defined.

- 3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....**Error! Bookmark not defined.**

- 3.2. Alat dan Bahan **Error! Bookmark not defined.**

- 3.2.1. Alat **Error! Bookmark not defined.**

- 3.2.2. Bahan **Error! Bookmark not defined.**

- 3.3. Tahap Penelitian **Error! Bookmark not defined.**

- 3.3.1. Uji Kandungan Serat Limbah Kokon **Error! Bookmark not defined.**

- 3.3.2. Pembuatan Filter **Error! Bookmark not defined.**

- 3.3.3. Pengujian Karakteristik Filter....**Error! Bookmark not defined.**

1. Pengukuran Densitas Filter.....**Error! Bookmark not defined.**

2. Uji *Flowrate* Filter..... **Error! Bookmark not defined.**

3. Uji Morfologi..... **Error! Bookmark not defined.**

4. Pengukuran Efisiensi Filter.....**Error! Bookmark not defined.**

- 3.4. Interpretasi Data **Error! Bookmark not defined.**

- 3.4.1. Konsentrasi rata-rata PM_{10} sebelum (C_0) dan sesudah (C_1) dipasang filter..... **Error! Bookmark not defined.**

- 3.4.2. Efisiensi Filter..... **Error! Bookmark not defined.**

- 3.4.3. Densitas Filter..... **Error! Bookmark not defined.**

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.Error! Bookmark not defined.

- 4.1. Filter Partikulat..... **Error! Bookmark not defined.**
- 4.2. Uji Kandungan **Error! Bookmark not defined.**
- 4.3. Karakteristik Filter **Error! Bookmark not defined.**
 - 4.1.1. Uji Densitas **Error! Bookmark not defined.**
 - 4.1.2. Uji Morfologi **Error! Bookmark not defined.**
 - 4.1.3. Uji *Flowrate* Filter.... **Error! Bookmark not defined.**
- 4.4. Hasil Pengukuran Konsentrasi PM₁₀**Error! Bookmark not defined.**
- 4.5. Efisiensi Filter **Error! Bookmark not defined.**
- 4.6. Pembahasan..... **Error! Bookmark not defined.**
- BAB V PENUTUP** **Error! Bookmark not defined.**
 - 5.1. Kesimpulan..... **Error! Bookmark not defined.**
 - 5.2. Saran..... **Error! Bookmark not defined.**
- DAFTAR PUSTAKA** **Error! Bookmark not defined.**
- LAMPIRAN**..... **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2. 1 Komposisi udara bersih dan kering (Sunu, 2001)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 2 Sumber pencemar udara (Saepudin & Admono, 2005)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 3 Prosentase komponen pencemar udara utama (Wardhana, 2004).....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 4 Distribusi ukuran partikel (USEPA, 2004)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 5 Ukuran jenis-jenis partikel (Suhariyono & Wiyono, 2003).....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 6 Hasil survei WHO selama tahun 2008-2015.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 7 Ukuran dan penetrasi partikel ke dalam sistem pernafasan.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 8 Data kematian yang disebabkan oleh polusi udara perkotaan pada tahun 2004 (HELI, 2009)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 9 Alat yang digunakan dalam mengukur konsentrasi PM ₁₀	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 2 Alat XRF (Minipal 4) ..	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 3 Proses pengambilan data pengukuran densitas	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 4 Rangkaian Alat Uji Flowrate	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 5 Mikroskop Optik Olympus DX51	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 6 Diagram Alir Konsistensi PM ₁₀ ..	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 1 Kokon yang telah dijahit menjadi filter	Error! Bookmark not defined.



- Gambar 4. 2 Grafik hasil uji XRF tanpa gas helium**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 3 Morfologi permukaan filter menggunakan mikroskop optik Olympus DX51 dengan perbesaran 25x (scale bar 200 μ m).
..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 4 Foto mikroskop perbesaran 25 kali menggunakan (scale bar 200 μ m)..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 5 Grafik selisih konsentrasi PM₁₀ yang terjadi untuk setiap filter..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 6 Grafik hubungan antara efisiensi filter terhadap ketebalan filter..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 7 Penampang filter dengan ketebalan 1 lapis menggunakan mikroskop dengan perbesaran 25x (scale bar 200 μ m).
..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 8 Penampang filter dengan ketebalan 5 lapis menggunakan mikroskop dengan perbesaran 25x (scale bar 200 μ m).
..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 9 Mekanisme adsorpsi. (A).Grafik hubungan antara collection efficiency dengan diameter partikulat yang menggambarkan mekanisme impaksi. (B). Grafik hubungan antara collection efficiency dengan diameter partikulat yang menggambarkan mekanisme intersepsi.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 10 Mekanisme impaksi partikulat dengan filter serat.
..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 11 Mekanisme intersepsi partikulat dengan filter serat.
..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 12 Grafik hubungan antara flowrate, ketebalan dan efisiensi filter..... **Error! Bookmark not defined.**



DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2. 1 Standar baku mutu udara ambient ..**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 2. 2 Interval tingkat pencemaran udara di ruas jalan kota-kota besar..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 2. 3 Emisi dari kendaraan bermotor.....**Error! Bookmark not defined.**

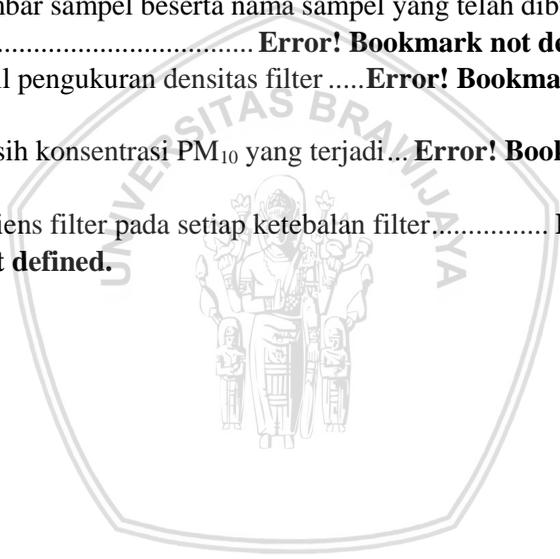
Tabel 4. 1 Hasil pengukuran massa dan ketebalan sampel..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 2 Gambar sampel beserta nama sampel yang telah dibuat **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 3 Hasil pengukuran densitas filter**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 4 Selisih konsentrasi PM_{10} yang terjadi ... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 5 Efisiensi filter pada setiap ketebalan filter..... **Error! Bookmark not defined.**



DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1 Data Konsentrasi PM_{10} untuk F1.. **Error! Bookmark not defined.**

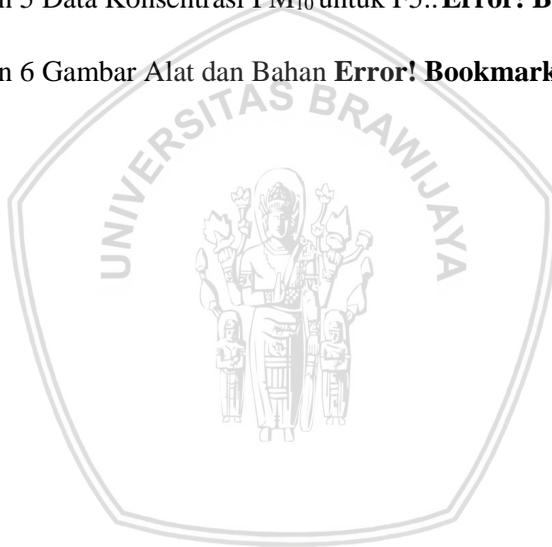
Lampiran 2 Data Konsentrasi PM_{10} untuk F2.. **Error! Bookmark not defined.**

Lampiran 3 Data Konsentrasi PM_{10} untuk F3.. **Error! Bookmark not defined.**

Lampiran 4 Data Konsentrasi PM_{10} untuk F4.. **Error! Bookmark not defined.**

Lampiran 5 Data Konsentrasi PM_{10} untuk F5.. **Error! Bookmark not defined.**

Lampiran 6 Gambar Alat dan Bahan **Error! Bookmark not defined.**



BAB I

PENDAHULUAN

1. 1. Latar Belakang

Meningkatnya jumlah kendaraan sepeda motor tiap tahunnya memberikan efek yang dialami oleh lingkungan terutama pada aspek udara. Menurut data Badan Pusat Statistik, dari tahun 2010 hingga 2015, jumlah kendaraan sepeda motor mengalami kenaikan terus menerus, yaitu berkisar 6% hingga 13% setiap tahunnya. Jumlah sepeda motor yang sudah tercatat pada tahun 2015 sebanyak 98.881.267 unit sepeda motor. Jumlah ini diperkirakan akan terus meningkat mengingat permintaan pasar yang terus meningkat sepanjang tahunnya (BPS, 2015).

Jumlah kendaraan bermotor yang terus meningkat setiap tahunnya akan memberikan dampak pada berbagai sektor. Salah satunya adalah sektor lingkungan terutama mengenai kualitas udara. Udara merupakan kebutuhan primer yang dibutuhkan semua makhluk hidup tak terkecuali manusia. Udara yang masuk ke dalam tubuh akan mempengaruhi kesehatan tubuh. Jika udara yang dihirup manusia bersih dari zat-zat beracun, maka tubuh juga akan sehat. Sebaliknya, jika udara yang dihirup penuh dengan zat-zat beracun, maka tubuh pun akan sakit. Pada era modern saat ini, banyak dilakukan pengembangan pembangunan fisik kota dan pusat-pusat industri, serta berkembangnya transportasi. Kegiatan ini akan memberikan dampak pada kualitas udara. Pembangunan ini akan menyebabkan kualitas udara menurun karena terjadinya pencemaran udara atau, sebagai berubahnya salah satu komposisi udara dari keadaan yang normal; yaitu masuknya zat pencemar (berbentuk gas-gas dan partikel kecil/aerosol) ke dalam udara dalam jumlah tertentu untuk jangka waktu yang cukup lama, sehingga dapat mengganggu kehidupan manusia, hewan, dan tanaman.

Secara umum terdapat dua sumber pencemar udara, yaitu pencemar akibat sumber alamiah (*natural sources*) seperti letusan gunung berapi dan yang berasal dari kegiatan manusia (*antropogenic sources*) seperti yang berasal dari transportasi, emisi dan lain-lain (Sugiarti, 2009). Beberapa penyebab polusi udara yang ada, emisi transportasi adalah sebagai penyumbang pencemaran udara tertinggi, yakni sekitar 85 persen. Hal tersebut tampak dengan jelas, mengingat, sebagian besar kendaraan bermotor menghasilkan emisi gas buang

yang buruk; baik akibat perawatan yang kurang memadai, atau dari penggunaan bahan bakar dengan kualitas yang kurang baik (misalnya; kadar timbal yang tinggi) (Ismiyati, Marlita, & Saidah, 2014).

Bahan pencemar udara sangat berbahaya sebab umumnya berupa gas yang sangat toksik, mudah bereaksi dan menyebar sesuai arah angin, suhu dan tekanan seperti gas CO, NO_x, SO_x, hidrokarbon, gas rumah kaca dan *particulate matter* (PM). Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di beberapa kota di Indonesia dan beberapa kota di dunia (tahun 1980 – 2000) seperti Amerika, kematian yang disebabkan oleh pencemaran udara di atas mencapai angka sekitar 60.000 orang per tahunnya. Penyakit yang diderita pada umumnya adalah: infeksi saluran pernapasan atas, paru-paru, gangguan kardiovaskuler, mati mendadak oleh gas CO, hipertensi dan stroke, kanker, radang tenggorokan dan saluran pernapasan yang kronis, bronchitis dan TBC (Sugiarti, 2009).

Particulate matter (PM) biasanya dibagi menjadi empat kelompok ukuran, PM_{0,1}, PM_{2,5}, PM₁₀, dan *coarse particle*. PM_{0,1} atau biasanya disebut *ultra-fine particles*, memiliki ukuran dibawah 0,1 µm. PM_{2,5} memiliki ukuran antara 0,1 µm hingga 2,5 µm. PM₁₀ memiliki ukuran antara 2,5 µm hingga 10 µm. *Coarse particle* memiliki ukuran 10 µm hingga 100 µm. Ukuran partikel yang sebenarnya tidak dapat diukur, ukuran biasanya adalah diameter aerodinamis yang menunjukkan bagaimana partikel mengalir di udara (Pihlava dkk, 2013). Dengan ukuran sekecil ini, PM dapat masuk kedalam tubuh manusia. Rambut hidung manusia hanya dapat menyaring partikel yang lebih besar dari PM₁₀. Jadi ada kemungkinan partikel pada ukuran PM₁₀ masih bisa lolos dan mengendap pada saluran pernapasan.

Diperlukan sesuatu yang dapat menyaring partikel dengan ukuran PM₁₀ agar dapat mengurangi konsentrasi PM₁₀ yang lolos dari proses penyaringan. Pengurangan pencemaran udara dapat dilakukan dengan cara menambahkan filter pada kendaraan bermotor agar dapat menangkap partikel sebagai emisi. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk membuat filter pada kendaraan bermotor agar dapat menangkap partikel yang dapat membahayakan makhluk hidup. Beberapa penelitian yang telah dilakukan adalah pembuatan filter posoritas menggunakan bahan biomassa (Nurentia, 2017), filter berbahan keramik yang dicampur dengan zat aditif dan karbon aktif (Amin & Subri, 2016), dan metode pengendapan debu secara elektrostatis (Gianto dkk, 2015).

Kulit kokon adalah bagian yang diperoleh dari sisa proses pemintalan benang ulat sutra. Pada bagian kokon ini jarang dimanfaatkan kembali. Jadi, dengan memilih serat limbah kokon sebagai bahan pembuatan dipilih untuk dijadikan filter dapat mengurangi jumlah limbah kokon yang terbuang. Serat ini memiliki porositas yang tidak terlalu besar dan tidak terlalu kecil sehingga PM_{10} dapat menempel pada serat kokon namun gas buang sepeda motor masih dapat mengalir keluar sehingga tidak merusak mesin sepeda motor. Selain itu, kulit kokon juga memiliki ketahanan panas yang tinggi sehingga tidak mudah hancur saat diaplikasikan pada filter sepeda motor yang memiliki mesin yang menghasilkan panas (Moeliono & Siregar, 2012).

1. 2. Rumusan Masalah

Penelitian ini memiliki rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik fisis (densitas, morfoologi dan kandungan) dari filter partikulat PM_{10} berbahan serat limbah kokon untuk sistem pembuangan emisi sepeda motor?
2. Bagaimana pengaruh ketebalan filter terhadap pengurangan konsentrasi PM_{10} yang dihasilkan oleh sepeda motor dengan filter dari serat limbah kokon?

1. 3. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui dan mempelajari karakteristik fisis filter berbahan serat limbah kokon untuk filter partikulat PM_{10} pada sistem pembuangan emisi sepeda motor,
2. Mengetahui dan mempelajari pengaruh ketebalan filter terhadap pengurangan konsentrasi partikulat PM_{10} yang dihasilkan oleh sepeda motor dengan filter dari serat limbah kokon.

1. 4. Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1. Tidak membahas kandungan kimia dari partikulat PM_{10} yang terkandung pada emisi sepeda motor.
2. Tidak membahas reaksi kimia yang terjadi pada filter dari serat kokon saat terjadi paparan emisi sepeda motor.

3. Efisiensi filter didefinisikan sebagai persentase rasio selisih konsentrasi PM_{10} sebelum dan sesudah diberi filter per konsentrasi PM_{10} sebelum diberi filter.
4. Jumlah motor yang digunakan berjumlah tiga dengan jenis *matic* dan memiliki tahun yang berbeda-beda

1. 5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memperoleh filter yang diharapkan dapat mengurangi konsentrasi PM_{10} dari emisi sepeda motor.



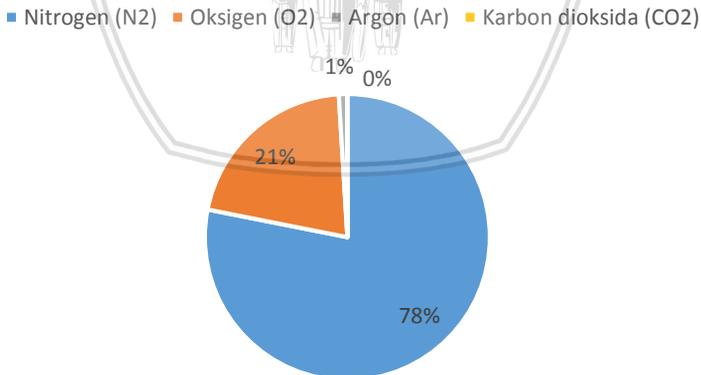
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Polusi Udara

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, udara adalah campuran berbagai gas yang tidak berwarna dan tidak berbau (seperti oksigen dan nitrogen) yang memenuhi ruang di atas bumi seperti yang kita hirup apabila kita bernapas. Komposisi udara bersih sangat bervariasi dari satu tempat dengan tempat yang lain di seluruh dunia. Apabila susunan udara mengalami perubahan dari susunan keadaan normal dan kemudian mengganggu kehidupan manusia, hewan dan tumbuhan, maka berarti udara telah tercemar. Udara yang mengalami pencemaran ini disebut polusi udara (Kemendikbud, 2017).

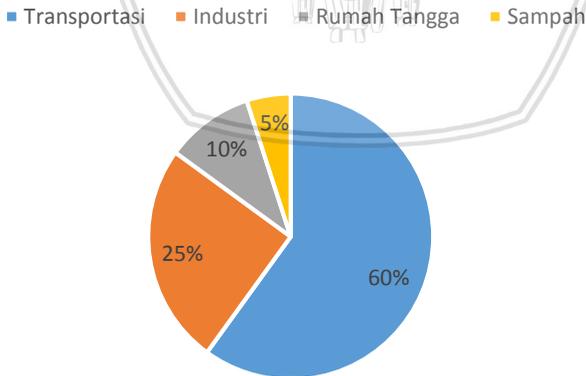
Menurut Sunu (2001), komposisi udara terutama uap air (H_2O) sangat dipengaruhi oleh keadaan suhu udara, tekanan udara, dan lingkungan sekitarnya. Komposisi udara bersih dan kering, pada umumnya terdiri atas nitrogen (N_2) 78,09%, oksigen (O_2) 20,94%, argon (Ar) 0,93% dan karbon dioksida (CO_2) 0,032% (Gambar 2.1) (Sunu, 2001).



Gambar 2.1 Komposisi udara bersih dan kering (Sunu, 2001)

Secara umum terdapat dua sumber pencemar udara, yaitu pencemar akibat sumber alamiah (*natural sources*) seperti letusan gunung berapi dan yang berasal dari kegiatan manusia (*antropogenic sources*) seperti yang berasal dari transportasi, emisi dan lain-lain. Pencemaran udara dapat terjadi dimana-mana, misalnya di dalam rumah, sekolah dan kantor. Pencemaran ini sering disebut pencemaran dalam ruangan (*indoor pollution*). Sementara itu pencemaran di luar ruangan (*outdoor pollution*) berasal dari emisi kendaraan bermotor, industri, perkapalan dan proses alami oleh makhluk hidup. Sumber pencemar udara dapat diklasifikasikan menjadi sumber diam dan sumber bergerak. Sumber diam terdiri dari pembangkit listrik, industri dan rumah tangga. Sedangkan sumber bergerak adalah aktifitas lalu lintas kendaraan bermotor dan transportasi laut. Penurunan kualitas udara yang terus terjadi selama beberapa tahun terakhir menunjukkan bahwa betapa pentingnya digalakkan usaha-usaha pengurangan emisi kendaraan bermotor. (Sugiarti, 2009).

Saat ini emisi gas buang hasil pembakaran mesin kendaraan bermotor merupakan faktor penyebab polusi yang paling dominan, terutama di kota-kota besar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kontribusi pencemaran udara yang berasal dari sektor transportasi mencapai 60% selebihnya sektor industri 25%, rumah tangga 10% dan sampah 5% (Gambar 2.2) (Saepudin & Admono, 2005).

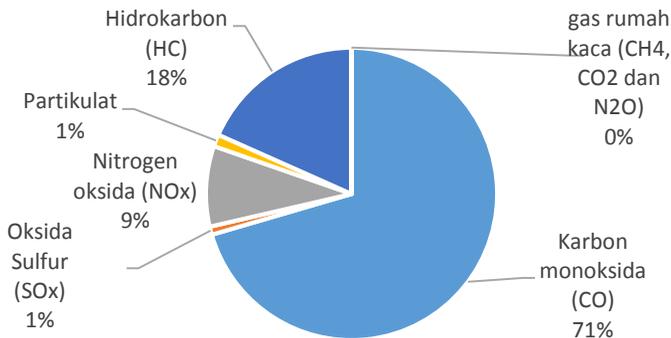


Gambar 2. 2 Sumber pencemar udara (Saepudin & Admono, 2005)

Bahan pencemar udara atau polutan dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu polutan primer dan polutan sekunder. Polutan primer adalah polutan yang dikeluarkan langsung dari sumber tertentu dan dapat berupa gas yang terdiri atas senyawa karbon seperti hidrokarbon, hidrokarbon teroksidasi dan karbon oksida, senyawa sulfur seperti sulfur oksida, senyawa nitrogen seperti nitrogen oksida dan amoniak dan senyawa halogen seperti flour, klorin, hidrogen klorida, hidrokarbon teroksidasi dan bromin. Jenis polutan primer lainnya adalah partikel yang berwujud zat padat atau suspensi aerosol cair. Bahan partikel tersebut dapat berasal dari proses kondensasi, dispersi maupun proses erosi bahan tertentu. Polutan sekunder biasanya terjadi karena reaksi dari dua atau lebih bahan kimia di udara, misalnya reaksi foto kimia. Polutan sekunder ini mempunyai sifat fisik dan sifat kimia yang tidak stabil. Termasuk dalam polutan sekunder ini adalah ozon, *peroxyacyl nitrate* dan formaldehida (Mukono, 2008).

Besarnya kontribusi pencemaran udara dari sektor transportasi menimbulkan masalah dalam pemeliharaan standar kualitas udara. Proses pembakaran bahan bakar minyak yang tidak sempurna dalam kendaraan bermotor menghasilkan unsur-unsur kimiawi yang mencemari udara, seperti karbon monoksida (CO), oksida-oksida sulfur (SO_x), oksida-oksida nitrogen (NO_x), hidrokarbon (HC), partikulat dan timbal (PB) (Suryanto, 2012).

Menurut Wardhana (2004), di dunia dikenal zat pencemar udara utama yang berasal dari kegiatan manusia berupa gas buang hasil pembakaran bahan bakar fosil dan industri. Perkiraan prosentase komponen pencemar udara utama di Indonesia khususnya transportasi dan industri adalah karbon monoksida (CO) 70,50%, oksida sulfur (SO_x) 0,9%, nitrogen oksida (NO_x) 8,9%, partikulat 1,33%, hidrokarbon (HC) 18,34% dan gas rumah kaca (CH₄, CO₂ dan N₂O) yang tersebar dalam nilai presentase sumber utama (Wardhana, 2004).



Gambar 2. 3 Prosentase komponen pencemar udara utama (Wardhana, 2004)

Pada negara-negara yang memiliki standar emisi gas buang kendaraan yang ketat, ada lima unsur dalam gas buang kendaraan yang akan diukur, yaitu senyawa HC, CO, CO₂, O₂ dan senyawa NO_x. Sedangkan pada negara-negara yang standarnya tidak terlalu ketat, hanya mengukur empat unsur dalam gas buang yaitu senyawa HC, CO, CO₂ dan O₂ (Gunandi, 2010).

Standar kualitas udara yang berlaku di Indonesia mengacu pada peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 tahun 1999 tentang standar baku mutu udara ambien adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Standar baku mutu udara ambient

Standar Baku Parameter	Mutu Udara Ambient Baku Mutu yang Diperkenankan
NO _x	0,05 ppm/24 jam
CO	20 ppm/8 jam
SO _x	0,10 ppm/24 jam
O ₃	0,10 ppm/24 jam
PM ₁₀	100 ppm/24 jam
HC	0,24 ppm/3 jam

(Kusminingrum & Gunawan, 2008)

Hasil pengukuran di tujuh kota besar Pulau Jawa dan Bali terlihat pada Tabel 2.2 Dari tabel tersebut terlihat bahwa konsentrasi maksimum untuk polutan HC, NO_x dan PM₁₀ sudah melebihi standar kualitas udara ambien.

Tabel 2. 2 Interval tingkat pencemaran udara di ruas jalan kota-kota besar

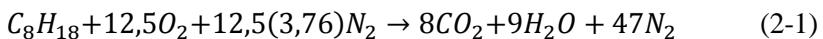
No	Lokasi	NO _x (ppm)	PM ₁₀ (µg/m ³)	SO _x (ppm)
1.	Bandung	0,016-0,123	6,0-212	0,001-0,50
2.	Surakarta	0,06-4,87	10,0-114,0	0,003-0,020
3.	Yogyakarta	0,091-0,094	34,0-131,0	0,001-0,010
4.	Semarang	0,003-0,490	41,0-189,0	0,003-0,040
5.	Surabaya	0,016-0,123	6,0-212,0	0,001-0,050
6.	Denpasar (Bali)	0,023-0,189	15,0-239,0	0,001-0,010
7.	Serang (Banten)	0,001-0,111	9,0-260,0	0,049-0,276

Dimodifikasi dari (Kusminingrum & Gunawan, 2008)

Parameter pencemaran udara NO_x konsentrasi tertinggi terjadi di kota Denpasar yaitu 0,189 ppm (NO_x). Sedangkan untuk polutan PM₁₀ dan SO_x konsentrasi tertinggi terjadi di kota Serang, Banten (Kusminingrum & Gunawan, 2008).

2. 2. Emisi Kendaraan Bermotor

Bahan bakar minyak paling banyak mengandung hidrokarbon jenuh dan sedikit belerang. Bahan bakar minyak yang baik adalah yang mengandung sedikit belerang. Bahan bakar mobil yang secara umum disebut bensin adalah senyawa HC yang mengandung oktana atau isooktannya tinggi. Dalam pembakaran bensin di dalam mesin terjadi reaksi kimia sebagai berikut.



Angka 3,76 adalah harga perbandingan nitrogen dan oksigen di udara sebab pembakaran di sini melibatkan N₂ di udara. Bila reaksi yang terjadi seperti di atas, reaksi pembakarannya disebut proses pembakaran yang stoikiometris dimana semua atom oksigen bereaksi sempurna dengan bahan bakar. Reaksi pembakaran yang stoikiometris seperti di atas dapat terjadi secara teoritis, namun dalam kenyataannya reaksi yang terjadi hanya menghasilkan CO₂ dan H₂O saja. Karena

adanya suhu tinggi pada pembakaran tersebut maka terjadi pula gas-gas lainnya seperti H, C, CO, NH₃, NO, NO₂, SO₂, SO₃, H₂SO₄, OH dan O₃. Dengan udara luar hasil pembakaran bahan bakar fosil dapat menghasilkan komponen pencemar udara yang banyak. Apabila pada pembakaran tersebut jumlah oksigen yang digunakan kurang dari UPB (udara/bahan bakar), maka ada sebagian bahan bakar fosil yang tak terbakar dan akan ikut keluar sebagai pencemar hidrokarbon (HC) (Sugiarti, 2009).

Emisi gas buang kendaraan adalah sisa hasil pembakaran bahan bakar di dalam mesin kendaraan yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin. Sisa hasil pembakaran ini berasal dari proses pembakaran antara oksigen di dalam udara dengan senyawa hidrokarbon di dalam bahan bakar. Proses ini dilakukan untuk menghasilkan tenaga bagi kendaraan bermotor. Dalam reaksi yang sempurna, maka sisa pembakaran adalah berupa gas buang yang mengandung karbondioksida (CO₂), uap air (H₂O), oksigen (O₂) dan nitrogen (N₂). Dalam prakteknya, pembakaran sempurna cukup sulit terjadi dan akibatnya ada residu tambahan sehingga gas buang mengandung senyawa berbahaya seperti karbon monoksida, (CO), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NO_x) dan partikulat (Winarno, 2005).

Berdasarkan sumbernya, ada tiga jenis emisi gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor, yaitu:

1. *Crankcase Emission*

Crankcase Emission adalah komponen bahan bakar yang tidak terbakar atau terbakar sebagian yang mengalami tekanan di ruang bakar yang kemudian melewati piston dan masuk ke *crankcase* (bak mesin). Jika tidak terkontrol, emisi jenis ini dapat terbentuk 13-25% dari total emisi yang dihasilkan.

2. *Evaporative Emission*

Evaporative Emission adalah hasil komponen bahan bakar yang mudah menguap ke atmosfer. Biasanya berasal pada saat bahan bakar mengalir di dalam kendaraan, saat bahan bakar di dalam tangki penyimpanan dan pada saat di ruang bakar (karburator). *Evaporative Emission* bergantung pada komposisi bahan bakar, temperatur mesin yang sedang bekerja dan temperatur ambien. Emisi jenis ini memberikan kontribusi sebesar 20-23% dari total emisi dimana kandungan terbesarnya adalah senyawa HC.

3. *Exhaust Emission*

Exhaust Emission adalah emisi yang menjadi sumber utama dari emisi kendaraan bermotor, jenis ini memberikan kontribusi sebesar 60% dari total emisi. Emisi ini terdiri atas berbagai polutan mulai dari yang sederhana hingga yang karsinogenik (penyebab kanker) seperti hidrokarbon, karbon monoksida, nitrogen oksida, *lead oxide* dan partikulat (Bhandarkar, 2013).

Tabel 2. 3 Emisi dari kendaraan bermotor

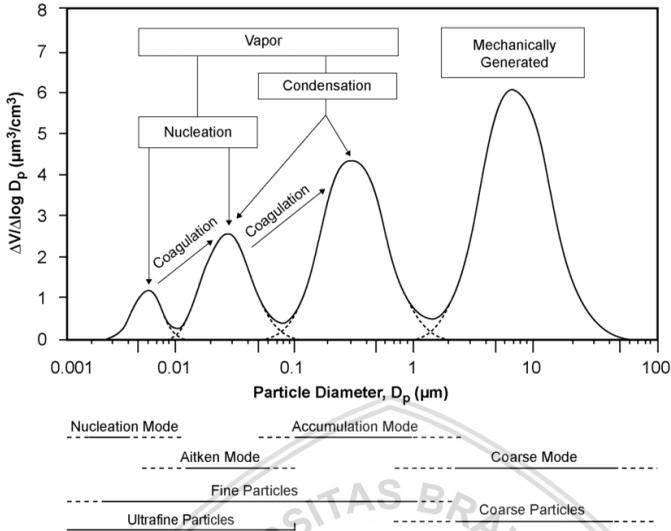
Sumber	Jumlah Emisi (%)	
	4 langkah	2 langkah
<i>Crankcase Emission</i>	20	-
<i>Evaporative Emission</i>	20	3
<i>Exhaust Emission</i>	60	97

(Bhandarkar, 2013)

2. 3. *Particulate Matter (PM)*

Pengukuran kualitas udara biasanya dilaporkan dalam hal konsentrasi rata-rata PM_{10} per meter kubik per hari dari volume harian atau tahunan (m^3). Pengukuran kualitas udara rutin biasanya menggambarkan konsentrasi PM tersebut dalam hal mikrogram per meter kubik ($\mu g/m^3$). Bila alat ukur yang cukup sensitif tersedia, konsentrasi partikel halus ($PM_{2,5}$ atau yang lebih kecil), juga dilaporkan (WHO, 2015).

PM terdiri dari partikel padat dan cair yang sangat kecil, terbentuk dari pembakaran bahan bakar fosil yang tidak selesai, seperti batu bara, solar, bensin dan biomassa. $PM_{2,5}$ berdiameter 2,5 mikron atau kurang; PM_{10} adalah partikel dengan ukuran 10 mikron atau lebih kecil. PM terdiri atas campuran kompleks dari *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAH), jelaga, karbon hitam, asam sulfur berbentuk aerosol, asam lainnya, nitrogen, sulfur, materi organik, logam, dan zat racun lainnya. PAHs yang masuk kedalam sistem pernapasan akan terserap di dalam alveoli dimana PAHs akan masuk ke dalam aliran darah dan dapat menyebabkan berbagai macam penyakit dalam organ yang jauh dari paru-paru, termasuk plasenta janin (Tel, 2015).

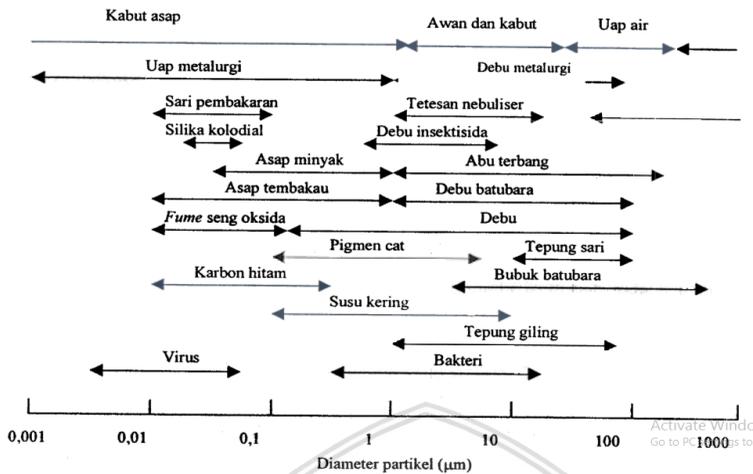


Gambar 2. 4 Distribusi ukuran partikel (USEPA, 2004)

Distribusi ukuran partikel ideal memiliki empat puncak atau yang biasa disebut empat “mode” yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Struktur mode biasanya memiliki pendekatan distribusi lognormal yang diartikan sebagai jumlah partikel per cm^3 . Mode didefinisikan sebagai mekanisme formasi tetapi juga berbeda sumber, komposisi, transportasi, serta ukurannya. Mode nukleasi berlaku untuk partikel yang baru terbentuk yang memiliki sedikit kesempatan untuk tumbuh dengan kondensasi atau koagulasi. Partikel mode Aitken juga baru-baru ini membentuk partikel yang masih aktif mengalami koagulasi. Namun, karena konsentrasi prekursor yang lebih tinggi atau lebih banyak waktu untuk kondensasi dan koagulasi, partikel Aitken tumbuh menjadi ukuran yang lebih besar. Partikel halus tumbuh dengan koagulasi (dua partikel bergabung membentuk satu) atau dengan kondensasi (molekul gas tekanan uap ekuilibrium rendah yang mengembun pada partikel). Ketika ukuran partikel meningkat, laju pertumbuhan koagulasi dan kondensasi menurun dan partikel “terakumulasi” dalam rentang ukuran modulus akumulasi. Jadi, partikel akumulasi mode biasanya tidak tumbuh ke dalam ukuran partikel kasar. Namun, selama kondisi kelembaban relatif tinggi, ukuran partikel akumulasi higroskopik tumbuh dalam ukuran, meningkatkan tumpang tindih partikel halus dan kasar. Modus akumulasi dapat

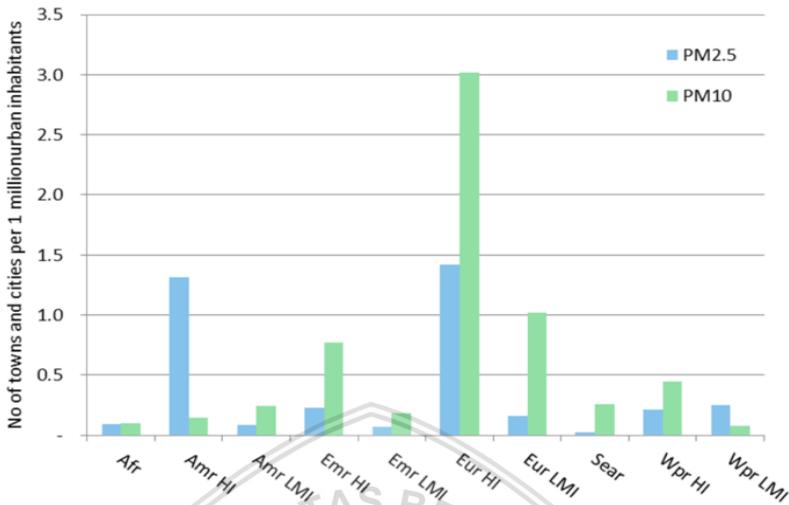
dibagi menjadi mode tetesan (higroskopik) dan mode kondensasi (non-higroskopik). Selain itu, polutan fase gas dapat larut dan bereaksi dalam air partikel-partikel-partikel-partikel higroskopis, yang menyebabkan peningkatan ukuran kering. Kombinasi nukleasi, Aitken, dan mode akumulasi disebut partikel halus (atau kadang-kadang partikel halus-mode). Partikel halus terbentuk terutama oleh reaksi pembakaran atau kimia dari gas yang menghasilkan produk dengan tekanan uap jenuh rendah. Partikel halus terdiri dari logam (dan oksida logam), karbon hitam atau unsur, senyawa organik primer dan sekunder, dan sulfat, nitrat, amonium dan ion hidrogen. Mode kasar mengacu pada partikel yang terbentuk oleh kerusakan mekanis mineral, bahan kerak, dan puing-puing organik. Selain mineral utama dan bahan organik, mode kasar mungkin termasuk garam laut, nitrat yang terbentuk dari reaksi asam nitrat dengan natrium klorida, dan sulfat yang terbentuk dari reaksi sulfur dioksida dengan partikel dasar. Modus akumulasi dan mode kasar tumpang tindih di wilayah antara 1 dan 3 μm (dan kadang-kadang di atas rentang yang lebih besar). Di wilayah ini, komposisi kimia partikel individu biasanya, tetapi tidak selalu, memungkinkan identifikasi sumber atau mekanisme pembentukan, memungkinkan identifikasi partikel sebagai milik akumulasi atau mode kasar (USEPA, 2004).

Beberapa bahan partikulat udara dan ukuran jenis-jenis partikel dikemukakan pada Gambar 2.6. PM mempengaruhi lebih banyak orang daripada polutan lainnya. Komponen utama PM adalah sulfat, nitrat, amonia, natrium klorida, karbon hitam, debu mineral dan air. Ini terdiri dari campuran kompleks partikel padat dan cair dari bahan organik dan anorganik yang tersuspensi di udara. Partikel yang paling merusak kesehatan adalah yang berdiameter 10 mikron atau kurang, ($\leq \text{PM}_{10}$), yang dapat menembus dan masuk jauh ke dalam paru-paru. Paparan kronis pada partikel berkontribusi terhadap risiko pengembangan penyakit kardiovaskular dan pernafasan, serta kanker paru-paru.



Gambar 2.5 Ukuran jenis-jenis partikel (Suhariyono & Wiyono, 2003)

Berdasarkan database 2016, WHO telah melakukan survei tentang kualitas udara. Survei ini dilakukan di sekitar 3000 pemukiman di 103 negara selama tahun 2008-2015. Pemukiman yang dipilih adalah pemukiman yang memiliki beberapa ratus penduduk hingga lebih dari 9 juta penduduk, tetapi kebanyakan merupakan sebuah perkotaan. Di setiap wilayah dipilih beberapa kota dari beberapa negara dari total negara yang ada di wilayah tersebut. Hasil survei yang dilakukan WHO terlihat dari Gambar 2.6. (WHO, 2016)



Afr: Afrika; Amr: Amerika; Emr: Mediterania Timur; Eur: Eropa; Sear: Asia Tenggara; Wpr: Pasifik Barat; LMI: Pendapatan menengah ke bawah; HI: pendapatan tinggi. (WHO, 2016)

Gambar 2. 6 Hasil survei WHO selama tahun 2008-2015.

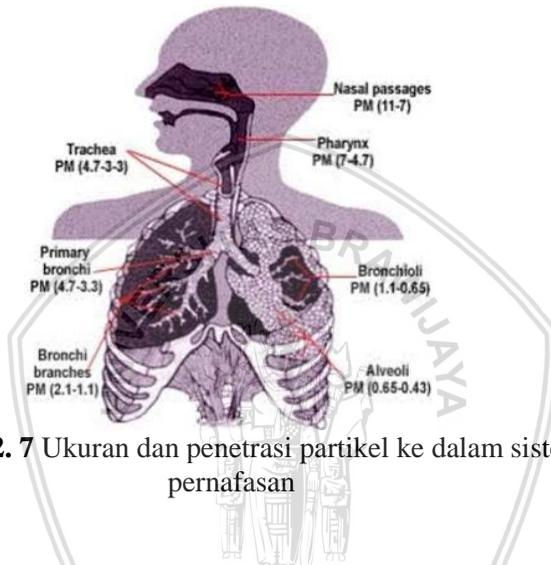
Dari hasil survei yang dilakukan WHO, daerah Eropa menjadi daerah yang memiliki jumlah kota terbanyak yang mengandung $PM_{2,5}$ dan PM_{10} (WHO, 2016).

2. 4. Dampak PM Bagi Kesehatan

Pada tingkat konsentrasi tertentu zat-zat pencemar udara dapat berakibat langsung terhadap kesehatan manusia baik secara mendadak atau akut, menahun atau kronis/sub-klinis dan dengan gejala-gejala yang samar. Dimulai dari iritasi saluran pernapasan, iritasi mata dan alergi kulit sampai pada timbulnya kanker paru-paru. Ada tiga cara masuknya bahan pencemar udara ke dalam tubuh manusia, yaitu melalui inhalasi, ingesti dan penetrasi kulit (Budiyono, 2001).

Inhalasi adalah masuknya bahan pencemar udara ke tubuh manusia melalui sistem pernapasan, seperti terlihat pada Gambar 2.8. Bahan pencemar ini dapat mengakibatkan gangguan pada paru-paru dan saluran pernapasan, selain itu bahan pencemar ini kemudian masuk dalam peredaran darah dan menimbulkan akibat pada alat tubuh lain. Ingesti adalah masuknya bahan pencemar udara ke tubuh manusia melalui saluran pencernaan. Biasanya bahan pencemar yang cukup besar tidak jarang masuk dengan cara ini dan dapat menimbulkan efek

lokal dan dapat pula menyebar ke seluruh tubuh melalui peredaran darah. Cara ketiga adalah penetrasi kulit, yaitu dengan cara masuk melalui pori-pori kulit dan masuk ke peredaran darah namun sebagian besar pencemaran hanya menimbulkan akibat buruk pada bagian permukaan kulit seperti dermatitis dan alergi saja. Sebagian lain khususnya pencemar organik dapat melakukan penetrasi kulit dan menimbulkan efek sistemik (Budiyono, 2001).



Gambar 2. 7 Ukuran dan penetrasi partikel ke dalam sistem pernafasan

Bahaya gas buang kendaraan bermotor terhadap kesehatan tergantung dari toksisitas (daya racun) masing-masing senyawa dan seberapa luas masyarakat terpapar olehnya. Tugawati (2008) menyatakan berdasarkan sifat kimia dan perilakunya di lingkungan dampak bahan pencemar yang terkadang di dalam gas buang kendaraan bermotor digolongkan sebagai berikut:

1. Bahan-bahan pencemar yang terutama mengganggu saluran pernapasan. Yang termasuk dalam golongan ini adalah oksida sulfur, partikulat, oksida nitrogen, ozon dan oksida lainnya.
2. Bahan-bahan pencemar yang menimbulkan pengaruh racun sistemik, seperti hidrokarbon monoksida dan timbal (timah hitam).
3. Bahan-bahan pencemar yang dicurigai menimbulkan kanker seperti hidrokarbon.

4. Kondisi yang mengganggu kenyamanan seperti kebisingan, debu jalanan, dll (Tugaswati, 2008).

Polusi udara dapat menyebabkan banyak masalah yang dapat mempengaruhi kelangsungan hidup manusia. Beberapa dampak yang dapat ditimbulkan dari polusi udara adalah terjadinya hujan asam, pemanasan global, terganggunya pertumbuhan tanaman, dan juga berdampak pada turunnya kualitas kesehatan manusia. Terjadinya hujan asam dan pemanasan global merupakan dampak jangka panjang dari polusi udara. Polusi udara juga akan mengganggu pertumbuhan tanaman. Tanaman yang hidup di lingkungan yang tingkat pencemarannya lebih tinggi akan mengalami beberapa macam penyakit seperti bintik-bintik hitam pada tanaman.

Polusi udara juga dapat menurunkan kualitas kesehatan manusia. Banyak penyakit yang dapat ditimbulkan dari polusi udara contohnya stroke, penyakit hati, kanker paru-paru, dan penyakit saluran pernapasan akut lainnya seperti asma. Pada tahun 2014, 92% dari populasi dunia tinggal di tempat-tempat yang menurut pedoman kualitas udara WHO tidak terpenuhi. Polusi udara yang ada di perkotaan dan pedesaan diperkirakan akan menyebabkan tiga juta kematian prematur pada bayi di dunia pada tahun 2012. Dan 80% dari kematian prematur ini terjadi di negara dengan penghasilan menengah kebawah, dan yang paling besar jumlahnya berada pada daerah WHO bagian Pasifik Barat dan Asia Tenggara (WHO, 2015).



Gambar 2. 8 Data kematian yang disebabkan oleh polusi udara perkotaan pada tahun 2004 (HELI, 2009)

WHO telah mendata kematian yang disebabkan polusi udara perkotaan pada tahun 2004 (Gambar 2.8.). Dari data tersebut dapat dilihat bahwa di Indonesia telah terjadi kematian sebanyak 250-400

kematian yang diakibatkan polusi udara per 1 juta populasi rakyat Indonesia. Jumlah itu merupakan jumlah yang tidak sedikit.

Banyak penelitian yang telah dilakukan terkait dengan polusi udara dan dapat dilakukan penilaian dampak kesehatan dari polusi udara termasuk perkiraan kuantitatif beban pencemaran pada skala global. Menurut (Valent & Little, 2004) jumlah korban akibat polusi udara sebanding dengan jumlah korban jiwa akibat kecelakaan lalu lintas, dan jejaknya diamati pada semua kelompok umur, termasuk anak-anak. Mengakibatkan rata-rata usia harapan hidup mengalami pengurangan. Dampak polusi udara terkait transportasi terhadap kesehatan meliputi peningkatan resiko kematian, terutama karena penyakit kardiopulmoner, dan peningkatan resiko morbiditas pernapasan (Borken dkk, 2005).

Salah satu kandungan dari emisi bahan bakar adalah *Particulate Matter* (PM). Jika PM dapat masuk ke paru-paru, PM akan menyebabkan stres oksidasi dan peradangan yang menurunkan kondisi pasien dengan penyakit *bronchial* dan meningkatkan penggumpalan darah dan kemungkinan terjadinya *coronary thrombosis*. PM juga bisa mempengaruhi *autonomous radiation* dari jantung. Tes hewan menemukan bahwa PM meningkatkan pembengkakan paru-paru dan memperburuk *atherosclerosis*. Karakteristik PM memainkan peran penting terhadap kesehatan. Jika PM masuk ke dalam tubuh, PM yang dapat larut di dalam air akan ikut mengalir dengan semua cairan yang ada di dalam tubuh. Sedangkan PM yang tidak dapat larut akan mempertahankan toksisitasnya dan intensitasnya akan mengakibatkan munculnya penyakit kronis. Zat yang terendapkan umumnya adalah PAH yang sangat bersifat karsinogenik.

2. 5. Sistem Filtrasi PM Pada Pembuangan Emisi Sepeda

Motor

Berdasarkan Saepudin dan Admono (2005), pemasangan filter dapat mengurangi konsentrasi pencemar udara. Beberapa pengembangan filter dengan berbagai metode telah dilakukan salah satunya adalah filter porositas yang menggunakan bahan biomassa berupa serbuk kayu yang memiliki efisiensi 25 % hingga 42 %. Serbuk kayu dipilih karena memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi, yaitu sebesar 41,3%. Selulosa dimungkinkan dapat digunakan sebagai adsorben dan bioakumulator logam berat (Nurentia, 2017). Selain itu,

terdapat filter yang memiliki mekanisme filtrasi menggunakan metode elektrostatik. Pada penggunaan filter ini, partikulat dianggap memiliki muatan, partikulat akan memiliki sifat listrik statis. Sehingga partikulat akan menolak partikel lain yang sejenis dan menarik partikel yang berlawanan jenis. Proses filtrasi dapat dilakukan dengan cara memisahkan partikel-partikel bermuatan menggunakan medan listrik dari deretan lempeng logam yang nantinya akan memerangkap partikel (Gianto dkk, 2015). Filter elektrostatik menggunakan empat set plat sejajar memiliki efisiensi terbaik 37% untuk $PM_{0,1}$ dan 42% untuk $PM_{2,5}$ (Budianto & Wardoyo, 2016). Pengurangan jumlah partikulat juga dapat dilakukan dengan sistem filtering yang diadopsi dari *diesel particulate filter* (DPF). Prinsip kerja dari DPF yakni mengoptimalkan emisi partikel pada suatu batang filter. Berdasarkan penelitian Wahyuningrum, dkk (2015), telah dibuat filter DPF dari serabut kelapa yang dicampur dengan perekat yang terbuat dari tepung tapioka. Filter DPF ini memiliki efisiensi sebesar 36% sampai 47% untuk $PM_{2,5}$ (Wahyuningrum dkk, 2015).

2. 6. Porositas

Porositas didefinisikan sebagai perbandingan antara volume ruang yang terdapat diantara serbuk yang berupa pori- pori (ruang diantara serbuk yang selalu terisi oleh fluida seperti udara, minyak atau gas bumi) terhadap volume serbuk secara keseluruhan.

$$\varphi = \frac{m_w - m_o}{m_w - m_s} \times 100\% \quad (2-2)$$

Dengan m_w adalah massa percontoh jenuh, m_o adalah massa percontoh kering, m_s adalah massa percontoh jenuh dalam air. (Ridha, 2016)

2. 7. Kokon Ulat Sutra

Komposisi kokon sutera secara umum terdiri atas serabut serat (*floss*), kulit kokon, kulit pupa, dan pupa. Bagian yang diambil untuk kemudian diolah lebih lanjut adalah kulit kokon (Atmosoedarjo dkk, 2000). Komposisi kulit kokon terdiri atas dua protein hewan yang meliputi fibrin ($C_{12}H_{26}N_5O_6$) 70-80% dan serisin ($C_{15}H_{23}N_5O_8$) 20-

30%. Fibrion adalah polipeptida, dibangun dari empat asam amino utama, yaitu glycine (38-41%), alanin (30-33%), serin (12-16%), dan tyrosin (11-12%). Sedangkan serisin merupakan zat yang menyusun lapisan luar filamen sutera, berfungsi sebagai perekat yang menempelkan lembaran-lembaran fibrion menjadi satu dan sekaligus melindungi fibrion. Unsur kokon yang lainnya adalah materi lilin, karbohidrat, pigmen dan materi anorganik (Prasetyawati, 2012).

2. 8. Handheld Air Tester (Hinaway, CW-Hat200S)

Handheld Air Tester (Hinaway, CW-Hat200S) adalah alat yang digunakan sebagai *Particle Counter*. Yang harus diperhatikan saat menggunakan alat ini adalah tidak digunakan atau disimpan pada lingkungan yang mudah terbakar dan mudah meledak. Particle matter yang dapat diukur berada pada range $PM_{2.5}$ dan PM_{10} . Menggunakan sumber cahaya laser dioda. Dapat melakukan sampling selama 60 detik per pengambilan data. Dapat menyimpan data sebanyak 500 set data. Metode pengukuran yang digunakan adalah mengukur konsentrasi partikel per liter. Menggunakan sumber tegangan dari baterai polimer Li-ion yang dapat diisi ulang atau menggunakan adaptor AC. Waktu operasi menggunakan baterai adalah selama lebih dari 3 jam (Gambar 2.9) (STARK, 2008)



Gambar 2. 9 Alat yang digunakan dalam mengukur konsentrasi PM_{10} .

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Biofisika Universitas Brawijaya, Laboratorium Air Quality and Astro Imaging Universitas Brawijaya, Laboratorium Fisika Materia Universitas Brawijaya dan Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang. Adapun rentang waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Juli 2017 hingga Mei 2018.

3.2. Alat dan Bahan

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat dan bahan sebagai berikut (gambar masing-masing alat dan bahan ada di lampiran).

3.2.1. Alat

- Neraca analitik JM-C500
- Jangka sorong
- Mikrometer sekrup
- Handheld Air Tester (Hinaway, CW-Hat200S)
- Sepeda motor uji (M1, M2 dan M3) dengan jenis Matic
- Pipa PVC (diameter 6,63 cm)
- Kanomax Anemomaster Model A031
- *Blower*
- X-Ray Fluorescence (Minipal 4)
- Mikroskop Optik(Olympus DX51)
- Gunting
- Mistar
- Jarum payet
- Lakban hitam

3.2.2. Bahan

- Limbah kokon ulat sutra
- Benang

3.3.1. Uji Kandungan Serat Limbah Kokon

Uji kandungan dilakukan untuk mengetahui kandungan apa saja yang terdapat pada serat limbah kokon. Untuk persiapan sampel, serat limbah kokon yang telah dibersihkan dan disetrika dipotong-potong menjadi kecil-kecil. Ini dikarenakan pada lembaran kokon yang telah disetrika terdapat pori-pori yang dapat menyebabkan sinar X yang dipancarkan lolos dan tidak mengenai kokon sehingga tidak diperoleh hasilnya. Dengan cara memotong-motong lembaran kokon menjadi lebih kecil, dapat memperluas area kokon pada tatakan sampel sehingga seluruh tatakan sampel yang ditutupi kokon dapat disinari sinar X dengan optimal. Selanjutnya, sampel diletakkan pada tatakan sampel di alat XRF dengan tipe Minipal 4. Setelah sampel telah siap penutup pada alat XRF ditutup dan ditekan tombol start. Dan alat XRF akan bekerja secara otomatis.



Gambar 3.2 Alat XRF (Minipal 4)

Hasil yang diperoleh dari uji kandungan ini adalah persentase kandungan dari serat limbah kokon. Kemudian data persentase ini dibuat plotting dalam bentuk grafik agar mempermudah pembacaan data.

3.3.2. Pembuatan Filter

Pada tahap ini dimulai dengan persiapan sampel. Kokon dibersihkan dengan air dan dibersihkan dari benang-benang sutra yang masih menempel. Setelah itu kokon di potong membentuk persegi agar mudah pada saat dijahit. Setelah kokon bersih, satu persatu kokon saling dihubungkan dengan cara menjahitnya hingga diperoleh ukuran sampel 10 cm x 10 cm.

Pada tahap ini, sampel dipersiapkan untuk diuji. Sampel yang awalnya berbentuk persegi, dicetak menggunakan cetakan yang sesuai dengan ukuran knalpot. Setelah dicetak, sampel diukur diameternya menggunakan jangka sorong dan diukur ketebalannya menggunakan mikrometer sekrup. serta ditimbang menggunakan neraca digital. Sampel-sampel yang dihasilkan selanjutnya diberi label agar memudahkan saat dilakukan karakteristik. Sampel dengan satu lapisan diberi label F1. Sampel dengan dua lapisan diberi label F2. Sampel dengan tiga lapisan diberi label F3. Sampel dengan empat lapisan diberi label F4. Sampel dengan lima lapisan diberi label F5.

3.3.3. Pengujian Karakteristik Filter

1. Pengukuran Densitas Filter

Uji densitas dilakukan untuk mengetahui kerapatan masing-masing filter. Pengukuran pertama yang dilakukan adalah mengukur massa masing-masing filter dengan cara menimbang setiap filter untuk ketiga motor.

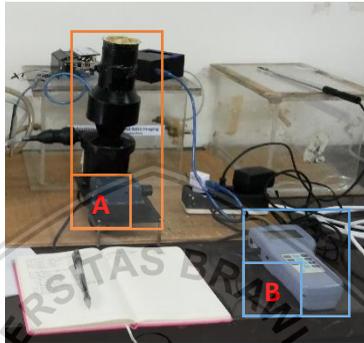


Gambar 3.3 Proses pengambilan data pengukuran densitas

Selanjutnya, sampel-sampel tersebut diukur diameter dan ketebalan sampel menggunakan jangka sorong dan mikrometer sekrup. Setelah kedua data diperoleh, data diproses hingga diperoleh densitas masing-masing filter.

2. Uji *Flowrate* Filter

Uji *flowrate* dilakukan untuk mengetahui kemampuan filter dalam meloloskan udara yang melewatinya. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengukur laju aliran udara sebelum dan setelah filter dipasang pada tatakan sampel. Tatakan sampel dihubungkan dengan *blower* seperti Gambar 3.2.(A)



Gambar 3. 4 Rangkaian Alat Uji Flowrate

Keterangan: (A). *Blower* dan tatakan sampel. (B). Anemomaster.

Pengukuran laju aliran udara dilakukan menggunakan Anemomaster yang ditunjukkan oleh Gambar 3.2.(B). Pengukuran pertama yang dilakukan adalah mengukur laju aliran udara sebelum diberi filter dengan menempatkan probe Anemomaster 1 cm di atas tatakan sampel yang belum diberi filter. Selanjutnya, dilakukan pengukuran setelah sampel diletakkan pada tatakan sampel dengan cara penempatan probe yang sama dengan pengukuran pertama. Jarak 1 cm antara probe dan mulut tatakan dimaksudkan sebagai jarak efektif saat pengukuran laju aliran udara. Pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali pada masing-masing filter satu lapisan (F1) dari masing-masing motor. Kemudian data diproses hingga diperoleh nilai *flowrate* rata-rata untuk masing-masing motor.

3. Uji Morfologi

Uji morfologi dilakukan untuk melihat besar ukuran pori-pori yang ada pada setiap filter yang telah dibuat. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat bantu mikroskop optik Olympus DX51 dengan perbesaran 25x. Pengujian ini dilakukan dengan cara

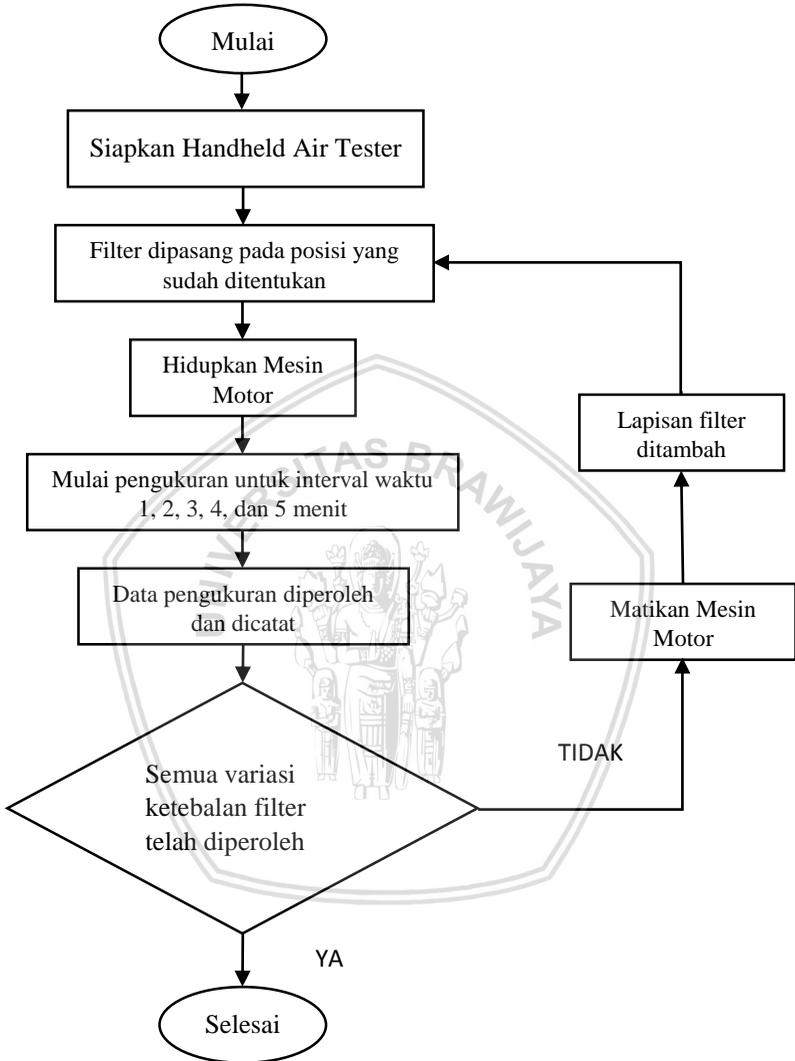
meletakkan sampel filter pada meja mikroskop dan mengatur fokus mikroskop hingga diperoleh gambar yang fokus dan jelas.



Gambar 3. 5 Mikroskop Optik Olympus DX51



4. Pengukuran Efisiensi Filter



Gambar 3. 6 Diagram Alir Konsistensi PM₁₀

3.4. Interpretasi Data

Data yang diperoleh dari pengukuran konsistensi PM_{10} kemudian diolah dan dianalisis sehingga mendapatkan C_0 rata-rata (hasil rata-rata pengukuran sebelum dipasang filter), C_1 rata-rata (hasil rata-rata pengukuran setelah dipasang filter), standar deviasi rata-rata, dan nilai efisiensi dari setiap variasi filter yang digunakan. Dari hasil tersebut selanjutnya akan diplot menjadi grafik yang menunjukkan hubungan antara C_1 (dalam lima kali pengambilan data) dan C_0 (dalam lima kali pengambilan data) dengan durasi pengukuran yang dilakukan. Kegiatan plotting grafik ini dilakukan untuk setiap motor uji yang digunakan. Grafik ini menunjukkan perbedaan konsentrasi C_1 dan C_0 untuk setiap variasi ketebalan setiap filter yang digunakan. Setelah itu diplot juga grafik hubungan antara waktu pengambilan data dengan konsentrasi C_1 untuk tiap variasi ketebalan.

3.4.1. Konsentrasi rata-rata PM_{10} sebelum (C_0) dan sesudah (C_1) dipasang filter

Konsentrasi rata-rata PM_{10} sebelum dan sesudah dipasang filter dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

Konsentrasi rata-rata PM_{10} sebelum (C_0) dipasang filter.

$$\bar{C}_0 = \frac{\sum C_0}{n} \quad (3.1)$$

Konsentrasi rata-rata PM_{10} setelah dipasang filter (C_1)

$$\bar{C}_1 = \frac{\sum C_1}{n} \quad (3.2)$$

3.4.2. Efisiensi Filter

Besar efisiensi tiap filter untuk pengukuran PM_{10} dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$Ef = \frac{(C_0 - C_1)}{C_0} \times 100\% \quad (3.3)$$

3.4.3. Densitas Filter

Densitas filter (ρ) dihitung berdasarkan perbandingan antara massa filter (m) dengan volume filter (V). Seperti ditunjukkan pada persamaan 3.4. berikut:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.4)$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Filter Partikulat

Kokon yang awalnya berbentuk melengkung setelah disetrika menjadi lebih datar. Proses ini membantu saat penjahitan kokon-kokon menjadi lembaran-lembaran filter. Filter yang telah menjadi lembaran terlihat seperti Gambar 4.1. Filter kokon ini berwarna keemasan, benang yang digunakan berwarna hampir sama dengan warna kokon, sehingga kurang dapat terlihat perbedaan antara kokon dan benang bordir yang digunakan.



Gambar 4. 1 Kokon yang telah dijahit menjadi filter

Filter dengan 1 lapisan (F1) memiliki massa 0,275 gr dan ketebalan 0,35 mm. Filter dengan 2 lapisan (F2) memiliki massa 0,561 gr dan ketebalan 0,40 mm. Filter dengan 3 lapisan (F3) memiliki massa 0,799 gr dan ketebalan 0,68 mm. Filter dengan 4 lapisan (F4) memiliki massa 1,173 gr dan ketebalan 1,20 mm. Dan filter dengan 5 lapisan (F5) memiliki massa 1,389 gr dan ketebalan 1,46 mm (Tabel 4.1).

Tabel 4. 1 Hasil pengukuran massa dan ketebalan sampel

Nama Sampel	Massa (gr)	Ketebalan (mm)
F1	0,275±0,014	0,33±0,00
F2	0,526±0,003	0,59±0,01
F3	0,799±0,018	0,96±0,01
F4	1,173±0,033	1,69±0,02
F5	1,389±0,007	2,02±0,08

Kelima filter tersebut dipotong menyesuaikan diameter sambungan pipa PVC yang digunakan sebagai tempat filter saat pengambilan data yaitu 6,8 cm. Kelima filter tersebut memiliki karakter fisik yang sama karena dalam pembuatannya tidak ditambahkan bahan lain selain perpaduan kokon dan benang.

Tabel 4. 2 Gambar sampel beserta nama sampel yang telah dibuat

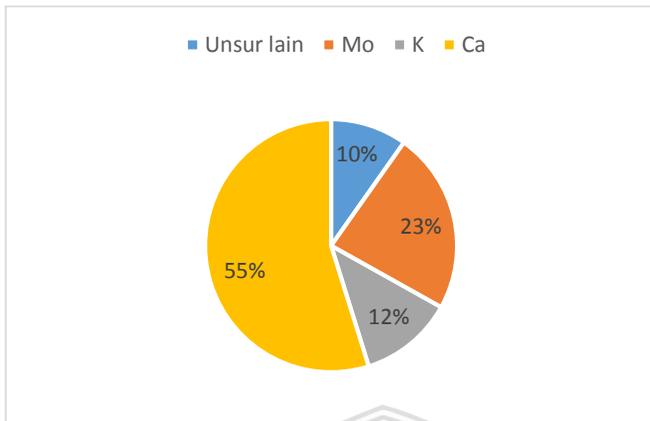
Gambar Sampel	Nama Sampel
	F1 (satu lapis filter)
	F2 (dua lapis filter)

	F3 (tiga lapis filter)
	F4 (empat lapis filter)
	F5 (lima lapis filter)

Tabel 4.2 menunjukkan tampilan filter secara fisik. Terlihat filter memiliki permukaan yang bergelombang. Ini dikarenakan bentuk awal kokon berbentuk silinder dengan ujung-ujung yang mengerucut.

4.2. Uji Kandungan

Gambar 4.2. merupakan hasil uji XRF dimana dapat terlihat bahwa unsur Ca (Kalsium) merupakan unsur yang paling mendominasi pada serat kokon.



Gambar 4. 2 Grafik hasil uji XRF tanpa gas helium

Kandungan kalsium (Ca) yang dimiliki filter kokon memiliki persentase sebesar 55%. Berdasarkan penelitian Yang, dkk pada tahun 2006 dan Li, dkk tahun 2013, kandungan kalsium terbukti dapat menjadi adsorben (Yang, dkk, 2006) (Li, dkk, 2013).

4.3. Karakteristik Filter

4.1.1. Uji Densitas

Uji densitas filter dilakukan untuk mengetahui massa jenis filter yang dihasilkan. Uji ini dilakukan dengan cara membandingkan massa tiap filter dengan volumenya. Volume filter diperoleh dengan cara mengukur diameter filter menggunakan jangka sorong dan mengukur ketebalan filter menggunakan mikrometer sekrup. Tabel 4.3 menunjukkan hasil pengukuran densitas yang telah dilakukan.

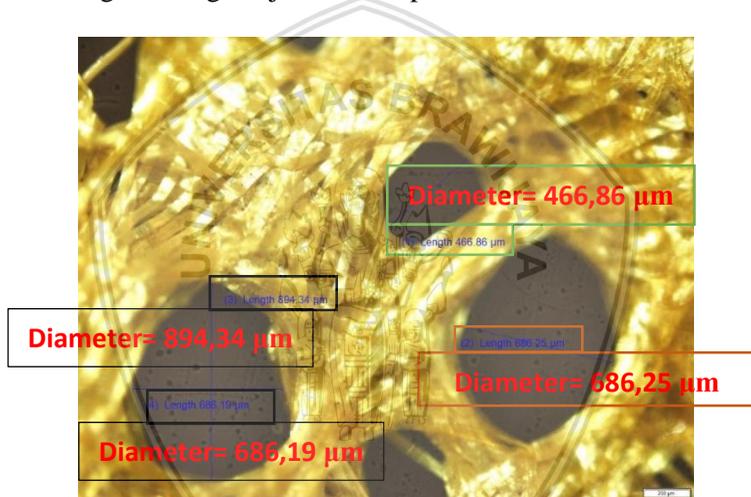
Tabel 4. 3 Hasil pengukuran densitas filter

Nama Sampel	Densitas Filter ($\times 10^{-1}$ gr/cm ³)
F1	2,35
F2	2,49
F3	2,36
F4	1,88
F5	1,88

Dari Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa densitas filter yang diperoleh dari serat limbah kokon memiliki nilai yang relatif sama antara satu filter dan filter lainnya yang berbahan serat limbah kokon. Hal tersebut menunjukkan bahwa filter serat limbah kokon merupakan bahan yang homogen dan memiliki konsistensi yang sama.

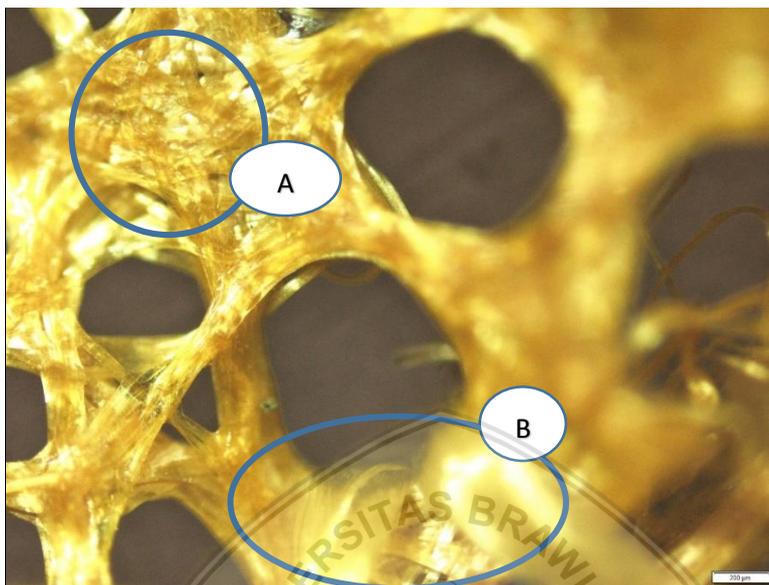
4.1.2. Uji Morfologi

Uji morfologi dilakukan dengan menggunakan Mikroskop Optik untuk mengetahui kondisi pori-pori pada filter. Hasil pengukuran mikroskop optik adalah data ukuran pori-pori dari filter dengan tingkat presisi yang tinggi dan akurasi yang lebih baik jika dibandingkan dengan uji makroskopis.



Gambar 4. 3 Morfologi permukaan filter menggunakan mikroskop optik Olympus DX51 dengan perbesaran 25x (scale bar 200μm).

Diameter rata-rata dari pori-pori hasil mikroskop optik adalah 613,1 μm dengan perbesaran 25x. Jika dibandingkan ukuran pori-pori dan ukuran PM₁₀ yang hanya 10μm, maka pori-pori kokon ini meloloskan banyak PM₁₀. Hal ini yang menyebabkan efisiensi filter ini kurang dari 30% terutama pada filter dengan 1 lapis lembaran kokon.



Gambar 4. 4 Foto mikroskop perbesaran 25 kali menggunakan

(scale bar 200 μ m)

Dari hasil mikroskopis dapat terlihat pada lingkaran A terdapat anyaman benang-benang fibroin yang dihasilkan oleh ulat sutra sebagai bahan dasar pembuatan kokon secara alami. Pada lingkaran B terdapat benang sutra yang digunakan untuk menyambungkan potongan-potongan kokon.

4.1.3. Uji *Flowrate* Filter

Uji *flowrate* dilakukan untuk mengetahui apakah filter tahan terhadap aliran udara yang keluar dari knalpot sepeda motor. Pada uji ini tidak menggunakan knalpot motor sebagai sumber aliran udara tapi digunakan *blower* angin agar kecepatan udara dapat diatur melebihi kecepatan udara yang keluar dari knalpot motor. Sehingga dapat diamati kemampuan filter saat mendapat dorongan dari aliran udara. Filter yang digunakan dalam pengujian ini adalah filter dengan satu lapisan. Hasil uji *flowrate* diperoleh adalah 78%. Hasil menunjukkan bahwa sebanyak 78% uliran udara dapat melewati filter.

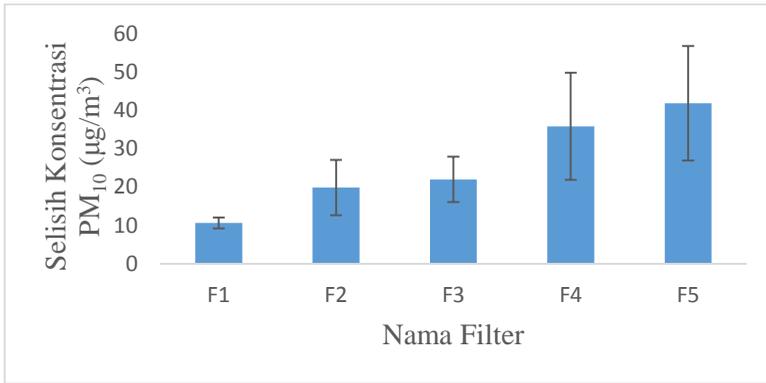
4.4. Hasil Pengukuran Konsentrasi PM₁₀

Pada pengukuran konsentrasi PM₁₀, diperoleh selisih antara pengukuran sebelum filter dipasang dan setelah filter dipasang. Hasil yang diperoleh terlihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Selisih konsentrasi PM₁₀ yang terjadi

Nama Filter	Konsentrasi PM ₁₀ (µg/m ³)		
	Sebelum	Setelah	Selisih
M1			
F1	148	138	10
F2	357	323	34
F3	262	228	34
F4	357	294	63
F5	313	242	71
M2			
F1	172	159	13
F2	136	123	14
F3	133	116	17
F4	178	149	29
F5	169	134	35
M3			
F1	109	100	9
F2	106	94	12
F3	100	85	15
F4	92	77	16
F5	90	69	20

Dari Tabel 4.4 dapat terlihat bahwa terjadi pengurangan untuk setiap variasi ketebalan dari setiap motor. Terjadi kenaikan selisih dari F1 hingga F5 dari masing-masing sepeda motor menunjukkan bahwa semakin banyak PM₁₀ yang terjebak pada filter.



Gambar 4. 5 Grafik selisih konsentrasi PM₁₀ yang terjadi untuk setiap filter

Dari Gambar 4. 5 dapat terlihat bahwa selisih dari masing-masing filter terjadi peningkatan. Peningkatan yang sangat signifikan terjadi antara penggunaan F3 dan F4. Ini menunjukkan bahwa partikulat yang ditangkap F4 jauh lebih banyak dari F3, F2 maupun F1. Penyebab yang memungkinkan terjadi adalah pada F4 memiliki pori-pori yang lebih kecil dari filter F3, F2 maupun F1

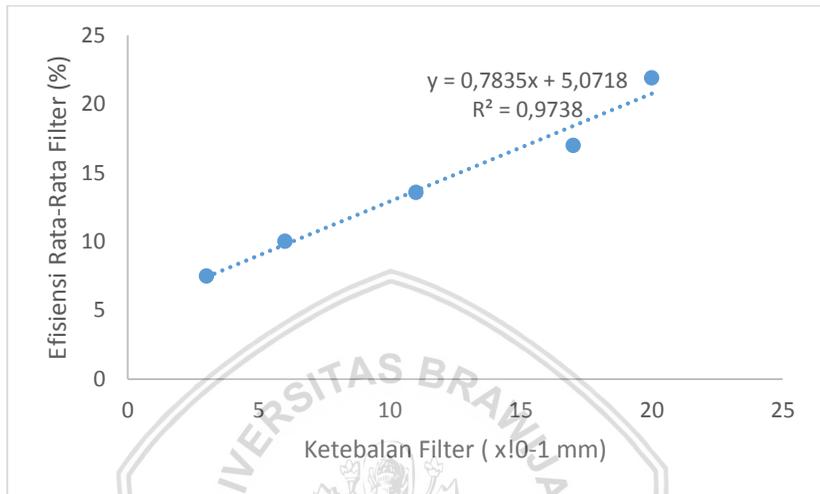
4.5. Efisiensi Filter

Dari data-data yang telah diperoleh dapat dihitung nilai efisiensi filter. Nilai efisiensi filter dapat diperoleh dengan cara membandingkan hasil pengurangan konsentrasi awal dan konsentrasi akhir terhadap konsentrasi awal. Setelah dilakukan perhitungan diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5. dan grafik hubungan antara efisiensi dan ketebalan filter dapat ditunjukkan pada Gambar 4.6 berikut.

Tabel 4. 5 Efisiensi filter pada setiap ketebalan filter

Nama filter	Efisiensi
F1	8 % ± 0,
F2	10 % ± 0
F3	14 % ± 0
F4	17 % ± 0
F5	22 % ± 0

Efisiensi filter mengalami peningkatan sering dengan penambahan ketebalan filter. Diperoleh nilai efisiensi maksimum sebesar 22%. Peningkatan efisiensi tidak terjadi secara signifikan.



Gambar 4. 6 Grafik hubungan antara efisiensi filter terhadap ketebalan filter.

Dari Gambar 4. 6 dapat dilihat bahwa semakin tebal filter maka efisiensinya akan semakin meningkat. Efisiensi pada F1 berkisar antara 6% hingga 10 %, untuk F2 memiliki efisiensi berkisar antara 9% hingga 11%, untuk F3 memiliki efisiensi berkisar antara 11% hingga 17%, untuk F4 memiliki efisiensi berkisar antara 15% hingga 18% dan untuk F5 memiliki efisiensi berkisar antara 20% hingga 23%. Trendline yang terbentuk dari Grafik efisiensi (Gambar 4. 6) diperoleh nilai R square sebesar 0,973. Ini menunjukkan bahwa ketebalan filter dapat mempengaruhi efisiensi filter hingga 97,3%. Sehingga dapat diprediksi bahwa semakin banyak lapisan filter kokon yang digunakan akan semakin meningkatkan efisiensi filter.

4.6. Pembahasan

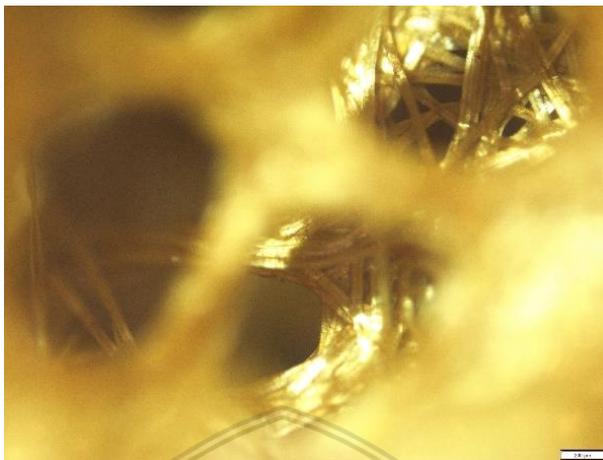
Filter yang terbuat dari kokon ulat sutra memiliki efisiensi maksimum sebesar 23%, diperoleh dari filter yang memiliki ketebalan 5 lapisan dan dari trendline yang diperoleh pada grafik efisiensi terhadap ketebalan filter (Gambar 4.7) dihasilkan nilai R square yang

mendekati 1 sehingga dapat diprediksi bahwa penambahan ketebalan filter akan sangat meningkatkan efisiensi filter. Pernyataan ini dapat diperkuat dengan hasil uji morfologi pada kokon yang diamati di bawah mikroskop optik. Hasil uji morfologi satu lapis filter menunjukkan diameter pori-pori memiliki ukuran rata-rata $105,67\mu\text{m}$ sedangkan ukuran partikulat yang diukur memiliki ukuran sekitar $10\mu\text{m}$ dan memiliki pori-pori yang tidak beraturan letaknya. Jadi, penambahan lapisan akan memperkecil pori-pori yang besar sehingga dapat menghasilkan pori-pori yang lebih kecil.



Gambar 4. 7 Penampang filter dengan ketebalan 1 lapis menggunakan mikroskop dengan perbesaran 25x (scale bar $200\mu\text{m}$).

Hasil uji densitas juga menjelaskan bahwa semakin tebal lapisan filter, maka densitasnya akan semakin kecil dan nilai porositasnya akan semakin tinggi, sehingga pori-pori yang dimiliki akan semakin banyak dan dapat menyaring partikel lebih banyak dari pada lapisan yang paling tipis. Terlihat perbedaannya pada Gambar 4.7. dan Gambar 4.8.



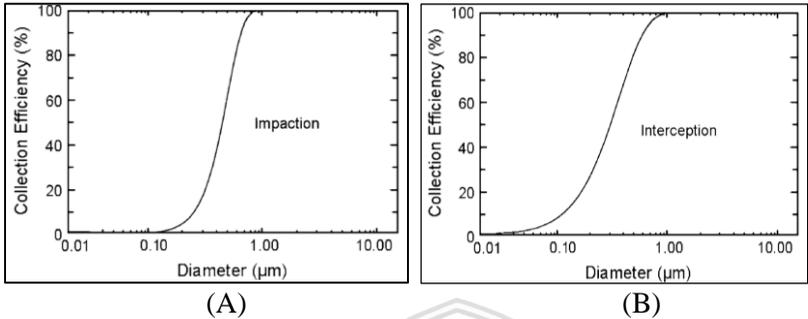
Gambar 4. 8 Penampang filter dengan ketebalan 5 lapis menggunakan mikroskop dengan perbesaran 25x (scale bar 200 μ m).

Dari Gambar 4.7. dan Gambar 4.8. dapat dilihat bahwa pori-pori filter semakin mengecil akibat penambahan filter. Pada Gambar 4.7. terlihat masih terdapat pori-pori yang besar dan sangat memungkinkan lolosnya banyak partikulat sedangkan pada Gambar 4.8. terlihat pori-pori yang ada di lapisan paling atas tertutupi dengan serat-serat dari lapisan di bawahnya. Sehingga terbukti bahwa semakin tebal filter dapat mengecilkan pori-pori.

Filtrasi pada dasarnya bergantung pada kombinasi mekanisme fisika dan kimia dan yang terpenting adalah pada proses adsorpsi. Adsorpsi adalah proses menempelnya partikel di atas permukaan dari kisi filter. Adsorpsi terjadi akibat molekul-molekul pada permukaan filter yang memiliki gaya tarik dalam keadaan tidak setimbang yang cenderung tertarik ke arah dalam (gaya kohesi filter lebih besar dari gaya adhesinya). Akibatnya filter sebagai adsorben cenderung menarik zat-zat lain yang bersentuhan dengan permukaannya. Adsorpsi fisika terjadi bila gaya intermolekul lebih besar dari gaya tarik antar molekul atau gaya tarik menarik yang lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben, gaya ini disebut gaya Van der Waals. Adsorbat dapat bergerak dari satu bagian permukaan ke bagian permukaan lain dari adsorben.

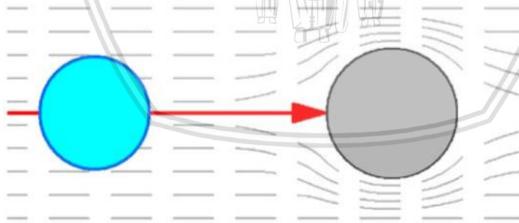
Ada lima mekanisme yang terjadi saat filter dapat menangkap partikulat, yaitu impaksi inersia, intersepsi, difusi yang disebabkan

oleh pergerakan Brownian, pengendapan akibat gravitasi dan gaya elektrostatik.



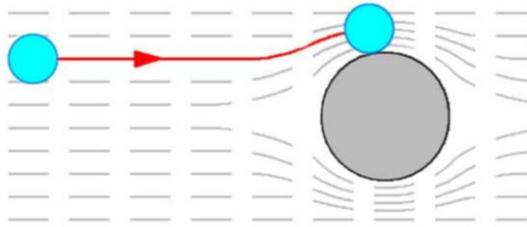
Gambar 4. 9 Mekanisme adsorpsi. (A).Grafik hubungan antara collection efficiency dengan diameter partikulat yang menggambarkan mekanisme impaksi. (B). Grafik hubungan antara collection efficiency dengan diameter partikulat yang menggambarkan mekanisme intersepsi.

Berdasarkan Thiessen (2006), untuk partikulat 10 µm mekanisme yang bekerja adalah impaksi inersia dan intersepsi seperti Gambar 4. 10 (Thiessen, 2006).



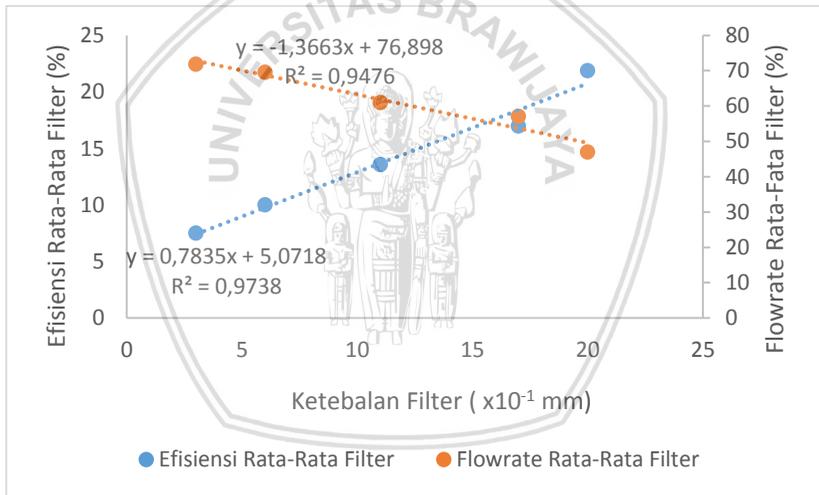
Gambar 4. 10 Mekanisme impaksi partikulat dengan filter serat.

Impaksi inersia terjadi ketika partikel tidak dapat mengikuti perubahan arah aliran gas secara tiba-tiba. Partikulat terus berjalan mengikuti aliran udara hingga mengalami kontak dengan permukaan filter. Terlihat pada Gambar 4. 10.



Gambar 4. 11 Mekanisme intersepsi partikulat dengan filter serat.

Intersepsi terjadi ketika sebuah partikel memiliki inersia yang cukup rendah sehingga cenderung mengikuti aliran gas tetapi ditangkap karena diameternya cukup besar untuk melakukan kontak ketika melewati serat filter.



Gambar 4. 12 Grafik hubungan antara flowrate, ketebalan dan efisiensi filter

Gambar 4. 12 merupakan grafik hubungan antara ketebalan flowrate dan efisiensi filter. Dari Gambar 4. 12 terlihat bahwa semakin tebal filter, maka *flowrate*-nya akan semakin menurun dan efisiensinya berlaku sebaliknya. Efisiensi filter akan semakin meningkat seiring ketebalan filter. Filter dengan satu lapis memiliki pori-pori yang besar sehingga flowrate yang melewati filter memiliki

persentase yang tinggi. Pori-pori yang besar menyebabkan partikulat tidak dapat diadsorpsi karena tidak mengalami kontak dengan adsorban. Dengan penambahan lapis filter, pori-pori akan mengecil. Sehingga luasan adsorban yang mengalami kontak dengan partikulat akan semakin luas. Dari Gambar 4.12 diperoleh R kuadrat dari hubungan flowrate dan ketebalan serta efisiensi dengan ketebalan memiliki nilai yang mendekati satu. Ini menunjukkan hubungan antara flowrate dan ketebalan serta hubungan antara efisiensi dan ketebalan memiliki korelasi yang tinggi.

Filter kokon dapat mem-block aliran udara yang keluar dari sepeda motor. Penambahan filter akan mengakibatkan aliran udara yang keluar akan semakin terhalang. Jika efisiensi filter mencapai 100% dimungkinkan tidak ada aliran udara yang keluar dari sepeda motor. Ini akan mengakibatkan mesin akan menjadi cepat panas karena tidak ada sirkulasi udara di dalam mesin. Pada Gambar 4.12 Filter yang memiliki efisiesnsi yang cukup tinggi namun dapat meloloskan aliran emisi adalah filter F4 dengan ketebalan 17×10^{-1} mm. Filter F4 memiliki efisiensi sebesar 17% dan dapat meloloskan aliran emisi sebesar 57%. Berdasarkan Budianto & Wardhoyo (2016) filter yang baik disarankan memiliki tingkat kelolosan persentase flowrate lebih dari 80%. (Budianto & Wardhoyo, 2016). Ini berkaitan dengan *pressure drop* yang akan terjadi pada proses filtrasi. Selama proses filtrasi berlangsung, PM akan terdeposisi pada pori-pori filter serat kokon sehingga mengakibatkan *pressure drop* meningkat cepat. *Pressure drop* dapat mengakibatkan perubahan aliran emisi yang awalnya bergerak secara laminar akan berubah bergerak secara turbulen sehingga menghasilkan kerugian-kerugian aliran.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Telah dibuat lembaran filter partikulat PM_{10} dari serat limbah kokon ulat ruteria dengan penyambung benang yang memiliki karakteristik berupa lembaran filter berwarna emas dengan ketebalan antara 0,28 mm hingga 2,02 mm, memiliki densitas rata-rata sebesar $0,0218 \text{ gr/cm}^3$, dapat meloloskan 78% aliran udara dengan menggunakan simulasi aliran udara, memiliki kandungan unsur terbanyak berupa kalsium (Ca) sebesar 55%. Kandungan kalsium yang dimiliki kokon dapat mempengaruhi penempelan partikulat PM_{10} . Maka, dengan penambahan lapisan filter akan menambahkan pula kandungan kalsium sehingga, PM_{10} akan lebih banyak yang tertarik oleh kalsium.
2. Efisiensi filter berbahan serat limbah kokon mampu memfilter emisi dapat meningkat seiring dengan penambahan ketebalan filter. Efisiensi filter yang didapatkan untuk masing-masing ketebalan pada semua motor uji berkisar antara 8% hingga 22%. Semakin banyak lapisan filter yang digunakan maka efisiensi yang diperoleh akan semakin tinggi. Namun flowrate yang dapat lolos dari filter mengalami penurunan karena pori-pori yang dimiliki filter semakin mengecil.

5.2. Saran

Diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengukuran konsentrasi PM_{10} dengan rpm motor yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M., & Subri, M. (2016). Uji Performa Filter Gas Emisi Kendaraan Bermotor Berbasis Keramik Porous Dengan Aditif Tembaga , Tio₂ Dan Karbon Aktif Dalam Penurunan Kadar Gas Carbon Monoksida, *15*(September), 24–30.
- Atmosoedarjo, S., K, J., Kaomini, M., S, W., & M, W. (2000). *Sutera Alam Indonesia*. Jakarta: Indonesia Printer.
- Bhandarkar, S. (2013). Vehicular Pollution , Their Effect on Human Health and Mitigation Measures. *Vehicle Engineering (VE)*, *1*(2), 33–40.
- Borken, J., Briggs, A., Forsberg, B., Gulliver, J., Heinrich, J., Janssen, N., ... Wass, U. (2005). *Health effects of transport-related air pollution. WHO Library Cataloguing in Publication Data*. <https://doi.org/10.1080/01422419908228843>
- BPS, B. P. S. (2015). Jumlah Kendaraan Bermotor. Retrieved from <https://bps.go.id/site/resultTab>
- Budianto, A., & Wardoyo, A. (2016). DC Low Electrostatic Voltage Particulate Filter : PM_{0.1} And PM_{2.5} Emission Efficiency Measurement. *International Seminar on Sensors, Instrumentation, Measurement, and Metrology*, (August, 10-11), 115–118.
- Budiyono, A. (2001). Pencemaran Udara : Dampak Pencemaran Udara Pada Lingkungan. *Berita Dirgantara*, *2*(1), 21–27.
- Gianto, Sarwoko, M., & Kurniawan, E. (2015). Perancangan Dan Implementasi Pengendap Debu Dengan Tegangan Tinggi Secara Elektrostatik Design And Implementation Settling Dust In The High Voltage, *2*(2), 2091–2098.
- Gunandi. (2010). *Pengaruh Waktu Pengapian (Ignition Timing) Terhadap Emisi Gas Buang pada Mobil dengan Sistem Bahan Bakar Injeksi (EFI)*. Surabaya. Retrieved from www.digilib.its.ac.id
- HELI, T. H. and E. L. I. (2009). Priority Risks Maps. Retrieved November 21, 2017, from <http://www.who.int/heli/risks/risksmaps/en/index2.html>
- Ismiyati, Marlita, D., & Saidah, D. (2014). Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTransLog)*, *1*(3), 241–248.
- Kemendikbud. (2017). Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI)

- (Online). Retrieved August 9, 2017, from <https://kbbi.web.id>
- Kusminingrum, N., & Gunawan, G. (2008). Polusi Udara Akibat Aktivitas Kendaraan Bermotor di Jalan Perkotaan Pulau Jawa dan Bali. *Pusat Litbang Jalan Dan Jembatan*, 13.
- Li, G., Shang, J., Wang, Y., Li, Y., & Gao, H. (2013). Effect of calcium on adsorption capacity of powdered activated carbon. *Journal of Environmental Sciences*, 25(S1), S101–S105. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(14\)60636-7](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(14)60636-7)
- Moeliono, M., & Siregar, Y. (2012). Rekayasa Bahan Baku Sutera Dan Limbah Kokon Untuk Rompi Tahan Peluru. *Jurnal Riset Industri*, VI(1), 1–12.
- Mukono, H. J. (2008). *Prinsip Dasar Kesehatan Lingkungan*. Surabaya: Universitas Airlangga Press.
- Nurentia, M. (2017). *Pengembangan Filter Partikulat PM_{0,1} Berbahan Serbuk Kayu*. Malang.
- Pihlava, T., Uppo, M., & Niemi, S. (2013). Health Effects of Exhaust Particles. In *Proceedings of the University of Vaasa, Reports* (Vol. 187, pp. 1–33).
- Prasetyawati, S. (2012). *Komposisi Protein Kokon Cricula trifenestrata Helf. dan Kadar Protein, Air, Abu, Flafonoid, Tanin Daun Jambu Mete*. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
- Ridha, M. (2016). Analisis Densitas, Porositas, dan Struktur Mikro Batu Apung Lombok dengan Variasi Lokasi menggunakan Metode Archimedes dan Software Image-J, 124–130.
- Saepudin, A., & Admono, T. (2005). Kajian Pencemaran Udara Akibat Emisi Kendaraan Bermotor di DKI Jakarta. *Jurnal Teknologi Indonesia*, 2, 29–39.
- STARK. (2008). *PM_{2,5} Particle Countert Manual Book*.
- Sugiarti. (2009). Gas Pencemar Udara Dan Pengaruhnya Bagi Kesehatan Manusia. *Jurnal Chemical*, 10(1), 50–58.
- Suhariyono, G., & Wiyono, M. (2003). Distribusi Diameter Partikel Debu PM₁₀ dan PM_{2,5} dalam Udara Sekitar Kawasan Pabrik Semen, Citeureup-Bogor. In *Prosiding Seminar Aspek Keselamatan Radiasi dan Lingkungan pada Industri Non-Nuklir* (pp. 161–173). Jakarta: Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir - BATAN.
- Sunu, P. (2001). *Melindungi Lingkungan dengan Menerapkan ISO 14001*. Jakarta: PT. Grasindo.
- Suryanto, D. A. (2012). Analisis Tingkat Polusi Udara Terhadap

- Pertumbuhan Kendaraan. *UG Jurnal*.
- Tel, O. P. S. R. (2015). Airborne Particulate Matter and Public Health. *Physicians For Social Responsibility For Social Responsibility*, (503), 1–6.
- Thiessen, R. J. (2006). Filtration of Respired Gases: Theoretical Aspects. *Respiratory Care Clinics of North America*, 12(2), 183–201. <https://doi.org/10.1016/j.rcc.2006.03.001>
- Tugaswati, A. T. (2008). Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Komisi Penghapusan Bensin Bertimbel*, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1002/ejoc.201200111>
- USEPA, U. S. E. P. A. (2004). *Air Quality Criteria for Particulate Matter. Air Quality Criteria for Particulate Matter (Vol. I)*. Research Triangle Park, NC. [https://doi.org/EPA 600/P-99/002aF-bF](https://doi.org/EPA%20600/P-99/002aF-bF)
- Valent, F., & Little, D. A. (2004). Environmental Burden of Disease Series , No . 8 Burden of disease attributable to selected environmental factors and injuries among Europe’s children and adolescents. In *Enviromental Burden of Disease Series*. Geneva: World Health Organization.
- Wahyuningrum, A., Wardoyo, A. Y. P., & Darmawan, H. A. (2015). Sistem Filtering Berbahan Serabut Kelapa Untuk Emisi Partikulat PM_{2,5} (Particulate Matter 2,5) dari Sepeda Motor. *Physics Student Journal*, 1, 10–12.
- Wardhana, W. A. (2004). *Dampak Pencemar Lingkungan*. Yogyakarta: Andi Offset.
- WHO, W. H. O. (2015, September). Media centre Ambient (outdoor) air quality and health. Retrieved November 21, 2017, from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>
- WHO, W. H. O. (2016). WHO ’ s Urban Ambient Air Pollution database - Update 2016. Retrieved November 21, 2017, from www.who.int/phe
- Winarno, J. (2005). Studi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermesin Bensin Pada Berbagai Merk Kendaraan Dan Tahun Pembuatan. *Jurnal Teknik*, (55), 1–9. Retrieved from <http://jurnalteknik.janabadra.ac.id/wp-content/uploads/2015/01/6-Joko-Winarno-April-2014.pdf>
- Yang, C. R., Lin, T. C., & Chang, F. H. (2006). Correlation between Calcium Carbonate Content and Emission Characteristics of Incense. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 56(12), 1726–1732.

<https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464577>

